

WYKORZYSTANIE MATERIAŁU Z RECYKLINGU OPON SAMOCHODOWYCH W BUDOWNICTWIE KOMUNIKACYJNYM

Aleksander DUDA*, Dariusz SOBALA*, Tomasz SIWOWSKI*,
Damian KALETA**

*Politechnika Rzeszowska

**Promost Consulting

W artykule przedstawiono aktualny stan wiedzy na temat wykorzystania materiału z recyklingu zużytych opon samochodowych w budownictwie komunikacyjnym.

W referacie omówiono:

- uwarunkowania prawne dotyczące recyklingu opon samochodowych;
- sposoby przetwarzania zużytych opon samochodowych;
- podstawowe charakterystyki fizyczne, mechaniczne i środowiskowe uzyskanego materiału oraz
- przykłady jego wykorzystania w budownictwie komunikacyjnym, a w tym w budownictwie mostowym.

Artykuł opracowano w ramach badawczego Innotech nr K3/IN3/38/228116/NCBiR/15 pn. "Innowacyjne materiały z recyklingu, zwiększające trwałość obiektów mostowych", współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.

Słowa kluczowe: zużyte opony samochodowe, recykling, strefa przejściowa, kruszywo gumowe, mosty zintegrowane

1. WPROWADZENIE

Następstwem wzrastającego ruchu samochodowego jest intensywny rozwój infrastruktury komunikacyjnej oraz wzrost liczby zużytych opon samochodowych, które stanowią istotne obciążenie dla środowiska naturalnego. W roku 2014 do zagospodarowania na terenie Unii Europejskiej było 3,4 mln ton zużytych opon samochodowych, w tym 240 tys. ton w Polsce¹. Obecnie najprostszym sposobem utylizacji zużytych opon w kraju jest ich spalanie w piecach cementowych oraz wysokoenergetyczna, specjalistyczna granulacja. Są to procesy nieefektywne środowiskowo, zwiększające emisję szkodliwych gazów cie-

¹ Główny Urząd Statystyczny – Produkcja ważniejszych wyrobów przemysłowych w 2014r.

plarnianych do atmosfery lub wymagające dodatkowego zużycia dużych ilości energii. W krajach wysoko rozwiniętych, takich jak USA, Francja, Wielka Brytania podstawowym sposobem zagospodarowania odpadów ze zużytych opon jest recykling produktowy (wykorzystanie całych opon) lub materiałowy (wykorzystanie materiału o niewielkim stopniu przetworzenia). Są to sposoby wykorzystania materiału odpadowego zgodne z zasadami zrównoważonego rozwoju, a ponadto pozwalają na uzyskanie materiału budowlanego o unikalnych właściwościach. Naturalnym obszarem jego zastosowania jest budownictwo komunikacyjne i zastępowanie materiałami z recyklingu wysokiej jakości materiałów pochodzenia naturalnego.

Budowane obiekty komunikacyjne mają coraz większe gabaryty. Ich budowa wiąże się ze wzrostem obciążeń pionowych podłoża gruntowego, a w przypadku obiektów mostowych i konstrukcji oporowych dodatkowo ze wzrostem sił poziomych (parcia). Najczęściej stosowanym rozwiązaniem tych problemów są kosztowne techniki wzmacniania podłoża (np. zastosowanie pali, różnego rodzaju kolumn) lub zwiększania stateczności zboczy i konstrukcji oporowych (zastosowanie kotew gruntowych lub gwoździ). Ponadto dostępność wysokiej jakości materiałów pochodzenia naturalnego (piaski grube, żwiry, pospółki) jest często ograniczona, a ich transport na znaczne odległości jest nieopłacalny.

Alternatywnym i tańszym rozwiązaniem opisanych problemów może być wykorzystanie materiałów zastępczych, takich jak materiał uzyskany z recyklingu opon samochodowych, który z jednej strony charakteryzuje się unikalnymi właściwościami mechanicznymi i drenażowymi, a z drugiej jako niezagospodarowany odpad stanowi istotny problem społeczny i środowiskowy. Zasoby tego materiału stale rosną. Szczególnie efektywne może być wykorzystanie tego materiału w budowie i modernizacji dróg, szlaków kolejowych i szeroko rozumianych obiektów mostowych.

W artykule przedstawiono uwarunkowania prawne, unikalne właściwości, oraz przykłady zastosowania materiału ze zużytych opon samochodowych w budownictwie komunikacyjnym.

2. UWARUNKOWANIA PRAWNE WYKORZYSTANIA MATERIAŁU ZE ZUŻYTYCH OPON SAMOCHODOWYCH W BUDOWNICTWIE

Unia Europejska

Z punktu widzenia zagospodarowania odpadów gumowych ze zużytych opon samochodowych największe znaczenie mają dyrektywy unijne [1,2,3]. Pierwsza dyrektyw [1] uchwalona w 1999r., dotyczyła zakazu składowania całych opon samochodowych od lipca 2003r. oraz ich rozdrobnionych części od lipca 2006r. Wszystkie kraje członkowskie zostały zobowiązane do wprowadzenia w życie ustaleń dyrektywy. Dyrektywa [2] uchwalona w 2000r. określała sposób postępowania z pojazdami po zakończeniu ich eksploatacji. Narzuca ona obowiązek

