



ŁUKASZ MEJŁUN

Politechnika Gdańska
lukasz.mejlun@pg.edu.pl



PIOTR JASKUŁA

Politechnika Gdańska
piotr.jaskula@pg.edu.pl

Odporność na deformacje trwałe betonu asfaltowego przeznaczanego do warstwy ścieralnej z różnymi asfaltami na podstawie badania *Flow Number*

Jednym z ważniejszych wymogów stawianych mieszankom mineralno-asfaltowym, stosowanym do warstw asfaltowych nawierzchni, jest odpowiednia ich odporność na deformacje trwałe. Poza czynnikami materiałowymi, zależą one od czynników zewnętrznych – temperatury nawierzchni i obciążeń pojazdami.

Analizy [12, 14] wskazują, że w warunkach polskich w trakcie upalnego lata powierzchnia jezdni może nagrzewać się do ok. 60°C,

w warstwie ścieralnej (na głębokości do 5 cm) temperatura może przekraczać 50°C, a warstwy asfaltowe położone do głębokości 30 cm mogą osiągać temperatury przekraczające 30°C. Temperatura powierzchni jezdni powyżej 50°C może utrzymywać się przez 1/3 doby, a temperatura ponad 40°C nawet przez 1/2 doby.

Obciążenia nawierzchni drogowych ze względu na charakter zmienności można podzielić na stałe w czasie (statyczne) i zmienne w czasie (dynamiczne). Obciążenia statyczne występują na drogach w trakcie zatrzymań pojazdów np. przed skrzyżowaniami (krótkotrwałe) i ich postojów, czy parkowania (długotrwałe). Obciążenia dynamiczne mogą występować w sposób sporadyczny (przejazd pojedynczych pojazdów w dłuższych interwałach) lub cykliczny (przejazd

wielu pojazdów w ruchu o dużym natężeniu) oraz mogą mieć charakter szybkozmienny (np. płynny ruch autostradowy z dużymi prędkościami) lub wolnozmienny (np. powolny ruch pojazdów w zatorze drogowym).

Niezależnie od charakterystyki obciążenia, w miarę trwania obciążenia statycznego lub w wyniku kolejnych obciążeń powtarzalnych obserwuje się przyrost deformacji trwałej materiału ze zmienną prędkością (rysunek 1).

Przyrost deformacji trwałej można podzielić na 3 fazy [5, 13]:

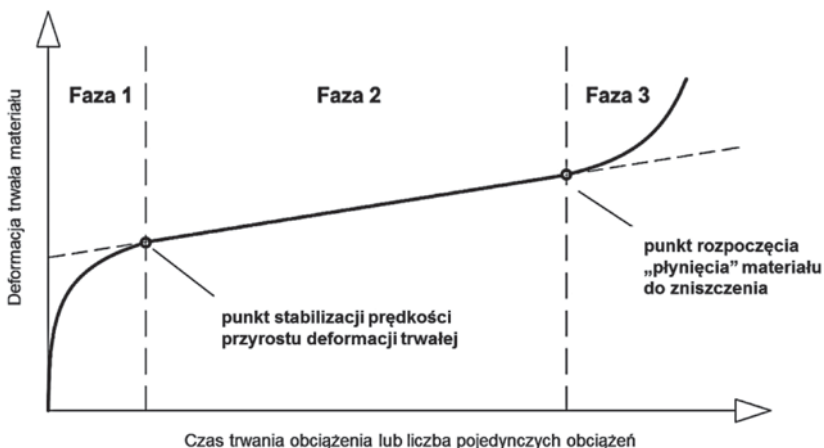
- *Faza 1* – początkowo duża prędkość przyrostu deformacji trwałej materiału (powodowana jego dogęszczeniem się) ulega stopniowemu zmniejszeniu i stabilizacji.
- *Faza 2* – stała prędkość przyrostu deformacji trwałej; materiał stopniowo traci zdolność do dalszego przenoszenia obciążeń.
- *Faza 3* – prędkość przyrostu deformacji trwałej; materiału ulega gwałtownemu zwiększeniu (ang. *flow* – płynięcie); materiał wyczerpuje zdolność do przenoszenia obciążeń, co prowadzi do jego zniszczenia.

Z praktycznego punktu widzenia ważne jest, aby nie dopuścić do sytuacji, w której przyrost deformacji trwałej mieszanek mineralno-asfaltowych przeszedłby z fazy 2 w fazę 3, prowadzącą przez płynięcie materiału do jego zniszczenia.

Metody badań odporności mieszanek mineralno-asfaltowych na deformacje trwałe

Odporność mieszanek mineralno-asfaltowych na deformacje trwałe jest badana w warunkach laboratoryjnych na świecie w różnicowany sposób. Badania te można ogólnie podzielić na dwie grupy – badania symulujące ruch koła (znane powszechnie jako badania kołowania) oraz badania pełzania.

Wśród badań polegających na symulowaniu obciążenia mieszanki mineralno-asfaltowej poruszającym się kołem wyróżnić można badania z wykorzystaniem takich urządzeń jak: APA (ang. *Asphalt Pavement Analyzer*) [3], HWTT (ang. *Hamburg Wheel Tracking Tester*) [2], duży



Rys. 1. Przyrost deformacji trwałej materiału [5, 13]

koleinierz (FRT – ang. *French Rutting Tester*, in. LCPC – fr. *Laboratoire Central des Ponts et Chaussées*) [15], czy stosowany powszechnie między innymi w Polsce mały koleinierz [15].

