

Mieczysław LEŚKO

WPLYW ZAWARTOŚCI I MODUŁU SZTYWNOŚCI ASFALTU, STOPNIA SZCZELNOŚCI ORAZ TEMPERATURY NA MODUŁ SZTYWNOŚCI I KĄT PRZESUNIĘCIA FAZOWEGO BETONU ASFALTOWEGO

Streszczenie. Szczelność betonu asfaltowego wywiera najbardziej istotny wpływ na przydatność eksploatacyjną i trwałość nawierzchni drogowych i lotniskowych z tego materiału.

W celu wyjaśnienia i oceny wpływu zagęszczenia na niektóre cechy betonu asfaltowego (bez długotrwałych i kosztownych eksperymentów) korzysta się z 70 wyników badań zamieszczonych w pracy [3] i oblicza za pomocą odpowiednich wzorów i programu komputerowego [1, 2] wartości modułu sztywności (S_{\square}) i kąta przesunięcia fazowego (φ_{\square}), jako funkcji następujących wielkości: zawartości asfaltu (V_b), modułu sztywności asfaltu (S_b), stopnia szczelności i temperatury. Moduł sztywności wiąże naprężenie z odkształceniem, a kąt przesunięcia fazowego pozwala ocenić zachowanie się nawierzchni z betonów asfaltowych w warunkach eksploatacyjnych.

1. WSTĘP

Od nawierzchni wykonywanych z betonów asfaltowych, a szczególnie od warstw ścieralnych wymaga się odpowiedniej sztywności i odporności na: odkształcenia plastyczne, spękania zmęczeniowe, warunki klimatyczne (szczególnie niskie i wysokie temperatury) oraz długotrwałej przydatności eksploatacyjnej. Wymienione właściwości zależą między innymi od: składu i rodzaju użytego kruszywa, rodzaju i zawartości asfaltu, a przede wszystkim od stopnia szczególności betonu asfaltowego. Od warstwy ścieralnej i warstw niżej ułożonych wykonanych z betonów asfaltowych wymaga się, aby wykazywały [5]:

- wskaźnik zagęszczenia (według Marshalla) w $\geq 0,98$ dla warstwy ścieralnej, w ≥ 97 dla warstw niżej leżących,
- optymalną objętość wolnych przestrzeni, mieszczącą się w przedziałach: 1,5 - 4,5% dla betonów asfaltowych o strukturze zamkniętej, 4,5 - 8% dla betonów asfaltowych o strukturze częściowo zamkniętej,
- odpowiednie związanie poszczególnych warstw między sobą do głębokości oddziaływania naprężeń ścinających, która w warunkach ruchu drogowego wynosi od 10 do 15 cm.

Spełnienie tych wymagań zapewni, przede wszystkim, niezbędną szczelność, a tym samym odpowiednią sztywność oraz dobre inne właściwości mechaniczne i reologiczne nawierzchni. Niedogęszczone nawierzchnie w momencie oddania ich do eksploatacji dogęszczają się pod wpływem ruchu, jednak proces ten trwa dość długo. Często niektóre nawierzchnie nawet po kilku latach nie osiągają wymaganego zagęszczenia. Złe zagęszczona nawierzchnia, nim osiągnie wymagany wskaźnik zagęszczenia, ulega praktycznie zniszczeniu. Takie obniżenie własności mechanicznych reologicznych i eksploatacyjnych uwidacznia się w postaci: zagłębień lokalnych, sfałowań poprzecznych, kolein podłużnych, pęknięć poślizgowych itp.

W świetle przedstawionych stwierdzeń, zasadniczym celem niniejszej publikacji jest wyjaśnienie wpływu stopnia szczelności na niektóre właściwości reologiczne betonów asfaltowych, a mianowicie:

- na moduł sztywności traktowany, jako funkcja zawartości i modułu sztywności asfaltu,
- na kąt przesunięcia fazowego, jako funkcji tych samych parametrów.

W celu obliczenia modułów sztywności S_m i kątów przesunięcia fazowego φ_m mas mineralno-asfaltowych, skorzystano z odpowiednich wzorów i opracowano własny program komputerowy. Podstawę obliczeń stanowiły opublikowane wyniki badań mas mineralno-asfaltowych [3].

2. CHARAKTERYSTYKA MAS MINERALNO-ASFALTOWYCH PRZYJĘTYCH DO BADAŃ

Do obliczenia wartości cech S_m i φ_m , jako funkcji sztywności asfaltu S_b i jego zawartości V_b , wykorzystano gotowe wyniki badań [3] mas mineralno-asfaltowych: drobno-, średnio- i gruboziarnistych o strukturze ścisłej i półścisłej, zestawione w tablicach 1 + 3 oraz przedstawionych na rys. 1 i 2.

Tablica 1

Charakterystyka kruszywa [3]

Rodzaj frakcji	Typ mieszanki mineralnej, w %		
	drobnoziarnista	średnioziarnista	gruboziarnista
grysona	50	60	65
piaskowa ¹⁾	42	33,5	28,5
wypełniacz	8	6,5	6,5
gęstość mieszanki $g \cdot cm^{-3}$	2,86	2,88	2,90

¹⁾ Stosunek ziarn okrągłych do ziarn łamanych przyjęto 1:1

Tablica 2

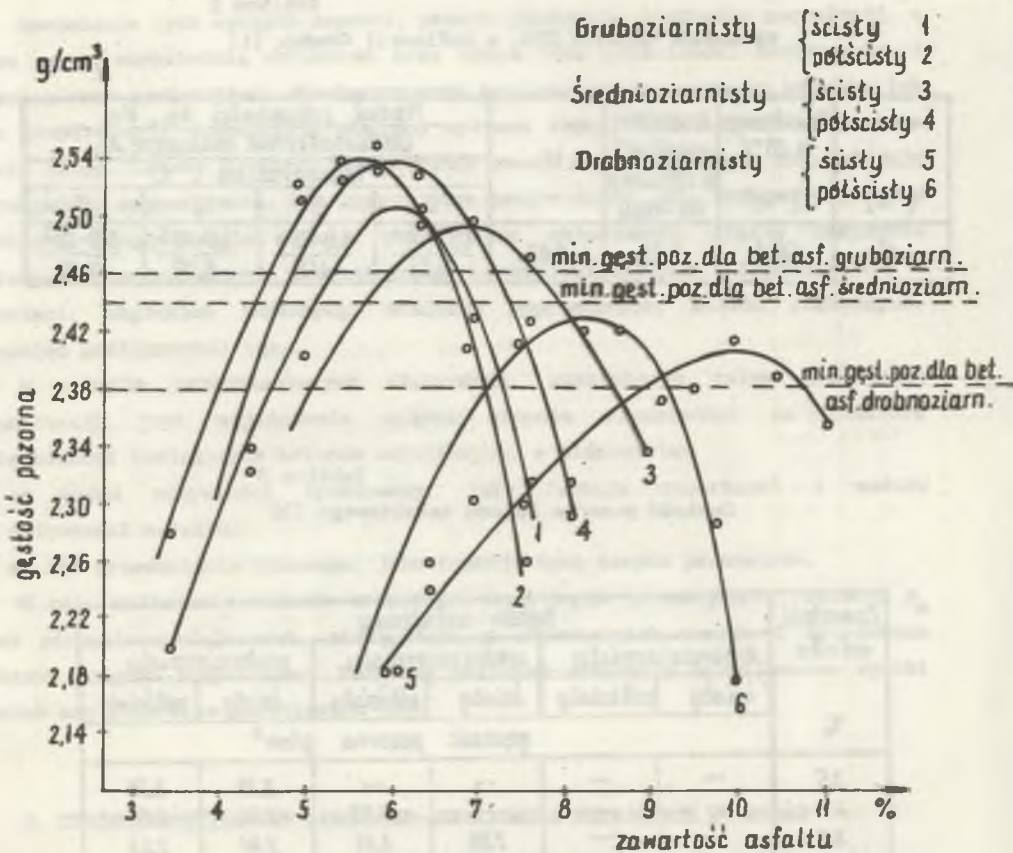
Własności asfaltu D70₂ z Rafinerii Gdańsk [1]

T ₁₀₀ cm [°C]	Penetracja M 25°C [°P]	Zawartość parafiny % w stosunku do masy	IP	Moduł sztywności S _B , Pa Odkształcenie niszczące λ ₀ Temperatura, °C			
				Temperatura, °C			
				0	5	10	15
15	68,4	1,61	- 0,92	$\frac{1,0 \cdot 10^7}{0,23}$	$\frac{1,0 \cdot 10^6}{1,60}$	$\frac{1,0 \cdot 10^5}{6,70}$	$\frac{5,0 \cdot 10^3}{33,33}$

Tablica 3

Gęstość pozorna betonu asfaltowego [3]

Zawartość asfaltu %	Beton asfaltowy					
	drobnoziarnisty		średnioziarnisty		gruboziarnisty	
	ściisty	półściisty	ściisty	półściisty	ściisty	półściisty
gęstość pozorna g/cm ³						
3,5	—	—	—	—	2,21	2,29
4,5	—	—	—	2,32	2,34	2,44
5,0	—	—	2,38	2,51	2,41	2,53
5,5	—	—	2,45	2,54	2,50	2,53
6,0	2,18	2,18	2,47	2,54	2,51	2,56
6,5	2,24	2,27	2,50	2,53	2,51	2,50
7,0	2,30	2,42	2,47	2,50	2,43	2,40
7,5	2,30	2,42	2,47	2,41	2,31	2,27
8,0	2,32	2,43	2,40	2,29	—	—
8,5	2,32	2,42	2,31	—	—	—
9,0	2,36	2,36	—	—	—	—
9,5	2,36	2,28	—	—	—	—
10,0	2,44	2,19	—	—	—	—
10,5	2,40	—	—	—	—	—
11,6	2,36	—	—	—	—	—



Rys. 1. Zależność gęstości pozornej betonu asfaltowego od zawartości asfaltu [3]

