ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2001
Seria: TRANSPORT z. 43 Nr kol. 1529

Jerzy PAWLICKI, František SCHLOSSER

BADANIE DYNAMICZNE MIESZANEK ASFALTOWYCH

Streszczenie. W artykule przedstawiono sposób pomiaru i obliczania niektórych charakterystyk deformacji mieszanek asfaltowych. Komponenty te, które posiadają cechy materiału lepkosprężystego (lepkoplastycznego), badano metodami statycznymi i dynamicznymi. Badanie dynamiczne pozwoliło na określenie modułu zespolonego E*. Do oceny zmęczenia mieszanki zastosowano metodę modułu zespolonego.

DYNAMIC EXAMINATION OF ASPHALT COMPOSITIONS

Summary. Way of measurement and calculation some of characteristics of asphalt composition deformation are presented in this paper. The complex module method has been used to composition fatigue estimation.

1. WPROWADZENIE

Do podstawowych charakterystyk deformacji można zaliczyć: moduł sprężystości (statyczny i dynamiczny), moduł odkształcenia, moduł sztywności (dynamiczny), moduł pełzania (statyczny), moduł zespolony (dynamiczny) i stałą Poissona. W celu zbadania odkształcalności mieszanek mineralno-bitumicznych można zastosować badanie statyczne, w którym określa się statyczny moduł pełzania $S_i(t)$. Moduł ten stanowi materiałową, zależną od czasu i temperatury, charakterystykę lepkosprężystego odkształcenia przy długotrwałym obciążeniu. Wyraża on związek, jaki zachodzi pomiędzy stałym naprężeniem i odkształceniem w danym czasie przy ustalonym przebiegu obciążenia (1000 s) i odciążenia (1000 s) - rys.1.

Moduł zespolony jest charakterystyką lepkosprężystego odkształcenia zależną od temperatury i czasu przy krótkotrwałym zmiennym obciążeniu. Przedstawia związek, jaki zachodzi pomiędzy maksymalnymi amplitudami naprężenia wzbudzającego i wywołanym przez to naprężenie odkształceniem przy ustalonych drganiach harmonicznych z uwzględnieniem przesunięcia fazowego (czasowego) między tymi wielkościami [1,2]. Zmiana charakterystyk deformacji zależy szczególnie od wielkości sposobu i szybkości obciążania w funkcji czasu. Schemat kształtu próbki użytej do ustalenia modułu zespolonego i zmęczenia oraz sposób obciążenia swobodnego końca w badaniu dynamicznym E* pokazano na rysunku 2.

Odkształcalność zależy również od temperatury. Badania, zgodnie z metodyką opracowaną w KCS ŽU, są wykonywane w temperaturze 0°C, +11°C, +27°C oraz +40°C [5,6].

2. CHARAKTERYSTYKI DEFORMACJI

2.1. Statyczny moduł pełzania $S_i(t)$

Do oceny mieszanek wykorzystano kombinowane metody sprawdzania następujących charakterystyk:

- statyczny moduł pełzania $S_i(t)$ za pomocą badania statycznego swobodnego końca siłą przyłożoną na ramieniu 25–100 mm w taki sposób, aby podczas pomiaru nie nastąpiło odchylenie końca od pionowej osi więcej niż 1,0 mm,
- moduł zespolony E^* za pomocą badań dynamicznych przy działaniu siły harmonicznej i różnej częstotliwości,
- zmęczenie materiału za pomocą metody modułu zespolonego przy różnych odchyłkach swobodnego końca.

Statyczny moduł pełzania pomierzono na trapezoidach (pomiar porównawczy wykonano na próbkach prostopadłościennych), a obliczenia przeprowadzono według wzoru:

$$S_{i(t)} = \frac{6 \cdot P_1 \cdot a \cdot L^2}{C \cdot H_1^2 \cdot H_2 \cdot y_t} \text{ [MPa]}, \tag{1}$$

gdzie:

P_1 – siła [N],
L – wysokość próbki [mm],
a – odległość od osi próbki [mm],
y_t – deformacja swobodnego końca próbki po obciążaniu 1000s [mm],
C – grubość próbki [mm],
H_1, H_2 – wymiary trapezoidu [m].

