

Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska nr 1 (47), 2010: 53–64  
(Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. 1 (47), 2010)  
Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences No 1 (47), 2010: 53–64  
(Sci. Rev. Eng. Env. Sci. 1 (47), 2010)

**Wojciech SAS, Katarzyna SOBAŃSKA**

Katedra Geoinżynierii SGGW w Warszawie  
Department of Geotechnical Engineering WULS – SGGW

## **Recykling jako sposób zagospodarowania odpadów powstających przy remontach dróg Recycling as a method of reuse the material coming from pavement reconstruction works**

**Słowa kluczowe:** recykling, odpady budowlane, kruszywo betonowe, destrukcja asfaltowa  
**Key words:** environmental regulations, construction waste, concrete and asphalt recycling

### **Wprowadzenie**

Perspektywa budowy autostrad i dróg szybkiego ruchu oraz potrzeba dostosowania istniejącej sieci dróg do standardów UE pociągnie za sobą potrzeby zarówno przetwarzania powstających tysiące ton odpadów budowlanych, jak i wykorzystania kruszyw pochodzących z recyklingu, bowiem, jak podają statystyki, w 2000 roku ilość odpadów budowlanych (odpady z budowy, remontów i demontażu obiektów budowlanych i infrastruktury drogowej) w Polsce szacowano na około 2186 tys. ton, co stanowi 1,8% odpadów ogółem. Odpady te powstają na etapie budowy, w trakcie planowanych prac oraz awaryjnych re-

montów wykonywanych przez przedsiębiorstwa odpowiedzialne za dostawy wody, ciepła czy gazu. Bardzo duże rozproszenie obszarów tego typu działalności utrudnia szacowanie ich ilości. Obecnie według statystyk europejskich na 1 mieszkańca Unii Europejskiej przypada 1 tona odpadów budowlanych i rozbiorczych rocznie, co staje się poważnym problemem dla krajów Wspólnoty.

Z prognoz zapotrzebowania na kruszywa drogowe do budowy i modernizacji dróg i autostrad oraz torów kolejowych wynika, że około 2010 roku zapotrzebowanie to będzie wzrastać do poziomu 33–34 mln Mg·rok<sup>-1</sup>, gdy tymczasem obecnie produkcja kruszyw łamanych wynosi nieco ponad 22 mln Mg, w tym na potrzeby drogownictwa około 13 mln Mg. Oznacza to ponaddwukrotny wzrost zapotrzebowania na odpowiedniej jakości kruszywa drogowe. Może to spowodować trudności z jego

zbilansowaniem i konieczność uzupełnienia niedoboru kruszywem z importu. Obecnie importuje się około 2,6 mln Mg surowców skalnych za około 1 mld zł. Szacuje się, że po 2010 roku niezbędny będzie import kruszywa do nawet 50 mln Mg rocznie.

W tej sytuacji uzasadniony wydaje się recykling odpadów budowlanych, który jest sposobem ich zagospodarowania, zgodnym z wymogami prawa krajowego i międzynarodowego. Za jego stosowaniem przemawiają przesłanki ekonomiczne, środowiskowe i technologiczne. W artykule omówiono wykorzystanie materiałów alternatywnych na poziomie lokalnym do budowy czy ulepszenia dróg gminnych, jednakże nie należy umniejszać ich roli w budowie dróg publicznych wyższych klas, co możliwe jest dzięki rozwojowi technologii recyklingu *in situ* i *ex situ*.

### **Dla jednych odpad, dla innych – wartościowy materiał budowlany**

Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska (2001) w sprawie katalogu odpadów, odpady powstające przy remontach dróg należą do grupy 17. Są to: odpady z budowy, remontów i demontażu obiektów budowlanych oraz infrastruktury drogowej (włączając glebę i ziemię z terenów zanieczyszczonych):

- odpady betonu oraz gruz betonowy z rozbiórek i remontów, o kodzie 17 01 01,
- asfalt inny niż wymieniony w 17 03 01, a zatem niezawierający smoły (stanowiącej odpad niebezpieczny), o kodzie 17 03 02.

To właśnie recykling nawierzchni w drogownictwie umożliwi odzyskanie ze starej konstrukcji drogowej surowca i ponowne wykorzystanie go do tej samej lub innej konstrukcji. Z nawierzchni asfaltowych uzyskuje się w wyniku przeróbki destrukta asfaltowy. Według normy PN-EN 13108, destrukta asfaltowy (reclaimed asphalt – ang., Ausbauasphalt – niem.) to mieszanka mineralno-asfaltowa, która została uzyskana w wyniku frezowania warstw asfaltowych, w wyniku rozdrobnienia brył uzyskiwanych z pokruszenia konstrukcji nawierzchni asfaltowej lub ze skawalonych lub odrzuconych dostaw mieszanek. Natomiast ze starych betonowych płyt nawierzchni i z podbudowy uzyskuje się w wyniku recyklingu kruszywo betonowe. Zarówno destrukta asfaltowy, jak i kruszywa z recyklingu są terminami ujętymi w normach prawnych.

