



Temat specjalny

# TRENDY I PRZYSZŁOŚĆ NAWIERZCHNI BITUMICZNYCH

tekst: **MARIA SZRUBA**, Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne



Historia stosowania asfaltów liczy już ok. 5 tys. lat. Począwszy od starożytności aż do dziś, dokonała się w tym zakresie prawdziwa rewolucja. Obecne nawierzchnie asfaltowe dzięki dynamicznemu rozwojowi dodatków, lepszemu materiałowi i technologii budowlanych powstają przy zastosowaniu nowych rozwiązań, za którymi idzie osiągnięcie nowych celów w zakresie trwałości budowanych dróg, zmniejszenia obciążenia dla środowiska i optymalizacji kosztów budowy.



W Polsce nawierzchnie asfaltowe stanowią 97% wszystkich nawierzchni twardych ulepszonych. Obecnie nawierzchnie asfaltowe wykonywane są z mieszanek mineralno-asfaltowych (mma) bardzo zróżnicowanych materiałowo i technologicznie. Do wykonywania warstw wiążących, wyrównawczych i podbudowy przyjęto stosowanie technologii betonu asfaltowego (AC) oraz betonu asfaltowego o wysokim module sztywności (AC WMS). W zakresie projektowania, zgodnie z metodyką podaną w normie europejskiej, w Polsce przyjęto empiryczną metodę projektowania betonu asfaltowego, a beton asfaltowy o wysokim module sztywności projektuje się metodą funkcjonalną [1].

### Historia dróg asfaltowych

Asfalt jako materiał wiążący zalicza się do najstarszych materiałów budowlanych. Samo słowo pochodzi z języka greckiego, natomiast *bitum* wywodzi się od łacińskiej nazwy *pix tumens*, oznaczającej gotującą się smołę.

Za początek rozwoju technologii stosowania asfaltów w budownictwie można przyjąć ok. 2800 r. p.n.e. Wówczas miały miejsce pierwsze zastosowania asfaltu jako lepiszcza spajającego bloki kamienne i ceramiczne. W okresie starożytnym asfalt naturalny do budowy dróg oraz różnego rodzaju uszczelnień przeciwwodnych stosowano na terenach Imperium Rzymskiego, na Bliskim Wschodzie i w Persji. Około roku 1300 podróżnik Marco Polo jako pierwszy opisał złoża asfaltów naturalnych nad Morzem Kaspijskim. Złoża asfaltów naturalnych odkryto na początku XVI w. na wyspie Trynidad, jednak eksploatację na dużą skalę rozpoczęto dopiero w wieku XIX.

W Europie, a konkretnie w Szwajcarii, ok. 1600 r. dokonano pierwszej systematyki lepiszczy, wyróżniając asfalt naturalny i smołę. Sto dwadzieścia lat później we Francji powstał Korpus Inżynierów Dróg i Mostów, a w 1747 r. w Paryżu zorganizowano pierwszą Szkołę Dróg i Mostów. Po raz pierwszy podbudowy o dużej nośności wykonane z warstw kamienia zastosował w 1765 r. w Anglii Telford. Na początku XIX w. również w Anglii John Loudon McAdam wykonał pierwsze nawierzchnie makadamowe. W pierwszej połowie XIX w. we Francji zbudowano nawierzchnię z płyt asfaltowych (na placu de la Concorde w Paryżu w 1824 r.), do warstw nawierzchni zastosowano mastyks asfaltowy (Lion, 1829) oraz ułożono pierwszą nowoczesną nawierzchnię asfaltową z przekruszonych skał asfaltowych, stosując zagęszczanie (Paryż, 1858).

Pod koniec XIX wieku w USA wynaleziono technologię przerobu ropy naftowej, co dało początek rozwojowi nawierzchni z użyciem asfaltów ponaftowych. W 1902 r. w USA do budowy nawierzchni drogowych wykorzystano ogromną jak na tamte czasy ilość lepiszcza – 20 tys. t. Maszyny do wytwarzania mma po raz pierwszy zastosowano w 1910 r.

