



JUSTYNA MRUGAŁA

Politechnika Świętokrzyska
mrugała@tu.kielce.pl

Odporność betonu asfaltowego z asfaltem spienionym na deformacje trwałe

Nawierzchnie drogowe są obciążone znacznym ruchem pojazdów. Ponadto, natężenie ruchu, obciążenie osi, ciśnienie w kołach pojazdów będą nadal zwiększać się w przyszłym dziesięcioleciu [3]. Z tego powodu, optymalizacja materiałów stosowanych przy budowie nawierzchni drogowej jest szczególnie ważna. Związane jest to z dążeniami do minimalizacji kosztów wykonania oraz utrzymania dróg w kontekście odporności nawierzchni drogowej na deformacje.

Odształcenia nawierzchni nie są spowodowane wyłącznie przez obciążenia ruchem pojazdów samochodowych, lecz zależą również od szeregu innych czynników takich jak warunki klimatyczne oraz niewłaściwe wykonanie poszczególnych warstw konstrukcji nawierzchni drogowej. Generalnie odształcenia i różnego rodzaju uszkodzenia powstają, gdy wartości progowe poszczególnych obciążeń lub kombinacje obciążeń zostały już osiągnięte, względnie przekroczone.

Do głównych uszkodzeń nawierzchni podatnych można zaliczyć: deformacje trwałe, tj. lepko-plastyczne i strukturalne oraz spękania: zmęczeniowe, zmęczeniowe termiczne, termiczne i odbite [7].

Z informacji przedstawionych w raporcie COST 333 [4] wynika, że koleiny warstw asfaltowych są najbardziej rozpowszechnioną formą degradacji nawierzchni na drogach europejskich.

Prognozowanie przyczyn powstawania deformacji trwałych nawierzchni drogowej jest jednym z głównych celów prowadzonych prac badawczych. Trwałe odształcenia w dowolnej warstwie nawierzchni drogowej są zwykle spo-

wodowane przez konsolidację lub boczny ruch materiału na skutek ruchu drogowego. Powstawanie deformacji warstw asfaltowych może być również powodowane oddziaływaniem wysokiej temperatury. Sprzyja temu również wydłużenie czasu obciążenia, a więc zarówno powolny ruch, jak również zatrzymywanie się pojazdów na nawierzchni (rys. 1). Przyczyną tego rodzaju uszkodzeń jest niewłaściwy dobór materiałów oraz nieodpowiedni skład mieszanki mineralno-asfaltowej [2,18].

W wielu pracach badawczych analizowano wpływ różnych czynników na deformacje trwałe warstw asfaltowych nawierzchni. Ustalono, że do głównych czynników wpływających na powstawanie kolein w warstwach asfaltowych należy zaliczyć: temperaturę (T), ilość obciążeń (N) lub czas obciążania (t), właściwości mieszanki oraz stan naprężeń w nawierzchni.

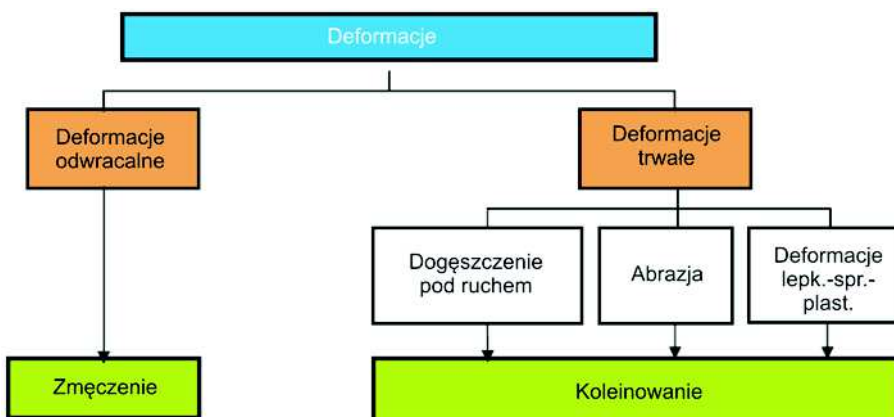
W celu oszacowania głębokości koleiny po określonym okresie użytkowania nawierzchni, konieczne jest określenie obciążenia, warunków klimatycznych oraz właściwości materiału w przypadku każdej warstwy [18].

Zastosowane materiały

Obecnie dużą uwagę poświęca się technologiom mieszank mineralno-asfaltowych o obniżonej temperaturze wytwarzania i wbudowywania [1, 5, 12, 15, 16, 17]. W związku z tym badania przeprowadzono na mieszankach wykonanych w technologii „na półciepło”. W tym celu zaprojektowano mieszankę betonu asfaltowego z przeznaczeniem do wykonania warstwy wiążącej. Jako lepiszcze zastosowano asfalt spieniony, który dotychczas stosowany był do produkcji mieszank w technologii „na zimno” [8, 9, 10, 11]. Jako dodatek modyfikujący asfalt użyto wosk syntetyczny F-T, dzięki któremu polepszone zostały parametry spieniania asfaltu. Dodatkowo w celach porównawczych wykorzystano mieszankę wytworzoną w technologii „na gorąco”.

