

BADANIA ZUŻYTYCH OPON DO WYKORZYSTANIA W BUDOWNICTWIE

mgr inż. Aleksander Duda
dr inż. Dariusz Sobala
Politechnika Rzeszowska

Nowy materiał budowlany to nowe możliwości i szansa na kompleksową ochronę środowiska naturalnego.

Dynamiczny rozwój infrastruktury komunikacyjnej oraz motoryzacji pociąga za sobą zwiększenie liczby pojazdów, które każdego roku zużywają coraz więcej opon. Na terenie Unii Europejskiej zużyto w 2015 roku około 3,4 mln ton opon samochodowych. W tym samym czasie w Polsce zużyto 260 tys. ton opon. Zużyte opony są odpadem niezwykle trwałym, który nie ulega naturalnemu rozkładowi i wykazuje odporność na działanie wody, różnego rodzaju chemikaliów oraz ekstremalnych temperatur. Zużyta opona samochodowa zawiera, oprócz gumy, kord tekstylny i stalowy, co znacznie utrudnia jej recykling. Klasyfikowane w Unii Europejskiej [1] postępowanie z odpadami w odniesieniu do zużytych opon można opisać następującymi działaniami:

- zapobieganie** wykorzystujące edukację społeczeństw, identyfikację problemów i większą dbałość o produkt;
- przygotowanie do ponownego użycia**, np. bieżnikowanie opon lub eksport oraz
- recykling** produktowy, materiałowy lub/i energetyczny, np. polegający na odzysku energii w trakcie spalania opon w piecach cementowni.

Zapobieganie i przygotowanie do ponownego użycia ma na celu wydłużenie czasu użytkowania pojedynczej opony i zmniejszenie zapotrzebowanie na nowy produkt, a przez to zmniejszenie całkowitej ilości odpadów odprowadzanych do środowiska. Odpad w postaci całych zużytych opon musi zostać poddany jednej z form recyklingu, ponieważ składowanie całych opon jest niebezpieczne i grozi powstaniem trudnych do ugaszenia pożarów. Dyrektywy unijne [2,3,4] i ustawy krajowe [5,6,7,8] wymuszają określony poziom odzysku i recyklingu opon, z którego w kraju wywiązujemy się, stosując na masową skalę recykling energetyczny polegający na spalaniu opon jako paliwa alternatywnego w pie-

cach cementowi oraz na mniejszą skalę wysokoenergetyczny recykling materiałowy. Obydwie formy recyklingu stanowią dodatkowe i dotkliwe dla środowiska obciążenie związane z zanieczyszczeniem (spalanie) lub koniecznością zużycia dużych ilości energii. Recykling energetyczny opon, oprócz spalania mającego na celu bezpośrednie odzyskanie energii, może przybierać formę wysokoenergetycznych procesów 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. Końcowymi produktami tych procesów są węglowodory alifatyczne, wodór i siarkowodór, węglowodory aromatyczne, sadza pizolityczna oraz stal (piroliza), ropa syntetyczna, smoła, kord stalowy (destrukcja), dewulkanizant (dewulkanizacja) stanowiący mniej wartościowy surowiec wtórny dodawany przy produkcji nowych wyrobów gumowych.

Obciążenie środowiska związane z recyklingiem materiałowym zależy głównie od ilości zużytej energii, a ta od wymaganego stopnia i metody rozdrobnienia (cięcie, młotkowanie i rozcieranie, rozdrabnianie metodą kriogeniczną lub wodą pod wysokim ciśnieniem) zużytych opon. Rozdrobnione odpady gumowe zostały sklasyfikowane w normie europejskiej [9] (tabela 1.).

Tabela 1. Klasyfikacja materiałów otrzymywanych ze zużytych opon wg [9]

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

Kruszywa gumowe mają bardzo szerokie zastosowanie. Frakcje większe (chipsy, strzępy) wykorzystuje się najczęściej jako materiał wypełniający budowli ziemnych (nasypów, konstrukcji oporowych, zasypki przyczółków, tuneli). Frakcje mniejsze (granulat, miał) mają zastosowanie w nawierzchniach sportowych i placów zabaw dla dzieci, podkładów amortyzujących i barier dźwiękochłonnych. Wykorzystywane są również do modyfikacji składu asfaltu, w produkcji odzieży, mat, wycieraczek, wybiegów dla zwierząt itp.