W Polsce asfalt był stosowany na szerszą skalę dopiero po 1918 r. do budowy nawierzchni dróg międzymiastowych. Wtedy bowiem zaczęto w większym stopniu wykorzystywać asfalty ponaftowe. Dzięki przeprowadzonym w tamtym czasie w państwowej rafinerii ropy Polamin w Borysławiu pracom badawczym nad udoskonaleniem asfaltów, asfalty krajowe mogły pod względem jakości konkurować z importowanymi. W latach międzywojennych produkcja asfaltów w Polsce wynosiła kilkanaście tysięcy ton rocznie.

Duże przyspieszenie rozwoju technologii nawierzchni drogowych nastąpiło wraz z pojawieniem się polimerów do modyfi-

kacji asfaltów. Pierwszych modyfikacji asfaltów elastomerami SBS dokonano w połowie XX w. W latach 60. modyfikowanie asfaltów polimerami upowszechniło się w Europie Zachodniej i w USA. W Polsce stosowanie lepiszczy modyfikowanych polimerami na szeroką skalę rozpoczęto na początku lat 90. XX w. [2].

### Perspektywy i kierunki rozwoju

Zdaniem wielu specjalistów, przez przynajmniej najbliższych 30 lat głównymi materiałami stosowanymi do budowy nawierzchni drogowych i mostowych będą lepiszcza asfaltowe i mieszanki mineralno-asfaltowe. Ich jakość powinna być stale ulepszana, aby zapewnić większą trwałość dróg i spełnić wysokie standardy rynku w zakresie eksploatacji nawierzchni. Kwestia polepszania jakości dotyczy szczególnie asfaltów o niskich penetracjach. Ponadto eksperci postulują stosowanie na szerszą skalę asfaltów rodzaju 70/100, wielorodzajowych oraz modyfikowanych małą zawartością polimerów, których jakość i ilość dodatku powinna w większym stopniu podlegać ocenie.

W zakresie lepiszczy modyfikowanych nową technologią będą asfalty wysoko modyfikowane polimerami o obniżonej lepkości. Eksperci zalecają prowadzenie prac badawczych i wdrożeniowych nad wprowadzeniem tego rodzaju lepiszczy do budowy dróg w szczególnych warunkach klimatycznych Polski. Coraz większego znaczenia nabierają lepiszcza asfaltowe z dodatkiem rozdrobnionej gumy ze zużytych opon samochodowych z uwagi na uzyskanie dzięki temu poprawy cech technicznych oraz ze względów ekologicznych [1].

W Polsce realizowanych jest wiele projektów badawczych, których celem jest opracowanie nowych i ulepszanie już stosowanych technologii produkcji materiałów do wykonywania nawierzchni drogowych. W badania zaangażowanych jest wiele podmiotów – kilka politechnik, Instytut Badawczy Dróg i Mostów, a także ośrodki badawczo-rozwojowe oraz producenci asfaltów i mma. Wsparcia i finansowania prac rozwojowych i badań w obszarze drogownictwa udzielają wspólnie GDDKiA i Narodowe Centrum Badań i Rozwoju. Beneficjentami tych projektów są jednostki naukowe oraz przedsiębiorstwa z segmentu budowlanego, a wyniki prac przyczynią się m.in. do udoskonalenia rozwiązań w zakresie bezpieczeństwa ruchu drogowego, zarządzania ruchem drogowym oraz technik budowy dróg. Efektem projektów i badań odcinków próbnych jest sprecyzowanie wymagań technicznych, m.in. dotyczących projektowania i wytwarzania kruszyw czy mma [3].