Wymagania dotyczące kruszyw jako materiałów budowlanych zawarte są w normach europejskich PN-EN, obowiązujących w Polsce od 1 maja 2004 roku. Dzielą one kruszywa na 3 grupy:

1. Kruszywo naturalne – kruszywo pochodzenia mineralnego, które poza obróbką mechaniczną nie zostało poddane żadnej innej obróbce. Do kruszyw naturalnych zalicza się wszystkie rodzaje kruszyw wyprodukowanych z mineralnych surowców naturalnych występujących w przyrodzie. Są to: kruszywa żwirowe (żwir, piasek, żwir kruszony z luźnych skał) oraz kruszywo łamane produkowane ze skał litych, z kopalni urabianych z użyciem materiałów naturalnych, kruszywo z nadziarna i otoczaków.

2. Kruszywo sztuczne – kruszywo pochodzenia mineralnego, uzyskane w wyniku procesu przemysłowego, obejmującego termiczną lub inną modyfikację kruszywa (np. z żużli wielkopieczowych, stalowniczych i pomiedziowych).
3. Kruszywo z recyklingu – kruszywo powstałe w wyniku przeróbki nieorganicznego materiału zastosowanego uprzednio w budownictwie.

### **Obowiązki przedsiębiorcy i wymagania ochrony środowiska jako uzasadnienie prawne stosowania recyklingu**

Respektowania zasad ochrony środowiska wymagają zarówno akty prawne krajowe, jak i prawodawstwo Unii Europejskiej. W zakresie gospodarki odpadami w Polsce wiodącą rolę odgrywa ustawa o odpadach (2001). Określa ona procedury postępowania z odpadami w sposób zapewniający ochronę życia i zdrowia ludzi oraz ochronę środowiska, a jak wiadomo – podczas prac remontowych na drogach powstają duże ilości destruktu z betonu cementowego, często zbrojonego, oraz z nawierzchni asfaltowej. W rozumieniu ustawy o odpadach przez odpady rozumie się każdą substancję lub przedmiot należący do jednej z kategorii, określonych w załączniku nr 1 do ustawy, których posiadacz pozbywa się, zamierza pozbyć się lub do ich pozbycia się jest obowiązany. Natomiast przez posiadacza odpadów rozumie się każdego, kto faktycznie włada odpadami (wytwórcę odpadów, inną osobę fizyczną, osobę prawną lub jednostkę

organizacyjną). Obowiązek ich usuwania, unieszkodliwiania lub powtórnego wykorzystania spoczywa na wytwarzającym odpady. Zgodnie z zasadą „zanieczyszczający płaci” (polluters pays principle – PPP) koszty zbierania, transportu, odzysku i usuwania odpadów ponosić powinien posiadacz, w tym także wytwórca odpadów. Można jednak zlecić to odbiorcy odpadów, który ma zezwolenie na prowadzenie tego typu działalności. Odpady te nie zostały wymienione w rozporządzeniu Ministra Środowiska (2006) w sprawie listy rodzajów odpadów, które posiadacz odpadów może przekazywać osobom fizycznym lub jednostkom organizacyjnym niebędącym przedsiębiorcami, oraz dopuszczalnych metod ich odzysku. Uwidacznia to zatem rangę przedsiębiorców, którzy podejmują taką prośrodowiskową działalność recyklingową.

Przedsiębiorstwa prowadzące działalność w zakresie zbierania, transportu, odzysku i usuwania odpadów są zobligowane, zgodnie z obowiązującą ustawą o odpadach, do uzyskania od kompetentnych władz pozwolenia na taką działalność. Wszystkie przedsiębiorstwa, prowadzące działalność w zakresie odzysku i unieszkodliwiania odpadów, są zobowiązane do prowadzenia rejestru odpadów, obejmującego ich ilość, charakterystykę, pochodzenie, miejsce przeznaczenia i sposób zagospodarowania, co podlega kontroli przeprowadzanej przez odpowiednie władze. Prowadzenie ilościowej i jakościowej ewidencji powinno przebiegać z zastosowaniem dokumentów takich, jak karty ewidencji odpadu, prowadzone dla każdego rodzaju odpadu odrębnie, oraz karty przekazania odpadu.

