

## **Przyjazne dla środowiska naturalnego rozwiązania materiałowo-technologiczne nawierzchni drogowych**

**Piotr Radziszewski, Karol Kowalski,  
Michał Sarnowski, Piotr Pokorski**

*Zespół Technologii Materiałów i Nawierzchni Drogowych, Wydział Inżynierii Lądowej,  
Politechnika Warszawska, e-mail: p.radziszewski@il.pw.edu.pl, k.kowalski@il.pw.edu.pl  
m.sarnowski@il.pw.edu.pl, p.pokorski@il.pw.edu.pl*

**Streszczenie:** Budownictwo drogowe podlega w ostatnich latach dynamicznym zmianom. Podstawowym dążeniem projektantów i technologów jest opracowanie trwałych i przyjaznych środowisku technologii drogowych, które z powodzeniem mogą być stosowane na obszarach przyrodniczo cennych. W artykule przedstawiono wybrane nowoczesne rozwiązania materiałowo-technologiczne stosowane do budowy nawierzchni na obszarach podlegających szczególnej ochronie (np. Natura 2000). Przykładem nowoczesnych proekologicznych rozwiązań technologicznych w budownictwie drogowym są: nawierzchnie asfaltowe z dodatkiem gumy ze zużytych opon samochodowych, nawierzchnie asfaltowe z mieszanek o obniżonej emisji substancji lotnych, „ciche” nawierzchnie, nawierzchnie z wykorzystaniem materiałów z recyklingu, nawierzchnie z materiałów lokalnych, nawierzchnie „biologicznie czynne” (przepuszczalne warstwy mineralne). W Politechnice Warszawskiej, od wielu lat realizowane są projekty badawcze dotyczące tematyki nowoczesnych i ekologicznych nawierzchni drogowych. Jednym z nich jest projekt mający na celu zidentyfikowanie głównych kierunków w jakich rozwijać się będzie technologia budowy dróg w perspektywie 30 lat, ze szczególnym uwzględnieniem zasad zrównoważonego rozwoju i ochrony środowiska. W ramach realizowanych obecnie dwóch projektów, zostały wykonane odcinki doświadczalne nawierzchni z dodatkiem gumy oraz odcinki doświadczalne w technologiach ograniczających hałas, które poddawane będą wieloletniemu monitoringowi.

Właściwy dobór materiałów i technologii drogowych na obszarach przyrodniczo cennych nie pogorszy trwałości nawierzchni, komfortu użytkowania i bezpieczeństwa na drogach a jednocześnie poprawi bezpieczeństwo ekologiczne, nie zakłócając funkcjonowania cennych ekosystemów.

**Słowa kluczowe:** obszary przyrodniczo cenne, nawierzchnie drogowe, zrównoważony rozwój.

### **1. Wstęp**

Sieć drogowa w Polsce podlega ciągłej rozbudowie i dynamicznemu rozwojowi. W chwili obecnej kontynuowane są kolejne realizacje dużych inwestycji drogowych na terenie całego kraju. Głównym założeniem planistów i inwestorów jest osiągnięcie w 2030 roku sieci połączeń dróg autostradowych i ekspresowych połączonych

z układem zagranicznych sieci drogowych. Element uzupełniający tej sieci będą stanowić autostradowe obwodnice najważniejszych ośrodków miejskich. Planowane są odcinki zapewniające obsługę obszarów obecnie niedostatecznie dostępnych, m.in. Pomorza Środkowego, Mazur, Polski Wschodniej, Podkarpacia oraz Kotliny Kłodzkiej. Zgodnie z wymogami prawa europejskiego, należy zwrócić szczególną uwagę na inwestycje realizowane na obszarach przyrodniczo cennych, np. na obszarach programu Natura 2000.

