NAWIERZCHNIE ASFALTOWE

Kwartalnik Polskiego Stowarzyszenia Wykonawców Nawierzchni Asfaltowych

Fot. Maria Jóźwiak

Nr 3/2011 (27)

ISSN 1734-1434

PSWNA
Polskie Stowarzyszenie Wykonawców Nawierzchni Asfaltowych

Spis treści

Mieszanki mineralno-asfaltowe na ciepło: najlepsze praktyki 3

– pod takim tytułem ukazała się najnowsza wersja podręcznika technicznego dotyczącego WMA, który został opisany w czasopiśmie *Hot Mix Asphalt Technology* – maj/czerwiec 2011 r. Zalety technologii WMA prezentuje artykuł w tłumaczeniu i opracowaniu Karola Kowalskiego

Mikrodywanik – szansą na istniejące i przyszłe potrzeby w zakresie remontów 8

– Robert Jurczak i Wiesław Jeliński przedstawiają krajowe doświadczenia, zalety i możliwości wykorzystania mikrodywaników do remontów nawierzchni drogowych

.

Opracowanie i wdrożenie innowacyjnej, przyjaznej środowisku technologii modyfikacji asfaltów drogowych gumą 10

– modyfikacja asfaltów drogowych gumą, jako innowacyjna technologia przyjazna środowisku, to projekt badawczy mający na celu opracowanie i wdrożenie tej technologii w Polsce. W artykule przedstawiciele wiodących instytucji i firm biorących udział w tym projekcie (Polski Asfalt, TPA, Politechnika Warszawska) opisują cel, założenia i dotychczasowy przebieg jego realizacji

Od redakcji

Szanowni Czytelnicy!

Artykuły w niniejszym numerze kwartalnika dotyczą nowych technologii stosowanych na świecie, a w Polsce jeszcze w niewielkim zakresie.

W programie najbliższego XXV Seminarium Technicznego PSWNA jedna z sesji poświęcona będzie nowym technologiom nawierzchni asfaltowych. Tematykę tą będą prezentować prelegenci zarówno krajowi, jak i z zagranicy (Belgia, USA).

Propagowanie wiedzy, przekazywanie doświadczeń w zakresie nowych technologii nawierzchni asfaltowych jest jednym z głównych celów statutowych PSWNA.

REDAKCJA

Internetowa strona naszego Kwartalnika

Informujemy Szanownych Czytelników,
że w internetowej wersji kwartalnika znaleźć można:

- spis treści ostatniego wydania
- wersję elektroniczną kwartalnika w formacie PDF
- aktualne informacje PSWNA
- podstawowe informacje o wydawcy, redakcji oraz adresy kontaktowe

Zapraszamy!

Czasopismo jest wspomagane finansowo przez:

LOTOS Asfalt GRUPA

PSWNA
Polskie Stowarzyszenie Wykonawców Nawierzchni Asfaltowych

NAWIERZCHNIE ASFALTOWE

Kwartalnik

Polskiego Stowarzyszenia Wykonawców Nawierzchni Asfaltowych

ASPHALT PAVEMENTS

Quarterly

of the Polish Asphalt Pavements Association

Polskie Stowarzyszenie Wykonawców Nawierzchni Asfaltowych dzia a od 1999 r., a od 2000 r. jest członkiem EAPA (Europejskiego Stowarzyszenia Nawierzchni Asfaltowych).

Celem PSWNA jest promowanie nawierzchni asfaltowych, rozwój technologii nawierzchni podatnych, a także transfer wiedzy i informacji w środowisku drogowym w Polsce. Stowarzyszenie zrzesza osoby prawne i fizyczne zainteresowane rozwojem nawierzchni asfaltowych w Polsce.

WYDAWCA

Polskie Stowarzyszenie Wykonawców Nawierzchni Asfaltowych
02-261 Warszawa, ul. Trojańska 7
tel./fax (48 22) 57 44 374
tel. (48 22) 57 44 352
e-mail: biuro@pswna.pl

REDAKCJA

Maria Jóźwiak – Redaktor Naczelny
Hanna K. Walęcka

Adres Redakcji:
02-261 Warszawa, ul. Trojańska 7
tel./fax (48 22) 57 44 374
tel. (48 22) 57 44 352
e-mail: biuro@pswna.pl
www.pswna.pl

ISSN 1734-1434

Mieszanki mineralno-asfaltowe na ciepło: najlepsze praktyki

Brian D. Prowell*, Graham C. Hurley*, Bob Frank*

Pod taki tytułem ukazała się najnowsza wersja podręcznika technicznego, opublikowanego przez NAPA (Krajowe Stowarzyszenie Wykonawców Nawierzchni Asfaltowych w USA). Na podstawie nowo wydanej, drugiej edycji tej publikacji, w artykule, który ukazał się w czasopiśmie *Hot Mix Asphalt Technology* – maj/czerwiec 2011 r., autorzy przedstawili w zarysie 10 udokumentowanych korzyści ze stosowania tej technologii.

Od chwili wprowadzenia na rynek mieszanek mineralno-asfaltowych wytwarzanych na ciepło, zaledwie osiem lat temu, ich zastosowanie szybko się zwiększało.

Zainteresowanie branży mieszankami mineralno-asfaltowymi produkowanymi i wbudowywanymi na ciepło (ang. WMA – *Warm Mix Asphalt*) koncentrowało się początkowo na poprawie warunków pracy w miejscu układania nawierzchni i obniżeniu emisji gazów cieplarnianych. WMA zapewniały te korzyści, ale wykonawcy nawierzchni odkryli także szereg innych zalet tej technologii, które przyczyniły się do szybkiego jej wdrażania. Każda z tych 10 korzyści omówiona jest szczegółowo poniżej.

1. Pomoc w zagęszczaniu

Mieszanki mineralno-asfaltowe zawierające wysoko modyfikowane lepiszcza, dużą ilość destruktu asfaltowego z nawierzchni drogowych (ang. RAP – *reclaimed asphalt pavement*) lub recyklingowanych gontów bitumicznych (*ang.* RAS – *reclaimed asphalt shingles*)* oraz mieszanki specjalne, takie jak mieszanka mastyksowo-grysowa (SMA), charakteryzujące się wyższą sztywnością i stosunkowo dużymi oporami przy zagęszczaniu.

Trudność z zagęszczaniem może doprowadzić do wystąpienia w nawierzchni miejsc o zaniżonym wskaźniku zagęszczenia i możliwości nałożenia kar na wykonawcę. W efekcie, wykonawcy mogą dążyć do podwyższenia temperatury układanej mieszanki mineralno-asfaltowej (mma), tak aby zapewnić właściwe zagęszczenie. Nawet jeśli osiągnięte zostanie wymagane zagęszczenie, to niezbędna do tego praca maszyn zagęszczających może spowodować nadmierne rozdrobnienie kruszywa lub inne uszkodzenie warstwy asfaltowej. Zastosowanie technologii mieszanek na ciepło wspomaga proces zagęszczania sztywniejszych mma. Początkowo niektóre rozwiązania technologiczne dzisiaj nazywane „mma na ciepło" były stosowane w celu obniżenia sztywności układanych mma w standardowych zakresach temperatury technologicznej.

Odnotowano liczne przykłady wykorzystania technologii WMA do wspomagania zagęszczania. Department Transportu w stanie Massachusetts zaleca obecnie stosowanie technologii na ciepło do produkcji wszystkich mieszanek gumowo-asfaltowych o nieciągłym uziarnieniu.

W USA przy realizacji kilku dużych kontraktów drogowych zastosowano około 1% dodatku Sasobit, przede wszystkim w mieszankach mineralno-asfaltowych z wysoko modyfikowanymi lepiszczami asfaltowymi (PG 82-22 i PG 82-28). Temperatura zagęszczania nie przekraczała 150°C i we wszystkich przypadkach zagęszczanie zakończyło się sukcesem. Substancja Aspha-min była stosowana do poprawy urabialności porowatych mieszanek mineralno-asfaltowych w obszarach wymagających prac ręcznych.

2. Wykonywanie nawierzchni w niskiej temperaturze otoczenia

Technologia mieszanek mineralno-asfaltowych na ciepło umożliwia układanie ich w obniżonej temperaturze otoczenia, a tym samym pozwala na wydłużenie sezonu robót drogowych w chłodniejszych porach roku. Dzieje się tak za sprawą trzech czynników. Po pierwsze – dodatki lub procesy produkcji WMA poprawiają zagęszczanie w każdej temperaturze. Po drugie – WMA może być zagęszczana w niższej temperaturze w porównaniu do mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco. Po trzecie – szybkość schładzania zależna jest od różnicy pomiędzy temperaturą otoczenia i temperaturą mieszanki, co oznacza, że mieszanka wytworzona w niższej temperaturze będzie schładzała się wolniej.

Program komputerowy MultiCool dostępny bezpłatnie na stronie www.hotmix.org, pozwala zademonstrować oddziaływanie WMA na prędkość schładzania. Program MultiCool został wykorzystany w celu określenia niezbędnego czasu, aby mieszanka schłodziła się z temperatury, w jakiej została dostarczona do temperatury 75°F (42°C), przy następujących założeniach:

- ❖ niezmienna temperatura otoczenia,
- ❖ trzy wartości temperatury dostawy mieszanki: 163, 135, 107°C.

Obliczono trzy różne czasy stygnięcia mma do temperatury 42°C: 5, 7 i 12 minut. Przy zastosowaniu technologii spieniania o zalecanej temperaturze zagęszczania 107°C, czas zagęszczania byłby dłuższy niż w przypadku zastosowania mma na gorąco (zagęszczanie w temperaturze 163°C). Innym wyjściem byłoby zastosowanie jednej z technologii WMA, przy jednoczesnym dostarczaniu mieszanki o temperaturze jak dla standardowej mma. Zapewniłoby to dłuższy czas zagęszczania, ponieważ końcowa temperatura zagęszczania byłaby niższa niż dla standardowych mma.

W roku 2007 zorganizowano wyjazd drogowców z USA do Europy w celu rozpoznania tendencji i doświadczeń europejskich. Zaprezento-

* *Brian D. Prowell, Ph. D., P. E. – Principal Engineer at Advanced Materials Services LLC.*
* *Graham C. Hurley, P. E. – Project Engineer at Advanced Materials Services LLC.*
* *Bob Frank – Cunsulting Enginee at Compliance Monitoring Service.*

* W USA technologia pokryć dachowych obiektów zabudowy mieszkaniowej to w przeważającej części stosowanie bitumicznych gontów papowych. Bardzo duża ilość takich materiałów zdejmowanych jest z dachów w czasie remontów. Materiały te, o wysokiej zawartości lepiszcza, często są dostarczane do wytwórn idrogowych mieszanek mineralno-asfaltowych.

Przykład układania WMA w niskiej temperaturze otoczenia (stan Nowy Jork, listopad 2007 r.

wano wyniki badań nawierzchni wykonanych w Niemczech przy wykorzystaniu kilku różnych technologii WMA w zakresach temperatury otoczenia pomiędzy -3 a 4°C. Lepsze zagęszczenie warstwy osiągnięto w technologii WMA w porównaniu do technologii na gorąco przy tej samej lub mniejszej liczbie przejazdów walca.

