

Dr inż. PAWEŁ MIECZKOWSKI¹

WYKORZYSTANIE ODPADÓW GUMOWYCH PRZY PRODUKCJI MIESZANEK MINERALNO-ASFALTOWYCH

Zastosowanie miazgi gumowej do modyfikacji lepiszcza asfaltowego może przynieść wymierne korzyści zarówno pod względem ekologicznym jak i technologicznym, wpływając na poprawę właściwości asfaltu i mieszanki mineralno-asfaltowej. Przeprowadzone badania na Politechnice Szczecińskiej potwierdziły, że optymalna ilość dodatku gumy do asfaltu 50/70 nie powinna przekraczać 15 %. Zastosowana technologia łączenia obu składników (w skali laboratoryjnej) wykazała, że najlepsze parametry asfalto-guma uzyskała przy 10 % dodatku. Zaobserwowano wyraźny wzrost zakresu lepko-plastyczności, spadek wrażliwości temperaturowej oraz penetracji a także przesunięcie się indeksu penetracji w kierunku lepiszcza o charakterze bardziej żelowym. Mieszanki mineralno-asfaltowe (BA # 0/12,8 mm) z udziałem miazgi gumowej charakteryzują się zdecydowanie większą wytrzymałością na rozciąganie przy zginaniu, co wpływa korzystnie na ich trwałość w konstrukcji nawierzchni drogowej. W przypadku wytrzymałości na ściskanie zaobserwowano niewielki wzrost tego parametru. Zwiększona wolna przestrzeń w masie z udziałem miazgi może świadczyć o zmianie gęstości lepiszcza oraz większej odporności na zagęszczanie.

Słowa kluczowe: miazga gumowa, asfalt modyfikowany, wytrzymałość na ściskanie, odporność na zagęszczanie, indeks penetracji, stabilność wg Marshalla

1. RECYKLING ZUŻYTYCH OPON SAMOCHODOWYCH

Przemysł gumowy wytwarza znaczną ilość odpadów poprodukcyjnych i użytkowych, co wynika ze specyfiki procesu technologicznego ich wytwarzania, a dokładnie procesu wulkanizacji, po których wyrób uzyskuje ostateczną formę i parametry użytkowe. Wielkość produkcji przemysłu gumowego oceniana jest na ok. 35 mln ton rocznie, z czego opony stanowią blisko 80 % materiałów poeksploatacyjnych [1]. Zużyte stanowią dosyć poważny problem ze względu na zagrożenie pożarowe, tworzone mikrośrodowisko (rozwój gryzoni i innych szkodników) oraz trwałość biodegradacyjną. Do podstawowych metod zagospodarowania zużytych opon zalicza się procesy regeneracyjne, recykling materiałowy oraz recykling energetyczny.

Proces regeneracji opon rozumiany jest jako ich ponowne bieżnikowanie, które polega na wymianie bieżnika w technologii na zimno (przykleja się nową warstwę zwulkanizowanego bieżnika do karkasu zużytej opony) lub na ciepło (niezwulkanizowany bieżnik nakładany jest na zużytą oponę a następnie całość poddawana jest procesowi wulkanizacji).

