

Zastosowanie odpadów gumowych w budownictwie drogowym

Prof. dr hab. inż. Dariusz Sybilski, Politechnika Lubelska

1. Wprowadzenie

Coraz większym problemem w całym świecie staje się składowanie odpadów przemysłowych. W celu zmniejszenia ich uciążliwości dąży się do ich jak największego wtórnego wykorzystania. Wśród odpadów powstających w szczególności dużej masie są opony samochodowe. W artykule przedstawiono stosowane w świecie metody zagospodarowania zużytych opon samochodowych, koncentrując się na zastosowaniach w budownictwie drogowym [1]. Przedstawiono też ostatnie prace nad wdrożeniem technologii zagospodarowania odpadów gumowych w Polsce.

2. Metody wykorzystania zużytych opon

Wyróżnić można dwie grupy odpadów gumowych (zwanych też złomem gumowym) [2]. Pierwsza grupa stanowiąca ponad 70% ogólnej ilości odpadów to zużyte opony samochodowe, druga to odpady przemysłowe i taśmy przenośnikowe. Pierwsza trudność ich zagospodarowania wynika z faktu, że są

kompozytami gumy oraz włókna i/lub stali.

Szybki rozwój motoryzacji na świecie, a w ostatnich latach i w Polsce sprawia, że z ekologicznego punktu widzenia największym problemem jest zagospodarowanie zużytych opon. W celu rozwiązania tego zagadnienia konieczna jest ocena aktualnej sytuacji uwzględniająca następujące aspekty:

- podaż zużytych opon, obecne i przewidywane tendencje,
- sytuację legislacyjną,
- istniejące możliwości zagospodarowania i zbiórki opon stosowane w innych krajach,
- propozycja rozwiązania systemowego.

Można przyjąć, że w Polsce rocznie powstaje około 120 tys. ton zużytych opon. Należy się jednak liczyć z większym niż przewidywano wzrostem ilości zużytych opon, spowodowanym dynamicznym rozwojem motoryzacji w Polsce. W tabeli 1 przedstawiono dane dotyczące liczby pojazdów zarejestrowanych i zużycie opon samochodowych w wybranych krajach europejskich. Zagospodarowanie zużytych opon staje się coraz poważniejszym pro-

blemem. Wyrazem tego jest nowa dyrektywa Unii Europejskiej zakazująca składowania opon w całości po 2003 roku, a w stanie rozdrobnionym po 2006 roku. Dyrektywa ta wymusza rozwój metod wtórnego zagospodarowania odpadów gumowych. W najbliższej przyszłości wpłynie ona również na sytuację w tej dziedzinie w Polsce.

3. Sposoby wykorzystania zużytych wyrobów gumowych

Recykling odpadów gumowych można podzielić na trzy rodzaje:

- recykling materiałowy,
- zastosowanie całych opon,
- recykling energetyczny.

3.1. Recykling materiałowy

Recykling materiałowy polega na wykorzystaniu odpadów i zużytych wyrobów gumowych bezpośrednio, bądź po ich odpowiednim przystosowaniu, np. poprzez sprasowanie, rozdrobnienie, regenerację, rozpuszczenie itp. Do tej kategorii zalicza się również metody przerobu gumy, mające na celu odzyskanie zawartych w niej surowców [3].

3.1.1. Bieżnikowanie opon

Proces ten polega na usunięciu zewnętrznej zużytej warstwy gumy i nałożeniu i przywulkanizowaniu świeżej mieszanki gumy. Istotną różnicą polega na tym, że taśmy przenośnikowe z reguły poddaje się regeneracji w miejscu ich użytkowania. Miąż gumowy uzyskany z bieżnikowania opon może być stosowany jako rozdrobniona guma do modyfikacji asfaltów i miesza-

Tabela 1. Podaż zużytych opon w krajach UE i Polsce z uwzględnieniem rozwoju motoryzacji

| Kraj | Liczba mieszkańców (mln) | Liczba samochodów/1000 mieszkańców | Zużycie opon (tys. ton/rok) |
|-----------|--------------------------|------------------------------------|-----------------------------|
| Francja | 58 | 419 | 354 |
| Niemcy | 81 | 399 | 603 |
| Włochy | 58 | 520 | 330 |
| Anglia | 58 | 379 | 378 |
| Hiszpania | 39 | 321 | 202 |
| Szwecja | 8,7 | 213 | 119 |
| Polska | 38,7 | 213 | 119 |

nek mineralno-asfaltowych. W krajach Unii Europejskiej w 1990 roku bieżnikowano 23% masy opon, ale przewiduje się zwiększenie tego wskaźnika do około 35% masy w 2000 roku. Bieżnikuje się przede wszystkim opony do samochodów ciężarowych (około 50%, najczęściej 2–3-krotnie) i opony lotnicze (nawet do 20 razy), znacznie rzadziej opony do samochodów osobowych (około 15%). Metody bieżnikowania są nadal ulepszone. Znana jest starsza metoda bieżnikowania „na gorąco” i nowsza stworzona w ostatnich latach metoda „na zimno”. W Polsce w ostatnim okresie obserwuje się rozwój nowych bieżnikowni.

3.1.2. Rozdrobnienie zużytych wyrobów gumowych

Rozdrobnienie zużytych wyrobów gumowych jest punktem wyjścia do ich dalszego przetwarzania i stworzenia możliwości ich wtórnej zastosowania. Po rozdrobnieniu opon lub taśm przenośnikowych otrzymuje się produkt zawierający gumę, tkaninę, a w niektórych przypadkach i metal. W celu dalszego wykorzystania niezbędne jest oddzielenie frakcji gumowej, przesiewanie i ewentualnie dodatkowe rozdrabnianie.

Rozdrobnienie polega na mechanicznym cięciu i rozcieraniu. Odpady gumowe można rozdrabniać w temperaturze pokojowej lub metodą kriogeniczną z zastosowaniem ciekłego azotu. Uzyskuje się rozdrobnioną gumę, którą w zależności od wielkości cząstek dzieli się na następujące rodzaje:

- pył gumowy wymiar < 0,2 mm,
- miął gumowy wymiar 0,2 ÷ 1,0 mm,
- granulaty wymiar 1,0 ÷ 10 mm,
- grys wymiar > 10 mm.

