

EKOLOGICZNY SPOSÓB RECYKLINGU TEKSTYLIÓW POCHODZĄCYCH Z OPON WYCOFANYCH Z EKSPLOATACJI

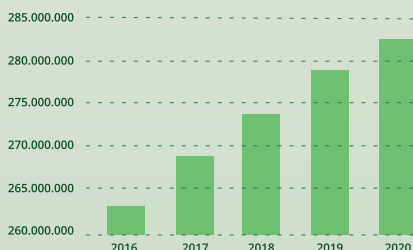
Autorzy

Przemysław Zaprzalski, Witalij Zankowicz
Recykl O.O. S.A., Śrem, Polska
E-mail: p.zaprzalski@recykl.pl, w.zankowicz@recykl.pl

Krótkie wprowadzenie

Najważniejszą rolę w transporcie towarowym i pasażerskim odgrywają drogi - transport drogowy służy za podstawę wszystkich dostaw i jest elementem zapewniającym połączenie innych rodzajów transportu. Flota pojazdów wszystkich rodzajów na drogach w Unii Europejskiej wynosiła w 2020 r. około 282 mln. Jednocześnie ruch pasażerski i towarowy stale rośnie.

Flota wszystkich pojazdów w Unii Europejskiej
W jednostkach / 2016-2020



Wzrost obciążeń transportowych ma znaczący wpływ na zmniejszenie trwałości konstrukcji drogowych. W związku z tym na całym świecie wiele uwagi poświęca się poszukiwaniu technologii drogowych i materiałów, które zwiększają ich trwałość.

Istnieje kilka sposobów poprawy jakości mieszanek mineralno-asfaltowych (MMA) - poprzez ulepszenie technologii produkcji asfaltu i MMA oraz ich składu, lub poprzez wprowadzenie różnych dodatków w procesie ich produkcji. Jednym z najczęściej stosowanych rodzajów MMA, która zapewnia zwiększoną trwałość nawierzchni drogowych, jest mieszanka mastykowo-rysowa SMA z dodatkiem stabilizującym.



Mieszanka mastykowo-grysowa SMA

W ostatnich latach coraz szerzej prowadzone są badania skuteczności stosowania włókien syntetycznych z recyklingu zużytych opon jako składnika dyspersyjno-wzmacniającego mieszanek mineralno-asfaltowych. Prace te wskazują na wzrost wszystkich głównych wskaźników wytrzymałości i odkształcalności mieszanek asfaltowych modyfikowanych podobnym włóknem.



Odnotowuje się wysoką efektywność ekologiczną i ekonomiczną ich użytkowania. Jednak ten rodzaj

włókna nie zyskał jeszcze szerokiego zastosowania przemysłowego do optymalizacji właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych ze względu na złożoność procesu oczyszczania włókien, a także złożoność procesu uzyskiwania z nich dodatku w postaci odpowiedniej do skutecznego dozowania i homogenizacji przy produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych na wytwórniach mas bitumicznych.



W celu szerszego i bardziej skutecznego zastosowania włókien syntetycznych o wysokiej wytrzymałości z recyklingu zużytych opon Recykl Organizacja Odzysku S.A. opracowała innowacyjny produkt - granulowany dodatek do mieszanek mineralno-asfaltowych SMAPOL®.

Dodatek SMAPOL® to nietoksyczne, nierozpuszczalne w wodzie cylindryczne granulki (pelet) o gęstości nasypowej od 410,0 do 500,0 kg/m³ w kolorze ciemnoszarym (czarno-szarym). Średnia długość granulek wynosi od 5 do 25 mm, grubość (średnica) wynosi 6,0 ± 1,0 mm.

Na dzień dzisiejszy SMAPOL® jest jedynym produkowanym w Polsce (w ramach certyfikowanego procesu produkcji wyrobów budowlanych - System 2+) dodatkiem do mieszanek mineralno-asfaltowych SMA (Krajowa Ocena Techniczna nr IBDiM- KOT- 2023/0913 wydanie 1; Krajowy Certyfikat Zgodności Zakładowej Kontroli Produkcji AC152-UWB-PL23/1678 wydanie 1).

