

Tatiana Brzozowska<sup>1\*</sup>, Grzegorz Makomaski<sup>1</sup>, Janusz Zieliński<sup>1</sup>,  
Izabella Legocka<sup>1</sup>

## Struktura asfaltu modyfikowanego kopolimerem styren-butadien-styren (SBS) i woskiem syntetycznym

W pracy przedstawiono wyniki badań struktury asfaltu modyfikowanego kopolimerem SBS i woskiem syntetycznym. Do asfaltu drogowego 35/50 dodawano kopolimer styren-butadien-styren (SBS) w ilości 1–4% mas. oraz 0,5% mas. wosku syntetycznego. Dokonano oceny ilościowej i jakościowej struktury otrzymanych układów trójskładnikowych za pośrednictwem mikroskopii optycznej z przystawką fluorescencyjną. Na podstawie jakościowych i ilościowych badań mikroskopowych określono homogeniczność kompozycji asfaltowo-polimerowych, a także wielkość cząstek polimeru w asfalcie.

**Słowa kluczowe:** asfalt, wosk, kopolimer styren-butadien-styren, elastomeroasfalt, mikroskopia.

## The structure of bitumen modified with SBS copolymer and synthetic wax

This work shows the results of studies on the structure of modified bitumen with SBS copolymer and synthetic wax. The styrene-butadiene-styrene (SBS) copolymer in the amount of 1-4 wt% and 0.5 wt% of synthetic wax were added to the road bitumen 35/50. For the obtained bitumen-polymer compositions, quality and quantity evaluation of structure by fluorescence microscopy were carried out. On the base of quality and quantity microscopic tests can determine the homogeneity of the bitumen-polymer compositions, and particle size of the polymer in the bitumen.

**Keywords:** bitumen, wax, styrene-butadiene-styrene copolymer, asphalt-elastomer binder, microscopy.

### 1. Wprowadzenie

Na właściwości asfaltów oraz ich zachowanie w nawierzchniach drogowych wpływają ich skład oraz struktura chemiczna. Cięższe składniki odznaczają się silnymi oddziaływaniami wewnątrzcząsteczkowymi, które utrudniają badania struktury asfaltów. Aby poznać strukturę asfaltu, należy najpierw dokonać podziału na składniki grupowe, czyli frakcje o podobnej naturze chemicznej i niewiele różniące się masie cząsteczkowej [1].

W skład struktury chemicznej asfaltów wchodzi: pierścienie aromatyczne i naftenowe, łańcuchy alifatyczne, a także fragmenty zawierające heteroatomy. Łańcuchy alifatyczne pełnią funkcje podstawników lub mostków łączących układy pierścieni naftenowych i aromatycznych. Najmniej złożoną strukturę ma frakcja nasycona, najbardziej asfaltowa. W skład frakcji nasyconej wchodzi: *n*-alkany, izoalkany, nafteny oraz alkilonafteny, w których przeważają węglowodory parafinowe o prostych łańcuchach i zawartości węgla w cząsteczce od C<sub>20</sub> do C<sub>40</sub>. Frakcja aromatyczna zawiera zaś skondensowane pierścienie aroma-

<sup>1</sup>Politechnika Warszawska, Wydział Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii, ul. Łukasiewicza 17, 09-400 Płock  
\*e-mail: tatiana.brzozowska@pw.edu.pl

**Dr inż. Tatiana Brzozowska** w 1995 roku ukończyła studia na Wydziale Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii Politechniki Warszawskiej Filia w Płocku. W 2000 roku uzyskała stopień doktora nauk chemicznych w Politechnice Wrocławskiej. Jest adiunktem w Instytucie Chemii Politechniki Warszawskiej Filia w Płocku. Specjalność naukowa: tworzywa sztuczne, chemia i technologia otrzymywania bitumów modyfikowanych polimerami.



tyczne i naftenowe, średnio cztery pierścienie aromatyczne w cząsteczce. Może ona zawierać również siarkę wchodzącą w skład tiofenów lub alifatycznych tioeterów. Żywice wchodzące w skład asfaltu mają średnio sześć pierścieni aromatycznych. Zawierają one wszystkie występujące w asfalcie heteroatomy, czyli siarkę i azot w pierścieniach oraz tlen wchodzący w skład ketonów, kwasów karboksylowych i fenoli. W przypadku asfaltenów nie można określić średniego modelu cząsteczki, ponieważ ich struktura zależy od pochodzenia i rozpuszczalnika użytego do ich wytrącania z asfaltu. Asfalteny mogą zawierać od sześciu do kilkunastu pierścieni aromatycznych w cząsteczce, w ich skład mogą wchodzić siarka (w benzotiofenie), tlen (w grupach hydroksylowych i karbonylowych) oraz azot, zawarty w piroliu i pirydynie, a także chinony (wynik utleniania wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych). Istnieje wiele modeli struktury asfaltów proponowanych przez naukowców (np. Murgicha, Speighta czy Christophera). Struktury te różnią się przede wszystkim stopniem podstawienia pierścieni w związkach, a także długością podstawników parafinowych i wzajemnym rozmieszczeniem poszczególnych elementów struktury [1–5].

Jedną z metod umożliwiających obserwację mikrostruktury asfaltów jest mikroskopia optyczna z przystawką fluorescencyjną. Zdjęcie mikroskopowe asfaltu, przedstawiające jego mikrostrukturę, można analizować w sposób jakościowy i ilościowy. Ocena jakościowa polega na rozróżnieniu elementów widocznych na zdjęciu mikroskopowym, natomiast ocena ilościowa umożliwia dokładniejszą i obiektywną analizę obrazu. Za pomocą oceny ilościowej można uzyskać informacje o rozmiarach cząstek, ich kształcie, liczbie czy ciągłości faz.

Malteny i asfalteny to główne składniki asfaltów. W przypadku obecności polimeru asfalt i polimer tworzą układ dwufazowy, pierwsza z faz zawiera dużą ilość związku wielkocząsteczkowego, pochłaniającego część maltenów, natomiast drugą fazę stanowią asfalteny i inne składniki, których polimer nie zaabsorbował [1, 2].

Istnieje wiele teorii [1, 2, 5–9] traktujących asfalty jako układy koloidalno-dyspersyjne, które składają się z co najmniej dwóch faz przechodzących jedna w drugą. Przykładowy model makrostruktury asfaltów naftowych przedstawili Yena i Dickie, jest on uważany za najlepszy z dotychczas zaproponowanych, ponieważ pozwala na wyjaśnienie wielu właściwości asfaltów i znajduje potwierdzenie w rezultatach badań innych autorów. Wyodróżnili trzy podstawowe elementy strukturalne:

- pojedyncze cząsteczki żywicy i asfaltenów, które ze względu na obecność płaskiego układu skondensowanych pierścieni aromatycznych mają postać lameli,
- zespół kilku lameli tworzących cząsteczkę,
- duży agregat kilku cząsteczek tworzących micelę koloidalną.

Do podstawowych metod badania struktury asfaltów zalicza się metodę RICO, rezonans magnetyczny NMR, spektroskopię w podczerwieni IR, spektroskopię rentgenowską XRD, SAXS, spektroskopię masową MS oraz spektroskopię paramagnetycznego rezonansu elektronowego EPR.