## **Wymagania Unii Europejskiej**

Kraje członkowskie UE zobligowane są do zapobiegania powstawaniu odpadów, ograniczania ilości wytwarzanych odpadów i zmniejszania ich szkodliwego oddziaływania na środowisko poprzez promowanie czystszych technologii, poprawy procesów produkcyjnych i technik unieszkodliwiania. Muszą one także zachęcać do odzysku, w tym do wykorzystania odpadów jako źródła energii. Zabronione jest porzucanie lub niekontrolowane usuwanie odpadów. Na mocy Dyrektywy Rady 75/442/EWG w sprawie odpadów, będącej jednym z pierwszych wspólnotowych aktów środowiskowych, oraz jej udoskonalonej wersji, czyli Dyrektywy 2006/12/WE Parlamentu Europejskiego i Rady, państwa członkowskie mają obowiązek stworzenia zintegrowanej sieci zakładów (instalacji), prowadzących działalność polegającą na unieszkodliwianiu odpadów. Równocześnie dyrektywa wymaga, aby zakłady (instalacje) tego rodzaju stosowały tzw. zasadę BATNEEC (best available technology not entailing excessive costs). Jest to koncepcja „najlepszych dostępnych technologii niepowodujących nadmiernych (nieuzasadnionych) kosztów”.

Najnowszym wyrazem koncepcji BATNEEC jest idea tzw. najlepszej dostępnej techniki (best available techniques – BAT), do której odwołuje się, pochodząca z 24 września 1996 roku, Dyrektywa Rady 96/61/EC w sprawie zintegrowanego zapobiegania i kontroli zanieczyszczeń (IPPC – integrated pollution prevention and control). Dyrektywa IPPC wyraźnie nakazuje stosowanie

zasady BAT do postępowania z odpadami (Rosik-Dulewska 2005).

W odniesieniu do tematyki recyklingu nawierzchni drogowych technologia taka powinna opierać się na projekcie drogi, który uwzględniałby późniejszy recykling materiałów. Na etapie przebudowy lub modernizacji następuje dostawa materiałów budowlanych do budowy konstrukcji drogi i nawierzchni. Następnie droga jest eksploatowana, utrzymywana i przebudowywana. W idealnych warunkach materiały ze zużytych warstw nawierzchni powinny być ponownie użyte w procesie utrzymania, napraw i przebudowy, co nie zmuszałoby do usuwania ich z drogi i nie stwarzałoby potrzeby dostarczenia na nią nowych materiałów.

## **Czynniki sprzyjające rozwojowi recyklingu w budownictwie drogowym**

W Unii Europejskiej rozwiązania legislacyjne dotyczące odpadów są ciągle modyfikowane i rozwijane, z wprowadzaniem nowych wymogów ograniczających obciążanie środowiska wszelkiego rodzaju zanieczyszczeniami włącznie. Ustalono hierarchię zasad dotyczących postępowania z odpadami, priorytetowo traktując działania prewencyjne, eliminujące powstawanie odpadów, docelowo dążąc do bezodpadowych „czystych technologii”. Stopniowo zaostrzane są przepisy, dotyczące składowisk odpadów, mające na celu m.in. eliminację przyjmowania odpadów organicznych i budowlanych.

W Unii Europejskiej planuje się wprowadzenie zakazu przyjmowania

odpadów konstrukcyjnych i remontowych na wysypiskach. Podobne regulacje rozważa się w USA, tym bardziej że w niektórych stanach wprowadzono już ograniczenia w przyjmowaniu takich odpadów na wysypiskach. Dzięki temu rozwijają się firmy zajmujące się recyklingiem betonu cementowego czy zużytych warstw nawierzchni asfaltowych. Instrumenty podatkowe, zachęcające do minimalizacji ilości odpadów, sprzyjają rozwijaniu rynku materiałów wtórnych i ograniczaniu powstawania kolejnych wysypisk. Zachęty tworzone dla rozwoju systemów recyklingu w dziedzinie materiałów budowlanych kreują rozwiązania konkurencyjne w stosunku do oferty rynku pierwotnych materiałów budowlanych. Wprowadzenie w specyfikacjach przetargowych obligatoryjnych zapisów o udziale materiałów z recyklingu w planowanych przedsięwzięciach, takich jak remonty dróg gminnych, może być kolejnym czynnikiem rozwojowym firm zajmujących się recyklingiem materiałów budowlanych.

### **Uzasadnienie prośrodowiskowe stosowania recyklingu**

Stosowanie technologii odzyskiwania materiału budowlanego z materiałów odpadowych, jako integralnego elementu systemu gospodarki odpadami, ma uzasadnienie również z punktu widzenia ochrony środowiska, m.in. ze względu na istniejące ograniczenia w pozyskiwaniu surowców naturalnych – kruszyw kamiennych, oraz ze względu na ograniczoną pojemność składowisk odpadów. W parze ze zmniejszeniem produkcji nowych materiałów budowlanych idzie

ograniczenie powierzchni odkładów i hałd materiałów nieużytecznych, które są nieodłącznym elementem krajobrazu, towarzyszącym wydobyciu kruszyw naturalnych. Pozyskiwanie kruszyw naturalnych jest nierozzerwalnie połączone z powstawaniem odpadów mineralnych, których w 2007 roku w Polsce było ponad 90 tysięcy ton. Tę ilość można ograniczyć, wykorzystując wtórnie użyte już wcześniej materiały budowlane.