Zależnie od stopnia rozdrobnienia, guma może znaleźć różne zastosowanie. Jej właściwości i przydatność zależą też od wielu czynników, m.in. od rodzaju gumy, metody rozdrobnienia, rozmiaru i kształtu cząstek, wielkości powierzchni właściwej, gęstości usieciowania, sposobu modyfikacji.

3.1.3. Metoda kriogeniczna

Sposób zagospodarowania zużytych opon samochodowych w dużej mierze zależy od efektywności procesu rozdzielania głównych części składowych opony, tj. gumy, stali i włókien. W temperaturze ujemnej opona zachowuje się jak kruche szkło. Łatwo można ją rozdrobnić poddając działaniu sił uderowych. Następuje przy tym rozdzielanie materiału opony na gumę, włókna i stal. Taki proces rozdrabniania zwany jest kriogenicznym.

3.1.4. Wykorzystanie rozdrobnionych odpadów gumowych

Sposób wykorzystania odpadów gumowych zależy od wielkości cząstek. Grys i granulaty po odpowiednim związaniu można stosować jako syntetyczny torf, nawierzchnie placów zabaw i boisk sportowych, izolacje dźwiękochłonne, podkłady amortyzujące uderzenia itp. Pył gumowy można wprowadzać do mieszanek gumowych przeznaczonych na wyroby, jak np. dywaniki samochodowe, wycieraczki, maty podłogowe dla bydła, płyty podszewkowe, wykładziny podłogowe, pokrycia dachowe. Dodatek miazgi gumowej do mieszanek gumowych na ogół pogarsza ich właściwości, dlatego stosuje się różne metody modyfikacji miazgi. Duże zainteresowanie wzbudza możliwość dodawania miazgi gumowej do asfaltu i zagospodarowania w ten sposób dużej ilości odpadów gumowych. Metoda ta jest wdrażana w USA, Kanadzie, Skandynawii, Belgii, Francji i w Polsce. Najbardziej zaawansowane technologie stosuje się w USA. Najpoważniejszą przeszkodą są koszty zarówno materiałowe, jak i kapitałowe.

3.2. Zastosowanie całych opon

Odpady gumowe ze zużytych opon samochodowych w formie całych opon mogą być użyte do:

- budowy nasypów drogowych i wzmacniania podłoża gruntowego,
- poprawiania stateczności nasypów,
- zabezpieczania skarp kanałów, rowów,

- budowy ścian oporowych,
- tworzenia warstw odsączających i odcinających,
- tworzenia warstw drenujących,
- budowy przepustów drogowych.

3.3. Recykling energetyczny

Recykling energetyczny oznacza spalanie gumy połączone z odzyskiwaniem wydzielającego się w tym procesie ciepła. Wartość opałowa gumy wynosi około 32 MJ/kg. Jest to wartość zbliżona do wartości opałowej węgla (35 MJ/kg). Zwykle guma zawiera od 1 do 2% siarki, która podczas spalania ulega utlenieniu, głównie na SO₂. Piece służące do spalania gumy powinny więc być wyposażone w instalacje do odsiarczania gazów spalinowych, ponadto muszą zapewniać taką temperaturę płomienia, aby lotne produkty pirolizy nie przedostawały się do atmosfery. Na ogół są w tym celu wykorzystywane piece służące do wypalania cementu. Gazy spalinowe w tym procesie osiągają bardzo wysoką temperaturę 1600–2000°C. Wydzielający się dwutlenek siarki jest związany przez zasadowe składniki wsadu, tworząc gips. Guma może być wprowadzana do pieca w dosyć dużych kawałkach (np. mniejsze opony w całości, a większe przekrojone na cztery części), co ogranicza zużycie energii na jej wstępne rozdrobnienie. Ze względu na prostotę oraz znaczną efektywność recyklingu energetycznego gumy, ostatnio jego znaczenie bardzo wzrasta.

Spalanie opon w cementowniach stosuje się w wielu krajach w Europie, w USA i Kanadzie. W Polsce stosuje się tę metodę w cementowni „Górażdze” i innych. Obecnie znane są w świecie dwa rodzaje bezdymnych pieców do spalania opon. Jedna instalacja może spalić 15000–20000 ton opon/rok. Proces spalania opon w piecach bezdymnych w cementowniach, z ekologicznego punktu widzenia ma następujące zalety:

- nie powoduje zapylenia, gdyż pyły są zatrzymane w elektrofiltrach,

- nie zwiększa emisji SO₂, gdyż zawarta w oponach siarka zostaje włączona w proces tworzenia klinieru,
- zmniejsza emisję NO₂, gdyż spalanie opon odbywa się w temperaturze niższej niż przy użyciu paliwa konwencjonalnego,
- nie zwiększa emisji związków organicznych.

Oprócz cementowni istnieje możliwość wykorzystania zużytych opon do produkcji energii elektrycznej. W Anglii firma „Elm Energy and Recycling” uruchomiła w Wolverhampton elektrownię, w której są spalane całe opony. Ma ona dostarczyć elektryczności do 25000 mieszkań. Przewiduje się, że 20% zużytych opon w Anglii będzie wykorzystywane do produkcji energii elektrycznej. W Niemczech planuje się budowę elektrowni zasilanej w energię cieplną wyłącznie poprzez spalanie zużytych opon.

4. Wykorzystanie opon w geotechnice dróg

Opony samochodowe w całości lub częściach mogą być użyte do:

- budowy nasypów drogowych i wzmacniania podłoża gruntowego,
- poprawiania stateczności nasypów,
- zabezpieczania skarp kanałów, rowów,
- budowy ścian oporowych,
- warstw odsączających i odcinających,
- membran i warstw drenujących,

- przepustów drogowych.