Kolejnym przykładem wykonywania nawierzchni w niskiej temperaturze otoczenia, z użyciem WMA z dodatkiem Sasobit, były roboty prowadzone w listopadzie 2007 r. w stanie Nowy Jork. Odczuwalna temperatura otoczenia w czasie prac drogowych wynosiła około 0°C i występowały silne podmuchy chłodnego wiatru. Pomyślnie wykonano nawierzchnię z zastosowaniem asfaltu PG 82-28. W podobnych warunkach atmosferycznych (styczeń-luty) wykonano w Południowej Karolinie nawierzchnię asfaltową z wykorzystaniem lepiszcza PG 82-22. Osiągnięto założone zagęszczenie z zawartością wolnych przestrzeni około 6%.

Należy zachować ostrożność podczas doboru wartości temperatury technologicznej (wytwarzania i końcowej fazy zagęszczania) mma stosowanych w niskich zakresach temperatury otoczenia, podobnie jak w przypadku mieszanki na gorąco, wraz ze spadkiem temperatury otoczenia konieczne jest podniesienie temperatury wytwarzania mma. Okres półtrwania spienionego asfaltu jest generalnie związany z temperaturą lepiszcza/mieszanki: wyższe temperatury dają w efekcie krótszy okres półtrwania. Okres półtrwania definiowany jest jako czas, w jakim dana objętość piany zmniejsza się o połowę. Jednakże eksperyment przeprowadzony przez Nippo Corporation, dużego japońskiego wykonawcę nawierzchni asfaltowych, wskazuje, że systemy mechanicznego spieniania zapewniają korzyści pod względem zagęszczania w stosunku do niespienionej mieszanki na gorąco nawet w temperaturze produkcyjnej typowej dla mieszanki na gorąco.

3. Transport mieszanki mineralno-asfaltowej na duże odległości

Podobnie do wydłużenia sezonu prowadzenia prac drogowych poprzez zastosowanie technologii mieszanek na ciepło, problem transportu mma na duże odległości może być rozwiązany dzięki obniżonej szybkości schładzania WMA i lepszemu zagęszczaniu w niższych zakresach temperatury.

Jednym z pierwszych doświadczeń dotyczących udanego zastosowania WMA w transporcie mma na dłuższych dystansach był projekt „Otwarty Dom" wykonany w stanie Ohio w 2006 roku. Mieszanki WMA, wytworzone przy wykorzystaniu trzech różnych technologii były transportowane przez godzinę a następnie wbudowane w torze badawczym do przyspieszonych obciążeń nawierzchni (ang. *accelerated pavement testing facility*) na terenie Ohio University.

W 2008 roku Kalifornijski Departament Transportu (Caltrans) zastosował mieszankę WMA na czterech realizacjach w północnej Kalifornii, rozwiązując jednocześnie problem długodystansowego transportu mma przy niskiej temperaturze otoczenia i zastosowaniu lepiszczy modyfikowanych polimerami. Mieszanka była transportowana od jednej do trzech godzin. Wykonano mma na ciepło typu beton asfaltowy i asfalt porowaty. Ze względu na niską temperaturę otoczenia i transport na długich dystansach, na mma w pojazdach ciężarowych powstała skorupa. Podczas przeładunku mma skorupa popękała na bryły. W dwóch realizacjach, w których pojazdy typu *„shuttle buggy"* (służące do podgrzewania i ujednorodniania mma) nie były wykorzystywane, część materiału została zakwalifikowana jako odpad z powodu zbrylenia. Potwierdzono odpowiednie zagęszczenie mma. Możliwa była dalsza redukcja temperatury nawet o 14°C, a zagęszczanie uległo poprawie. Właściwości wykonanej nawierzchni były dobre.

Teksaski oddział firmy Lane Construction Corp.'s wbudował 17 tys. ton mieszanki typu WMA przy wykorzystaniu dodatku Evotherm DAT. Mma wbudowano w parku stanowym Lake Mineral Wells w stanie Teksas w okresie zimowym listopad 2008 – marzec 2009. Realizacja wymagała dowozu mma na odległość 96 km. Mieszanka WMA wytwarzana była w temperaturze 121°C i zagęszczana w temperaturze około 107°C. Uzyskano warstwę o zawartości wolnych przestrzeni poniżej 6,5%.

W 2010 r. Departament Transportu stanu Rhode Island zlecił wykorzystanie mieszanki na ciepło w celu przyspieszenia układania nawierzchni na wyspie (Block Island). Realizacja wymagała dwugodzinnego dojazdu z mieszanką, w tym jednej godziny transportu pojazdów z mma na promie. Mma modyfikowana była dodatkiem Advera WMA.

Stwierdzono, że po dotarciu na miejsce wbudowania mma charakteryzowała się wysoką urabialnością, a uzyskane zagęszczenie korzystnie przekraczało wymaganą wartość.

4. Wykorzystanie większej ilości procentowej destruktu asfaltowego (RAP)

Technologie produkcji i wbudowywania mieszanek mineralno-asfaltowych na ciepło mogą w kilku aspektach być korzystne również w przypadu wytwarzania mma z dużą zawartością destruktu asfaltowego. Po pierwsze – obniżona lepkość asfaltu wspomaga zagęszczanie nawierzchni. Po drugie – skrócone starzenie lepiszcza asfaltowego, będące efektem niższych zakresów temperatury produkcji, może pomóc w „odmłodzeniu" lepiszcza w RAP, szczególnie wrażliwości na spękania niskotemperaturowe.

W Holandii zarówno mieszanki mineralno-asfaltowe na gorąco, jak i z użyciem asfaltu spienionego (nie wykorzystywany w USA proces LEAB (ang. *Low Energy Asphalt Concrete*), są powszechnie wytwarzane z 50% udziałem destruktu. W Niemczech w 2007 r. przeprowadzono próby terenowe wykonania nawierzchni z mma z dodatkami Aspha-min i Sasobit zawierających 90-100% RAP.

W USA przeprowadzono próby terenowe z wykorzystaniem kilku technologii WMA, w których ilość destruktu asfaltowego wynosiła od 20 do 50%. Firma Boggs Paving Inc. wyprodukowała 15 tys. ton WMA z zawartością 50% RAP na potrzeby projektu pokazowego w hrabstwie York w stanie Południowa Karolina. Mieszankę wytworzono w wytwórni Astec Double Barrel Green. Temperatura produkcji wynosiła 132°C.

Badania prowadzone w USA w ramach krajowego programu badawczego 9-43 (*NCHRP – National Cooperative Highway Research Program 9-43*) wskazują, że starzone lepiszcze pochodzące z destruktu asfaltowego miesza się z kruszywem dodanym w zakresie temperatury otaczania powyżej temperatury PG dla zakresu temperatury dodatniej. Badania wykazały, że dodatnia temperatura PG dla destruktu asfaltowego wynosi zwykle PG 82 do PG 94. Z tego powodu minimalna temperatura otaczania wynosi około 82 – 94°C. Ponadto przy typowej redukcji temperatury wytwarzania WMA (około 28°C), ujemna temperatura PG zostaje poprawiona o około 6°C. Umożliwia to dodanie dodatkowych 10% destruktu do mma bez konieczności zmiany klasy lepiszcza rodzimego.

5. Mniejsze ograniczenia środowiskowe i możliwość prowadzenia prac w obszarach o niewłaściwej jakości otaczającego powietrza

W niektórych obszarach USA toczy się poważna batalia o dotrzymanie krajowych norm jakości powietrza w zakresie różnych zanieczyszczeń, takich jak pyły o wymiarze poniżej 2,5 mikrometra (ang. *fine particulate matter* PM2.5), tlenki azotu, ozon (tritlen O-3) czy dwutlenek siarki. Obszary te określane są jako obszary o niewłaściwej jakości otaczającego powietrza. Instytucje lokalne muszą opracowywać ogólne plany obniżania emisji zanieczyszczeń, a szczególnie dotyczy to dni, w których odpowiednia jakość powietrza nie jest osiągana.

Choć Amerykańska Agencja Ochrony Środowiska (*Environmental Protection Agency*) nie uznaje wytwórni drogowych mieszanek mineralno-asfaltowych za istotne źródła skażenia powietrza, a wytwórnie te ciągle obniżają emisję zanieczyszczeń poniżej poziomów dozwolonych przepisami prawa, niektóre instytucje dbające o środowisko zabraniają wytwarzania mma i wykonywania nawierzchni asfaltowych w dniach, w których odpowiednia jakość powietrza nie jest osiągana. Badania dowiodły, że emisje zanieczyszczeń z wytwórni mieszanek mineralno-asfaltowych i w miejscu prowadzenia robót drogowych związanych z wykonywaniem nawierzchni w sposób bezpośredni zależą od temperatury procesów technologicznych. Niższe zakresy temperatury produkcji w wytwórni oznaczają mniejsze zużycie paliw i obniżenie emisji zanieczyszczeń. Obniżki te mogą pomóc operatorom wytwórni w uzyskaniu zgodności z wymaganiami dotyczącymi zapewnienia jakości powietrza i umożliwić zwiększoną produkcję mieszanek mineralno-asfaltowych. Umożliwienie wykonawcom nawierzchni asfaltowych prowadzenia prac w dniach, w których odpowiednia jakość powietrza nie jest osiągana, było zachętą dla Departamentu Transportu stanu Tennessee do zbadania technologii WMA.

6. Zagospodarowanie pyłów

Tam, gdzie jest to możliwe, producenci mieszanek mineralno-asfaltowych wykorzystują pyły z odpylania kruszyw, wprowadzając je do wytwarzanych mieszanek; w niektórych przypadkach istnieje jednak konieczność ich zagospodarowania w inny sposób. Jeżeli pyły, zakwalifikowane jako odpad, nie zostaną zmieszane z wodą, to powstaje problem z ich utylizacją. Jednak zmieszanie gorących pyłów z wodą jest technicznie utrudnione. Zastosowanie technologii produkcji mieszanki mineralno-asfaltowej na ciepło umożliwia obniżenie temperatury pyłu z odpylania, a w konsekwencji zmieszanie chłodniejszego odpadu z wodą i uzyskanie łatwiejszej do zagospodarowania zawiesiny.

7. Wykorzystanie WMA w zabiegach remontowych

Niższe zakresy temperatury produkcji i wbudowywania mieszanki mineralno-asfaltowej mogą przyczynić się do poprawy komfortu jazdy pojazdów po nawierzchniach poddanych zabiegom remontowym.