Produkcji materiałów pochodzących z recyklingu nie dotyczą, w przeciwieństwie do kruszyw tradycyjnych, ograniczone zasoby surowców czy też ich niedostępność. Warto bowiem zauważyć, że blisko 19% kraju objętych jest wieloprzestrzennym systemem obszarów chronionych, co powoduje ograniczenie dostępności do złóż naturalnych kopalin położonych na terenach objętych ochroną lub przeznaczonych do zagospodarowania w sposób kolidujący z górnictwem odkrywkowym. W ponad 10 przypadkach (na 30 analizowanych) poważną przeszkodą jest występowanie złoża w granicach obszaru Natura 2000. Wśród pozostałych większość w znacznej części jest położona na obszarach leśnych. Ich ewentualne zagospodarowanie będzie wymagało uzyskania zgody na przeznaczenie tych gruntów na cele nieleśne. Nie zawsze będzie to możliwe. Rosnące ceny nieruchomości gruntowych, opłaty środowiskowe to kolejne ograniczenia dla rozwoju produkcji kruszyw naturalnych. Splot tych uwarunkowań może sprawić, że spośród 30 analizowanych złóż możliwość przyszłego zagospodarowania wystąpi tylko w odniesieniu do dziesięciu (Galos i Głapa 2008). Ponadto poważnym zagrożeniem w zagospodarowaniu złóż jest gęsta zabudowa niektó-

rych regionów kraju, co stanowi poważne ograniczenia z uwagi na możliwość szkodliwego oddziaływania kopalń na infrastrukturę. W przypadku kruszyw z recyklingu nie można mówić o braku ich dostępności, gdyż bazę surowcową tworzy dla nich cały sektor budownictwa.

W aspekcie środowiskowego znaczenia recyklingu odpadów budowlanych sam materiał uzyskany w wyniku recyklingu ma zastosowania związane z ochroną środowiska (stabilizacja gruntu, rekultywacja, umacnianie składowisk odpadów i ich drenaż, budowa dróg technologicznych w ich obrębie).

### **Przesłanki techniczne i technologiczne stosowania recyklingu**

Czynniki techniczne to takie, które bezpośrednio powodują powstawanie odpadu w postaci starej, zużytej nawierzchni. Są to m.in.: konieczność przebudowy, pozostająca w związku ze zwiększeniem natężenia ruchu, obciążenia nawierzchni i jej niszczeniem, usuwanie spękań i odkształceń, naprawa podbudowy. Przesłanki technologiczne, skłaniające do stosowania recyklingu, to posiadane przez te materiały właściwości i funkcje zastosowań analogiczne do funkcji materiałów wyjściowych. Zachętą są również techniczne rezultaty przedsięwzięć z zakresu recyklingu nawierzchni dróg, udowadniające możliwość i celowość tej technologii, która ze względu na ochronę środowiska powinna być podstawowym rozwiązaniem przy remontach nawierzchni dróg. Zasadność stosowania materiałów alternatywnych z recyklingu

w konstrukcjach drogowych potwierdza się podczas światowych konferencji z zakresu inżynierii budowlanej (Katsumi i in. 2004, Simpson i in. 2008).

O przydatności kruszywa betonowego, produkowanego środowiskową technologią, świadczą m.in. orzeczenia jego jakości wystawiane dla różnych partii kruszywa różniących się pochodzeniem od materiału źródłowego. Również skład ziarnowy destruktu zależy od składu zrywanej bądź frezowanej warstwy z mieszanki mineralno-asfaltowej, jak również od rodzaju i stanu technicznego sprzętu wyburzającego czy frezującego.

### **Przesłanki ekonomiczne stosowania recyklingu**

Uzasadnieniem stosowania recyklingu, poza stroną prawną i środowiskową, są względy ekonomiczne. Koszty budowy przy zastosowaniu materiałów uzyskiwanych z recyklingu są niższe, ale niezbędne jest porównanie kosztów bezpośrednich budowy z kosztami całego okresu użytkowania obiektu, trwałości i uwzględnienie poprawności funkcjonowania tych materiałów.