Badania pełzania są zróżnicowane pod względem: geometrii próbek; schematu, zmienności i wielkości obciążenia czy temperatury. Badania mogą występować w różnych wariantach w zależności od:

- *schematu obciążenia*: 1-osiowe ściskanie próbek walcowych, 3-osiowe ściskanie próbek walcowych z ciśnieniem (skrępowaniem) bocznym, czy zginanie próbek walcowych (3-punktowe lub 4-punktowe).
- *charakteru obciążenia* – statyczny (pełzanie statyczne – pod stałym w czasie obciążeniem), dynamiczny (pełzanie dynamiczne przy obciążeniu powtarzalnym zmiennym cyklicznie w sposób sinusoidalny, impulsowy czy schodkowy).

Przykładami wykorzystania różnych badań do oceny odporności mieszanek mineralno-asfaltowych na deformacje trwałe są między innymi badania: Judyckiego [11] – pełzanie statyczne przy ścisaniu; Dołyckiego [5, 6] – pełzania statyczne i dynamiczne pod obciążeniem powtarzalnym impulsowym (schodkowym), Szydły i Mackiewicz [17] – pełzanie statyczne realizowane w programie 3 powtarzających się po sobie cykli obciążenia i odciążenia.

Odporność na deformacje trwałe może być także określana w laboratorium nie wprost, tj. na podstawie pomiaru innych parametrów. Na przykład Meijun w [14] oceniał odporność na deformacje trwałe mieszanek mineralno-asfaltowych na podstawie ich właściwości lepkosprężystych i parametrów reologicznych określonych w badaniu ścisania pod obciążeniem powtarzalnym (sinusoidalnym). Innym przykładem takiej oceny mogą być prace Gajewskiego, Sybilskiego, Bańkowskiego i in. [17], którzy do tego celu wykorzystali zaproponowany przez siebie parametr funkcjonalny asfaltu, określony w badaniu pełzania lepszczka pod obciążeniem powtarzalnym.

W niniejszym artykule skupiono się na ocenie odporności mieszanek mineralno-asfaltowych na deformacje trwałe na podstawie badania *Flow Number* – pełzania dynamicznego walcowych próbek mieszanek mineralno-asfaltowych poddanych 1-osiowemu ścisaniu (bez ciśnienia bocznego) pod obciążeniem powtarzalnym (impulsowym). Autorzy w artykule posługują się oryginalnym nazewnictwem badania *Flow Number*, gdyż obecnie brak jest jego polskiego odpowiednika. Być może w przyszłości nazwa taka zostanie zaproponowana i wprowadzona do stosowania w naszym kraju.

Celem niniejszego artykułu jest zaprezentowanie oceny odporności na deformacje trwałe betonu asfaltowego do warstwy ścieralnej AC 11S dla kategorii ruchu

KR3–KR6 z zastosowaniem trzech różnych rodzajów asfaltów (drogowego 50/70, modyfikowanego 45/80-55 oraz wysokomodyfikowanego 45/80-80), przeprowadzonej na podstawie wyników badania *Flow Number*.

Podstawy teoretyczne badania *Flow Number*

Idea badania *Flow Number*

Badanie *Flow Number* zostało opracowane w USA jako szybkie badanie typu eksploatacyjnego (ang. *performance test*), służące do oceny odporności mieszanek mineralno-asfaltowych na deformacje trwałe [4]. Polega ono na wywołaniu w cylindrycznej próbce materiału cyklicznie zmiennego impulsowego naprężenia ściskającego i rejestrowaniu przyrostu odkształceń materiału w kolejnych cyklach obciążenia (rys. 2).

Ideą badania jest wyznaczenie takiej liczby obciążeń $N = FN$ (wartość *Flow Number*), dla której mieszanka mineralno-asfaltowa, według rysunku 1, przechodzi z fazy 2 w fazę 3 przyrostu deformacji (odkształceń) trwałych. Za bardziej odporny na deformacje (odkształcenia) trwałe materiał uważany jest taki, dla którego wartość FN jest większa.

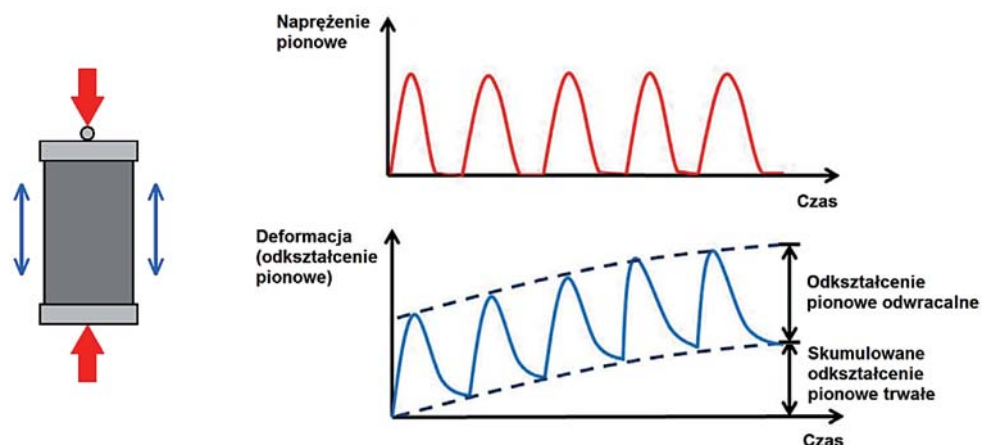
Wyznaczenie wartości *Flow Number* (FN)

Wyznaczenie wartości *Flow Number* (FN) jest nieodłącznie związane z funkcją prędkości przyrostu odkształcenia trwałego $\dot{\varepsilon}_p$ danej wzorem (1) postaci:

$$\dot{\varepsilon}_p(N) = \frac{d\varepsilon_p(N)}{dN} \quad (1)$$

w którym: $\varepsilon_p(N)$ to odkształcenie trwałe dla liczby cykli N .