Przykładem może być ocena terenowa mieszanki na ciepło przeprowadzona w St. Louis w stanie Missouri w maju 2006 r. Na drodze występowały nierówności, które, jak sądzono, były efektem zmian liniowych (pęcznienia) masy zalewowej zastosowanej do wypełnienia szczelin w warstwie wyrównawczej lub efektem działalności wilgoci w warstwie wyrównawczej. Badaniom poddano trzy mieszanki na ciepło użyte do wyeliminowania nierówności na drodze. Sądzono, iż niższa temperatura układania WMA zminimalizuje ryzyko rozszerzania się masy zalewowej lub zmniejszyć ilość pary powstającej w efekcie podgrzewania wody zgromadzonej w nawierzchni (co z kolei zapobiegnie propagacji nierówności). Po zakończeniu prac stwierdzono, że gdy temperatura mieszanki była poniżej 116°C, praktycznie nie tworzyły się nierówności. We wszystkich trzech technologiach WMA (z zastosowaniem Aspha-min, Evotherm ET i Sasobit) uzyskano odpowiednie zagęszczenie warstwy, przy mniejszym nakładzie prac niż w przypadku konwencjonalnej mieszanki na gorąco. Analizując uzyskane rezultaty, wykonawca zaproponował Departamentowi Transportu w Missouri zmianę technologii realizacji innych podobnych kontraktów na technologię WMA. Również

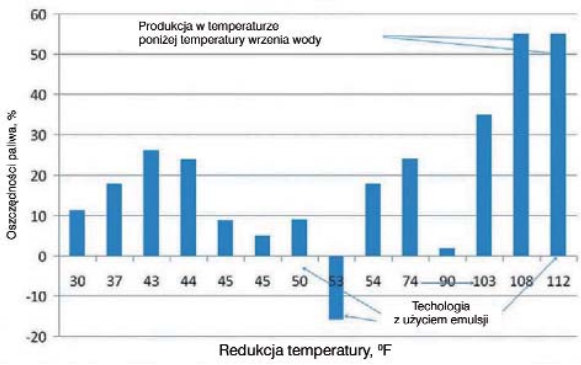
Departament Transportu stanu Teksas z powodzeniem zastosował technologię WMA w celu wyeliminowania takiego samego problemu.

Firma Payne and Dolan Inc. zaproponowała wykorzystanie technologii WMA do odnowy wierzchniej warstwy pasa startowego lotniska w West Bend w stanie Wisconsin. Na istniejącym pasie pojawiły się duże pęknięcia, które zostały uszczelnione masą zalewową zawierającą gumę. Na nawierzchni pasa startowego o szerokości 23 m ułożono mieszankę na ciepło dwoma równoległymi pasami o szerokości 11,5 m. Temperatura zagęszczania WMA wynosiła 113°C. Uzyskano bardzo wysoki stopień równości wykonanej nawierzchni.

8. Obniżone zużycie paliwa

Obliczenia teoretyczne wskazują, że obniżenie temperatury o 28°C powinno zapewnić oszczędność paliwa na poziomie 11%. Oszczędności w ilości zużywanego paliwa na różnych kontraktach wykorzystujących technologię WMA, zrealizowanych do chwili obecnej, wahały się od wzrostu o 15,4% do redukcji o 77%. Średnia oszczędność paliwa wyniosła 23%. Wzrost wystąpił w przypadku technologii z zastosowaniem emulsji i otaczania w wyższej temperaturze. Stwierdzono, że było to spowodowane zapotrzebowaniem na energię niezbędną do odparowania wody zawartej w emulsji, a następnie podgrzania mieszanki do wyższej temperatury otaczania.

Rysunek 1 przedstawia zestawienie wskazanych oszczędności paliwa na podstawie danych zebranych w ramach projektu badawczego NCHRP 9-47A. Zgodnie z oczekiwaniami, oszczędność paliwa wiąże się ze stopniem obniżenia temperatury w stosunku do mieszanki na gorąco. Literatura nie wskazywała, że analiza potencjalnej oszczędności paliwa uwzględnia zwiększony pobór energii elektrycznej. Przykładem ewentualnego zwiększenia zużycia energii elektrycznej jest wyższy wydatek energetyczny związany z pracą ładowarek łańcuchowych niezbędnych do przenoszenia mieszanek WMA do silosa magazynowego. W chwili obecnej projekt NCHRP 9-47A jest wciąż realizowany i dane dotyczące zużycia energii elektrycznej są nadal zbierane.



Rys. 1. Obniżone zużycie paliwa wskutek redukcji temperatury mieszanek

Jest ważne, aby ustawić palniki w wytwórni tak, by zapewniały wydajne spalanie przy zmienionym zestawie ustawień. Należy odnotować, że poziom oszczędności paliwa zależy od kilku czynników, takich jak redukcja temperatury w efekcie zastosowania technologii WMA, zawartość wilgoci w kruszywie oraz od konstrukcji i działania wytwórni. Przyjmuje się, że zużycie paliwa wzrasta o około 10% na każdy 1% wzrostu wilgotności kruszywa. Oszczędność paliwa mogłaby być większa (nawet 50% lub więcej) przy zastosowaniu takich procesów jak LEAB (ang. *Low Energy Asphalt Concrete*) i LEA (ang. *Low Energy Asphalt*), w których kruszywa lub ich część nie są podgrzewane powyżej temperatury wrzenia wody.

9. Obniżona emisja

W Europie prowadzone są eksperymenty z technologią wykorzystującą mma na ciepło w celu spełnienia ostrzejszych wymagań dotyczących emisji zanieczyszczeń określonych w protokóle z Kioto. Stany Zjednoczone opracowały przepisy dotyczące emisji spalin, które muszą być przestrzegane na mocy postanowień ustawy o czystości powietrza z 1990 r. Postanowienia te są w dużej mierze wprowadzane w życie poprzez plany wdrożeniowe, opracowywane przez władze stanowe i lokalne pod auspicjami Amerykańskiej Agencji Ochrony Środowiska. Ograniczenia dotyczą lotnych związków organicznych (VOC), pyłów ($PM_{2,5}$), tlenków azotu (NO_x), tlenku węgla (CO), dwutlenku węgla (CO_2), dwutlenku siarki (SO_2) i innych zanieczyszczeń, w tym tych, które określane są jako niebezpieczne zanieczyszczenia powietrza.

Obniżenie poziomu emisji składników szkodliwych poprzez zastosowanie WMA zależy od kilku czynników. Po pierwsze – rodzaj i poziom redukcji emisji będzie różny zależnie od zakresu redukcji temperatury i innych czynników operacyjnych, takich jak zastosowane paliwa, konstrukcja i działanie wytwórni, wilgotność kruszywa, użycie dodatków (np. destruktu asfaltowego). Ogólnie zatem, mniejsze zużycie paliwa w sposób bezpośredni przekłada się na niższy poziom emisji w wytwórni, ponieważ największa część emisji gazów jest efektem spalania oleju opałowego w trakcie procesów suszenia i podgrzewania. Badania wykazały również, że wzrost ilości oparów w wytwórni i na miejscu układania nawierzchni jest wykładniczo związany ze wzrostem temperatury. Niższy poziom oparów w wytwórni skutkuje obniżeniem nieprzyjemnych zapachów na jej terenie oraz zapewnia większy komfort warunków pracy pracownikom wytwórni.

Tabela poniżej przedstawia, na przykładzie kilku krajów, redukcję poziomu emisji związków szkodliwych po zastosowaniu technologii WMA. Projekt NCHRP 9-47A obejmował dane z testów emisji kominowych z 17 projektów reprezentujących sześć technologii.

Redukcja emisji związków szkodliwych w technologii WMA

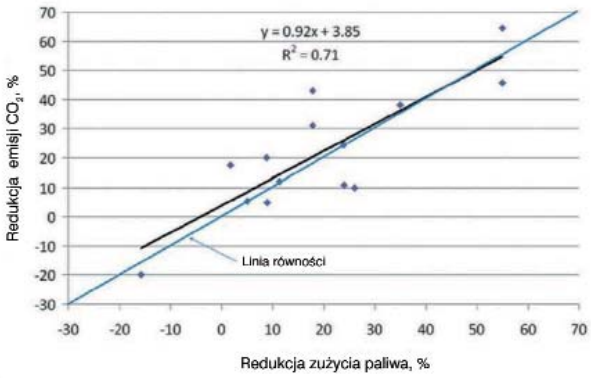
Emisja	Norwegia	Włochy	Holandia	Francja	Kanada
CO_2	31.5	30-40	15-30	23	45.8
SO_2	NA	35	NA[2]	18	41.2
VOC	NA	50	NA	19	NA
CO	28.5	10-30	NA	NA	63.1
NO_x	62.5	60-70	NA	18[1]	58.0
Dust	54.0	25-55	NA	NA	NA

[1]Zgłaszane jako NO_2
[2]Nie dotyczy (ang. *Not Applicable*)

Zebrane dane były zróżnicowane, również pod względem jakości uzyskanych wyników. Dane potwierdzają następujące tezy dotyczące korzyści ze stosowania technologii WMA:

- poziom CO_2 uległ ogólnemu obniżeniu,
- poziom NO_x uległ obniżeniu we wszystkich przypadkach,
- poziom SO_2 i VOC w pewnych przypadkach wzrósł a w innych obniżył się.

Ponieważ emisja kominowa jest w dużej mierze efektem ilości spalanego paliwa, obniżenie jego zużycia powinno spowodować obniżenie emisji CO_2. Tezę tę potwierdzają dane zebrane do chwili obecnej (rysunek 2).



Rys. 2. Zależność redukcji emisji CO_2 od obniżenia zużycia paliwa

10. Lepsze warunki pracy

Dane zebrane w czasie wyjazdu drogowców z USA do Europy wskazują, że mma na ciepło w znacznym stopniu obniża ekspozycję pracowników na opary asfaltu. Należy zauważyć, że bezpośrednie porównania danych z badań oparów i aerozoli są trudne do przeprowadzenia, ponieważ pobieranie próbek i procedura badawcza są różne w różnych krajach. Jednakże można wyciągnąć wniosek, że emisja oparów i aerozoli w przypadku WMA jest znacznie mniejsza niż w przypadku mieszanki mineralno-asfaltowej na gorąco. Dane zaprezentowane w 2006 r. przez Niemieckie Forum Asfaltowe (*niem. German Bitumen Forum*) wskazują na redukcję tych emisji na poziomie 30-50%.

W USA dane zbierano i opublikowano przy wykorzystaniu ramowych założeń oceny emisji związanej z wykonywaniem nawierzchni asfaltowych (www. warmmixasphalt. com), opracowanych przez roboczą grupę techniczna FHWA/ NAPA/ WMA/ TWG (ang. *Federal Highway Administration/National Aspahlt Pavement Assosciation/Warm Mix Asphalt/Technical Working Group*). Ocenie poddano dwa projekty wykorzystujące kilka technologii WMA. Badania higieny pracy przeprowadzono zgodnie z metodą 5042 Krajowego Instytutu Bezpieczeństwa i Higieny Pracy (ang. NIOSH – *The National Institute for Occupational Safety and Health,*). W czasie badań terenowych, próbniki zostały zamocowane w stałych punktach układarki. Choć pewne z tych punktów nie są reprezentatywne dla rzeczywistej ekspozycji pracowników, zebrane dane mogą być wykorzystane do porównania emisji z mieszanki na gorąco i mieszanki WMA. W badaniu oceniono trzy technologie produkcji mieszanek na ciepło, z zastosowaniem: zeolitu Aspha-min, dodatku Evotherm i dodatku Sasobit. Dwie technologie były analizowane w pierwszym projekcie, a trzy w drugim projekcie.