na europejskich producentów pojazdów po odzysku 85% i recyklingu 80% masy pojazdu od roku 2006, a od roku 2015 odpowiednio 95% i 85%. Zgodnie z dyrektywą pojazdy przed złomowaniem powinny mieć zdjęte wszystkie opony. Również w roku 2000 została uchwalona trzecia dyrektywa [3] zobowiązująca cementownie, wykorzystujące zużyte opony samochodowe jako paliwo alternatywne, do wprowadzenia wyższych limitów dotyczących emisji szkodliwych gazów odlotowych tlenków azotu NO_x do 800mg/m^3 . W poszczególnych krajach członkowskich powstały spółki i organizacje, które są odpowiedzialne za zbiórkę, składowanie, transport i recykling zużytych opon. Finansowanie tych działań w krajach Unii Europejskiej spoczywa na producentach opon (np. kraje skandynawskie, Polska, Francja), obowiązuje system wolnorynkowy (np. Niemcy, Wielka Brytania, Austria) lub odpowiedzialność przejmuje rząd państwa (np. Dania, Słowacja, Chorwacja) [4].

Polska

Wprowadzone do krajowego prawa ustawy były następstwem uchwalonych dyrektyw unijnych. Pierwsza była ustawa [5], która wprowadziła zakaz składowania zużytych opon samochodowych – zgodnie z ustawą wprowadzającą [1]. Ustawa [6] nakłada obowiązek zagospodarowania zużytych opon na producentów i importerów. W tej ustawie została określona opłata produktowa i depozytowa, nakładana na producentów i importerów opon, którzy nie wywiążą się z nałożonego w ustawie poziomu odzysku opon. Aktualna wielkość opłaty produktowej wynosi 2,57 zł za 1 kg opon. Od roku 2007 do dzisiaj odzysk ten wynosi 75%. Obowiązek recyklingu zużytych opon został wprowadzony od roku 2004 na mocy tzw. ustawy „czyszczącej” [7,8]. Od roku 2007 poziom recyklingu opon wynosi 15%. Należy zaznaczyć, że bieżnikowanie opon oraz ich spalanie w cementowniach traktowane jest jako odzysk, a nie recykling.

3. FORMY MATERIAŁÓW UZYSKIWANYCH Z RECYKLINGU OPON ORAZ SPOSOBY ICH PRZETWARZANIA

Poszczególne formy materiałów z recyklingu opon można otrzymać poprzez ich układanie, łączenie, pakowanie/prasowanie lub rozdrabnianie. Sprasowanie polega na ściśnięciu w prasie całych opon oraz związaniu ich drutami lub taśmami w większe gumowe bloki (tzw. baloty, ang. *tyre bales*). Rozdrabnianie opon polega na mechanicznym cięciu w specjalnych młynach i zgniatarkach lub na młotkowaniu opon w niskich temperaturach (metoda kriogeniczna). Rozdrobnione formy materiału z recyklingu opon samochodowych zostały sklasyfikowane m.in. w normie EN-14243 [9].

Tabela 1. Klasyfikacja materiałów otrzymywanych ze zużytych opon wg EN-14243

Rodzaj rozdrobnionych odpadów gumowych z opon	Wielkość cząstek w [mm]
Opony cięte - połówki, mniejsze (cuts)	>300
Strzępy (shreds)	40 ÷ 300
Czipsy (chips)	10 ÷ 50
Granulat (granulates)	1 ÷ 10
Miał (powder)	0 ÷ 1

Fracje takie jak granulat, chipsy oraz strzępy można nazwać kruszywem gumowym. W normie ASTM-D6270 [10] rozróżniono tylko dwie frakcje kruszywa gumowego (ang. *Tire Derived Aggregate – TDA*), obejmujące głównie strzępy oraz chipsy wg [8], tj. kruszywo:

- mniejsze – typ A (typowy rozmiar to 50÷70 mm) stosowane do drenaży i wibroizolacji oraz,
- większe – typ B (typowy rozmiar to 150÷300 mm) stosowane głównie jako lekkie wypełnienie nasypów i zasyпка konstrukcji oporowych.



Rys. 1. Z lewej TDA typ A, z prawej TDA typ B [11]

Granulat znajduje szerokie zastosowanie w sztucznych nawierzchniach placów zabaw dla dzieci i boisk sportowych, bieżni, podkładów amortyzujących uderzenia, barier dźwiękochłonnych itp. Miał oraz granulat gumowy wykorzystane są do modyfikacji składu asfaltu. Powstające w ten sposób nawierzchnie bitumiczne są trwalsze, bardziej elastyczne, charakteryzują się mniejszą luminacją, są bardziej odporne na ścieranie, mają podwyższoną szorstkość i redukują poziom hałasu powstającego na styku z oponą. Poza tym miął gumowy znajduje zastosowanie w produkcji odzieży, dywaników samochodowych, mat dla zwierząt hodowlanych, wycieraczek itp.

Całe zużyte opony samochodowe znajdują zastosowanie głównie w budownictwie w konstrukcjach oporowych, nawierzchniach, barierach drogowych lub elementach odbojowych w portach, marinach, itp.