Cechą charakterystyczną budownictwa drogowego jest liniowy charakter realizowanych prac budowlanych, wiążący się ze szczególnym rodzajem oddziaływania na środowisko przyrodnicze. Powoduje ono konflikty pomiędzy dwoma przeciwstawnymi racjami: rozwojem człowieka, z zapewnieniem mu możliwości realizacji różnych potrzeb oraz utrzymaniem stanu obecnego obszarów przyrodniczych, w które człowiek nie może ingerować. „Nawierzchnia zrównoważona” powinna charakteryzować się przede wszystkim konstrukcją przyjazną dla środowiska, niskimi nakładami energetycznymi oraz niską emisją zanieczyszczeń. Nawierzchnia taka powinna być bezpieczna i efektywna, powinna spełniać obecne potrzeby transportowe oraz nie ograniczać możliwości spełnienia takich potrzeb w przyszłości.

Rozwój budownictwa drogowego jest w dużym stopniu zależny od polityki władz oraz rozwoju nauki, przede wszystkim inżynierii materiałowej. W ramach projektów badawczych i prac naukowych w Politechnice Warszawskiej, od wielu lat realizowane są liczne projekty badawcze dotyczące tematyki nowoczesnych i ekologicznych nawierzchni drogowych. Prace te dotyczą zagadnień związanych z wykorzystaniem kruszyw miejscowych, recyklingiem nawierzchni drogowych, ciłchymi nawierzchniami, nawierzchniami wodoprzepuszczalnymi oraz technologiami ograniczającymi zapotrzebowanie energetyczne w procesach technologicznych.

## 2. Budownictwo drogowe na obszarach Europejskiej Sieci Ekologicznej

Zespół Technologii Materiałów i Nawierzchni Drogowych Politechniki Warszawskiej, na zlecenie Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad, realizuje projekt badawczy, którego celem jest analiza kierunków rozwoju nowych materiałów, technologii i konstrukcji nawierzchni stosowanych w budownictwie drogowym, w aspekcie szczególnych uwarunkowań ochrony środowiska i zrównoważonego rozwoju.

W ramach projektu określone zostały wymagania materiałowo-technologiczne do budowy dróg na obszarach szczególnie chronionych w Polsce. Dokonana została analiza obszarów Europejskiej Sieci Ekologicznej Natura 2000 w Polsce pod względem kolizji z rozbudową sieci drogowej, problemów i konfliktów związanych z realizacją inwestycji drogowych oraz oczekiwań ekologów w zakresie rozwiązań materiałowo-technologicznych przy budowie i utrzymaniu dróg. Obszary Natura 2000 są specyficzną formą ochrony przyrody i w odniesieniu do nich określane są działania, które pozwalają na ich ochronę. Działania ochronne ustalane w dokumentach nie odnoszą się do całego obszaru Natura 2000, ale do występujących na nim przedmiotów ochrony – siedlisk przyrodniczych, gatunków roślin i zwierząt. Dlatego też na obszarach Natura 2000 nie ma tak ściśle określonych zakazów w za-

kresie lokalizowania inwestycji mogących znacząco oddziaływać na środowisko, jak ma to miejsce w przypadku parków narodowych, rezerwatów przyrody lub parków krajobrazowych. Na terenie obszaru Natura 2000 może zatem być zlokalizowane każde przedsięwzięcie, o ile nie będzie:

- znacząco oddziaływać na przedmioty ochrony obszaru,
- znacząco oddziaływać na integralność obszaru,
- powodować kumulacji (lub synergii) oddziaływań na obszar Natura 2000 z innymi przedsięwzięciami, które na danym obszarze są planowane lub już funkcjonują.

Oddziaływanie przedsięwzięcia na obszar Natura 2000 odnosi się zatem do przedmiotów ochrony występujących na danym obszarze, z którymi koliduje inwestycja lub które znajdują się w zasięgu jej oddziaływania, lub też odnosi się do integralności i spójności obszaru, jego powiązań z innymi obszarami oraz skumulowanych oddziaływań danego przedsięwzięcia wraz z innymi przedsięwzięciami.

Rozważając problematykę konfliktów środowiskowych związanych z realizacją inwestycji drogowych na obszarach Natura 2000, należy się odnosić do czynników (kategorii oddziaływań) generowanych w trakcie budowy i eksploatacji dróg.