W pierwszym projekcie zakres temperatury mieszanki WMA za maszyną układającą nawierzchnię został obniżony o 17-44°C w porównaniu do mieszanki na gorąco. W technologii WMA opary asfaltu, mierzone na podstawie masy rozpuszczalnej w benzenie, zostały zredukowane średnio o 70-74%. Poszczególne redukcje w sześciu obszarach pobierania próbek wyniosły od 22 do 91%. Sporządzono cztery zbiory danych – po jednym do każdej z dwóch technologii WMA i dwa zbiory danych kontrolnych dla mieszanki na gorąco. Każdy zbiór danych obejmował wyniki dwóch osobistych próbników do pobierania próbek, noszonych przez każdego z operatorów maszyn układających mma. Siedem z ośmiu wyników z osobistych urządzeń do pobierania próbek było poniżej progu wykrywania. Ósmy wynik, na podstawie jednej próbki operatora maszyny w jednym ze zbiorów danych dotyczących mieszanki na gorąco, wyniósł 0,42 mg/m^3, czyli wciąż poniżej wartości progowej zdefiniowanej przez ACGIH (*ang. American Conference of Governmental Industrial Hygienists*) i wynoszącej 0,5 mg/m^3.

W przypadku drugiego projektu temperatura za układarką została obniżona o 29-43°C w porównaniu z referencyjną mma na gorąco. Próbniki terenowe zostały zamocowane na układarce, a dane były zbierane wg procedury opisanej powyżej. Uwzględniono zarówno całkowitą ilość masy cząsteczkowej zanieczyszczeń jak i masę rozpuszczalną w benzenie. Zastosowanie technologii WMA spowodowało średni spadek ilości masy cząsteczkowej zanieczyszczeń na poziome 67-77%. Masa cząsteczek rozpuszczalnych w benzenie spadła o 72-81% w porównaniu z mma na gorąco.

W badaniu przeprowadzonym przez Departament Transportu stanu Virginia, w próbniki osobiste zostali wyposażeni operatorzy maszyn wykonujących nawierzchnię asfaltową. Celem badania było monitorowanie ekspozycji na opary zarówno z mieszanki na gorąco jak i z WMA. W trzech z czterech próbek wyniki ilości masy cząsteczkowej zanieczyszczeń były poniżej progu wykrywania, wynik czwartej wynosił 0,35 mg/m^3, czyli znacznie poniżej zalecanej przez NIOSH wartości ekspozycji wynoszącej 5 mg/m^3. Wszystkie cztery odczyty dotyczące masy cząsteczek rozpuszczalnych w benzenie, zarówno w przypadku mieszanki na gorąco jak i WMA, były poniżej progu wykrywania detekcji.

Dodatkowe dane dotyczące higieny pracy są obecnie zbierane w ramach realizacji projektu NCHRP 9-47A. Oprócz obniżonej ekspozycji pracowników na zanieczyszczenia, mieszanki o niższej temperaturze zapewniają także bardziej komfortowe warunki pracy.

Tłumaczenie artykułu z języka angielskiego i opracowanie:
dr inż. Karol Kowalski,
Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej

Mikrodywanik – szansą na istniejące i przyszłe potrzeby w zakresie remontów

Robert Jurczak*, Wiesław Jeliński*

Wprowadzenie

Mimo, że z roku na rok rośnie liczba realizowanych inwestycji w zakresie bieżącego utrzymania sieci drogowej, to jednak jeszcze znaczna jej część wymaga natychmiastowych remontów. Nowe technologie, między innymi takie, jak mieszanki typu slurry seal i mikrodywaniki w połączeniu z łatwą dostępnością środków na cele drogowe w ramach unijnych funduszy stwarzają korzystne warunki do skutecznej poprawy stanu niektórych dróg. Liczne próby wykorzystania tych technologii jako zabiegów utrzymaniowych przedłużających żywotność istniejących nawierzchni (nawet o kilka lat) przy stosunkowo niewielkich nakładach finansowych świadczą o rosnącym zainteresowaniu wśród inwestorów takim właśnie rozwiązaniem.

Mieszanki typu slurry seal i mikrodywaniki, (czyli technologia cienkich warstw na zimno) są odpowiednie do budowy i utrzymania nawierzchni. Mogą być stosowane do wykonywania warstw ścieralnych nawierzchni obciążonych kategorią ruchu KR1-6 jako zabieg utrzymaniowy pozwalający na dalszą eksploatację nawierzchni bez konieczności wykonywania kosztownej przebudowy. Nawierzchnie tego typu można stosować również jako warstwę ścieralną przy budowie nowych dróg o kategorii ruchu KR1-3. Z kolorowych mieszanek mineralno-emulsyjnych w technologii mikrodywaników można wykonywać także nawierzchnie ścieżek rowerowych czy wydzielonych pasów do komunikacji zbiorowej. Brak doświadczeń z nawierzchniami w postaci mikrodywaników na drogach obciążonych znacznym ruchem przyczynił się do podjęcia próby wykonania w skali przemysłowej takiej nawierzchni w celu sprawdzenia jej przydatności.

Nawierzchnie z mieszanek typu slurry seal i mikrodywaniki różnią się między sobą grubością układanych warstw i wymiaru ziaren użytego kruszywa. Mieszanki typu slurry seal układane są w postaci cienkich warstw, o grubości zazwyczaj nie większej niż 5 mm i na ogół do tego typu mieszanek stosuje się emulsje na bazie asfaltów niemodyfikowanych. W przypadku mikrodywaników stosuje się natomiast kruszywo o większym wymiarze ziaren. Mikrodywaniki takie, układane są najczęściej w dwóch warstwach (nawet do 15 mm) z zastosowaniem emulsji na bazie asfaltów modyfikowanych.

Charakterystyka odcinka doświadczalnego

Na drodze krajowej nr 10 na odcinku Szczecin-Motaniec wykonano w 2010 roku odcinek doświadczalny o długości 600 m w technologii cienkiej warstwy na zimno w postaci mikrodywanika. Wykonawcą robót i producentem emulsji była lokalna firma Emulex Kalinowski Sp. z o.o., która od kilkunastu lat specjalizuje się w technologii mieszanek mineralno-emulsyjnych.

Wybrany odcinek drogi krajowej spełniał wymagania stawiane tej technologii, ponieważ istniejące uszkodzenia ograniczały się do powierzchni warstwy ścieralnej (uszkodzenia powierzchniowe takie jak: złuszczenia, ubytki ziaren i lepiszcza oraz wyboje). Również panujące duże natężenie ruchu stanowiło duże wyzwanie do zastosowania tej technologii. Średni dobowy ruch na wybranym odcinku drogi krajowej nr 10 wynosił ponad 17000 pojazdów na dobę, a udział pojazdów ciężkich 12%.

Charakterystyka mieszanki mineralno-emulsyjnej użytej do wytworzenia mikrodywanika

Mikrodywanik jest mieszanką mineralno-emulsyjną przeznaczoną do wykonywania cienkich warstw na zimno. W skład jej wchodzi mieszanka mineralna (najczęściej kruszywo łamane o dobranym odpowiednio uziarnieniu) i emulsja modyfikowana polimerem. Mieszanka uzyskuje swoje właściwości wskutek rozproszenia emulsji asfaltowej o kontrolowanym czasie rozpadu w mieszance mineralnej. Asfalt wytrącony z emulsji osadzając się w pierwszej kolejności na drobnych ziarnach tworzy mastyks, który następnie pokrywa większe ziarna i zespala całą mieszankę. Po wymieszaniu składników mieszanka jest dobrze urabialna i pozostaje płynna aż do ułożenia. Podczas układania następuje ostateczny rozpad emulsji.

Do wytworzenia mieszanki mineralno-emulsyjnej użyto kationowej emulsji asfaltowej o kontrolowanym i odpowiednio długim czasie rozpadu (wolnorozpadowej), którą dodatkowo modyfikowano lateksem. Choć powyższe określenie nie występuje już w normie PN-EN 13808 to wydaje się, że co najmniej do momentu wygaśnięcia terminów ważności aprobat technicznych będzie nadal używane. Zastosowanie odpowiedniej emulsji gwarantują uzyskanie wysokiej jakości mieszanek mineralno-emulsyjnych, a ich właściwości mogą być różne w zależności od jakości użytej emulsji. Dlatego dobierając poszczególne materiały wejściowe do produkcji emulsji w szczególności rodzaj asfaltu i emulgatora należy je starannie wybrać w zależności od wymaganych końcowych właściwości emulsji. Na drogach o dużym natężeniu ruchu zaleca się stosować asfalt drogowy 70/100. Do produkcji zastosowanej emulsji asfaltowej użyto specjalnego asfaltu Nybit E85 produkowanego przez firmę Nynas przeznaczonego wyłącznie do wytwarzania emulsji. Unikalne i niezmienne cechy produkowanych asfaltów z grupy Extra Nybit E, które gwarantują doskonałą jakość emulsji, zapewniając wyższą stabilność jej magazynowania, poprawę przyczepności do wielu rodzajów kruszyw, większą kohezję i odporność na utwardzenie fizyczne. Użyty

* *Jurczak Robert – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie*
* *Jeliński Wiesław – Nynas Sp. z o.o.*

asfalt Nybit E 85 charakteryzował się penetracją między 70 a 100 i temperaturą mięknienia PiK wyższą od 43°C. Zawartość asfaltu wytrąconego z emulsji wynosiła w mieszance 8%. Mieszanka kruszywa granitowego o ciągłym uziarnieniu do 8 mm, którą zastosowano w tym przypadku zawierało 40% kruszywa drobnego. Ze względu na dobrą adhezję emulsji kationowych do kruszywa ze skał kwaśnych nie było potrzeby stosowania jak w mieszankach mineralno-asfaltowych środków poprawiających przyczepność asfaltu do kruszywa.

Wykonanie warstwy

W przypadku wykonywania cienkich warstw na zimno podłożem jest najczęściej istniejąca warstwa ścieralna z mieszanki mineralno-asfaltowej. Wymaga to zatem sprawdzenia nośności nawierzchni i dokonania naprawy wybojów i spękań oraz otwartych spoin. W celu zapewnienia powodzenia takiego zabiegu wymagane są dobre warunki atmosferyczne podczas wykonywania warstw z mieszanek mineralno-emulsyjnych (najlepiej w okresie letnim, przed końcem września). Zdecydowanie nie można wykonywać tych robót w okresie mrozów lub przymrozków oraz w czasie opadów atmosferycznych.