### Nowoczesne rozwiązania materiałowo-technologiczne

Budowanie trwałych dróg z mma jest ideą, która powoduje nieustanne poszukiwanie innowacyjnych rozwiązań w tym zakresie. Jednym z przykładów takich rozwiązań jest zastosowanie asfaltu lanego, który do niedawna był wykorzystywany zwykle w warstwach dolnych nawierzchni, np. do ochrony warstwy izolacji konstrukcji mostowej. W 2013 r. po raz pierwszy w Polsce użyto go do wykonania warstwy ścieralnej nawierzchni nowego mostu drogowego przez Wisłę oraz estakady, tunelu, wiaduktu i ronda w Toruniu w celu zwiększenia bezpieczeństwa i trwałości całej konstrukcji. Zaletą asfaltu lanego jest brak wolnych przestrzeni, co gwarantuje doskonałą szczelność nawierzchni i umożliwia układanie nawierzchni bez walcowania. Układanie



fot. Hoda Bogdan, fotolia.com

materiału za pomocą rozkładarki poruszającej się po wyprofilowanym torowisku umożliwia uzyskanie jezdni o maksymalnie równej powierzchni. Z kolei wtapiany w powierzchnię asfaltu grys zwiększa szorstkość nawierzchni, a więc znacznie skraca drogę hamowania i zwiększa bezpieczeństwo ruchu, co jest szczególnie ważne na nawierzchniach mostowych, bardziej wrażliwych na niskie temperatury i częściej ulegających oblodzeniu. Warto odnotować, że technologia asfaltu lanego może przedłużyć żywotność nawierzchni nawet do 20 lat, co wpłynie na obniżenie kosztów jej utrzymania i remontów.

Kolejnym rozwiązaniem, wciąż udoskonalanym, są nawierzchnie drogowe z mma z lepiszczem asfaltowym modyfikowanym gumą. Być może w przyszłości to rozwiązanie zastąpi modyfikację polimerami. Dzięki pozyskiwaniu gumy z przeróbki zużytych opon gumowych ogranicza się zanieczyszczenie środowiska naturalnego. Granulat może być wytwarzany na dwa sposoby – metodą kriogeniczną i wówczas słabiej łączy się z lepiszczem bądź przez rozdrabnianie w warunkach atmosferycznych – uzyskiwany produkt charakteryzuje się lepszą przyczepnością do asfaltu i dlatego jest częściej stosowany. Dzięki dodatkowi miodu lub granulatu gumowego uzyskiwana nawierzchnia jest znacznie trwalsza niż na bazie asfaltów tradycyjnych. Cechuje się dużą odpornością na spękania termiczne i mechaniczne, a także na deformacje trwałe. Bardzo dobra przyczepność warstwy ścieralnej z oponami kół pojazdów samochodowych umożliwia skrócenie drogi hamowania. Lepiszczami gumowo-asfaltowymi polscy specjaliści zajmują się od ponad 30 lat, jednak dopiero od 2006 r., kiedy wprowadzono do produkcji mieszanki asfaltowe modyfikowane miodem gumowym metodą na mokro, można mówić o szybszym rozwoju tej technologii.

Innowacyjną koncepcją jest technologia budowy nawierzchni długowiecznej (*perpetual pavements*). Pomysłodawca szacuje, że dzięki jej stosowaniu żywotność nawierzchni asfaltowych wzrośnie z 20 do 50 lat przy jednoczesnym znacznym ograniczeniu kosztów remontów, sprowadzających się jedynie do okresowych napraw uszkodzeń warstwy ścieralnej. Zgodnie z zamysłem, każda warstwa ma być wykonana z mma o właściwościach odpowiednio dobranych do funkcji i oczekiwanych wymagań.

W kręgu poszukiwań specjalistów nieustannie znajdują się technologie i materiały umożliwiające budowę tzw. cichych dróg. Należą do nich np. mieszanki szczelne (drobnoziarniste sma) i mieszanki modyfikowane gumą. Głównie są to jednak mieszanki porowate, dzięki którym uzyskuje się najlepsze efekty. W IBDiM opracowano także modyfikowaną mma GUF1, zawierającą dodatek granulatu gumowego i włókien polimerowych, przeznaczoną do wykonywania warstw nawierzchni o właściwościach przeciwspekaniowych i wygłuszających. Pierwsze odcinki dróg o nawierzchni porowatej powstały w Poznaniu.