Projekt mieszanki mineralno-asfaltowej

Z uwagi na wysokie wymagania w zakresie odporności na powstawanie deformacji trwałych wg WT-2 2010 r. [6] zaprojektowano cztery mieszanki betonu



Rys. 1. Odształcenia w podatnych warstwach asfaltowych [2]

asfaltowego AC 22W z różną zawartością asfaltu spienionego (M1-4,2%, M2-4,5%, M3-4,8% i M4-5,1%) z dodatkiem wosku syntetycznego w ilości od 1,0% do 2,5%, (m/m), których skład podano w tabeli 1.

Tabela 1. Skład zaprojektowanych mieszanek mineralno-asfaltowych

Składniki	% zawartość składników			
	M1	M2	M3	M4
Wypełniacz	5,75	5,73	5,71	5,69
Kruszywo 16/22	23,95	23,88	23,80	23,73
Kruszywo 8/16	21,08	21,01	20,94	20,88
Kruszywo 2/8	20,12	20,06	19,99	19,93
Kruszywo 0/2	24,90	24,82	24,76	24,67
Asfalt 35/50	4,2	4,5	4,8	5,1

Właściwości asfaltu spienionego

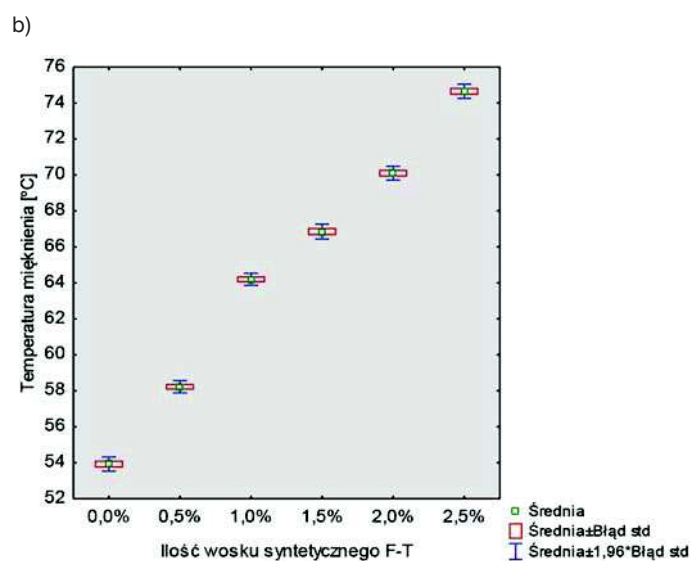
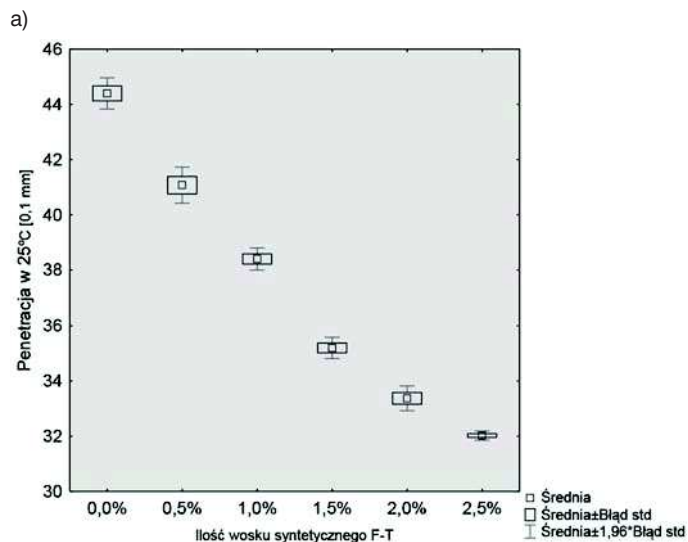
Obecnie w Polsce do warstw asfaltowych stosowane są następujące asfalty zwykłe: 20/30, 35/50 i 50/70 [14]. Do badań laboratoryjnych został użyty asfalt 35/50, który wg WT-2 2014 r. zalecany jest do produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych przeznaczonych na warstwę wiążącą konstrukcji nawierzchni drogowej. Asfalt ten jest lepszem stosunkowo twardym, z użyciem którego można uzyskać mieszankę mineralno-asfaltową odporną na powstawanie deformacji trwałych. Projektowanie mma przeznaczonych na warstwę wiążącą musi uwzględniać konieczność spełnienia przez te mieszanki wysokich wymagań w zakresie odporności na deformacje trwałe.