W opisywanym przypadku mieszankę mineralno-emulsyjną wytwarzano na miejscu jej wbudowania w specjalnej maszynie samobieżnej, która spełniała podwójną funkcję: wytwórni i układarki. Wszystkie składniki mieszano według wcześniej ustalonej receptury w komorze mieszania pracującej w trybie ciągłym, a następnie gotową mieszankę mineralno-emulsyjną rozkładano w stanie płynnym w temperaturze otoczenia. Mikrodywanik na drodze krajowej nr 10 ułożono w dwóch warstwach na początku września 2010 r. Całkowita grubość mikrodywanika wyniosła 1,5 cm.

Pierwszą ocenę skuteczności wykonania zabiegu utrzymaniowego w postaci mikrodywanika wykonano już w maju następnego roku. Wygląd nawierzchni po ośmiu miesiącach eksploatacji (w tym okresu zimowego) przedstawiono na fotografii 1. Podczas wizji lokalnej nie zauważono żadnych niepokojących oznak za wyjątkiem drobnych uszkodzeń, które niestety nie zostały usunięte przed ułożeniem mikrodywanika.

a)

b)

Widok mikrodywanika po ośmiu miesiącach eksploatacji w tym okresu zimowego w dużym powiększeniu (a) oraz widok całej nawierzchni (b)

Mieszanki mineralno-emulsyjne w szczególności typu slurry seal i mikrodywaniki zdaniem autorów stanowią bardzo przydatny zabieg utrzymaniowy, który może znacznie przedłużyć okres użytkowania nawierzchni. Skuteczność takiego zabiegu jest największa w przypadku, gdy nawierzchnie wymagają uszczelnienia i/lub uszorstnienia, poprawy stanu powierzchni oraz powstrzymania przed dalszą degradacją nawierzchni.

Podsumowanie

Warstwy w postaci mieszanek typu slurry seal czy mikrodywaników są przede wszystkim przyjaznym środowisku i skutecznym rozwiązaniem, które znacznie wydłuża okres eksploatacji nawierzchni. Dodatkową zaletą tej technologii jest fakt, że zastosowanie kruszywa o jasnej barwie (np. granitów) powoduje mniejszą absorbcję promieniowania słonecznego przez nawierzchnię, która osiąga niższą temperaturę, co zdecydowanie korzystnie wpływa na pracę nawierzchni. Nowe technologie są złożone i wymagają właściwego stosowania w zależności od stwierdzonych przyczyn uszkodzenia i stanu nawierzchni. Stosowane w sposób rozsądny pozwalają rozwiązać wiele problemów, ale nie wszystkie. Wymagają jednak od wykonawców przestrzegania reżimów technologicznych i stosowania wysokiej jakości materiałów. Im większa różnorodność technologii tym większe prawdopodobieństwo wyboru tej właściwej, w zależności od potrzeb. Z całą pewnością podkreślenia wymagają ekologiczne aspekty stosowania mieszanek mineralno-emulsyjnych, które produkuje się w temperaturze otoczenia i na miejscu wbudowania (redukcja emisji, oszczędność czasu i energii).

Mieszanki typu slurry seal i mikrodywaniki są już w Polsce technologią coraz bardziej powszechną o szerokim spektrum zastosowania. Dowodem tego obok opisanego wyżej przykładu wykonania mikrodywanika na drodze krajowej nr 10 może być inna tegoroczna inwestycja w powiecie Żnin. Firma PBD S.A. Kalisz w trzecim kwartale bieżącego roku ułożyła na drogach powiatowych mieszankę mineralno-emulsyjną w postaci mikrodywanika o łącznej powierzchni przekraczającej ponad pół miliona metrów kwadratowych. W tym przypadku producentem emulsji wolnorozpadowej na bazie asfaltu Nybit E85 była firma Colas Polska. Niech ten przykład będzie wzorem dla innych zarządców dróg odpowiedzialnych za budowę i utrzymanie do stosowania tej technologii jako zabiegu utrzymaniowego na szerszą skalę.

W Polsce oprócz firm wymienionych wcześniej (Emulex Kalinowski Sp. z o.o. i PBD S.A. Kalisz) wykonawstwem tej technologii zajmują się takie firmy jak PI Bitunova, Gruppo Bitumi Poland, Interasphalt Sp. z o. o., Lambdar Łódz, Matrab Kraków. Biorąc pod uwagę liczbę wymienionych wyżej firm można stwierdzić, że istnieje już potencjalna baza wykonawców stosujących technologię cienkich warstw na zimno. Może i powinno stanowić to dobry początek do stosowania opisanej technologii na szerszą niż dotychczas skalę.

Jak już wspominano, ważne jest w przypadku tej technologii stosowanie materiałów spełniających najwyższe normy jakościowe, zapewnienie odpowiedniego sprzętu oraz wykonywanie robót w pełni profesjonalnie. Tylko wówczas można uzyskać warstwy nawierzchni z mieszanek mineralno-emulsyjnych charakteryzujące się odpowiednią trwałością.

Opracowanie i wdrożenie innowacyjnej, przyjaznej środowisku technologii modyfikacji asfaltów drogowych gumą

Program Operacyjny „Innowacyjna Gospodarka" 2007-2013

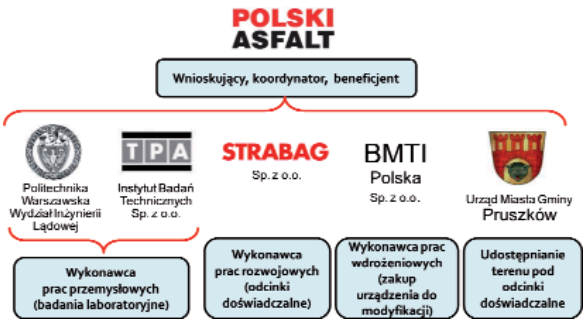
Piotr Radziszewski*, Jerzy Piłat*, Michał Sarnowski*, Karol Kowalski*, Jan Król*, Igor Ruttmar, Sebastian Witczak**, Piotr Heinrich**, Daniel Skowroński**, Zbigniew Krupa***, Mirosław Nawracaj***, Krzysztof Gil*****

Cel i założenia projektu

Projekt dotyczy innowacyjnej, przyjaznej środowisku technologii modyfikacji asfaltów drogowych dodatkiem gumy pochodzącej ze zużytych opon samochodowych.

Celem projektu badawczego jest opracowanie i wdrożenie technologii wytwarzania lepiszcza gumowo-asfaltowego oraz mieszanek mineralno-gumowo-asfaltowych (mmga) charakteryzujących się poprawionymi właściwościami reologicznymi. Opracowane rozwiązanie materiałowo-technologiczne pozwoli wykonywać nawierzchnie o zwiększonej trwałości, odporne na starzenie oraz charakteryzujące się obniżoną hałaśliwością w porównaniu z technologiami tradycyjnymi.

W procesie modyfikacji asfaltów drogowych gumą zastosowane będą dodatki wspomagające proces dewulkanizacji gumy, zawierające związki pochodzenia roślinnego. Opracowane mieszanki mineralno-gumowo-asfaltowe będą nowymi, ekologicznymi wyrobami umożliwiającymi zrównoważone gospodarowanie zasobami naturalnymi. Realizowany temat badawczy ma więc aspekt techniczny, ekonomiczny oraz ekologiczny [1].



Rys. 1. Uczestnicy projektu i ich status

Program projektu opracowano biorąc pod uwagę dorobek i doświadczenia z badań nad stosowaniem lepiszczy gumowo-asfaltowych w budownictwie drogowym w kraju [2, 3, 4] i za granicą [5, 6].

Wnioskodawcą i koordynatorem projektu jest spółka Polski Asfalt, która jednocześnie dostarcza materiały do badań oraz odpowiada za działania informacyjne i promocyjne dotyczące samego projektu jak i opracowanego w trakcie jego realizacji wyrobu. Ponadto w programie bierze udział pięciu uczestników, których przedstawiono na rys. 1 wraz z wyszczególnieniem ich statusu w projekcie.

Struktura projektu

Polska Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości (PARP) jest agencją rządową, powstałą na mocy ustawy z 9 listopada 2000 roku [7]. Zadaniem Agencji jest zarządzanie funduszami z budżetu państwa i Unii Europejskiej, przeznaczonymi na wspieranie przedsiębiorczości i innowacyjności oraz rozwój zasobów ludzkich.

W perspektywie finansowej obejmującej lata 2007-2013 Agencja jest odpowiedzialna za wdrażanie działań w ramach trzech programów operacyjnych: Innowacyjna Gospodarka, Kapitał Ludzki i Rozwój Polski Wschodniej.

Kluczową rolą Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka (PO IG) jest wsparcie rozwoju innowacyjnych przedsiębiorstw oraz konkurencyjności polskiej gospodarki [7].

Zadaniem programu jest ułatwienie dostępu do finansowania innowacyjnych przedsięwzięć podejmowanych przez małe i średnie przedsiębiorstwa. W ramach PO IG prowadzone są działania promocyjne na rzecz gospodarki, eksportu, jak i wzmocnienia wizerunku Polski, jako kraju atrakcyjnego dla inwestorów. Program ma zachęcić firmy do prowadzenia działalności badawczo-rozwojowej, transferu rozwiązań z sektora nauki do biznesu, a także pomiędzy przedsiębiorstwami, zakupów i wdrożenia wyników prac badawczo-rozwojowych, a następnie ich realizacji [7].

PARP uczestniczy w trzynastu działaniach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka. Opisywany w niniejszym artykule projekt realizowany jest w oparciu o Działanie 1.4 – 4.1.

W ramach Działania 1.4 – 4.1 realizowane są dwa etapy [7]:

- etap I – Działanie 1.4: Wsparcie projektów celowych,
- etap II – Działanie 4.1: Wsparcie wdrożeń wyników prac B+R (badawczych i rozwojowych realizowanych w ramach etapu I).

Działanie 1.4 obejmuje:

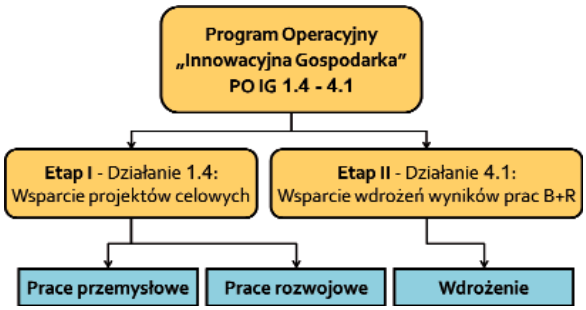
- realizację prac przemysłowych o charakterze laboratoryjnym,
- realizację prac rozwojowych mających na celu testowanie technologii w warunkach przemysłowych.

* *Piotr Radziszewski, Jerzy Piłat, Michał Sarnowski, Karol Kowalski, Jan Król – Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej*
** *Igor Ruttmar, Sebastian Witczak, Piotr Heinrich, Daniel Skowroński – TPA Instytut Badań Technicznych Sp. z o.o.*
*** *Zbigniew Krupa, Mirosław Nawracaj, Krzysztof Gil – Polski Asfalt Sp. z o.o.*

Działanie 4.1 obejmuje:

- zakup przemysłowego urządzenia do modyfikacji asfaltu gumą,
- dofinansowanie zakupu urządzenia do modyfikacji (30% kosztów zakupu),
- uzyskanie niezbędnych dopuszczeń do stosowania.