Materiały pochodzące z recyklingu muszą konkurować z materiałami nowymi, a użytkownik może niechętnie skłaniać się do stosowania materiału mu nieznanego i z pozoru wyeksploatowanego. Cena materiału recyklowanego wiąże się z jego właściwościami mechanicznymi, ale jest też oczywiście pochodną kosztów stałych i zmiennych zastosowanych technik wytwarzania i wbudowania. Przetwórstwo materiałów pochodzących z recyklingu, ze względu na ich możliwe

nizsze wskaźniki technologiczne i jakościowe, jest na ogół nieco trudniejsze niż przerób surowców pierwotnych, może wręcz wymagać zupełnie innych, nowych procesów technologicznych, których opanowanie wymaga dodatkowych badań i doświadczeń. Podjęcie produkcji z wykorzystaniem materiałów pochodzenia odpadowego powinno być poprzedzone odpowiednimi przygotowaniem, eliminującymi ewentualne zakłócenia technologiczne (Rosik-Dulewska 2005). Chcąc zwiększyć atrakcyjność materiałów recyklowanych, należałoby na przykład podnieść ceny materiałów tradycyjnych przez nałożenie podatku. Efektywniejszym sposobem, zwłaszcza z punktu widzenia ochrony środowiska, jest administracyjny zakaz wywożenia budowlanych materiałów odpadowych na składowiska lub, conajmniej, znaczne obciążenie kosztami składowania tych materiałów na hałdach składowisk. Wysokość kosztów składowania powinna obniżać cenę materiałów odpadowych z recyklingu i w ten sposób zwiększać ich konkurencyjność na rynku, dążąc do wyrównania ich ceny z podobnymi jakościowo materiałami nowymi (Kossakowski 2005).

Za największą barierę w eksploatacji naturalnych złóż rodzimych, wpływającą na ilość produkowanych kruszyw naturalnych, uważa się ograniczony dostęp do złóż już eksploatowanych oraz trudności w uzyskaniu nowych koncesji na ich eksploatację. W efekcie szacuje się, że po 2010 roku niezbędny będzie import kruszyw do nawet 50 mln Mg rocznie, co pociągnie za sobą wzrost cen tych materiałów, wynikający z kosztów ich transportu. Powtórne wykorzystanie recyklowanego materiału odbywać się

powinno w tym samym rejonie, dzięki czemu minimalizuje się koszty transportu materiału. Szacunki dotyczące kruszyw z recyklingu podają wielkość produkcji rzędu 4,5 mln Mg rocznie (Kozioł i Kawalec 2008).

### **Porównanie kosztu remontu drogi gruntowej z użyciem materiałów recyklowanych i naturalnych**

Celem udokumentowania zasadności ekonomicznej zastosowania materiałów alternatywnych, pochodzących z recyklingu nawierzchni, wykonano przykładowe obliczenia kosztów robót budowlanych budowy odcinka nawierzchni drogi gruntowej z zastosowaniem technologii z użyciem materiałów naturalnych i pochodzących z recyklingu. Na podstawie ogłoszenia zamówienia o przetargu (kod CPV 45233142-6), znajdującego się w Biuletynie Informacji Publicznej, porównano koszt dwóch wariantów ulepszenia 100 m<sup>2</sup> nawierzchni gruntowej o małym natężeniu ruchu w podwarszawskim mieście Podkowa Leśna (pow. grodziski, woj. mazowieckie), wykonane z analogicznym rozkładem robót, ale różniące się stosowanymi materiałami. Do obliczenia kosztów posłużył program KARO – w pełni profesjonalny i nowoczesny program do kosztorysowania robót budowlano-montażowych. Pozwala on na wykonywanie wszelkiego rodzaju kosztorysów ofertowych, inwestorskich, zamiennych i powykonawczych metodą kalkulacji szczegółowej, uproszczonej i mieszanej (Sobańska 2009).

Założono, że w wariantcie I do wykonania podbudowy o grubości 15 cm posłuży kruszywo frakcji 0–63 mm, pocho-

dzące z recyklingu wcześniej istniejącej podbudowy betonowej. Warstwa ścieralna nawierzchni o grubości 10 cm będzie wykonana z destruktu asfaltowego, pochodzącego z recyklingu wcześniej istniejącej warstwy nawierzchni asfaltowej. Dodatkowo założono, że zostanie wykonane powierzchniowe utrwalenie nawierzchni emulsją asfaltową i grysem bazaltowym frakcji 5–8 mm. W wariancie II założono, że do wykonania podbudowy o grubości 15 cm posłuży kruszywo naturalne – piaskowiec kwarcytowy frakcji 31,5–65 mm. Warstwa ścieralna nawierzchni, o grubości 10 cm, będzie wykonana również z kruszywa naturalnego – piaskowca kwarcytowego frakcji 0–30 mm.