Rys. 2. Z lewej konstrukcja nawierzchni z opon, z prawej transport całych opon [12]

W celu ograniczenia wielkości składowisk, a tym samym zmniejszenia wysokiego ryzyka pożarowego, zaczęto pakować opony w pakiety zmniejszające ponad 4-ro krotnie objętość składowanych materiałów. Niejako przy okazji uzyskano atrakcyjną formę konstrukcyjną materiału z recyklingu w postaci pakietów (gabionów) gumowych do wykorzystania w budownictwie. Skala tego przedsięwzięcia była tak ogromna, że powstała specyfikacja PAS 108 [13], która ujednolicała sposób produkcji i wymiary pakietów. Kształt pakietu gumowego przypomina prostopadłościan, w którym grubość wynika z wysokości prasowanych opon, szerokość z wymiaru prasy do ściskania, a długość zależy od liczby prasowanych opon (najczęściej 100 ÷ 130 opon). Wykorzystanie tej formy materiału jest analogiczne jak gabionów i materacy kamiennych, tj. w konstrukcjach oporowych lub jako wypełnienie nasypów, podbudowa dróg itp.



Rys. 3. Pakiety gumowe wykonane w ramach projektu badawczego ReUse [14]: z lewej transport, z prawej gotowy pakiet

Przedstawione formy materiałów z recyklingu opon oraz sposoby ich przetwarzania należy uzupełnić o procesy wysokoenergetyczne, do których można zaliczyć: pirolizę oraz destrukcję opon w środowisku rozpuszczalników organicznych. Piroliza to metoda recyklingu opon polegająca na ogrzewaniu całych lub części opon w temperaturze 400÷700 °C bez dostępu tlenu. Podczas termicznego rozpadu powstają produkty gazowe, ciekłe oraz stałe, które można wykorzystać w dalszej obróbce. W skład fazy gazowej wchodzi węglowodory alifatyczne, wodór i siarkowodór, faza ciekła to węglowodory aromatyczne, a stała to zwęglona pozostałość zwana sadzą pizolityczną oraz stal. Produkty gazowe oraz ciekłe pirolizy wykorzystywane są do opalania, a stała sadza stosowana jest jako pigment oraz dodatek do lakierów, farb itp. [15]. W wyniku termicznej destrukcji gumy połączonej z rozpuszczaniem w rozpuszczalnikach organicznych uzyskuje się destrukta gumowy, który stanowi ciągliwą, czarną, lepka masę o konsystencji od gęstopłynnej do półstałej w temperaturze pokojowej, całkowicie rozpuszczalną w produktach naftowych [16]. Jest to tzw. recykling energetyczny, a jego głównymi produktami są: ropa syntetyczna (50 %), smoła (30%) oraz kord stalowy (20%).

Wybór odpowiedniej formy materiału z recyklingu oraz sposobu ich przetworzenia wynika przede wszystkim: z kosztów procesu, dostępności instalacji do przetwarzania odpadów, względów ekologicznych, możliwości wykorzystania produktów procesu. W Unii Europejskiej wprowadzono następującą hierarchię zagospodarowania zużytych opon tj. recykling produktowy, bieżnikowanie i regeneracja, recykling materiałowy, recykling energetyczny, odzysk energii. Ww. kolejność nie jest przypadkowa. Kolejność związana jest z preferowanym sposobem przetwarzania zużytych opon ze względu na dbałość o środowisko naturalne oraz zachowanie zasad zrównoważonego rozwoju.

4. WŁAŚCIWOŚCI MATERIAŁU Z RECYKLINGU ZUŻYTYCH OPON SAMOCHODOWYCH

Potencjalne korzyści z wykorzystania materiału z recyklingu zużytych opon samochodowych w budownictwie komunikacyjnym wynikają z jego unikalnych właściwości. Należą do nich m.in. mały ciężar objętościowy, duży opór ścinania, bardzo dobre właściwości drenażowe (duża wodoprzepuszczalność), izolacyjne (niski współczynnik przewodności cieplnej) i tłumiące drgania.

Ciężar właściwy/ciężar objętościowy. Ciężar właściwy gumy wynosi ok. 11,4÷12,7 kN/m³, co przekłada się na ciężar objętościowy gumy 5÷7 kN/m³ [11,17]. Dla porównania większość gruntów ma ciężar właściwy ok. 26 kN/m³ i objętościowy 18÷20kN/m³. Oznacza to, że wykorzystanie szeroko rozumianego kruszywa gumowego powoduje około 3-krotnie mniejsze obciążenia na podłożu. Umożliwia to na przykład wznoszenie wyższych nasypów bez konieczności wzmocnienia podłoża. Lżejszy materiał wywołuje ponadto mniejsze parcie,

co z kolei zwiększa stateczność skarp nasypu, ogranicza konieczność ich wzmacniania i umożliwia ograniczenie wymiarów korpusu przez zwiększenie nachylenia skarp.

Kąt tarcia wewnętrznego ma duże znaczenie w projektowaniu konstrukcji oporowych oraz skarp nasypów. Im wyższa wartość kąta tarcia wewnętrznego tym większy opór ścinania gruntu, mniejsze parcie, większa stateczność. Dotychczasowe wyniki badań pozwalają oszacować kąt tarcia wewnętrznego rozdrobionej gumy (chipsy, strzępy) na poziomie $19\div 38^\circ$ [17,18,19,20]. Duży rozrzut wartości kąta tarcia wewnętrznego wynika z nieliniowej charakterystyki wytrzymałości na ścinanie kruszywa gumowego. Przy naprężeniu pionowym o wartości ok. 70 kPa wartość kąta tarcia wewnętrznego spada przy jednoczesnym wzroście spójności między cząsteczkami kruszywa w przedziale $0\div 11,5$ kPa, co świadczy o zwiększeniu wytrzymałości na ścinanie. Dla porównania grunty sypkie (piaski, żwiry) charakteryzują się wysokimi wartościami kąta tarcia wewnętrznego na poziomie $35\div 40^\circ$, jednak nie wykazują spójności. Pakiety sprasowanych opon charakteryzuje kąt tarcia wewnętrznego o wartości $35\div 36^\circ$ i podobnie jak grunty sypkie, pakiety również nie wykazują spójności.