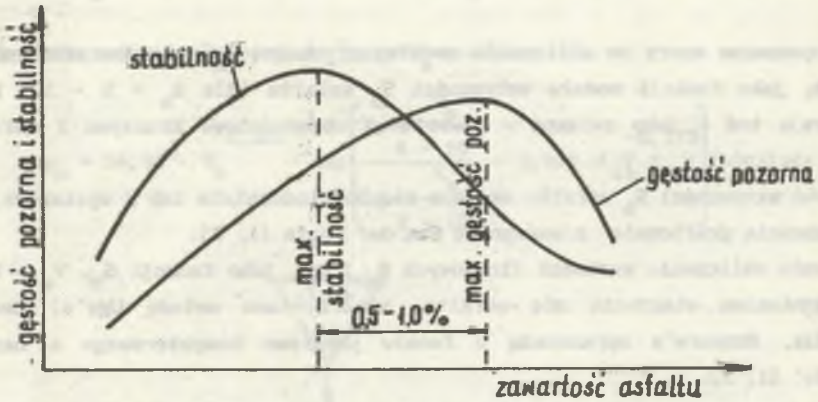
Fig. 1. Apparent density of the asphalt concrete as a function of the asphalt contents

Z trzech przedstawionych rodzajów betonów asfaltowych: drobnociarnisty, średnioziarnisty, gruboziarnisty wybrano te, dla których zawartość asfaltu mieściła się w przedziałach najbardziej korzystnych ze względu na zagęszczenie i odporność na działanie wysokich i niskich temperatur. Skład i zagęszczenie wybranych betonów asfaltowych scharakteryzowano w tablicach 4 + 6 (kolumny 2 + 7). Musi być oczywiście, spełniony warunek:

Lp	Asfalt $V_b, \%$	Mieszanka mineralna $V_a, \%$	Liczba uderzeń	Gęstość pozorna masy g/cm^3	Szczelność masy $(V_a + V_b), \%$	Wolna przestrzeń w masie $V, \%$	Moduł sztywności S_m, MPa				Kąt przesunięcia fazowego $\varphi_m, ^\circ$			
							Temperatura, $^{\circ}C$				Temperatura, $^{\circ}C$			
							0	5	10	15	0	5	10	15
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		66,0	10	2,11	87,0	13	357,88	63,47	11,26	1,19				
2		70,0	20	2,18	91,0	9	544,11	106,57	20,87	2,50				
3	21,0	73,0	30	2,23	94,0	6	764,73	163,92	35,14	4,74	44,30	53,98	60,00	65,07
4		74,0	40	2,24	95,0	5	860,77	190,69	42,24	5,95				
5		74,0	50	2,24	95,0	5	860,77	190,69	42,24	5,95				
6		67,0	10	2,13	89,0	11	392,00	70,41	12,65	1,35				
7		71,0	20	2,23	93,0	7	603,18	120,60	24,11	2,97				
8	22,0	73,0	30	2,28	95,0	5	759,33	161,61	34,40	4,60	45,06	54,82	60,88	65,98
9		73,0	40	2,28	95,0	5	759,33	161,61	34,40	4,60				
10		74,0	50	2,31	96,0	4	855,04	188,16	41,41	5,78				
11		70,0	10	2,19	93,0	7	535,15	103,09	19,86	2,33				
12		72,0	20	2,25	95,0	5	671,00	137,31	28,10	3,57				
13	23,0	72,0	30	2,26	95,0	5	671,00	137,31	28,10	3,57	45,80	55,63	61,74	66,87
14		74,0	40	2,28	97,0	3	849,47	185,71	40,60	5,62				
15		73,0	50	2,27	96,0	4	754,08	159,39	33,69	4,46				
16		69,0	10	2,21	94,0	6	471,67	86,87	16,00	1,77				
17		71,0	20	2,23	96,0	4	589,57	115,22	22,52	2,69				
18	25,0	71,0	30	2,24	96,0	4	589,57	115,22	22,52	2,69	47,21	57,19	63,37	68,56
19		71,0	40	2,24	96,0	4	589,57	115,22	22,52	2,69				
20		71,0	50	2,24	96,0	4	589,57	115,22	22,52	2,69				
21		68,0	10	2,16	94,0	6	419,81	74,58	13,25	1,40				
22		68,0	20	2,17	94,0	6	419,81	74,58	13,25	1,40				
23	26,0	69,0	30	2,18	95,0	5	467,85	85,47	15,62	1,71	47,89	57,94	64,18	69,37
24		70,0	40	2,20	96,0	4	522,66	98,33	18,50	2,10				
25		70,0	50	2,22	96,0	4	522,66	98,33	18,50	2,10				

Lp	Asfalt $V_b, \%$	Mieszanka mineralna $V_a, \%$	Liczba uderzeń	Gęstość pozorna masy g/cm^3	Szczelność masy $(V_a+V_b), \%$	Wolna przestrzeń w masie $V, \%$	Moduł sztywności S_m, MPa				Kąt przesunięcia fazowego $\varphi_m, ^\circ$			
							Temperatura, $^\circ C$				Temperatura, $^\circ C$			
							0	5	10	15	0	5	10	15
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	12,0	76,0	20	2,32	98,0	12	1165,47	293,87	74,10	12,34	36,10	44,88	50,42	55,13
2		79,0	40	2,39	91,0	9	1691,69	473,66	132,62	25,31				
3		80,0	78	2,44	92,0	8	1924,78	559,71	162,76	32,63				
4		82,0	98	2,45	94,0	6	2509,70	790,51	248,00	55,39				
5	13,0	78,0	20	2,35	90,0	10	1481,04	397,36	106,61	19,25	37,18	46,08	51,69	56,44
6		80,0	40	2,44	93,0	7	1914,27	553,61	160,11	31,87				
7		81,0	78	2,46	94,0	6	2184,10	657,19	197,75	41,45				
8		82,0	98	2,48	95,0	5	2497,88	783,08	245,50	54,28				
9	15,0	75,0	20	2,37	90,0	10	1011,51	241,55	57,68	8,95	39,18	48,30	54,03	58,88
10		79,0	40	2,45	94,0	6	1662,75	457,59	125,93	23,50				
11		81,0	78	2,48	96,0	4	2162,66	644,35	191,98	39,73				
12		81,0	98	2,51	96,0	4	2162,66	644,35	191,98	39,73				
13	17,0	75,0	20	2,34	92,0	8	997,30	234,81	55,28	8,42	41,01	50,34	56,17	61,10
14		78,0	40	2,41	95,0	5	1446,18	378,85	99,25	17,37				
15		80,0	78	2,43	97,0	3	1874,90	531,08	150,43	29,15				
16		80,0	98	2,44	97,0	3	1874,90	531,08	150,43	29,15				
17	18,0	74,0	20	2,34	92,0	8	878,96	198,83	44,98	6,50	41,88	51,30	57,18	62,15
18		77,0	40	2,41	95,0	5	1266,96	317,92	79,78	13,20				
19		79,0	78	2,41	97,0	3	1636,05	443,02	119,96	21,92				
20		79,0	98	2,44	97,0	3	1636,05	443,02	119,96	21,92				

Lp	Asfalt $V_b, \%$	Mieszanka mineralna $V_a, \%$	Liczba uderzeń	Gęstość pozorna masy g/cm^3	Szczelność masy $(V_a+V_b), \%$	Wolna przestrzeń w masie $V, \%$	Moduł sztywności S_m, MPa				Kąt przesunięcia fazowego $\varphi_m, ^\circ$			
							Temperatura, $^\circ C$				Temperatura, $^\circ C$			
							0	5	10	15	0	5	10	15
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		67,0	48	2,06	75,0	25	461,01	97,39	20,57	2,72				
2		73,0	78	2,22	81,0	19	851,95	203,45	48,58	7,54				
3	8,0	75,0	108	2,28	83,0	17	1068,59	269,58	68,00	11,33	31,12	39,29	44,52	48,99
4		74,0	156	2,25	82,0	18	952,88	233,68	57,31	9,21				
5		73,0	216	2,23	81,0	19	851,95	203,45	48,58	7,54				
6		68,0	48	2,11	78,0	22	494,44	103,46	21,65	2,83				
7		74,0	78	2,26	84,0	16	936,17	225,56	54,35	8,53				
8	10,0	78,0	108	2,37	88,0	12	1509,97	413,01	112,97	20,92	33,77	42,27	47,67	52,27
9		76,0	156	2,34	86,0	14	1182,92	302,73	77,47	13,15				
10		78,0	216	2,30	86,0	14	1182,92	302,73	77,47	13,15				
11		68,0	48	2,16	81,0	19	477,14	96,35	19,45	2,43				
12		74,0	78	2,33	87,0	13	913,05	214,56	50,42	7,66				
13	13,0	81,0	108	2,42	94,0	6	2184,10	657,19	197,75	41,45	37,18	46,08	51,69	56,44
14		80,0	156	2,42	93,0	7	1914,27	553,61	160,11	31,87				
15		80,0	216	2,45	93,0	7	1914,27	553,61	160,11	31,87				
16		74,0	48	2,28	89,0	11	898,80	207,91	48,09	7,16				
17		78,0	78	2,32	93,0	7	1463,16	387,80	102,78	18,27				
18	15,0	78,0	108	2,37	93,0	7	1463,16	387,80	102,78	18,27	39,18	48,30	54,03	58,88
19		80,0	156	2,46	95,0	5	1894,07	541,99	155,09	30,45				
20		81,0	216	2,54	96,0	4	2162,66	644,35	191,98	39,73				
21		72,0	48	2,27	88,0	12	708,89	153,26	33,13	4,52				
22		75,0	78	2,30	91,0	9	1004,31	238,12	56,46	8,68				
23	16,0	76,0	108	2,31	92,0	8	1133,54	277,98	68,17	10,95	40,11	49,34	55,13	60,01
24		78,0	156	2,40	94,0	6	1454,55	383,25	100,98	17,81				
25		80,0	216	2,43	96,0	4	1884,36	536,45	152,72	29,79				



Rys. 2. Zależność stabilności i gęstości pozornej betonu asfaltowego od zawartości asfaltu [3]

Fig. 2. Stability and apparent density of the asphalt concrete as functions of the asphalt contents

$$V_a + V_b + V = 100\% \quad (1)$$

w którym:

V_a - objętość zajęta przez kruszywo, %

V_b - objętość zajęta przez asfalt, %

V - objętość zajęta przez próżnię, %

$V_a + V_b$ - objętość zajęta przez szczelnie zagęszczoną mieszankę asfaltu z kruszywem, %.