Znaczenie konfliktu jest zależne zarówno od przewidywanego natężenia ruchu samochodowego jak i od cech środowiska, w tym przede wszystkim od wrażliwości poszczególnych elementów środowiska na akumulację zanieczyszczeń komunikacyjnych oraz od wrażliwości i rangi funkcjonalnych powiązań elementów struktury przyrodniczej, którą droga przecina. Czynniki oddziałujące na środowisko są generowane zarówno przez istniejącą sieć dróg, jak i w związku z planowaną jej rozbudową.

Ochronie różnorodności przyrodniczej służą działania podejmowane na poziomie planowania i przygotowania inwestycji. Na etapie planowania strategicznego konieczne jest minimalizowanie konfliktów lokalizacyjnych: poszukiwanie wariantów przebiegów dróg, w najmniejszym stopniu kolidujących z obszarami Natura 2000, co oznacza zarówno unikanie przecinania tych obszarów, jak i ich najważniejszych funkcjonalnych połączeń z innymi obszarami. Na etapie przygotowania konkretnego przedsięwzięcia konieczne jest wskazanie i zaprojektowanie rozwiązań mających na celu przeciwdziałanie lub minimalizowanie konfliktów środowiskowych.

Wdrożenie systemu ocen, wymogi prawne Unii Europejskiej a w szczególności coraz bardziej restrykcyjne podejście do ochrony przyrody w Polsce spowodowały, że w budowie i eksploatacji dróg obecnie stosuje się coraz wyższe standardy w zakresie ochrony poszczególnych elementów środowiska. Dotyczy to szczególnie ochrony wód i ochrony klimatu akustycznego w otoczeniu dróg. Ponadto na zmniejszenie zasięgów oddziaływania dróg na środowisko, istotny wpływ ma postęp technologiczny w zakresie działania pojazdów a szczególnie spalania paliw [1,2].

Najważniejszym narzędziem, które powinno być wykorzystywane do zmniejszenia wszelkich ryzyk związanych z budową dróg, jest system ocen oddziaływania na środowisko, począwszy od poziomu strategicznego planowania w kraju a skończywszy na etapie projektowania inwestycji.

Drogi ekspresowe i autostrady w układzie docelowym pozostają w konflikcie z 84 obszarami ochrony siedlisk (SOO) oraz z 40 obszarami ochrony ptaków (OSO)

(rys. 1 i 2). Istniejące drogi krajowe pozostają w konflikcie z 183 obszarami ochrony siedlisk (SOO) oraz z 74 obszarami ochrony ptaków (OSO) [2].



Rys. 1. Konflikty autostrad i dróg ekspresowych z obszarami Natura 2000 - specjalnymi obszarami ochrony siedlisk (SOO).



Rys. 2. Konflikty autostrad i dróg ekspresowych z obszarami Natura 2000 - obszarami specjalnej ochrony ptaków (OSO).

Nie ma możliwości uniknięcia konfliktów sieci dróg z Europejską Siecią Ekologiczną Natura 2000, przerwania funkcjonalnych powiązań pomiędzy obszarami Natura 2000, a także pomiędzy tymi obszarami i innymi obszarami przyrodniczymi. Istnieje jednak szereg rozwiązań służących minimalizowaniu skutków frag-

mentacji siedlisk, a także mających na celu zmniejszenie zasięgów oddziaływania dróg. Możliwości zastosowania tych rozwiązań należy rozważać dla konkretnej inwestycji zlokalizowanej w określonym środowisku.

Siedliska przyrodnicze oraz gatunki roślin i zwierząt będące przedmiotami ochrony w obszarach Natura 2000, na etapie projektowania, budowy i eksploatacji dróg, należy traktować jako szczególnie wrażliwe, wymagające wysokich standardów ochrony środowiska. Na takich obszarach wskazane jest stosowanie rozwiązań materiałowo-technologicznych, które minimalizują ingerencję w środowisko naturalne, zarówno na etapie realizacji inwestycji, jak i w późniejszym użytkowaniu. Zastosowanie trwałych i dobrej jakości materiałów zapewnia ograniczenie napraw i remontów podczas eksploatacji dróg. Wykorzystanie cichych, porowatych nawierzchni ogranicza generowany przez pojazdy hałas. Używając materiały z recyklingu zmniejsza się zapotrzebowanie na nowe surowce, takie jak kruszywo, cement i lepsze asfaltowe a stosując ekologiczne nawierzchnie „biologicznie czynne” minimalizuje się ich wpływ na otaczający ekosystem.