Ściśliwość to jedna z najważniejszych charakterystyk gruntów stosowanych do budowy zasypki i nasypów drogowych. Pozwala określić wartość osiadania i oszacować spodziewane deformacje nasypu. Guma z recyklingu opon charakteryzuje się dużą ściśliwością, co stanowi potencjalną barierę dla wykorzystania tego materiału w nasypach. Materiał charakteryzuje moduł odkształcenia o wartości $0,8\div 1,3$ MPa. Problem dużej ściśliwości materiału gumowego można jednak rozwiązać przez zastosowanie warstwy transmisyjnej z kruszywa (tłuczeń, żwir, piasek gruby) o odpowiedniej grubości układanej bezpośrednio pod konstrukcją nawierzchni na warstwie materiału gumowego. Warstwa transmisyjna pozwala na zmniejszenie naprężenia od obciążeń użytkowych w warstwie gumy do akceptowanego poziomu. Zalecenia dotyczące stosowania warstwy transmisyjnej mają znaczenie na liniach kolejowych obciążonych ciężkim ruchem lub drogach o natężeniu ruchu KR5 i KR6. Istotnym problemem jest także dogęszczenie się nasypu w strefie przejściowej na dojeździe do obiektów mostowych. Związane jest to z tzw. efektem progowym. Guma z recyklingu jest materiałem o praktycznie sprężystej charakterystyce pracy, czyli odpornym na trwałe deformacje od obciążeń użytkowych, w tym obciążeń cyklicznych pionowych i poziomych. Wbudowanie tego materiału w nasyp kolejowy lub drogowy pozwoli na ograniczenie deformacji w strefie dojazdu do obiektu mostowego.

Drenaż. Opony pocięte (chipsy, strzępy) lub sprasowane (pakiety gumowe) mają bardzo dobre właściwości drenażowe. W tym zakresie są podobne do kruszywa grubego. Wodoprzepuszczalność tych materiałów wynosi $2\div 10$ cm/s. Materiał ten może być skutecznie wykorzystywany do wykonania wszelkiego rodzaju warstw drenażowych pionowych, poziomych lub/i liniowych.

Izolacyjność cieplna. Guma jest doskonałym izolatorem ciepła. Dzięki temu może być stosowana w warstwach mrozochronnych podbudów dróg, do zasypek konstrukcji oporowych, zabezpieczenia fundamentów itp. Współczynnik przewodności cieplnej gumy rozdrobnionej wynosi ok. 0,07 [W/(m·K)]. Dla porównania ten sam współczynnik dla piasku średniego jest ponad 6-krotnie wyższy.

Tłumienie drgań (wibroizolacyjność). Bezspornie guma i materiały kompozytowe pochodzenia gumowego są uznawane za materiały tłumiące drgania. Zastosowana w ekranach i matach wibroizolacyjnych może ograniczyć drgania powodujące dyskomfort osób mieszkających w pobliżu wszelkiego rodzaju ciągów komunikacyjnych, w tym linii kolejowych i tramwajowych. Nietłumione drgania mogą doprowadzić do uszkodzeń infrastruktury oraz obiektów i instalacji znajdujących się w sąsiedztwie trasy komunikacyjnej. Cząstki koloidalne zawarte w gruntach pod wpływem drgań mają zdolność do upłynniania, co jest zjawiskiem niepożądanym i niebezpiecznym. Ponadto nietłumione drgania zmniejszają efektywne parametry wytrzymałościowe gruntów w zasypkach konstrukcji oporowych, przez co zmniejszają stateczność ogólną budowli ziemnych.

Tabela 2 zawiera porównanie podstawowych parametrów gumy z recyklingu opon w postaci kruszywa gumowego i pakietów z gruntami mineralnymi.

Tabela 2. Porównanie cech materiałów z recyklingu gumy z kruszywami naturalnymi

Cecha	Kruszywo gumowe (chipsy, strzępy)	Pakiety gumowe	Kruszywo mineralne (piaski, żwiry)
Ciężar objętościowy [kN/m ³]	5 ÷ 7	7	18 ÷ 20
Kąt tarcia wewnętrznego [°]	19 ÷ 38	35 ÷ 36	35 ÷ 40
Spójność [kPa]	0 ÷ 11,5	0	0
Moduł odkształcenia [MPa]	0,8 ÷ 1,3	0,8 ÷ 1,0	40 ÷ 100
Wodoprzepuszczalność [cm/s]	2 ÷ 10	2 ÷ 4	10 ÷ 100
Izolacyjność cieplna [W/(m·K)]	0,07	0,07	0,4 ÷ 0,7
Wibroizolacyjność	wysoka	wysoka	niska