4.1. Budowa nasypów drogowych z wykorzystaniem odpadów z opon samochodowych

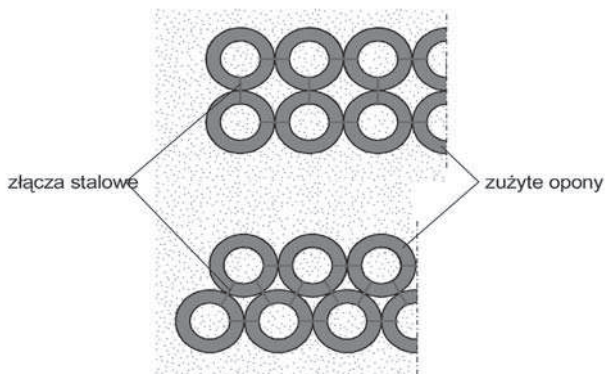
Odpady gumowe ze zużytych opon samochodowych zastosowane do budowy nasypów poprawiają ich cechy funkcjonalne. Polepszają się warunki filtracji wody w nasypie, budowla jest bardziej odporna na działanie mrozu. Nasyp jest znacznie lżejszy, a przez to możliwy do posadowienia na słabym podłożu torfowym. Dodać należy, że guma ze zużytych opon samochodowych nie podlega szybkiemu rozpadowi biologicznemu. Zastosowanie opon pozwala na osiągnięcie wymiernych efektów ekonomicznych [4, 5]. Nasypy budowane z wykorzystaniem opon nad przepustami pozwalają zmniejszyć naprężenie przekazywane na konstrukcję przepustu. Podobnie mogą być stosowane na słabych gruntach, np. przeprawy przez tereny bagienne, torfowe. Przykłady mat z opon samochodowych pokazano na rysunkach 1 i 2.

W praktyce stosowane są maty składające się z:

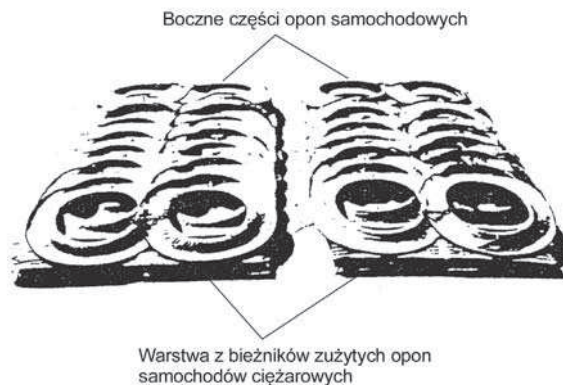
- pojedynczej warstwy całych opon samochodowych,
- podwójnej warstwy całych opon samochodowych,
- pojedynczej warstwy opon przepoławionych,
- podwójnej warstwy opon przepoławionych.

W LCPC (Francja) opracowano systemy wykorzystania niebezpiecznych opon do budowy lekkich nasypów do wysokości 9 m (włączając 1 m grubości konstrukcji jezdni drogowej) [6]. Konstrukcję takiego nasypu przedstawiono na rysunku 3. Nasyp zbudowany według tej technologii jest 3÷4 razy lżejszy od nasypu utworzonego z tak zwanych lekkich materiałów naturalnych i 3÷4 razy tańszy od nasypu zbudowanego z materiałów sztucznych, takich jak polistyren.

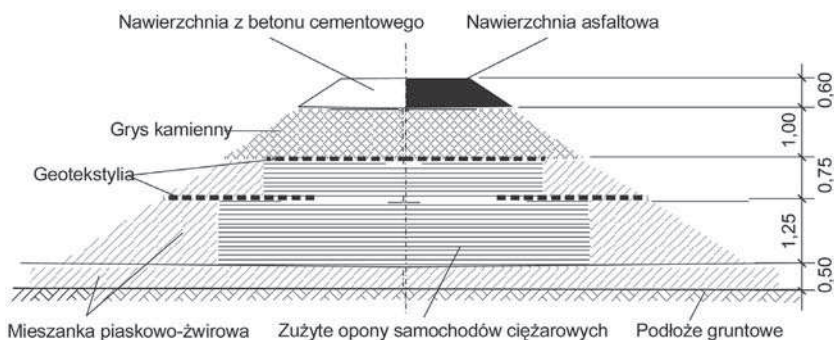
W 1995 roku w zbudowanych w USA, z wykorzystaniem rozdrobnionych odpadów gumowych, trzech wysokich nasypach (o wysokości większej niż 8 m) stwierdzono zachodzenie intensywnych wewnętrznych reakcji cieplnych. Guma opon samochodowych i wystające z kawałków części stalowe uległy silnemu utlenieniu. Proces ten nie jest jeszcze w pełni zbadany. Biorąc jednak pod uwagę dotychczasowe doświadczenia, postanowiono opracować wytyczne dotyczące bezpiecznego stosowania rozdrobnionych odpadów gumowych w wysokich nasypach. Dotychczasowe doświadczenia z budowy nasypów na gruntach torfowych z wykorzystaniem odpadów gumowych wykazują celowość takich rozwiązań. Osiadanie nasypów z odpadami gumowymi jest mniejsze niż na typowych nasypach, np. osiadanie nasypu rejestrowane po dwóch latach eksploatacji wynosiło 30–45 cm i było mniejsze o 30–60 cm w stosunku do osiadania typowych nasypów zbudowanych w tych samych warunkach wodno-gruntowych.



Rys. 1. Maty ze zużytych opon samochodowych



Rys. 2. Maty z opon samochodowych Terramat



Rys. 3. Nasyp z wykorzystaniem zużytych opon – system Pneuresil, LCPC

4.2. Zastosowanie odpadów gumowych do wzmacniania podłoża gruntowego

Stosuje się wzmacnianie podłoża gruntowego:

- warstwą wiórów gumowych o wymiarach 10–100 mm (wydłużony kształt), pochodzących z rozdrobnienia zużytych opon samochodowych,
- mieszanką gruntu z wiórami gumowymi.

Wzmocnione podłoże gruntowe pracuje podobnie jak typowa nawierzchnia żwirowa [7]. Jedynym problem jest to, że na podłożu z wiórami gumowymi występuje większy i szybszy przyrost osiadania (od 0,6 do 1,3 cm) w porównaniu z typowymi konstrukcjami (około 0,3 cm).