Wartość FN na podstawie (1) może być zatem definiowana jako liczba obciążeń N , powyżej której prędkość przyrostu odkształcenia trwałego zaczyna rosnać. Z praktycznego punktu widzenia, do wyznaczenia wartości FN , wygodniej jest posługiwać się drugą pochodną funkcji $\varepsilon_p(N)$, która



Rys. 2. Obciążenia i deformacje w badaniu *Flow Number* [18]

określa, jak szybko zmienia się prędkość przyrostu odkształcenia trwałego i co można zapisać jako (2):

$$\ddot{\varepsilon}_p(N) = \frac{d^2 \varepsilon_p(N)}{dN^2} \quad (2)$$

W fazie 1 zmiana prędkości przyrostu odkształcenia trwałego, wyznaczona ze wzoru (2), jest ujemna (zmniejsza się, stabilizuje), natomiast w fazie 3 jest dodatnia (zwiększa się, destabilizuje). Dlatego definicja wartości *Flow Number* (FN) może być praktycznie rozumiana jako: taka liczba obciążeń N , dla której druga pochodna funkcji odkształcenia trwałego $\varepsilon_p(N)$ zmienia się z ujemnej na dodatnią [4], co zapisać można jako (3):

$$FN = N : \begin{cases} \ddot{\varepsilon}_p(N-1) < 0 \\ \ddot{\varepsilon}_p(N+1) > 0 \end{cases} \quad (3)$$

Ponieważ w trakcie badania laboratoryjnego odkształcenia trwałe nie są mierzone w sposób ciągły, ale dyskretny, to wartość pierwszej (1) i drugiej (2) pochodnej funkcji $\varepsilon_p(N)$ w praktyce może być, z wystarczająco dobrym przybliżeniem, obliczana dla każdego N (zmieniającego się co 1) z zależności odpowiednio (4) i (5) [4]:

$$\dot{\varepsilon}_p(N) = \frac{\varepsilon_p(N+1) - \varepsilon_p(N-1)}{2} \quad (4)$$

$$\ddot{\varepsilon}_p(N) = \frac{\dot{\varepsilon}_p(N+1) - \dot{\varepsilon}_p(N-1)}{2} \quad (5)$$

Odształcenie trwałe dla wartości FN

W praktyce może zdarzyć się przypadek, że dla dwóch porównywanych materiałów wartości wyznaczonych FN będą sobie równe, ale odkształcenia trwałe dla tych samych ilości obciążeń dla tych materiałów mogą być różne. Z tego powodu, oprócz wartości FN, warto również analizie poddać wartość odkształcenia trwałego, występującego dla tej samej liczby obciążeń N , czyli np. wartość $\varepsilon_p(N = FN)$ [18].

Za materiał bardziej odporny na deformacje trwałe uważa się taki, który charakteryzuje większa wartość FN i/lub mniejszy poziom odkształceń trwałych, czyli mniejsze $\varepsilon_p(FN)$.

Parametr odporności na deformacje trwałe (indeks FN)

Oceniając odporność badanych materiałów na deformacje trwałe, w celu uwzględnienia jednocześnie wartości *Flow Number* (FN) i odkształcenia trwałego $\varepsilon_p(FN)$, według [18] stosuje się parametr wiążący te wielkości ze sobą, zwany *indeksem FN*, postaci (9):

$$\text{indeks FN} = \frac{\varepsilon_p(FN)}{FN} \quad (6)$$

Indeks ten wyraża średni przyrost odkształcenia trwałego, przypadający na jeden cykl obciążenia w zakresie liczby

obciążeń $N \in [1; FN]$. Im wartość indeksu FN jest mniejsza (mniejsze $\varepsilon_p(FN)$ i/lub większe FN), tym odkształcenia trwałe narastają wolniej w kolejnych cyklach, a sam materiał jest bardziej odporny na tego typu deformacje.

Wymagania dotyczące wartości FN

Wymagania dotyczące wartości *Flow Number* zostały podane w amerykańskiej normie AASHTO TP-79 (2015) [4]. Norma ta podaje jedynie minimalne wymagane FN ze względu na wielkość obciążenia ruchem, wyrażonego osiami standardowymi ESAL (80 kN), nie podaje zaś wymagań co do poziomów odkształceń trwałych i wartości parametru odporności na deformacje trwałe. W tabeli 1 przytoczono te wymagania oraz podano odpowiadające mu obciążenie osiami standardowymi 100 kN według polskiego KTKN PiP 2014 [9]. Należy zaznaczyć, że norma [4] wyszczególnia wymagania w ogólności dla mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco (ang. HMA) oraz na ciepło (ang. WMA), natomiast nie różnicuje tych wymagań ze względu na przeznaczenie mieszanek mineralno-asfaltowych do poszczególnych warstw. Wynika to z faktu, że w USA od momentu wprowadzenia metody Superpave, poza typowymi mieszankami do warstwy ścieralnej, betony asfaltowe do wszystkich warstw projektuje się przy wymaganiu tej samej docelowej zawartości wolnych przestrzeni wynoszącej 4%.