W tablicach 4 + 6 podano też liczby uderzeń ubijaka niezbędne do osiągnięcia przez beton asfaltowy danej gęstości pozornej [3 + 7].

Z przebiegu wykresów zależności gęstości pozornej od zawartości asfaltu (rys. 1) wynikają następujące wnioski: maksymalna gęstość pozorna masy mineralno-asfaltowej o strukturze ścisłej jest mniejsza od tejże gęstości masy mineralno-asfaltowej o strukturze półcisłej, ze wzrostem zawartości frakcji grysowej w kruszywie wzrasta gęstość pozorna betonu asfaltowego (tabl. 1 i 3).

Zależność gęstości pozornej i stabilności lub wytrzymałości (określonej metodą Marshalla) od zawartości asfaltu charakteryzują krzywe przedstawione na rys. 2. Krzywe te mają przesunięte względem siebie ekstrema odpowiadające zawartościom asfaltu różniącym się o 0,5 - 1%. Zawartości asfaltu w masach przyjętych do analizy cech S_n i φ_n mieszczą się między zawartościami odpowiadającymi ekstremum z rys. 2.

3. OBLICZENIE MODUŁÓW SZTYWNOŚCI S_m I KĄTA PRZESUNIĘCIA FAZOWEGO φ_m MAS MINERALNO-ASFALTOWYCH

Proponowane wzory do obliczania modułu sztywności S_m mas mineralno-asfaltowych, jako funkcji modułu sztywności S_b asfaltu (dla $S_b > 5 \cdot 10^6$ Pa), zawierają też - jako zmienne - zawartości objętościowe kruszywa i asfaltu (tzn. wielkości V_a i V_b).

Moduł sztywności S_b asfaltu określa się doświadczalnie lub z wystarczającą dokładnością graficznie z nomogramu Van der Poela [1, 2].

W celu obliczenia wartości liczbowych S_m i φ_m , jako funkcji S_b , V_a i V_b z uwzględnieniem starzenia się asfaltu, wykorzystano metodę Uge'a, Gesta, Gravoisa, Bonaure'a opracowaną w formie programu komputerowego o nazwie "Module" [1, 2].

Wykorzystując metodykę obliczeń zastosowaną w programie "Module", opracowano własny uniwersalny program w języku BASIC do komputera AMSTRAD CPC 128. Podstawę obliczeniową stanowią wzory:

1. Moduł sztywności masy mineralno-asfaltowej przy $S_b = 3 \cdot 10^9$ Pa

$$\lg (S_m \cdot 3 \cdot 10^9) = 10,82 - 1,342 (100 - V_a) : (V_a + V_b) = A; \quad (2)$$

2. Moduł sztywności masy mineralno-asfaltowej przy $S_b = 10^8$ Pa

$$\lg (S_m \cdot 10^8) = 8,0 + 5,68 \cdot 10^{-3} \cdot V_a + 2,135 \cdot 10^{-4} \cdot V_a^2 = B; \quad (3)$$

3. Nachylenie stycznej do krzywej $\lg (S_m) = f[\lg (S_b)]$ przy:

- module sztywności asfaltu $S_b = 10^8$ Pa

$$\text{nachylenie } (10^8) = 0,6 \cdot \lg \left(\frac{1,37 \cdot V_b^2 - 1}{1,33 \cdot V_b - 1} \right) = M; \quad (4)$$

- module sztywności asfaltu $S_b = 10^9$ Pa;

$$\text{nachylenie } (10^9) = \frac{1,12 (A - B)}{\lg 30} = N; \quad (5)$$

4. Moduł sztywności S_m masy mineralno-asfaltowej przy założonym module sztywności asfaltu S_b :

- przy module asfaltu $S_b = 10^9$ Pa

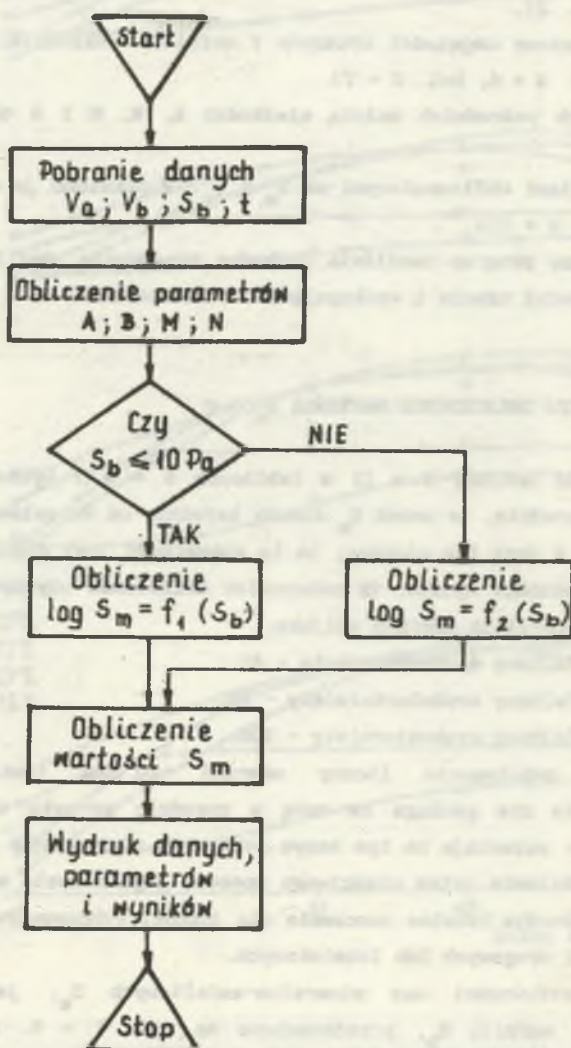
$$\lg S_m = \frac{M + N}{2} (\lg S_b - 8) + \frac{M + N}{2} (\lg S_b - 8) + B; \quad (6)$$

- przy module asfaltu $S_b = 10^9 - 3 \cdot 10^9$ Pa

$$\lg S_m = B + M + (A - B - M) \cdot (\lg S_b - 9) : \lg 3; \quad (7)$$

5. Kąt przesunięcia fazowego φ_m przy $V_b \leq 40$:

$$\varphi_m = 16,36 \cdot V_b^{0,352} \cdot \exp \left[\frac{\lg \frac{S_b}{5 \cdot 10^6}}{\lg \frac{S_b}{2 \cdot 10^9}} \cdot 0,974 \cdot V_b^{-0,172} \right]. \quad (8)$$



Rys. 3. Algorytm programu obliczeniowego

Fig. 3. The algorithm of the computer program

Na podstawie wzorów (2 + 8) opracowano algorytm programu obliczeniowego przedstawiony na rys. 3. Dla każdego zastosowania programu wydruk zawiera dane liczbowe: wejściowe, pośrednie i obliczeniowe.

1. Dane liczbowe wejściowe zawierają:

- a) $T = 05, 10$ i 15°C - odpowiednie temperatury, przy których zostały określone moduły sztywności S_b asfaltu i odkształcenia niszczące (tabl. 2), a także ich iloczyny ($S_b \cdot \lambda_0$), czyli naprężenia niszczące (σ),
 - b) moduły sztywności asfaltu (S_b), odpowiadające wymienionym temperaturom (tabl. 2),
 - c) procentowe objętości kruszywa i asfaltu w składzie betonu asfaltowego (tabl. 4 + 6, kol. 2 + 7).
2. Do danych pośrednich należą wielkości A, B, M i N obliczone wg wzorów (2 + 5).
3. Wielkościami obliczeniowymi są S_m i φ_m . Zestawiono je w tablicach 4 + 6 (kolumny 8 + 15).

Opracowany program umożliwia swobodne stosowanie, bez żadnych ograniczeń, co do krotności użycia i występujących w nim parametrów.

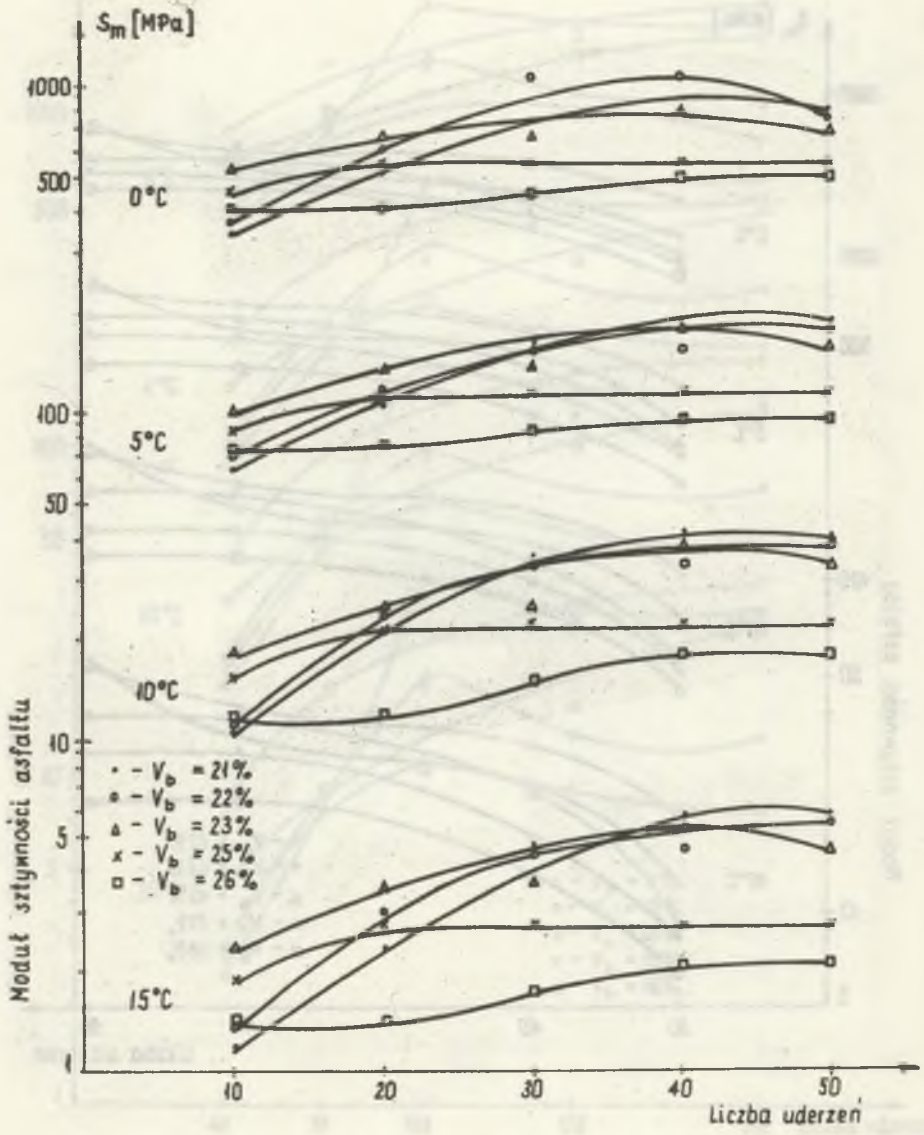
4. ANALIZA OBLICZONYCH WARTOŚCI S_m I φ_m