Opis wymaganych robót, charakterystyczny dla tego typu robót budowlanych, jest dostępny wraz z treścią ogłoszanego publicznie przetargu w Biuletynie Informacji Publicznej. Ceny kruszyw recyklowanych ustalono na podstawie wywiadu środowiskowego w podwarszawskich firmach budowlanych zajmujących się tego typu przedsięwzięciami. Do ustalenia ceny kruszyw naturalnych stosowano cennik firmy P.H. „ŻWIREX BIS” (Załącznik 10). Dla materiałów wykorzystanych w tych robotach ustalono odpowiednio ceny: 75 zł za 1 Mg dla naturalnego tłucznia kamiennego, 25 zł za 1 Mg betonu kruszonego, 30 zł za 1 Mg destruktu asfaltowego.

Warto zauważyć, że w Katalogu Nakładów Rzeczowych (KNR), używanym do kosztorysowania robót drogowych, nie ma jeszcze wyszczególnionych pozycji uwzględniających użycie kruszyw z recyklingu przy budowaniu nawierzchni drogowej. Właściwa nazwa KNR 2-31 0114/05 brzmi: Podbudowy z kru-

szywa łamanego lub naturalnego, ale zgodnie z obowiązującymi w Polsce normami PN-EN, wyróżnia się spośród wspomnianych wcześniej kruszyw – kruszywo z recyklingu.

Warunkiem w tego typu robotach, wykorzystujących alternatywne materiały budowlane, jest, aby kruszywo z recyklingu posiadało orzeczenie o jego jakości, stwierdzające, że nadaje się do wykonywania warstw konstrukcji drogowych o założonym natężeniu ruchu. Warunki wykonania i odbioru robót określa norma PN-S-06102:1997. Grubość nawierzchni z kruszywa po zagęszczeniu miała być zgodna z wartością podaną w specyfikacji zamówienia, a wskaźnik zagęszczenia utwardzonej nawierzchni miał wynosić 0,96–0,98.

### **Podsumowanie przeprowadzonego porównania i wnioski**

Koszt wykonania ulepszenia 100 m<sup>2</sup> nawierzchni drogi gruntowej w wariancie I „recyklingowym” wynosi 7792,80 zł i jest o 22% niższy niż w wariancie II „klasycznym”, którego koszt wykonania to 9949,25 zł. Koszt samych materiałów w wariancie I wynosi 2125,76 zł, co stanowi 27% całości kosztów tego wariantu. Koszt materiałów w wariancie II wynosi 4239,38 zł, co stanowi 43 % całości kosztów. Największy udział w kosztach materiałów mają w wariancie I destruktu asfaltowy i beton kruszony – łącznie stanowią 73% kosztów użytych materiałów. Największy udział w kosztach użytych materiałów w wariancie II mają kruszywa naturalne – kwarcyty, łącznie stanowią 95% kosztów materiałów.

Przy założeniu, że w wariancie I koszt wykonania 1 m<sup>2</sup> wyniesie 77,9 zł·m<sup>-2</sup>, a w wariancie II – 99,5 zł·m<sup>-2</sup>, oszczędności wykonania 1 km drogi szerokości 5 m, według wariantu I, wyniosą 108 000 zł. Ponadto wariant I jest korzystniejszy z technologicznego punktu widzenia, dzięki proponowanemu utrwaleniu istniejącej nawierzchni z destruktu emulsją asfaltową i grysami bazaltowymi. Emulsja asfaltowa znacznie lepiej wiąże się z materiałem organicznym sobie pochodnym, jakim jest destruktu asfaltowy, niż z materiałem mineralnym w przypadku, gdyby miała być zastosowana w wariancie II.

Podsumowując, wariant I jest korzystniejszy z punktu widzenia ekonomicznego, ponieważ jest mniej kosztochłonny. Dzięki wykorzystaniu materiałów odpadowych zmniejsza zużycie kruszyw naturalnych. Jest on korzystniejszy z punktu widzenia technologicznego, ponieważ nie tylko spełnia wymaganą wartość zagęszczenia, lecz także wykonana w nim nawierzchnia ma porównywalne parametry wytrzymałościowe do wariantu II, adekwatne dla ruchu lokalnego. Dodatkowo jest utrwalona powierzchniowo, co zabezpiecza przed niekorzystnym zdrowotnie, wizualnie i technologicznie pyleniem z warstwy wierzchniej, jak ma to miejsce w wariancie II. Ponadto wariant II wymaga w ramach pielęgnacji dwukrotnego w ciągu roku przeprofilowania całej nawierzchni przy użyciu koparko-ładowarki i walca ogumionego, podczas gdy wariant I wymaga dwukrotnego w ciągu roku przeglądu gwarancyjnego, w czasie którego, o ile jest to niezbędne, uzupełnia się poszczególne wyboje jedynie za pomocą skraparki.

