

SMAPOL[®] - Funkcjonalna Prostota...

WSTĘP

Na drogach Unii jeździ ponad 6,2 mln średnich i ciężkich pojazdów użytkowych, co stanowi wzrost o 1,7% w porównaniu z 2019 r. Z około 1,2 mln samochodów ciężarowych Polska ma największą flotę. W całej Unii Europejskiej jeździ 684 285 autobusów, z czego prawie połowę można znaleźć tylko w trzech krajach: Polsce (124 526), Włoszech (99 883) i Francji (93 506). Jednocześnie wzrost ruchu pasażerskiego i towarowego stale rośnie.

Taki wzrost obciążeń transportowych zdecydowanie 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 żywotność. Obecnie najpopularniejszym materiałem nawierzchni dróg jest asfaltobeton, którego właściwości użytkowe w dużej mierze zależą od właściwości lepiszcza bitumicznego.



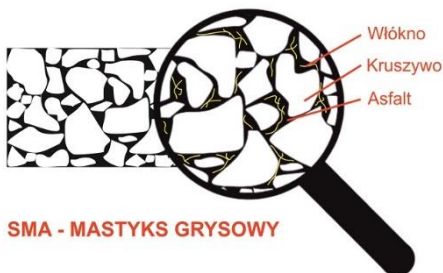
Istnieje kilka sposobów poprawy jakości mieszanek mineralno-asfaltowych (MMA) - poprzez ulepszenie technologii produkcji bitumu i MMA oraz ich składu, lub poprzez wprowadzenie różnych dodatków w procesie ich produkcji.

Jednym z najczęstszych rodzajów MMA, która zapewnia zwiększoną żywotność nawierzchni drogowych, jest mieszanka mineralno-asfaltowa / mastyks grysowy SMA.

Główne różnice między SMA a zwykłej mieszanką asfaltowej AC obejmują:

Zwiększona zawartość i jakość kruszywa;

- Zwiększona zawartość lepiszcza bitumicznego;
- Obecność dodatku stabilizującego.



Oraz główne zalety:

- Wodoodporny i mrozoodporny;
- Wysoka odporność na zmęczenie;
- Zwiększona odporność na odkształcenia w postaci kolein;
- Niska ścieralność;
- Chropowatość i wysokie właściwości cierne nawierzchni;
- Zwiększona odporność na pęknięcie;
- Niski poziom hałasu.

Jednak wszystkie te zalety są jednoznacznie widoczne przy stosowaniu bitumów modyfikowanych polimerami, takimi jak SBS, SIS, SEBS, EVA itp., a także przy stosowaniu skutecznych dodatków stabilizujących (głównie celulozowych), co sprawia, że ten rodzaj MMA jest wystarczająco drogi w porównaniu, na przykład, ze standardowymi mieszankami mineralno-asfaltowymi AC. Zastosowanie tańszych, niezmodyfikowanych bitumów w połączeniu ze standardowymi celulozowymi stabilizatorami lepiszcza nie pozwala na stosowanie takich mieszanek asfaltowych na drogach o dużym natężeniu ruchu ciężarowego. Wszystko to w pewnym stopniu ogranicza powszechne stosowanie

MMA o powyższych cechach strukturalnych – o wysokiej zawartości gruboziarnistego kruszywa oraz lepiscza bitumicznego.

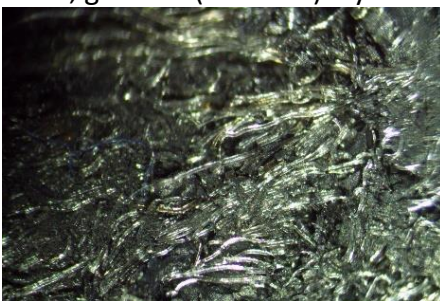


W celu wyrównania powyższych wad Recykl Organizacja Odzyski S.A. opracowała innowacyjny produkt - dodatek do mieszanek mineralno-asfaltowych **SMAPOL**[®] (skuteczny **SMA** z **POL**ski).