## 1.1. Modyfikatory asfaltów

Polimeroasfalty (asfalty modyfikowane polimerami), ze względu na zastosowany modyfikator można podzielić na: elastomeroasfalty, plastomeroasfalty, asfalty modyfikowane mieszaninami elastomerów i plastomerów, a także asfalty modyfikowane poliolefinami. W wyniku modyfikacji asfaltu polimerami otrzymuje się mieszaniny fizyczne, składające się z dwóch faz: fazy związku wielkocząsteczkowego napęczniałego w olejach asfaltowych oraz fazy, która tworzą składniki asfaltu niewchodzące do fazy polimeru [1, 2, 6–9].

Do najczęściej stosowanych modyfikatorów asfaltów zalicza się [1]:

- Elastomery:
  - kopolimer styren-butadien-styren SBS,
  - kopolimer styren-izopren-styren SIS,
  - styren-butadien SB,
  - kopolimer statystyczny SBR.
- Plastomery:
  - kopolimer etylen-octan winylu EVA,
  - kopolimer etylen-akrylan metylu EMA,
  - kopolimer etylen-akrylan butylu EBA,
  - poliizobutylen PIB,
  - terpolimer etylen-propylen-dien EPDM.
- Lateksy:
  - chloroprenowy CR,
  - naturalny NR,
  - butadienowo-styrenowy SBR.
- Miał gumowy.
- Tworzywa chemoutwardzalne:
  - żywice epoksydowe,
  - żywice poliestrowe.
- Tworzywa termoutwardzalne:
  - żywica fenolowo-formaldehidowa.
- Poliolefiny:
  - polipropylen PP,
  - polietylen dużej gęstości PE-HD,
  - polietylen małej gęstości PE-LD.

Ze względu na ciągle wzrastające wymagania wobec asfaltów drogowych, od kilku lat prowadzone są badania nad odpowiednimi dodatkami oraz procesami technologicznymi, które polepszą właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych oraz obniżą temperaturę ich produkcji. Istnieje bardzo wiele dodatków poprawiających właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych. Można do nich zaliczyć m.in.: siarkę, olej popirolityczny, asfalt naturalny, miał gumowy, sole organometaliczne, woski, zeolit.

W Tabeli 1 przedstawiono wpływ wybranych dodatków na właściwości asfaltów.

**Tabela 1.** Wpływ wybranych dodatków na właściwości asfaltów  
**Table 1.** Effect of selected addition on the bitumen properties

Nazwa dodatku	Wpływ na właściwości asfaltu	Literatura
Siarka 20–30% mas.	Siarka w mieszance asfaltowej może występować w postaci chemicznie związanej, rozpuszczonej oraz jako drobne cząstki zdyspergowane w asfalcie. Ze wzrostem zawartości siarki więcej cząstek przechodzi z zolu w żel. Jej dodatek zwiększa penetrację ze wzrostem zawartości siarki do 10%, a następnie ją obniża. Temperatura mięknięcia maleje przy zawartości siarki w asfalcie 10%, a następnie wzrasta. Zwiększa ciągliwość mieszanki w niskiej temperaturze, elastyczność, trwałość zmęczeniową oraz odporność na starzenie.	[1, 10]
Miało gumowy 10–20% mas.	Guma wprowadzona do mieszanki nie rozpuszcza się w asfalcie, lecz pęcznieje. Istnieją dwie metody otrzymywania mieszanek gumy z asfaltem: metoda mokra i metoda sucha. Dodatek miała gumowego powoduje podwyższenie temperatury mięknięcia, lepkości mieszanki, poprawia właściwości lepkosprężyste nawierzchni drogowej, zwiększa odporność na starzenie oraz właściwości lepiszcza w niskiej temperaturze, a także zmniejsza wrażliwość termiczną.	[1, 11]
Asfalt naturalny (Trynidad) 20–30% mas.	Dodatek asfaltu Trynidad w ilości od 20 do 30% w stosunku do masy asfaltu destylacyjnego powoduje jego utwardzenie ze względu na wyższą lepkość i usztywniające działanie wypełniacza zawartego w asfalcie naturalnym. Dodatek ten pozwala rozszerzyć zakres plastyczności asfaltu destylacyjnego i zmniejszyć wrażliwość termiczną.	[1, 2, 8]
Olej popirolityczny 10–20% mas.	Olej popirolityczny powstaje w rafinerii jako materiał uboczny w procesie otrzymywania olefin. W skład oleju popirolitycznego wchodzi głównie związki nienasycone. Najbardziej znanym sposobem utylizacji tego materiału jest otrzymywanie z niego żywic aromatycznych na drodze polimeryzacji termicznej. Żyvice te znalazły zastosowanie jako modyfikatory asfaltów. Mieszanie pozostałości po destylacji ropy naftowej z olejem popirolitycznym, przed podaniem jej utlenianiu na asfalty, prowadzi do zwiększenia zawartości żywic i asfaltenów w asfalcie, przy równoczesnym zmniejszeniu zawartości parafiny. Takie zmiany w składzie chemicznym asfaltu powodują zwiększenie jego lepkości i temperatury mięknięcia. Modyfikacja pozostałości za pomocą oleju popirolitycznego pozwala na znaczne skrócenie czasu utleniania tej pozostałości, potrzebnego do otrzymania asfaltu o danej penetracji, a równocześnie poprawia jakość produktu.	[1]
Sole organometaliczne (Chemcrete) 2% mas.	Mydło organo-metaliczne manganu i kobaltu lub miedzi w nośniku, którym jest olej. Chemcrete działa katalitycznie, tworząc wiązanie pomiędzy metalem a cząsteczkami asfaltu. Zwiększa odporność asfaltu na starzenie, sprężystość, wytrzymałość zmęczeniową, odporność na koleinowanie, podwyższa temperaturę łamliwości, zmniejsza podatność na pęcznienie oraz wrażliwość termiczną.	[1, 12]
Sasobit 0,8–3% mas.	Wosk polietylenowy, powstający podczas gazyfikacji węgla. Poprawia zdolność zagęszczania oraz urabiania mieszanki asfaltowej. Zwiększa elastyczność mieszanki w niskiej temperaturze oraz zmniejsza lepkość lepiszcza asfaltowego zarówno podczas mieszania asfaltu, jak i jego uszlachetniania.	[13–15]
Zeolit (aspha-min)	Stanowi uwodnione glinokrzemiany, występujące w środowisku naturalnym. Obniża temperaturę mieszania asfaltu oraz zmniejsza ilość wolnych przestrzeni w strukturze o około 1%. Dzięki swojej strukturze Zeolit kumuluje w porach molekuł wodę krystaliczną, co podczas dodawania go do podgrzanej mieszanki piasku, kruszywa i asfaltu daje efekt piany zwiększającej ilość spoiwa w mieszance.	[13, 16]
Mączka mineralna 40% mas.	Najstarszy sposób modyfikacji asfaltów za pomocą materiałów pochodzenia wapiennego. Zwiększa lepkość asfaltu i w niewielkim stopniu odporność na starzenie.	[10]

## 2. Część doświadczalna

Celem przeprowadzonych badań była ocena ilościowa i jakościowa asfaltu modyfikowanego kopolimerem SBS i woskiem syntetycznym.