Cel pracy

Biorąc pod uwagę zrozumieliśmy efekt środowiskowy i oszczędzający zasoby, celem pracy była ocena efektywności technicznej (poprzez przedłużenie trwałości nawierzchni drogowych) i ekonomicznej (w oparciu o poziom kosztów sposobu modyfikacji) z zastosowania danego włóknistego dodatku w porównaniu ze stabilizującym dodatkiem celulozowym.

Metodyka

Badanie efektywności technicznej dodatku SMAPOL® z recyklingu kordów tekstylnych zużytych opon do mieszanek SMA przeprowadzono według następujących wskaźników wytrzymałości i odporności na odkształcenia: odporność na koleinowanie, odporność na pękanie termiczne, odporność zmęczeniowa (cykliczna), wodoodporność. Badanie odporności na koleinowanie przeprowadzono zgodnie z PN-EN 12697-22:2020-07 (aparatura mała, procedura B), odporność na pękanie termiczne zgodnie z PN-EN 12697-46:2020-07 (metoda TSRST) oraz odporność na działanie wody zgodnie z PN-EN 12697-12:2018-08 (metoda A).

Do oceny odporności zmęczeniowej (cyklicznej) zastosowano metodologię, zgodnie z którą maksymalna wytrzymałość strukturalna mieszanki mineralno-asfaltowej R_c w całym zakresie temperaturowym (czy prędkości obciążenia) porównuje się z wynikami testu na rozciąganie przy rozłupywaniu w temperaturze 0°C i prędkości obciążenia 50 mm/min. Dodatkowo przeprowadzono badania spływności lepiszcza zgodnie z PN-EN 12697-18:2017-07 pkt. 5. Oznaczanie zawartości wolnej przestrzeni w próbkach asfaltowych przeprowadzono zgodnie z PN-EN 12697-8:2019-01. Metoda przygotowania mieszanki SMA - PN-EN 12697-35:2016-05.

Do badań przyjęto następujący skład frakcyjny mineralnej części mieszanki mineralno-asfaltowej SMA 11:

Wypełniacz dodany, wapienny	Kruszywo drobne 0/2, gąbrosz	Kruszywo grube 2/5, gąbrosz
9,6%	16,0%	5,3%
	Kruszywo grube 4/8, gąbrosz	Kruszywo grube 8/11, gąbrosz
	17,0%	52,1%

Skład mieszanek mineralno-asfaltowych SMA11

	SMA11_1	SMA11_2	SMA11_3	SMA11_4	SMA11_5	SMA11_6
1. Zawartość środka adhezyjnego	0,3%	0,3%	0,3%	0,3%	0,3%	0,3%
2. Rodzaj lepiszcza	Asfalt 50/70	Asfalt 50/70	PmB 25/55-60	Asfalt 50/70	Asfalt 50/70	Asfalt 50/70
3. Zawartość lepiszcza	6,0%	6,0%	6,5%	6,0%	6,0%	5,7%
4. Rodzaj dodatku	Dodatek celulozowy z woskiem	Dodatek celulozowy z woskiem	Dodatek celulozowy z woskiem	SMAPOL®	SMAPOL®	SMAPOL®
5. Zawartość dodatku	0,3%	0,5%	0,3%	0,5%	0,65%	0,5%

Jako kryterium określające stan graniczny mieszanki asfaltowej w nawierzchni był przyjęty ogólny poziom niezawodności P_0 , który jest integralną charakterystyką poszczególnych poziomów niezawodności P_i według następujących właściwości: odporność na pojawienie się trwałych (plastycznych) odkształceń w postaci koleiny w wysokiej temperaturze (P_1), odporność na pękanie w niskiej temperaturze (P_2), odporność na powtarzające się cykliczne obciążenia transportowe i akumulację zmęczenia (P_3), odporność na wodę (P_4), co umożliwiło oszacowanie wydłużenia trwałości (przy określonych obciążeniach transportowych, konstrukcji nawierzchni, warunków klimatycznych itp.) nawierzchni wykonanej ze zmodyfikowanej mieszanki asfaltowej oraz opłacalności metody modyfikacji.