SMAPOL[®] - dodatek do MMA otrzymuje się z przerobu kordów tekstylnych odzyskiwanych w procesie recyklingu zużytych opon. W procesie produkcji dodatku mieszanka wielowłóknowa składająca się z włókien poliestrowych,

poliamidowych i polipropylenowych jest optymalizowana pod względem zawartości włókien każdego rodzaju, aktywowana i modyfikowana.

Dodatek **SMAPOL**[®] to nietoksyczne, nierozpuszczalne w wodzie cylindryczne granulki (pellet) o gęstości nasypowej od 410,0 do 460,0 kg/m³ w kolorze ciemnoszarym (czarno-szarym). Średnia długość granulek wynosi od 5 do 25 mm, grubość (średnica) wynosi 6,0 ± 1,0 mm.



Dozowanie dodatku **SMAPOL**[®] dla MMA o podwyższonej zawartości lepiscza, zapewniające wymagany wskaźnik spływności, z reguły wynosi od 0,2 % do 0,6 % masy składników mineralnych mieszanki czyli od 2,0 do 6,0 kg na 1 tonę w zależności od właściwości użytego lepiscza i uziarnienia MMA.



Skład komponentowy dodatku **SMAPOL**[®] i właściwości mechaniczne cylindrycznych granulek uzyskanych w procesie pelletowania w odpowiednich optymalnych warunkach zapewniają możliwość ich podawania do mieszalnika wytwórni mas bitumicznych dowolną ze znanych metod i równomierne mieszanie podczas przygotowywania gorącej MMA w standardowej temperaturze i w standardowym trybie procesowym.

SMAPOL[®] może być stosowany przy budowie warstw nawierzchni drogowych autostrad, ulic

miejskich, lotnisk, podjazdów, parkingów i placów we wszystkich strefach drogowo-klimatycznych.

Zwykle dodatek **SMAPOL**[®] podczas produkcji MMA jest dozowany bezpośrednio z big-bagów do mieszalnika w sposób automatyczny (przez podajnik ślimakowy lub pneumatyczny).

Przybliżona obiecująca wielkość wykorzystania odzyskanego włókna syntetycznego z recyklingu zużytych opon na 1 m² asfaltowej nawierzchni drogowej o grubości 4 cm może osiągnąć około 0,15-0,6 kg.

SKUTECZNOŚĆ TECHNICZNA **SMAPOL**[®]

Zastosowanie nowych materiałów i technologii w budownictwie drogowym powinna charakteryzować racjonalność techniczna i ekonomiczna. Osiąga się to poprzez zwiększenie

żywołności elementu, w którym ten materiał jest używany, to znaczy zwiększenie żywotności konstrukcji drogowej. Dzięki temu wydłuża się czas eksploatacji bez remontu i kształtuje się efekt ekonomiczny.

Przeprowadzone badania pozwoliły ustalić granice skutecznego stosowania dodatku **SMAPOL**[®] w oparciu o niektóre wskaźniki właściwości fizycznych i mechanicznych MMA, a także jego główne cechy funkcjonalne.

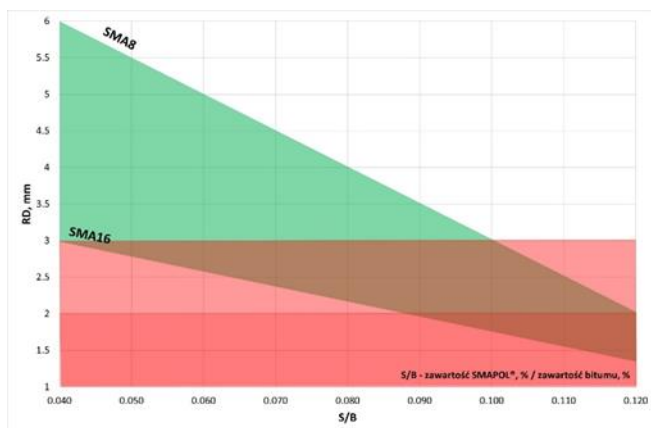
SMAPOL[®] zapewnia odporność na rozwarstwienie, segregację i sptywność lepiszcza, a także dyspersyjne uzbrojenie struktury mastyksu grysowego SMA. Może być również stosowany jako dodatek dyspersyjnie uzbrajający do innych rodzajów MMA.