## **Szanse na rozwój technologii recyklingu w budownictwie drogowym**

Obecnie, zwłaszcza w Polsce, głównego obszaru zastosowania materiałów typu „by-products” upatruje się w budowie, przebudowie i remontach dróg gminnych, na których ruch pojazdów klasyfikowany jest jako lekki i lekkośredni, a klasa techniczna odpowiada warunkom technicznym stawianym wobec dróg lokalnych. W krajach Europy Zachodniej rosnące zastosowanie metod recyklingu w produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco spowodowało konieczność ustalenia wymagań wobec takiego destruktu asfaltowego, który może być sprzedawany jako składnik tych mieszanek, podobnie jak kruszywa. Do 2005 roku nie określono żadnych wymagań wobec destruktu asfaltowego, a o jego przydatności miało decydować orzeczenie laboratoryjne. Szansą na zmianę tej sytuacji jest wdrożenie do praktyki krajowej normy europejskiej PN-EN 13108-8:2006. Jest ona pierwszą europejską normą, ustalającą wymagania dotyczące klasyfikacji i opisu tego materiału, przeznaczonego do stosowania jako składnika MMA przy robotach na drogach krajowych czy wojewódzkich (Wytyczne WT-2 „Nawierzchnie asfaltowe”).

Szacuje się, że przy wdrożeniu programu budowy dróg ekspresowych i autostrad w zakładanym przez rząd tempie 150–250 km rocznie konieczne będzie zastosowanie od 8 do 12 mln Mg·rok<sup>-1</sup> kruszyw odpowiedniej jakości, a to oznacza, że nie tylko do remontu dróg istniejących zabraknie materiałów, lecz jeśli będziemy je importować, będą to

bardzo drogie materiały. Pozyskiwany destrukta asfaltowy w ilości około 1,2 mln Mg rocznie powinien być w większej części zużyty do wytworzenia nowych mieszanek mineralno-asfaltowych do remontu istniejących dróg, m.in. po to, aby nie przyczynić się do wzrostu cen materiałów, a więc i kosztów remontów dróg, oraz do degradacji środowiska naturalnego, powodowanej eksploatacją naturalnych surowców mineralnych.

Na szersze stosowanie technologii recyklingu ma zatem wpływ wiele czynników organizacyjno-ekonomicznych. Konieczne jest, już na etapie przygotowywania dokumentacji technicznej robót, opracowywanie szczegółowych rozwiązań technologicznych, uwzględniających pełne i właściwe technicznie wykorzystywanie alternatywnych materiałów budowlanych (Jabłoński i Rybczyński 2003).

Dokładna ilość kruszyw z recyklingu produkowanych rocznie w Polsce nie jest znana, aczkolwiek Polski Związek Pracodawców Producentów Kruszyw szacuje wielkość tej produkcji na około 4,5 mln Mg. Stanowi to zaledwie około 2,5% ogółu kruszyw zużywanych obecnie w Polsce. Jednakże daje się zauważyć tendencję wzrostową w ich wykorzystaniu za przykładem państw takich jak Niemcy, gdzie istnieją uregulowania prawne, określające, jaka część surowca odpadowego z rozbiórki musi być ponownie użyta.

## **Wnioski**

Materiał antropogeniczny odzyskany z nawierzchni asfaltowych może być

użyty do budowy nowych nawierzchni bądź do wzmacniania nawierzchni dróg istniejących. Z kolei recykling warstw betonu cementowego jest źródłem kruszywa do produkcji betonu, jak również do budowy warstw nawierzchni z mieszanek niezwiązanych. W wyniku stosowania recyklingu nawierzchni powtórnie wykorzystywane są materiały ze zużytych warstw nawierzchni, które stają się cennym surowcem wtórnym, a przy okazji chroni się środowisko przed zanieczyszczeniem i ogranicza używanie surowców skalnych do produkcji kruszyw. W rezultacie można zredukować ilość materiałów ubocznych, powstających przy konserwacji dróg, rozwiązując tym problem ich składowania, a także ograniczyć zużycie kruszyw naturalnych i związaną z ich wydobyciem degradację krajobrazu.

Dotychczas głównym obszarem bezpośredniego stosowania materiałów pochodzących z recyklingu w drogownictwie były drogi gminne o małym natężeniu ruchu, spełniające wymagania dla klasy technicznej dróg lokalnych. W ostatnich latach możliwe jest dodawanie destrukta, w ilości do  $40\% \text{ m} \cdot \text{m}^{-1}$ , do mieszanek mineralnych stosowanych do budowy nawierzchni kategorii ruchu KR1–KR2. Przeprowadzone porównanie kosztocłonności remontu takiej drogi przy użyciu materiałów recyklowanych i naturalnych dało wyniki, świadczące o tym, że stosowanie w tym obszarze materiałów odpadowych jest uzasadnione ekonomicznie. A zatem, chroniąc zasoby nieodnawialne, możemy czerpać z tego korzyści ekonomiczne, wynikające z niższych cen materiałów pochodzących z recyklingu.