Recykling produktowy opon polega ich ponownym wykorzystaniu w całości lub w części z ewentualnym wykorzystaniem niskoenergetycznych procesów przetwarzania. Inaczej niż w produkcji wyjściowym, wykorzystywane są korzystne właściwości opon, do których należą: mały ciężar objętościowy, izolacyjność termiczna i akustyczna, tłumienie drgań, duża wytrzymałość mechaniczna (ściananie lub rozzerwanie). 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, podbudowę dróg, zabezpieczenie przeciwoerozyjne brzegów rzek i nabrzeży oraz służą do stabilizacji osuwisk. Liderem we wdrażaniu materiałów z recyklingu produktowego opon w obszarze budownictwa komunikacyjnego i hydrotechnicznego są Wielka Brytania, Francja, Hiszpania, Szwecja, Finlandia i Norwegia. Dotychczasowy dorobek we wdrażaniu recyklingu produktowego opon nie jest jednak imponujący – ma on zaledwie 5% udział w zagospodarowaniu zużytych opon w Unii Europejskiej, a w Polsce udział jest zerowy [11].



Rys. 1. Schemat rozwiązania problemu zużytych opon samochodowych w Polsce

Pakiety sprasowanych zużytych opon samochodowych (SZOS)

Pakiety SZOS to nowy materiał budowlany z recyklingu produktowego opon. Prasowanie i pakowanie sprasowanych opon było odpowiedzią na konieczność ograniczenia wielkości składowisk oraz zmniejszenia ryzyka samozapłonu opon na składowiskach. W zastosowaniach budowlanych wpływa korzystnie na ograniczenie kosztów, zwiększenie możliwości transportowych i polepszenie właściwości mechanicznych tak uformowanego materiału. Ściśnięte w prasie zużyte opony spinane są taśmami z tworzyw sztucznych lub ocynkowanymi drutami wysokiej wytrzymałości ze stali sprężynowej. Finalnie pakiet gumowy SZOS przypomina prostopadłościan (rys. 2), w którym grubość zależy od maksymalnej wysokości sprasowanych opon, szerokość od wymiaru prasy, a długość od liczby wykorzystanych opon (najczęściej 100÷130 opon). Proces prasowania i pakowania opon stał się tak powszechny w Wielkiej Brytanii, że opracowano jego szczegółową specyfikację [12] opisującą sposób produkcji i wymiary pakietów. Korzyści wynikające z ograniczenia kosztów produkcji oraz transportu pakietów SZOS stworzyły warunki do ich efektywnego technicznie i ekonomicznie wykorzystania w budownictwie. Wprowadzenie na rynek nowego materiału SZOS wymaga prowadzenia licznych badań określających jego właściwości fizyczne, mechaniczne i środowiskowe.

W tabeli 2 podano podstawowe właściwości pakietów SZOS, które w większości są korzystniejsze niż kruszyw naturalnych. Jedyną wadą pakietów jest ich duża ściśliwość wynikająca z niskich wartości modułu odkształcenia. Problem ten można jednak rozwiązać stosując odpowiednie rozwiązania projektowe i konstrukcyjne, na przykład stosując warstwy transmi-

syjne z kruszywa (tłuczeń, żwir, piasek grubo) o odpowiedniej grubości układane w warstwie pakietów w nasypach komunikacyjnych. Warstwa transmisyjna pozwala na ograniczenie odkształceń nawierzchni od obciążeń użytkowych wynikających z odkształcalności pakietów SZOS do akceptowanego poziomu.

Tabela 2. Porównanie właściwości pakietów gumowych z kruszywami naturalnymi [14]

Cecha	Pakiety gumowe	Kruszywo mineralne (piaski, żwiry)
Ciepłota objętościowa [kJ/m ³]	5÷6	18÷20
Kąt poślizgu [°]	35÷36	35÷40
Moduł odkształcenia [MPa]	0,8÷1,0	40÷100
Wodoprzepuszczalność [cm/s]	2÷4	0,1÷1
Izolacyjność cieplna [W/(m ² ·K)]	0,07	0,4÷0,7
Wibroizolacyjność	bardzo wysoka	niska

Wybrane wyniki badań pakietów SZOS

Zakład Dróg i Mostów Politechniki Rzeszowskiej prowadzi badania laboratoryjne właściwości mechanicznych nowego materiału z recyklingu odpadów w postaci pakietów SZOS. Są to badania:

- poślizgu geokompozytów złożonych z pakietów SZOS z materiałami zasypowymi takimi jak kruszywo gumowe, keramzyt i kruszywo naturalne;
- wytrzymałości na ścislenie pakietów SZOS;
- zmęczeniowe pakietów SZOS;
- materiałowe drutów spinających pakiety SZOS i ich połączeń oraz
- środowiskowe pakietów SZOS.