2.2. Moduł zespolony E^*

Moduł zespolony ustalono na próbkach w kształcie trapezoidu przy następujących warunkach:

- podstawowa (teoretyczna) odchyłka swobodnego końca wynosiła ± 0,1 mm od pionowej osi trapezoidu,
- wartości odkształceń sprawdzano w temperaturze 0°C, +11°C, +27°C, +40°C,
- podczas pomiaru zmieniała się częstotliwość siły wzbudzającej w zakresie 5Hz–25Hz, natomiast rzeczywiste wartości pomiarów ustalano na podstawie przesunięcia amplitud siły i odkształcenia. Wartości teoretyczne częstotliwości siły wzbudzającej odpowiadają na urządzeniu pomiarowym ŻU wartościom: 5,0, 8,33, 10,0, 15,0 Hz z możliwością uzupełnienia pomiarów o częstotliwości 20,0 i 25,0 Hz. Oceny dokonano z wykorzystaniem zależności:

$$E_1 = \frac{K_1}{c}\left(\frac{P_0}{y_0}\cos\varphi + m\omega^2\right) \text{[MPa]}, \tag{2}$$

$$E_2 = \frac{K_1}{c}\left(\frac{P_0}{y_0}\sin\varphi\right) \text{[MPa]}, \tag{3}$$

$$S = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} \text{ [MPa]}, \tag{4}$$

$$\varphi = \operatorname{arctg}\frac{E_2}{E_1} \text{ [°]}, \tag{5}$$

gdzie:

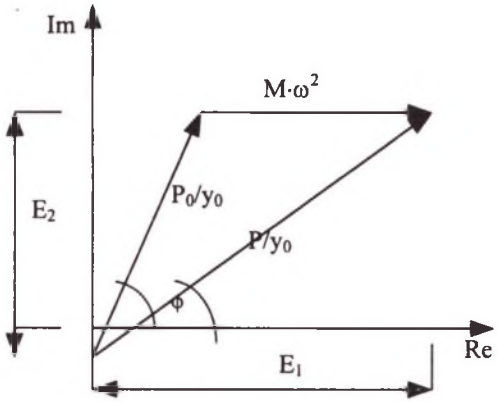
y_0 – maksymalna amplituda ugięcia swobodnego końca próbki [m],
P_0 – maksymalna amplituda siły wzbudzającej [N],
φ – kąt fazowy przesunięcia siły i ugięcia [°],
ω – częstotliwość kątowa drgania wymuszonego [s^{-1}],
m – masa drgającego materiału [kg].

Wyniki pomiarów odpowiadają schematowi pokazanemu na rysunku 1, na którym :

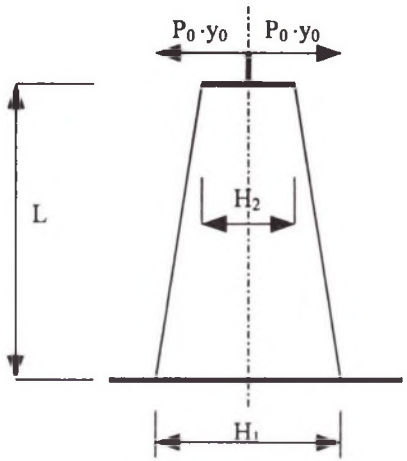
E_1– rzeczywisty składnik modułu zespolonego charakteryzujący własności sprężyste materiału lepkosprężystego [MPa],

E_2– urojona część modułu zespolonego dotycząca plastycznych własności materiału lepkosprężystego [MPa].

Przesunięcie fazowe oznacza przesunięcie amplitud siły harmonicznej przyłożonej do końca próbki i odkształcenia (rysunek 1).



Rys. 1. Diagram impedancji
Fig. 1. Diagram of impedance



Rys. 2. Schemat pomiaru modułu zespolonego
Fig. 2. Scheme of the complex module measurement

3. WYNIKI POMIARÓW

3.1. Moduł statyczny

Wyniki pomiarów dokonanych na trapezoidach otrzymane ze wzoru (1) zaprezentowano w tablicy 1. Opis mieszanek zawartych w tablicy przedstawiono między innymi w [3,4].