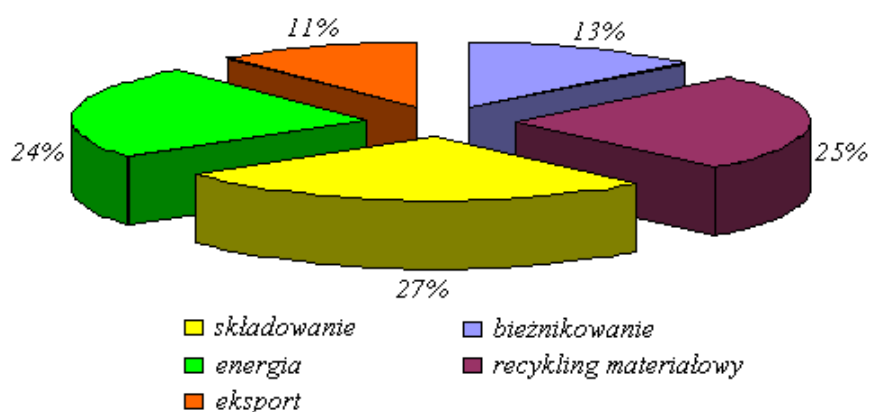
Recykling materiałowy polega na ponownym wykorzystaniu materiałów wchodzących w skład opony, czyli przede wszystkim gumy, w postaci rozdrobnionej. Stosuje się dwie metody rozdrabniania opon. Pierwsza (klasyczna) polega na mechanicznym cięciu i rozcieraniu opon w specjalnych urządzeniach zwanych strzępiarkami. Druga wykorzystuje technologię kriogeniczną, polegającą na wykorzystaniu ciekłego azotu do zamrażania opon a następnie ich rozdrabnianiu w młynach młotkowych. Materiał uzyskany w wyniku rozdrobnienia dzieli się w zależności od wielkości kawałków na strzępy (40–300 mm), chipsy (10–40 mm), granulaty (1–10 mm), miazgę (0–1 mm) oraz ścier (0–40 mm).

¹ pawel.mieczkowski@ps.pl, Politechnika Szczecińska

Rozmiary cząstek decydują o sposobie wykorzystania surowca. Strzępy i chipsy stosuje się jako wypełniacze w elementach konstrukcyjnych budowli ze względu na ich parametry izolacyjne (akustyczne i termiczne) oraz wodoodporność. Ścier gumowy wykorzystywany jest przy budowie nawierzchni placów zabaw, boisk sportowych itp. Miał oraz granulaty znalazły swoje miejsce w technologii drogowej. Pierwszy z materiałów wykorzystywany jest do modyfikacji lepiszcz asfaltowych, drugi stosowany jest jako uzupełnienie mieszanki mineralnej w konglomeracie z asfaltem.

Recykling energetyczny dotyczy wykorzystania zużytych opon jako alternatywnego paliwa wspomagającego węgiel, miał czy olej opałowy. Najczęstszym odbiorcą tego surowca są cementownie. Ten ostatni sposób recyklingu jest ostatecznością ze względu na zachowanie środowiska (wydzielanie SO_2 podczas spalania).

Sposób zagospodarowania zużytych opon w Polsce w 2003 roku przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Sposoby zagospodarowania zużytych opon w Polsce w 2003 r.
Fig. 1. Used tyre management methods, Poland 2003