Zakończono już badania poślizgu geokompozytów (pakiety SZOS + materiał zasypowy) miały na celu określenie wartości oporu ścinania w strefie kontaktowej na styku pakietu

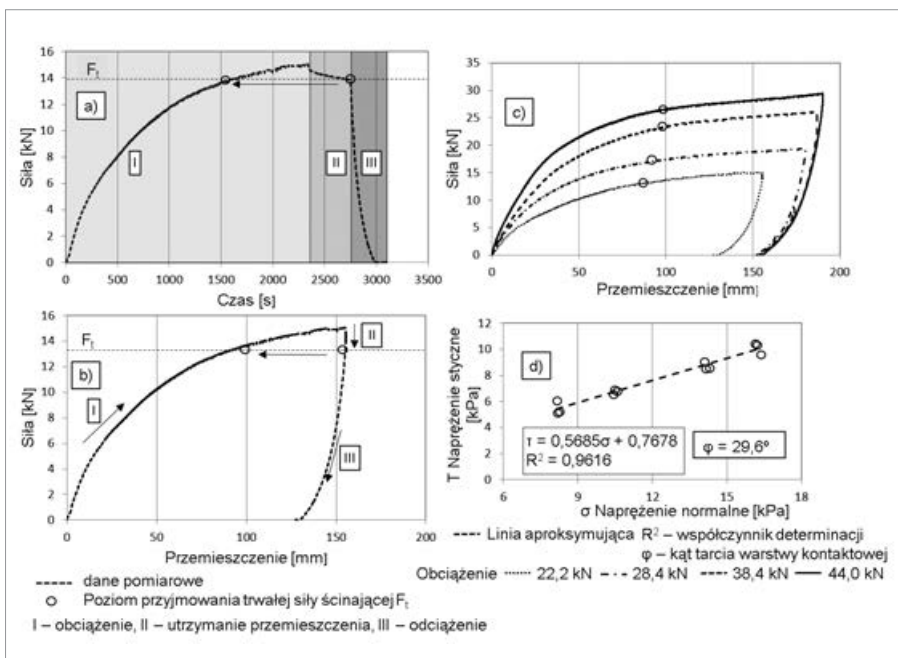


Rys. 2. Pakiety SZOS (góra) oraz połączenie drutów spinających pakiety (dół)

SZOS z materiałem zasypowym. Badano geokompozyt złożony z pakietów SZOS i trzech rodzajów materiału zasypowego: piasku średniego, keramzytu geotechnicznego oraz kruszywa gumowego (chipsów). Dla każdego rodzaju materiału zasypowego przygotowano trzy próbki badawcze geokompozytu. Ze względu na brak standardowych procedur badawczych dla określenia parametrów mechanicznych geokompozytu z wykorzystaniem pakietów SZOS przeprowadzenie badań wymagało opracowania nowych procedur badawczych i indywidualnych programów badań. Zaadaptowano ogólną ideę badań wytrzymałości na ścinanie gruntów w aparacie bezpośredniego ścinania wg [15]. Do realizacji badań niezbęd-



Rys. 3. Badanie oporów ścinania: widok stanowiska (po lewej), miejsce przyłożenia poziomej siły ścinającej (z prawej)



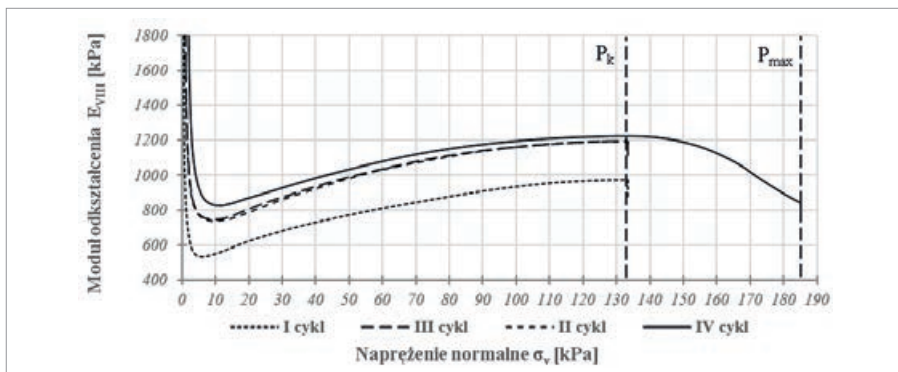
Rys. 4. Badanie wytrzymałości na ścinanie: (a) zależność siły od czasu, (b) zależność siły od przemieszczenia dla pojedynczej próbki, (c) zbiorcze wyniki wytrzymałości na ścinanie dla próbki P2 w zasypce z piasku średniego, (d) właściwości mechaniczne warstwy kontaktowej dla zasypki z piasku średniego.



