

Aleksander DUDA¹

WYBRANE SPOSOBY WYKORZYSTANIA ZUŻYTYCH OPON SAMOCHODOWYCH W BUDOWNICTWIE KOMUNIKACYJNYM

W referacie wskazano sposoby wykorzystania zużytych opon dla recyklingu oraz zastosowanie ich w budownictwie komunikacyjnym jako materiału tłumiącego, materiału filtracyjnego (drenaże odporne na przemarzanie), lekkich wypełniaczy (odciążenie), stabilizacji zboczy. Omówiono uwarunkowania prawne w Polsce i Unii Europejskiej dla recyklingu opon. Użycie materiałów gumowych pochodzących ze zużytych opon samochodowych zmniejszy wykorzystanie deficytowych kruszyw naturalnych oraz może być dobrą alternatywą dla kosztownych sposobów wzmacniania gruntu w przypadkach budowy obiektów infrastruktury komunikacyjnej na słabonośnym podłożu. Istotną kwestią jest również to, że sektor recyklingu przesuwa się w kierunku bardziej zrównoważonego przetwarzania opon. Paliwo pochodzące z opon to szybkie rozwiązanie dużego problemu, tym nie mniej tracony jest bezpowrotnie materiał gumowy o unikalnych właściwościach mechanicznych. W referacie ponadto zestawiono projekty europejskie dotyczące rozwoju alternatywnego wykorzystania zużytych opon.

Słowa kluczowe: kruszywo gumowe, pakiety z opon, recykling, lekkie zasypki, stabilizacja osuwisk, projekt badawczy

1. Wprowadzenie

Odpadem, którego ilość stale rośnie, są zużyte opony samochodowe. Według Głównego Urzędu Statystycznego w roku 2014 wyprodukowano około 3,4 mln ton zużytych opon samochodowych na terenie Unii Europejskiej, w tym 240 tys. ton w Polsce. Jest to ogromna ilość odpadów, którą należy zagospodarować. Obecnie stosowane sposoby recyklingu opon są niewystarczalne dla uzyskania gwarancji bezpieczeństwa ekologicznego. Istnieje więc potrzeba znalezienia nowych obszarów zastosowań dla recyklingu zużytych opon samochodowych w Polsce. W krajach wysoko rozwiniętych takich jak USA, Kanada, Japonia, zachodnie kraje Unii Europejskiej stawia się na wykorzystanie zużytych opon samochodowych w inżynierii lądowej (tab. 1), której rozwój powiązany jest z rozwojem transportu - gałęzi przemysłu dla którego produkowane są opony samochodowe.

¹ Aleksander Duda, Politechnika Rzeszowska, Zakład Dróg i Mostów, ul. Poznańska 2, 35-959 Rzeszów; tel. 795747868; aduda@prz.edu.pl

Tabela 1. Roczny przyrost zużytych opon w tonach (A) i ich zagospodarowanie w wybranych krajach EU, w tym w budownictwie (C) – na podstawie Europejskiego Stowarzyszenia Producentów Opon i Wyrobów Gumowych ETRMA 2013, wg [1]

Table 1. The annual increase of waste tires in tonnes (A) and its recovery in selected EU countries, including in civil engineering (F) - according to the European Association of Manufacturers of Tires and Rubber ETRMA 2013, according to [1]

Dane krajowe [tony]	Wielkość zużytych opon	Ponowne wykorzystanie częściowo zużytych opon	Zagospodarowanie pozostałych zużytych opon			Składowiska
			Material		Energia	
			Budownictwo C	Recykling D	Odzysk energii E	
Polska	239000	20000	0	51000	168000	0
Hiszpania	292000	58000	8000	114000	112000	0
Francja	381000	79000	38000	128000	147000	0
Belgia	82000	13000	1000	56000	17000	0
EU27+ Norwegia+ Szwajcaria	3273000	574000	242000	1073000	1248000	157000

W Unii Europejskiej [2] sklasyfikowano następujące działania mające na celu rozwiązanie problemu zużytych opon samochodowych:

- zapobieganie**, wykorzystujące edukację społeczeństw, identyfikację problemów i większą dbałość o produkt;
- przygotowanie do ponownego użycia**, np. bieżnikowanie opon lub eksport,
- recykling** produktowy, materiałowy lub/i energetyczny oraz
- odzysk energii** np. polegający na spalaniu opon w piecach cementowni lub wykorzystując procesy mikrofalowe karbonatyzacji opon w elektrowniach.

Zapobieganie i przygotowanie do ponownego użycia ma na celu wydłużenie czasu użytkowania pojedynczej opony oraz zmniejszyć zapotrzebowanie na nowy produkt, zmniejszając dzięki temu ilości odpadów odprowadzanych do środowiska. Takie działania prewencyjne nie rozwiązują jednak problemów z zagospodarowaniem odpadów opon, ponieważ finalnie opony i tak trafiają do obiegu odpadów. Całość zużytych opon samochodowych w Polsce podlega recyklingowi materiałowemu, energetycznemu i odzysku energii (tab. 1). Recykling materiałowy polega na rozdrobnieniu zużytej opony najczęściej poprzez cięcie i rozcieranie, młotkowanie, rozdrabnianie metodą kriogeniczną lub wodą pod wysokim ciśnieniem [3], [4]. Końcowym produktem rozdrabniania są: guma, druty stalowe oraz kord tekstylny, które podlegają dalszemu recyklingowi. Rozdrobnione gumowe części opony mają szerokie zastosowanie w budownictwie i przemyśle, w zależności od wymiarów uziarnienia rozdrobnionych opon. W normie europejskiej EN-14243 na materiały pozyskiwane z recyklingu opon wprowadzono klasyfikację zaprezentowaną w tabeli 2.

