



EWELINA ARNOLD

ewelina.arnold@hotmail.com



KRZYSZTOF ŚLEDZIEWSKI

Politechnika Lubelska
k.sledziewski@pollub.pl

Wpływ zawartości asfaltu na sztywność podbudów z betonu asfaltowego

Beton asfaltowy powinien charakteryzować się takimi parametrami technicznymi, aby wykonane warstwy konstrukcji miały odpowiednie właściwości w zakresie:

- nośności,
- trwałości na niszczące działanie ruchu i warunków atmosferycznych,
- szczelności i równości,
- odporności na odkształcenia trwałe,
- właściwości przeciwpoślizgowe.

Odporność warstw z mieszanek mineralno-asfaltowych (mma) na

niszczące działanie ruchu i warunków atmosferycznych związana jest z wyższą zawartością lepiszcza, co jednak zmniejsza, a w zasadzie wyklucza uzyskanie odpowiedniej odporności na odkształcenia trwałe.

Współdziałanie podstawowych składników mieszanki mineralno-asfaltowej, tzn. lepiszcza i składników mineralnych, jest jednym z ważniejszych czynników, określających właściwości betonu asfaltowego. Najczęściej spotykaną wadą nawierzchni asfaltowych jest skłonność do spękań zimą i odkształceń plastycznych latem [19] [22]. Parametrami charakteryzującymi wytrzymałość i trwałość betonu asfaltowego są przede wszystkim kąt tarcia wewnętrznego, spójność, moduł sprężystości, wydłużenie względne, plastyczność oraz podatność na starzenie [4].

Moduł sztywności mieszanki mineralno-asfaltowej zależy między innymi od sztywności zastosowanego asfaltu, jego penetracji i temperatury mięknięcia, oraz zawartości procentowej asfaltu i kruszywa, a także od wskaźnika zagęszczenia [11]. Wzrost zawartości asfaltu w mieszance asfaltowej powoduje wzrost współczynnika rozszerzalności termicznej [6], ale jednocześnie spadek sztywności mieszanki.

W artykule autorzy przedstawili wyniki własnych analiz, których głównym celem było określenie wpływu zawartości lepiszcza asfaltowego w betonie asfaltowym na jego sztywność [23] wg różnych metod badawczych [2], [3], [7], [9].

Sztywność mieszanki mineralno-asfaltowej

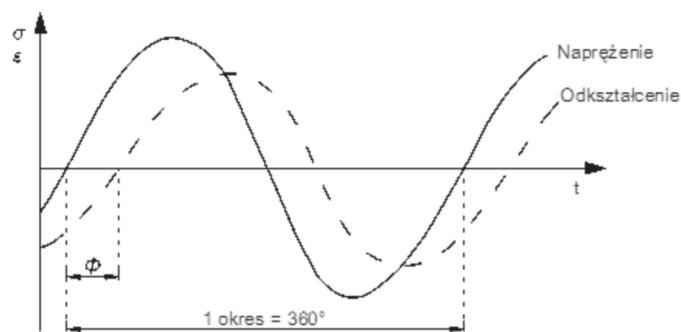
Moduł sztywności określa zależność odkształcenia liniowego ε materiału od naprężenia σ w czasie t , jakie w nim występuje w zakresie odkształceń sprężystych (moduł sieczny), jego wartość może być też określana jako wartość bezwzględna modułu zespolonego $|E^*|$ [10].

Moduł sztywności mieszanek mineralno-asfaltowych jest wielkością zmienną w funkcji temperatury. Wraz ze spadkiem temperatury jego wartość wzrasta, czyniąc warstwę wykona-

ną z mieszanki sztywniejszą, lecz z drugiej strony bardziej kruchą i podatną na spękania. Natomiast w wysokiej temperaturze letniej ma miejsce zjawisko odwrotne – moduł sztywności maleje, obniżając tym samym odporność warstwy na deformacje [5] [8] [10].