### 2.1. Materiały

Do badań zastosowano:

- asfalt drogowy o penetracji (w 25 °C) 35/50 [0,1 mm], temperaturze mięknięcia 50–58 °C, temperaturze łamliwości ≤ -5 °C, pochodzący z firmy Orlen Asfalt
- kopolimer liniowy SBS, pochodzący z firmy Kraton Polymers LLC (nazwa handlowa Kraton D 1192), o wskaźniku szybkości płynięcia < 1 g/10 min;
- wosk Sasobit, produkowany przez niemiecką firmę Sasol Wax, o temperaturze mięknięcia > 99 °C i rozpuszczalności w asfalcie > 115 °C.

### 2.2. Kompozycje asfalt-elastomer-wosk

Kompozycje asfalt – kopolimer SBS – wosk Sasobit sporządzano, kierując się głównie możliwością uzyskania mieszanin jednorodnych. Modyfikacja asfaltu drogowego kopolimerem SBS składała się z dwóch etapów: I – ścinania kompozycji asfalt-SBS, II – dojrzewania kompozycji po ścinaniu. Asfalt umieszczano

w mieszalniku i po uzyskaniu założonej temperatury ścinania 190 °C rozpoczynano dozowanie liniowego kopolimeru SBS w ilości od 1 do 4% mas., przy szybkości obrotów mieszadła ścinającego 5000 obr./min. Po upływie ustalonego czasu ścinania (30 min) zmodyfikowany asfalt przenoszono do mieszalnika, w którym prowadzono proces dojrzewania i wprowadzano wosk Sasobit. Dojrzewanie kompozycji prowadzono w temperaturze 195 °C, przy ciągłym mieszaniu z użyciem mieszadła kotwicowego przy szybkości obrotów mieszadła 65 obr./min, w czasie 120 min.

### 2.3. Badania struktury kompozycji asfalt-SBS-wosk

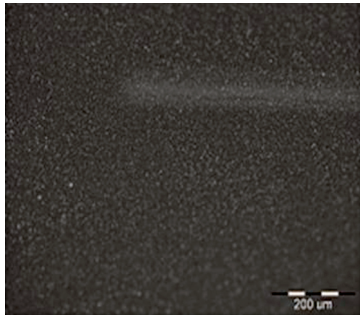
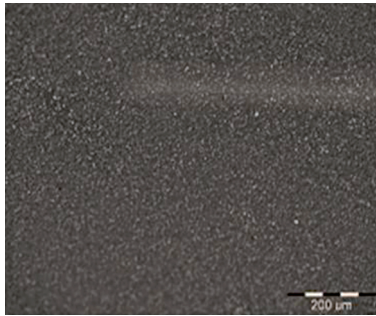
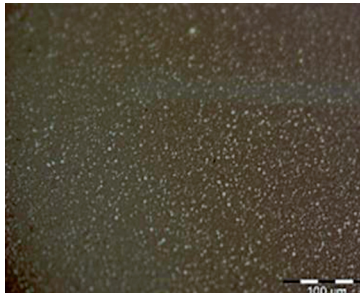
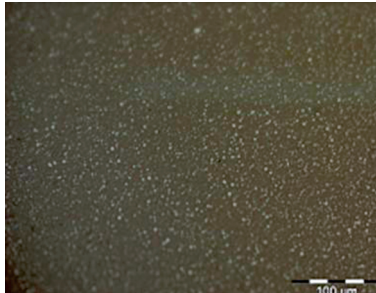
Otrzymane kompozycje poddano ocenie mikrostruktury jakościowej i ilościowej [17–21].

Strukturę polimeroasfaltów określano za pomocą mikroskopu optycznego z przystawką fluorescencyjną Olympus BX41 w świetle ultrafioletowym. Próbkę do badań przygotowywano według normy PN-EN 13632:2012 [17].

## 3. Wyniki badań i dyskusja

W Tabeli 2 przedstawiono zdjęcia mikrostruktury asfaltu drogowego 35/50; mikroskopia optyczna z przystawką fluorescencyjną, powiększenia 100x oraz 200x.

**Tabela 2.** Zdjęcia mikroskopowe asfaltu drogowego 35/50  
**Table 2.** Microscopic images of road bitumen 35/50

Asfalt drogowy 35/50		
Powiększenie	Zdjęcie 1	Zdjęcie 2
100x		
200x		



Asfalt to układ koloidalny składający się z fazy rozproszonej i rozpraszającej. Na zdjęciach widać polidispersyjną strukturę asfaltu. Wraz ze wzrostem ilości modyfikatora w asfalcie zmieniała się mikrostruktura. Jednak we wszystkich przypadkach występowała ciągła faza asfaltowa.

W wyniku przeprowadzonych licznych badań [5, 19] stwierdzono, że asfalty drogowe o niskim i średnim poziomie modyfikacji elastomerem SBS najczęściej tworzą w asfalcie strukturę z rozproszoną fazą polimerową. Asfalty zawierające większe ilości SBS oprócz niestabilnych układów wykazujących odwrócenie faz dyspersji mogą tworzyć stabilne, usieciowane struktury przestrzenne. Układy takie charakteryzują się ciągłością obu faz, tj. fazy polimerowej i fazy asfaltowej lub tylko fazy polimerowej.

W Tabeli 3 przedstawiono zdjęcia mikroskopowe asfaltu drogowego 35/50 z dodatkiem 0,5% mas. Sasobitu.

### 3.1. Ocena mikroskopowa asfaltu drogowego 35/50 modyfikowanego zmienną ilością SBS i stałą ilością wosku Sasobit

Asfalt 35/50 modyfikowano w warunkach laboratoryjnych różnymi ilościami kopolimeru SBS (1, 2, 3, 4% mas.) i stałą ilością Sasobitu (0,5% mas.), w celu zbadania mikrostruktury otrzymanych polimeroas-

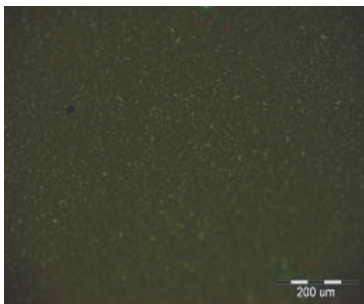
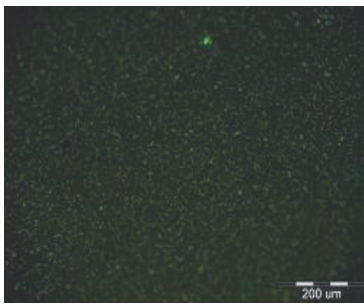
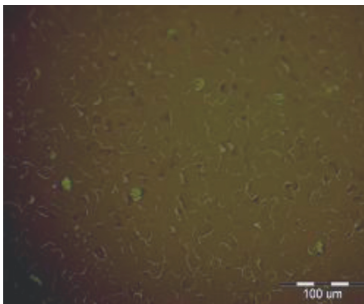
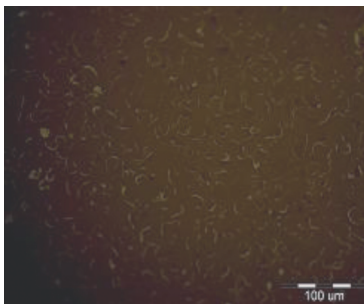
faltów. Otrzymane kompozycje posłużyły do badań rozpoznawczych, które miały na celu ustalenie, czy przyjęta metoda preparatyki według normy PN-EN 13632:2012 „Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Wzrokowa ocena zdyspergowania polimeru w asfaltach modyfikowanych polimerami” i zastosowana technika mikroskopii fluorescencyjnej, stanowią najlepszą z metod oceny struktury polimeroasfaltów. Szukano korelacji między strukturą a ilością wprowadzonego do asfaltu kopolimeru SBS i Sasobitu oraz odpowiedzi, jak dodatek wosku wpływa na mikrostrukturę kompozycji asfalt-elastomer.