Tabela 2. Klasyfikacja materiałów otrzymywanych ze zużytych opon wg EN-14243 [5]

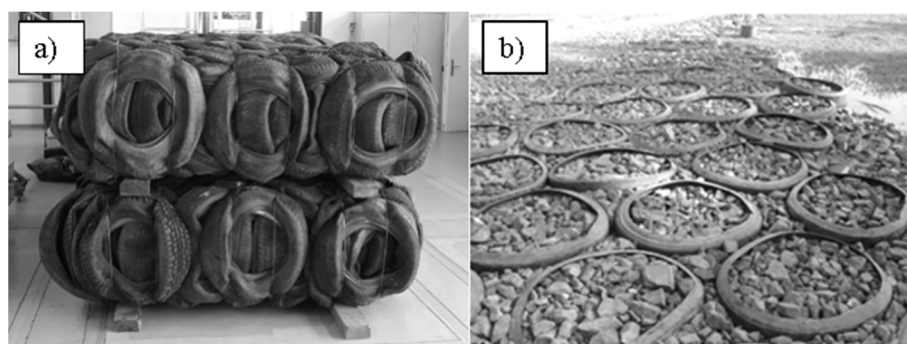
Table 2. Classification of materials derived from used tires according to EN-14243 [5]

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

Recykling energetyczny opon polega na wysokoenergetycznych procesach ogrzewania całych opon lub ich części bez dostępu tlenu (piroliza), termicznej destrukcji gumy rozpuszczanej w rozpuszczalnikach organicznych (destrukcja) lub dewulkanizacji gumy przez dostarczenie energii termicznej i mechanicznej. W pirolizie 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 złom stalowy [6]. W wyniku termicznej destrukcji gumy połączonej z rozpuszczaniem w rozpuszczalnikach organicznych uzyskuje się destrukta gumowy, który stanowi ciągliwą, czarną, lepłą masę o konsystencji od gęstopłynnej do półstałej w temperaturze pokojowej, całkowicie rozpuszczalną w produktach naftowych [7]. Głównymi produktami destrukcji są: ropa syntetyczna – 50%, smoła – 30%, złom stalowy – 20%. Zużyte opony samochodowe mogą być zagospodarowane również jako paliwa alternatywne używane w piecach obrotowych w cementowniach, w elektrowniach do produkcji energii elektrycznej wykorzystując mikrofalowe procesy karbonatyzacji opon [8], papieru, wapna, stali oraz w spalarniach śmieci.

Obydwie formy recyklingu oraz odzysk energii z opon stanowią dodatkowe i dotkliwe dla środowiska obciążenie związane z zanieczyszczeniem (spalanie) lub koniecznością zużycia dużych ilości energii (recykling materiałowy i energetyczny). Preferowanym rozwiązaniem problemu zużytych opon samochodowych w Polsce może być recykling produktowy. Polega on na ponownym wykorzystaniu w całości lub w części opon z ewentualnym wykorzystaniem niskoenergetycznych procesów przetwarzania, np. odcięcie jednego profilu opony i wypełnienie jej kruszywem (materace z opon) lub prasowanie opon w pakiety (rys. 1). Taka forma recyklingu wykorzystuje unikalne właściwości opon, do których należą: mały ciężar objętościowy, dobra izolacyjność termiczna i akustyczna, właściwości drenażowe, wibroizolacyjne, dobre właściwości mechaniczne (tab. 3). Materiał poddany tej formie recyklingu najlepiej nadaje się do wykorzystania w budownictwie, w tym szczególnie w budownictwie komunikacyjnym i hydrotechnicznym. Opony poddane recyklingowi produktowemu mogą stanowić i stanowią wypełnienie nasypów i konstrukcji oporowych, podbudowę dróg, zabezpieczenie przeciwerozryjne brzegów rzek i nabrzeży oraz służyć do stabilizacji osuwisk. Dodat-

kowo, w przypadku prasowania opon w pakiety, znacząco redukuje się objętość składowanych opon oraz ułatwia się ich transport i późniejsze wbudowanie w konstrukcję ziemną, a tym samym ograniczając koszty całkowite budowy.



Rys. 1. Przykład recyklingu produktowego opon: (a) pakiety sprasowanych zużytych opon samochodowych (SZOS), oraz (b) konstrukcja nawierzchni z opon, na podstawie [9,10]

Fig. 1. Example of tyre product recycling: (a) tyre bales and (b) construction of tyre pavement, based on [9,10]

Tabela 3. Porównanie właściwości pakietów SZOS z kruszywami naturalnymi

Table 3. Comparison of the properties of tire bales with natural aggregates

Cecha	Pakiety SZOS	Kruszywo mineralne (piaski, żwiry)	Źródło
Ciężar objętościowy [$\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$]	$5 \div 6$	$18 \div 20$	[11]
Kąt tarcia [$^{\circ}$]*	$35 \div 36$	[-]	[12]
Kąt tarcia wewnętrznego [$^{\circ}$]	[-]	$35 \div 40$	[-]
Moduł odkształcenia [MPa]	$0,8 \div 1,3$	$40 \div 100$	[11]
Współczynnik filtracji [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	$2 \div 4$	$0,1 \div 1$	[11]
Przewodność cieplna [$\text{W}\cdot(\text{m}\cdot\text{K})^{-1}$]	0,07	$0,4 \div 0,7$	[12]
Wibroizolacyjność	bardzo wysoka	niska	[12]

* wartość odnosi się do poślizgu między pakietami bez warstwy zasypki

2. Uwarunkowania legislacyjne w zakresie gospodarowania zużytymi oponami samochodowymi

2.1. Unia Europejska

Z punktu widzenia zagospodarowania odpadów gumowych ze zużytych opon samochodowych największe znaczenia mają trzy dyrektywy unijne: (1) Landfill 1999/31/EC [13], (2) End – of - Life Vehicle 2000/53/EC [14] i (3) Waste Incineration 2000/73/EC [15]. Pierwsza z uchwalonych w 1999r. dyrektyw dotyczyła zakazu składowania całych opon samochodowych od lipca 2003 r. oraz ich rozdrobnionych części od lipca 2006 r. Wszystkie kraje członkowskie miały być zobowiązane

wprowadzić w życie powyższe ustalenia. Dyrektywa (2) uchwalona w 2000r. określała sposób postępowania z pojazdami po zakończeniu ich eksploatacji. Narzucała ona obowiązek na europejskich producentów pojazdów do 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 z dyrektyw Waste Incineration 2000/73/EC. Zobowiązuje ona 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 [16]. W poszczególnych krajach członkowskich powstały spółki i organizacje, które miały być odpowiedzialne za zbiórkę, składowanie, transport i recykling zużytych opon. Finansowanie tych zamierzeń w krajach Unii Europejskiej spoczywa na producentach opon (np. kraje skandynawskie, Polska, Francja), obowiązuje system wolnorynkowy (np. Niemcy, Wielka Brytania, Austria) lub odpowiedzialność przejmującą rząd państwa (np. Dania, Słowacja, Chorwacja) [17].