### 3. Nawierzchnie drogowe o obniżonym poziomie hałasu

Hałas komunikacyjny stanowi bardzo poważny problem, szczególnie gdy inwestycja drogowa realizowana jest w pobliżu obszarów przyrodniczo cennych lub w bezpośrednim sąsiedztwie zabudowy mieszkalnej. Najczęściej stosowanym zabiegiem ograniczania hałasu drogowego jest budowa kosztownych i często nieestetycznych ekranów akustycznych. Wykonanie warstwy ścieralnej w technologii „cichych mieszanek” może stanowić właściwą alternatywę dla budowy ekranów akustycznych, umożliwiającą ograniczenie hałasu „u źródła”. Takie nawierzchnie zwiększają ponadto bezpieczeństwo ruchu pojazdów, dzięki przyspieszonemu odprowadzaniu wody opadowej z nawierzchni. W tradycyjnych mieszankach mineralno-asfaltowych przeznaczonych na warstwę ścieralną, wykorzystuje się mieszanki o strukturze zamkniętej, z maksymalną zawartością wolnej przestrzeni w zagęszczonej warstwie w granicach 4% (v/v). W asfalcie porowatym (PA) – mieszance o otwartej strukturze, wartość ta zawiera się w przedziale 16–30% (v/v). Wysoka zawartość wolnych przestrzeni oraz ich odpowiednie połączenie powodują, że woda z opadów wnika w głąb warstwy ścieralnej i siecią powiązanych ze sobą kanalików spływa do niżej położonej warstwy (na górną powierzchnię warstwy wiążącej), z której zostaje odprowadzona poza korpus drogi. Bardzo istotne jest właściwe zlokalizowanie odcinków drogowych z taką warstwą ścieralną, tj. w takich miejscach, gdzie hałas generowany na styku opona/nawierzchnia dominuje nad innymi źródłami hałasu. Lokalizacja nawierzchni o otwartej strukturze, np. na drogach z ruchem lokalnym, rolniczym, itp. sprzyja obniżeniu się porowatości w czasie eksploatacji z powodu „zatykania” wolnych przestrzeni zanieczyszczeniami z kół pojazdów. Lokalizacja w niewłaściwych miejscach (np. na skrzyżowaniach) prowadzić może również do przyspieszonej degradacji nawierzchni. Na podstawie przeprowadzonych badań laboratoryjnych stwierdzono, że istnieje możliwość zaprojektowania mieszanek mineralno-asfaltowych o strukturze porowatej, stosując powszechnie dostępne w Polsce materiały. W projektowaniu takich mieszanek istnieje konieczność stosowania niestandardowych metod badawczych oraz, w pewnych przypadkach, innej niż typowa interpretacji wyników badań. Doświadczenia z wykonanych odcinków próbnych w krajach o zbliżonym do Polski klimacie pokazują, że mieszanka mi-

neralno-asfaltowa typu asfalt porowaty może z powodzeniem zostać zastosowana w Polsce jako jedna z metod umożliwiających obniżenie hałasu drogowego o około 3-5dB [3,4].

W ramach projektu badawczego realizowanego przez Politechnikę Warszawską, Instytut Badawczy Dróg i Mostów oraz firmę Mostostal Warszawa S.A. wykonane zostały odcinki doświadczalne w technologii mieszanek porowatych (rys. 3 i 4). Wykonano sześć „cichych” odcinków z warstwami ścieralnymi z mieszanek mineralno-asfaltowych typu: mastyks grysowy SMA 5 i SMA 8, mieszanki o otwartej strukturze (ang. Open Graded Friction Course) OGFC 8 i OGFC 11, asfalt porowaty PA 8 i PA 11 oraz dwa odcinki referencyjne z warstwami ścieralnymi typu mastyks grysowy SMA 11 i beton asfaltowy AC 11 [5].