Budowa drogi to długotrwały proces, dlatego poszukuje się rozwiązań pozwalających na skrócenie tego czasu. Nawierzchnia kompozytowa typu Densiphalt może zostać oddana do użytku już po 24 godzinach. Jako górna warstwa nawierzchni asfaltowej, w której wolne przestrzenie wypełnione są zaprawą cementową, sprawdza się zarówno w przypadku nowych, jak i modernizowanych nawierzchni. Projekt mieszanki ustalany jest indywidualnie w zależności od przewidywanego obciążenia. System jest elastyczny, charakteryzuje się bardzo dobrą nośnością, odpornością na zużycie oraz nie wymaga dylatacji.

Ciekawym rozwiązaniem jest także system przeciwoblozeniowy, dzięki któremu podgrzewane podjazdy, chodniki lub ścieżki rowerowe, a nawet skrzyżowania nie są już czymś zaskakującym. Przewody grzejne oferowane w gotowych do układania zestawach grzejnych (przewód grzejny zakończony przewodem zasilającym), posiadające dużą odporność mechaniczną oraz termiczną, mogą być stosowane w miejscach narażonych na trudne warunki instalacji lub (i) pracy. Z uwagi na bardzo wysoką chwilową temperaturę ekspozycji (240 °C) instalacja przewodów jest możliwa nawet bezpośrednio w asfalcie [3].

### **Innowacje – element optymalizacji kosztów**

Firmy asfaltowe od wielu lat rozwijają swoją działalność i projektują nowe wyroby, stawiając na innowacyjność nie tylko ze względu na wymagania i oczekiwania rynku, ale po to, by je wyprzedzić. Zagadnienia innowacyjności technologicznej są ważnym aspektem funkcjonowania firm. Prowadzone w trybie ciągłym prace badawcze mają na celu rozwój technologii produkcji, sprawdzanie oferowanych produktów pod kątem cech użytkowych ważnych dla klientów oraz tworzenie nowych rodzajów asfaltów.

Wprowadzenie na rynek produktów o innowacyjnym charakterze jest w branży drogowej dużym wyzwaniem z uwagi na konieczność porozumienia rynkowego pomiędzy dostawcą materiałów, inwestorem, projektantem a wykonawcą w trudnych niejednokrotnie warunkach, gdy w przetargach publicznych stosuje się kryterium najniższej ceny, a innowacyjne produkty nie zawsze są najtańsze. Warto jednak mieć na uwadze, że



innowacje w drogownictwie to nie ryzyko, ale szansa, która może przynieść korzyści dostawcom, wykonawcom, inwestorom i użytkownikom [4].

### **Rozwiązania przyjazne dla środowiska naturalnego**

Zdaniem ekspertów, budowa nawierzchni drogowych w aspekcie ochrony środowiska i zrównoważonego rozwoju wymaga stosowania materiałów wysokiej jakości, a szczególną uwagę należy zwracać na produkowane w Polsce lepiszcza asfaltowe, które powinny spełniać wymagania zmiennych warunków klimatycznych. Do realizacji tej tezy konieczne jest jednak zwiększenie nakładów na badania naukowe oraz wprowadzenie odpowiednich mechanizmów prawno-administracyjnych. Dotyczy to także rozwiązań materiałowo-technologicznych przyjaznych dla środowiska w zakresie utrzymania i eksploatacji dróg. Powinny się one opierać na stosowaniu materiałów, które nie obniżają trwałości nawierzchni i nie szkodzą środowisku, a utrzymanie nawierzchni powinno polegać wyłącznie na mikrofrezowaniu i wykonywaniu cienkich i szorstkich dywaników.