2.2. Polska

Wprowadzone w życie ustawy były następstwem uchwalonych dyrektyw unijnych. Pierwsza, z dnia 27 kwietnia 2001r. ustawa o odpadach [18] wprowadzała zakaz składowania zużytych opon samochodowych, zgodnie z dyrektywą wprowadzającą Landfill 1999/31/EC. Ustawy [19],[20] regulują dodatkowe przepisy recyklingu pojazdów wycofanych z eksploatacji. Ustawa z dnia 11 maja 2001 r. [21] nakładała obowiązek zagospodarowania zużytymi oponami na producentów i importerów. W tej ustawie została również uchwalona opłata produktowa i depozytowa, nakładana na producentów i importerów opon, którzy nie wywiążą się z nałożonego w ustawie poziomu odzysku opon. W roku 2007 odzysk ten wynosił 75%. Obowiązek recyklingu zużytych opon został wprowadzony od roku 2004 na mocy tzw. ustawy „czyszczącej” [22] z dnia 7 lutego 2003 r. Od roku 2007 poziom recyklingu opon wynosi 15%. Należy zaznaczyć, że bieżnikowanie opon traktowane jest jako odzysk, a nie recykling. Aktualnie poziom odzysku i recyklingu utrzymane są na tym samym poziomie czyli odpowiednio 75% i 15%, a wysokość opłaty produktowej wynosi 5,80 zł/kg za opony nowe oraz 10,82zł/kg za opony używane.

3. Przegląd projektów europejskich dotyczących wykorzystania zużytych opon samochodowych w budownictwie komunikacyjnym

3.1. Projekt Eco-lanes

Projekt był realizowany w latach 2007 – 2009. Głównymi celami projektu było rozwijanie infrastruktury transportu dla nawierzchni przy użyciu rozścielania i zagęszczania walcami na podstawie asfaltu modyfikowanego gumą i betonem zbrojonego włóknami stalowymi (SFRC). Korzyścią nowych koncepcji była re-

dukcja kosztów budowy o 10÷20%, skrócenie czasu realizacji o 15%, o 40% mniejsze zużycie energii w budownictwie drogowym, minimalizacja procesu utrzymania dróg, a przede wszystkim użycie materiałów odpadowych z recyklingu opon samochodowych. W projekcie zaangażowanych było 11 partnerów z 6 krajów. Liderem projektu był Uniwersytet Sheffield – jako ekspert od SFRC. W projekcie zostały wykonane trzy odcinki demonstracyjne nawierzchni dróg w różnym klimacie (Anglia, Rumunia, Cypr) [23].

3.2. Projekt Anagennisis

Projekt koncentruje się na innowacyjnym ponownym wykorzystaniu wszystkich składników opon w betonie. Z opony można nie tylko uzyskać granulaty gumowy, ale także złom stalowy i tekstylny, który jest istotną częścią opony, ale uznawany za mniej szlachetny komponent. Celem tego projektu jest opracowanie innowacyjnych rozwiązań w celu ponownego użycia zużytych opon we wszystkich komponentach betonowych o wysokiej wartości innowacyjnej, mających korzystny wpływ na środowisko. W projekt zaangażowanych jest 17 partnerów z 8 krajów. Liderem projektu jest Uniwersytet Sheffield. Projekt jest realizowany od czerwca 2014 r. i jest zaplanowany na 42 miesiące [24].

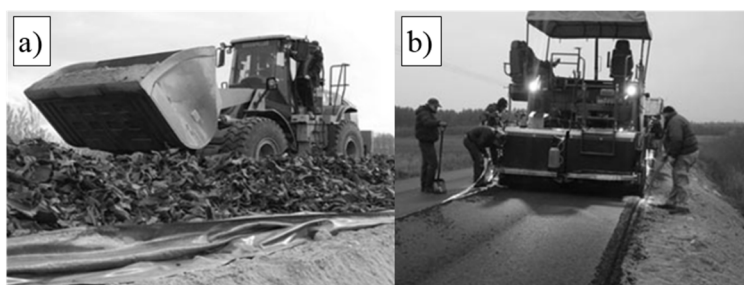
3.3. Projekt PERSUADE

Celem projektu było opracowanie na temat rozwoju nowych nawierzchni drogowych o bardzo wysokim efekcie redukcji hałasu. Nawierzchnie zawierały kruszywo z recyklingu opon, zamiast tradycyjnego kruszywa łamanego. Były one zaprojektowane z dużym udziałem pustek powietrznych. Taka konstrukcja nawierzchni porowatej w połączeniu z granulatem gumowym uczyniła ją elastyczną, co przyczyniło się do zmniejszenia hałasu na styku opony z drogą. Poroelastyczne nawierzchnie dróg (PERS) będą mogły być wykorzystywane odcinkowo w miejscach, w których poziom hałasu jest bardzo wysoki lub stosowanie ekranów akustycznych jest niemożliwe. W projekt zaangażowanych było 12 partnerów z 8 krajów. W projekcie brało udział dwóch partnerów z Polski: Instytut Badawczy Dróg i Mostów z Warszawy oraz Politechnika Gdańska. Projekt realizowany był od czerwca 2009 r. i zaplanowany na 72 miesiące [25].