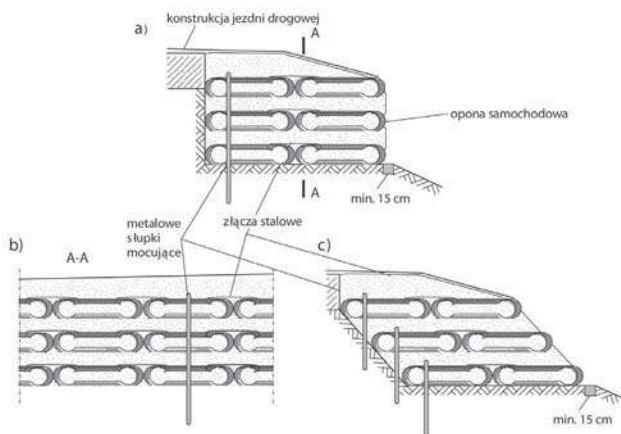
4.3. Zastosowanie odpadów gumowych do poprawiania stateczności nasypów

Materiał z rozdrobnionych opon samochodowych wbudowuje się

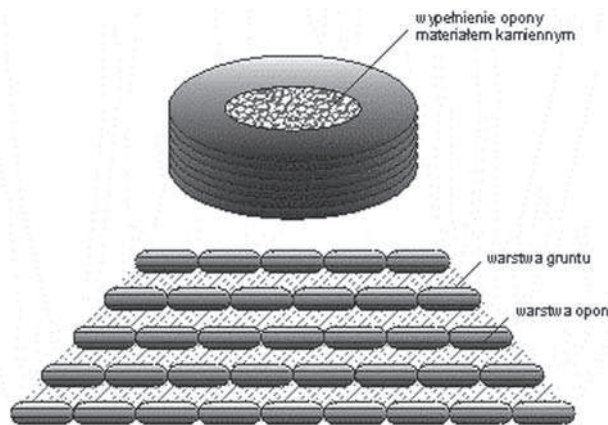
w istniejące nasypy w celu przeciwdziałania procesom osuwiskowym. Partie osuwiskowe wypełnione lekkim materiałem gumowym odciążają nasyp. Po usunięciu warstw gruntu nasypowego układa się w to miejsce warstwami wiórowe i zagęszcza je. Uzupełnia się nasyp gruntem rodzimym, układa podbudowę z kruszywa mineralnego i nawierzchnię asfaltową.

4.4. Zastosowanie odpadów gumowych do wzmacniania poboczy drogowych

Pobocza drogowe podatne na erozję mogą być wzmacniane zużytymi oponami samochodowymi układanymi warstwami w postaci mat [8]. Opony w matach łączy się ze sobą stalowymi obejmami. Na rysunku 4 pokazano sposób ułożenia opon na wzmocnianym poboczu w dwóch przypadkach zależnych od położenia stabilnego podłoża na poboczu, umożliwiającego umocowanie na nim mat z opon.



Rys. 4. Wzmocnienie poboczy drogowych zużytymi oponami



Rys. 5. Schemat konstrukcji ściany oporowej

W podobny sposób są zabezpieczane skarpy kanałów lub rowów.

4.5. Wykonywanie ścian oporowych

Najprostszym sposobem budowy ściany oporowej z wykorzystaniem zużytych opon samochodowych jest układanie opon warstwami, wypełnianie ich materiałem kamiennym z zagęszczonym gruntem, a następnie przysypywanie ich dobrze zagęszczonym kruszywem mineralnym. Schemat takiej konstrukcji przedstawiono na rysunku 5.

5. Zastosowanie granulatu gumowego w nawierzchniach asfaltowych

Pierwsze zastosowanie kauczuku w modyfikacji asfaltu w drogownictwie miało miejsce w 1902 roku w nawierzchni ulicy w Cannes. Zastosowano kauczuk naturalny w postaci lateksu. Zastosowanie kauczuku otrzymywanego z rozdrobnionej gumy z opon samochodowych rozwinęło się w latach 1960. [9]. Początkowo rozdrobnioną gumę stosowano ze względów ekonomicznych jako dodatek modyfikujący do asfaltu – tańszy od kauczuku naturalnego. W ostatnim okresie stosowanie dodatku gumy do modyfikacji asfaltu jest uzasadnione głównie względami ekologicznymi. Obliczono, że na 1 km 4-pasowej autostrady można zużyć około 3000 opon samochodów osobowych. Problem zastosowania zużytej gumy w drogownictwie pró-

buje rozwiązać się aktami prawnymi i dofinansowaniem. Na przykład Kongres USA ustanowił w 1991 roku ustawę ISTEA (Intermodal Surface Transportation Efficiency Act) nakładającą obowiązek ponownego wykorzystania w robotach drogowych, a szczególnie w mieszankach mineralno-asfaltowych, miału gumowego pochodzącego ze zużytych opon. Od 1992 roku wszystkie mieszanki mineralno-asfaltowe wytwarzane na terytorium USA powinny zawierać wzrastającą ilość odzyskanej gumy; 5% w pierwszym roku, 10% w drugim, aż do osiągnięcia 20%. Akt ten pozostał martwy ze względu na: z jednej strony – nieprzygotowanie przedsiębiorstw do jej realizacji i konieczność poniesienia znacznych kosztów dostosowania sprzętu produkcyjnego, a z drugiej – ze względu na rosnącą konkurencję nowych procesów technologicznych modyfikacji asfaltu drogowego i mieszanek mineralno-asfaltowych bogatą gamą modyfikatorów, a w tym przede wszystkim polimerami. Zwłaszcza w USA obserwuje się w ostatnich latach (wraz z zakończeniem programu badawczego SHRP i związanym z tym zwiększeniem wymagań wobec lepiszczy asfaltowych) wzrost zużycia polimeroasfaltów i zastępowanie nimi asfaltu zwykłego, jak również gumoasfaltu. Stwierdzono, że zastosowanie polimeroasfaltu jest kosztowo porównywalne, lecz technicznie wyraźnie efektywniejsze. Ponadto ze względów ekologicznych i konieczności przewidywania recyklingu nawierzchni, w USA zanika technologia modyfikacji asfaltu gumą z zastosowaniem oleju wysokoaromatycznego.

Modyfikacja gumą z opon samochodowych nadal jest stosowana tam, gdzie znalazła zastosowanie wcześniej, np. w USA (Arizona, Kalifornia, Teksas) lub w Europie (Francja, Belgia). Dodatek gumy stosuje się w nawierzchniach asfaltowych nie ze względów ekologicznych, ale przede wszystkim ze względów

technicznych.