Nawierzchnie drogowe wykonane z MMA, ulepszone dodatkiem **SMAPOL**[®], różnią się nie tylko zwiększoną jednorodnością strukturalną, ale także zwiększoną odpornością na koleinowanie, penetrację wody, pękanie termiczne i zmęczenie.

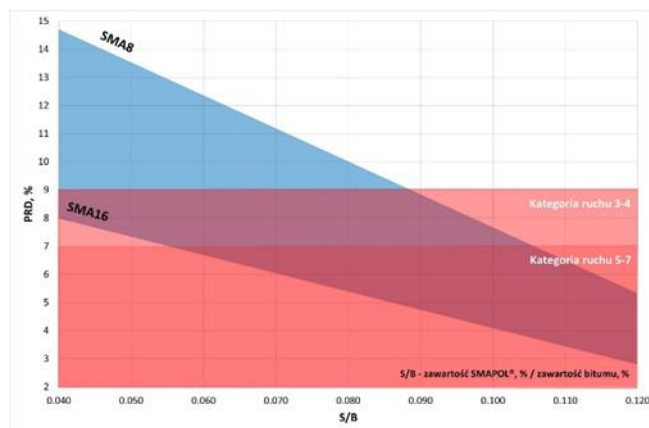
Podobne wyniki uzyskali wcześniej inni badacze badając wpływ włókna syntetycznego z recyklingu zużytych opon na właściwości mieszanek asfaltowych. Na przykład, Putnam, 2004; Sybilski, 2009; Landi, 2016, 2018; Bocci, 2020. Jednak, nie rozwiązano jak dotąd, kwestii masowej produkcji dodatków i ich zastosowania, która została rozwiązana przez Recykl Organizacja Odzysku S.A.

Granice skutecznego stosowania dodatku **SMAPOL**[®] (S/B – Smapol[®]/bitum)