Tabela 1. Wymagania dotyczące minimalnych wartości FN wg [4]

Obciążenie ruchem [mln. osi stand.]		Mieszanka mineralno-asfaltowa	
ESAL wg [1]	N ₁₀₀ wg [4]	HMA	WMA
< 3	< 1,23	–	–
od 3 do < 10	od 1,23 do < 4,10	50	30
od 10 do < 30	od 4,10 do < 12,29	190	105
≥ 30	≥ 12,29	740	415

Metodologia badania

Badane materiały

Badanie *Flow Number* zostało przeprowadzone dla betonu asfaltowego do warstwy ścieralnej AC 11S z trzema rodzajami asfaltów: drogowym 50/70 (dla KR3–KR4) wg PN-EN 12591:2010, modyfikowanym 45/80-55 (dla KR3–KR6) wg PN-EN14023:2011 oraz wysokomodyfikowanym (HiMA) 45/80-80 (dla KR3–KR6) wg PN-EN 14023:2011/Ap1:2014:04. Właściwości zastosowanych asfaltów zostały podane w tabeli 2 na podstawie badań wykonanych w ramach programu badawczego RID-1/25 [16].

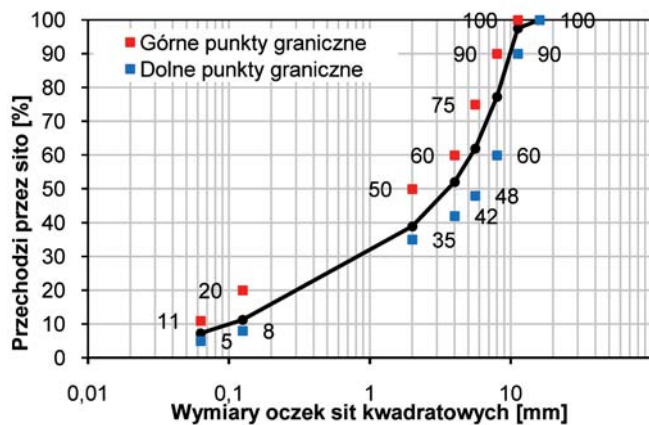
Beton asfaltowy AC 11S został zaprojektowany zgodnie z wymaganiami technicznymi WT-2: 2014 [10]. W badaniach wykorzystano materiały, projekt i recepty betonów asfaltowych stosowanych w programie badawczym RID-1/25 [16]. Z tego powodu do zaprezentowanych w artykule badań założono, podobnie jak w programie badawczym, stałą dla wszystkich mieszanek zawartość asfaltu wynoszącą 5,6%. Skład, parametry objętościowe oraz podstawowe cechy

badanych mieszanek mineralno-asfaltowych podano w tabeli 3. Na rysunku 3 zaprezentowano krzywą uziarnienia mieszanki mineralnej dla badanych materiałów.

Tabela 2. Właściwości zastosowanych asfaltów [16]

Cecha		Asfalt			
		50/70	45/80-55	45/80-80	
Penetracja w 25°C, [0,1 mm], wg PN-EN 1426	przed RTFOT	62	59	56	
	po RTFOT	35	41	43	
Temp. mięknięcia PiK, [°C], wg PN-EN 1427	przed RTFOT	49,2	60,2	96,2	
	po RTFOT	57,1	66,5	95,5	
Lepkość dynamiczna [Pa.s], wg PN-EN 12596 w temperaturze	przed RTFOT	60°C	323,7	n/b	n/b
		90°C	10,9	46,2	
		110°C	2,1	7,6	
		135°C	0,5	1,4	

n/b – nie badano



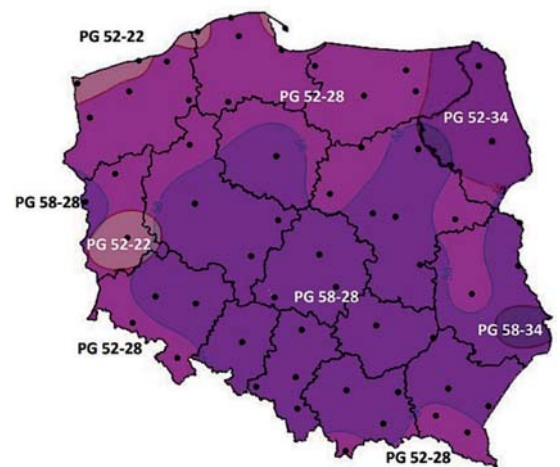
Rys. 3. Krzywa uziarnienia badanych mieszanek mineralno-asfaltowych wg PN-EN 13108 i WT-2:2014 [10]

Przygotowanie próbek

Badane mieszanki mineralno-asfaltowe poddano starzeniu krótkoterminowemu, przeprowadzonemu zgodnie z normą AASHTO-R30 [1]. Próbkę do badania *Flow Number*, o docelowej średnicy \varnothing 100 mm i wysokości 150 mm, zostały przygotowane poprzez zagęszczenie większych walców o średnicy \varnothing 150 mm i wysokości 170 mm w prasie żyratorowej w temperaturze 135°C dla asfaltu 50/70 i w temperaturze 145°C dla asfaltów modyfikowanych. Liczba żyracji została ustalona poprzez obliczenie objętości tak, aby po zagęszczeniu próbki miały odpowiedni poziom zagęszczenia. Tak przygotowane duże walce zostały następnie docięte wiertnicą i piłą do docelowych wymiarów. Do każdego z trzech badanych betonów asfaltowych przygotowano po 4 próbki walcowe (w sumie 12 próbek).