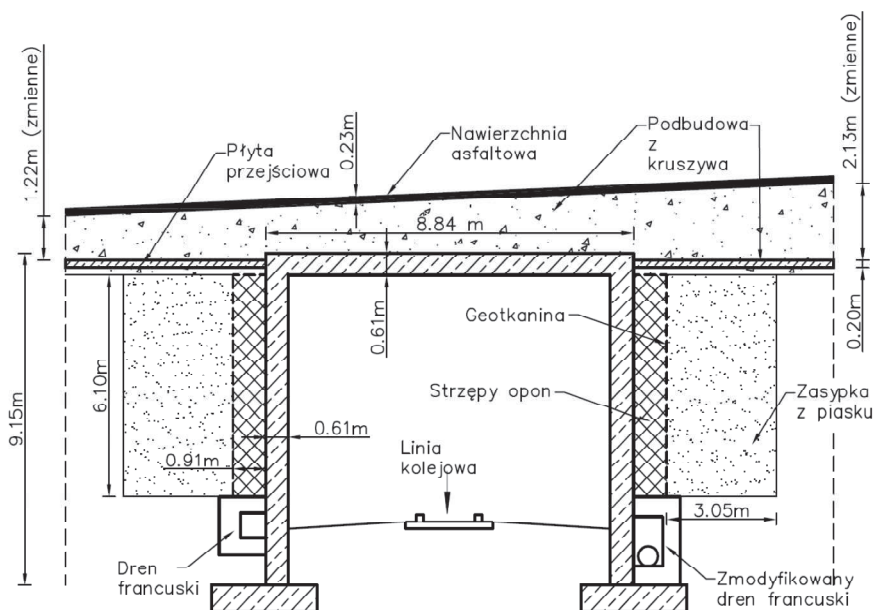
5. PRZYKŁADY WYKORZYSTANIA ZUŻYTYCH OPON SAMOCHODOWYCH W BUDOWNICTWIE MOSTOWYM

Wykorzystanie gumy z recyklingu opon samochodowych w budownictwie mostowym w Polsce nie zostało do tej pory odnotowane w dostępnym piśmiennictwie. W szeroko rozumianym budownictwie komunikacyjnym najczęściej wykorzystywany jest granulata gumowy połączony z włóknami poliestrowymi w matach wibroizolacyjnych stosowanych w podtorzach kolejowych lub tramwajowych oraz jako modyfikator/dodatek do asfaltu. W 2011 roku wybudowany został pilotażowy nasyp drogowy z wbudowanymi warstwami ze strzępów gumowych w miej-

scowości Czuprynowo [21], jednak projekt ten nie pociągnął za sobą kolejnych zastosowań. Poniżej, na przykładach zrealizowanych obiektów, przedstawione zostaną znane z piśmiennictwa technicznego możliwości wykorzystania materiału z recyklingu opon w infrastrukturze mostowej oraz zaproponowane potencjalne sposoby wykorzystania materiału z recyklingu opon będące aktualnie przedmiotem badań autorów referatu [14].

Lekka zasyпка za przyczółkiem wiaduktu w Tompshan, Stany Zjednoczone.

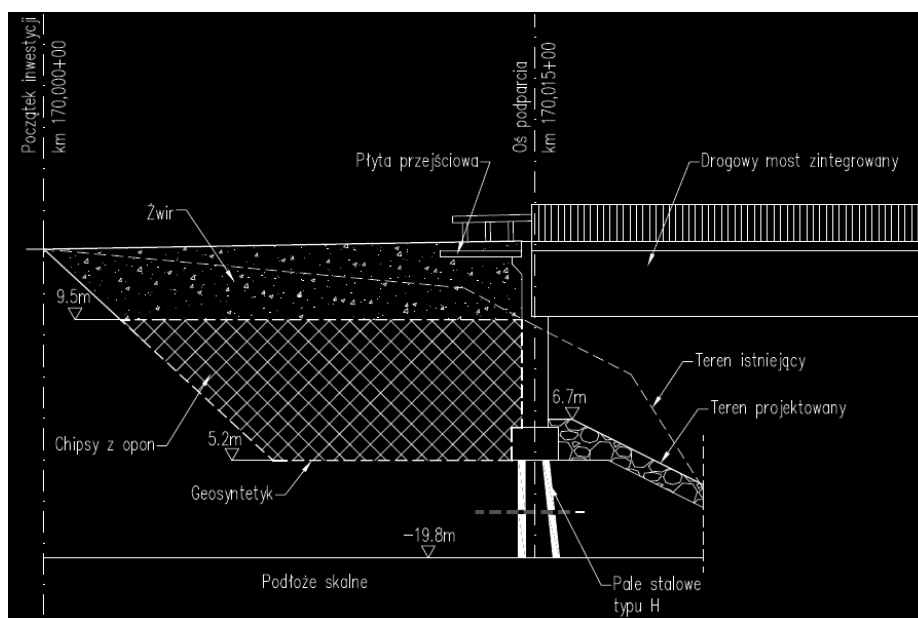
Strzępy opon zostały wykorzystane jako lekka zasyпка wiaduktu drogowego w Tompshan. Ustrój nośny wiaduktu stanowi sztywna rama żelbetowa, posadowiona na palach. Wysokość ramy to 9,15 m (wypełnienie do 11 m wysokości), długość to 8,84 m, a szerokość całkowita to około 91,0 m. Przeszkodą jest jednotorowa linia kolejowa. Dzięki użyciu strzępów gumowych w zasyпce (rys.4), parcie na konstrukcję zmniejszono o połowę [22], co pozwoliło projektantom zaprojektować ściany ramy o grubości wynoszącej zaledwie 0,61m. Grubość warstwy strzępów wynosiła 0,91 m (3 ft). Pocięte opony były oddzielone od właściwej zasyпки grubości 3,05 m (10 ft) warstwą geowłókniny. W trakcie budowy wiaduktu użyto około 100 tys. zużytych opon samochodowych, które tym samym nie trafiły na składowisko materiałów niebezpiecznych.