Asfalt 35/50 modyfikowany SBS w ilości od 1 do 4% mas. i 0,5% mas. Sasobitu stanowi układ polimeroasfaltu, w którym SBS występuje w postaci drobnych cząstek rozproszonych w fazie asfaltowej. Natomiast Sasobit jest równomiernie rozproszony w asfalcie, tworząc układ homogeniczny.

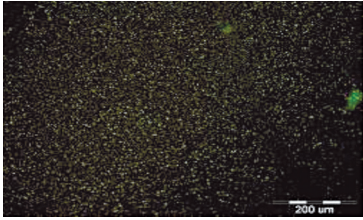
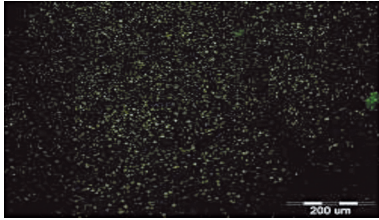
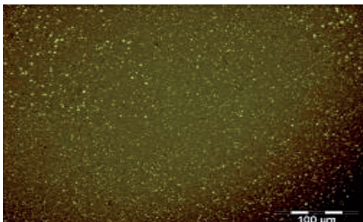
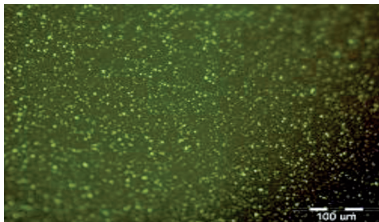
### 3.2. Ocena jakościowa i ilościowa asfaltu drogowego 35/50 modyfikowanego SBS w ilościach 1, 2, 3 i 4% mas. oraz 0,5% mas. wosku Sasobit

W Tabelach 4–7 przedstawiono ocenę jakościową i ilościową mikrostruktury asfaltu drogowego 35/50 z dodatkiem kopolimeru SBS oraz 0,5% mas. Sasobitu.

**Tabela 3.** Zdjęcia mikroskopowe asfaltu drogowego 35/50 z dodatkiem 0,5% mas. Sasobitu  
**Table 3.** Microscopic images of modified road bitumen 35/50 containing 0.5 wt.% of Sasobit

Asfalt drogowy 35/50 modyfikowany 0,5% mas. Sasobitu		
Powiększenie	Zdjęcie 1	Zdjęcie 2
100x		
200x		

**Tabela 4.** Ocena jakościowa i ilościowa asfaltu drogowego 35/50 modyfikowanego 1% mas. SBS oraz 0,5% mas. Sasobitu  
**Table 4.** Quality and quantity evaluation of modified road bitumen 35/50 containing 1 wt.% of SBS and 0.5 wt.% of Sasobit

Ocena jakościowa		
Powiększenie	Zdjęcie 1	Zdjęcie 2
100x		
200x		
<b>Ciągłość fazy</b>	B: ciągła faza asfaltowa	B: ciągła faza asfaltowa
<b>Opis fazy</b>	H: jednorodna	H: jednorodna
<b>Opis rozmiaru</b>	S: małe M: średnie L: duże	S: małe M: średnie L: duże
<b>Opis kształtu</b>	r: okrągłe	r: okrągłe
Ocena ilościowa		
Minimalna wielkość cząstki, $\mu\text{m}^2$	0,58	
Maksymalna wielkość cząstki, $\mu\text{m}^2$	124,85	
Klasy	Powierzchnia, $\mu\text{m}^2$	
0–1 $\mu\text{m}^2$	197,10	
1–5 $\mu\text{m}^2$	2219,06	
5–25 $\mu\text{m}^2$	6358,27	
25–100 $\mu\text{m}^2$	3753,58	
100–300 $\mu\text{m}^2$	124,85	
300–500 $\mu\text{m}^2$	0	
500–1000 $\mu\text{m}^2$	0	
1000–2500 $\mu\text{m}^2$	0	
Suma	12652,86	

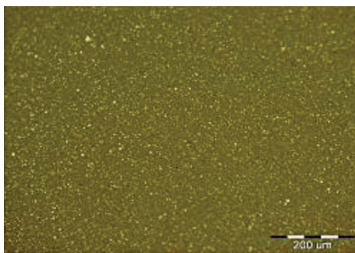
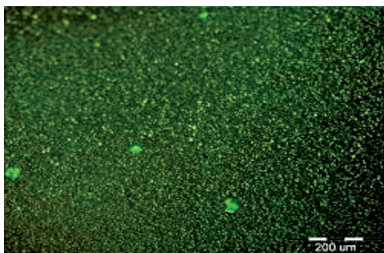
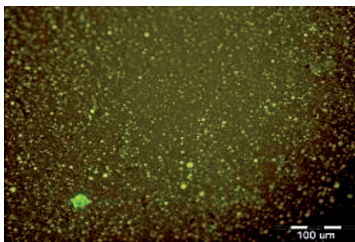
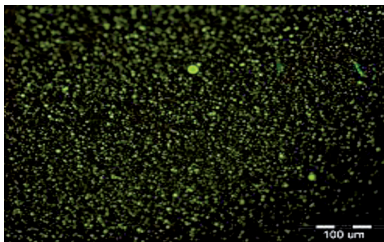
Na podstawie obserwacji obrazu mikroskopowego wg normy mikrostrukturę polimeroasfaltów opisano za pomocą oznaczeń literowych charakteryzujących dyspersyjny układ polimer-asfalt. Układy dyspersji polimeru w asfalcie opisywano, stosując następujące oznaczenia literowe:

- ciągłość fazy:
  - P – ciągła faza polimerowa
  - B – ciągła faza asfaltowa
  - X – ciągłość obu faz
- opis faz:
  - H – jednorodna
  - I – niejednorodna
- opis rozmiaru:
  - S – małe (<10  $\mu\text{m}$ )
  - M – średnie (od 10 do 100  $\mu\text{m}$ )
  - L – duże (>100  $\mu\text{m}$ )
- opis kształtu:
  - r – okrągłe, obłe
  - s – podłużne
  - o – inne.