Miał gumowy wprowadzony do asfaltu zwiększa jego elastyczność i trwałość, zmniejsza odbijanie światła oraz zapewnia dobrą adhezję i kohezję. Inne zalety nawierzchni z lepiszczem gumowo-asfaltowym to: zmniejszenie hałaśliwości ruchu pojazdów, zwiększenie szorstkości nawierzchni i jej ścieralności.

Gumę do mieszanki mineralno-asfaltowej wprowadza się dwiema metodami:

- suchą,
- moką.

Są to dwie różne metody modyfikacji właściwości asfaltu i mieszanki mineralno-asfaltowej. W ramach każdej z metod istnieją różne procesy technologiczne, zwykle strzeżone patentami.

Metoda mokra polega na dodatku drobnoziarnistego granulatu gumowego (o uziarnieniu zwykle poniżej 1 mm) do asfaltu i wytworzenie lepiszcza gumowo-asfaltowego, które następnie stosowane jest w produkcji mieszanki mineralno-bitumicznej. Dodatek gumy do asfaltu w metodzie na mokro wynosi 10–20% m/m. Proces modyfikacji asfaltu gumą jest trudny, bowiem guma w oponie jest zwulkanizowana i jej rozpuszczenie w asfalcie jest trudne i w istocie nieosiągalne w całości – uzyskuje się układ dyspersji, w której część cząstek gumy i napełniaczy (sadzy) pozostaje w postaci stałej. Trudno zatem uzyskać lepiszcze gumowo-asfaltowe o stabilnym układzie koloidalnym, a w związku z tym stosowanie lepiszcza gumowo-asfaltowego ograniczone jest również ze względu na trudności w transporcie i magazynowaniu lepiszcza. Problem ten nie dotyczy zastosowań w mniejszej skali, np. zalewy gumowo-asfaltowej do wypełniania spękań lub szczelin w nawierzchniach drogowych (gdy lepiszcze po wyprodukowaniu magazynowane i transportowane jest w beczkach lub puszkach).

W metodzie na mokro stosuje się kilka sposobów (niektóre z nich i ich odmiany są objęte patentami):

- rozpuszczanie granulatu w wysokoaromatycznym oleju organicznym (naftowym lub węglowym), a następnie mieszanie z asfaltem w temperaturze około 200°C,
- rozpuszczanie granulatu w miękkim asfalcie w temperaturze do 400°C, w której następuje dewulkanizacja gumy,
- rozpuszczenie granulatu w asfalcie w temperaturze około 200°C, a następnie skierowanie do mieszalnika o dużej mocy ścinania,
- długotrwałe mieszanie w podwyższonej temperaturze granulatu w asfalcie.

Metoda sucha polega na dodaniu granulatu bezpośrednio do mieszanki mineralno-asfaltowej. Metoda ta występuje w dwóch wariantach:

- pierwszy, gdy stosowany jest jak najdrobniejszy granulak, aby uzyskać jego rozpuszczenie w asfalcie; w tym wariantcie guma traktowana jest jak modyfikator asfaltu,
- drugi, gdy stosowany jest granulak o większym uziarnieniu i granulak gumowy traktowany jest jako kruszywo.

W Europie poszerza się stosowanie zużycia granulatu w metodzie na sucho, czystej ekologicznie, lecz mającej swoje uzasadnienie nie w modyfikacji asfaltu, ale w efekcie środowiskowym zużycia gumy odpadowej. Występują tu też inne efekty, jak zmniejszenie twardości nawierzchni oraz zmniejszenie hałaśliwości ruchu samochodowego.

Najnowszym rozwiązaniem opracowanym w firmie RubberTec (Szwajcaria) jest granulak gumowo-asfaltowy pozwalający na znaczne uproszczenie procesu modyfikacji mieszanki mineralno-asfaltowej. Granulak ten dodawany jest do mieszanki mineralno-asfaltowej jak w metodzie na sucho, lecz łatwość rozpuszczenia granulatu sprawia, że następuje modyfikacja asfaltu jak w metodzie na mokro.

6. Metoda sucha

Metoda sucha (dry process) jest stosunkowo prostym i mało kło-

potliwym sposobem stosowania miątu lub granulatu gumowego do mieszanki mineralno-asfaltowej i uzyskanie w efekcie nawierzchni o poprawionych parametrach eksploatacyjnych. Dodatek do mieszanki mineralno-asfaltowej kruszywa z recyklingu gumy to idea wykorzystywana od 30 lat w wielu krajach jako metoda wtórnego zużycia opon [10]. Technika ta polega na bezpośrednim wprowadzeniu do mieszalnika kruszywa gumowego frakcji powyżej kilku mm (na ogół 2 mm) w ilości od 1 do 3%. Stosowane technologie przewidują różne mieszanki różniące się krzywą uziarnienia, tak aby pomiędzy ziarna kruszywa mineralnego mogło być wprowadzone kruszywo gumowe. Najczęściej jest to nieciągła krzywa uziarnienia.

Zależnie od zastosowania, lepiszczem może być czysty asfalt lub modyfikowany polimerami. Reakcja między asfaltem i gumą zachodzi w czasie wytwarzania mieszanki na gorąco. Nie stosuje się katalizatorów reakcji. Modyfikacja właściwości mieszanki miątem gumowym następuje na skutek: wzrostu lepkości lepiszcza; reakcji między asfaltem i drobnymi cząstkami gumy oraz wpływie grubszych frakcji kruszywa gumowego na zmniejszenie modułu sztywności mieszanki. Dzięki tym zmianom mieszanka mineralno-asfaltowa z dodatkiem gumy uzyskuje nową charakterystykę techniczną, a w szczególności:

- większą odporność na pękanie,
- zdolność do amortyzacji uderzeń opon i zmniejszenie hałaśliwości ruchu,
- zdolność szybkiego usuwania gołoledzi (może natomiast występować niebezpieczeństwo wyrwania gryków na skutek różnicy w odkształcalności ziaren kruszywa).