Rys. 4. Przekrój poprzeczny przez zasyпkę wiaduktu

Lekka zasypka za przyczółkiem wiaduktu w Spring, Stany Zjednoczone.

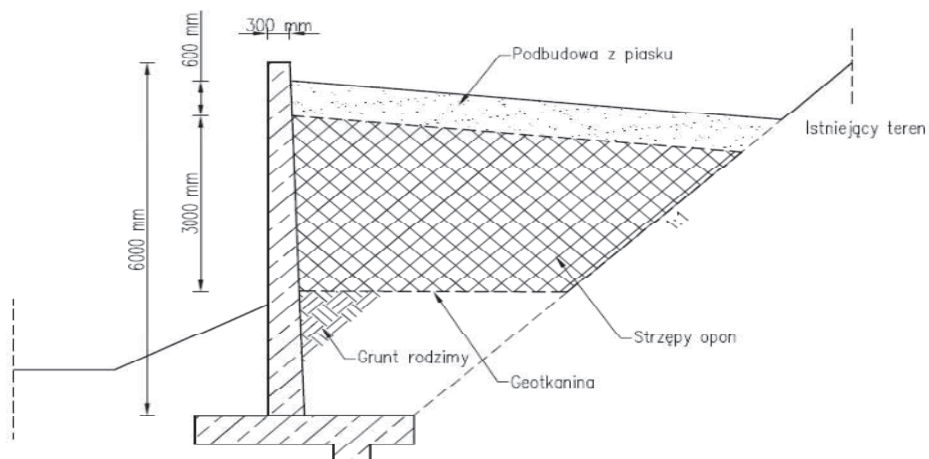
Kruszywo gumowe użyte na zasypkę za przyczółkiem mostu zintegrowanego w Spring w stanie Maine. W podłożu zalegała 15 metrowa warstwa plastycznych glin, która zagrażała stateczności zbocza. Lekka zasypka z kruszywa gumowego okazała się najtańszym rozwiązaniem: zmniejszyła parcie boczne gruntu działające na wiotkie pale fundamentowe. Grubość wbudowanej warstwy strzępów gumowych wynosiła 4,3 m. Pocięte opony były oddzielone od otaczającego gruntu geotkaniną. W projekcie zostało wykorzystane 400 tys. zużytych opon samochodowych. Na rys.5 przedstawiono przekrój podłużny przyczółka mostowego z wbudowanymi chipsami z pociętych opon [22].



Rys. 5. Przekrój podłużny wiaduktu

Zasypka ściany oporowej nad drogą 61 w Riverside, Stany Zjednoczone.

Strzępy opon zostały użyte jako lekka zasypka wspornikowej (kątowej) ściany oporowej do wysokości 3 m. Wysokość użytkowa ściany oporowej wynosiła około 3,6 m. Pocięte opony zostały owinięte geosyntetykiem oraz przykryte 60 cm warstwą piasku grubego. Długość ściany wynosiła 80 m, a do jej wykonania użyto około 84 tys. zużytych opon samochodowych [23].



Rys. 6. Typowy przekrój poprzeczny ściany oporowej drogi 61

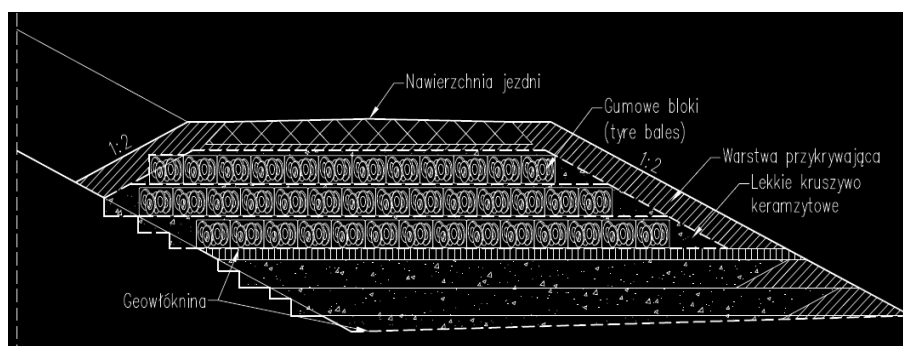
Odcinek autostrady A421 w Marston Moretaine, Wielka Brytania.

Najbardziej spektakularnym przykładem wykorzystania zużytych opon w konstrukcji nasypu jest odcinek autostrady A421 w Wielkiej Brytanii. Na krytycznym odcinku projektowanej drogi występowały grunty słabonośne miękkoplastyczne o nośności 25÷35 kPa i miąższości ok. 20 m.