Zawartość kolumny 8 + 11 w tablicach 4 + 6 i wykresy na rys. 4 + 6 wskazują wyraźnie, że moduł S_m zależy istotnie od szczelności masy mineralno-asfaltowej i jest tym większy, im ta szczelność jest większa. Z wymienionych tablic i rysunków wynika, że maksymalna szczelność uzyskano po zrealizowaniu następujących liczb uderzeń ubijaka:

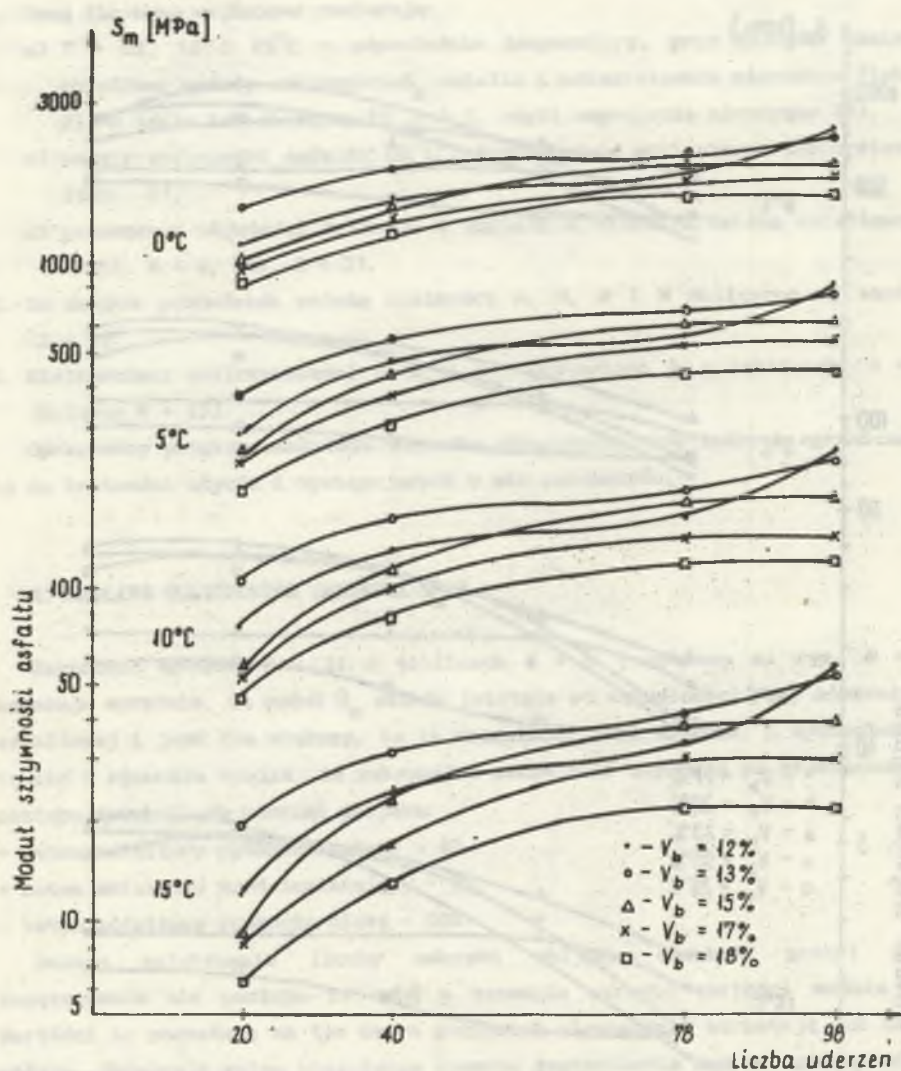
- beton asfaltowy drobnoziarnisty - 40,
- beton asfaltowy średnioziarnisty - 78,
- beton asfaltowy gruboziarnisty - 108.

Dalsze zwiększenie liczby uderzeń ubijaka (nakładu pracy) przy zagęszczeniu nie pociąga za sobą w zasadzie wzrostu wartości modułu S_m . Wartości te pozostają na tym samym poziomie, nieznacznie wzrastają lub nawet maleją. Ustalenie zatem właściwego sposobu zagęszczenia mas mineralno-asfaltowych ma bardzo istotne znaczenie dla jakości wykonywanych z tych mas warstw nawierzchni drogowych lub lotniskowych.

Moduł sztywności mas mineralno-asfaltowych S_m , jako funkcję modułu sztywności asfaltu S_b , przedstawiono na rys. 7 + 9. Przy poszczególnych wykresach napisano liczby odpowiadające liczbom porządkowym w tablicach 4 + 6. Umożliwia to ujęcie wpływu zawartości asfaltu V_b i szczelności masy mineralno-asfaltowej ($V_a + V_b$).

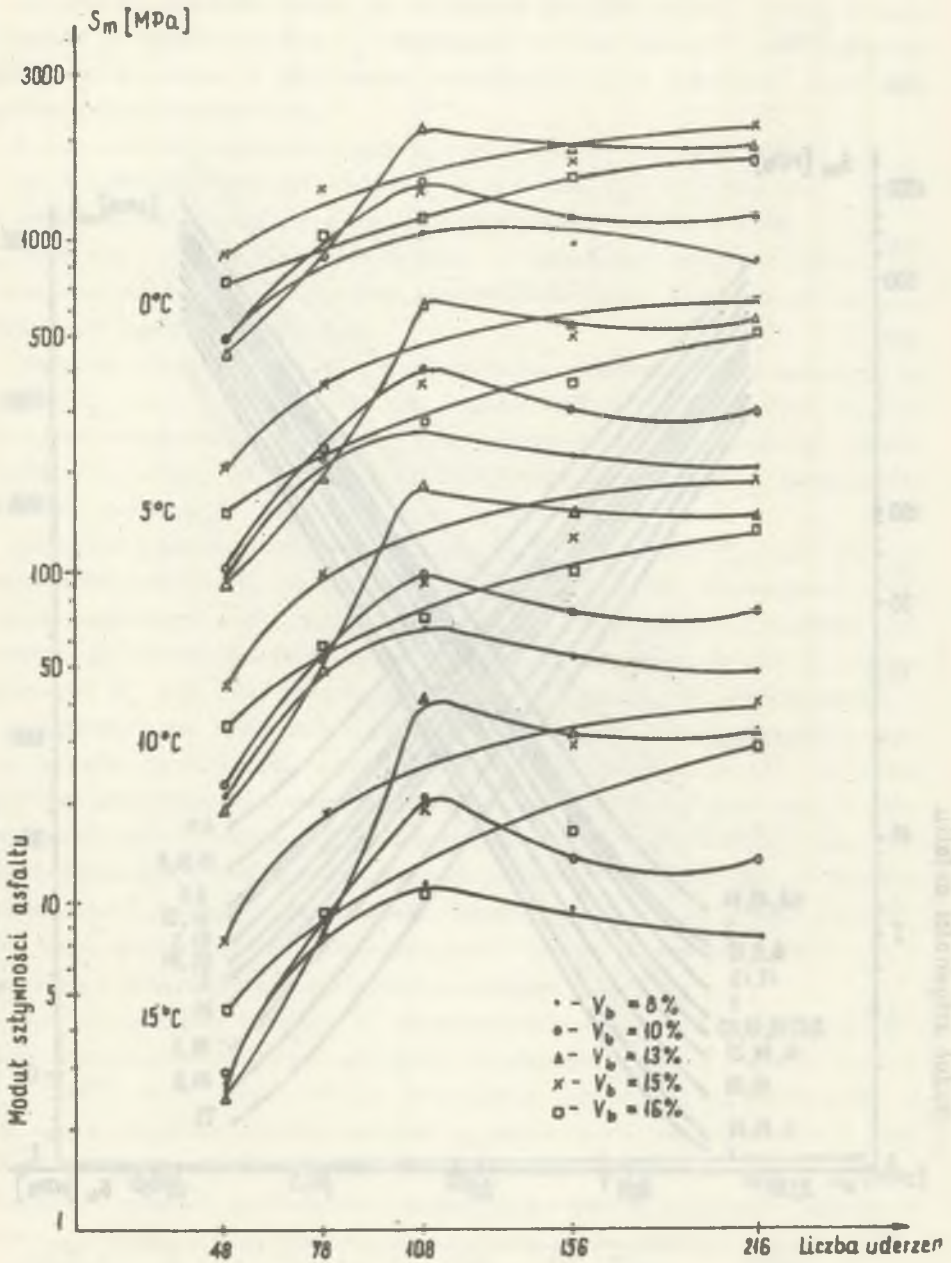


Rys. 4. Zależność modułu sztywności betonu asfaltowego drobnoziarnistego od liczby uderzeń ubijaka, zawartości asfaltu V_b i temperatury
 Fig. 4. The toutness moduls of the fine-grained asphalt concrete as a function of the number of the tamper blows, asphalt contents and the temperature