7. Metoda mokra

Skuteczność modyfikacji właściwości asfaltu i poprawy właściwości nawierzchni drogowej dodatkiem gumy w metodzie na mokro (wet process) zależy przede wszystkim

od ilości dodanej gumy. Znaczny efekt uzyskuje się, gdy zawartość gumy w zmodyfikowanym lepiszczu wynosi 20% m/m. Oprócz ilości dodanej gumy wpływ na efektywność modyfikacji mają właściwości mączki gumowej (jej skład chemiczny oraz uziarnienie) i właściwości asfaltu użytego do modyfikacji.

Lepiszczta gumowo-asfaltowe charakteryzują się korzystniejszymi właściwościami niż konwencjonalne lepiszcza asfaltowe. Ujawnia się to w:

- zwiększeniu odporności na starzenie technologiczne lepiszcza i eksploatacyjne nawierzchni,
- zwiększeniu elastyczności lepiszcza i mieszanki,
- zmniejszeniu podatności nawierzchni na koleinowanie,
- zwiększeniu odporności na pęknięcie niskotemperaturowe,
- zwiększeniu kohezji i odporności na pęknięcie zmęczeniowe,
- zwiększeniu odporności na czynniki środowiskowe (powietrze, woda) – wodo- i mrozoodporności,
- zmniejszeniu hałaśliwości.

Budowa nawierzchni z wykorzystaniem mieszanek mineralno-gumowo-asfaltowych jest droższa. Biorąc jednak pod uwagę korzyści wynikające z polepszenia cech eksploatacyjnych i wzrostu trwałości nawierzchni oraz uwzględniając ekologiczne aspekty zagospodarowania szkodliwych dla środowiska materiałów odpadowych ze zużytych opon samochodowych, celowość szerszego zastosowania dodatku gumy do mieszanek mineralno-asfaltowych w budownictwie drogowym jest warta rozważenia.

8. Doświadczenia w Polsce

W Polsce już w latach 70. ubiegłego wieku [11] prowadzono w IBDiM prace nad wykorzystaniem odpadów gumowych do asfaltu i mieszanek mineralno-asfaltowych. W późniejszych latach badania takie były prowadzone w kilku placówkach naukowych: Golec, Podhorecka, IKŚ, 1978 r. [12]. Tym zagadnieniem zajmowali się następnie Kalabińska

i Piłat [13, 14] z Politechniki Warszawskiej, Stefańczyk i Zieliński [15] z Politechniki Szczecińskiej, Radziszewski [16] z Politechniki Białostockiej. Technologia modyfikacji asfaltu miątem gumowym była opracowana w Instytucie Technologii Nafty, a instalacja do produkcji gumoasfaltu została wybudowana w Rafinerii Trzebinia. Niestety proces ten okazał się zbyt skomplikowany i nie wdrożono go w pełnej skali.

Ostatnie obszerne prace studialne i badawcze wykonane zostały w Polsce w ramach projektu badawczego KBN kierowanego przez Instytut Przemysłu Gumowego. Część drogową tego projektu prowadzona była przez Instytut Badawczy Dróg i Mostów, z którym współpracował zespół z Politechniki Warszawskiej i Politechniki Białostockiej [17].

W ramach tego projektu przeprowadzono obszerne badania laboratoryjne i terenowe w zakresie modyfikacji mieszanki mineralno-asfaltowej metodą suchą i mokrą. We współpracy z przedsiębiorstwem drogowym z Piły uruchomiono instalację do modyfikacji asfaltu gumą oraz wykonano odcinki doświadczalne nawierzchni drogi i ścieżki rowerowej w obu technologiach.

Efektem tej współpracy jest też opracowanie mieszanki mineralno-asfaltowo-gumowej GUF1 o specjalnym składzie. Mieszanka ta jest stosowana do warstwy ścieralnej,

Tabela 2. Klasyfikacja nawierzchni ze względu na poziom hałasu wg IBDiM

| Klasa hałaśliwości nawierzchni | Typ warstwy ścieralnej |
|--------------------------------|--|
| Cicha | AC 5, AC 8, SMA 5, SMA 8 BBTM 8 (GUF1), PA (COLSOFT) |
| Normalna | BBTM 11, SMA 11, AC 11 |
| Głośnie | BC, CWZ |

Oznaczenia: AC – beton asfaltowy, SMA – mieszanka mastyksowo-grysowa, BBTM – mieszanka o nieciągłym uziarnieniu, PA – asfalt porowaty, CWZ – cienka warstwa na zimno (slurry seal), BC – beton cementowy

zapewniając zmniejszenie hałasu toczona pojazdów. Wykonana przez Instytut Badawczy Dróg i Mostów we współpracy z Politechniką Białostocką i Politechniką Gdańską praca badawcza dotycząca zależności pomiędzy typem i technologią wykonania warstwy ścieralnej a jej hałaśliwością [18] wykazała, że mieszanka GUF1 zawierająca dodatek gumy należy do cichych nawierzchni.

Nowym produktem pochodzącym ze zużytych opon samochodowych jest włókno polimerowe TOFIC® opracowane w Zakładzie Technologii Nawierzchni IBDiM. Jego produkcja została niedawno uruchomiona w ABC Recykling w Krośnie Odrzańskim. Włókno to uzyskiwane jest z przeróbki kordu tekstylnego opon samochodowych, który składa się z mieszaniny syntetycznych włókien polimerowych (poliestrowych, wiskozowych, poliamidowych, paramidowych). Długość włókien nie przekracza 30 mm. TOFIC® zawiera także pozostałość gumy w postaci granulatu gumowego o uziarnieniu nie większym niż 8 mm, w ilości nie większej niż 40% m/m. Granulat gumowy charakteryzuje się uziarnieniem: frakcja (pył gumowy) poniżej 0,85–30%, frakcja od 0,85 do 2,0 – do 15%, frakcja 2,0 do 8,0 – do 5% m/m w stosunku do materiału włóknistego.