Warunki i przeprowadzenie badania

- PG 52-22
- PG 52-28
- PG 52-34
- PG 58-22
- PG 58-28
- PG 58-34



Rys. 4. Podział Polski na strefy klimatyczne w zależności od PG dla warstwy ścieralnej przy $P = 98\%$ [16]

Tabela 3. Parametry objętościowe i odporność badanych mieszanek mineralno-asfaltowych na koleinowanie

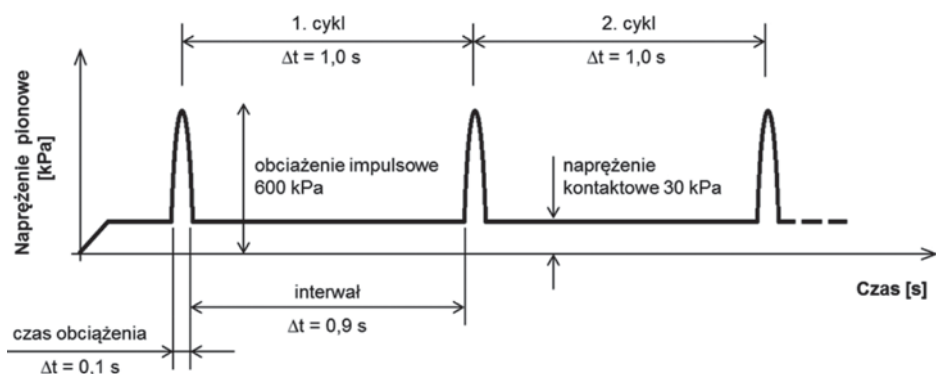
Cecha	Mieszanka mineralno-asfaltowa			
	AC 11S 50/70 (KR3-KR4)*	AC 11S 45/80-55 (KR3-KR6)*	AC 11S 45/80-80 (KR3-KR6)	
Zawartość asfaltu w mma, %, m/m	5,6	5,6	5,6	
Gęstość mma wg PN-EN 12697-5, Mg/m ³	2,491	2,488	2,481	
Gęstość objętościowa, wg PN-EN 12697-6, Mg/m ³	2,436	2,431	2,430	
Zawartość wolnych przestrzeni, wg PN-EN 12697-8, %	2,2	2,3	2,1	
Zawartość wolnych przestrzeni w mieszance mineralnej VMA, %	15,6	15,6	15,4	
Zawartość wolnych przestrzeni wypełnionych lepiszczem VFA, %	85,8	85,4	86,4	
Odporność na deformacje trwałe, wg PN-EN 12697-22	WTS _{AIR} , mm/1000 cykli	0,11	0,04	0,03
	PRD _{AIR} , %	9,0	5,3	1,34

* W oparciu o badania wykonano w ramach program RID-1/25 [16]

Badanie *Flow Number* zostało przeprowadzone na podstawie normy AASHTO TP-79 (2015) [4].

Próbki przed badaniem były kondycjonowane przez 4 godziny do docelowej temperatury badania, wynoszącej 58°C. Temperaturę badania, zgodnie z [4], wyznaczono na podstawie podziału Polski na strefy klimatyczne w zależności od PG [16]. Wybrano najwyższą górną granicę PG występującą w Polsce dla warstwy ścieralnej przy prawdopodobieństwie wynoszącym $P = 98\%$. Podział Polski na strefy klimatyczne związane z PG przedstawiono na rysunku 4.

Badanie *Flow Number* przeprowadzono w urządzeniu AMPT (ang. *Asphalt Mixture Performance Tester*) w schemacie cyklicznego ściskania osiowego bez skrępowania bocznego. W badaniu, zgodnie z [4], zastosowano impulsowe naprężenie pionowe o wartości 600 kPa, trwające przez



Rys. 5. Obciążenia w badaniu Flow Number [4]

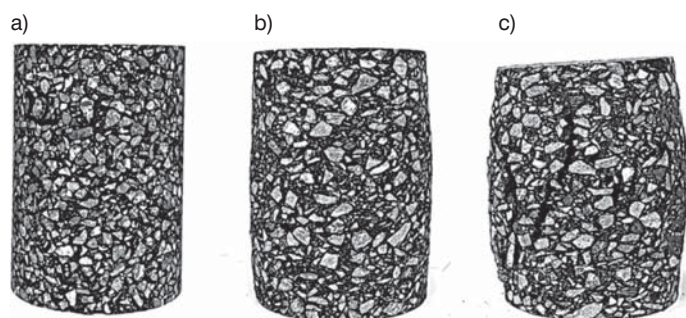
0,1 sekundy z interwałem 0,9 sekundy oraz stałe napężenie kontaktowe o wartości 30 kPa (rys. 5).

Niewątpliwą zaletą badania Flow Number jest szybkość jego przeprowadzenia. Odnosząc się do wyników zaprezentowanych w dalszej części artykułu, dla próbki o najwyższej odporności na deformacje trwałe wartość FN uzyskano po 547 cyklach obciążenia, co zajęło nieco ponad 9 minut. W niektórych przypadkach zdecydowano się przedłużyć badanie do 1 200 cykli – całe badanie trwało ok. 20 minut. Dla próbki o najniższej odporności wartość FN uzyskano już po 69 cyklach, czyli po niespełna minucie. Badanie koleinowania jest wielokrotnie dłuższe – przy normowej prędkości 26,5 cykli/60 sekund według PN-EN 12697-22[15] wykonanie standardowych 10 000 cykli (20 000 przejeżdż koła)

zajmuje około 380 minut. Dodatkowo próbki do badania koleinowania, przygotowane w zagęszczarce walcowej, mogą zostać poddane badaniu dopiero po upływie 48 godzin. Nie mniej, przygotowanie próbek do badania Flow Number jest nieco bardziej wymagające (pracochłonne) niż do badania koleinowania.