Ekspertki zalecają stosowanie asfaltowych długowiecznych nawierzchni drogowych typu *perpetual pavements* w celu budowy nawierzchni o długim okresie eksploatacji i proekologicznym oddziaływaniu. Kolejnym rozwiązaniem przyjaznym dla środowiska naturalnego jest realizowanie inwestycji drogowych w systemie projektuj, buduj, utrzymuj, przy czym wybór zastosowanej technologii powinien być dokonany na podstawie analizy całkowitych kosztów LCA. Ponadto nawierzchnie budowane na obszarach przyrodniczo cennych powinny charakteryzować się niską emisją hałasu (stosowanie cichych technologii), bez budowania ekranów akustycznych [1].

### **Wykorzystanie maszyn**

Zasadniczym urządzeniem do produkcji mas bitumicznych jest otaczarka kruszywa, w której mieszanki asfaltobetonowe

wykonywane są zgodnie z wcześniej opracowaną recepturą. Produkcja mas odbywa się przy współdziałaniu innych urządzeń, takich jak suszarka kruszyw, dozownik wypełniacza, instalacja odpylająca, zbiorniki bitumu i wypełniaczy oraz zasobnik gotowej masy, jednak to w otaczarce dokonuje się zasadniczy etap wymieszania składników masy i końcowy proces produkcji masy bitumicznej [5]. Obecnie producenci wytwórni mma, zwanych także otaczarniami, dysponują konstrukcjami stacjonarnymi, mobilnymi i półmobilnymi.

Nowoczesne maszyny do wbudowywania mma uwzględniają wymagania ochrony środowiska oraz są zaawansowane technicznie w kwestiach sterowania procesem układania, eksploatacji i konserwacji. Znakomitą większość robót w zakresie układania mma wykonuje się za pomocą układarek, które układają warstwę na części jezdni lub na całej szerokości. Dla przyspieszenia procesu końcowego zagęszczenia układanej warstwy walcami istotne jest wyposażenie układarki w tzw. stół wysokiego zagęszczenia. Wysoki stopień zagęszczenia osiąga się przez jednoczesne zastosowanie ubijaka i wibratora, których uzupełnienie stanowi listwa dociskowa sterowana hydraulicznie [6].

Zagęszczanie mma, do czego stosuje się walce, jest czynnością, która ma ogromny wpływ na trwałość przyszłej nawierzchni. Wiąże się z tym zwiększenie nieprzepuszczalności warstwy, podniesienie nośności, zapobieganie koleinowaniu i kształtowanie struktury powierzchni.

### **Szybkie remonty**

Ponieważ obecnie w Polsce nawierzchnie asfaltowe stanowią, jak już wyżej wspomniano, 97% wszystkich nawierzchni twardej ulepszonej, sprawny system ich utrzymania, zapewniający trwałość i nośność, jest niezwykle istotny. Szczegóły napraw, remontów i zabiegów utrzymaniowych zawarto w KWRNPP [7]. W załączniku F katalogu zamieszczono karty napraw w zależności

od różnych typów uszkodzeń nawierzchni asfaltowych, których naprawę realizuje się na podstawie określonych warunków.

Do określenia zakresu naprawy i wyboru sposobu jej realizacji niezbędna jest wiedza dotycząca istniejącego i przewidywanego obciążenia ruchem drogowym, a także ocena stanu technicznego nawierzchni na podstawie wyników przeprowadzonych oględzin i badań. Kolejną ważną kwestią jest dostosowanie nośności istniejącej nawierzchni do warunków przewidywanego obciążenia ruchem, a w końcu naprawa uszkodzeń nawierzchni w zależności od ich rodzaju i genezy. Ponadto warto także rozważyć perspektywy eksploatacyjne i przewidzieć ewentualne poszerzenie przekroju poprzecznego drogi.