Dodatek TOFIC® określony jest jako włóknisty materiał stabilizująco-wzmacniająco-modyfikujący do mieszanek mineralno-asfalto-

wych. Określenie to oddaje potrójną rolę, jaką może spełniać ten dodatek:

- stabilizacja lepiszcza asfaltowego w mieszance o nieciągotym uziarnieniu SMA, BBTM, asfaltu porowatego PA,
- wzmocnienie mieszanki mineralno-asfaltowej, w której włókno polimerowe stanowi zbrojenie rozproszone, wzmacniając odporność na koleinowanie i pękanie zmęczeniowe lub niskotemperaturowe,
- modyfikacja lepiszcza asfaltowego pyłem i granulatem gumowym zawartym w dodatku, poprawiając właściwości reologiczne i mechaniczne mieszanki mineralno-asfaltowej, jak również zmniejszając hałaśliwość nawierzchni.

TOFIC® stosuje się we wszystkich mieszankach mineralno-asfaltowych na gorąco.

Zawartość włókna polimerowego w mieszance mineralno-asfaltowej przewiduje się od 0,05 do 4,0% m/m w zależności od odmiany włókna (zawartości gumy) i celu stosowania (stabilizacja, zbrojenie lub modyfikacja).

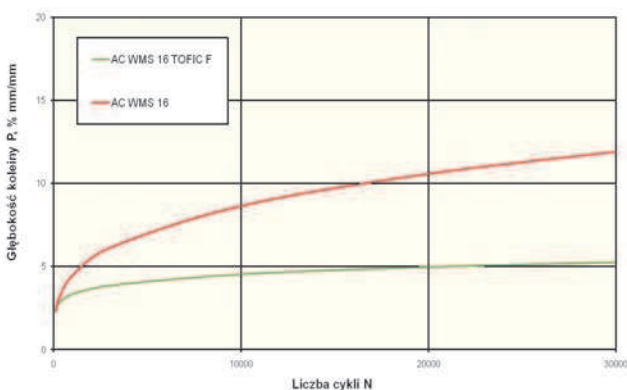
Rysunki 6–9 ilustrują efekty zastosowania włókna TOFIC® wzmacniającego mieszankę mineralno-asfaltową. Włókno polimerowe poprawia odporność na koleinowanie, zwiększa trwałość zmęczeniową oraz wodooporność, a także odporność na niską temperaturę. Efekt działania włókna polimerowego jest nieporównanie inny i skuteczniejszy niż stosowanie włókna celulozowego.

8.1. Odporność na działanie wody

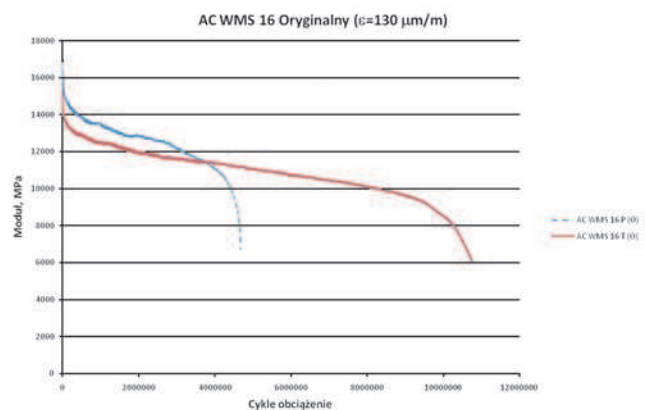
Dodatek TOFIC® może być stosowany we wszystkich mieszankach mineralno-asfaltowych przeznaczonych do różnych warstw nawierzchni. Może być stosowany z asfaltem zwykłym lub z polimeroasfaltem. Zalecany jest jako dodatek stabilizujący, wzmacniający i modyfikujący. Włókno polimerowe ma działanie stabilizujące lepiszcze oraz wzmacniające (zbrojące) mastyks lepiszcza i wypełniacza. Dzięki obecności w mieszance wysokiej jakości włókien syntetycznych, nieulegających biodegradacji i tworzących mikrozbrojenie, poprawiona jest odporność nawierzchni na spękania zmęczeniowe i niskotemperaturowe. Natomiast miął i granulaty gumowy modyfikują lepiszcze asfaltowe, poprawiając jego właściwości reologiczne.

9. Zakończenie

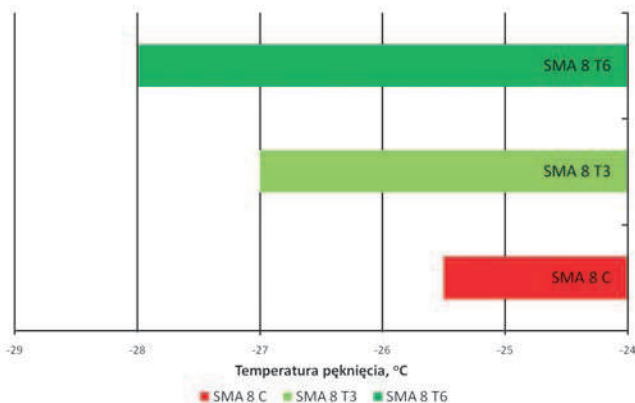
Należy przewidywać, że w niedługim czasie stan w zagospodarowaniu opon w Polsce będzie też musiał ulec zmianie, gdyż nowa dyrektywa UE dotycząca zakazu składowania opon w całości po 2003 roku i w stanie rozdrobnionym po 2006 roku zmusi do radykalnych działań na rzecz ich zagospodarowania. Trzeba zwiększyć udział recyklingu materiałowego i wykorzystania energetycznego. Obecnie nie ma w Polsce dużego zapotrzebowania na granulaty i miął gumowy. Na istniejące potrzeby wystar-



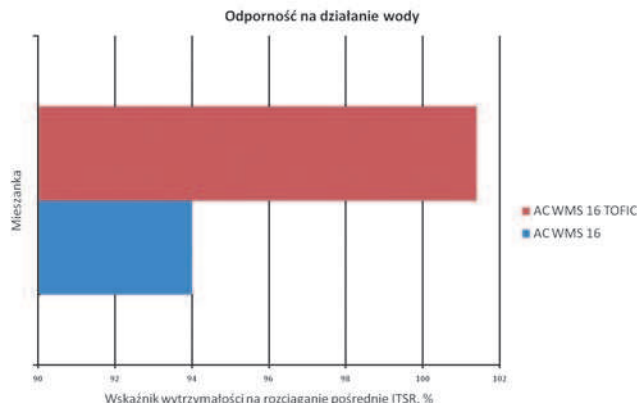
Rys. 6. Odporność na koleinowanie (duży aparat, 40°C) AC WMS 16 z dodatkiem włókna TOFIC® F