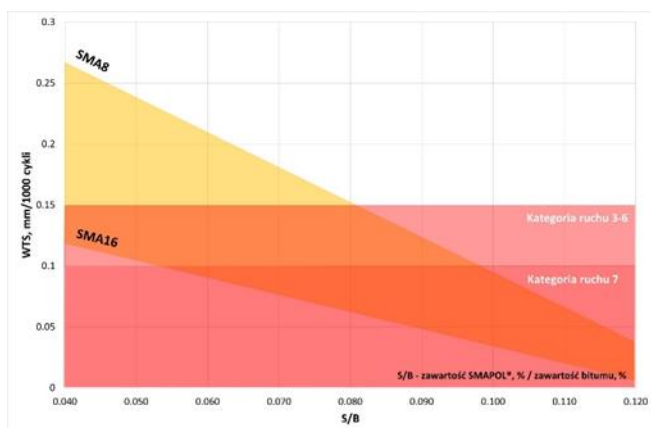
Głębokość koleiny RD, mm



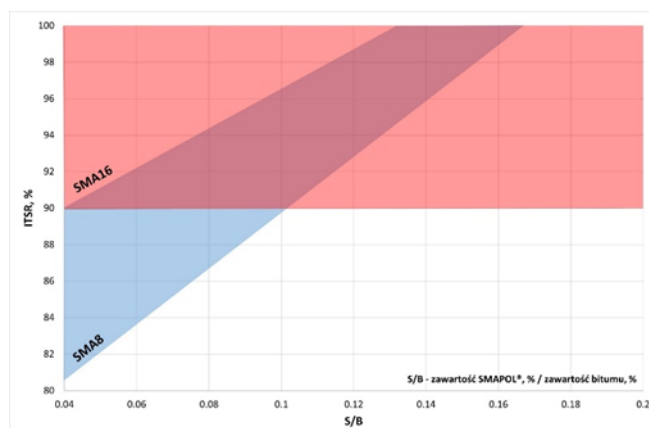
Proporcjonalna głębokość koleiny PRD, %



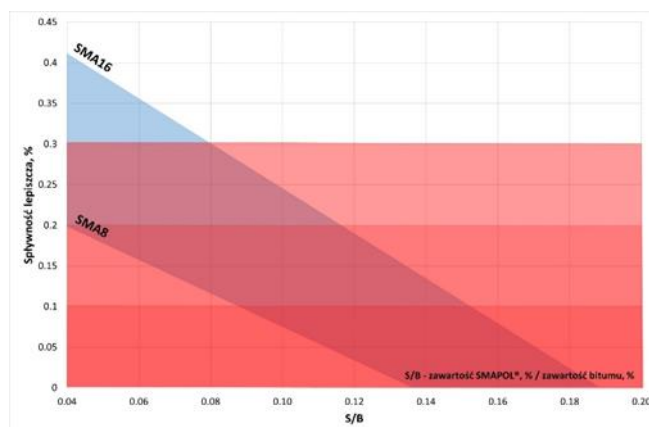
Nachylenie wykresu koleinowania WTS, mm/10³ cykli



Wskaźnik wytrzymałości na pośrednie rozciąganie ITSR, %



Spływność lepizcza w temperaturze 175 °C BD, %



Na podstawie przedstawionych powyżej danych dotyczących granic efektywnego stosowania mieszanek asfaltowych SMA o różnych uziarnieniach (SMA8-SMA16) i możliwych do osiągnięcia wskaźników właściwości fizycznych i mechanicznych można jednoznacznie stwierdzić, że dodatek **SMAPOL®** może być stosowany jako:



- dodatek stabilizujący: dodatek wprowadzany do MMA w celu poprawy ich właściwości technologicznych na etapie przygotowania, transportu i układania w nawierzchni bez znaczącej zmiany właściwości wytrzymałościowych asfaltobetonu i właściwości fizyko-chemicznych bitumu;
- dodatek strukturyzujący, dyspersyjno-wzmacniający: dodatek wprowadzany do MMA w celu poprawy ich właściwości technologicznych na etapie przygotowania, transportu i układania w nawierzchni, a także właściwości wytrzymałościowych i związanych z odkształcaniem asfaltobetonu bez znaczącej zmiany właściwości fizyko-chemicznych bitumu.

Jednocześnie, dodatek **SMAPOL®** w porównaniu z dodatkami stabilizującymi na bazie włókna celulozowego zapewnia optymalny stopień absorpcji bitumu, co pozwala przy niższej zawartości lepizcza osiągnąć nie tylko wyższe wskaźniki wytrzymałości i odkształcalności, ale także wyższe wskaźniki wodoodporności i mrozoodporności (w tym odporności na korozję) ulepszonych MMA.

Z technicznego i ekonomicznego punktu widzenia stosowanie dowolnego dodatku polepszającego może być uzasadnione tylko jednym głównym wskaźnikiem – wzrostem żywotności nawierzchni z ulepszanego asfaltobetonu w porównaniu z nawierzchnią ze zwykłego asfaltobetonu. W związku z tym najbardziej wskazane jest zastosowanie jako wskaźnika określającego efektywność techniczną i ekonomiczną polepszenia MMA, wielkości ogólnego czynnika żywotności asfaltobetonu - prawdopodobieństwa długotrwałej pracy w nawierzchni w ciągu szacowanego okresu użytkowania (Veranko, V., Zankavich, V. (2009). How to obtain cost-effective asphalt mixes for the construction of pavements of highways and streets. Science and Technology, 3, 23-29. <https://rep.bntu.by/handle/data/2412>).