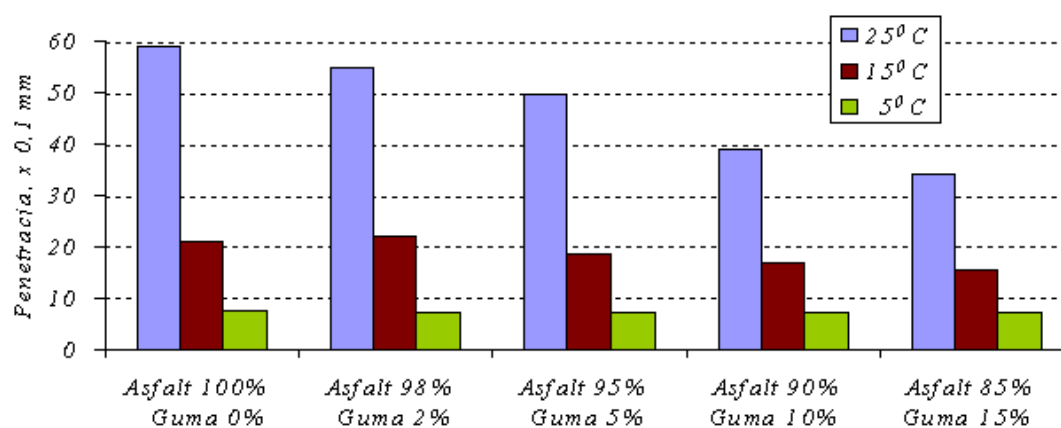
2. CHARAKTERYSTYKA LEPISZCZA ASFALTO-GUMOWEGO

Asfalty modyfikowane polimerami poprawiają żywotność nawierzchni oraz jej parametry wytrzymałościowe. Zastosowanie gumy w postaci miału, jako dodatku do asfaltu, pozwala osiągnąć podobne efekty. Wykorzystuje się do tego tzw. „metodę mokrą”, polegającą na bezpośrednim wymieszaniu miału gumowego z rozgrzanym asfaltem w odpowiednich proporcjach. Zawartość miału gumowego nie przekracza zazwyczaj 15 % przy czasie obróbki termicznej od kilkunastu minut do kilku godzin [2, 3, 4, 5]. W metodzie tej dąży się do dewulkanizacji gumy (odtworzenie kauczuku w wyniku utleniania siarki użytej do wulkanizacji) i otrzymania wyjściowego kauczuku zgodnie ze schematem chemicznym przedstawionym w [2].

Na Politechnice Szczecińskiej prowadzono ostatnio badania [6] nad wykorzystaniem miału gumowego do modyfikacji lepiszcza asfaltowego. Do tego celu wykorzystano asfalt 50/70 z rafinerii gdańskiej oraz miał gumowy o uziarnieniu # 0/0,85 mm z zakładów „Meyer&Hosaya” w Mielcu. Komponowanie obu składników odbywało się w temperaturze 200°C i było podyktowane najszybszym pęcznieniem gumy, co w konsekwencji prowadzi do skrócenia czasu mieszania obu czynników. Całkowity czas komponowania wynosił 2 godziny, przy czym mieszanie odbywało się przez 1,5 minuty w okresach co 10 minut. Prędkość obrotowa mieszalnika wynosiła ok. 70 obr./min. Ograniczenie

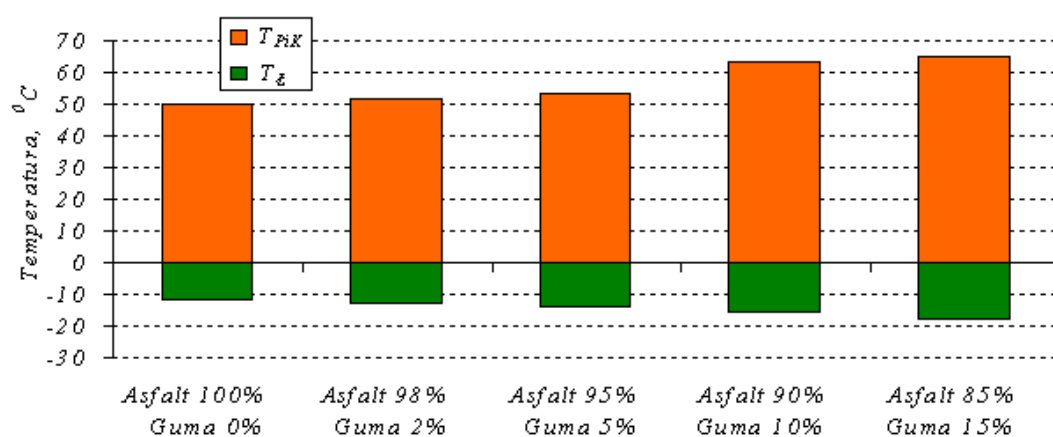
czasu mieszania do 2 godzin było podyktowane znacznym spadkiem cech wytrzymałościowych mieszanin ogrzewanych w dłuższym okresie (2,5 i 3 godz.).

Wyniki badań czystego asfaltu i mieszanek asfaltowo-gumowych (z udziałem 2, 5, 10 i 15 % gumy) przedstawiono na rys. 2–3 oraz w tabl. 1.