3.4. Projekt RECTYRE

Projekt realizowany był w latach 2009-2012. Głównym celem projektu było zademonstrowanie technicznych i rynkowych możliwości nowego zastosowania pociętych opon samochodowych, jako nowego produktu przeznaczonego na sprzedaż bez konieczności jakiegokolwiek obróbki termicznej lub chemicznej. Nowy materiał, jakim było kruszywo gumowe, idealnie nadawał się jako lekki wypełniacz nasypów drogowych. Wbudowanie sztucznego kruszywa w nasyp oszczędzało naturalne złoża kruszyw mineralnych, zmniejszało jego osiadania oraz

chroniło warstwy nasypu przed mrozem. W projekt zaangażowanych było 5 partnerów z 4 krajów. Jednym z partnerów był Mostostal Warszawa, odpowiedzialny za wykonanie w Polsce pilotażowego odcinka nasypu z wypełnieniem kruszywem gumowym [26].



Rys. 3. Etapy realizacji nasypu drogowego: a) wyrównanie kruszywa gumowego, b) układanie nawierzchni, na podstawie [27]

Fig. 3. Stages of erecting road embankment: a) leveling the rubber aggregate, b) laying the pavement, based on [27]

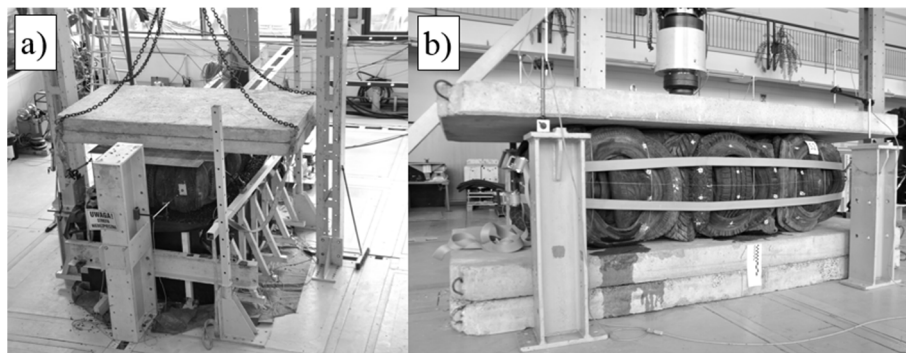
3.5. Projekt ROADTIRE

Projekt realizowany był w latach 2009-2011. Celem projektu było innowacyjne wykorzystanie gumy z recyklingu opon w budowie nawierzchni drogowych. Projekt stawiał na promowanie i wykorzystanie całego cyklu życia opony w budowie i utrzymaniu dróg. W greckim mieście Lamia wykonano pilotażowe odcinki nawierzchni drogowych z użyciem asfaltu oraz granulatu z opon. W około 6000 m² miejskich odcinków dróg została położona 5 cm warstwa nawierzchni wykonana z materiału demonstracyjnego, który posłużył do przeprowadzenia badań laboratoryjnych i polowych. W projekt zaangażowanych było 4 partnerów z 2 krajów (Grecja, Włochy) [28].

3.6. Projekt ReUse

Projekt realizowany jest w latach 2015-2018. Celem projektu ReUse jest opracowanie tanich, przyjaznych dla środowiska i innowacyjnych materiałów uzyskanych z recyklingu zużytych opon samochodowych (geokompozytów gumowych) na zasypkę przyczółków mostów zintegrowanych, układaną w strefie połączenia nasypu komunikacyjnego z obiektem i wdrożenie ich do budowy trwałych zintegrowanych obiektów mostowych na inwestycjach realizowanych przez partnerów konsorcjum biznesowego. W skład konsorcjum wchodzi firmy Remost Dębica sp. z o.o., Promost Consulting sp. z o.o. sp. k. (lider konsorcjum), Geotech Rzeszów sp. z o.o. oraz Politechnika Rzeszowska. W ramach poszczególnych zadań projektu Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury Politechniki Rzeszowskiej prowadzi badania laboratoryjne obejmujące (rys. 4):

- określenie oporów tarcia geokompozytów złożonych z pakietów SZOS oraz kruszywa naturalnego (piasek średni, keramzyt, chipsy z opon),
- sztywność pakietów SZOS,
- pełzanie pakietów SZOS,
- zmęczenie pakietów SZOS,
- nośność drutów spinających pakiety SZOS,
- naciąg drutów spinających pakiety SZOS.



Rys. 4. Wybrane badania laboratoryjne: a) wytrzymałości na ścinanie pakietów SZOS, określenie sztywności pakietów SZOS

Fig. 4. Selected laboratory tests: a) shear strength of tyre bales, determination of stiffness of tyre bales

Badania laboratoryjne pakietów SZOS potwierdziły założenia przyjęte do programowania aktualnie realizowanych badań polowych na wielkogabarytowym stanowisku badawczym zlokalizowanym w Dębicy, Polska. Badania polowe obejmują (rys. 5):

- określenie rozkładów parcia na przyczółek mostowy dla różnych schematów,



Rys. 5. Stanowisko do badań polowych: a) wypełnienie komory badawczej pakietami SZOS i materiałem zasypowym, b) próbne obciążenie dynamiczne

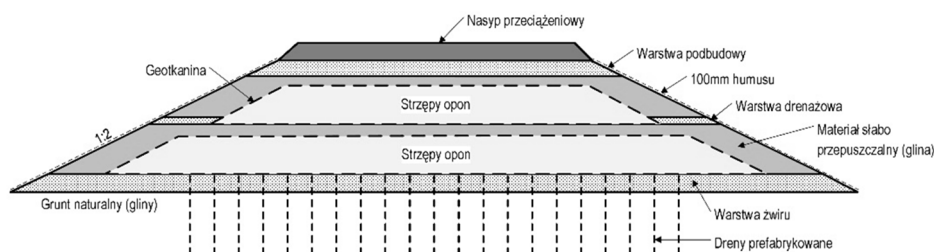
Fig. 5. The test stand for field testing: a) filling test chamber with tyre bales and backfill material, b) dynamic proof test

- wypełnienia zasypką (pakiety SZOS + strzępy z opon, pakiety SZOS + piasek, piasek) w cyklicznych przemieszczeniach poziomych ściany korpusu,
- określenie deformacji pionowych w strefie dojazdu do przyczółka mostowego, poprzez statyczne i dynamiczne testy obciążeniowe,
- określenie zdolności do tłumienia/redukcji drgań w strefie dojazdu,
- badania środowiskowe pakietów SZOS.