Asfalt 35/50 poddano modyfikacji woskiem syntetycznym F-T w ilości od 1,0% do 2,5% (zwiększając dodatek co 0,5%), a następnie spieniono. W pierwszej kolejności określono podstawowe właściwości asfaltu opisujące cechy konsystencji, wrażliwości termicznej i odporności na niską temperaturę. Właściwości te oznaczono na podstawie niżej wymienionych badań:

- penetracji – zgodnie z normą PN-EN 1426:2001,
- temperatury mięknięcia – zgodnie z normą PN-EN 1427:2001,
- temperatury łamliwości Fraassa – zgodnie z normą PN-EN 12593:2004.

Na wstępie określono penetrację asfaltu zgodnie z normą PN-EN 1426 oraz temperaturę mięknięcia wg PN-EN 1427. Wyniki wpływu ilości wosku syntetycznego F-T na penetrację oraz temperaturę mięknięcia badanego asfaltu przedstawiono rysunku 2.

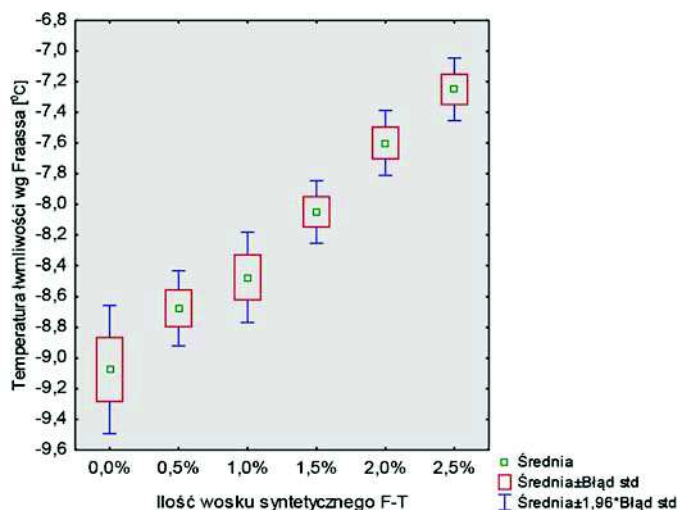
Na podstawie analizy uzyskanych wartości penetracji można stwierdzić, że najmniejszą wartością ocenianego parametru charakteryzował się asfalt z dodatkiem 2,5% wosku syntetycznego, największą zaś asfalt niemodyfikowany. Wraz ze wzrostem zawartości wosku F-T w badanym zakresie (od 0% do 2,5%) penetracja asfaltu 35/50 uległa zmniejszeniu nawet o 12 [0,1 mm], w wyniku czego lepizscze staje się bardziej twarde. Usztywnienie asfaltu może korzystnie wpływać na odporność mieszanki mineralno-asfaltowej na powstawanie deformacji trwałych.



Rys. 2. Oznaczenie: a) penetracji asfaltu oraz b) temperatury mięknięcia asfaltu 35/50 z dodatkiem wosku syntetycznego F-T

Analiza temperatury mięknięcia asfaltu 35/50 wykazała, że wraz ze zwiększeniem dodatku wosku syntetycznego F-T do lepizscza, oceniany parametr wzrasta. Dodatek 2,5% wosku F-T powoduje uzyskiwanie wyników różniących się od siebie aż o 21°C. Informacje dotyczące temperatury mięknięcia istotne są podczas projektowania mieszanek mineralno-asfaltowych odpornych na koleinowanie. Zwiększenie temperatury mięknięcia lepizscza powinno więc spowodować wzrost odporności na deformacje trwałe mieszanek mineralno-asfaltowych. W związku faktem, że wosk syntetyczny F-T usztywnia asfalt, niezwykle istotne było wykonanie badania temperatury łamliwości wg Fraassa wg PN-EN 12593. Wyniki wpływu ilości wosku syntetycznego F-T na zmiany temperatury łamliwości badanego asfaltu przedstawiono na rysunku 3.

Poddając analizie wyniki temperatury łamliwości asfaltu 35/50 można stwierdzić, że wraz ze wzrostem ilości dodatku wosku F-T następuje jej zmniejszenie co oznacza, że asfalt staje się mniej odporny na działanie niskich temperatur. Tem-



Rys. 3. Oznaczenia temperatury mięknięcia asfaltu 35/50 z dodatkiem wosku syntetycznego F-T

peratura łamliwości maleje z -9°C do -7°C przy dodatku 2,5% wosku F-T w asfalcie.