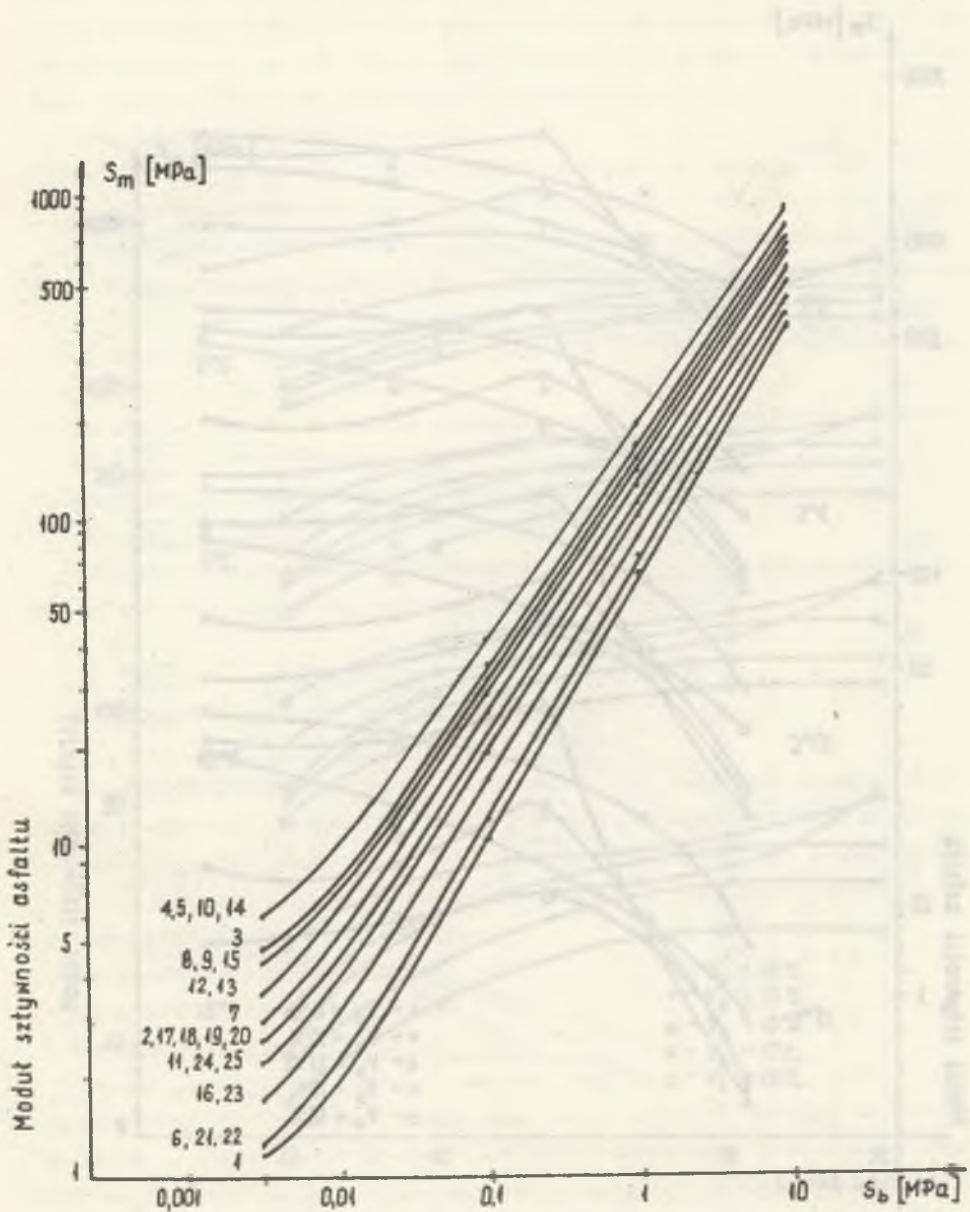


Rys. 5. Zależność modułu sztywności betonu asfaltowego średnioziarnistego od liczby uderzeń ubijaka, zawartości asfaltu V_b i temperatury

Fig. 5. The toughness moduls of the moderate-grained asphalt concrete as a function of the number of the tamper blows, asphalt contents and the temperature

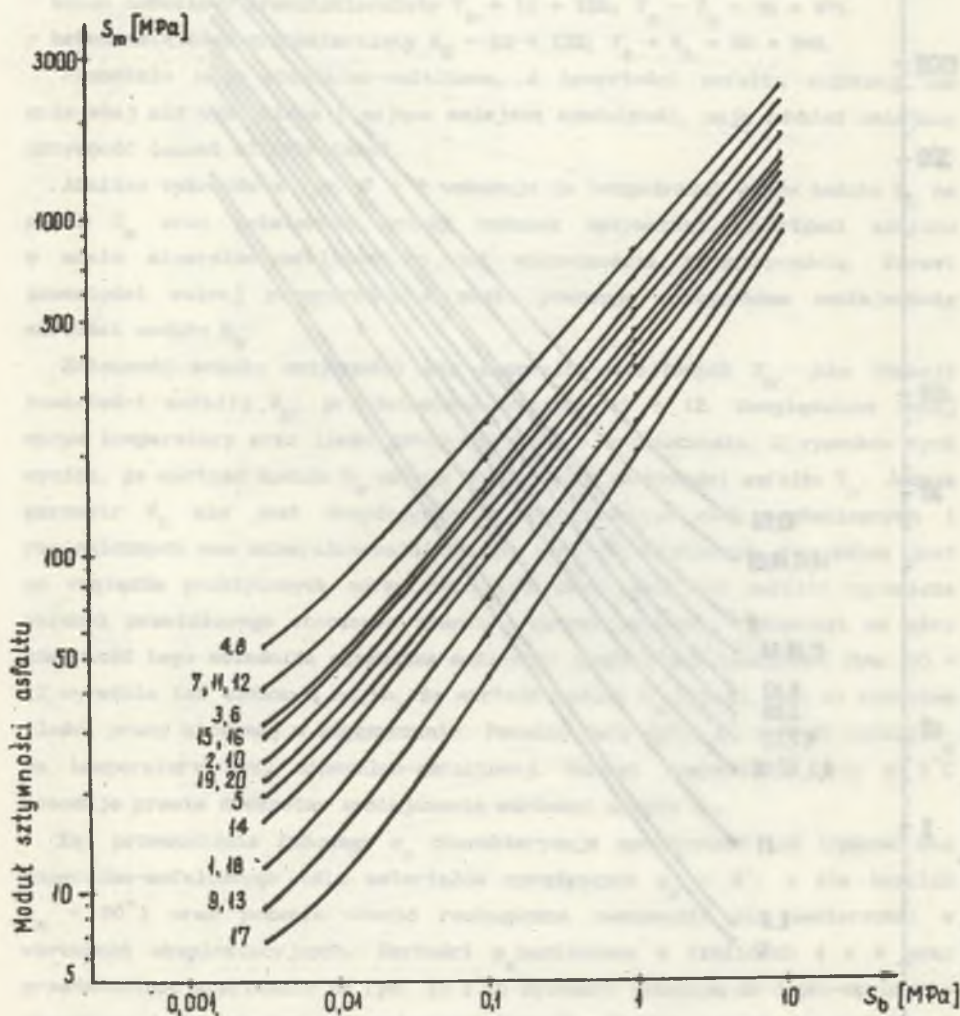


Rys. 6. Zależność modułu sztywności betonu asfaltowego gruboziarnistego od liczby uderzeń ubijaka, zawartości asfaltu V_b i temperatury
 Fig. 6. The toutness moduls of the coarse-grained asphalt as a funktion of the numbernof the tamper blows, asphalt contentsd and the temperature



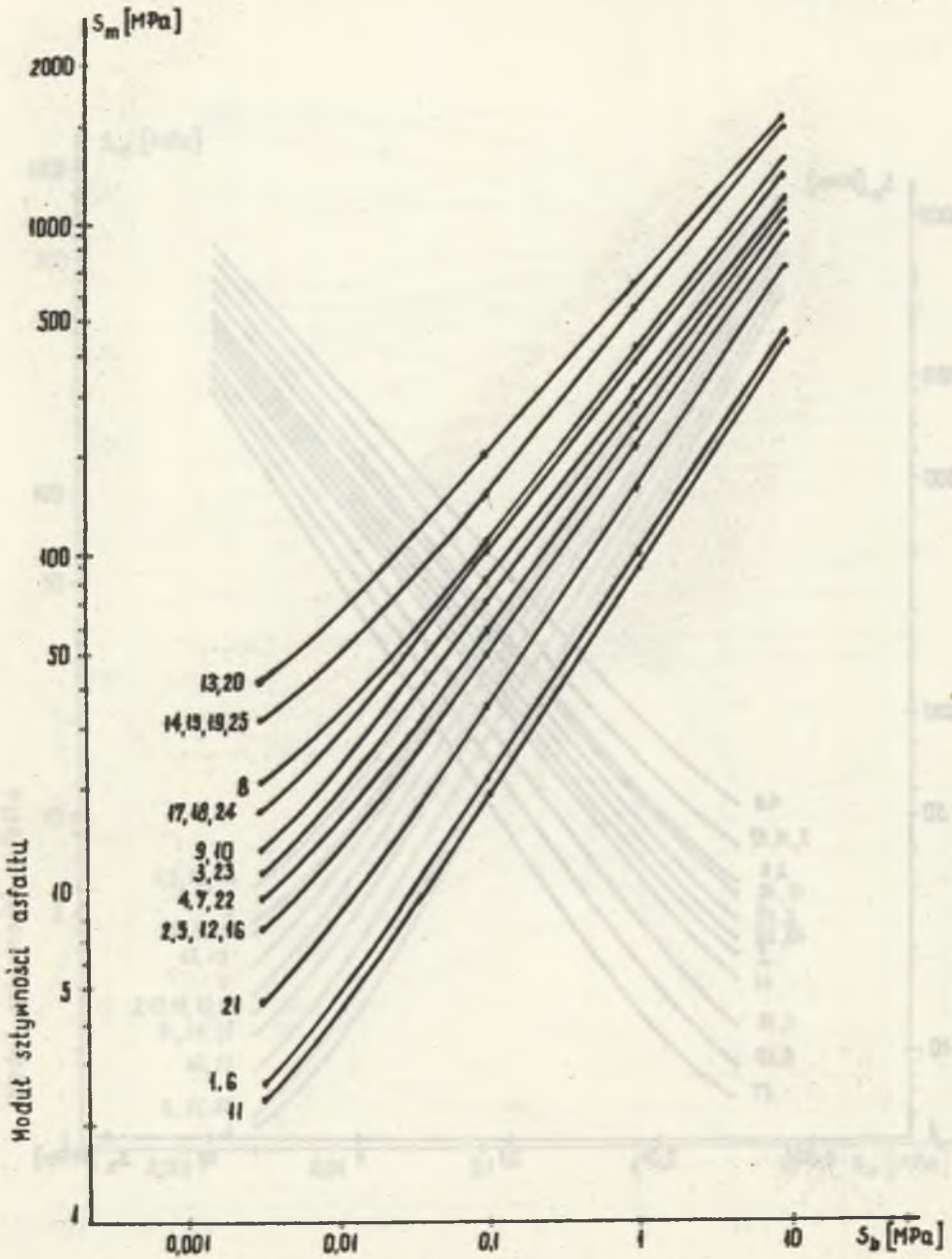
Rys. 7. Zależność modułu sztywności betonu asfaltowego drobnziarnistego od modułu sztywności asfaltu