Rys. 7. Instalacja pakietów gumowych [24]

Zespół projektowy, zamiast wzmacniać podłoże przy pomocy pali o długości 26 m, zdecydował się na zastosowanie lekkiego materiału wypełniającego. Po przeprowadzonej analizie ekonomicznej wybrano pakiety gumowe jako materiał spełniający wszystkie wymagania. Pakiety zostały ułożone w trzech warstwach. Pustki pomiędzy pakietami zostały wypełnione lekkim kruszywem keramzytowym. Aby zapobiec przedostawaniu się keramzytu w głąb pakietów gumowych wykorzystano geowłókninę separacyjną. Warstwa nadbudowy kruszywowej nad pakietami ma grubość 1,0 m. Dodatkowo, przez 6 miesięcy odcinek był konsolidowany nasypem przeciążeniowym. Do realizacji projektu użyto 350 tys. zużytych opon samochodowych oraz 11 tys. m³ kruszywa keramzytowego.

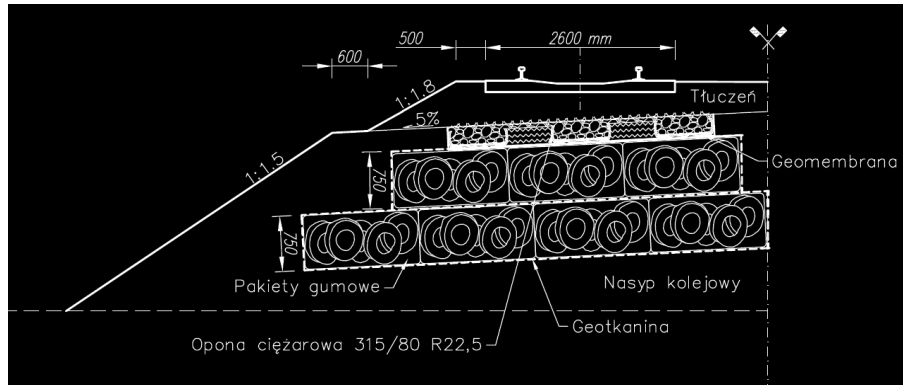


Rys. 8. Przekrój przez autostradę w miejscu gdzie wbudowano pakiety gumowe

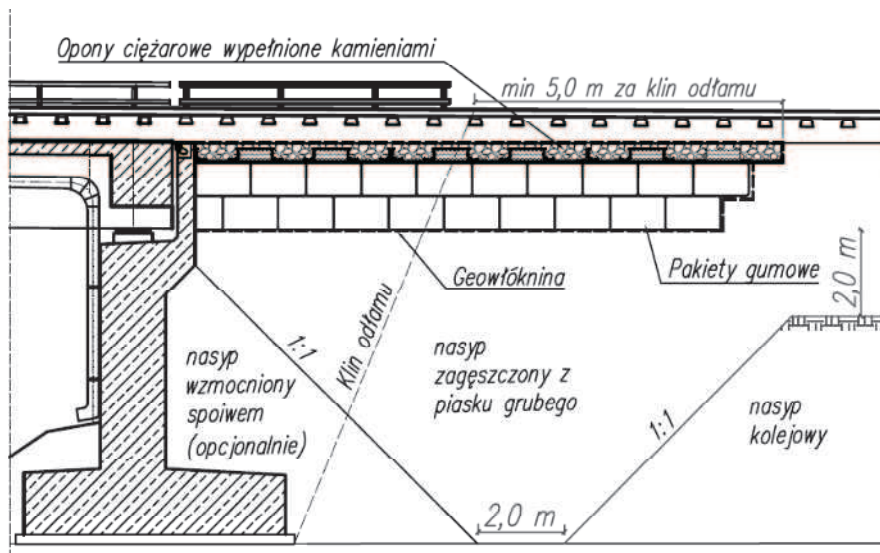
Prototyp rozwiązania strefy przejściowej przy mostowym obiekcie kolejowym.

Poniżej przedstawiono schemat przekroju poprzecznego (rys. 9) i podłużnego (rys. 10) przez nasyp kolejowy zlokalizowany w strefie przejściowej przy obiekcie mostowym. Bezpośrednio pod warstwą tłucznia zaproponowano ułożenie zużytych opon ciężarowych wypełnionych tłuczniem 32÷64 mm. Ich zadaniem jest dodatkowe wzmocnienia podsypki. Poniżej zaproponowano wbudować dwie (lub więcej) warstw pakietów gumowych, które zapewniają redystrybucję obciążenia od taboru kolejowego na większą powierzchnię przy jednoczesnym tłumieniu drgań. Pakiety gumowe należy owinać geowłókniną separacyjną, aby wykluczyć wypłukiwanie mniejszych cząstek gruntu i ich transport między pakietami a gruntowym nasypem kolejowym. Zastosowanie warstw pakietów gumowych odpowiedniej grubości pozwoli na ograniczenie lub wyeliminowanie efektu progowego powstającego na styku nasypu i kolejowego obiektu inżynierskiego.

Przedstawione na przykładzie obiektu kolejowego rozwiązanie strefy przejściowej można wykorzystać także w drogowych obiektach mostowych, w tym w obiektach ramowych/zintegrowanych do ograniczenia efektu progowego.



Rys. 9. Prototypowe rozwiązanie strefy przejściowej kolejowej – przekrój poprzeczny



Rys. 10. Prototypowe rozwiązanie strefy przejściowej kolejowej – przekrój podłużny.