Rys. 2. Penetracja czystego asfaltu i mieszanki asfaltowo-gumowej w zależności od temperatury
Fig. 2. Penetration of pure bitumen and rubber-bitumen mixture depending on temperature

Badanie penetracji przeprowadzono w trzech temperaturach 25, 15 i 5°C. Pozwoliło to na wyznaczenie indeksu penetracji IP oraz wrażliwości temperaturowej A . Parametry te pozwalają ocenić zachowanie się lepiszcza na skutek zmian temperatury oraz określić jego charakter reologiczny. Dodatkowo, z zależności logarytmicznej penetracji od temperatury, wyznaczono zakres plastyczności czystego asfaltu i mieszaniny asfaltowo-gumowej, a dokładnie temperaturę łamliwości wg Fraassa (T_L), która odpowiada penetracji $1,25 \times 0,1$ mm. Temperaturę mięknięcia określono zgodnie z metodą „pierścień i kula” (PiK). Wartości uzyskane z badania (T_{PiK}) nieznacznie różniły się od wyznaczonych z zależności logarytmicznej (do 3 %), co świadczy o niewielkiej zawartości parafiny w asfalcie. Do obliczeń przyjęto wartość z badań.



Rys. 3. Temperatura mięknięcia wg PiK i łamliwości czystego asfaltu i mieszanki asfaltowo-gumowej
Fig. 3. Softening temperature in accordance with PiK and brittleness of pure bitumen and bitumen-rubber mixture

Tabl. 1. Właściwości czystego asfaltu 50/70 i mieszanki asfaltowo-gumowej
 Tabl. 1. Pure bitumen 50/70 and bitumen-rubber mixture properties

Zawartość gumy [%]	Zakres plastyczności [°C]	Przyrost zakresu plastyczności [°C]	Wrażliwość temperaturowa A	Indeks penetracji IP	Ciągliwość [cm]
0	62,2	0	0,0448	- 0,739	> 100
2	64,5	2,3	0,0439	- 0,603	16,0
5	67,6	3,1	0,0421	- 0,335	18,8
10	79,0	11,4	0,0370	+ 0,528	19,5
15	83,0	4,0	0,0340	+ 1,109	14,0

Badania lepiszcza asfaltowego w czystej postaci (50/70) i jego form po wymieszaniu z miałem gumowym wskazują, że uzyskany kompozyt charakteryzuje lepszymi parametrami w stosunku do materiału wyjściowego. Wzrasta zakres lepko-sprężystości lepiszcza asfaltowo-gumowego i obniża się jego wrażliwość temperaturowa co potwierdzają zmiany wartości indeksu penetracji. Największy przyrost plastyczności obserwuje się po dodaniu 10 % gumy i dotyczy to zarówno wzrostu temperatury mięknięcia jak i obniżenia się dolnej granicy zakresu, czyli temperatury łamliwości. Penetracja tego kompozytu zbliża go do asfaltu D 35/50, co w przypadku mieszanek mineralno-asfaltowych zapewnia większą odporność na deformacje trwałe w wysokich temperaturach latem. Nie było to podyktowane utwardzeniem się asfaltu na skutek wygrzewania w wysokiej temperaturze, gdyż spadek penetracji czystego asfaltu nie przekroczył $4 \times 0,1$ mm.

Ciągliwość, która jest miarą kohezji asfaltu, jest jedynym parametrem, który uległ pogorszeniu. Nawet nieznaczny dodatek gumy (2 %) spowodował drastyczny spadek ciągliwości. Prawdopodobnie jest to wynikiem zastosowanej metody otrzymywania asfaltu modyfikowanego jak i problemu z samą homogenizacją mieszaniny asfaltu i gumy. Nieciągłość struktury na cząstkach gumy powodowała zrywanie się lepiszcza jeszcze przed uzyskaniem wymaganych 20 cm, co uniemożliwiło zbadanie nawrotu sprężystego.

Pomimo pogorszenia kohezji i cech sprężystych mieszanina asfaltowo-gumowa osiągnęła parametry, które powinny wpłynąć na poprawę właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych z udziałem tego lepiszcza. Zakres zmian cech wytrzymałościowych określono dla MMA z udziałem lepiszcza asfaltowego z 10 % udziałem mialu gumowego w stosunku do masy z czystym asfaltem 50/70.