Wyniki badań

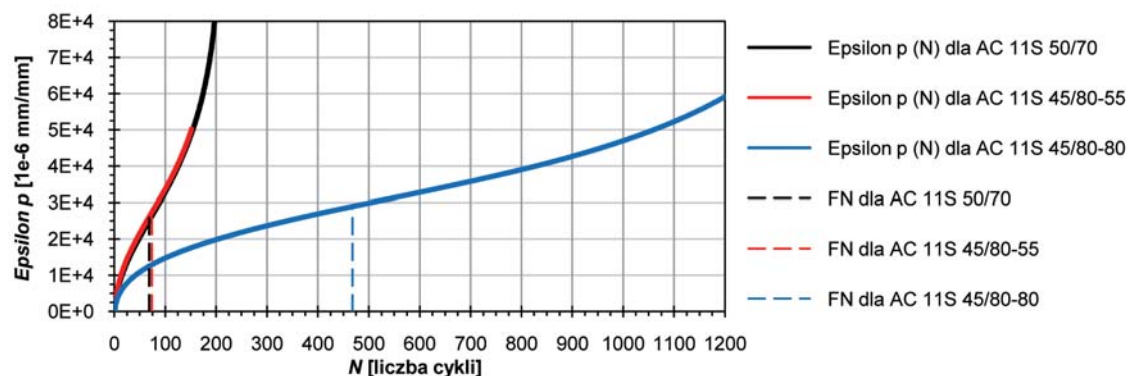
Wygląd wybranych próbek przed i po badaniu Flow Number pokaza-



Rys. 6. Wygląd przykładowych próbek: a) przed badaniem, b) po badaniu dla AC 11S 45/80-80, c) po badaniu dla AC 11S 50/70 (fot. Ł. Mejlun)

Tabela 4. Wyniki badania Flow Number

Cecha	Wartość Flow Number FN [liczba cykli]			Odształcenie trwałe ε_p (FN) [1e-6 mm/mm]			Parametr (index) odporności na deformacje trwałe ε_p (FN) / FN [1e-6 mm/mm/liczba cykli]		
	AC 11S 50/70	AC 11S 45/80-55	AC 11S 45/80-80	AC 11S 50/70	AC 11S 45/80-55	AC 11S 45/80-80	AC 11S 50/70	AC 11S 45/80-55	AC 11S 45/80-80
Próbka 1	71	74	403	26 330	28 092	29 222	371	380	73
Próbka 2	69	82	468	27 223	28 031	31 704	395	342	68
Próbka 3	76	80	547	25 924	24 619	32 172	341	308	59
Próbka 4	81	92	505	28 133	28 565	30 086	347	310	60
Wartość średnia AV	74	82	481	26 903	27 327	30 796	363	335	65
Odchylenie stand. SD	5	7	61	984	1 821	1 378	24	34	7
Współcz. zmienn. COV	7,2%	9,1%	12,7%	3,7%	6,7%	4,5%	6,7%	10,0%	10,2%



Rys. 7. Skumulowane odkształcenia trwałe $\varepsilon_p(N)$ betonu asfaltowego AC 11S z różnymi asfaltami dla wybranych próbek

no na rysunku 6. Wyniki badań (wartości *Flow Number FN*, odkształcenia trwałe dla $N = FN$ oraz indeksy FN) zostały podane w tabeli 4. Na rysunku 7 pokazano dodatkowo porównanie przyrostu deformacji trwałej ε_p w zależności od liczby cykli N w przypadku wybranych próbek badanego betonu asfaltowego z różnymi asfaltami.

Analiza wyników

Otrzymane wyniki badań *Flow Number*, przeprowadzone dla betonu asfaltowego do warstwy ścieralnej AC 11S z różnymi asfaltami (drogowym 50/70, modyfikowanym 45/80-55 i wysokomodyfikowanym 45/80-80), charakteryzowały się małymi rozrzutami i bardzo dobrą powtarzalnością w obrębie tego samego materiału.

Badania pokazały, że najwyższą odpornością na deformacje trwałe charakteryzowała się mieszanka AC 11S z asfaltem wysokomodyfikowanym 45/80-80, w przypadku której, w porównaniu z AC 11S 50/70 i AC 11S 45/80-55 uzyskano:

- średnio ok. $6 \div 7 \times$ większą wartość *Flow Number (FN)*, co świadczy o tym, że w przypadku mieszanki AC 11S 45/80-80 jest potrzebne wielokrotnie więcej cykli obciążenia, aby zainicjować 3 fazę przyrostu odkształceń trwałych, tj. płynięcie materiału prowadzące do jego zniszczenia;
- nieco większe (o ok. 13%) odkształcenie trwałe ε_p (*FN*) niż dla AC 11S 45/80-55, przy czym wymagało to jednak prawie $6 \times$ większej liczby cykli obciążenia;
- średnio ok. $5 \div 6 \times$ mniejszą wartość indeksu FN, co świadczy o znacząco wolniejszym przyroście odkształceń trwałych ε_p w kolejnych cyklach obciążenia i wyższej odporności na deformacje trwałe.