Podczas procesu spieniania określono dwa parametry piany asfaltowej: wskaźnik ekspansji (ER) oraz czas połowicznego rozpadu ($\tau_{1/2}$) [13]. Wyniki badań ustalonej optymalnej ilości wody zapewniającej prawidłowość spienienia asfaltu zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Parametry asfaltów spienionych przy optymalnej zawartości wody

Rodzaj asfaltu poddanego spienianiu	Zawartość wody spieniającej [%]	Współczynnik ekspansji ER	Czas połowicznego rozpadu [s] $\tau_{1/2}$
35/50	3,0	10,17	8,75
35/50 + 1,0% wosku F-T	3,0	11,65	10,84
35/50 + 1,5% wosku F-T	2,5	12,46	14,68
35/50 + 2,0% wosku F-T	2,5	14,38	15,41
35/50 + 2,5% wosku F-T	2,5	15,87	16,43

Metodyka badawcza

Trwałe deformacje mogą dotyczyć całej konstrukcji, względnie poszczególnych warstw asfaltowych (w szczególności warstwy wiążącej). W związku z tym wykonano badania laboratoryjne betonu asfaltowego AC 22W wytworzonego w technologii „na półciepło” z asfaltem spienionym.

W celu oceny odporności betonu asfaltowego AC 22W z asfaltem spienionym modyfikowanym woskiem syntetycznym F-T na powstawanie deformacji trwałych przeprowadzono analizę następujących cech:

- moduł sztywności w pośrednim rozciąganiu w temperaturze 5°C S_{m_5} ,
- moduł sztywności w pośrednim rozciąganiu w temperaturze 10°C $S_{m_{10}}$,
- moduł sztywności w pośrednim rozciąganiu w temperaturze 20°C $S_{m_{20}}$,

- nachylenie wykresu koleinowania WTS_{AIR} ,
- proporcjonalna głębokość koleiny PRD_{AIR} .

Badania modułów sztywności w pośrednim rozciąganiu wykonano zgodnie z normą PN-EN 12697-26:2007 w uniwersalnej maszynie wytrzymałościowej UTM. Moduły określają pionową siłę przy kontrolowanym naprężeniu.

Używając pomiarów z pięciu impulsów siły, wartość modułu sztywności betonu asfaltowego oraz współczynnika Poissona można wyznaczyć ze wzoru:

$$S_m = \frac{F * (v + 0,27)}{z * h} \quad (1)$$

w którym:

- S_m – moduł sztywności badanej próbki [MPa],
- F – maksymalna siła pionowa przyłożona do próbki [N],
- z – amplituda przemieszczenia poziomego próbki podczas obciążenia [mm],
- h – średnia grubość próbki [mm],
- v – współczynnik Poissona (wartość zależy od temperatury).

Określenie wskaźników WTS_{AIR} i PRD_{AIR} odbyło się zgodnie z normą PN-EN 12697-22:2004. Podatność materiałów asfaltowych na deformacje jest oceniana na podstawie koleiny powstałej na skutek powtarzalnych przejeżdżających obciążonego koła w stałej temperaturze.

Wynikiem oznaczenia było określenie:

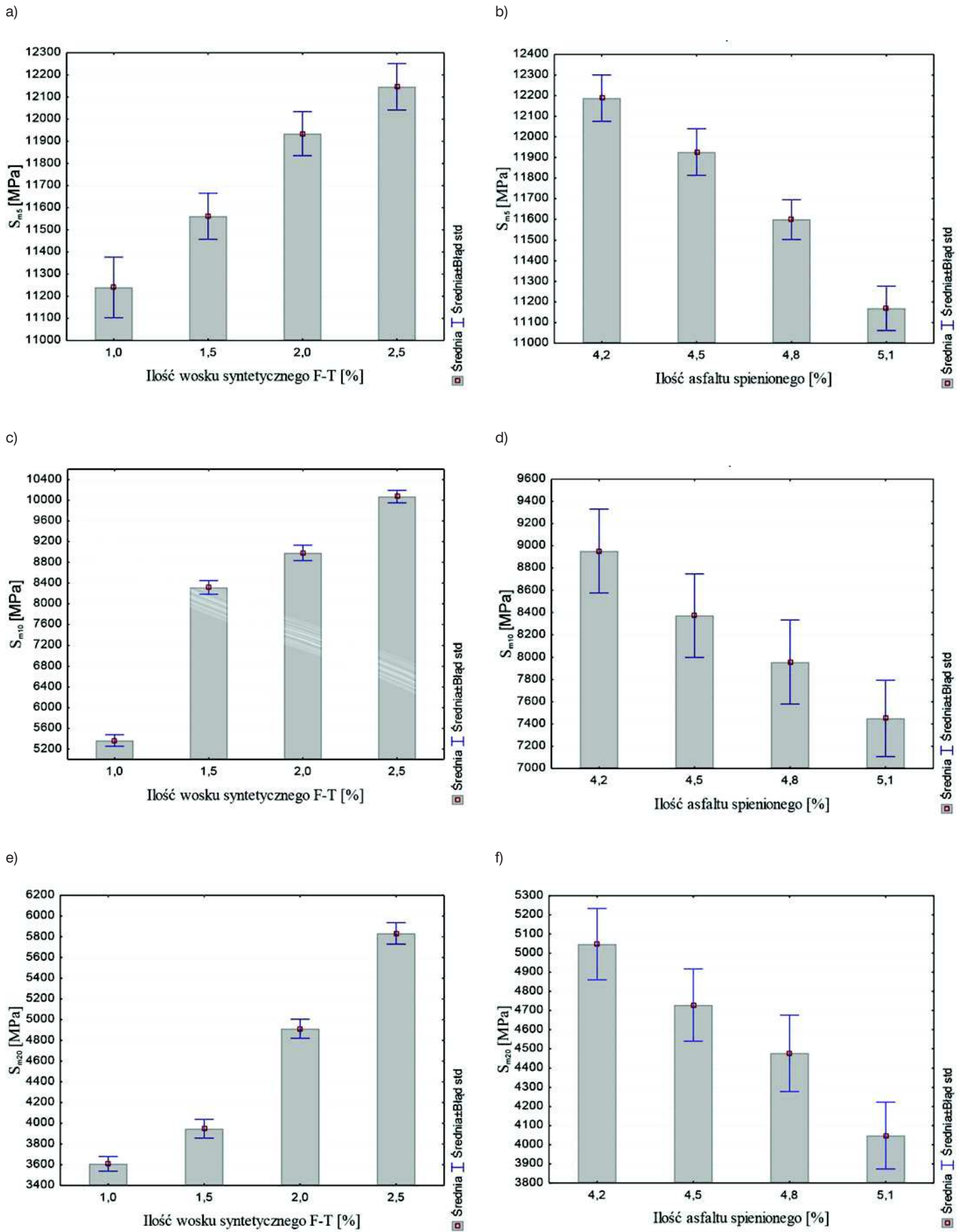
- wskaźnika PRD_{AIR} – proporcjonalnej głębokości koleiny po 10000 cyklach [%],
- wskaźnika WTS_{AIR} – tangensa kąta nachylenia przyrostu koleiny [mm/10³ cyklów].

Wpływ asfaltu spienionego z dodatkiem wosku syntetycznego na powstawanie deformacji trwałych

W celu oceny nośności warstwy wykonanej z mieszanki mineralno-asfaltowej określono moduł sztywności w pośrednim rozciąganiu. Należy zaznaczyć, że parametr ten zmienia się w zależności od temperatury. Wraz z obniżeniem temperatury jego wartość zmniejsza się, powodując zwiększenie nośności warstwy wykonanej z mieszanki mineralno-asfaltowej, jednakże może być ona bardziej krucha i podatna na spękania. Natomiast w wysokich temperaturach ma miejsce odwrotne zjawisko, czyli moduł sztywności maleje, zmniejszając odporność kompozytu na deformacje.

Interpretację graficzną wpływu wosku syntetycznego F-T oraz zawartości asfaltu spienionego na moduł sztywności w pośrednim rozciąganiu betonu asfaltowego AC 22W wytworzonego i zagęszczonego w temperaturze 95°C przedstawiono na rysunku 4.

Na podstawie dokonanej analizy wyników badań zilustrowanych na rysunku 4 można zaobserwować, że w każdym przypadku podczas zwiększania ilości wosku syntetycznego F-T wartość modułu sztywności w pośrednim rozciąganiu wzrasta. Odwrotna sytuacja ma miejsce w przypadku zwiększenia ilości asfaltu spienionego w mieszance mineralno-asfaltowej. Wartość modułów sztywności w pośred-