Wyniki badań

Przeprowadzone badania pozwoliły ustalić główne cechy funkcjonalne dodatku SMAPOL® w oparciu o niektóre wskaźniki właściwości fizycznych i mechanicznych mieszanek mineralno-asfaltowych SMA11.

Można jednoznacznie stwierdzić, że dodatek może być skutecznie stosowany jako:

- dodatek stabilizujący;
- dodatek strukturyzujący, dyspersyjno-wzmacniający.

Potwierdzenie zdolności do wzmocnienia struktury wynika to przede wszystkim z faktu, że przy stosowaniu dodatku zwiększa się wytrzymałość strukturalna mieszanki mineralno-asfaltowej SMA w całym zakresie temperatury i czasu działania obciążenia. Tak więc wskaźnik maksymalnej wytrzymałości strukturalnej mieszanki asfaltowej z dodatkiem SMAPOL® jest o 14% wyższy niż w podobnej na dodatku celulozowym – 6,79 MPa w porównaniu do 5,94 MPa. W związku z tym zapewniony jest wzrost nie tylko odporności zmęczeniowej i odporności na pękanie temperaturowe, ale także odporności na koleinowanie, a także pewien wzrost odporności na działanie wody. Przy tym wartość maksymalnej wytrzymałości strukturalnej wzrasta wraz ze wzrostem dozowania SMAPOL®: przy zużyciu 0,5% wartość R_c wynosi 6,79 MPa, a przy zużyciu 0,65% – 7,22 MPa (wzrost wynosi około 6%).

Zauważalne jest, że skuteczność wzmocnienia jest wyższa przy niskiej wytrzymałości matrycy, co potwierdzają wyniki badań mieszanek asfaltowych modyfikowanych dodatkiem na koleinowanie.



Jednocześnie, dodatek z recyklingu kordów zużytych opon w porównaniu z dodatkami stabilizującymi na bazie włókna celulozowego prawdopodobnie zapewnia bardziej optymalny stopień adsorpcji asfaltu, co pozwala przy niższej zawartości lepiszcza osiągnąć nie tylko wyższe wskaźniki wytrzymałości i odkształcalności, ale także nieco wyższe wskaźniki wodoodporności modyfikowanych mieszanek mineralno-asfaltowych SMA.

Takie założenie wynika z faktu, że przy tym samym stosunku "dodatek: optymalna zawartość asfaltu" mieszanka asfaltowa na włóknie syntetycznym ma nieco wyższy wskaźnik wodoodporności niż mieszanka asfaltowa na włóknie celulozowym (0,91 vs 0,87),

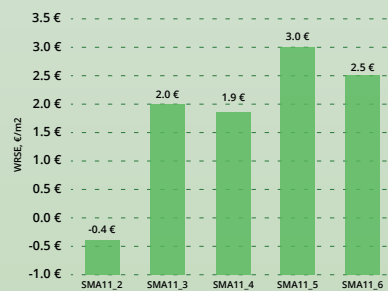
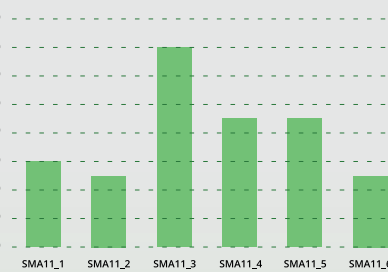
którego wartość, przy jednoczesnym znacznym wzroście wskaźników wytrzymałości i odkształcalności, nie zmniejsza się wraz ze wzrostem zawartości włókna syntetycznego, a pewien spadek wodoodporności obserwuje się tylko w przypadku spadku zawartości asfaltu poniżej optymalnego poziomu.