Moduł zespolony jest zależność między naprężeniem i odkształceniem materiału liniowo lepko-sprężystego, który został poddany sinusoidalnemu obciążeniu w czasie t . Jest on najbardziej uniwersalny w przypadku materiałów typu mma. Naprężenie $\sigma \cdot \sin(\omega \cdot t)$ wywołuje odkształcenie materiału $\varepsilon \cdot \sin(\omega \cdot t - \Phi)$, o kącie przesunięcia fazowego Φ (rys. 1), proporcjonalnym do naprężenia i częstotliwości kątowej ω , wyrażony ogólnym wzorem:

$$E^* = |E^*| \cdot (\cos(\Phi)) + i \cdot \sin(\Phi) \quad (1)$$



Rys. 1. Naprężenie i odkształcenie w funkcji czasu dla materiału lepko-sprężystego [1]

Moduł zespolony [1] jest charakteryzowany przez dwie składowe, które można przedstawić jako część rzeczywistą i część urojoną :

$$E_1 = |E^*| \cdot \cos(\Phi) = \frac{\sigma_{\varepsilon a}}{\varepsilon_a} \quad (2)$$

$$E_2 = |E^*| \cdot \sin(\Phi) = \frac{\sigma_{\varepsilon o}}{\varepsilon_a} \quad (3)$$

w których:

$\sigma_{\varepsilon a}$ – wartość naprężenia przy maksymalnym odkształceniu,
 $\sigma_{\varepsilon o}$ – wartość naprężenia przy zerowym odkształceniu (zmiana sinusoidalna),

ε_a – amplituda odkształcenia,

lub jako wartość bezwzględna modułu zespolonego $|E^*|$ i kąt przesunięcia fazowego Φ :

$$|E^*| = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} \quad (4)$$

$$\Phi = \arctan\left(\frac{E_2}{E_1}\right) \quad (5)$$

Przesunięcie fazowe Φ zawiera się w przedziale między 0° a 90° [21]. W przypadku materiałów lepko-sprężystych takich jak asfalt lub mieszanki mineralno-asfaltowe, zmienia się ono w zależności od rodzaju zastosowanego asfaltu, jego twardości, oraz temperatury i częstotliwości kątowej ω .

Instytut Badawczy Dróg i Mostów przeprowadził badania modułu sztywności [24] według różnych metod laboratoryjnych zawartych w PN-EN 12697-26 [18] z użyciem różnych rodzajów asfaltów. W wyniku przeprowadzonych analiz porównawczych ustalono współczynniki przeliczeniowe obrazujące zależności między modułami sztywności przebadanych mieszanek (tab. 1), ustalono również współczynniki przeliczeniowe między modułem sztywności zbadanym laboratoryjnie a modułem obliczonym z zastosowaniem metody Shell (tab. 2).

Tabela 1. Współczynniki przeliczeniowe pomiędzy badaniami sztywności [24]

Porównywane metody		Temperatura	Częstotliwość	Współczynnik przeliczeniowy
IT-CY	DTC-CY	dowolna	1 Hz	$\frac{E_{IT}}{E_{DTC}} = 0,75$
IT-CY	DTC-CY	dowolna	10 Hz	$\frac{E_{IT}}{E_{DTC}} = 0,50$
IT-CY	4PB-PR	dowolna	1 Hz	$\frac{E_{IT}}{E_{4PB}} = 1,90$
IT-CY	4PB-PR	dowolna	10 Hz	$\frac{E_{IT}}{E_{4PB}} = 1,25$
4PB-PR	DTC-CY	dowolna	dowolna	$\frac{E_{4PB}}{E_{DTC}} = 0,45$

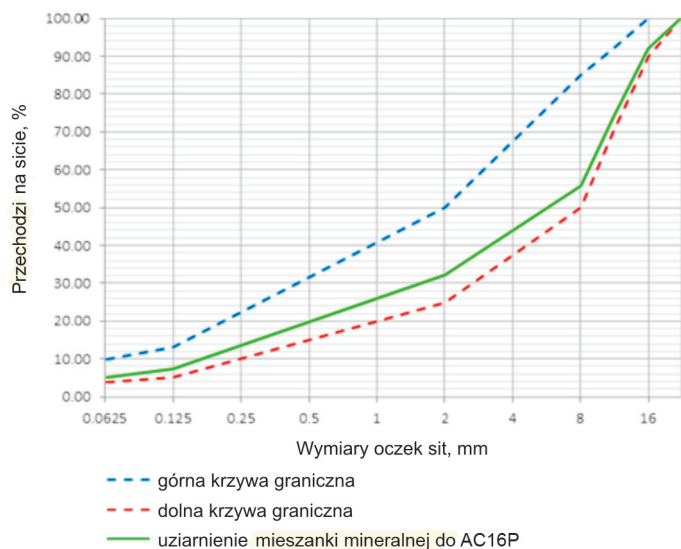
Tabela 2. Współczynniki przeliczeniowe pomiędzy metodami badania sztywności a metodą empiryczną [24]