Ilościowy opis mikrostruktury polimeroasfaltu z woskiem przeprowadzono w programie Cell\*D. Pierwszy etap polegał na przekształceniu obrazu kolorowego w czarno-biały. Drugi etap to określenie stopnia nasycenia cząstek polimeru za pomocą funkcji „set threshold”. Następnie definiowano wielkość badanego pola za pomocą funkcji „define rols”. Na trzecim etapie określono

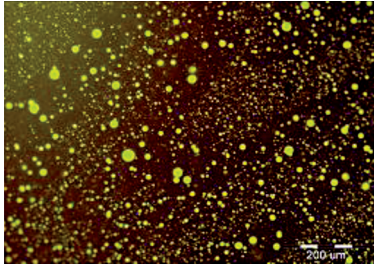
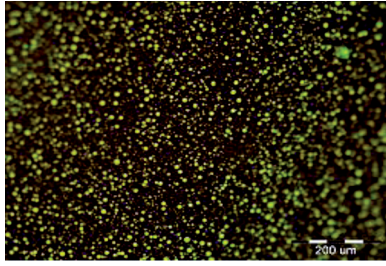
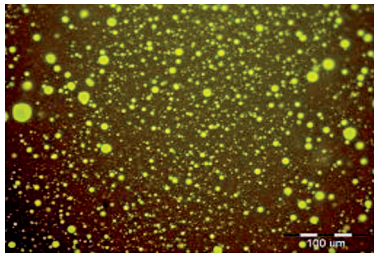
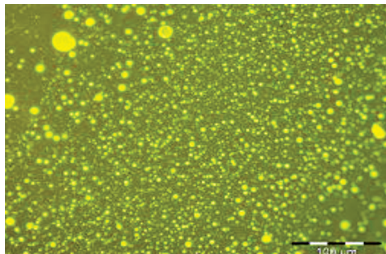
zakres rozmiaru cząstek polimeru w asfalcie za pomocą funkcji „define classification”. Po wybraniu funkcji „detect” cząstki polimeru zostały podzielone na poszczególne klasy i obramowane odpowiadającymi im kolorami. Następnie została policzona powierzchnia w poszczególnych zakresach oraz wyszczególniona minimalna i maksymalna powierzchnia cząstek.

**Tabela 5.** Ocena jakościowa i ilościowa asfaltu drogowego 35/50 modyfikowanego 2% mas. SBS oraz 0,5% mas. Sasobitu  
**Table 5.** Quality and quantity evaluation of modified road bitumen 35/50 containing 2 wt.% of SBS and 0.5 wt.% of Sasobit

Ocena jakościowa		
Powiększenie	Zdjęcie 1	Zdjęcie 2
100x		
200x		
<b>Ciągłość fazy</b>	B: ciągła faza asfaltowa	B: ciągła faza asfaltowa
<b>Opis fazy</b>	H: jednorodna	H: jednorodna
<b>Opis rozmiaru</b>	S: małe M: średnie L: duże	S: małe M: średnie L: duże
<b>Opis kształtu</b>	r: okrągłe	r: okrągłe
Ocena ilościowa		
Minimalna wielkość cząstki, $\mu\text{m}^2$	0,58	
Maksymalna wielkość cząstki, $\mu\text{m}^2$	215,02	
Klasy	Powierzchnia, $\mu\text{m}^2$	
0–1 $\mu\text{m}^2$	91,21	
1–5 $\mu\text{m}^2$	297,90	
5–25 $\mu\text{m}^2$	194,70	
25–100 $\mu\text{m}^2$	275,36	
100–300 $\mu\text{m}^2$	215,02	
300–500 $\mu\text{m}^2$	0	
500–1000 $\mu\text{m}^2$	0	
1000–2500 $\mu\text{m}^2$	0	
Suma	1056,19	

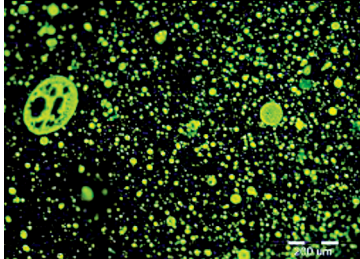
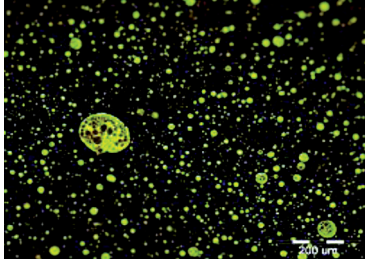
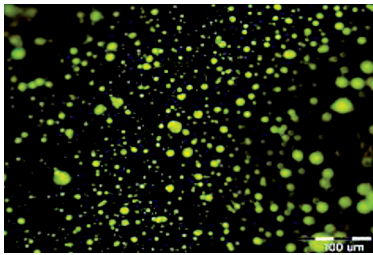
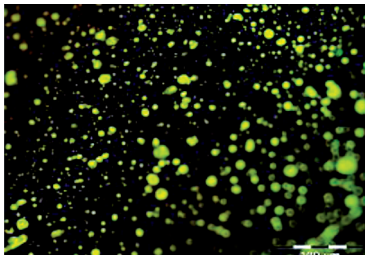


**Tabela 6.** Ocena jakościowa i ilościowa asfaltu drogowego 35/50 modyfikowanego 3% mas. SBS oraz 0,5% mas. Sasobitu  
**Table 6.** Quality and quantity evaluation of modified road bitumen 35/50 containing 3 wt.% of SBS and 0.5 wt.% of Sasobit

Ocena jakościowa		
Powiększenie	Zdjęcie 1	Zdjęcie 2
100x		
200x		
<b>Ciągłość fazy</b>	B: ciągła faza asfaltowa	B: ciągła faza asfaltowa
<b>Opis fazy</b>	H: jednorodna	H: jednorodna
<b>Opis rozmiaru</b>	S: małe M: średnie L: duże	S: małe M: średnie L: duże
<b>Opis kształtu</b>	r: okrągłe	r: okrągłe
Ocena ilościowa		
Minimalna wielkość cząstki, $\mu\text{m}^2$	0,14	
Maksymalna wielkość cząstki, $\mu\text{m}^2$	315,04	
Klasy	Powierzchnia, $\mu\text{m}^2$	
0–1 $\mu\text{m}^2$	38,78	
1–5 $\mu\text{m}^2$	228,97	
5–25 $\mu\text{m}^2$	949,22	
25–100 $\mu\text{m}^2$	1003,38	
100–300 $\mu\text{m}^2$	795,91	
300–500 $\mu\text{m}^2$	315,04	
500–1000 $\mu\text{m}^2$	0	
1000–2500 $\mu\text{m}^2$	0	
Suma	3331,3	



**Tabela 7.** Ocena jakościowa i ilościowa asfaltu drogowego 35/50 modyfikowanego 4% mas. SBS oraz 0,5% mas. Sasobitu  
**Table 7.** Quality and quantity evaluation of modified road bitumen 35/50 containing 4 wt.% of SBS and 0.5 wt.% of Sasobit