4. Przykłady wykorzystania zużytych opon samochodowych w budownictwie komunikacyjnym

4.1. Nasyp autostradowy w Portland, Stany Zjednoczone

Strzępy z opon samochodowych zostały użyte jako lekkie wypełnienie nasypów autostradowych w Portland w 1998 r. Wysokość nasypu wynosiła ok 9,75 m. Posadowiony jest on na 12 – metrowej warstwie słabonośnych glin morskich. Projektanci nasypu przeanalizowali kilka rozwiązań projektowych, między innymi wzmocnienie podłoża lub użycie lekkich materiałów do budowy nasypów w tym: zużytych opon samochodowych, płyt styropianowych czy kruszywa keramzytowego. Wypełnienie za pomocą pociętych opon samochodowych okazało się najtańszym rozwiązaniem, które jednocześnie pozwoliło na ponowne użycie 1,2 mln zużytych opon.



Rys. 6. Przekrój poprzeczny nasypu drogowego w Portland z wypełnieniem strzępami opon, na podstawie [30]

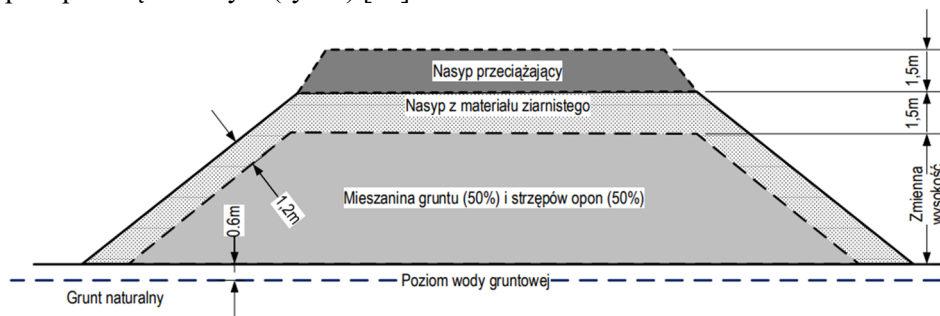
Fig. 6. The cross section of motorway embankment in Portland filled with scraps of tires, based on [30]

Strzępy z opon ułożone były w dwóch blokach, każdy 3 m grubości, oddzielonych warstwą glin o miąższości 0,9 m (rys. 6). Przewarstwienie z gruntu miało na celu zabezpieczenie nasypu przed wzrostem temperatury w jego wnętrzu. Pocięte opony były otoczone geotkaniną, pełniącą rolę separatora między gumowym wypełnieniem, a warstwą słabo przepuszczalnych glin. Kruszywo gumowe było zagęszczane w 6 warstwach (0,5 m każda) przy pomocy 10 – tonowego walca wibracyjnego. Wykonane zagęszczenie było zgodne z zaleceniami normy [30] dotyczącymi grubości zagęszczanych warstw, masy sprzętu zagęszczającego oraz liczby przejazdów niezbędnych do zagęszczenia warstwy. Na licu skarp została ułożona

10 cm warstwa humusu dla obsiania roślinnością. Nasyp został zwieńczony 1,2 m warstwą podbudowy z kruszywa oraz tymczasowo nasypem przeciążeniowym grubości 1,2 m, który miał przyspieszyć konsolidację osiadań słabego podłoża [30].

4.2. Nasyp autostradowy w Virginii, Stany Zjednoczone

Strzępy z opon wykorzystano również do budowy dwóch nasypów autostradowych przy węźle 646 w Virginii. Użycie lekkiego wypełnienia było konieczne ze względu na ograniczenie osiadań słabego podłoża oraz wysoki poziom wód gruntowych. Wysokość nasypu w czasie budowy dochodziła do 9 m (w tym 1,5 m nasyp przeciążeniowy), a wysokość wbudowanych strzępów z opon sięgała 6 m. Kruszywo gumowe zostało wymieszane z gruntami miejscowymi (piasek gliniasty) w stosunku 1:1 (50% objętości strzępy opon). Całość została przykryta warstwą dociążającą podbudowy grubości 1,5 m oraz wspomnianym wcześniej nasypem przeciążeniowym (rys. 7) [32].



Rys. 7. Schemat lekkiego nasypu gumowo-gruntowego zbudowanego w Virginii, 1994, na podstawie [32]

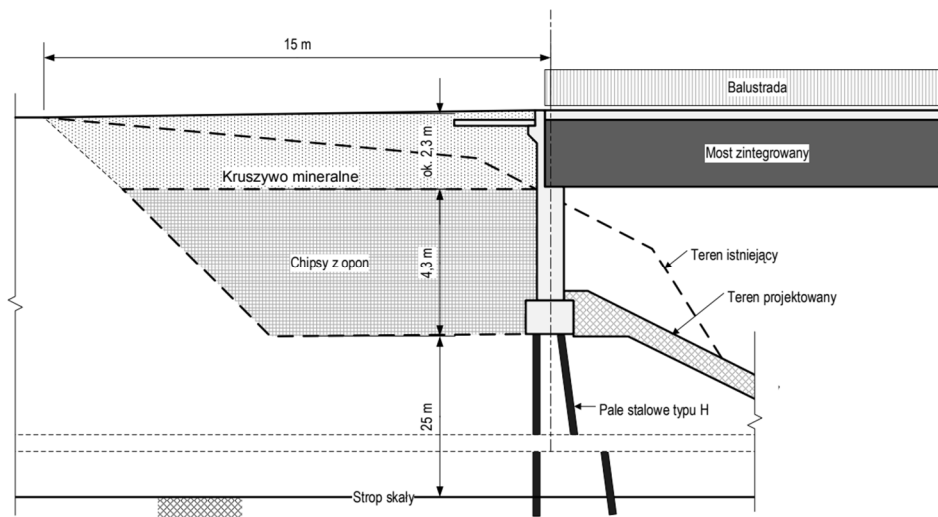
Fig. 7. Schematic of light embankment of rubber-ground built in Virginia, 1994, based on [32]