Metoda	Asfalt	Temperatura	Częstotliwość/czas obciążania	Współczynnik przeliczeniowy
IT-CY	drogowy	$10 \div 20^\circ\text{C}$	0,248s	$\frac{E_{IT}}{E_{OBL}} = 2,7$
IT-CY	modyfikowany	$10 \div 20^\circ\text{C}$	0,248s	$\frac{E_{IT}}{E_{OBL}} = 4,5$
DTC-CY	drogowy	$0 \div 30^\circ\text{C}$	$0,1 \div 20$ Hz	$\frac{E_{DTC}}{E_{OBL}} = 2,2$
DTC-CY	modyfikowany	$0 \div 30^\circ\text{C}$	$0,1 \div 20$ Hz	$\frac{E_{DTC}}{E_{OBL}} = 3,6$
4PB-PR	drogowy	$0 \div 30^\circ\text{C}$	$0,1 \div 20$ Hz	$\frac{E_{4PB}}{E_{OBL}} = 1,0$
4PB-PR	modyfikowany	$0 \div 30^\circ\text{C}$	$0,1 \div 20$ Hz	$\frac{E_{4PB}}{E_{OBL}} = 1,6$

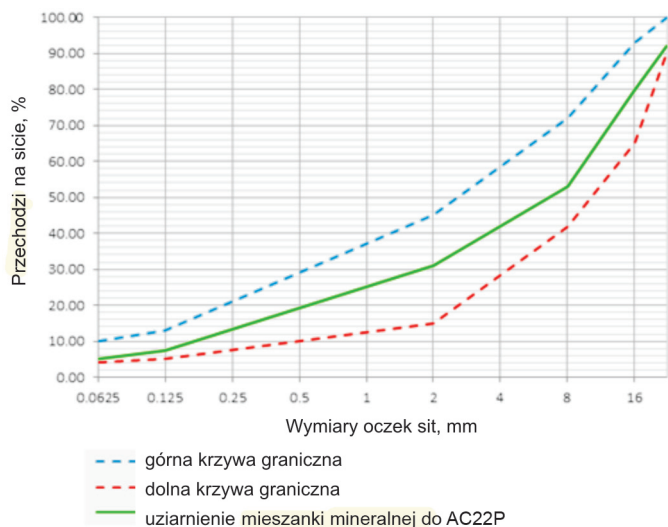
Badania

Badania przeprowadzono w Laboratorium Budownictwa Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Lubelskiej. Ocenie poddano beton asfaltowy o dwóch typach uziarnie-

nia, tj. mieszanki o maksymalnym wymiarze kruszywa 16 i 22 mm, wpisane w krzywe graniczne uziarnienia dla warstw podbudowy (rys. 2. i rys. 3.). Badano próbki o zawartości asfaltu drogowego 50/70: 4%, 4,5% i 5%.



Rys. 2. Wykres krzywych granicznych oraz krzywej uziarnienia mieszanki mineralnej do AC16P



Rys. 3. Wykres krzywych granicznych oraz krzywej uziarnienia mieszanki mineralnej do AC22P

Zakres badań mieszanek mineralno-asfaltowych AC16P i AC22P obejmował badania typu zgodne z wymaganiami wobec warstw podbudowy nawierzchni obciążonej ruchem kategorii KR1-2 [25]. W ich wyniku wyznaczono: gęstości mieszanek mineralno-asfaltowych, gęstości objętościowe mieszanek mineralno-asfaltowych, zawartości wolnych przestrzeni w mieszankach mineralnych i mieszankach mineralno-asfaltowych oraz ich wypełnienie lepiszczem, a także odporność mieszanek mineralno-asfaltowych na działanie wody i mrozu [14][15][16][17].

W tabelach 3÷6 zestawiono parametry próbek uzyskane podczas badań i porównano z wymaganymi właściwościami betonu asfaltowego.