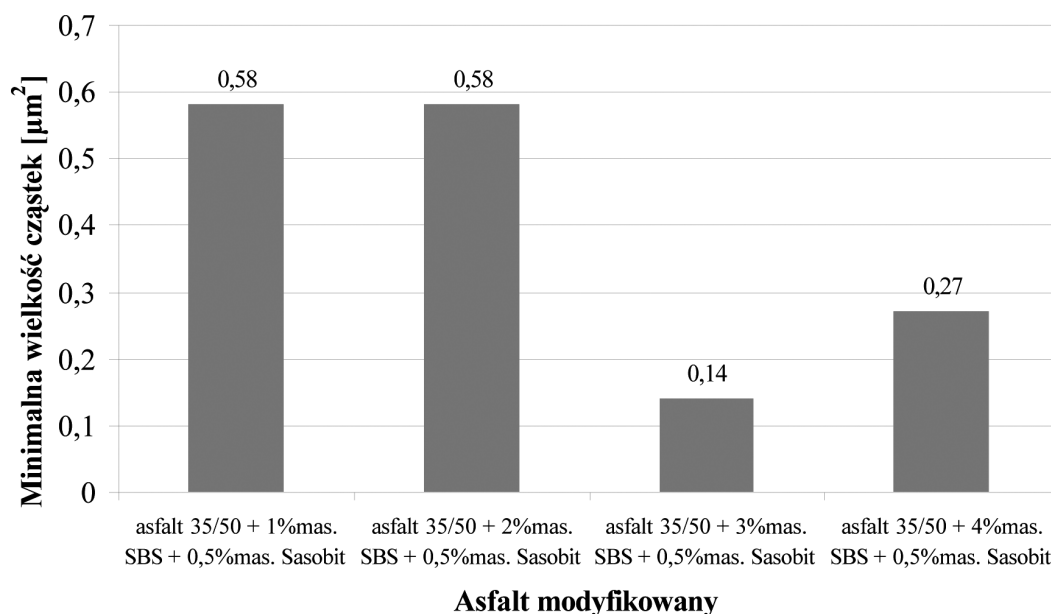
Ocena jakościowa		
Powiększenie	Zdjęcie 1	Zdjęcie 2
100x		
200x		
<b>Ciągłość fazy</b>	B: ciągła faza asfaltowa	B: ciągła faza asfaltowa
<b>Opis fazy</b>	H: jednorodna	H: jednorodna
<b>Opis rozmiaru</b>	S: małe M: średnie L: duże	S: małe M: średnie L: duże
<b>Opis kształtu</b>	r: okrągłe	r: okrągłe
Ocena ilościowa		
Minimalna wielkość cząstki, $\mu\text{m}^2$	0,27	
Maksymalna wielkość cząstki, $\mu\text{m}^2$	401,54	
Klasy	Powierzchnia, $\mu\text{m}^2$	
0–1 $\mu\text{m}^2$	102,28	
1–5 $\mu\text{m}^2$	82,48	
5–25 $\mu\text{m}^2$	296,40	
25–100 $\mu\text{m}^2$	640,60	
100–300 $\mu\text{m}^2$	1114,93	
300–500 $\mu\text{m}^2$	401,54	
500–1000 $\mu\text{m}^2$	0	
1000–2500 $\mu\text{m}^2$	0	
Suma	2638,23	

Mikroskopia optyczna z przystawką fluorescencyjną umożliwia określenie mikrostruktury kompozycji asfaltowo-polimerowych pod kątem jakościowym i ilościowym.

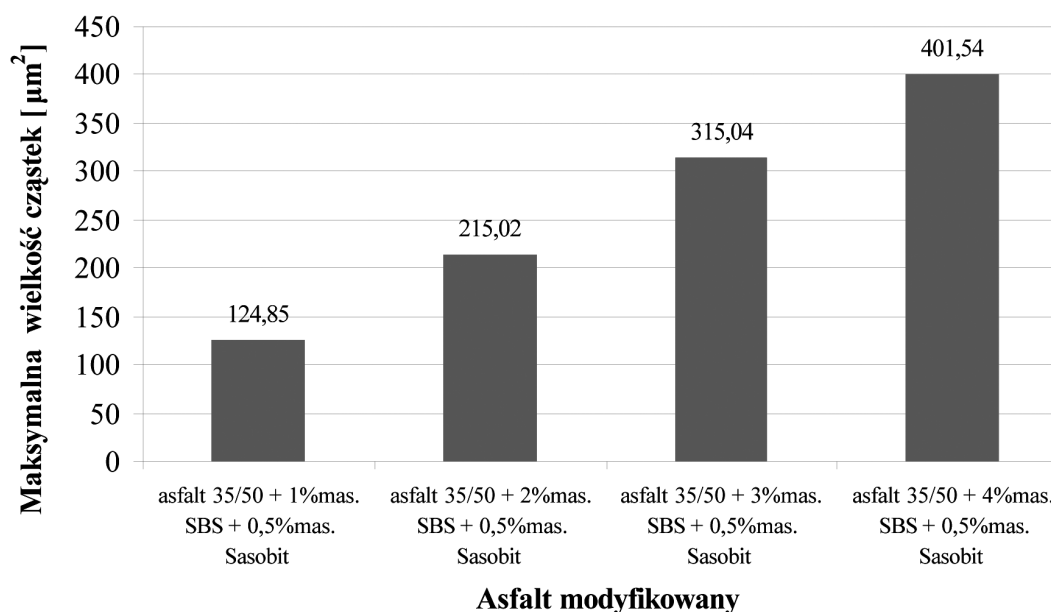
Ocena jakościowa kompozycji to określenie homogeniczności oraz stopnia rozproszenia cząstek polimeru w asfalcie (obserwując próbkę naświetlaną promieniowaniem UV, można zauważyć, że asfalt na zdjęciu mikroskopowym pozostaje czarny, natomiast polimer emituje żółte światło fluorescencyjne).

Ocena ilościowa kompozycji asfaltowo-polimerowych polega na scharakteryzowaniu mikrostruktury próbki za pomocą podziału cząstek fazy polimerowej

na klasy wielkości. Wszystkie badane układy asfaltowo-polimerowe miały postać układów dwufazowych, w którym fazę ciągłą stanowił asfalt. W asfalcie były rozmieszczone równomiernie niewielkie, okrągłe cząstki kopolimeru styren-butadien-styren, które świeciły na żółto oraz mikroskopijne cząsteczki wosku polietylenowego Sasobit. Sasobit pozostawał praktycznie niewidoczny na zdjęciach mikroskopowych, gdyż jest on całkowicie rozpuszczalny w lepiszczu asfaltowym, a jego wprowadzenie do układu asfalt-SBS miało na celu poprawienie mieszalności i homogeniczności układu.



**Rys. 1.** Minimalna wielkość cząstek kopolimeru SBS w asfalcie  
**Fig. 1.** Minimum particle size of SBS copolymer in bitumen



**Rys. 2.** Maksymalna wielkość cząstek kopolimeru SBS w asfalcie  
**Fig. 2.** Maximum particle size of SBS copolymer in bitumen

W kompozycjach zawierających 1% mas. oraz 2% mas. kopolimeru SBS cząstki modyfikatora miały kształt okrągły i niewielkie rozmiary, a w układzie zawierającym 3% mas. i 4% mas. SBS rozmiary tego dodatku były większe.