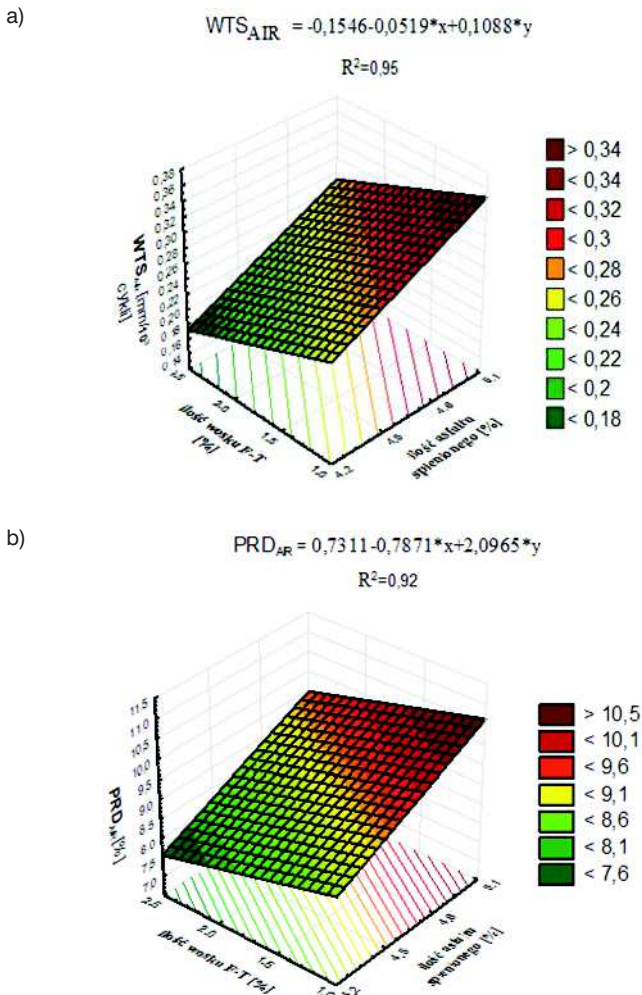
Rys. 4. Ocena wpływu ilości wosku syntetycznego F-T na cechę betonu asfaltowego: a) S_{ms} , c) S_{m10} , e) S_{m20} oraz ilości asfaltu spienionego na cechę: b) S_{ms} , d) S_{m10} , f) S_{m20}

niem rozciąganiu maleje, bez względu na temperaturę wykonania badania.

Największe wartości modułu sztywności w pośrednim rozciąganiu uzyskał beton asfaltowy z najmniejszą ilością asfaltu spienionego (4,2%) z dodatkiem 2,5% wosku syntetycznego F-T. Natomiast najmniejsze wartości badanych cech uzyskał beton asfaltowy z zawartością asfaltu spienionego 5,1% przy koncentracji wosku syntetycznego 1,0%.

Kolejnym etapem było wykonanie badań koleinowania betonu asfaltowego AC 22W z asfaltem spienionym. Oznaczenie wykonano na 16 rodzajach betonu asfaltowego z asfaltem spienionym modyfikowanym woskiem syntetycznym F-T, oraz w celu porównania wykonano 4 kontrolne betony asfaltowe z różną zawartością lepiszcza asfaltowego w tradycyjnej technologii „na gorąco” HMA.

Płaszczyznę odpowiedzi dla wielomianu drugiego stopnia odwzorowująca zależność WTS_{AIR} i PRD_{AIR} od zawartości asfaltu spienionego i ilości wosku syntetycznego F-T przedstawiono na rysunku 5.



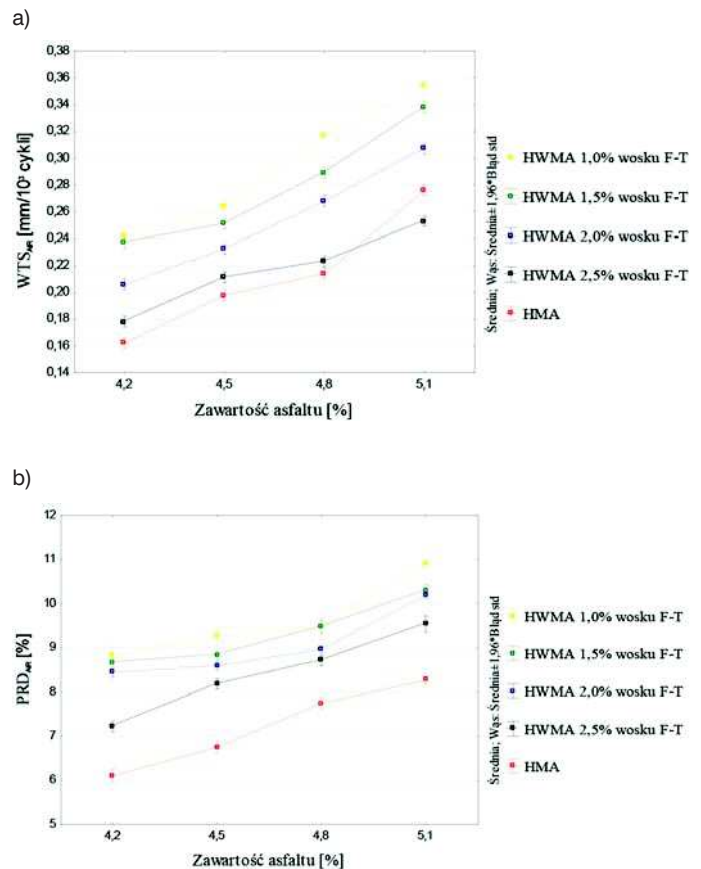
Rys. 5. Powierzchnia odpowiedzi betonu asfaltowego AC 22W w zależności od ilości wosku syntetycznego F-T i ilości asfaltu spienionego w przypadku cech: a) WTS_{AIR} , b) PRD_{AIR}

Analizując wyniki badań parametru WTS_{AIR} oraz PRD_{AIR} betonu asfaltowego AC 22W, które przedstawiono na rysunku 5,

można zauważyć, że ilość asfaltu spienionego oraz wosku syntetycznego F-T wpływa na wartości badanych parametrów betonu asfaltowego.