W przypadku remontu, a więc naprawy bez wzmocnienia, czyli bez zwiększenia nośności nawierzchni, naprawa nawierzchni może być realizowana na trzy sposoby. Sposób w głąb polega na wymianie warstw istniejącej nawierzchni bez korekty niwelety drogi. Sposób w górę to remont nawierzchni polegający na wykonaniu nakładki (jednej lub kilku warstw) o łącznej grubości poniżej 5 cm bez korekty niwelety. Z kolei sposób mieszany zakłada remont nawierzchni polegający na połączeniu wymiany istniejących warstw i dodaniu nakładki o grubości poniżej 5 cm bez korekty niwelety [8].

Zgodnie z SST [9], w przypadku remontów cząstkowych w zależności od objawów uszkodzeń stosuje się różne rodzaje zabiegów. Głębokie powierzchniowe uszkodzenia nawierzchni oraz krawędzi jezdni można naprawiać mma wytwarzanymi i wbudowywanymi na gorąco lub na zimno. Kolejna metoda to technika spryskania lepiszczem i posypania grysem o odpowiednim uziarnieniu. Remont może się także odbywać przy użyciu odpowiednich maszyn – remonterów, które wrzucają pod ciśnieniem mieszkankę grysu i emulsji asfaltowej bezpośrednio do naprawianego wyboju. Z kolei powierzchniowe ubytki warstwy ścieralnej zaleca się naprawiać mma typu *slurry seal*, mieszankami szybkowiązującymi, mma do wypełniania porów w ścieralnych warstwach nawierzchni, konfekcjonowanymi mieszankami mineralno-emulsyjnymi lub metodą powierzchniowego utrwalenia z zastosowaniem kationowych szybko rozpadających emulsji asfaltowych. Do tego typu napraw wykorzystuje się także remonterzy, które podczas przejścia spryskują nawierzchnię emulsją, rozsypują grysy i wciskają je w emulsję [9].

Obecnie dzięki zaawansowanym technologiom remonty przeprowadza się, minimalizując utrudnienia z nimi związane. Szybki czas oddawanych ponownie do użytku odcinków doceniają zwłaszcza kierowcy. I tak, na nawierzchni dróg, które z powodu małej zawartości lepiszcza lub zaprawy bitumicznej są nadmiernie porowate i nieuszczelnione lub które z powodu ich nadmiaru na powierzchni warstwy ścieralnej bądź z powodu wypolerowania ziaren grysu wykazują nieodpowiednie właściwości przeciwpoślizgowe, stosuje się warstwy nawierzchni z mieszanki mineralno-emulsyjnej na zimno. Nawierzchnie bitumiczne pokryte kilku- lub kilkunastomilimetrowym dywanikiem zaprawy przygotowywanej na miejscu naprawy mogą zostać ponownie oddane do użytku po upływie zaledwie ok. 15 minut [10].

## Podsumowanie

Rozwój budownictwa drogowego w dużym stopniu zależy od polityki władz oraz rozwoju nauki, zwłaszcza inżynierii

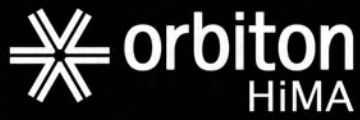
materiałowej. W przyszłości będzie się zwiększać skala wykorzystania kompozytów, od tych tradycyjnych po stosowane obecnie głównie w przemyśle kosmicznym. Z palety materiałów wiążących, wśród których zastosowywanie znajdują produkty z recyklingu, nadal wiodącą rolę będą odgrywały lepiszcza modyfikowane o wysokiej trwałości i poprawionym zakresie lepkości. Obok nich materiałami wiążącymi będą lepiszcza modyfikowane tworzywami sztucznymi oraz dodatkami chemicznymi, dopasowane w zindywidualizowany sposób do specjalnych zastosowań.