Na Rysunku 1 przedstawiono zależność minimalnej wielkości cząstki kopolimeru SBS od jego procentowej zawartości w asfalcie modyfikowanym. Minimalne powierzchnie cząstek kopolimeru we wszystkich kompozycjach asfalt-SBS-Sasobit mieściły się w zakresie pierwszej klasy wielkości 0–1  $\mu\text{m}^2$ . Minimalne powierzchnie cząstek wynosiły 0,14  $\mu\text{m}^2$ , 0,27  $\mu\text{m}^2$  oraz 0,58  $\mu\text{m}^2$ .

Na Rysunku 2 przedstawiono zależność maksymalnej wielkości cząstki SBS od stopnia modyfikacji asfaltu. Maksymalna powierzchnia cząstek kopolimeru liniowego SBS rosła wraz ze wzrostem jego zawartości w asfalcie modyfikowanym. W kompozycji złożonej z asfaltu drogowego 35/50, 1% mas. kopolimeru SBS oraz 0,5% mas. Sasobitu maksymalna powierzchnia cząstek wyniosła 124,85  $\mu\text{m}^2$ , a w próbce zawierającej 4% mas. kopolimeru SBS i 0,5% mas. Sasobitu 401,54  $\mu\text{m}^2$ .

W asfalcie drogowym 35/50 modyfikowanym kopolimerem SBS w ilościach:

- 1% mas. największy rozmiar cząstki kopolimeru SBS wynosił 124,85  $\mu\text{m}^2$ , natomiast minimalna wielkość cząstki wyniosła 0,58  $\mu\text{m}^2$ ;
- 2% mas. największy rozmiar cząstki kopolimeru SBS wynosił 215,02  $\mu\text{m}^2$ , natomiast minimalna wielkość cząstki wyniosła 0,58  $\mu\text{m}^2$ ;

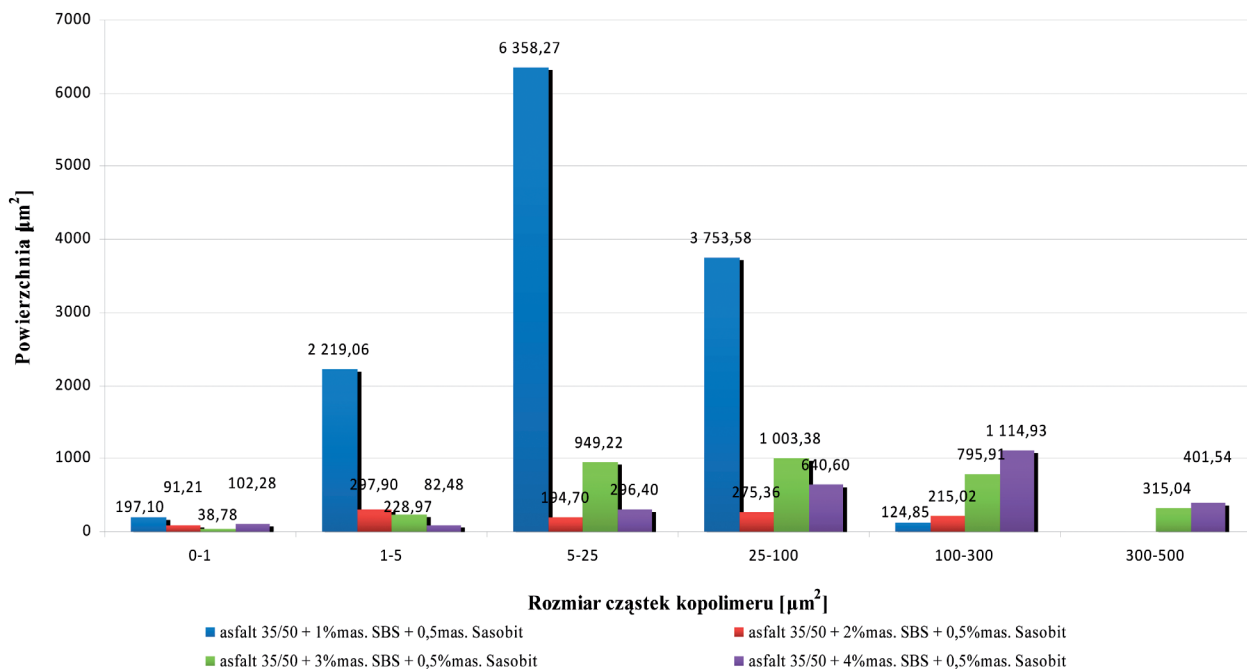
- 3% mas. największy rozmiar cząstki SBS wynosił 315,04  $\mu\text{m}^2$ , natomiast minimalna wielkość cząstki wyniosła 0,14  $\mu\text{m}^2$ ;
- 4% mas. największy rozmiar cząstki kopolimeru SBS wynosił 401,54  $\mu\text{m}^2$ , a minimalna wielkość cząstki wyniosła 0,27  $\mu\text{m}^2$ .

Na Rysunku 3 przedstawiono porównanie udziału cząstek kopolimeru o różnym rozmiarze w asfaltach modyfikowanych o zmiennej zawartości SBS i stałej ilości dodatku Sasobit. Porównano powierzchnię zajmowaną przez cząstki o danym rozmiarze.

## 4. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono korzystny wpływ dodatku wosku Sasobit na mieszalność, homogeniczność i strukturę asfaltu modyfikowanego kopolimerem styren-butadien-styren. Korzystny wpływ wosku stwierdzono również w przypadku asfaltów modyfikowanych SBS przemysłowo, np. 25/55-60 oraz 45/80-55 i asfaltów drogowych 70/100 i 50/70 [22, 23].

Obserwacje próbek mikroskopowych prowadzono w powiększeniach 100x i 200x. Powiększenie to pozwala na przeprowadzenie jakościowej i ilościowej oceny badanych kompozycji asfalt-kopolimer-wosk. Za pomocą analizy jakościowej określono homogeniczność układu asfalt-polimer, natomiast analiza ilościowa dostarczyła informacji na temat



**Rys. 3.** Porównanie udziału cząstek kopolimeru SBS o różnym rozmiarze w asfaltach modyfikowanych o zmiennej zawartości SBS

**Fig. 3.** Comparison of the content of SBS copolymer particles having different size in modified bitumen with various content of SBS copolymer

rozmiaru cząstek kopolimeru SBS i zajmowanej przez nie powierzchni w lepiszczu asfaltowym.

Wszystkie kompozycje asfaltowo-polimerowe miały postać układów jednorodnych. Fazę ciągłą stanowił asfalt drogowy 35/50, w którym rozproszone były równomiernie cząstki kopolimeru SBS oraz dodatku Sasobit. Kopolimer miał postać okrągłych cząstek, różnej wielkości, natomiast Sasobit pozostawał praktycznie niewidoczny na zdjęciach mikroskopowych.

Wosk polietylenowy Sasobit jest całkowicie rozpuszczalny w lepiszczu asfaltowym w temperaturze mieszania (tu:  $T = 195\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $t = 120\text{ min}$ ), a jego dodatek do kompozycji asfalt + kopolimer SBS powoduje zwiększenie homogeniczności układu oraz wpływa korzystnie na jego lepkość (zmniejsza lepkość, pozwala bowiem na obniżenie temperatury technologicznej, czyli na oszczędność energii, podczas wytwarzania mieszanki mineralno-asfaltowej i jej układania).