Tabela 3. Zawartość wolnej przestrzeni w mieszance mineralno-asfaltowej

Mieszanka	Zawartość wolnej przestrzeni w mma, Vm [%, v/v]	Wymagana zawartość wolnej przestrzeni w mma	
		$V_{min4,0}$	$V_{max8,0}$
AC 16 P 4%	4,1	$V_{min4,0}$	$V_{max8,0}$
AC 16 P 4,5%	5,3	$V_{min4,0}$	$V_{max8,0}$
AC 16 P 5%	7,5	$V_{min4,0}$	$V_{max8,0}$
AC 22 P 4%	4,4	$V_{min4,0}$	$V_{max8,0}$
AC 22 P 4,5%	5,5	$V_{min4,0}$	$V_{max8,0}$
AC 22 P 5%	7,5	$V_{min4,0}$	$V_{max8,0}$

Tabela 4. Zawartość wolnej przestrzeni w mieszance mineralnej

Mieszanka	Zawartość wolnej przestrzeni w mm, VMA [%, v/v]	Wymagana zawartość wolnej przestrzeni w mm
AC 16 P 4%	14,0	VMA_{min14}
AC 16 P 4,5%	15,8	VMA_{min14}
AC 16 P 5%	19,3	VMA_{min14}
AC 22 P 4%	14,3	VMA_{min14}
AC 22 P 4,5%	16,5	VMA_{min14}
AC 22 P 5%	19,6	VMA_{min14}

Tabela 5. Zawartość wolnej przestrzeni wypełnionej lepizszcem

Mieszanka	Zawartość wolnej przestrzeni wypełnionej lepizszcem, VFB [%, v/v]	Wymagana procentowa zawartość wolnej przestrzeni wypełnionej lepizszcem	
		VFB_{min50}	VFB_{max74}
AC 16 P 4%	68,5	VFB_{min50}	VFB_{max74}
AC 16 P 4,5%	66,2	VFB_{min50}	VFB_{max74}
AC 16 P 5%	61,3	VFB_{min50}	VFB_{max74}
AC 22 P 4%	69,5	VFB_{min50}	VFB_{max74}
AC 22 P 4,5%	66,8	VFB_{min50}	VFB_{max74}
AC 22 P 5%	61,7	VFB_{min50}	VFB_{max74}

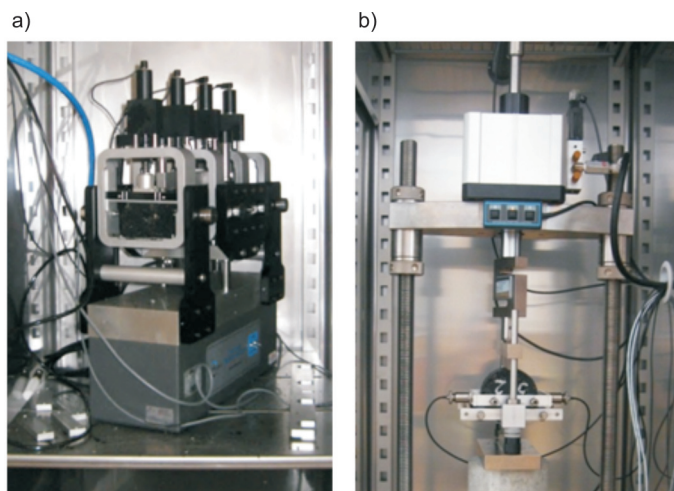
Tabela 6. Odporność na działanie wody

Mieszanka	Odporność na działanie wody, $ITSR$ [%]	Wymagana odporność mma na działanie wody
AC 16 P 4%	70,6	$ITSR_{70}$
AC 16 P 4,5%	71,1	$ITSR_{70}$
AC 16 P 5%	72,9	$ITSR_{70}$
AC 22 P 4%	70,8	$ITSR_{70}$
AC 22 P 4,5%	71,8	$ITSR_{70}$
AC 22 P 5%	72,5	$ITSR_{70}$

W wyniku przeprowadzonych badań wstępnych stwierdzono, że zaprojektowane i wykonane mieszanki mineralno-asfaltowe spełniają warunki i są zgodne ze stawianymi w aktualnych normach wymaganiami wobec betonów asfaltowych do warstw podbudowy.