3. MIESZANKI MINERALNO-ASFALTOWE MODYFIKOWANE MIAŁEM GUMOWYM

Asfalty modyfikowane wykorzystuje się przede wszystkim do warstw ścieralnych nawierzchni obciążonych najcięższym ruchem (KR5 – KR6). Dzięki swoim właściwościom podnoszą odporność mieszanek mineralno-asfaltowych zarówno na działanie ruchu jak i czynników klimatyczno-pogodowych. Jako modyfikator asfaltu na skalę przemysłową wykorzystywany jest w Polsce najczęściej SBS (styren-butadien-styren). W ostatnich latach powróciła idea wykorzystania, do modyfikacji lepiszcz asfaltowych, gumy z opon samochodowych poddanej procesowi recyklingu. Związane jest to z wymogami Unii Europejskiej dotyczącej poziomu odzysku zużytych materiałów gumowych jak również (a może przede wszystkim) ochroną środowiska naturalnego. Mieszanki mineralno-asfaltowe

z tego rodzaju modyfikatorem charakteryzują się podwyższoną trwałością i dodatkowo (w stosunku do SBS) rejestrowana jest na nawierzchniach z udziałem gumy, jako składnika masy, redukcja hałasu.

Na potwierdzenie powyższych właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych wykonano w laboratorium Politechniki Szczecińskiej beton asfaltowy BA # 0/12,8 mm na warstwę ścieralną na ruch KR 3 do KR 6. Skład mieszanki mineralno-asfaltowej przedstawiał się następująco:

- grys bazaltowy # 8/12,8 - 23,7 %,
- grys bazaltowy # 4/8 - 19,9 %,
- grys bazaltowy # 2/6,3 - 11,9 %,
- piasek łamany (bazalt) - 34,2 %,
- mączka wapienna - 5,2 %,
- lepiszcze asfaltowe - 5,1 %.

Jako lepiszcze, celem porównania, zastosowano asfalt czysty 50/70 i modyfikowany miałem gumowy w ilości 10 %. Podstawowe parametry fizyczno-wytrzymałościowe mas asfaltowych przedstawiono w tabl. 2.

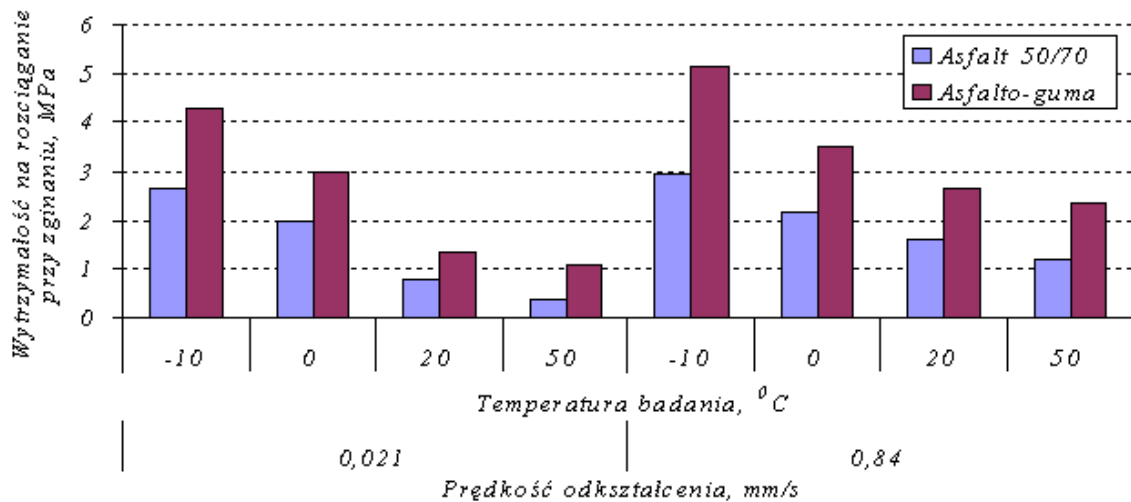
Z przeprowadzonych podstawowych badań MMA wynika, że przy zbliżonych parametrach wytrzymałościowych mieszanki z udziałem lepiszcza asfaltowo-gumowego charakteryzują się większą otwartością. Może to być podyktowane różnicami w gęstościach lepiszcza oraz różną podatnością mas na zagęszczenie.