Rys. 3. Odcinek doświadczalny cichych nawierzchni



Rys. 4. Nawierzchnia wykonana w technologii asfaltu porowatego

Odcinki poddane są ciągłemu monitoringowi. Badane są parametry nawierzchni związane z generowanym hałasem podczas poruszania się pojazdów, własności przeciwpoślizgowe oraz zdolność do odprowadzania wody wewnątrz warstwy drenującej. Otrzymane dotychczas wyniki badań potwierdzają polepszone właściwości zmniejszenia generowanego hałasu nawierzchni porowatych w stosunku do klasycznych rozwiązań.

#### **4. Mieszanki mineralno-asfaltowe o obniżonej emisji substancji lotnych w temperaturach technologicznych**

Aspekty związane z ekologią, ochroną środowiska i efektem cieplarnianym odgrywają obecnie coraz większą rolę. Trend ten jest zauważalny również w technologiach drogowych, gdzie coraz większą wagę przywiązuje się do poszukiwania nowych rozwiązań materiałowych i technologicznych. Dąży się do zastąpienia wytwarzania mieszanek mineralno-asfaltowych w wysokiej temperaturze w tradycyjny sposób „na gorąco” (HMA – ang. hot mix asphalt), technologiami o obniżonej temperaturze procesu technologicznego, czyli mieszankami „na ciepło” (WMA – ang. warm mix asphalt). Zastosowanie tej metody, oprócz korzyści ekologicznych, umożliwia poprawę warunków pracy na budowie, wydłużenie sezonu budowlanego i możliwości przewożenia mieszanki na większe odległości. Jedną z możliwości produkcji mieszanek „na ciepło” jest zastosowanie dodatków parafinowych i ich pochodnych podczas procesu produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych. Wyniki badań nad technologią WMA oraz analiza polskich uwarunkowań klimatycznych potwierdzają potencjalne korzyści ze stosowania tej technologii. Uważa się, że proces technologiczny produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych można tak zmodyfikować, aby zminimalizować straty energii oraz ograniczyć emisję CO<sup>2</sup> do atmosfery. Możliwe jest również stosowanie dodatków modyfikujących w celu wydłużenia przydatności mieszanek mineralno-asfaltowych do wbudowania w obniżonej temperaturze otoczenia [6,7].

W ramach realizowanego projektu badawczego, w 2012 roku wykonane zostały odcinki z różnego typu dodatkami obniżającymi temperatury technologiczne. Przeprowadzone badania mieszanek mineralno-asfaltowych potwierdzają możliwość obniżenia temperatury produkcji oraz temperatury rozkładania mieszanki o około 40°C, przy jednoczesnym zachowaniu wymaganych parametrów zagęszczenia oraz odporności na czynniki atmosferyczne.

#### **5. Technologie nawierzchni drogowych wykorzystujące materiały z recyklingu**

W dzisiejszych czasach wykorzystanie powtórne materiałów w budownictwie nabiera coraz większego znaczenia i poza aspektami ekonomicznymi, wpływa przede wszystkim na ochronę środowiska naturalnego.

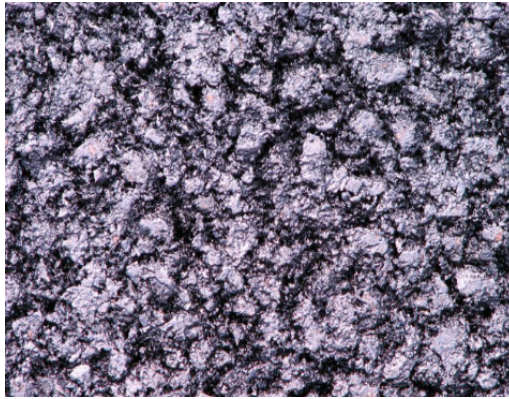
Zagospodarowanie zużytych opon samochodowych jest ważnym problemem w ochronie środowiska. Spośród różnych metod utylizacji zużytych opon samochodowych, wykorzystanie gumy do modyfikacji asfaltów drogowych należy uznać za najbardziej efektywny sposób ekologicznego zagospodarowania tego uciążliwego odpadu [8]. Guma z recyklingu opon może być pełnowartościowym i tańszym zamiennikiem innych polimerów stosowanych do modyfikacji asfaltów [9,10].