6. PODSUMOWANIE

Materiał z recyklingu zużytych opon samochodowych charakteryzuje się unikalnymi właściwościami wytrzymałościowymi, mechanicznymi, wibroizolacyjnymi, drenażowymi i izolacyjnymi i może w niedalekiej przyszłości znaleźć szerokie zastosowanie w budownictwie mostowym, kolejowym oraz drogowym. Korzyści bezpośrednie i pośrednie (środowiskowe) wynikające z wykorzystania gumy z recyklingu zużytych opon samochodowych zostały przedstawione w referacie. Alternatywą dla proponowanych, efektywnych technicznie i zgodnych z polityką zrównoważonego rozwoju rozwiązań jest dalsze składowanie odpadów gumowych na składowiskach zagrożonych pożarem lub ich spalanie powodujące

istotne szkody dla środowiska. Przedstawione w referacie właściwości materiału uzyskanego ze zużytych opon samochodowych i przykłady jego wykorzystania pozwalają na efektywne ekonomicznie rozwiązanie wielu istotnych problemów budownictwa komunikacyjnego z pożytkiem dla środowiska naturalnego.

Referat przygotowano w ramach programu REUSE „Innowacyjne materiały z recyklingu zwiększające trwałość obiektów mostowych” umowa nr INNOTECH-K3/IN3/38/228116/NCBR/2015. Projekt współfinansowany ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju oraz Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.

LITERATURA

- [1] Council Directive 99/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste.
- [2] The End of Life Vehicles (ELV) Directive (2000/53/EC).
- [3] DIRECTIVE 2002/73/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 23 September 2002 .
- [4] <http://www.etrma.org/statistics-2>
- [5] Ustawa o odpadach z dnia 27 kwietnia 2001 r. (Dz. U. 2001, Nr 62, poz. 628).
- [6] Ustawa z dnia 11 maja 2001 r. (Dz. U. Nr 63, poz. 639 z późniejszymi zmianami) o obowiązkach producentów niektórych wyrobów oraz o opłacie produktowej i de-pozytowej.
- [7] Ustawa czyszcząca z dnia 7 lutego 2003 r. (DZ. U. 2003, Nr 7, poz. 78) wprowadzająca również od 2004 r. obowiązek recyklingu zużytych opon.
- [8] Dz. U. z 2014 r. poz. 1413, z 2015 r. poz. 933.
- [9] DD CEN/TS 14243:2010 - Materials produced from end of life tyres. Specification of categories based on their dimension(s) and impurities and methods for determining their dimension(s) and impurities.
- [10] ASTM D 6270 – 12: Standard Practice for Use of Scrap Tires in Civil Engineering Applications.
- [11] Humphrey, D.N., Sandford, T.C., Cribbs, M.M., Gharegrat, H., and Manion, W.P., “Tire Chips as Light weight Backfill for Retaining Walls - Phase I, “A Study for the New England Transportation Consortium, Department of Civil Engineering, University of Maine, Orono, ME, 1992.
- [12] www.ecoflex.com.au
- [13] PAS 108:2007 - Specification for the production of tyre bales for use in construction.
- [14] REUSE „Innowacyjne materiały z recyklingu zwiększające trwałość obiektów mostowych” umowa nr INNOTECH-K3/IN3/38/228116/NCBR/2015. Projekt współfinansowany ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju oraz Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.
- [15] <http://www.piolizaopon.pl/>
- [16] Oprzędkiewicz J., Stolarski B.: Technologia i systemy recyklingu w Polsce. WNT, Warszawa 2003.
- [17] Ahmed, I. “Laboratory Study on Properties of Rubber Soils”, Report No.FHWA/IN/JHRP-93/4, Purdue University, West Lafayette, Indiana. 1993.

- [18] Geosyntec Consultants, Inc. "Report of Tire Chip Excavation and Laboratory Testing,, Scrap Tire Demonstration Project, Newland Park Landfill, Wicomico County, Maryland", prepared for Maryland Environmental Service, Annapolis, Maryland. 2004.
- [19] Zornberg, J. G., Christopher, B. R., and Oosterbaan, M. D. (2005). Tire Bales in Highway Applications: Feasibility and Properties Evaluation. Colorado Department of Transportation, Report No. CDOT-DTD-R-2005-2, Denver, Colorado, p. 204.
- [20] Simm, J. D., Wallis, M. J. and Collins, K. (2004), "Sustainable Re-Use of Tyres in Port, Coastal, and River Engineering: Guidance for Planning, Implementation, and Maintenance," HRW Report SR 669, Wallingford: HR Wallingford.
- [21] Jurczak J., Kabala M.: Nasyp drogowy o warstwach konstrukcyjnych ze strzępów gumowych. *Autostrady* 3/2012.
- [22] D. Humphrey; Civil engineering applications of chipped tires, 1999.
- [23] D. Humphrey; Civil Engineering Applications Using Tire Derived Aggregate (TDA), California Integrated Waste Management Board 2011.
- [24] <http://www.nce.co.uk/recycled-tyre-bales-tread-carefully>

THE USE OF WASTE TYRE RUBBER IN CIVIL ENGINEERING

Summary

The article presents actual knowledge about use of recycled material from used car tires in civil engineering.

The paper discusses:

- conditions concerning the recycling of tires,
- processing methods used car tires,
- basic characteristics of the physical, mechanical and environmental material obtained,
- examples of use the rubber material in civil engineering, and including bridge construction.

Article was developed as part of research Innotech No. K3 / IN3 / 38/228116 / NCBiR / 15 it's "Innovative materials recycled, increasing the durability of bridges", financed by the European Regional Development Fund.