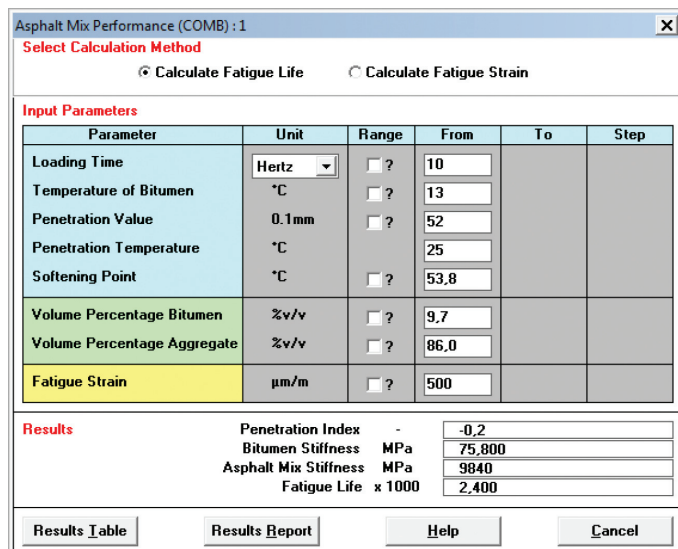
Dodatkowo zbadano wybrane właściwości użytego asfaltu 50/70: penetrację oraz temperaturę mięknięcia [12][13], na podstawie których określono jego parametry: penetrację PEN 52 [10·0,1 mm] oraz temperaturę mięknięcia PiK 54 [°C].

Zasadnicza część prac laboratoryjnych polegała na określeniu modułu sztywności i w tym celu wykonano badania metodą czteropunktowego zginania na próbkach pryzmatycznych 4PB-PR oraz rozciągania pośredniego na próbkach cylindrycznych IT-CY (odpowiednio fot. 1.a i 1.b).



Fot. 1. Badanie próbek mieszank mineralno-asfaltowych w aparatach do czteropunktowego zginania oraz rozciągania pośredniego

Dokonano również porównania otrzymanych wyników rzeczywistych modułów z wartościami, obliczonymi za pomocą programu Shell Pavement Design moduł BANDS2 (fot. 2).



Fot. 2. Widok okna programu podczas wprowadzania danych i otrzymania wyników

Wyniki badań

Uzyskane wyniki laboratoryjne przedstawiono na wykresach (rys. 4÷5), których punkty wyznaczono jako średnią arytmetyczną z trzech pomiarów. Obrazują one zmiany wartości modułu sztywności E (MPa) w zależności od zmiany zawartości lepiszcza.

Badanie czteropunktowego zginania przeprowadzono na próbkach w kształcie pryzmatycznej belki o wymiarach $5,5 \times 6,5 \times 40$ cm, termostatowanych w temperaturze ekwiwalentnej 13°C [12]. Przy częstotliwości obciążania 10 Hz dokonano odczytu modułu sztywności mieszanki mineralno-asfaltowej w 1000 cyklu obciążania.

Badanie rozciągania pośredniego przeprowadzono na próbkach cylindrycznych o wysokości 5 cm oraz o średnicy nominalnej 10 cm. Pomiaru dokonano na próbkach termostatowanych w temperaturze 13°C . Odczytu modułu sztywności dokonano na podstawie pomiaru siły wywołującej po-

ziomą deformację próbki na poziomie $0,005\%$ średnicy próbki w czasie (124 ± 4) ms.

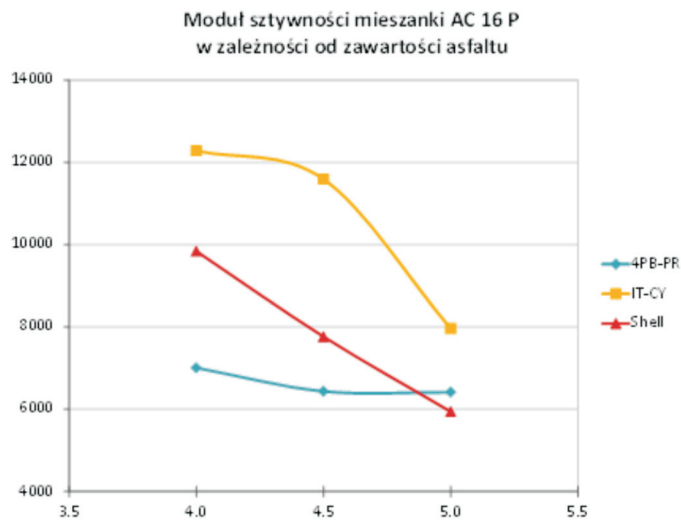
Obliczenia programem Shell przeprowadzono na podstawie temperatury mięknienia i penetracji asfaltu, zawartości lepiszcza i mieszanki mineralnej, przy temperaturze 13°C i częstotliwości 10 Hz.