Warunkowy roczny skutek ekonomiczny WRSE od wykonania i użytkowania nawierzchni ze zmodyfikowanej MMA był obliczony na podstawie zdefiniowanej jej trwałości.

W porównaniu z dodatkami celulozowymi, skuteczność, określona przez względną trwałość, dodatku z recyklingu kordów zużytych opon jest znacznie wyższa, około 20%-40%. Przy stosunkowo tej samej cenie dodatku SMAPOL® i dodatków celulozowych, oznacza to również znacznie wyższy efekt ekonomiczny jego stosowania.

Mieszanka asfaltowa	K_1	P_1	K_2	P_2	K_3	P_3	K_4	P_4	P_0	T, lat*	Z_w , %**
SMA11_1	1.52	0.78	1.17	0.8	1.14	0.78	0.99	0.75	0.78	5	100
SMA11_2	1.55	0.8	1.15	0.78	1.19	0.84	0.97	0.7	0.78	5.02	100.3
SMA11_3	2.96	0.98	1.40	0.92	1.59	0.99	1.07	0.9	0.95	8.19	163.7
SMA11_4	1.58	0.81	1.19	0.83	1.36	0.98	1.01	0.78	0.85	6.19	123.8
SMA11_5	2.10	0.95	1.29	0.88	1.44	0.99	1.01	0.78	0.90	7.14	142.8
SMA11_6	2.30	0.97	1.17	0.8	1.39	0.98	0.97	0.7	0.85	6.33	126.6

Jak widać z powyższych obliczeń porównawczych, dodatek SMAPOL® jest bardziej skuteczny w porównaniu z dodatkami celulozowymi, a jego zastosowanie zapewnia osiągnięcie nawet nieco wyższego warunkowego rocznego skutku ekonomicznego w porównaniu z ekonomicznym skutkiem stosowania asfaltu modyfikowanego.



Wnioski

Wyniki niniejszego badania wskazują na perspektywę zastosowania dodatku SMAPOL® w celu zapewnienia nie tylko stabilności technologicznej mieszanek mastykowo-grysowych SMA, ocenianej na podstawie wskaźnika spływności lepiszcza, ale także wytrzymałości i odkształcalności.

W przeciwieństwie do dodatku na bazie włókna celulozowego, dodatek na bazie włókna syntetycznego z recyklingu tekstylnych kordów zużytych opon, przy zwiększeniu jego zawartości o 30% w składzie mieszanki SMA, zapewnia wzrost jej wytrzymałości strukturalnej (do 21,5%) i odporności na koleiny (do 33,7%) przy niekórym wzroście (do 4,6%) wskaźnika wodoodporności i odporności na pękanie termiczne (do 10,8%).

Przeprowadzona analiza skuteczności technicznej i ekonomicznej stosowania danego rodzaju włóknistego dodatku pozwala liczyć na uzyskanie wymiernego rocznego efektu ekonomicznego poprzez przedłużenie trwałości nawierzchni drogowych wykonanych ze zmodyfikowanych mieszanek asfaltowych, w oparciu o poziom kosztów sposobu modyfikacji.

W celu dokładniejszego zbadania wpływu włókien syntetycznych z recyklingu zużytych opon na właściwości wytrzymałościowe i odkształcające zmodyfikowanych mieszanek asfaltowych SMA wskazane jest przeprowadzenie dodatkowych badań, biorąc pod uwagę uziarnienie.

Obecnie rynek mieszanek mastykowo-grysowych SMA w UE można oszacować na 30 mln ton, co otwiera wystarczająco duże perspektywy na szersze zastosowanie włókna syntetycznego pochodzącego z recyklingu zużytych opon w jakości stabilizującego i wzmacniającego dodatku.