Fig. 7. The toughness moduls of the coarse-grained asphalt as a function of the numberof the tamper blows, asphalt contentsd and the temperature



Rys. 8. Zależność modułu sztywności betonu asfaltowego średnioziarnistego od modułu sztywności asfaltu

Fig. 8. The toutness moduls of the coarse-grained asphalt as a funkction of the numberof the tamber blows, asphalt contentsd and the temperature



Rys. 9. Zależność modułu sztywności betonu asfaltowego gruboziarnistego od modułu sztywności asfaltu

Fig. 9. The toughness moduls of the coarse-grained asphalt as a funktion of the numberof the tamper blows, asphalt contentsd and the temperature

Z analizy wykresów wynika, że w badanym zakresie moduł S_m rośnie prawie liniowo ze wzrostem modułu S_b . Największe wartości modułu S_m wskazują masy mineralno-asfaltowe o największej szczelności, przy zawartości asfaltu w następujących objętościach:

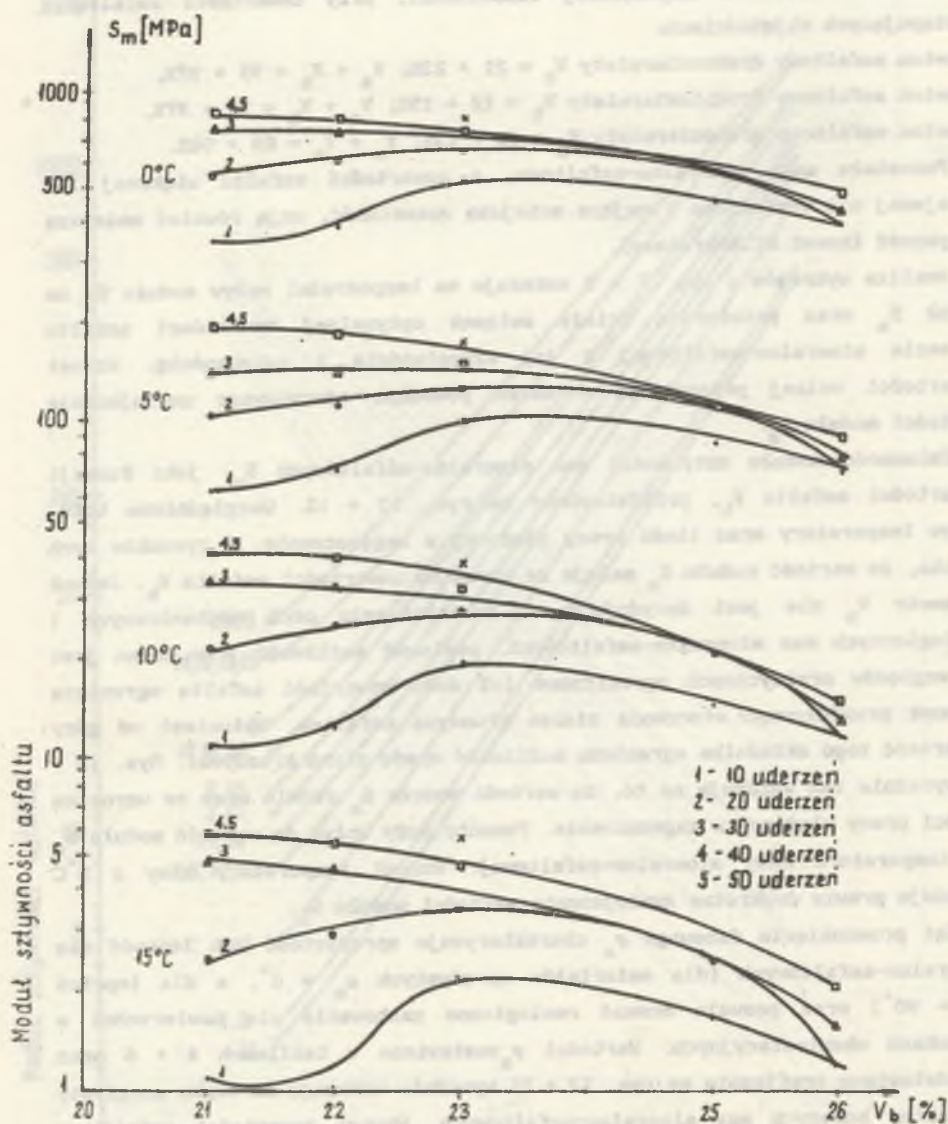
- beton asfaltowy drobnoziarnisty $V_b = 21 + 23\%$; $V_a + V_b = 95 + 97\%$,
- beton asfaltowy średnioziarnisty $V_b = 12 + 15\%$; $V_a + V_b = 96 + 97\%$,
- beton asfaltowy gruboziarnisty $V_b = 10 + 13\%$; $V_a + V_b = 88 + 94\%$.

Pozostałe masy mineralno-asfaltowe, o zawartości asfaltu większej lub mniejszej niż wymienione i mające mniejszą szczelność, mają również mniejszą sztywność (nawet kilkakrotnie).

Analiza wykresów z rys. 7 + 9 wskazuje na bezpośredni wpływ modułu S_b na moduł S_m oraz potwierdza ścisły związek optymalnej zawartości asfaltu w masie mineralno-asfaltowej z jej szczelnością i sztywnością. Wzrost zawartości wolnej przestrzeni w masie powoduje zdecydowane zmniejszenie wartości modułu S_m .

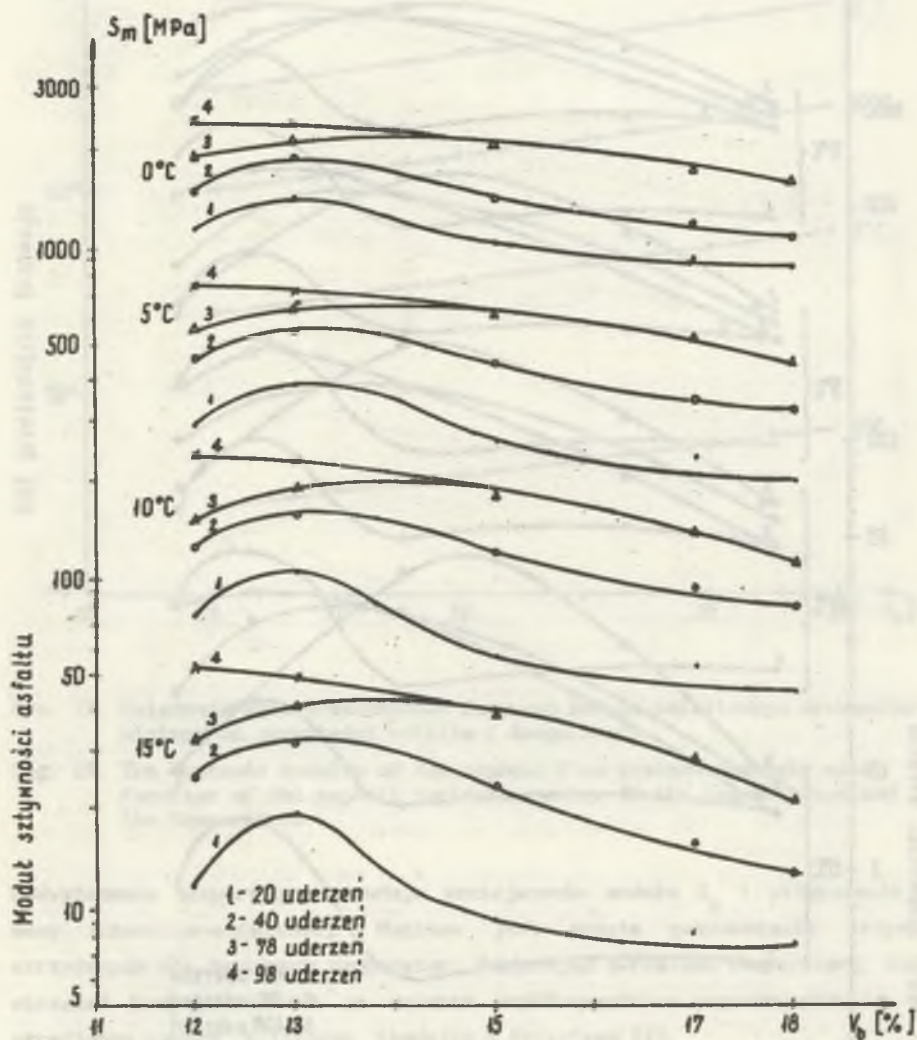
Zależność modułu sztywności mas mineralno-asfaltowych S_m , jako funkcji zawartości asfaltu V_b , przedstawiono na rys. 10 + 12. Uwzględniono tutaj wpływ temperatury oraz ilość pracy włożonej w zagęszczenie. Z rysunków tych wynika, że wartość modułu S_m maleje ze wzrostem zawartości asfaltu V_b . Jednak parametr V_b nie jest decydującym w kształtowaniu cech mechanicznych i reologicznych mas mineralno-asfaltowych, ponieważ możliwość jego zmian jest ze względów praktycznych ograniczona (od dołu zawartość asfaltu ogranicza warunek prawidłowego otoczenia ziaren kruszywa asfaltem, natomiast od góry zawartość tego składnika ogranicza możliwość opadu ziarn kruszywa). Rys. 10 + 12 wyraźnie też wskazują na to, że wartość modułu S_m rośnie wraz ze wzrostem ilości pracy włożonej w zagęszczenie. Ponadto duży wpływ na wartość modułu S_m ma temperatura masy mineralno-asfaltowej. Wzrost temperatury masy o 5°C powoduje prawie dwukrotne zmniejszenie wartości modułu S_m .