Tablica 1

Wyniki pomiarów

Mieszanka	Temperatura [°C]	$S_{i(t)}$ [MPa]	Moduł zespolony [MPa]			φ	σ_0 [kPa]	ε_0 [10^{-5}]
			E_1	E_2	$E^*(S)$	[°]		
ABVH-PLAST bez obciążenia*	40/5Hz	32,5	450,3	266,2	523,2	30,6	51,9-70,8	11,2-12,2
	40/8,3Hz		569,9	370,8	680,0	33,1	65,8-83,9	10,6-12,1
	40/10Hz		618,1	327,1	699,6	27,7	70,1-93,1	11,4-12,3
	40/15Hz		714,0	435,3	836,7	31,3	85,5-109,3	11,6-12,1
ABVH-PLAST po obciążeniu*	40/5Hz	54,3	265,6	173,5	317,5	32,8		
	40/8,3Hz		326,9	249,9	412,6	36,7		
	40/10Hz		399,1	242,7	468,8	30,5		
	40/15Hz		473,0	309,6	568,2	32,2		
ABVH-8097p po obciążeniu	40/5Hz	10,8	244,6	116,8	271,2	25,5		
	40/8,3Hz		285,8	165,1	331,8	28,1		
	40/10Hz		339,4	151,6	371,8	24,2		
	40/15Hz		405,0	203,3	454,2	26,4		
	27	26,6	1347	2328	2696	59,95	97,80-148,6	37,0-44,6
	11	413,4	5907	3844	7074	33,05	223,1-294,1	27,7-44,8
	0	721,4	7301	3810	8244	27,56	233,0-388,8	29,7-39,6
AKMS3n bez obciążenia	40/5Hz	14,43	229,8	143,9	271,7	31,8	30,2-37,6	11,4-12,4
	40/8,3Hz		299,5	227,8	377,4	36,7	39,2-51,9	10,7-11,9
	40/10Hz		324,3	220,7	394,7	33,7	43,5-53,7	10,8-12,8
	40/15Hz		390,8	309,2	500,3	37,98	53,6-64,9	10,8-11,5
AKMS3p	40/5Hz	28,2	219,2	108,7	244,6	26,4	21,6-30,2	10,9-12,1
	40/8,3Hz		290,7	162,6	333,2	29,2	29,7-42,4	10,8-12,3
	40/10hz		330,5	144,7	360,9	23,7	31,6-47,8	10,9-12,1
	40/15Hz		410,3	149,6	452,0	24,8	-	-

*próbki pobrane z odcinka badawczego przed i po obciążeniu pojazdami
Źródło: [7]

3.2. Moduł zespolony

Ocenę pomiarów w temperaturze + 40°C i zróżnicowanej częstotliwości pokazano w tablicy 1. Wartości deformacji uzyskano z obliczeń przeprowadzonych zgodnie ze wzorami (2) do (5).

Z otrzymanych pomiarów wynika:

- odkształcalność mieszanek asfaltowych zależy od częstotliwości przy badaniu dynamicznym - wartości rosną wraz ze wzrostem częstotliwości siły wzbudzającej (w zależności od temperatury),

- badania modułu zespolonego (E^*) wykonane w temperaturze + 40°C wykazały, że E^* rośnie wraz ze wzrostem częstotliwości siły wzbudzającej - z poprzednich pomiarów wynikało, że w zależności od zmian temperatury (od 0° do 40°C) wartość E^* zmienia się piętnastokrotnie (przy jednakowej temperaturze oraz przy zmianie częstotliwości z 5 Hz do 15 Hz wartości rosną zwykle dwukrotnie),
- kąt fazowy nie zmienia się znacząco wraz ze zmianą częstotliwości - nie jest wiarygodna wartość pomierzonego kąta fazowego ze względu na stosunkowo niskie wartości w temperaturze +40°C, stwierdzono również dysproporcje przy pomiarach dokonanych wcześniej, np. przy +27°/+40°C w porównaniu z temperaturami 0°/+11°C,
- wartości E^* dla AKMS3p (po obciążeniu próbnymi przejazdami) są w temperaturze +40°C bardzo niskie, rosną wraz z częstotliwością przy wzbudzaniu siłą harmonicznie zmienną (obciążenie swobodnego końca),
- mieszanka ABVH – PLAST3p (po przejazdach próbnych) ma wyższe wartości E^* niż warstwa ścieralna nawierzchni tej samej konstrukcji, co może wynikać z zastosowania lepszego jakościowo szkieletu ABVH oraz modyfikowanego lepiszcza w mieszance,
- mieszanka ABVH – PLASTp ma wysokie wartości modułu statycznego.

3.3. Zmęczenie

Badania zmęczeniowe wykonano, podobnie jak pomiar modułu zespolonego, przy zmiennej w czasie sile i stałej deformacji. Różnice w pomiarach dotyczyły:

- przedziału czasu działania siły harmonicznej na swobodny koniec próbki – czas pomiaru określało obniżenie wartości początkowej siły harmonicznej o połowę (w czasie rzeczywistym),
- odchylenia swobodnego końca próbki, wyrażającego wielkość deformacji o wartościach: 0,45 mm, 0,35 mm i 0,25 mm (w celu ustalenia zmęczenia bada się co najmniej 6 próbek przy każdym odchyleniu), przy zróżnicowanych odchyleniach są osiągane różne żywotności wyrażone zmęczeniem materiału,
- temperatury próbek przy pomiarach – największa degradacja materiałów powstaje przy wyższych temperaturach (temperatura próbki i powietrza w komorze klimatyzacyjnej wynosiła +27°C).