Politechnika Warszawska wraz z partnerami realizuje projekt, pt. „Opracowanie i wdrożenie innowacyjnej, przyjaznej środowisku technologii modyfikacji asfaltów drogowych gumą”. Celem projektu badawczego jest opracowanie i wdrożenie technologii wytwarzania lepizcza gumowo-asfaltowego oraz mieszanek mineralno-gumowo-asfaltowych charakteryzujących się poprawionymi właściwościami reologicznymi. Rozwiązanie materiałowo-technologiczne opracowane w wyniku

projektu pozwoli wykonywać nawierzchnie o zwiększonej trwałości, odporne na starzenie oraz charakteryzujące się obniżoną hałaśliwością, w porównaniu z nawierzchniami tradycyjnymi. Mieszanki mineralno-gumowo-asfaltowe opracowane w wyniku realizacji projektu będą nowymi, ekologicznymi rozwiązaniami materiałowo-technologicznymi umożliwiającymi zrównoważone gospodarowanie zasobami naturalnymi [10]. W ramach projektu, latem 2013 roku został wykonany odcinek doświadczalny nawierzchni z zastosowaniem lepiszcza z dodatkiem gumy ze zużytych opon samochodowych (rys. 5 i 6).



Rys. 5. Odcinki doświadczalne z zastosowaniem lepiszcza z dodatkiem gumy



Rys. 6. Struktura mieszanki mineralno-asfaltowej z lepiszczem gumowo-asfaltowym

Innym przykładem zastosowania materiałów z recyklingu jest wykorzystanie uprzednio sfrezowanego na drodze, destruktu asfaltowego. Granulat asfaltowy to odpowiednio rozdrobniony i posortowany destrukc [1].

Materiał z nawierzchni asfaltowych może zostać powtórnie wykorzystany stosując metodę recyklingu na zimno, na ciepło lub na gorąco. Proces recyklingu starej nawierzchni asfaltowej może odbywać się na drodze za pomocą recyklerów lub w wytwórni mieszanek mineralno-asfaltowych. Z uwagi na zasady zrównoważonego rozwoju, trwają próby i badania wykorzystania całości pozyskiwanego destruktu do budowy nawierzchni asfaltowych. Doświadczenia wielu krajów (np. Niemcy,



Holandia, Szwecja, Hiszpania) pokazują że jest to możliwe. Dodatkową zaletą takiego rozwiązania są korzyści finansowe i ekologiczne, wynikające ze zmniejszonego zapotrzebowania na nowy materiał.

Technologia recyklingu nawierzchni asfaltowych w różnym stopniu rozwija się na świecie. Ma na to wpływ wiele czynników, takich jak niedostosowanie przepisów prawnych lub obawa przed pogorszeniem właściwości nowej mieszanki zawierającej materiał z recyklingu. Obecnie prowadzone prace naukowo-badawcze są zorientowane na ocenę wpływu zastosowania destruktu asfaltowego o podwyższonych parametrach, np. zawierających asfalt modyfikowany na właściwości użytkowe nawierzchni lub możliwości stosowania dodatków odświeżających postarzone lepiszczce w materiale z recyklingu.

W Politechnice Warszawskiej trwają obecnie prace badawcze nad zastosowaniem mieszanek mineralno-asfaltowych o dużej zawartości granulatu asfaltowego (około 50% m/m). Z sukcesem opracowana i opatentowana została także technologia „odświeżania” lepiszczca za pomocą estrów olejów pochodzenia roślinnego.

## 6. Ekologiczne nawierzchnie ścieżek rowerowych i chodników

Szczególną uwagę należy poświęcić ścieżkom rowerowym i chodnikom wchodzącym w skład układu komunikacyjnego na obszarach ścisłej ochrony przyrody, takich jak rezerваты, parki narodowe oraz Obszary Natura 2000. Dla takich lokalizacji szczególnie preferowane są nawierzchnie „biologicznie czynne” - wodoprzepuszczalne z kruszyw niezwiązanych oraz nawierzchnie mineralne stabilizowane środkami wiążącym pochodzenia roślinnego.