Rys. 7. Krzywe zmiany modułu sztywności pod obciążeniem cyklicznym: AC WMS 16 oryginalny



Rys. 8. Temperatura pęknięcia w badaniu TSRST mieszanki SMA z włóknem celulozowym (C) lub polimerowym TOFIC® (T3, T6)



Rys. 9. Odporność na działanie wody betonu asfaltowego bez włókna i z włóknem polimerowym TOFIC®

cza ścier z bieżników oraz granulatu pozyskiwany z innych wyrobów gumowych i ściniek bieżników opon. Celowe jest więc poszukiwanie materiałów chłonnych zastosowań dla miazgi i granulatu. Ważnym, bardziej materiałochłonnym zastosowaniem miazgi gumowego może być drogownictwo – budowa nawierzchni bitumicznych oraz nawierzchni placów boisk szkolnych i sportowych. Modyfikacja asfaltu gumą może być stosunkowo łatwo wdrożona w przedsiębiorstwie drogowym. Można uzyskać zauważalną poprawę właściwości nawierzchni, lecz stopień modyfikacji gumą powinien być wysoki – dodatek gumy do asfaltu powinien wynosić 20% m/m. Obiecującym technicznie i ekonomicznie rozwiązaniem jest technologia modyfikacji mieszanki mineralno-asfaltowej granulatem gumowo-asfaltowym (RubberTec). Pozwala on na skuteczne i łatwe w stosowaniu wdrożenie modyfikacji podczas produkcji mieszanki mineralno-asfaltowej. Interesujące jest też z technicznego punktu widzenia stosowanie włókien polimerowych odzyskanych ze zużytych opon samochodowych. Włókna te mają zdolność zbrojenia mieszanki mineralno-asfaltowej i warstwy nawierzchni. Ich działanie jest całkowicie różne od powszechnie stosowanych włókien celulozowych. Włókna polimerowe oprócz spełnienia roli stabilizatora lepiszcza zwiększają odporność na kole-

inowanie, zmęczenie, niską temperaturę i działanie wody. Nowe rozwiązania technologiczne i nowe materiały uzyskiwane ze zużytych opon samochodowych otwierają nowe możliwości innowacyjnych rozwiązań technicznych, ale i ekologicznych w budownictwie drogowym. Możliwości znacznej poprawy trwałości nawierzchni drogowej i zmniejszenia hałaśliwości ruchu pojazdów stanowią zachętę do ich wdrażania.

BIBLIOGRAFIA

[1] Horodecka R., Kalabińska M., Piłat J., Radziszewski P., Sybilski D., Wykorzystanie zużytych opon samochodowych w budownictwie drogowym. IBDiM, Warszawa, 2002
 [2] Parasiewicz W., Pyskło L., Ślusarski L., Zagospodarowanie złomu gumowego w świetle prac wykonanych w ramach PBZ-03008. Międzynarodowa Konferencja ECO-GUMA 99 „Techniczne i ekonomiczne możliwości recyklingu gumy” Warszawa 1999 r.
 [3] Parasiewicz W., Ślusarski L., Recykling złomu gumowego w Polsce. Kongres Technologii Chemicznej. Wrocław, wrzesień 1997 r.
 [4] Geisler E., Cody W. K., Niemi M. K., Tires for subgrade support. Annual Conference on Forest Engineering Meeting, Coeur D’Alende, Idaho, 1989
 [5] Twin City Testing Corporation: Waste tires in sub-grade road beds. Minnesota Pollution Control Agency, 1989
 [6] Heystraeten G. V., Waste tyre recycling in road pavements and street furniture. Belgian Road Research Centre, 1994
 [7] Bosscher P. J., Edil T. B., Eldin N. N., Construction and performance of a shredded waste tire test embankment. Transport Research Record 1345, Transportation Research Board, National Research Council, Washington 1992
 [8] Nguyen M. X., Williams J. A.,

Implementation package for using discarded tires in highway maintenance. Report No. CA/TL-89/10, California Department of Transportation, 1989
 [9] Févre C.-Ph., Recyclage des pneus usés. Incorporation de caoutchouc dans les liants et les enrobés. Etudes américaines pour permettre l’élimination des pneus usés (TRB 96) Revue Générale des routes et des aéroports RGRA, nr 743, 1996, s. 33–40
 [10] Epps J. A., Uses of recycled rubber tire in highways practice. NHRP Synthesis, TRB National Research Council Press, Washington 1994
 [11] Wojdanowicz G., Prace COB i RTD, 1972 (nr 4)
 [12] Golec J., Podhorecka R., Ocena możliwości wykorzystania odpadów gumowych dla polepszenia nawierzchni dróg miejskich, IKŚ, Warszawa 1978
 [13] Kalabińska M., Piłat J., Reologia asfaltów i mas mineralno-asfaltowych, WKŁ, Warszawa 1982
 [14] Kalabińska M., Piłat J., Właściwości reologiczne asfaltów i kompozytów mineralno-asfaltowych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1993
 [15] Stefańczyk B., Zieliński Z., Możliwość modyfikacji asfaltu dodatkami gumy w masach zabezpieczających skarpy dużych pochyłości. Prace Naukowe Politechniki Szczecińskiej, Instytut Inżynierii Lądowej nr 46, 1975
 [16] Radziszewski P., Modyfikacja lepiszczy asfaltowych miazgą gumową, Drogownictwo nr 2, 1995
 [17] Horodecka R. Kalabińska M., Piłat J., Sybilski D., Wpływ modyfikacji asfaltu gumą na właściwości betonu asfaltowego, V Międzynarodowa Konferencja „Trwałe i bezpieczne nawierzchnie drogowe”, Kielce 1999 r.
 [18] Maliszewska D., Sybilski D., Ocena wpływu typu i technologii wykonania nawierzchni drogowej na hałaśliwość ruchu drogowego i jego uciążliwość dla środowiska, praca wykonywana na zlecenie GDDKiA, niepublikowana, Warszawa 2005