Pomiar był dokonywany wg metodyki KCS ŽU przy stałej amplitudzie deformacji aż do obniżenia wartości siły o połowę, albo do czasu (od początku pomiaru), kiedy w próbce pojawi się szczelina, lub próbka ulegnie złamaniu.

Zmęczenie można przedstawić następującym wzorem:

$$S = a - b \cdot \log N \tag{6}$$

Otrzymane z pomiarów zależności pozwoliły, po przyjęciu a = 1,0, na obliczenie, zgodnie z (6), współczynników zmęczeniowych b nowych rodzajów materiałów z przewagą łamanych frakcji kruszywa, nowym asfaltowym lepiszczem (z modyfikatorami) i nowymi technologiami stosowanymi między innymi przy wzbogacaniu mieszanki.

4. WNIOSKI

Z wykonanych pomiarów wynika:

- przesunięcie fazowe ulega zmianie przy różnych częstotliwościach i temperaturach; wpływ zmiany częstotliwości przy obciążaniu jest mniejszy w warunkach jednakowej temperatury badania niż przy różnych temperaturach badania próbki,

- częstotliwość siły wzbudzającej powoduje zmianę modułu E^*, który jest istotnie zależny od pomiaru w określonej temperaturze,
- przyrost sprężystego składnika modułu zespolonego (E_1) jest w badanych mieszankach wyższy niż przyrost części plastycznej (E_2); powoduje to nieregularność zmiany przesunięcia fazowego,
- przy zmianie częstotliwości z 5,0 Hz do 15,0 Hz i jednakowej temperaturze pomiaru stosunek między najwyższą a najniższą wartością rzeczywistego składnika modułu E_1 jest bliski dwa,
- charakterystyki zmęczeniowe mieszanek można otrzymać za pomocą metodyki pomiaru modułu zespolonego; przy określaniu tych charakterystyk, które wyrażone są za pomocą współczynników a i b, powinno się uwzględniać:
  - stosowanie nowych rodzajów lepiszczy także na bazie lepiszczy modyfikowanych,
  - ocenę przydatności użycia lepiszcza asfaltowego ze względu na odporność wynikowej mieszanki na powstawanie trwałych deformacji,
  - stosowanie nowych rodzajów kruszywa oraz większy udział łamanych składników kruszywa.

Literatura

1. Luksemburk F. a kol.: Aplikace teorie lineárné viskoelastické hmoty v silničnim stavitelstvi. ČSVTS, Praha 1977.
2. VUIS – CESTY: Overenie asfaltových technológií výstavby a opráv vozoviek diaľničnej a cestnej siete SR na kruhovej skúšobnej dráhe. Správa Etapy 0,1, 1997–1998 ŽU v Žiline, Žilina 1998.
3. Pawlicki J., Schlosser F.: Kontrola jakości w drogownictwie. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Transport, z. 38, Gliwice 1999, s.61-72.
4. Pawlicki J., Schlosser F.: Wpływ zmiennych obciążeń na wytrzymałość zmęczeniową i odkształcalność nawierzchni asfaltowej. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Transport, z. 41, Gliwice 2000, s. 201-208.
5. Schlosser F. a kol.: Zhodnotenie reologických vlastnosti asfaltových úprav z kruhovej skúšobnej dráhy. Správa k zmluve č. 93/SvF/98, ŽU v Žiline, Žilina 1999.
6. Schlosser F. a kol.: Deformačné vlastnosti asfaltových zmesi. Záverečná správa k HZ 82/SvF/2000, ŽU v Žiline, Žilina 2000.
7. Schlosser F.: Dynamická metóda skúšania asfaltových zmesí – E*. Seminár s medzinárodnou účasťou „Asfaltove vozovky – Q2001", Žilinská univerzita, Žilina 2-3.05.2001, s. 143-150.

Recenzent: Doc. dr inż. Zbigniew Ginalski

Abstract

Way of measurement and calculation some of characteristics of asphalt composition deformation are presented in this paper. This components, which have got viscoelastic material features, have been examined with static and dynamic methods. With dynamic examination the E* complex module has been defined. The complex module method has been used to composition fatigue estimation.