Zespół Technologii Materiałów i Nawierzchni Drogowych w ramach swojej działalności dokonał oceny materiałowo-technologicznej jednej z realizacji nawierzchni wodoprzepuszczalnej stabilizowanej środkami pochodzenia roślinnego. Technologia ta dotyczy wykonywania górnych warstw konstrukcyjnych nawierzchni chodników, ścieżek rowerowych, alejek parkowych, placów zabaw, nawierzchni sportowych, itp. Do budowy warstw stosuje się odpowiednio dobrane kruszywa o uziarnieniu ciągłym frakcji 0/11 lub 0/16 mm. W skład mieszanek mineralnych wchodzi: piaski specjalne, wypełniacz mineralny, żwiry łamane lub niełamane. Mieszanki nie zawierają w swoim składzie kruszyw sztucznych i kruszyw z recyklingu. Jako środek wiążący kruszywo, stosuje się spoiwo pochodzenia roślinnego produkowane w USA.

Konstrukcja nawierzchni składa się z następujących warstw:

- warstwa o grubości 6 cm (podbudowa zasadnicza z mieszanki kruszywa niezwiązanego o uziarnieniu 0/16 mm),
- warstwa o grubości 4 cm (górną warstwą z mieszanki kruszywa niezwiązanego o uziarnieniu 0/5 mm stabilizowaną środkiem pochodzenia roślinnego).

Odcinek z wykonaną nawierzchnią znajduje się w Zabytkowym Ogrodzie Muzeum Łazienki Królewskie w Warszawie, na terenie Ogrodu Romantycznego XIX wieku, na jednym z głównych traktów prowadzących od bramy wejściowej przy Belwederze. Nawierzchnia wykonana jest na alejkach parkowych oraz na placu wokół Świątyni Sybilli (rys. 7 i 8).



Rys. 7. Nawierzchnia wodoprzepuszczalna z kruszyw niezwiązanych stabilizowana środkiem pochodzenia roślinnego.



Rys. 8. Nawierzchnia wodoprzepuszczalna na terenie Łazienek Królewskich.

Ocenę nawierzchni wykonano po 5 miesięcznym okresie eksploatacji. Wizja lokalna tego odcinka oraz wyniki badań uziarnienia, gęstości wg Proctora, przepuszczalności wody, odporności na ścieranie i mrozoodporności pozwalają stwierdzić, że technologie nawierzchni wodoprzepuszczalnych są rozwiązaniami przyjaznymi dla środowiska, charakteryzują się wysokimi walorami estetycznymi, dobrze komponują się z zielenią i obiektami zabytkowymi. Tego rodzaju nawierzchnie mogą być stosowane do budowy alejek parkowych, chodników, ścieżek rowerowych, placów zabaw i nawierzchni sportowych [11].

## 7. Podsumowanie

W celu zapewnienia bezpieczeństwa ekologicznego na obszarach przyrodniczo cennych powinno uwzględniać się właściwy dobór materiałów i technologii drogowych. Prawidłowo dobrane parametry konstrukcji nawierzchni minimalizują wpływ inwestycji drogowych na funkcjonowanie środowiska naturalnego. Istnieje wiele technologii i materiałów zmniejszających negatywny wpływ budownictwa drogowego na otoczenie. Należą do nich między innymi:

- konstrukcje dróg o nawierzchni niezwiązanej,
- drogi z zastosowaniem środków wiążących pochodzenia naturalnego,
- „ciche” nawierzchnie,
- nawierzchnie asfaltowe z mieszanek o obniżonej emisji substancji lotnych w temperaturach technologicznych,
- nawierzchnie wykorzystujące materiały z recyklingu i zużyte opony samochodowe.

Przed rozpoczęciem każdej inwestycji drogowej należy zastanowić się w jaki sposób można zminimalizować jej wpływ na środowisku naturalne.