Jeśli przyjmiemy jako kryterium określające stan graniczny asfaltobetonu w nawierzchni, rzeczywisty ogólny czynnik żywotności (P_o), który jest integralną charakterystyką poszczególnych czynników żywotności (P_i) według następujących właściwości:

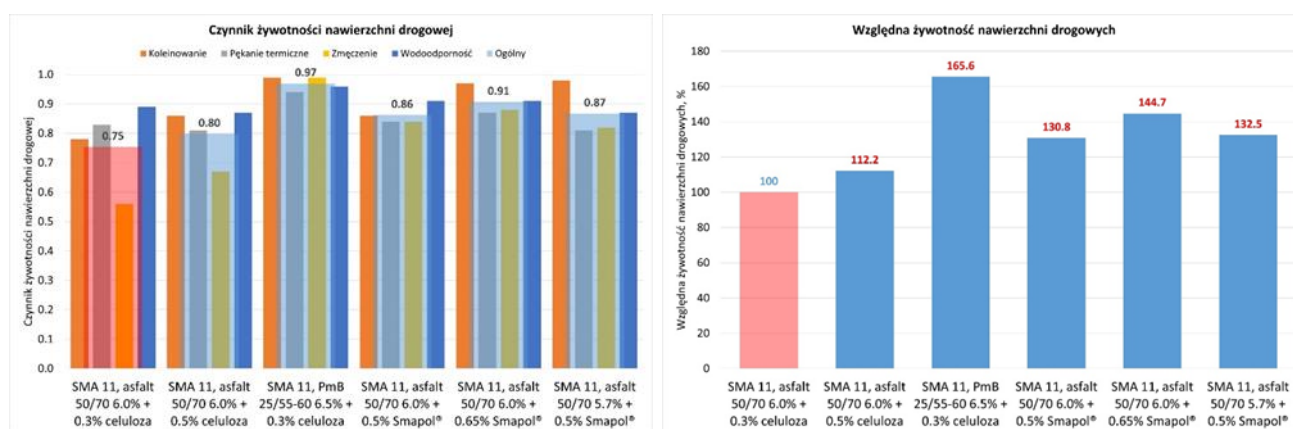
- odporność na pojawienie się trwałych (plastycznych) odkształceń w postaci koleiny w wysokiej temperaturze (P_1);
- odporność na pękanie w niskiej temperaturze (P_2);
- odporność na powtarzające się cykliczne obciążenia transportowe i akumulację zmęczenia (P_3);
- odporność na wodę i mróz, odporność na korozję (P_4),

możliwe jest oszacowanie wydłużenia żywotności (przy określonych obciążeniach transportowych, konstrukcji nawierzchni, warunków klimatycznych itp.) nawierzchni pobudowanej ze zmodyfikowanego (ulepszono) betonu asfaltowego oraz opłacalności metody modyfikacji (ulepszenia).

Przy tym:

$$P_o = \sqrt[4]{P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot P_4}$$

W wyniku badań porównawczych uzyskano następujące wyniki oceny żywotności (czynników poszczególnych i ogólnego) mastyksów grysowych SMA ulepszonych dodatkiem **SMAPOL**[®]. Na podstawie uzyskanych wartości czynników żywotności, wyznaczono porównawczy (względny w porównaniu z analogiem) poziom trwałości (żywotności) nawierzchni ułożonej ze zmodyfikowanego (ulepszono) mastyksu grysowego SMA.



Wyniki przeprowadzonych badań jednoznacznie wskazują na skuteczność stosowania dodatku **SMAPOL**[®] w celu poprawy wskaźników wytrzymałości i odkształcalności mieszanek mineralno-asfaltowych SMA, a tym samym trwałości nawierzchni drogowej. W porównaniu z dodatkami celulozowymi, skuteczność, określona przez względną trwałość (żywotność) nawierzchni drogowej, dodatku **SMAPOL**[®] jest znacznie wyższa, około 20%-30%. Przy stosunkowo tej samej cenie dodatku **SMAPOL**[®] i dodatków celulozowych, oznacza to również znacznie wyższy efekt ekonomiczny jego stosowania.