## Literatura

- Dyrektywa Rady z dnia 15 lipca 1975 roku w sprawie odpadów (75/442/EWG). DzU nr 194 z 25.7.1975, s. 39.
- Dyrektywa Rady z dnia 24 września 1996 roku w sprawie zintegrowanego zapobiegania i kontroli zanieczyszczeń (96/61/EC). DzU nr 257 z 10.10.1996, s. 26.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 5 kwietnia 2006 roku w sprawie odpadów (2006/12/WE). DzU nr 114 z 27.4.2006, s. 9.
- GALOS K., GLAPA W. 2008: Wystarczalność zasobów dolnośląskich złóż kamieni łamanych w świetle rozwoju eksploatacji i warunkowań geośrodowiskowych. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi* 24, 2/4.
- JABŁOŃSKI K., RYBCZYŃSKI M. 2003: Polskie doświadczenia w zakresie recyklingu nawierzchni asfaltowych na gorąco w wytwórniach. *Drogownictwo* 2: 35–39.
- KATSUMI T., KAMON M., INUI T. 2004: Japanese status on the use of waste and by-products in geotechnical applications. Proceedings of Sessions of the ASCE Civil Engineering Conference and Exposition. Recycle Materials in Geotechnics, Geotechnical Special 127.
- KOSSAKOWSKI M. 2005: Recykling jako wyzwanie techniczne i ekonomiczne przyszłości. *Drogownictwo* 9: 268–273.
- KOZIOŁ W., KAWALEC P. 2008: Kruszywa alternatywne w budownictwie. *Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne*. Lipiec – sierpień: 34–37.
- Ogólne Specyfikacje Techniczne D – 05.03.11, 2003. Generalna Dyrekcja Dróg Publicznych. Monitor Polski nr 11 z dnia 28 lutego 2003 roku.
- PN-EN 13043:2004 Kruszywa do mieszanek asfaltowych i powierzchniowych utwaleń na drogach i lotniskach oraz na innych powierzchniach przeznaczonych dla pojazdów.
- PN-EN 13108-8:2006 Mieszanki mineralno-asfaltowe. Wymagania. Część 8: Destrukt asfaltowy.
- PN-EN 12620:2008 Kruszywa do betonu.
- PN-EN 13242 + A1:2008 Kruszywa do niezwiązanych i hydraulicznie związanych materiałów stosowanych w obiektach budowlanych i budownictwie drogowym.
- PN-S-06102:1997 Drogi samochodowe. Podbudowy z kruszyw stabilizowanych mechanicznie.
- ROSIK-DULEWSKA Cz. 2005: Podstawy gospodarki odpadami. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 27 września 2001 roku w sprawie katalogu odpadów (DzU nr 112, poz. 1206).
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 lutego 2006 roku w sprawie wzorów dokumentów stosowanych na potrzeby ewidencji odpadów (Dz. Ministra nr 30, poz. 213).
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 21 kwietnia 2006 roku w sprawie listy rodzajów odpadów, które posiadacz odpadów może przekazywać osobom fizycznym lub jednostkom organizacyjnym niebędącym przedsiębiorcami, oraz dopuszczalnych metod ich odzysku (DzU 2006 nr 75, poz. 527).
- SIMPSON P., ZIMMIE T., LATHINEN P. 2008: Use of recycled materials in construction of low volume roads. Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Congress on Advances in Civil Engineering, September.
- SOBAŃSKA K. 2009: Recykling jako sposób zagospodarowania odpadów powstających przy remontach dróg. Praca inżynierska. SGGW, Warszawa.
- Ustawa z dnia 7 lipca 1994 roku – Prawo budowlane (DzU z 2006 r. nr 156, poz. 1118 i nr 170, poz. 1217).
- Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 roku o odpadach (DzU nr 62, poz. 628 z późn. zm.).

## Summary

**Recycling as a method of reuse the material coming from pavement reconstruction works.** Recycling of construction waste is a method of reuse anthropogenic material that is recommended by national and international law. It is economically, ecologically and technologically efficient. The increasing traffic cause damage of pavements. The renovation can be done either using new materials or recycled materials. Recycled asphalt

can be used in building new asphalt roads or for reinforcement of local dirt roads. Concrete recycling gains importance because it protects natural resources and limits the need for disposal by using the readily available concrete as an aggregate source for new concrete or pavement subbase layers. As a result we can avoid the creation of huge amounts of demolition waste during roadworks and the area of bings connected with natural materials mining and their negative influence on the landscape. We can save the consumption of nonrenewable natural materials taking an economical benefit from it because of lower

prices of recycled materials. In this work the use of by – products is presented especially from the point of view of building low-volume roads with local traffic, however they are also used for other public roads.

**Author's address:**

Wojciech Sas  
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego  
Katedra Geoinżynierii  
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa  
Poland  
e-mail: wojciech\_sas@wp.pl