Przeprowadzone badania pokazały także, że wartości analizowanych parametrów w przypadku betonu asfaltowego AC11S 45/80-55 są niewiele korzystniejsze niż w przypadku betonu asfaltowego AC 11S 50/70. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że przy poziomie ufności nie mniejszym niż 80,4% można uważać, że pod względem odporności na deformacje trwałe określonej w badaniu *Flow Number*, materiały te nie wykazują istotnych różnic. O ile zastosowanie asfaltu 50/70 i 45/80-55 nie różnicowało wyraźnie mieszanek pod względem odporności na deformacje trwałe w badaniu *Flow Number*, o tyle badanie koleinowania wykazało, że zastosowanie asfaltu modyfikowanego 45/80-55 znacząco zwiększa odporność mieszanki AC 11S na deformacje trwałe.

Obecnie w naszym kraju nie ma wymagań dotyczących oceny odporności mieszanek mineralno-asfaltowych na deformacje trwałe na podstawie badania *Flow Number*. Z tego powodu otrzymane wyniki (tabela 4) odniesiono do wymagań obowiązujących w USA [4] (tabela 1). Na tej podstawie potwierdzono, że ze względu na odporność na deformacje trwałe, zastosowanie asfaltów 50/70 i 45/80-55 do betonu asfaltowego AC 11S jest właściwe dla niższych kategorii ruchu (do KR4), ale może nie być wystarczające dla najwyższych kategorii ruchu (KR5–KR7).

Podsumowanie i wnioski

Ideą zarówno badania koleinowania wg PN-EN 12697-22[15], jak i badania *Flow Number* wg AASHTO TP-79 (2015) [4] jest ocena odporności mieszanek mineralno-asfaltowych na deformacje trwałe. Niewątpliwą zaletą badania *Flow Number* jest wielokrotnie krótszy czas jego trwania w porównaniu z koleinowaniem.

Przeprowadzone w ograniczonym zakresie badania laboratoryjne dla betonu asfaltowego AC 11S z asfaltami 50/70, 45/80-55 i 45/80-80 pozwoliły uzyskać bardzo powtarzalne wyniki, na podstawie których sformułowano następujące wnioski:

1. Zastosowanie asfaltu wysokomodyfikowanego 45/80-80 do mieszanki AC 11S wpłynęło na zdecydowanie większą odporność betonu asfaltowego na deformacje trwałe, określoną w badaniu *Flow Number*, niż w przypadku zastosowania asfaltów 50/70 i 45/80-55.
2. Odporność na deformacje trwałe mieszanek AC 11S z asfaltami 50/70 i 45/80-55 była bardzo zbliżona.
3. Badanie *Flow Number* nie wykazało wyraźnej korzyści z zastosowania asfaltu modyfikowanego 45/80-55 względem asfaltu drogowego 50/70, w odróżnieniu od badania koleinowania, w którym mieszanka AC 11S 45/80-55 charakteryzowała się istotnie wyższą odpornością na deformacje trwałe względem mieszanki AC 11S 50/70.
4. Porównanie otrzymanych rezultatów z wymaganiami z USA potwierdziło, że odporność na deformacje trwałe betonu asfaltowego AC 11S z asfaltami 50/70 i 45/80-55 w przypadku najwyższych kategorii ruchu może nie być wystarczająca. Podobnie polskie wymagania WT-2:2014 [10] nie dopuszczają stosowania betonu asfaltowego AC 11S 50/70 w przypadku kategorii ruchu KR5–KR7.
5. Wprowadzenie badania *Flow Number* do stosowania w warunkach polskich wymagałoby wykonania szerszego zakresu badań oraz weryfikacji otrzymanych wyników w terenie – sprawdzenia ich korelacji z rzeczywistymi głębokościami kolein warstw asfaltowych w nawierzchniach drogowych.

Artykuł został opracowany z wykorzystaniem wybranych wyników badań przeprowadzonych w ramach programu badawczego Rozwój Innowacji Drogowych RID-1/25 „Asfalty drogowe i modyfikowane w polskich warunkach klimatycznych” [16], finansowanego przez GDDKiA oraz NCBiR.

Bibliografia

- [1] AASHTO R 30-02: *Standard Practice for Mixture Conditioning of Hot-Mix Asphalt (HMA), Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing*, Part 1B: Specifications, 26th Edition 2006.
- [2] AASHTO T324: *Hamburg Wheel-Track Testing of Compacted Hot Mix Asphalt (HMA)*, 2017 Edition, 2017
- [3] AASHTO TP-63: *Determining the Rutting Susceptibility of Hot Mix Asphalt Using the Asphalt Pavement Analyzer (APA)*, 2009 Edition, 2009