SKUTECZNOŚĆ EKONOMICZNA SMAPOL[®]

Warunkowy roczny skutek ekonomiczny (*WRSE*) od budowy i użytkowania nawierzchni ze zmodyfikowanej (ulepszonej) MMA można obliczyć na podstawie zdefiniowanej żywotności nawierzchni według wzoru:

$$WRSE = [(K_1 + K_{B1}) \cdot \phi + S_e - (K_2 + K_{B2})] \cdot A_2$$

gdzie K_1 i K_2 - koszty przygotowania MMA z uwzględnieniem kosztów transportu na plac budowy według porównywanych wariantów;

K_{B1} i K_{B2} - koszty budowy nawierzchni z MMA wg porównywanych wariantów;

ϕ - współczynnik zmiany żywotności nowej nawierzchni w porównaniu z wariantem podstawowym:

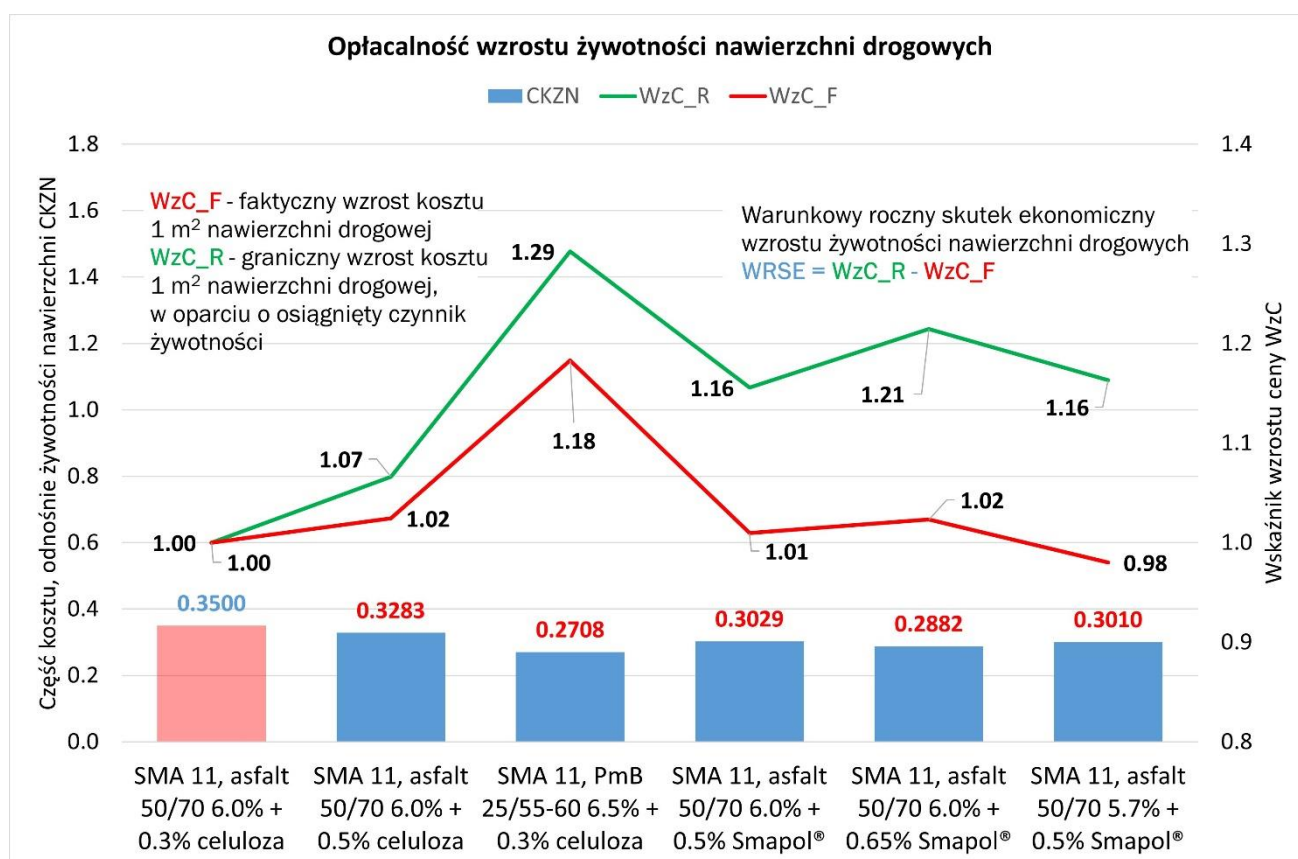
$$\phi = \frac{P_1 + ROIC}{P_2 + ROIC}$$