Warunki klimatyczno-pogodowe, obok oddziaływań pojazdów samochodowych czy ruchów podłoża gruntowego, są czynnikami wpływającymi destrukcyjnie na nośność nawierzchni asfaltowych i ich trwałość. Miał gumowy, będący modyfikatorem samego asfaltu (a w konsekwencji i MMA), powinien poprawić jakość końcowego produktu, objawiającą się wzrostem wytrzymałości w szerokim zakresie temperatur czy ograniczeniem wpływu wody i mrozu na stabilność mieszanek mineralno-asfaltowych. Na potwierdzenie tego przeprowadzono w laboratorium drogowym Politechniki Szczecińskiej badania wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu oraz na ściskanie [6].

Tabl. 2. Właściwości MMA z asfaltem 50/70 i mieszanką asfaltowo-gumową
Tabl. 2. Asphalt properties with bitumen 50/70 and bitumen-rubber mixture

Rodzaj lepiszcza	Gęstość objętościowa MMA [g/cm ³]	Gęstość strukturalna MMA [g/cm ³]	Wolna przestrzeń w MMA [%]	Wypełnienie wolnej przestrzeni w MM asfaltem [%]	Stabilność wg Marshalla [kN]	Odkształcenie wg Marshalla [mm]
Asfalt D 50/70	2,740	2,667	2,664	85,138	14,27	4,33
Mieszanka asfaltowo-gumowa	2,778	2,679	3,564	83,531	15,62	4,29

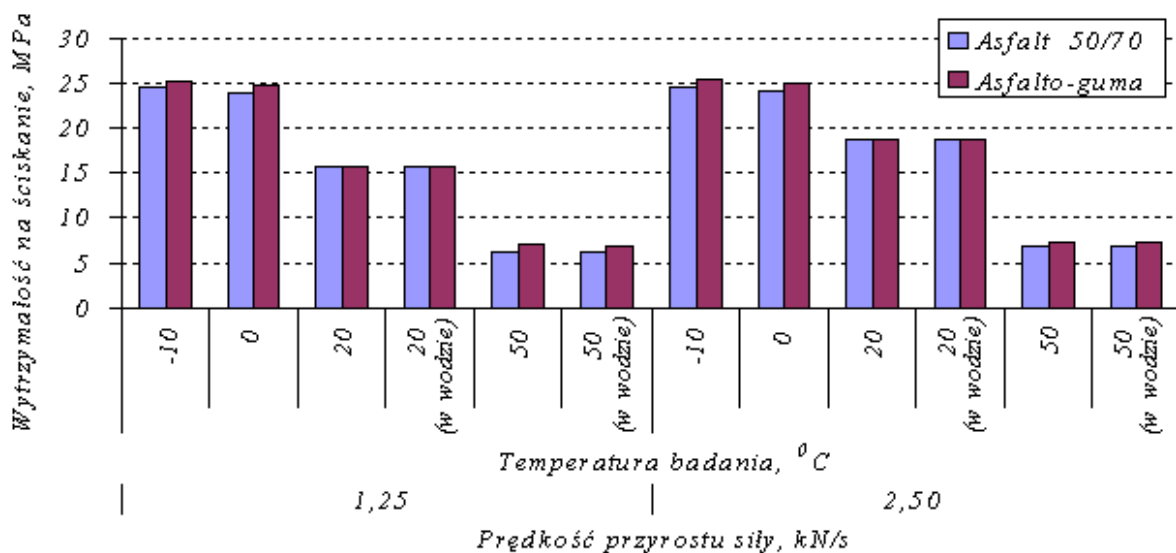
Badanie wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu prowadzono przy dwóch prędkościach odkształcenia (0,021 mm/s i 0,84 mm/s) oraz w czterech temperaturach -10, 0, 20 i 50°C. Wykorzystano do tego celu prasę Marshalla oraz CBR. Wyniki badań przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Wpływ rodzaju lepiszcza na wytrzymałość na rozciąganie MMA w zależności od temperatury i prędkości odkształcenia