Minimalna wielkość cząstek kopolimeru SBS we wszystkich kompozycjach asfaltowo-polimerowych mieściła się w zakresie pierwszej klasy wielkości  $0\text{--}1\text{ }\mu\text{m}^2$ . Maksymalna wielkość cząstek kopolimeru SBS w próbce zawierającej 4% mas. SBS i 0,5% mas. Sasobitu wyniosła  $401,54\text{ }\mu\text{m}^2$  i mieściła się w zakresie klasy  $300\text{--}500\text{ }\mu\text{m}^2$ .

W asfalcie drogowym 35/50 modyfikowanym kopolimerem SBS (przy stałym poziomie Sasobitu) w ilościach:

- 1% mas. największy rozmiar cząstki kopolimeru wynosił  $124,85\text{ }\mu\text{m}^2$ , natomiast minimalna powierzchnia cząstki wyniosła  $0,58\text{ }\mu\text{m}^2$ . W próbce tej największą powierzchnię zajmowały cząstki z zakresu  $5\text{--}25\text{ }\mu\text{m}^2$  ( $6358,27\text{ }\mu\text{m}^2$ ), a najmniejszą z zakresu  $100\text{--}300\text{ }\mu\text{m}^2$  ( $124,85\text{ }\mu\text{m}^2$ ).
- 2% mas. największa powierzchnia cząstki kopolimeru wyniosła  $215,02\text{ }\mu\text{m}^2$ , natomiast minimalny rozmiar cząstki wyniósł  $0,58\text{ }\mu\text{m}^2$ . W próbce tej największą powierzchnię zajmowały cząstki z zakresu  $1\text{--}5\text{ }\mu\text{m}^2$  ( $297,90\text{ }\mu\text{m}^2$ ), a najmniejszą z zakresu  $0\text{--}1\text{ }\mu\text{m}^2$  ( $91,21\text{ }\mu\text{m}^2$ ).
- 3% mas. największy rozmiar cząstki SBS wynosił  $315,04\text{ }\mu\text{m}^2$ , natomiast minimalna powierzchnia cząstki wyniosła  $0,14\text{ }\mu\text{m}^2$ . W próbce tej największą powierzchnię zajmowały cząstki z zakresu  $25\text{--}100\text{ }\mu\text{m}^2$  ( $1003,38\text{ }\mu\text{m}^2$ ), a najmniejszą z zakresu  $0\text{--}1\text{ }\mu\text{m}^2$  ( $38,78\text{ }\mu\text{m}^2$ ).
- 4% mas. największy rozmiar cząstki kopolimeru styren-butadien-styren wynosił  $401,54\text{ }\mu\text{m}^2$ , a minimalna powierzchnia cząstki wyniosła  $0,27\text{ }\mu\text{m}^2$ . W próbce tej największą powierzchnię zajmowały cząstki z zakresu  $100\text{--}300\text{ }\mu\text{m}^2$  ( $1114,93\text{ }\mu\text{m}^2$ ), a najmniejszą z zakresu  $1\text{--}5\text{ }\mu\text{m}^2$  ( $82,48\text{ }\mu\text{m}^2$ ).

Wykorzystując metody analizy obrazu, można kontrolować proces modyfikacji polimeroasfaltów oraz monitorować stałość i charakter układu dyspersyjnego wytworzonego przez rozproszony polimer w asfalcie.

W ocenie jakościowej i ilościowej optymalną kompozycję stanowi asfalt 35/50 modyfikowany 4% mas.

SBS i 0,5% mas. Sasobitu. Kompozycja ta stanowi podstawę do prowadzenia dalszych badań nad mikrostrukturą polimeroasfaltów.

Jakościowa i ilościowa ocena mikrostruktury asfaltu niemodyfikowanego oraz modyfikowanego SBS i Sasobitem pozwoliła na określenie zdyspergowania faz i opisanie układu w sposób matematyczny.

## Literatura

1. Gaweł I., Kalabińska M., Piłat J., *Asfalty drogowe*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2001, 35–55, 62–67.
2. Zieliński J., Bukowski A., Brzozowska T., Ciesińska W., Gurdzińska E., Liszyńska B., Osowiecka B., *Wybrane właściwości asfaltów naftowych i kompozycji asfaltowo-polimerowych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2007, 49–53, 81–85.
3. Wolska K.: *Nafta i gaz*, raport roczny Polska 2004; 54–57.
4. Praca zbiorowa pod redakcją Surygaty J., Bugaj Cz., Olszewska J., Pater K., Pawłowska B., Puchowicz A., Rutkowska J., Stokłosa T., Śliwka E., *Vademecum rafinera. Ropa naftowa, właściwości, przetwarzanie, produkty*, Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa 2000, 506–508.
5. Zieliński J., *Polimery* 1997, **43**, 2, 17.
6. Piłat J., Radziszewski P., *Nawierzchnie asfaltowe*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2004, 53–54; 110–113.
7. Peciakowski H., Kołodziejcki R., *Drogownictwo*, 2009, **3**, 81.
8. Radziszewski P., Kalabińska M., Piłat J., *Materiały drogowe i nawierzchnie asfaltowe*, Politechnika Białostocka i Politechnika Warszawska, Białystok-Warszawa 1995, 315–333.
9. Zieliński J., *Studia nad budową i właściwościami kompozycji bitumiczno-polimerowych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1991, 35–38.
10. Zieliński K., *Materiały budowlane*, 1997, **23**, 259, 110.
11. Chojnacka M., *Elastomery*, 2012, **16**, 3, 16.
12. Piłat J., Radziszewski P., „Wpływ soli organometalicznych na właściwości lepkosprężyste betonu asfaltowego do warstwy wiążącej”. I Polski Kongres Drogowy. 4–6 października 2006, Warszawa
13. Łokaj D.: *Magazyn Autostrady* 2009, 1–2, 52–55.
14. [www.inzynierxxi.pl/download/files/docs/18-d--lokaj-j-e-kiert](http://www.inzynierxxi.pl/download/files/docs/18-d--lokaj-j-e-kiert) [15.03.2015].
15. <http://skn.pl/pl/strony/modyfikator-asfaltow-sasobit/> [10.03.2015].
16. <http://edroga.pl/nauka/badania/1097-ekologia-w-produkcji-mas-bitumicznych-zeolit-iillllk> [10.03.2015].
17. Król J., *Drogi i mosty* 2008, **4**, 23–25.
18. Litwin J.A., Gajda M., *Podstawy technik mikroskopowych*, Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków 2011, 28–30.
19. Piłat J., Król J., *Drogownictwo* 2005, **9**, 273–275.
20. Bukowska M., *Polimery* 1994, **39**, 6, 339–343.
21. PN-EN13632:2012 „Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Wzrokowa ocena zdyspergowania polimeru w asfaltach modyfikowanych polimerami”.
22. Marszałek G., Majczak R., *Polimery* 2012, **57**, 9, 640–645.
23. Sybilski D., *Drogownictwo* 2000, **55**, 3, 67–70.