Rys. 5. Stanowisko badań wytrzymałości na ściskanie



Rys. 6. Zniszczenie stanowiska ze względu na nierównomierną deformację pakietu, której skutkiem jest przechylenie płyty dociskowej w końcowym etapie badań



Rys. 7. Średni moduł odkształcenia dla próbki S5 w kolejnych cyklach obciążeniowych



Rys. 8. Komora badawcza wraz z ruchomą ścianą pomiarową.

ne było zaprojektowanie indywidualnych, wielokrotnościowych stanowisk badawczych i wybudowanie ich w hali Wydziałowego Laboratorium Badań Konstrukcji Politechniki Rzeszowskiej (rys. 3).

Przeprowadzone badania wykazały wysokie wartości oporów ścinania charakteryzujące bardzo dobrą współpracę materiałów zasypowych z pakietami SZOS, lepszą niż dla materiałów takich jak stal lub beton. Wyniki badań

pozwołyły wybrać optymalny materiał zasypowy do geokompozytu do wykorzystania w badaniach polowych. Na rysunku 4. przedstawiono wyniki badań próbki P2 przeprowadzonych w trzech cyklach dla różnych warstw kon-



Rys. 9. Komora badawcza oraz wykop pod odcinek dojazdowy



Rys. 10. Wypełnianie odcinka dojazdowego pakietami

taktowych i różnych wartości obciążenia balastem wraz z analizą parametrów mechanicznych warstwy kontaktowej wykonanej z piasku średniego.

W kolejnych badaniach określono moduł sztywności wytworzonych pakietów SZOS. Badania przeprowadzono na sześciu próbkach – pakietach SZOS – umieszczonych na sztywnym podłożu i równomiernie obciążonych siłownikiem hydraulicznym za pośrednictwem sztywnej płyty dociskowej (rys. 5.).

Badania przeprowadzone były w warunkach stałego, kontrolowanego przyrostu siły o wartości 0,5 kN/s do z góry założonej wartości siły równej ok. 260 kN, odpowiadającej naciskowi ok. 100 kPa (liniowy przyrost przemieszczeń) oraz do wartości obciążenia niszczonego ok. 350 ÷ 450 kN (rys. 6.).

Na rysunku 7 pokazano przykładowy wykres zależności naprężenia od średnich wartości modułu odkształcenia w kolejnych cyklach obciążenia. Badania wytrzymałości na ściskanie pakietów SZOS pozwoliły określić wartość pierwotnego modułu odkształcenia w zakresie 700 ÷ 934 kPa oraz wartość wtórnego modułu odkształcenia pakietów SZOS w zakresie 1180 ÷ 1377 kPa. Określone w wyniku przeprowadzonych badań wartości pierwotnego modułu sztywności mieszczą się w zakresach podawanych w literaturze technicznej, tj. 800 ÷ 1100 kPa [12]. Wyniki badań zweryfikowały pozytywnie przyjęty wstępnie poziom nacisku o wartości w zakresie 100 ÷ 130 kPa, po przekroczeniu którego następuje nieliniowy przyrost odkształcenia.

Podsumowanie

Przeprowadzone dotychczas badania laboratoryjne pakietów SZOS potwierdziły założenia przyjęte do programowania aktualnie realizowanych badań polowych na wielkogabarytowym stanowisku badawczym zlokalizowanym w Dębicy.

W skład stanowiska badawczego wchodzi głęboka komora badawcza z ruchomą ścianą, symulująca, w zależności od potrzeb, konstrukcję oporową lub przemieszczającą się termicznie ścianę przyczółka zintegrowanego obiektu mostowego oraz dwa odcinki dojazdu, na których zastosowano pakiety SZOS w jednej i w dwóch warstwach (rys. 8–10.).