Wraz ze wzrostem zawartości wosku syntetycznego F-T wartość tangensa kąta nachylenia przyrostu koleiny WTS_{AIR} oraz proporcjonalnej głębokości koleiny maleje. Taki rezultat może być związany z charakterystyką wosku syntetycznego F-T, gdyż wpływa on na wzrost sztywności asfaltu w wysokich temperaturach eksploatacyjnych. Można również stwierdzić, że wzrost zawartości asfaltu spienionego powoduje zwiększenie wartości WTS_{AIR} oraz PRD_{AIR} , czyniąc beton asfaltowy mniej odpornym na deformacje trwałe. Betony asfaltowe, które zawierały w swoim składzie 5,1% asfaltu spienionego modyfikowanego woskiem syntetycznym w ilości 1,0%, 1,5% i 2,0% oraz z zawartością asfaltu 4,8% z najmniejszą ilością wosku (1,0%) nie spełniły wymagań stawianych im w przypadku AC 22W KR3-4 wg WT-2 2010 r., ponieważ parametr WTR_{AIR} powinien być mniejszy lub równy 0,3 a w rozpatrywanym przypadku został on przekroczony.

Największą wartością $WTS_{AIR} = 0,354$ i $PRD_{AIR} = 10,91$ charakteryzował się beton asfaltowy zawierający w swoim składzie 5,1% asfaltu spienionego oraz dodatek 1,0% wosku syntetycznego F-T. Natomiast najlepszą odpornością na deformacje trwałe uzyskał beton asfaltowy z 4,2% zawartością asfaltu spienionego i 2,5% wosku syntetycznego, w przypadku której badane parametry wyniosły $WTS_{AIR} = 0,178$ i $PRD_{AIR} = 7,23$.



Rys. 6. Wpływ zastosowanej technologii oraz ilości asfaltu na cechę: a) WTS_{AIR} , b) PRD_{AIR} betonu asfaltowego AC 22W

Dodatkowo przeanalizowano wpływ technologii wytwarzania mieszanki mineralno-asfaltowej na badane cechy betonu asfaltowego AC 22W. Porównano technologię „na półciepło” z asfaltem spienionym z dodatkiem wosku syntetycznego F-T, z tradycyjną technologią „na gorąco”. Interpretację graficzną wyników badań parametru WTS_{AIR} oraz PRD_{AIR} przedstawiono na rysunku 6.

Najmniejszą głębokością koleiny oraz parametrem WTS_{AIR} charakteryzuje się beton asfaltowy wykonany w technologii HMA przy zawartości asfaltu 4,2%. Natomiast największymi wartościami obu parametrów mieszanka z zawartością 5,1% asfaltu wykonana w technologii HWMA. Należy dodać, że porównywalne wartości parametru WTS_{AIR} uzyskiwały mieszanki betonu asfaltowego wykonanego w technologii „na gorąco” z betonem asfaltowym zawierającym asfalt spieniony z dodatkiem 2,5 % wosku syntetycznego F-T (technologia „na półciepło”).

Podsumowanie

Analiza wyników parametrów odpowiadających za odporność na powstawanie deformacji trwałych pozwoliła na sformułowanie następujących wniosków:

1. Wraz ze wzrostem ilości wosku syntetycznego F-T w asfalcie spienionym wartości tangensa kąta nachylenia przyrostu koleiny WTS_{AIR} oraz proporcjonalnej głębokości koleiny PRD_{AIR} zmniejszyły się.
2. Moduły sztywności w pośrednim rozciąganiu w temperaturze 5°C, 10°C oraz 20°C osiągały wyższe wartości, gdy zwiększano zawartość wosku syntetycznego. Oznacza to, że wzrost zawartości wosku syntetycznego powoduje zwiększenie odporności na powstawanie deformacji trwałych.
3. Największymi wartościami parametrów WTS_{AIR} oraz PRD_{AIR} charakteryzował się beton asfaltowy AC 22W z zawartością asfaltu spienionego 4,2%, przy 2,5% dodatku wosku syntetycznego F-T. Dodatkowo można zauważyć, że najmniejszymi wartościami wyżej wymienionych parametrów charakteryzowała się mieszanka betonu asfaltowego z zawartością asfaltu spienionego w ilości 5,1% z dodatkiem wosku syntetycznego F-T w ilości 1,0%. W związku z tym zauważono, że wzrost zawartości wosku syntetycznego F-T powoduje zwiększenie odporności na deformacje trwałe betonu asfaltowego. Natomiast zwiększenie ilości asfaltu spienionego doprowadza do pogorszenia parametrów WTS_{AIR} oraz PRD_{AIR} betonu asfaltowego.
4. Wykonane badania na mieszankach kontrolnych betonu asfaltowego wytworzonego w technologii „na gorąco” wykazały, że porównywalne wartości parametru WTS_{AIR} uzyskały mieszanki zawierające asfalt spieniony z dodatkiem 2,5% wosku syntetycznego F-T w technologii „na półciepło”. Natomiast w przypadku analizy parametru PRD_{AIR} zanotowano nieznaczne różnice badanej cechy betonu asfaltowego w odniesieniu do technologii wykonania (HMA względem HWMA).