Na rys. 2 przedstawiono, w formie graficznej, strukturę realizowanego programu badawczego.



Rys. 2. Struktura projektu badawczego realizowanego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka

Realizacja prac przemysłowych przewiduje wykonanie badań laboratoryjnych lepiszczy i mieszanek mineralno-gumowo-asfaltowych w zakresie [7]:

- opracowania nowej technologii modyfikacji lepiszczy asfaltowych miałem gumowym,
- opracowania składu mmga do budowy nawierzchni o podwyższonej trwałości i odporności na starzenie w porównaniu z technologiami tradycyjnymi.

Prace przemysłowe składają się z 8 zadań szczegółowych (Z-1 do Z-8), które przedstawiono na rys. 3.

W ramach prac rozwojowych zostaną wybudowane dwa odcinki doświadczalne z mieszanek mineralno-gumowo-asfaltowych, które następnie zostaną poddane badaniom w celu oceny opracowanej technologii. Prace rozwojowe składają się z 4 zadań szczegółowych (Z-9 do Z--12), które przedstawiono na rys. 4.

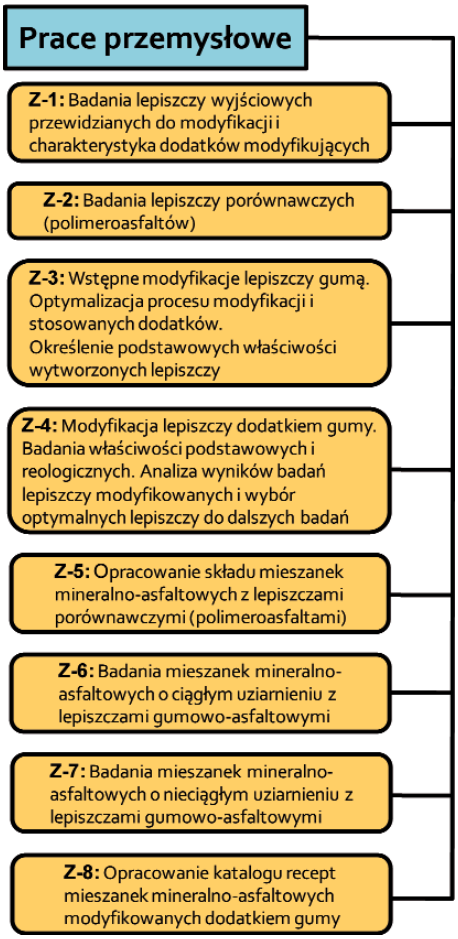
W celu wdrożenia opracowanych wyników badań planuje się [7]:

- zakup przemysłowego urządzenia do modyfikacji lepiszczy asfaltowych miałem gumowym,
- modernizację wytwórni mieszanek mineralno-asfaltowych.

Urządzenie do przemysłowej modyfikacji lepiszczy asfaltowych dodatkiem gumy będzie jednostką mobilną mogącą przemieszczać się pomiędzy wytwórniami dostosowanymi do pracy z tym urządzeniem. Modernizacja wytwórni mieszanek mineralno-asfaltowych pozwoli na uzyskanie ciągu technologicznego pozwalającego na wdrożenie innowacyjnej technologii produkcji mmga. Działania wdrożeniowe składają się z 5 zadań szczegółowych (W-1 do W-5), które przedstawiono na rys. 5.

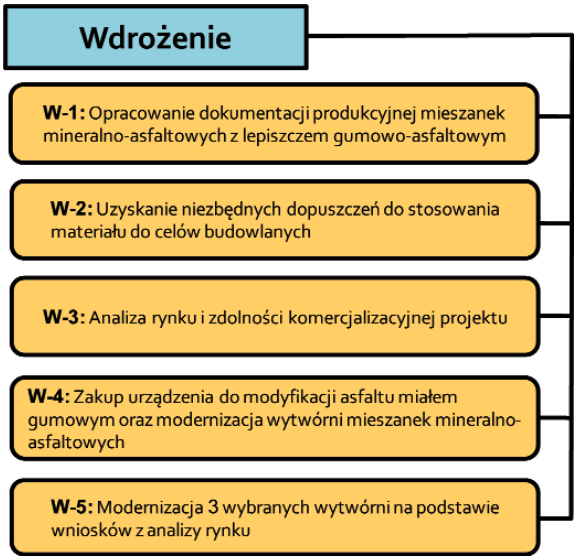
Zakup urządzenia do modyfikacji nastąpi na etapie prac przemysłowych, przed rozpoczęciem prac rozwojowych. Amortyzacja urządzenia zostanie objęta dofinansowaniem w ramach projektu, aż do momentu realizacji zadania W-4, w którym nastąpi rozliczenie zakupu.

Rzeczywistym wdrożeniem wg założeń projektu PO IG D1.4-4.1 będzie zakup przemysłowego urządzenia do modyfikacji. Założenia projektu nie umożliwiają jednak przeprowadzenia wdrożenia przed zakończeniem fazy prac badawczych, dlatego na etapie realizacji fazy badawczej urządzenie będzie podlegać amortyzacji (dofinansowanej).



Rys. 3. Etap I: prace przemysłowe – zadania szczegółowe

Rys. 4. Etap I: prace rozwojowe – zadania szczegółowe



Rys. 5. Etap II: wdrożenie – zadania szczegółowe

Stan zaawansowania projektu – prace przemysłowe

Zgodnie z harmonogramem rzeczowo-finansowym projekt znajduje się obecnie na etapie badań przemysłowych.

Jednostkami wiodącymi realizującym zadania tego etapu są Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej, Zespół Technologii Materiałów i Nawierzchni Drogowych oraz TPA Instytut Badań Technicznych Sp. z o.o.

Realizacja zadań Z-1 do Z-8 (rys. 3) przewiduje badania asfaltów wyjściowych, które będą modyfikowane gumą oraz lepiszczy porównawczych – polimeroasfaltów, których właściwości będą porównywane z właściwościami lepiszczy modyfikowanych gumą. W dalszej części etapu prac przemysłowych przewiduje się wykonanie badań mieszanek mineralno-asfaltowych z lepiszczami porównawczymi oraz z wybranymi lepiszczami gumowo-asfaltowymi.

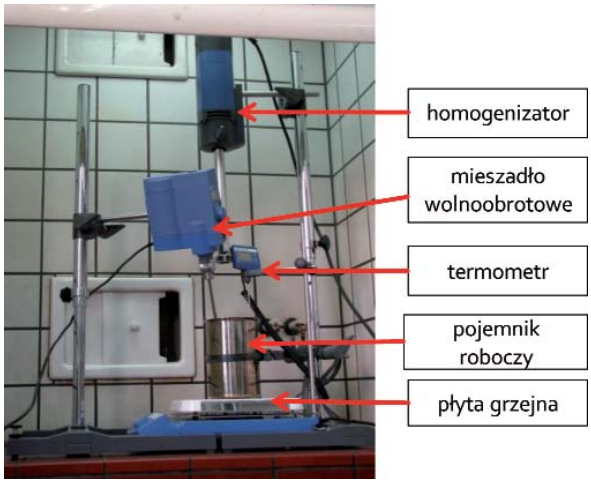
Materiały wybrane do badań lepiszczy wyjściowych, porównawczych i modyfikowanych dodatkiem gumy przedstawiono poniżej.

- Asfalty wyjściowe:
  - asfalt drogowy 50/70,
  - asfalt drogowy 70/100.
- Lepiszcza porównawcze:
  - PmB 25/55-60,
  - PmB 45/80-55,
  - PmB 45/80-65.
- Granulat gumowy:
  - 0,5/1,5 mm (G1),
  - 0,5/2,0 mm (G2).
- Miał gumowy (rys. 6):
  - 0/1,0 mm – z opon samochodów osobowych (G3),
  - 0/1,0 mm – z opon samochodów ciężarowych (G4).
- Plastyfikatory wspomagające proces modyfikacji asfaltu gumą:
  - konwencjonalny dodatek wspomagający (QT),
  - plastyfikator pochodzenia roślinnego (OR).

Fot. 1. Miał gumowy o uziarnieniu 0/1 mm

W celu przeprowadzenia modyfikacji asfaltu dodatkiem gumy zostało utworzone na Politechnice Warszawskiej laboratoryjne stanowisko do modyfikacji. W ramach projektu zakupiono a następnie dokonano rozruchu zestawu składającego się z następujących podzespołów (fot. 2):

- urządzenie dyspergujące o wysokim stopniu ścinania,
- homogenizator o zakresie prędkości 500 -10 000 obr/min,
- głowica rozdrabniająca, średnica głowicy 45 mm o zakresie rozdrobnienia minimum 25-50 mikrometrów,
- głowica rozdrabniająca, średnica głowicy 45 mm o zakresie rozdrobnienia minimum 40-100 mikrometrów,
- mieszadło wolnoobrotowe o zakresie prędkości: 50-1200 obr/min,
- termometr kontaktowy,
- pojemnik o pojemności 5000 ml,
- ceramiczna płyta grzewcza z oprzyrządowaniem.



Fot. 2. Stanowisko do laboratoryjnej modyfikacji asfaltu gumą

Stanowisko zapewnia utrzymywanie przyjętych warunków temperaturowych w trakcie modyfikacji, oraz odpowiednią wentylację, co ma duże znaczenie przy stosowaniu dodatku rozdrobnionej gumy. Spełnia ponadto wymagania bezpieczeństwa w stosunku do personelu obsługującego proces modyfikacji.

Uruchomienie stanowiska umożliwiło wykonanie próbnych modyfikacji asfaltu dodatkiem gumy. Dokonano wstępnej optymalizacji procesu modyfikacji w warunkach laboratoryjnych z uwzględnieniem zmiennych procesowych, takich jak: czas i temperatura modyfikacji oraz technologia, kolejność i czas trwania poszczególnych etapów modyfikacji, a także sposób wprowadzania dodatków modyfikujących do asfaltu.

Wykonano badania próbnych lepiszczy gumowo-asfaltowych wytworzonych w laboratorium, w zakresie podstawowych wymagań przewidzianych wobec asfaltów modyfikowanych, takich jak: konsystencja w średnich i wysokich wartościach temperatury eksploatacyjnej, konsystencja w zakresie temperatury technologicznej (lepkość) oraz stabilność magazynowania lepiszczy modyfikowanych gumą.

Wstępna optymalizacja procesu modyfikacji, oceniona na podstawie właściwości lepiszczy próbnych, umożliwiła realizację drugiej części zadania (Z-3), polegającej na wyprodukowaniu kompletu 60 lepiszczy modyfikowanych różnymi rodzajami i ilościami gumy.

Asfalty wyjściowe 50/70 i 70/100 modyfikowano następującymi ilościami dodatków w stosunku do masy asfaltu:

- ❖ dodatek gumy – 15% i 18% (m/m),
- ❖ plastyfikator – 0% i 2% (m/m).