4.3. Zasyпка przyczółka mostu w Spring Stany Zjednoczone

Kruszywo gumowe wykorzystano także jako zasypkę za przyczółkiem mostu zintegrowanego w Spring. W podłożu zalegała 15 metrowa warstwa plastycznych glin, która zagrażała stateczności zbocza. Lekka zasyпка z kruszywa gumowego okazała się najtańszym rozwiązaniem, która zmniejszała boczne parcie gruntu działające na stalowe pale fundamentowe. Grubość wbudowanej warstwy chipsów gumowych wynosiła 4,3 m. Pocięte opony były oddzielone od otaczającego gruntu za pomocą geotkaniny. W projekcie zostało wykorzystanych 400 tys. zużytych opon samochodowych. Na rysunku 8 przedstawiony jest przekrój podłużny przyczółka mostowego z wbudowaną w zasyppce warstwą kruszywa gumowego [29].

4.4. Zasyпка za przyczółkiem wiaduktu w Tompshan, Stany Zjednoczone

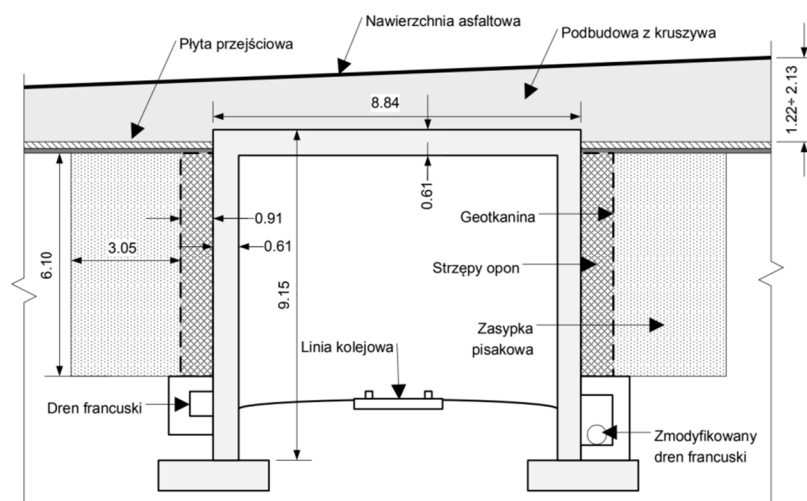
Lekka zasyпка ze strzępów gumowych została również zastosowana przy budowie wiaduktu drogowego w Tompshan. Ustrojem nośnym wiaduktu jest



Rys. 8. Przekrój podłużny przyczółka mostu w Spring, 1998, na podstawie [29]

Fig. 8. Longitudinal section of the bridge abutment in Spring, 1998, based on [29]

szttywna rama żelbetowa, posadowiona na palach żelbetowych. Wysokość ramy wynosi 9,15 m (wypełnienie do 11 m wysokości), długość 8,84 m oraz szerokość całkowita około 91,0 m. Przeszkodą jest jednotorowa linia kolejowa. Dzięki zastosowaniu strzępów gumowych na zasypkę parcie gruntu na pionowe ściany przyczółków zostało zmniejszone o 50% w stosunku do tradycyjnych materiałów wypełniających (rys.9) [30].



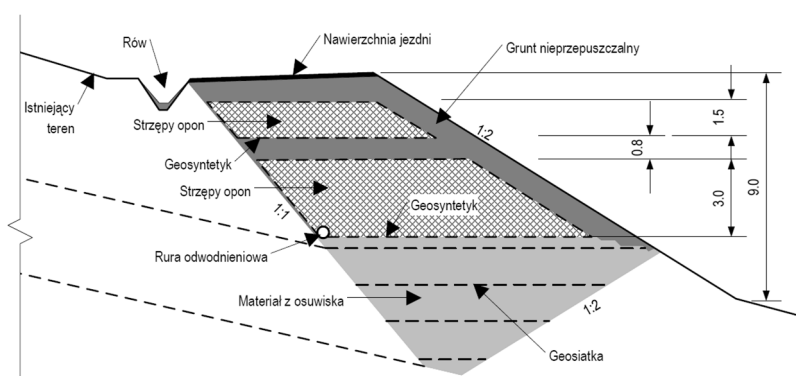
Rys. 9. Przekrój podłużny wiaduktu drogowego w Tompshan, 1996, na podstawie [30]

Fig. 9. Longitudinal section of the road viaduct in Tompshan, 1996, based on [30]

Grubość warstwy strzępów wynosiła 0,91 m (3 ft). Pocięte opony były oddzielone od właściwej zasypki grubości 3,05 m (10 ft) za pomocą geotkaniny. Znacząca redukcja parcia gruntu umożliwiła projektantom zaprojektowanie ścian przyczółków o grubości wynoszącej zaledwie 610 mm. W czasie realizacji wiaduktu użyto około 100 tys. zużytych opon samochodowych.

4.5. Naprawa osuwiska drogowego w Ukiah, Stany Zjednoczone

Na odcinku drogi Marina Drive w Ukiah wykorzystano strzępy gumowe do naprawy osuwiska. Przekrój poprzeczny nasypu pokazano na rysunku 10. Strzępy opon zostały ułożone w dwóch warstwach odpowiednio 1,5 m i 3,0 m grubości, oddzielonych warstwą gruntów słabo przepuszczalnych. Kruszywo gumowe zamknięto warstwą geosyntetyku dla separacji z gruntem. W budowie podstawy nasypu wykorzystano grunt osuwiskowy wzmocniony zbrojeniem w postaci geosiatek [33].