## Literatura

- [1] Piłat J., Radziszewski P.: *Nawierzchnie asfaltowe*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2010
- [2] Radziszewski P.: *Perspektywy i kierunki rozwoju konstrukcji oraz nowych rozwiązań materiałowo-technologicznych nawierzchni drogowych w aspekcie ochrony środowiska i zrównoważonego rozwoju: etap III*, praca na zlecenie Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad, Warszawa 2013
- [3] Kowalski K., Król J., Radziszewski P., Otkąłło K.: *Projektowanie i badania mieszanek mineralno-asfaltowych o strukturze otwartej*. Magazyn Drogownictwo 5/2013, str. 156-158
- [4] Gardziejczyk W.: *Wpływ nawierzchni drogowych na hałas od ruchu samochodowego w modelach prognozowania jego poziomu*, tom V, pięćdziesiąta jubileuszowa Konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej, PAN i Komitetu Nauki PZITB, „Krynica 2004”, Krynica, 12-17.09.2004.
- [5] Otkąłło K., Kowalski K., Piłat J.: *Wykonanie odcinka prototypowego „CiDRO”*. Magazyn Drogownictwo 6/2013, str. 1-3
- [6] Król J., Matraszek K., Piłat J., Radziszewski P., Kowalski K.: *Właściwości lepiszczy asfaltowych modyfikowanych parafinami nowej generacji*. Projekt MMAC – cz.1. Magazyn Autostrady 5/2011, str. 72-76
- [7] Król J., Radziszewski P., Piłat J., Kowalski K., Matraszek K., Świeżewski P., Gorol J.: *Technologie WMA w aspekcie modyfikacji właściwości lepiszczy asfaltowych*. Projekt MMAC – cz.2. Magazyn Autostrady 7/2011, str. 16-20
- [8] G. B. Way: *Asphalt-Rubber 45 Years of Progress*. Proceedings of the Asphalt Rubber 2012 Conference, Munich, Germany, October 2012
- [9] Radziszewski P., Piłat J., Sarnowski M., Król J.: *Lepiszczka gumowo-asfaltowe stosowane do nawierzchni drogowych o poprawionych właściwościach niskotemperaturowych*, Konferencja Organizacja przedsięwzięć budownictwa drogowego, Bydgoszcz 2013, str. 51-64
- [10] Piłat J., Radziszewski P., Sarnowski M.: *Zastosowanie lepiszczy gumowo-asfaltowych do nawierzchni drogowych*, Inżynier Budownictwa 3/2013, str. 94-99
- [11] Radziszewski P., Piłat J., Sarnowski M., Kowalski K., Król J.: *Ocena rozwiązania materiałowo-technologicznego nawierzchni wodoprzepuszczalnej*. Politechnika Warszawska, Warszawa 2013

## **Environmentally friendly material and technological solutions of road pavements**

**Piotr Radziszewski, Karol Kowalski,  
Michał Sarnowski, Piotr Pokorski**

*Group of Materials and Road Technology, Faculty of Civil Engineering,  
Warsaw University of Technology, e-mail: p.radziszewski@il.pw.edu.pl,  
k.kowalski@il.pw.edu.pl m.sarnowski@il.pw.edu.pl, p.pokorski@il.pw.edu.pl*

**Abstract:** In recent years road construction is a subject of dynamic changes. The main challenge for designers and technologists is to develop durable and environmental friendly road technologies that can be successfully applied on natural valuable areas. The paper presents selected modern material and technological solutions used for road pavements on areas under special protection (eg Natura 2000). An example of modern environmentally friendly solutions in road construction are: asphalt pavements with the addition of rubber from used car tires, asphalt mixtures with reduced emissions of volatile substances, “quiet” pavements, pavements from recycled materials and from local materials, “biologically active” pavements (permeable mineral layers). Modern and ecological pavements are the important part of science activity of Warsaw University of Technology. New ongoing project is designed to identify the main directions of technological development of road construction in the next 30 years, with a particular emphasis on the sustainable development and environmental protection. As a part of the two ongoing projects, test sections of pavement have been completed. One of test sections with the addition of crumb rubber and the second one as a “quiet” pavement. For the next years, the sections will be monitored.

The proper selection of materials and technologies on natural valuable areas does not deteriorate the durability of road pavement, comfort and safety on the roads and at the same time it can improve environmental safety without interfering with the functioning of valuable ecosystems.

**Keywords:** natural valuable areas, road construction, sustainable development.