Analizując otrzymane wyniki (wykresy rys. 4÷5) można zauważyć, że na podstawie przeprowadzonych badań nie jest możliwe wyznaczenie współczynnika przeliczeniowego między wartościami obliczonymi modułu a wartościami uzyskanymi z badania 4PB-PR. IBDiM [24] proponuje współczynnik przeliczeniowy równy 1,0, którego wartość jest prawidłowa jedynie przy zawartościach asfaltu: około $4,87\%$ – dla mieszanki AC 16 P oraz około $4,92\%$ – dla mieszanki AC 22 P.

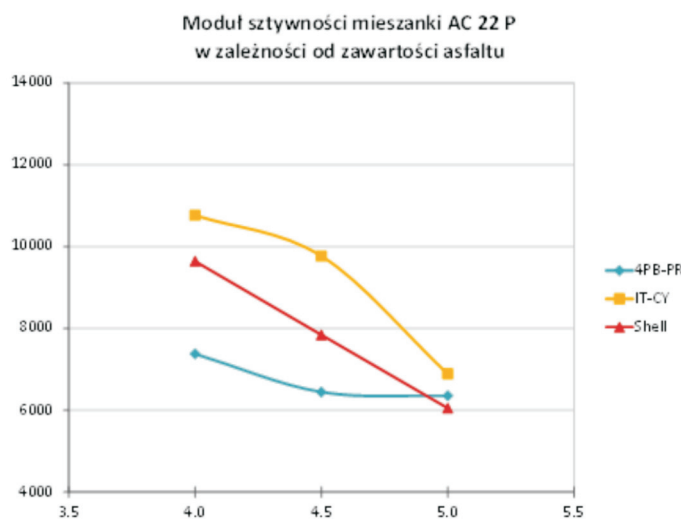
Spadek wartości modułu sztywności obliczonego programem Shell oraz zbadanego w aparacie NAT metodą IT-CY wykazuje niemal równoległy przebieg. Układ krzywych regresji dla badania IT-CY oraz wartości otrzymanych z programu Shell pozwala na określenie współczynnika przeliczeniowego, jednak jego wartość zmienia się w przypadku różnych uziarnień mieszank. W przypadku mieszanki AC 22 P wyniki uzyskane w badaniu rozciągania pośredniego są bliższe wartościom obliczonym; współczynnik przeliczeniowy na podstawie krzywych regresji wynosi $\frac{E_{IT}}{E_{OBL}} = 1,16$. Współczyn-

nik przeliczeniowy do mieszanki AC 16 P jest wyższy i wynosi $\frac{E_{IT}}{E_{OBL}} = 1,31$. Współczynnik przeliczeniowy podawany przez IBDiM [24] ma wartość 2,7, niezależnie od rodzaju mieszanki.

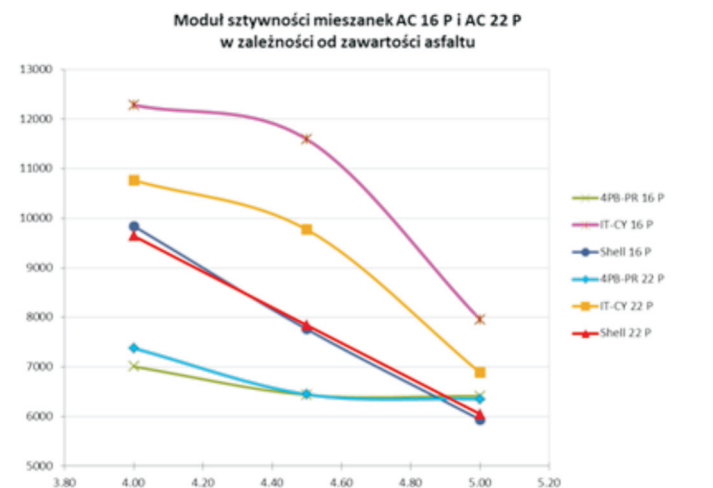
Zestawiając wszystkie wyniki na jednym wykresie (rys. 6) wyraźnie widać, że w badaniu IT-CY uziarnienie mieszanki ma duży wpływ na otrzymane wartości modułów sztywności, stąd też otrzymano największe rozrzuty.