gdzie P_1 i P_2 - część kosztu nawierzchni drogowych w przeliczeniu na 1 rok ich eksploatacji według porównywanych wariantów, określone w zależności od osiągniętej żywotności;

ROIC – wskaźnik zwrotu na zainwestowanym kapitale, który dla obliczeń porównawczych można przyjąć 0,15 (15%);

S_e - oszczędności w zakresie eksploatacji nawierzchni drogowych przez cały okres ich użytkowania (można przyjąć 0, jeśli zakłada się, że nawierzchnie drogowe będą działać przez cały okres użytkowania bez pojawienia się niedopuszczalnych odkształceń i zniszczeń w zakresie przekraczającym wartości normatywne);

A_2 - roczny wolumen budowy nowych nawierzchni drogowych w roku rozliczeniowym.



Warunkowy roczny skutek ekonomiczny WRSE

Mieszanka mineralno-asfaltowa	Warunkowy roczny skutek ekonomiczny (WRSE) przedłużenia żywotności nawierzchni (grub. 4 cm), zł (€)/m ²
SMA 11, asfalt 50/70 6.0% + 0.3% celuloza: mieszanka mineralno-asfaltowa do porównania	
SMA 11, asfalt 50/70 6.0% + 0.5% celuloza	3.25 (0.69)
SMA 11, PmB 25/55-60 6.5% + 0.3% celuloza	9.82 (2.09)
SMA 11, asfalt 50/70 6.0% + 0.5% Smapol®	11.18 (2.38)
SMA 11, asfalt 50/70 6.0% + 0.65% Smapol®	14.83 (3.16)
SMA 11, asfalt 50/70 5.7% + 0.5% Smapol®	13.59 (2.89)

Jak widać z powyższych obliczeń porównawczych, dodatek **SMAPOL®** jest znacznie 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 modyfikowanych bitumów.

Interesujące jest również zbadanie synergetycznego wpływu jednoczesnego stosowania modyfikowanych bitumów (gumowych bitumów) i dodatku **SMAPOL®**.

ZAKOŃCZENIE

Na dzień dzisiejszy dodatek **SMAPOL®**, produkowany przez Recykl Organizacja Odzysku S.A. w Polsce, można uznać za jeden z najprostszych i najbardziej opłacalnych sposobów poprawy jakości MMA, nawet pod warunkiem, że dotychczas prowadzone są badania nad polepszeniem jego skuteczności, która w przyszłości będzie jeszcze wyższa.



SMAPOL® - jedyny seryjnie produkowany w Polsce dodatek do mieszanek mineralno-asfaltowych: SYSTEM 2+ oceny i weryfikacji stałości właściwości użytkowych wyrobów budowlanych.

Według informacji włoskich naukowców (Landi, 2018) zmniejszenie wpływu na środowisko przy ocenie podobnego projektu (na 1 t tekstyliów przetworzonych w dodatek) może osiągnąć:

- Współczynnik Ocieplenia Globalnego (100 lat): 1,68-1,82 t CO₂-Eq;

- Potencjał Zakwaszenia: 0,84-0,86 kg SO₂-Eq.

Tak więc technologia **SMAPOL®** ma bardzo duże perspektywy i jest technicznie, ekonomicznie i ekologicznie wydajna.