Lepiszcza poddano następnie badaniom w zakresie podstawowych wymagań przewidzianych dla asfaltów modyfikowanych, takich jak: konsystencja w średnich i wysokich wartościach temperatury eksploatacyjnej (badania klasyfikacyjne) i badania konsystencji w zakresach temperatury technologicznej (lepkość w funkcji temperatury). Dodatkowo lepiszcza poddano zaawansowanym badaniom reologicznym w reometrze zginanej belki (BBR) i reometrze dynamicznego ścinania (DSR). Przeprowadzenie dodatkowych badań reologicznych miało na celu potwierdzenie zależności określonych badaniami podstawowymi.

Uzyskane wyniki badań kompletu lepiszczy modyfikowanych gumą, odniesione do właściwości lepiszczy porównawczych, pozwolą na wybór spośród nich czterech optymalnych lepiszczy gumowo-asfaltowych, które następnie zostaną poddane szczegółowym badaniom reologicznym.

Z wytypowanymi lepiszczami zostaną wyprodukowane próbne mieszanki mineralno-gumowo-asfaltowe, które zgodnie z wymaganiami WT-2, będą poddane badaniom użytkowym (funkcjonalnym), takim jak: odporność na koleinowanie, odporność na działanie wody (wskaźnik ITSR), badania zmęczeniowe.

Obecnie zaprojektowano i wykonano mieszanki mineralno-asfaltowe z polimeroasfaltami, które będą stanowiły mieszanki porównawcze. Rodzaje porównawczych mieszanek mineralno-asfaltowch zestawiono w tabeli 1.

Stan zaawansowania projektu – pierwsze wyniki badań lepiszczy

Wykonano następujące badania lepiszczy modyfikowanych dodatkiem gumy:

- ❖ penetrację w temperaturze 25°C,
- ❖ temperaturę mięknienia wg PiK,
- ❖ lepkość dynamiczną w temperaturze 90, 110 i 135°C,
- ❖ określenie w aparacie BBR parametru m w temperaturze -6, -12 i -18°C,
- ❖ określenie w aparacie BBR sztywności pełzania S w temperaturze -6, -12 i -18°C,

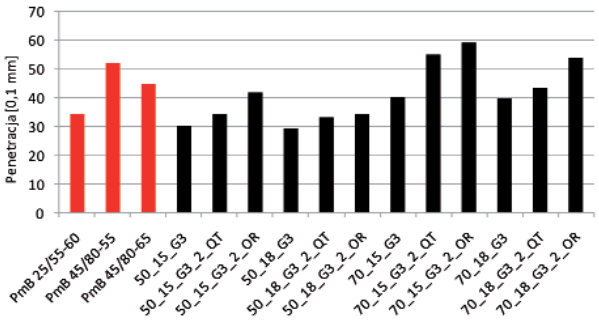
Tabela 1. Mieszanki mineralno-asfaltowe z lepiszczami porównawczymi

Rodzaj mieszanki ma	Zawartość wolnych przestrzeni Vm	Lepiszcze porównawcze
BBTM 8	3-6	PmB 45/80-55
AC 22 P	4-7	PmB 25/55-60
AC 11 S	2-4	PmB 45/80-55
BBTM 8	7-10	PmB 45/80-55
AC WMS 16	2-4	PmB 25/55-60
AC 11 S	6-9	PmB 45/80-55
AC 16 W	4-7	PmB 25/55-60
SMA 5	1,5-3	PmB 45/80-55
SMA 8	2-3,5	PmB 45/80-55
SMA 5	6-12	PmB 45/80-55
SMA 8	6-12	PmB 45/80-55
PA 8	–	PmB 45/80-55
MA 11	–	PmB 25/55-65
AC WMS 22	2-4	PmB 25/55-60

- ❖ określenie w aparacie DSR modułu zespolonego G* w temperaturze od 20 do 80°C,
- ❖ określenie w aparacie DSR kąta przesunięcia fazowego δ w temperaturze od 20 do 80°C.

Wstępne wyniki badań przedstawiono na przykładzie asfaltów modyfikowanych miałem gumowym o uziarnieniu 0/1 mm pochodzącym z opon samochodów osobowych o symbolu G3 i lepiszczy porównawczych (polimeroasfaltów). Sposób modyfikacji poszczególnych próbek przedstawiono w tabeli 2.

Na rys. 6 przedstawiono wyniki badań penetracji w temperaturze 25°C, będącej miarą konsystencji lepiszcza w pośredniej temperaturze eksploatacyjnej. Wyniki badań lepiszczy gumowo-asfaltowych modyfikowanych dodatkiem miału gumowego 0/1 mm (G3) zaznaczo-



Rys. 6. Zestawienie wyników badań penetracji w temperaturze 25°C

no kolorem czarnym a lepiszczy porównawczych (polimeroasfaltów) kolorem czerwonym.

Wyniki badań penetracji lepiszczy w 25°C (rys. 6) wyraźnie wskazują na usztywniający wpływ dodatku miału gumowego, który wzrasta wraz ze wzrostem ilości dodatku z 15 do 18%. Ponadto, zastosowanie plastyfikato-

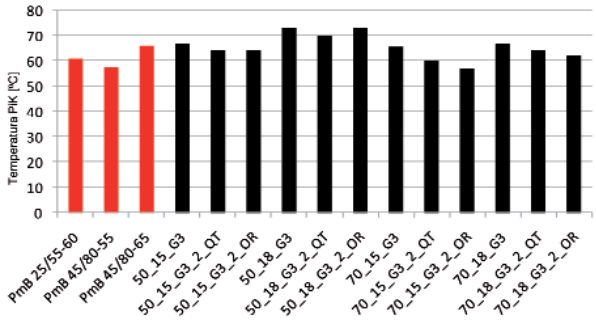
Tabela 2. Sposób modyfikacji próbek dodatkiem miału gumowego 0/1 mm o symbolu G3

Symbol próbki	Asfalt wyjściowy		Zawartość miału gumowego		Zawartość plastyfikatora		Rodzaj plastyfikatora	
	50/70	70/100	15%	18%	0%	2%	QT	OR
50_15_G3	x		x		x			
50_15_G3_2_QT	x		x			x	x	
50_15_G3_2_OR	x		x			x		x
50_18_G3	x			x	x			
50_18_G3_2_QT	x			x		x	x	
50_18_G3_2_OR	x			x		x		x
70_15_G3		x	x		x			
70_15_G3_2_QT		x	x			x	x	
70_15_G3_2_OR		x	x			x		x
70_18_G3		x		x	x			
70_18_G3_2_QT		x		x		x	x	
70_18_G3_2_OR		x		x		x		x

rów powoduje obniżenie usztywnienia lepiszczy (wzrost penetracji). Jest to jednak poziom porównywalny z wynikami penetracji polimeroasfaltów.

Spadek penetracji w temperaturze 25°C odpowiadającej średnim wartościom temperatury eksploatacyjnej, jest zjawiskiem korzystnym ze względu na spodziewany wzrost odporności lepiszczy na odkształcenia wysokotemperaturowe (koleiny).

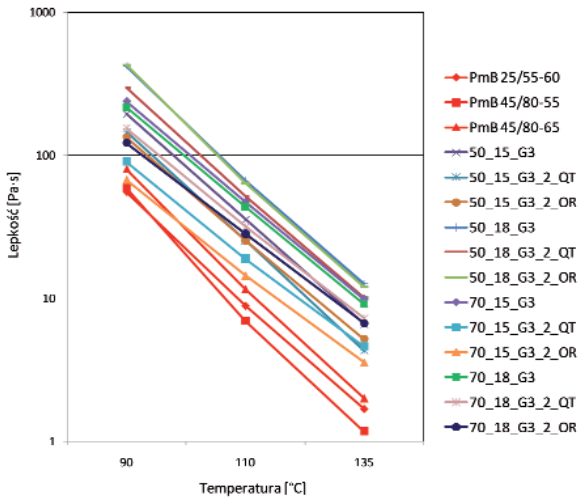
Na rys. 7 przedstawiono wyniki badań temperatury mięknienia wg pierścienia i kuli (PiK), będącej miarą konsystencji lepiszcza w wysokiej temperaturze eksploatacyjnej. Wyniki badań lepiszczy gumowo-asfaltowych modyfikowanych dodatkiem miału gumowego 0/1 mm (G3) zaznaczono kolorem czarnym, a lepiszczy porównawczych (polimeroasfaltów) kolorem czerwonym.



Rys. 7. Zestawienie wyników badań temperatury mięknienia PiK

Porównując wyniki badania temperatury mięknienia lepiszczy gumowo-asfaltowych i polimeroasfaltów stwierdzono ogólnie wyższą temperaturę mięknienia wszystkich lepiszczy modyfikowanych miałem gumowym. Powszechnie uważa się, że temperatura mięknienia lepiszcza jest wyznacznikiem odporności nawierzchni z danym lepiszczem na odkształcenia trwałe powstające w wysokich zakresach temperatury użytkowej [2]. Mając na uwadze to kryterium stwierdzono, że największą odporność na odkształcenia trwałe będą miały mieszanki mineralno-asfaltowe z lepiszczem zawierającym większą ilość dodatku gumy (18%). Dodatek 15% jest jednak wystarczający do osiągnięcia porównywalnych wyników z wynikami temperatury mięknienia polimeroasfaltów. Zastosowanie plastyfikatora w niewielki stopniu wpływa na obniżenie wartości temperatury PiK.

Na rys. 8 przedstawiono wyniki badań lepkości dynamicznej lepiszczy modyfikowanych dodatkiem miału gumowego 0/1 mm (G3) i lepiszczy porównawczych (polimeroasfaltów). Wyniki badań lepiszczy porównawczych zaznaczono kolorem czerwonym.

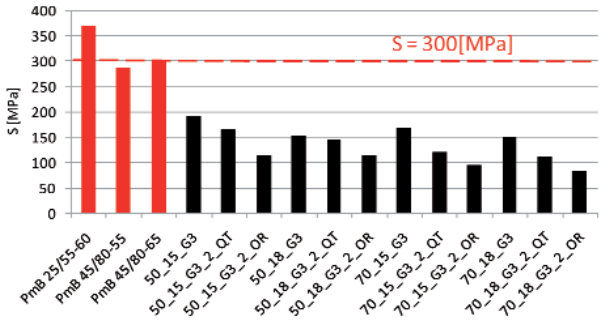


Rys. 8. Zestawienie wyników badań lepkości dynamicznej w funkcji temperatury

Analiza lepkości dynamicznej lepiszczy z dodatkiem miału gumowego (rys. 8) potwierdza znaczny wpływ zwiększenia ilości gumy na wzrost lepkości. Jednocześnie, dodatek plastyfikatora powoduje obniżenie lepkości. Lepkość najbardziej zbliżoną do lepkości polimeroasfaltów, w każdej z trzech wartości temperatury badawczej, wykazuje asfalt 70/100 modyfikowany 15% miału gumowego z 2% dodatku plastyfikatora pochodzenia roślinnego (próbka 70_15_G3_2_OR).