Kąt przesunięcia fazowego φ_m charakteryzuje sprężystość lub lepkość mas mineralno-asfaltowych (dla materiałów sprężystych $\varphi_m = 0^\circ$, a dla lepkich $\varphi_m = 90^\circ$) oraz pozwala ocenić reologiczne zachowanie się nawierzchni w warunkach eksploatacyjnych. Wartości φ_m zestawione w tablicach 4 + 6 oraz przedstawione graficznie na rys. 13 + 15 wyraźnie wskazują na lepko-sprężysty charakter badanych mas mineralno-asfaltowych. Wzrost zawartości asfaltu w masie powoduje wzrost wartości kąta przesunięcia fazowego φ_m , przy czym wartość ta rośnie liniowo. Bardzo istotny wpływ na wartość φ_m ma temperatura. Wzrost temperatury powoduje równoległe przesunięcie wykresów w kierunku wyższych wartości φ_m . Wyniki obliczeń tłumaczą fakt znacznego odkształcenia nawierzchni wykonanych z mas mineralno-asfaltowych z nadmierną zawartością asfaltu w wyższych temperaturach.



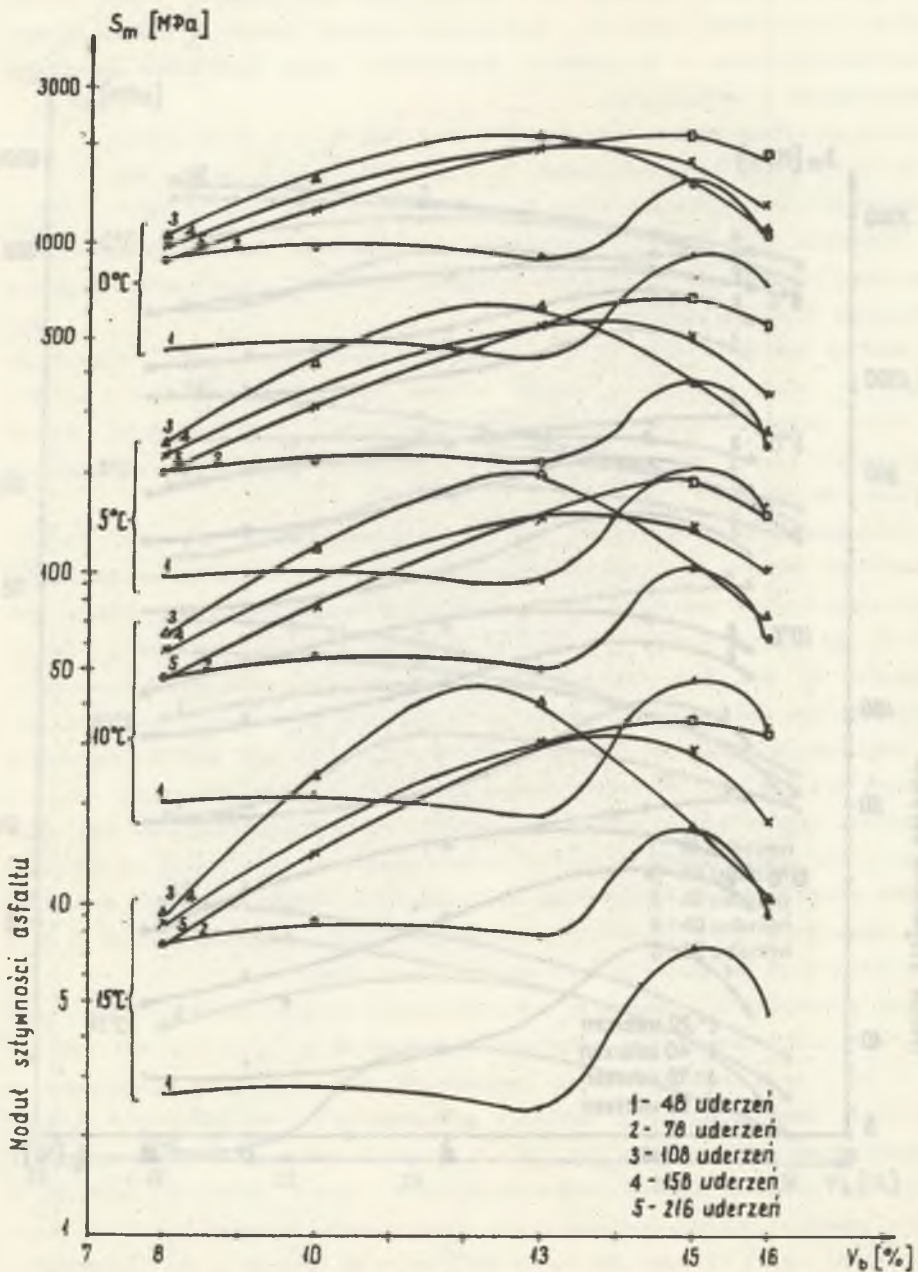
Rys. 10. Zależność modułu sztywności betonu asfaltowego drobnoziarnistego od zawartości asfaltu, liczby uderzeń ubijaka i temperatury

Fig. 10. The toughness modulus of the coarse grained asphalt concretes as a function of the toughness modulus of the asphalt



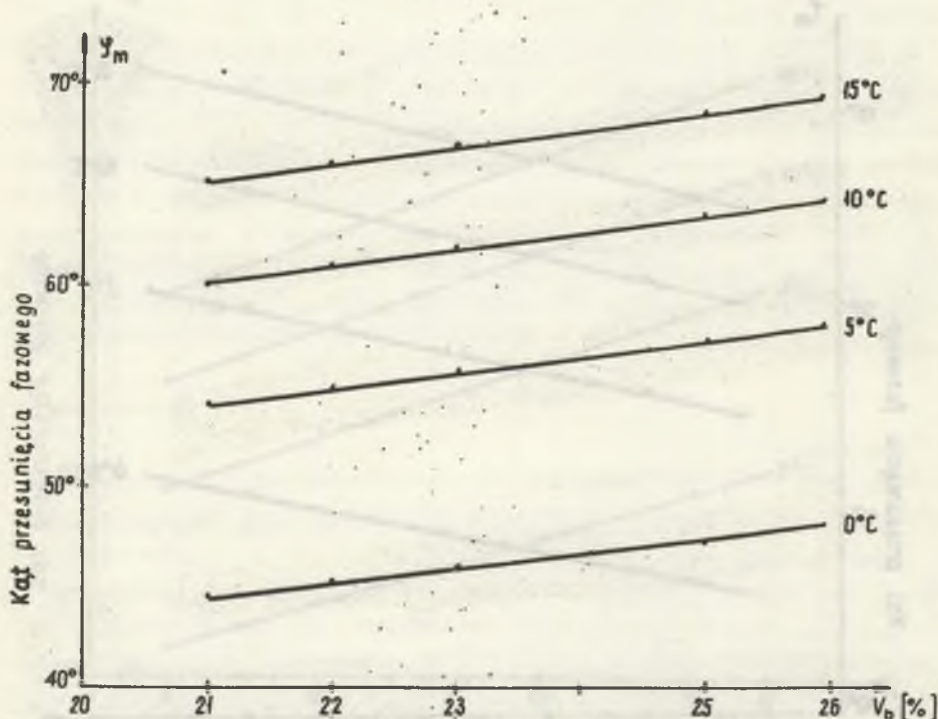
Rys. 11. Zależność modułu sztywności betonu asfaltowego średnioziarnistego od zawartości asfaltu, liczby uderzeń ubijaka i temperatury

Fig. 11. The toutness modulus of the moderate grained asphalt toutnes as a function of the toutness modulus of the asphalt



Rys. 12. Zależność modułu sztywności betonu asfaltowego gruboziarnistego od zawartości asfaltu, liczby uderzeń ubijaka i temperatury

Fig. 12. The toutness of the asphalt coarse-grained asphalt as a function the toutness modulus of the asphalt



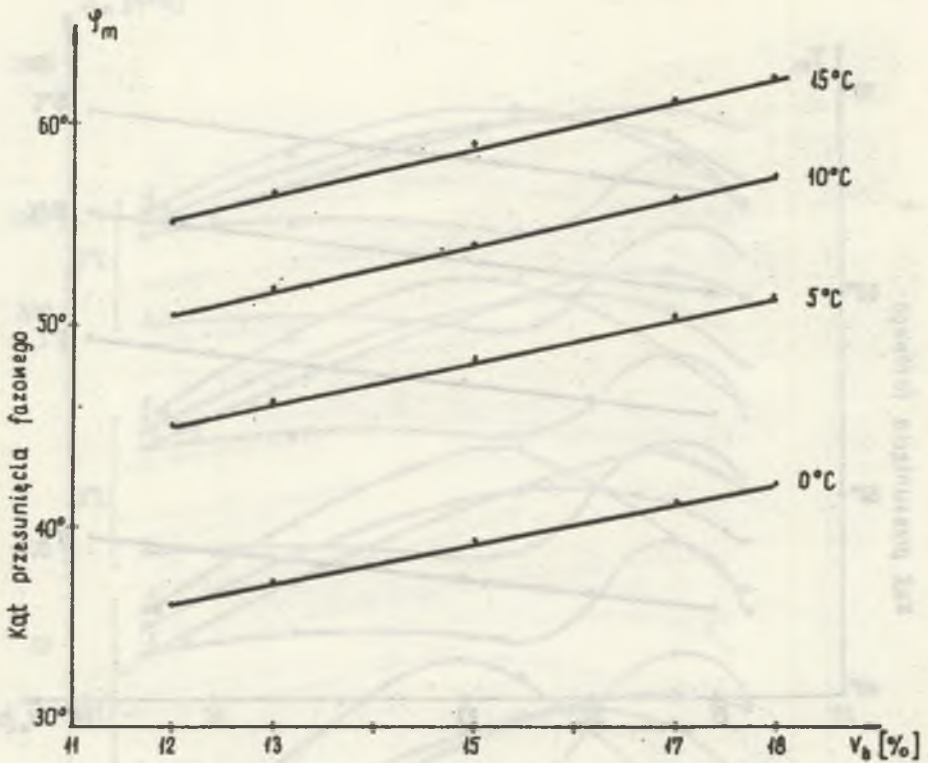
Rys. 13. Zależność kąta przesunięcia fazowego betonu asfaltowego drobnoziarnistego od zawartości asfaltu i temperatury

Fig. 13. The toughness modulus of the asphalt fine-grained concrete as a function of the asphalt contents, number of the tamper blows and the temperature

Podwyższenie temperatury powoduje zmniejszenie modułu S_m i zwiększenie φ_m masy mineralno-asfaltowej. Możliwe jest proste przesunięcie krzywych otrzymanych dla dowolnych temperatur. Wybierając określoną temperaturę, można otrzymać krzywą właściwą ze średnim współczynnikiem przesunięcia $\lg a_T$ określonym wzorem, Williamsa, Landella i Ferry'ego [1].