Celem aktualnie prowadzonych badań polowych na wielkogabarytowym stanowisku badawczym jest:

- przeprowadzenie prób technologicznych wbudowania pakietów w warunkach zbliżonych do rzeczywistych w nasypie drogowym i bezpośrednim sąsiedztwie konstrukcji oporowej/przyczółka zintegrowanego obiektu mostowego;
- określenie wartości i rozkładu parcia na konstrukcje oporowe geokompozytu złożonego z pakietów SZOS i materiału zasypowego w warunkach obciążenia zasypką, obciążenia statycznego i użytkowego naziomu;
- deformacje strefy dojazdu do zintegrowanego przyczółka mostowego, którego zasypka wykonana została z pakietów SZOS i materiału zasypowego oraz
- badania tłumienia drgań przez nasypy z wypełnieniem z pakietów SZOS.

Wyniki badań polowych będą po ich zakończeniu przedmiotem odrębnej publikacji.

Bibliografia

- [1] Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the council.
- [2] Council Directive 99/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste.
- [3] The End of Life Vehicles (ELV) Directive (2000/53/EC).
- [4] Directive 2002/73/EC of the European Parliament and of the council of 23 September 2002.
- [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 depozytowej.
- [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 Tyres in Civil Engineering Applications.
- [11] <http://www.etrma.org/statistics-2>.
- [12] PAS 108:2007 – Specification for the production of tyre bales for use in construction.
- [13] Zornberg J. G., Christopher B. R., Oosterbaan M. D., Tyre bales in highway applications: Feasibility and properties evaluation, Colorado Department of Transportation, USA, 2005.
- [14] Duda A., Sobala D., Siwowski T., Kaleta D. Wykorzystanie materiałów z recyklingu opon samochodowych w budownictwie komunikacyjnym. Archiwum Instytutu Inżynierii Lądowej 21/2016, 97-111.
- [15] PKN-CEN ISO/TS 17892-7:2009. Grunty budowlane – badanie na ściskanie gruntów drobnoziarnistych w jednoosiowym stanie naprężenia.

Streszczenie: Testing tyre bales from compressed used car tyres for use in construction.

W artykule opisano wybrane badania przeprowadzone 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), realizowanego przez konsorcjum złożone z firm Remost Dębica sp. z o.o., Promost Consulting sp. z o.o. sp.k. (lider konsorcjum), Geotech Rzeszów sp. z o.o. oraz Politechnikę Rzeszowską.

Celem projektu i prowadzonych badań jest opracowanie oraz wdrożenie innowacyjnego, taniego i przyjaznego dla środowiska materiału budowlanego z recyklingu odpadów w postaci pakietów sprasowanych zużytych opon samochodowych. Materiał znajdzie szerokie zastosowanie w budownictwie, a szczególnie w budownictwie komunikacyjnym, geotechnice i hydrotechnice. Nowy materiał jest tani i posiada unikalne właściwości, takie jak: mały ciężar, duża wodoprzepuszczalność, zdolność do tłumienia drgań i hałasu, niskie wartości współczynnika parcia oraz inne parametry pozwalające na efektywne technicznie i ekonomicznie zastąpienie kruszyw naturalnych. Szerokie praktyczne wykorzystanie nowego materiału pozwoli w przyszłości zmienić sposób zagospodarowania odpadów na przyjazny dla środowiska.

Słowa kluczowe: kruszywo, budowle ziemne, recykling opon, pakiety gumowe

Summary: This article describes selected research carried out R&D project co-financed by the European Regional Development Fund. "ReUse – Innovative Recycling Materials, Enhancing the Sustainability of Bridge Facilities" (Innotech No. K3 / IN3 / 38/228116 / NCBiR / 15), implemented by a consortium of Remost Debica sp. z o. o., Promost Consulting sp. k. (Leader of consortium), Geotech Rzeszów sp. z o. o. and Rzeszów University of Technology.

The aim of the project and conducted research is to develop and implement an innovative, cheap and environmentally-friendly construction material from tyre recycling into tyre bales from compressed used car tyres. This material will be application in civil engineering, especially in transport infrastructure, geotechnics and hydrotechnics. New material is cheap and has unique properties such as low weight, high water permeability, vibration and noise absorption, low pressure coefficient values and other parameters that allow technically and economically to replace natural aggregates. The extensive practical application of new material will allow change waste management method on an environmentally friendly.

Keywords: aggregate, earth structures, tyre recycling, tyre bales