Bibliografia

- [1] M.D. Ben, K.J. Jenkins, Performance of cold recycling materials with foamed bitumen and increasing percentage of reclaimed asphalt pavement. *Road Materials and Pavement Design* 15 (2): s. 348-371, 2014, DOI:10.1080/14680629.2013.872051
- [2] R. Blab, Analytische Methoden zur Modellierung der Verformungseigenschaften flexibler Fahrbahnaufbaute, Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung, Technische Universität Wien, Vienna, 2001
- [3] E.R. Brown, S.A. Cross, A national study of rutting in hot mix asphalt (HMA) pavements, National Center for Asphalt Technology, USA, 1992
- [4] European Commission, COST 333 Development of new pavement designmethod - final report of the action, Brussels, Belgium, 1999
- [5] J. D'Angelo, E. Harm, J. Bartoszek, G. Baumgardner, M. Corrigan, J. Cowser, T. Harman, M. Jamshidi, W. Jones, D. Newcomb, B. Prowell, R. Sines, B. Yeaton, 2008. Warm-Mix Asphalt: European Practice. FHWA Report No. FHWA-PL-08-007
- [6] GDDKiA 2010. WT2 2010 – Wymagania Techniczne. Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych. Załącznik Nr 2 do Zarządzenia Nr 2. Warszawa
- [7] Huang, Yang H., Pavement Analysis and Design, Prentice Hall, New Jersey, 1993
- [8] M. Iwański, A. Chomicz-Kowalska, Evaluation of the pavement performance. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences Volume* 63 Issue 1, 2015, s. 525-534
- [9] M. Iwański, A. Chomicz-Kowalska, Evaluation of the effect of using foamed bitumen and bitumen emulsion in cold recycling technology, 3rd International Conference on Transportation Infrastructure. Pisa, Italy, 2014, s. 69-76
- [10] M. Iwański, A. Chomicz-Kowalska, Laboratory study on mechanical parameters of foamed bitumen mixtures in the cold recycling technology, 11th International Conference on Modern Building Materials, Structure and Techniques, MBMST. Vilnius, Lithuania, 2013, s. 433-442. DOI:10.1016/j.proeng.2013.04.056
- [11] M. Iwański, A. Chomicz-Kowalska, The effects of using foamed bitumen and bitumen emulsion in the cold recycling technology, 8th International Conference on Environmental Engineering, Vilnius, Lithuania, 2011, s.1089-1096
- [12] M. Iwański, G. Mazurek, Rheological characteristics of synthetic wax-modified asphalt binders. *Polimery* 9, 2012, s. 661-664
- [13] M. Iwański, J. Mrugała., Moisture and frost resistance of asphalt concrete with foamed bitumen modified with synthetic wax, 3rd International Conference on Transportation Infrastructure. Pisa, Italy, 2014, s.131-137
- [14] P. Jaskuła, J. Judycki, Durability of Asphalt Concrete Subjected to Deteriorating Effects of Water and Frost. *J. Perform. Constr. Facil.* DOI:10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000645, C4014004, 2014
- [15] K.J. Jenkins, J.L.A. de Groot, M.F.C. Van de Ven, A.A.A. Molenaar, Half-warm Foamed Bitumen Treatment, A New Process. Conference on Asphalt pavements for Southern Africa, Victoria Falls, Zimbabwe, 1999
- [16] K.J. Jenkins, Mix Design Considerations for Cold and Half-Warm Bituminous Mixes with Emphasis on Foamed Bitumen. PhD Dissertation, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Stellenbosch, Stellenbosch, South Africa, 2000
- [17] K.J. Jenkins, A.A.A. Molenaar, J.L.A. de Groot, M.F.C. Van de Ven, Optimisation and Application of Foamed Bitumen in Road Building. Doorwerth, Netherlands: Wegbouwkundige Werkdagen, 2000
- [18] Samaris Competitive and Sustainable Growth Programme, Models for permanent deformation for bituminous bound materials in flexible pavements, 2004