Rys. 10. Przekrój poprzeczny nasypu w miejscu naprawy osuwiska, na podstawie [33]

Fig. 10. The cross-section of the embankment at the site of the landslide repairs, based on [33]

4.6. Naprawa skarpy przy autostradzie 30 w Teksasie, Stany Zjednoczone

W roku 2001 przy autostradzie międzystanowej 30 w Teksasie doszło do ruchów osuwiskowych. Obsunęła się skarpa wysokości 6,1 m na długości 46 m [33]. W podłożu zalegały gliny, gliny zwięzłe oraz ropy pylaste bardzo podatne na wzrost zawilgocenia (kąt tarcia wewnętrznego $12 \div 20^\circ$ oraz spójność $5 \div 12$ kPa). Zdecydowano się odtworzyć skarpe przy pomocy pakietów sprasowanych zużytych opon samochodowych (SZOS). Sprasowane opony spinane są wiązkami z drutów wysokiej wytrzymałości (rys.11). Pakiety SZOS są rozwiązaniem korzystnym z uwagi na ich unikalne właściwości mechaniczne (tab. 3), takie jak dla kruszywa gumowego, a ponadto wpływają korzystnie na ograniczenie kosztów, zwiększenie możliwości transportowych i łatwość wbudowania w konstrukcję ziemną. Na rysunku 8 znajdują się zdjęcia z realizacji robót przy odbudowie skarpy nasypu.

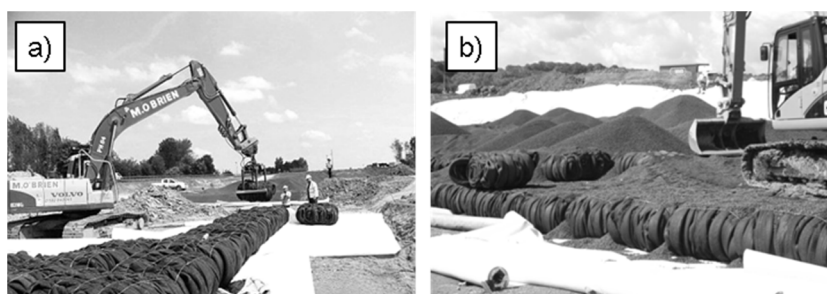


Rys. 11. Naprawa skarpy nasypu: a) wbudowanie pakietów SZOS b) zasypywanie i profilowanie skarp, na podstawie [34]

Fig. 11. Repair of embankment slope: a) incorporation of tyre bales b) backfilling and profiling of the slope, based on [34]

4.7. Autostrada A421 w Marston Moretaine, Wielka Brytania

Na newralgicznym odcinku projektowanej w roku 2010 autostrady A421 stwierdzono występowanie odkształcalnych gruntów miękkoplastycznych o nośności 25-35 kPa i miąższości 20 m. Po przeprowadzeniu analizy ekonomicznej różnych proponowanych rozwiązań wybrano pakiety SZOS na lekki materiał wypełniający nasyp. Pustki pomiędzy pakietami zostały wypełnione lekkim kruszywem keramzytowym (rys. 12). Nad pakietami SZOS zastosowano warstwę transmisyjną o grubości 1 m, a przez 6 miesięcy zbudowany w ten sposób nasyp był przeciążany w celu przyspieszenia konsolidacji odkształcalnego podłoża [35]. Omawiany przykład to pierwsze użycie pakietów SZOS do budowy drogi krajowej.



Rys. 12. Prace przy wykonywaniu nasypu: a) wbudowanie pakietów SZOS, b) wypełnienie pakietów SZOS lekkim kruszywem keramzytowym, na podstawie [35]

Fig. 12. Work on the construction of embankment: a) incorporation of the tyre bales b) filling tyre bales with Light Expanded Clay Aggregate (LECA), based on [35]

5. Podsumowanie

Współcześnie wiele odpadów jest postrzeganych jako wartościowe źródło surowca. Rynek przetwarzania odpadów rozszerza się na nowe obszary. Zużyte opony są odpadem niezwykle uciążliwym, ponieważ nie ulegają procesom biodegradacji oraz stanowią poważne zagrożenie pożarowe. Nie można ich składować na wysypiskach ze względu na możliwość samozapłonu. Energia lub paliwo uzyskane z opon wydaje się być dobrym rozwiązaniem tego problemu, ale w rzeczywistości bywa to dalekie od efektywnego zagospodarowania tego odpadu. Gdy opona jest spalana w piecu cementowym to jest stracona na zawsze, produkując przy tym duże ilości gazów cieplarnianych. Opony ponownie przetworzone w celu wytworzenia produktów o wyższej wartości lub odtworzenia materiałów dają drugie, trzecie, a nawet czwarte życie surowca, który w ostatecznej fazie użytkowania może wciąż być spożytkowany na paliwo. Dlatego nadrzędnym celem producentów i organizacji zajmujących się recyklingiem opon powinno być dążenie do jak najdłuższego okresu czasu między końcem życia opony, a jej likwidacją w elektrowniach i cementowniach.

Przedstawione przykłady wykorzystania zużytych opon w budownictwie komunikacyjnym oraz realizacji projektów badawczych dają duży potencjał do wdrożenia alternatywnego zagospodarowania zużytych opon w Polsce, szczególnie poprzez prasowanie opon w pakiety. Wyniki badań laboratoryjnych i polowych realizowanych obecnie w ramach projektu badawczego ReUse, będą po ich zakończeniu przedmiotem odrębnych publikacji.

Referat przygotowano w ramach projektu współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego pt. "ReUse - Innowacyjne materiały z recyklingu, zwiększające trwałość obiektów mostowych" (Innotech nr K3/IN3/38/228116/NCBiR/15).