5. PODSUMOWANIE

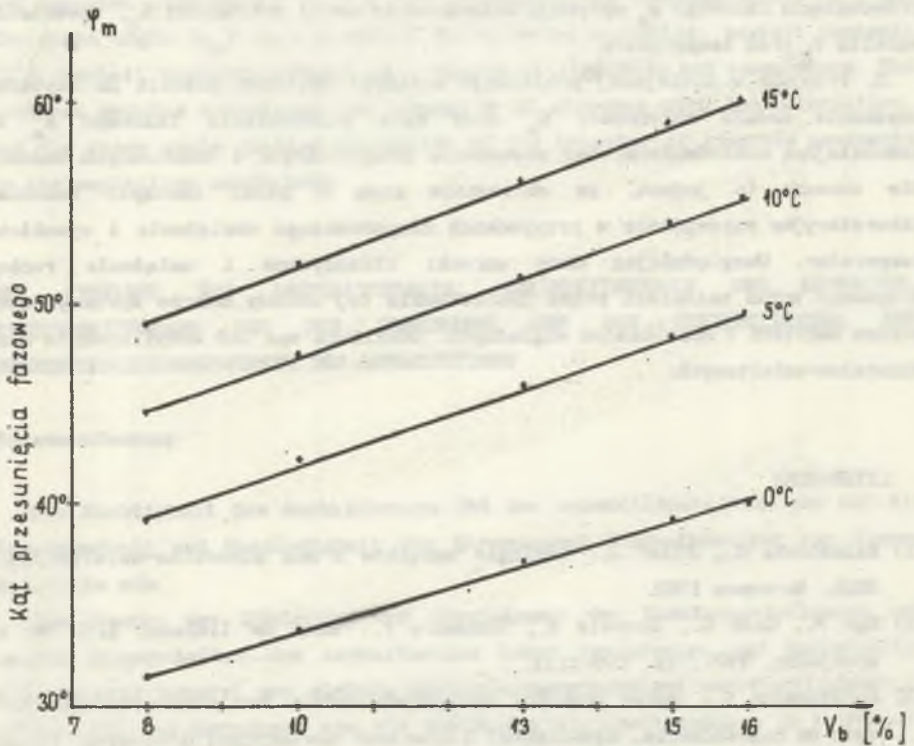
Przedstawione rozważania pozwalają na sformułowanie następujących uogólnień:



Rys. 14. Zależność kąta przesunięcia fazowego betonu asfaltowego średnioziarnistego od zawartości asfaltu i temperatury

Fig. 14. The phase shift angle of the moderate-grained asphalt modulus as a function of the asphalt contents, number of the tamper blows and the temperature

1. Optymalne zagęszczenie betonu asfaltowego w nawierzchni jest jednym z najistotniejszych czynników zapewniających jej sztywność i odporność na: odkształcenia plastyczne (zagłębienia lokalne, sfalowania poprzeczne, koleiny podłużne), pęknięcia poślizgowe i wpływy klimatyczne oraz długotrwałą przydatność eksploatacyjną. Podstawowym kryterium jakości masy mineralno-asfaltowej jest zagęszczalność, czyli zdolność do uzyskania możliwie największych wartości gęstości pozornej, na którą mają wpływ przede wszystkim zawartość asfaltu i jego właściwości reologiczne, uziarnienie i zawartość kruszywa oraz temperatura.



Rys. 15. Zależność kąta przesunięcia fazowego betonu asfaltowego gruboziarnistego od zawartości asfaltu i temperatury

Fig. 15. The toughness modulus of the coarse-grained asphalt concrete as a function of the asphalt contents, the number of the tamper blows and the temperature

2. Dobrze zagęszczona masa mineralno-asfaltowa powinna wykazywać wskaźnik zagęszczenia, wynoszący - według badań Marshalla - nie mniej niż 0,98 dla warstw ścieralnych oraz nie mniej niż 0,95 dla warstw niżej położonych.

3. Podstawowymi wielkościami charakteryzującymi właściwości reologiczne mas mineralno-asfaltowych są: moduł sztywności S_m i kąt przesunięcia fazowego φ_m . Moduł sztywności S_m jest parametrem zależności naprężeń od odkształceń, a kąt przesunięcia fazowego φ_m pozwala oceniać reologiczne zachowanie się nawierzchni z betonów asfaltowych w warunkach eksploatacyjnych. Moduł sztywności S_m jest przydatny przy wymiarowaniu nawierzchni drogowych i lotniskowych z mas mineralno-asfaltowych.

4. Bezpośredni wpływ na wartość modułu sztywności mas mineralno-asfaltowych S_m mają: moduł sztywności asfaltu S_b , zawartość asfaltu V_b , zagęszcze-

nie, czyli objętościowa zawartość kruszywa i asfaltu oraz temperatura. Na kąt przesunięcia fazowego φ_n wpływają bezpośrednio moduł sztywności S_b , zawartość asfaltu V_b oraz temperatura.

5. Przyjęta w niniejszej publikacji metodyka obliczeń pozwala na szybkie uzyskanie modułu sztywności S_n oraz kąta przesunięcia fazowego φ_n z zadowalającą dokładnością, bez stosowania długotrwałych i kosztownych badań. Nie oznacza to jednak, że obliczenia mogą w pełni zastąpić badania laboratoryjne szczególnie w przypadkach długotrwałego obciążenia i wysokich temperatur. Uwzględniając dane warunki klimatyczne i natężenie ruchu drogowego można natomiast przez zastosowanie tej metody dobrze aproksymować poziom naprężeń i odkształceń względnych. Umożliwia ona też modyfikowanie mas mineralno-asfaltowych.

LITERATURA

- [1] Kalabińska M., Piłat J.: Reologia asfaltów i mas mineralno-asfaltowych. WKiŁ, Warszawa 1982.
- [2] Uge P., Gest G., Gravois A., Bonnaure F.: Bull de liaison. LPC. Nr V specjalny, 1977, (s. 199-213).
- [3] Wojdanowicz S.: Wpływ grubości układanych warstw mas mineralno-asfaltowych na zagęszczenie. Właściwości i trwałość nawierzchni drogowych. Prace COB i RTD 3) WKiŁ, Warszawa 1971.
- [4] BN-70/8931-09 - Drogi samochodowe i lotniskowe. Oznaczenie stabilności i odkształcenia mas mineralno-asfaltowych.
- [5] PN-74/S-96022 - Drogi samochodowe i lotniskowe. Nawierzchnie z betonu asfaltowego.
- [6] PN-73/6771-03 - Drogi samochodowe i lotniskowe. Projektowanie mas betonu asfaltowego.

THE EFFECT OF ASPHALT CONTENTS AND TAUTNESS MODULUS, DEGREE OF TIGHTNESS AND TEMPERATURE ON THE TAUTNESS MODULUS AND PHASE ANGLE OF ASPHALT CONCRETE

Summary

Tightness of the asphalt concrete effects the exploitation usability and life of road and aerodrome pavements. To explain and evaluate the effect of density on some features of the asphalt concrete (without long and costful experiments) 70 results of experiments from [3] are used. Respective formulas

and computer programs [1, 2] are used to compute the toutness moduls (S_n) and the phase angle (φ_n) as a function of following variables: asphalt contents (V_b), asphalt toutness modulus (S_b), degree of tightness and temperature. The toutness modulus associates the intensity of stresses with the deformation, and the phase angle enables evaluation of the behavior of concrete pavements in the exploitation conditions.

DER EINFLUSS DES AASPHALTGEHALTS, STEIFHEITSMODULS DES ASPHALTES, DICHTIGHEITSGRADS UND DER TEMPERATUR AUF DEN STEIFHEITSMODUL UND PHASENVERSCHIEBUNGSWINKEL DES ASPHALTBETONS

Zusammenfassung

Die Dichtigkeit des Asphaltbetons übt der wesentlichste Einfluss auf die Brauchbarkeit und Beständigkeit der Strassen und Flughafendecken von diesem Materiale aus.

Zum Zwecke der Erklärung und Abrechnung des Dichtungseinflusses auf manche Eigenschaften des Asphaltbetons (ohne langwierige und kostspielige Experimente) benutzt man siebzig Untersuchungsergebnisse veröffentlichte in Arbeit [3] und berechnet man die Werte des Steifheitsmodulus (S_n) und des Phasenverschiebungswinkels (φ_n) mittels der entsprechenden Formeln und Computerprogramms [1, 2], als Funktionen der folgenden Grösse: Asphaltgehalt (V_b) Steifheitsmodul des Asphalt (S_b), Dichtigkeitsgrad des Asphaltbetons und Temperatur.

Der Steifheitsmodul verbindet die Spannung mit der Formänderung. Der Phasenverschiebungswinkel ermöglicht die Abschätzung des Deckenverhaltens in Exploitationsverhältnissen.