- [4] AASHTO TP-79: *Standard Method of Test for Determining the Dynamic Modulus and Flow Number for Asphalt Mixtures Using the Asphalt Mixture Performance Tester (AMPT)*, 2015
- [5] Dołżycki B., *Analiza deformacji trwałych nawierzchni asfaltowych na podstawie badań terenowych i laboratoryjnych*. Praca doktorska zrealizowana na Politechnice Gdańskiej pod kier. prof. J. Judyckiego, Gdańsk 2003
- [6] Dołżycki B., Judycki J., *Behaviour of asphalt concrete in cyclic and static compression creep test with and without lateral confinement*, Road Materials and Pavements Design. Volume 9 – No 2/2008, pp. 207-225
- [7] Francken L., *Pavement deformation law of bituminous road mixes in repeated load triaxial compression*. Proceedings of the 4th International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, Ann Arbor, MI, USA 1977, pp. 483–496.
- [8] Gajewski M., Sybilski D., Bańkowski W. i in., *Ocena odporności na deformacje trwałe mieszanek mineralno-asfaltowych na podstawie zaproponowanego parametru funkcjonalnego lepszczca. Część 2. Badania mieszanek mineralno-asfaltowych*, Drogownictwo Nr 6/2013, s. 177-181
- [9] Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, *Katalog Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych*, 2014
- [10] Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, *Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych. WF-2 2014 – Część 2. Wykonanie warstw nawierzchni asfaltowych. Wymagania Techniczne*, Warszawa 2014
- [11] Judycki J., *Drogowe asfalty i mieszanek mineralno-asfaltowe modyfikowane elastomerem*. Rozprawa habilitacyjna, Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej, Budownictwo Lądowe XLV, Nr 452, Gdańsk 1991
- [12] Judycki J. i in., *Badanie wpływu zastosowania warstw betonu asfaltowego o wysokim module sztywności (AC-WMS) w konstrukcjach nawierzchni na spękania niskotemperaturowe i na zmniejszenie powstawania deformacji trwałych*. Raport z programu badawczego na zlecenie GDDKiA, Gdańsk 2011-2013
- [13] Kaloush K., Witczak M. W., Sullivan B.W., *Simple Performance Test for Permanent Deformation Evaluation of Asphalt Mixtures*, Proceedings of the 6th International RILEM Symposium on Performance Testing and Evaluation of Bituminous Materials, PTEBM'03, Zurich 2003
- [14] Mejlun Ł., *Analiza lepkosprężysta nawierzchni drogowych z zastosowaniem betonu asfaltowego konwencjonalnego i o wysokim module sztywności*. Praca doktorska zrealizowana na Politechnice Gdańskiej pod kier. prof. J. Judyckiego, Gdańsk 2017
- [15] PN-EN 12697-22. *Mieszanki mineralno-asfaltowe – Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco – Część 22: Koleinowanie*
- [16] Raport z programu badawczego Rozwój Innowacji Drogowych RID-1/25 „Asfalty drogowe i modyfikowane w polskich warunkach klimatycznych” finansowany przez GDDKiA i NCBiR, praca zbiorowa Politechniki Warszawskiej, Instytutu Badawczego Dróg i Mostów i Politechniki Gdańskiej, 2018
- [17] Szydło A., Mackiewicz P., *Asphalt Mixes Deformation Sensitivity to Change in Rheological Parameters*, Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 17, No. 1, February 2005. ©ASCE, ISSN 0899-1561/2005/1-1-9/\$25.00., pp. 1-9
- [18] Zhang J., Alvarez A. E., Lee S. I., Torres A, Walubita L. F., *Comparison of flow number, dynamic modulus, and repeated load tests for evaluation of HMA permanent deformation*, Construction and Building Materials 44, 2013, pp.391–398

Z serwisu GDDKiA

Będzie nowe i bardziej czytelne oznakowanie odcinkowego pomiaru prędkości

Ministerstwo Infrastruktury, wychodząc naprzeciw oczekiwaniom kierowców, opracowało nowe znaki informujące o odcinkowym pomiarze prędkości. Zmiana przepisów rozporządzenia w sprawie znaków i sygnałów drogowych oraz rozporządzenia w sprawie szczególnych warunków technicznych dla znaków i sygnałów drogowych oraz urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego i warunków ich umieszczania na drogach ma na celu rozróżnienie oznakowania dla odcinkowego pomiaru prędkości od pomiaru punktowego.

Nowy znak D-51a „automatyczna kontrola średniej prędkości” będzie wskazywał fragment drogi objęty odcinkowym pomiarem prędkości, natomiast znak D-51b „koniec automatycznej kontroli średniej prędkości” koniec tego odcinka.



Obecnie znak D-51 „automatyczna kontrola prędkości” stosowany jest zarówno dla punktowego pomiaru prędkości, jak też dla pomiaru odcinkowego. Oznakowanie pomiaru odcinkowego następuje przez umieszczenie tabliczki T-1a pod znakiem D-51, na której podawana jest długość odcinka pomiarowego, co nie stanowi wystarczającej informacji o pomiarze prędkości na drodze. Stąd potrzeba bardziej precyzyjnego poinformowania kierujących o odmiennym niż zazwyczaj sposobie wykonywania pomiaru.

Nowe regulacje rozszerzają ponadto zakres stosowania tabliczki T-1a o wskazywanie odległości znaku informacyjnego do początku odcinka drogi objętego pomiarem. Takie rozwiązanie pozwoli na umieszczenie dodatkowego znaku D-51a „automatyczna kontrola średniej prędkości” wraz z tabliczką T-1a przed początkiem odcinka drogi objętego kontrolą prędkości, w przypadku, gdy początek tego odcinka znajduje się w miejscu o ograniczonej widoczności, np. ze względu na geometrię drogi albo obiekty znajdujące się w jej bezpośrednim sąsiedztwie.

30 lipca 2019 r. w Dzienniku Ustaw zostały opublikowane rozporządzenia:

- w sprawie znaków i sygnałów drogowych
- w sprawie szczególnych warunków technicznych dla znaków i sygnałów drogowych oraz urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego i warunków ich umieszczania na drogach.

Nowe przepisy wejdą w życie 13 sierpnia 2019 r.

03.08.2019