Literatura

- [1] <http://www.etrma.org/uploads/Modules/Documentsmanager/20131015---statistics-booklet-2013-final2.pdf> (dostęp: 31.07.2017 r.).
- [2] Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the council.
- [3] Sybilski D., Zastosowanie odpadów gumowych w budownictwie drogowym, Przegląd Budowlany 2009, 5, 37-44.
- [4] Trzaska E.: Zagospodarowanie zużytych opon w budownictwie drogowym. Nafta-Gaz, nr 10/2010, s. 947-951.
- [5] 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.
- [6] <http://www.piolizaopon.pl/> (dostęp: 31.07.2017 r.).
- [7] Oprędkiewicz J., Stolarski B.: Technologia i systemy recyklingu w Polsce. WNT, Warszawa 2003.
- [8] Wojciechowski A., Michalski R., Kamińska E.: „Recykling opon”, Międzynarodowa Konferencja N-T „Problemy Recyklingu 2011”, Józefów k/Otwocka, 5-8 października 2011 r.

- [9] www.ecoflex.com.au (dostęp: 31.07.2017 r.).
- [10] A. Duda, D. Sobala, T. Siwowski, D. Kaleta.: „Wykorzystanie materiałów z recyklingu opon samochodowych w budownictwie komunikacyjnym”, *Archiwum Instytutu Inżynierii Lądowej*, 21/2016
- [11] PAS 108:2007 - Specification for the production of tire bales for use in construction. British Standards Institution
- [12] 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.
- [13] Council Directive 99/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste.
- [14] The End of Life Vehicles (ELV) Directive (2000/53/EC).
- [15] Directive 2002/73/EC of the European Parliament and of the Council of 23 September 2002 .
- [16] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 4 listopada 2014 r. w sprawie standardów emisyjnych dla niektórych rodzajów instalacji, źródeł spalania paliw oraz urządzeń spalania lub współspalania odpadów (Dz.U. 2014 poz. 1546.).
- [17] [http://www.etrma.org/uploads/Modules/Documentsmanager/20150408---statistics-booklet-2014-final2-\(modified\).pdf](http://www.etrma.org/uploads/Modules/Documentsmanager/20150408---statistics-booklet-2014-final2-(modified).pdf)(dostęp: 31.07.2017 r.).
- [18] Ustawa o odpadach z dnia 27 kwietnia 2001 r. (Dz. U. 2001, Nr 62, poz. 628).
- [19] Ustawa z dnia 27 maja 2015 r. o zmianie ustawy o recyklingu pojazdów wycofanych z eksploatacji oraz niektórych innych ustaw (Dz.U. 2015 poz. 933).
- [20] Ustawa z dnia 20 stycznia 2005 r. o recyklingu pojazdów wycofanych z eksploatacji (Dz.U. 2005 nr 25 poz. 202).
- [21] Ustawa z dnia 11 maja 2001 r. o obowiązkach producentów niektórych wyrobów oraz o opłacie produktowej i depozytowej (Dz. U. Nr 63, poz. 639 z późniejszymi zmianami).
- [22] Ustawa czyszcząca z dnia 7 lutego 2003 r. wprowadzająca również od 2004 r. obowiązek recyklingu zużytych opon (DZ. U. 2003, Nr 7, poz. 78).
- [23] EcoLanes, “Economical and Sustainable Pavement Infrastructure for Surface Transport”, Publishable Final Activity Report, The University of Sheffield, 2009.
- [24] <http://anagennisi.org/wordpress/>(dostęp: 31.07.2017 r.).
- [25] <http://persuade.fehrl.org/>(dostęp: 31.07.2017 r.).
- [26] <http://www.rectyre.solintel.eu/>(dostęp: 31.07.2017 r.).
- [27] J. Jurczok, M. Kabala, „Nasyp drogowy o warstwach konstrukcyjnych ze strzępów gumowych”, *Autostrady* 3/2012.
- [28] <http://www.roadtire.eu/index.htm>(dostęp: 31.07.2017 r.).
- [29] D. Humphrey; *Civil Engineering Applications Using Tire Derived Aggregate(TDA)*, California Integrated Waste Management Board 2011.
- [30] Humphrey, D.N.: "Civil engineering applications of tire shreds." *Proceedings of the Tire Industry Conference*, Clemson University, 1999, pp. 1-16.
- [31] ASTM. 1998. *ASTM Standard Practise for Use of Scrap Tires in Civil Engineering Applications*. ASTM standard D 6270-98. American Society for Testing and Materials. Washington D.C.
- [32] Hoppe, E.J., "Field Study of Shredded-Tire Embankment," *Report No. FHVA/NA-94-IRI*, Virginia Department of Transportation, Richmond, V.4, 1994.

- [33] Kennec, Inc. Project Manual and Specifications, Marina Drive Slide Repair, CR266 at M.P. 0.63, Mendocino County, California, June 2007.
- [34] Prikryl, W., Williammee, R. and Winter, M. G.: "Slope Failure Repair Using Tyre Bales at Interstate Highway 20, Tarrant County, Texas, USA," Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, Vol. 38, pp. 377-386. 2005.
- [35] Hodgson, I. F., Beales, S. P. and Curd, M. J.: "Use of tyre bales as lightweight fill for the A421 improvements scheme near Bedford, UK". Engineering Geology Special Publications, 26, 101-108, 2012. <https://doi.org/10.1144/EGSP26.12>.

SELECTED WAYS USE OF WASTE TYRE RUBBER IN CIVIL ENGINEERING

Summary

The paper presents the ways of reuse waste tires and their application in transport infrastructure as a damping and drainage material, lightweight fillers (reduce weight), stabilization of slopes. Legal conditions in Poland and the European Union for tire recycling are discussed. Reuse rubber will reduce the use deficit natural aggregates and can be a good alternative for expensive ways in case of construction of communication infrastructure facilities on weak ground. Another issue is also that the recycling sector moves towards a more sustainable route to process tyres. Tyre-derived fuel is a quick solution to a large problem, but is lost irrevocably wasted rubber material with unique mechanical properties. In the last chapter will be presented the European projects for the development of alternative reuse of waste tires.

Keywords: rubber aggregates, tyre bales, recycling, light backfill, stabilization of landslides, research project

Przesłano do redakcji: 13.09.2017 r

Przyjęto do druku: 15.12.2017 r.