Fig. 4. Effect of bitumen type on asphalt tensile strength depending on temperature and deformation speed

Badanie wytrzymałości na ściskanie przeprowadzono przy dwóch prędkościach przyrostu siły (1,25 i 2,50 kN/s) oraz w czterech temperaturach (-10, 0, 20 i 50°C). Próbkki do badań termostatowane były w powietrzu i dodatkowo, w temperaturze 20 i 50°C, w wodzie. Wyniki badań przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Wpływ rodzaju lepiszcza na wytrzymałość na ściskanie MMA w zależności od temperatury i prędkości przyrostu siły

Fig. 5. Effect of bitumen type on asphalt ultimate compressive strength depending on temperature and speed of force increment

Wyniki z przeprowadzonych badań wytrzymałości wskazują, że mieszanki modyfikowane miazem gumowym charakteryzują się korzystniejszymi parametrami w stosunku do mieszanek niemodyfiko-

wanych. Objawia się to przede wszystkim większą odpornością mas na rozciąganie zarówno w wysokich jak i niskich temperaturach.

4 WNIOSKI

Wzrastające wymagania stawiane nawierzchniom asfaltowym wymuszają zapotrzebowanie na najwyższej jakości kruszywa oraz asfalt. O ile parametry kruszywa można poprawić jedynie w zakresie gatunku (dobór odpowiedniej technologii kruszenia skały), tak właściwości lepiszczy asfaltowych można dobrać do konkretnych zastosowań. Jedną z metod poprawy cech asfaltów jest ich modyfikacja polimerami (SBS, LBSK, APP itp.). Podobne rezultaty uzyskuje przez zastosowanie zmielonej gumy (z recyklingu) w postaci miazgi. Następuje wyraźna poprawa zarówno cech lepiszcza asfaltowo-gumowego jak i mieszanki mineralno-asfaltowej.

Lepiszcz asfaltowo-gumowe charakteryzuje się znacznie większym zakresem lepko-sprężystości od asfaltu 50/70, który stanowił bazę do modyfikacji. Zwiększył się od wartości 62,2 do 79°C, co stanowi wzrost o ok. 27 %. Dotyczy to zarówno zwiększenia się granicy plastyczności jak i obniżenia granicy łamliwości asfaltu, co skutkuje większą odpornością MMA na deformacje plastyczne latem i niższą sztywnością masy zimą.

Indeks penetracji *IP* jak i wrażliwość temperaturowa *A* świadczą o korzystnej zmianie charakteru reologicznego asfaltu z dodatkiem miazgi gumowej. Zmiana dotyczy prawdopodobnie wzrostu udziału twardych nietopliwych substancji (składem zbliżonych do asfaltenów), przesuujących asfalto-gumę w kierunku lepiszcza o charakterze bardziej żelowym.

W przypadku mieszanek mineralno-asfaltowych zaobserwowano wyraźny wzrost wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu. Badanie to w pewnej formie odzwierciedla zachowanie się MMA w nawierzchni, która na skutek ugięć konstrukcji podlega rozciąganiu w dolnych warstwach. Zatem dodatek gumy do mieszanki mineralno-asfaltowej w znaczący sposób może wpłynąć na jej trwałość wynikającą z obciążeń od pojazdów samochodowych czy wahań temperatury.

Pozyskana na drodze recyklingu guma stanowi dobry przykład połączenia dbałości o środowisko naturalne oraz poprawy jakości produktu z jej udziałem.