Rys. 4. Norma modułu zespolonego E ; (MPa) w funkcji zawartości lepiszcza dla mieszank AC 16 P



Rys. 5. Norma modułu zespolonego E ; (MPa) w funkcji zawartości lepiszcza dla mieszank AC 22 P



Rys. 6. Zestawienie wyników modułów sztywności E ; (MPa) mieszank AC 16 P i AC 22 P

Program obliczeniowy Shell w trakcie analiz sztywności mieszank mineralno-asfaltowych uwzględnia ich uziarnienie jedynie przez zawartość wolnych przestrzeni, co ma ni-

komy wpływ na wyniki. Wartości modułów sztywności zbadane metodą 4PB-PR wykazują niewielką zależność od uziarnienia mieszanki, dodatkowo są mało wrażliwe na wzrost zawartości asfaltu.

Podsumowanie i wnioski

W wyniku prac badawczych i przeprowadzonych analiz, sformułowano następujące wnioski:

1. Wraz ze wzrostem zawartości asfaltu w mieszance mineralno-asfaltowej można zaobserwować spadek modułu sztywności, krzywe regresji w przypadku badania IT CY w aparacie NAT oraz obliczeń programem Shell są niemal równoległe dla obu typów mieszanki; można stwierdzić, że istnieje między nimi stała korelacja.
2. Zaproponowane przez IBDiM [24] współczynniki przeliczeniowe pomiędzy metodami wyznaczania modułu sztywności wymagają przeanalizowania pod kątem ich poprawności, biorąc pod uwagę większą liczbę zmiennych, np. zawartość asfaltu czy uziarnienie mieszanki.
3. Układ kruszywa w próbce oraz jego jakość mają znaczący wpływ na wartości modułów sztywności oznaczanych laboratoryjnie; w programie obliczeniowym rodzaj kruszywa oraz właściwości nie są brane pod uwagę.
4. Badanie IT-CY wykazało, że maksymalny wymiar ziaren kruszywa ma wpływ na wartość modułu sztywności mieszanki mineralno-asfaltowej.
5. Zawartość wolnych przestrzeni w mieszance mineralno-asfaltowej zmniejsza się wraz ze wzrostem dodatku lepiszcza, w związku z tym kryterium dotyczące zawartości wolnych przestrzeni określone dla każdej mieszanki w WT-2 ogranicza dodatek asfaltu, a co za tym idzie ogranicza spadek sztywności mieszanki.
6. Wskaźnik wytrzymałości na rozciąganie ITSr opisujący odporność na działanie wody i mrozu wzrasta wraz ze wzrostem zawartości lepiszcza, jednak ze względu na przeprowadzanie procedury badawczej na próbkach o niskim wskaźniku zagęszczenia wzrost ten jest znikomy, a próbki spełniają wymagania, nieznacznie przekraczając minimalną wartość graniczną.

Przeprowadzone prace badawcze stanowią jedynie wstęp do szczegółowych analiz i zostaną uzupełnione o dodatkowy zakres badań. W opracowanym programie prac badawczych na temat wpływu zawartości asfaltu na sztywność mieszanki mineralno-asfaltowej zostanie zwiększona ilość mieszanek, przy uwzględnieniu zastosowania różnych kruszyw i rodzajów asfaltu oraz typów uziarnienia.

Współautor publikacji Krzysztof Śledziewski jest uczestnikiem projektu „Kwalifikacje dla rynku pracy – Politechnika Lubelska przyjazna dla pracodawcy”, współfinansowanego przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego.