Na rys. 9 przedstawiono wyniki badań sztywności pełzania S lepiszczy modyfikowanych dodatkiem miału gumowego 0/1 mm (G3) i lepiszczy po-

równawczych (polimeroasfaltów) w temperaturze badania -18°C określonych w aparacie BBR. Wyniki badań lepiszczy gumowo-asfaltowych zaznaczono kolorem czarnym a lepiszczy porównawczych kolorem czerwonym.



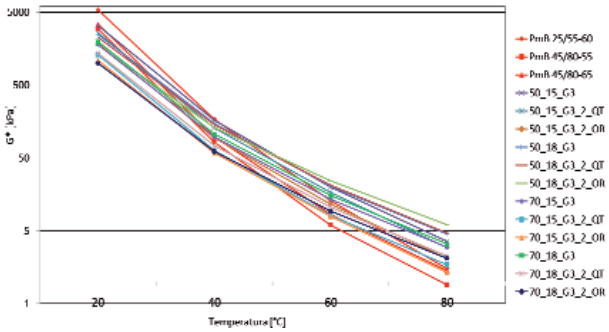
Rys. 9. Zestawienie wyników badań sztywności pełzania S w temperaturze -18°C

Powstawanie niskotemperaturowych spękań jest tym bardziej prawdopodobne im większa jest sztywność pełzania, tzn. im bardziej kruche jest lepiszcze. Mając na uwadze tę zależność, można stwierdzić, że odporniejsze na tego rodzaju spękania będą lepiszcza, których sztywność pełzania S nie osiąga wysokich wartości, szczególnie w niższych (ujemnych) wartościach temperatury badania.

Z analizy wyników badania modułu sztywności pełzania S przedstawionych na rys. 9, można wnioskować, że takie korzystne właściwości mają wszystkie lepiszcza modyfikowane dodatkiem gumy, co jest szczególnie widoczne w temperaturze badania -18°C. Powodem tego zjawiska są korzystne właściwości gumy. W ujemnej, niskiej temperaturze uwidacznia się część elastyczna sprężystości gumy, która w znacznym stopniu obniża sztywność a tym samym temperaturę krytyczną przejścia lepiszcza ze stanu lepkosprężystego w stan kruchy. Wszystkie analizowane lepiszcza gumowo-asfaltowe w temperaturze -18°C uzyskują po 60 sekundach obciążenia w reometrze zginanej belki BBR wartość parametru zmiany sztywności m > 0,3, oraz sztywność pełzania S<300 MPa z czego można wnioskować, że w tej temperaturze lepiszcza znajdują się w stanie lepkosprężystym a nie w stanie kruchym. Uzyskane wyniki sztywności pełzania są znacznie korzystniejsze od wyników lepiszczy porównawczych i spełniają wymagania programu badawczego SHRP.

Na rys. 10 przedstawiono wyniki badań zespolonego modułu sztywności G* lepiszczy modyfikowanych dodatkiem miału gumowego 0/1 mm (G3) i lepiszczy porównawczych (polimeroasfaltów). Wyniki badań lepiszczy porównawczych zaznaczono kolorem czerwonym.

Zgodnie z wymaganiami programu badawczego SHRP wartość parametru G*/sin w badaniu lepiszcza niestarzonego powinna spełniać warunek G*/sinδ ≥ 1,00 kPa [3]. Wymaganie to spełniają wszystkie lepiszcza modyfikowane dodatkiem miału gumowego nawet w najwyższej



Rys. 10. Zestawienie wyników badań zespolonego modułu sztywności G*

temperaturze badania (80°C). Z analizy wyników badań zespolonego modułu sztywności G* w zakresie wysokiej temperatury eksploatacyjnej przedstawionych na rys. 10 można wnioskować, że korzystne wyższe wartości modułu mają wszystkie lepiszcza zawierające dodatek gumy (15 i 18%). Powodem tego zjawiska są korzystne właściwości gumy. W dodatniej, wysokiej temperaturze uwidacznia się część sprężysta gumy, która w znacznym stopniu podwyższa sztywność, a tym samym temperaturę krytyczną przejścia lepiszcza ze stanu lepkosprężystego w stan lepki.

Lepiszcza gumowo-asfaltowe wykazują mniejsze nachylenie wykresu zespolonego modułu sztywności G* w funkcji temperatury niż polimeroasfalty, co potwierdza większy udział części sprężystej przy modyfikacji asfaltu dodatkiem gumy.

W temperaturze 80°C moduł sztywności G* i wyrażenie G*/sinδ przyjmują wyższe niż w przypadku polimeroasfaltów wartości przy modyfikacji asfaltu dodatkiem gumy, co może mieć korzystny wpływ na obniżenie szybkości przyrostu odkształceń nawierzchni, a tym samym wzrostu odporności na koleinowanie.

Oczekiwany efekt końcowy projektu

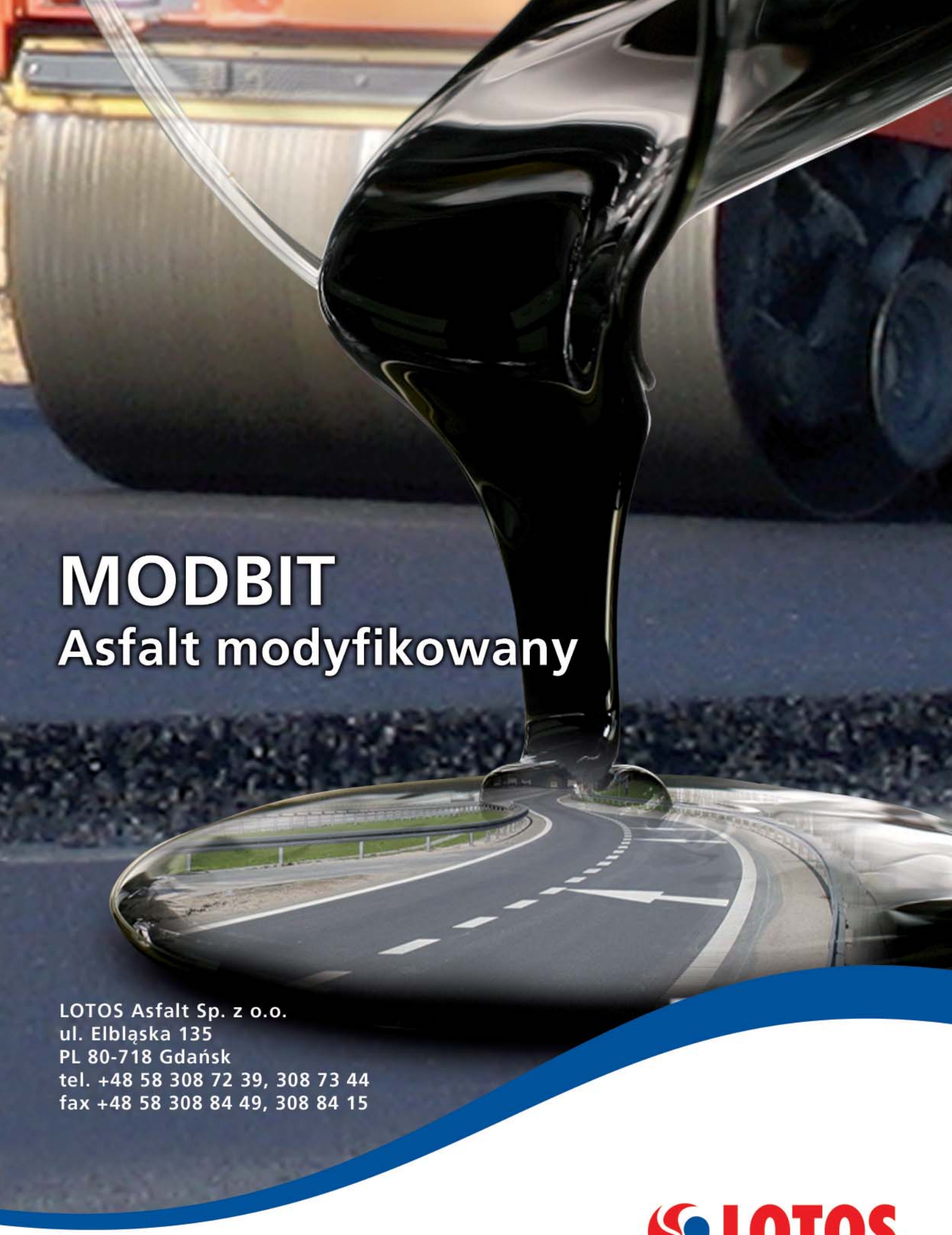
Spodziewanym efektem końcowym realizowanego projektu w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka jest:

- pozyskanie praktycznych doświadczeń z budowy odcinków doświadczalnych nawierzchni drogowych z udziałem lepiszcza gumowo-asfaltowego na terenie Polski,
- opracowanie zaleceń dotyczących wytwarzania lepiszcza gumowo-asfaltowego, produkcji mieszanek mineralno-gumowo-asfaltowych oraz wykonywania warstw nawierzchni drogowych z udziałem lepiszcza gumowo-asfaltowego,
- dostosowanie nowej, innowacyjnej technologii do obowiązującego w spółce Polski Asfalt systemu Zakładowej Kontroli Produkcji zawierającego również wymagania normy ISO 9001.

Bibliografia:

[1] Wniosek dla projektów współfinansowanych w ramach działań 1.4-4.1 z dnia 12.01.2010
[2] Piłat J., Radziszewski P.: Nawierzchnie asfaltowe, WKŁ, Warszawa 2010
[3] Gaweł I., Kalabińska M., Piłat J.: Asfalty drogowe. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2001
[4] Horodecka R., Kalabińska M., Piłat J., Radziszewski P., Sybilski D.: Wykorzystanie zużytych opon samochodowych w budownictwie drogowym. Instytut Badawczy Dróg i Mostów. Studia i materiały. Zeszyt 54, Warszawa 2002
[5] Gaweł I., Piłat J., Radziszewski P., Kowalski K., Król J.: Rubber modified bitumen – chapter 4, Polymer modified Bitumen, Properties and characterisation, Woodhead Publishing Limited, 2011
[6] CALTRANS, Asphalt rubber usage guide, Materials Engineering and Testing Services-MS #5, California Department of Transportation, 2006
[7] Dziennik Ustaw z 2000 r. Nr 109 poz. 1158. Ustawa z dnia 9 listopada 2000 r. o utworzeniu Polskiej Agencji Rozwoju Przedsiębiorczości

INNOWACYJNA GOSPODARKA
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI
PARP
UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ ROZWOJU REGIONALNEGO



MODBIT
Asfalt modyfikowany

LOTOS Asfalt Sp. z o.o.
ul. Elbląska 135
PL 80-718 Gdańsk
tel. +48 58 308 72 39, 308 73 44
fax +48 58 308 84 49, 308 84 15

LOTOS

www.lotosasfalt.pl