LITERATURA

- [1] Parasiewicz W., Pyskło L., Magryta J.: *Poradnik. Recykling zużytych opon samochodowych*. IPG Stomil, Piastów 2005
- [2] Stefańczyk B., Zieliński Z.: *Bitumiczne masy zalewowe w nawierzchniach betonowych. Nowe tendencje i propozycje*. Drogownictwo 3/1968
- [3] Stefańczyk B.: *Materiały drogowe*. Politechnika Szczecińska 1989
- [4] Klubińska M., Piłat J.: *Reologia asfaltów i mas mineralno-asfaltowych*. WKiŁ, Warszawa 1982
- [5] Piłat J., Radziszewski P.: *Nawierzchnie asfaltowe*. WKiŁ, Warszawa 2004
- [6] Wąchnicki M., Chmielewski B.: *Wykorzystanie odpadów przy produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych*. Praca magisterska, Politechnika Szczecińska 2005

UTILISATION OF RUBBER WASTE MATERIAL FOR THE PRODUCTION OF MINERAL-ASPHALT MIXTURES

Using rubber fines to modify the bitumen can provide notable benefits in both ecological and technological terms, improving the bitumen and asphalt properties. Research carried out at the Szczecin University of Technology has confirmed that the optimum quantity of rubber addition to a 50/70 bitumen should exceed 15%. The technology applied i.e. connecting both components (in laboratory conditions), demonstrated that bitumen rubber obtained the best parameters with 10% of the addition. A distinct increase in the viscosity-plasticity range was observed, with a corresponding decrease in temperature sensitiveness and penetration, along with displacement of the penetration index towards a bitumen with a more gel-like character. Mineral-asphalt mixture (BA # 0/12,8 mm) using rubber fines have a considerably bigger tensile strength at bending, which has an advantageous influence on their durability in the construction of road surfaces. With regard to ultimate compressive strength, a small increase in this parameter was observed. The increased void in the mass when fines are present can bring about a change of the bitumen density and a higher density resistance.

Keywords: rubber filler, modified bitumen, compressive strength, resistance to compaction, penetration index, stability according to Marshall

AUSNUTZUNG DER GUMMIABFÄLLE BEI DER HERSTELLUNG DER MINERAL-ASPHALT-GEMISCHE

Der Einsatz von Gummimehl zum Modifizieren des Asphaltbindemittels kann durch seinen Einfluss auf die Verbesserung der Eigenschaften von Asphalt und von Mineral-Asphalt-Gemisch messbare, positive Effekte sowohl unter ökologischen als auch technologischen Aspekten bringen. Die an der Technischen Universität in Szczecin durchgeführten Untersuchungen bestätigten, dass eine optimale Gummizugabe zum Asphalt D 50/70 15% nicht überschreiten sollte. Das eingesetzte Verfahren der Verbindung beider Komponenten (im Labormaßstab) wies nach, dass der Asphaltgummi die besten Parameter bei 10% Zugabe erreichte. Es wurde eine deutliche Zunahme der Viskoplastizität, die Abnahme der Temperaturempfindlichkeit und der Penetration beobachtet, als auch die Verschiebung des Index der Penetration in Richtung der Bindemittel von einem mehr gelartigen Charakter beobachtet. Mineral-Asphalt-Gemische (BA # 0/12,8 mm) mit Gummimehlanteilen kennzeichnen sich durch eine bedeutend höhere Zugbeständigkeit beim Biegen, was einen günstigen Einfluss auf deren Beständigkeit in der Straßendeckenkonstruktion hat. Im Fall der Druckfestigkeit wurde eine geringfügige Zunahme von diesem Parameter beobachtet. Der erhöhte freie Raum in der Masse mit Gummimehl kann von einer Änderung der Bindemitteldichte und von einer erhöhten Beständigkeit gegen Eindicken zeugen.

Stichworte: Gummimehl, modifizierten Bitumen, Druckfestigkeit, Beständigkeit gegen Eindicken, Index der Penetration, Stabilität lt. Marshall