Bibliografia

- [1] E. Arnold, *Sztywność betonów asfaltowych do warstw podbudowy w zależności od zawartości asfaltu*, Praca magisterska, Lublin, Politechnika Lubelska 2014

- [2] M. Bogacka, *Badanie typu mieszanek mineralno-asfaltowych*, *Magazyn Autostrady*, 2012, nr 10, str. 82-85
- [3] H. Di Benedetto, M.N. Partl, L. Francken, C. De La Roche, *Stiffness testing for bituminous mixtures*, *Materials and Structures*, Vol. 34, March 2001, str. 66-70
- [4] B. Dołycki, *Odporność na starzenie i spękania niskotemperaturowe betonów asfaltowych zawierających asfalt wielorodzajowy*. *Nowoczesne Technologie w Budownictwie Drogowym: III Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna*, Poznań, 8-9 września 2005 r., str. 260-268
- [5] B. Dołycki, J. Judycki, *Wpływ metod zagęszczania mieszanek mineralno-asfaltowych na wyniki badań ich cech mechanicznych*, 52 Konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN i Komitetu Nauki PZITB, Krynica, 2006, str. 129-136
- [6] P. Mieczkowski, *Współczynnik przewodzenia ciepła mieszanek mineralno-asfaltowych*. *Izolacje*, 2013, nr 6, str. 62-69
- [7] J. Neves, A. Gomes-Correia, *Evaluation of the stiffness modulus of bituminous mixtures using laboratory test (NAT) valide by field back-analysis*, In *International Conference On The Bearing Capacity Of Roads, Railways And Airfields*, 7, Trondheim, Norway, 2005
- [8] H. Park, J. Kim, Y. Kim, H. Lee, *Determination of the layer thickness for long-life asphalt pavements*, *Asia Society for Transport Studies*, 5, str. 1948-1962.
- [9] M.N. Partl, H.U. Bahia, F. Canestrari, C. De La Roche, H. Di Benedetto, H. Piber, D. Sybilski, *Advances in Interlaboratory Testing and Evaluation of Bituminous Materials*, Springer, 2013
- [10] J. Piłat, P. Radziszewski, *Nawierzchnie asfaltowe*, Warszawa, WKŁ 2010
- [11] A. Plewa, *Ocena wpływu wskaźnika zagęszczenia na moduł sztywności betonu asfaltowego*, *Budownictwo i Inżynieria Środowiska*, 2012, nr 3, str. 133-139
- [12] PN-EN 1426 Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Oznaczenie penetracji igłą
- [13] PN-EN 1427 Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Oznaczenie temperatury mięknięcia. Metoda Pierścieni i Kula
- [14] PN-EN 12697-5+A1 Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badania mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco. Część 5: Oznaczenie gęstości
- [15] PN-EN 12697-6+A1 Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badania mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco. Część 6: Oznaczenie gęstości objętościowej próbek mieszanki mineralno-asfaltowej
- [16] PN-EN 12697-8 Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badania mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco. Część 8: Oznaczenie zawartości wolnej przestrzeni
- [17] PN-EN 12697-12 Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badania mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco. Część 12: Określanie wrażliwości na wodę
- [18] PN-EN 12697-26 Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco. Część 26: Sztywność
- [19] M. Pszczoła, *Spękania niskotemperaturowe warstw asfaltowych nawierzchni*, *Drogi i Mosty*, 2006, nr 3, str. 73-110
- [20] D. Siemieński, *Projektowanie mechaniczno-empiryczne*, Edroga.pl, 2009
- [21] B. Stefańczyk, P. Mieczkowski, *Mieszanki mineralno-asfaltowe. Wykonawstwo i badania*, Warszawa, WKŁ 2008
- [22] D. Sybilski, *Ocena właściwości niskotemperaturowych lepiszczy asfaltowych i mieszanek mineralno-asfaltowych*, *Drogi i Mosty*, 2004, nr 2, str. 87-119
- [23] A.A. Tayebali, B. Tsai, C.L. Monismith, *Stiffness of Asphalt-Aggregate Mixes*. SHRP, National Research Council, Washington, DC 1994
- [24] *Weryfikacja zależności między wartościami modułu sztywności uzyskanego różnymi metodami laboratoryjnymi według PN-EN 12697-26*, Sprawozdanie Temat TN-248, Warszawa, IBDiM 2010
- [25] WT-2 Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych. Mieszanki mineralno-asfaltowe. Wymagania techniczne, Warszawa, GDDKiA 2010