W polskich warunkach klimatycznych szczególnie istotne jest rozwijanie metod badawczych w zakresie oceny odporności materiałów konstrukcyjnych nawierzchni drogowych na niskie temperatury, ich właściwości chemicznych i strukturalnych. Wprowadzenie nowoczesnych technologii do drogownictwa wymaga zwiększenia nakładów na innowacyjne badania naukowe i ich dalszy rozwój. Konieczne są także rozwiązania wspomagające wdrożenie innowacyjnych technologii do budownictwa drogowego [1].

## Literatura

- [1] *Perspektywy i kierunki rozwoju konstrukcji oraz nowych rozwiązań materiałowo-technologicznych nawierzchni drogowych w aspekcie ochrony środowiska i zrównoważonego rozwoju. Raport końcowy.* Oprac. pod kier. prof. dr. hab. inż. P. Radziszewskiego na zlecenie GDDKiA. Warszawa 2014. Dokument dostępny online: [https://www.researchgate.net/publication/312295134\\_Perspektywy\\_i\\_kierunki\\_rozwoju\\_konstrukcji\\_oraz\\_nowych\\_rozwiazan\\_materialowotechnologicznych\\_nawierzchni\\_drogowych\\_w\\_aspekcie\\_ochrony\\_srodowiska\\_i\\_zrownowazonego\\_rozwoju\\_Raport\\_koncowy](https://www.researchgate.net/publication/312295134_Perspektywy_i_kierunki_rozwoju_konstrukcji_oraz_nowych_rozwiazan_materialowotechnologicznych_nawierzchni_drogowych_w_aspekcie_ochrony_srodowiska_i_zrownowazonego_rozwoju_Raport_koncowy) (dostęp 12 listopada 2017).
- [2] Piąt J., Radziszewski P.: *Nawierzchnie asfaltowe*. WKiŁ. Warszawa 2010.
- [3] Czernek D.: *Asfaltowe polskie drogi – jakość, ekologia, innowacje*. „Transport i Komunikacja” 2014, nr 1, s. 26–29.
- [4] *ORLEN Asfalt – liderem innowacji* (online), 29 lutego 2016. Dostępny w Internecie: <http://www.orlden-asfalt.pl/PL/Dla-Mediow/Aktualnosci/Strony/ORLEN-Asfalt-%E2%80%93-Liderem-Innowacji.aspx?pageNumber=3> (dostęp 13 listopada 2017).
- [5] Kordus K.: *Wytwórnie mas bitumicznych dla drogownictwa – problemy lokalizacji i oddziaływania na mieszkańców i środowisko*. „Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Zarządzania Ochroną Pracy w Katowicach” 2010, nr 1, s. 22–52.
- [6] Martinek W., Tokarski Z., Chojnacki K.: *Organizacja budowy asfaltowych nawierzchni drogowych*. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa 2012.
- [7] *Katalog wzmocnień i remontów nawierzchni podatnych i półsztywnych KWRNPP-2012*, IBDiM.
- [8] Rudnicki T., Wołoszka P.: *Zastosowanie technologii whitetopping w aspekcie realizacji remontów nawierzchni podatnych*. „Biuletyn Wojskowej Akademii Technicznej” 2016, nr 3, s. 111–136.
- [9] D-05.03.17 *Remont cząstkowy nawierzchni bitumicznych*, GDDKiA.
- [10] D-05.03.19 *Cienka warstwa na zimno z mieszanki mineralno-emulsyjnej (w tym slurry seal)*, GDDKiA.





ODPORNY NA NISKIE TEMPERATURY





**Inteligentne  
budowanie  
łączy ludzi.**

Budowanie z serca i umysłu. Każdy projekt jest inny - musi być zaplanowany i wykonany indywidualnie. Od wiedzy i zaangażowania każdego człowieka zależy sukces projektu. Od dziesięcioleci za PORR stoją najwyższe kompetencje we wszystkich dziedzinach budownictwa - ponieważ wiedza, zaangażowanie i dobra współpraca zawsze się opłaca. [porr-group.com](https://www.porr-group.com)

powered by

**PORR**