

AWARIE I DIAGNOSTYKA ASFALTOWYCH NAWIERZCHNI DROGOWYCH

prof. dr hab. inż. Marek Iwański,
Politechnika Świętokrzyska,
Wydział Budownictwa i Architektury
miwanski@tu.kielce.pl

Drogi jako obiekty inżynierskie liniowe, posadowione na podłożu gruntowym naturalnym lub sztucznym, nie są zaliczane do obiektów narażonych na uszkodzenia katastroficzne. Nie oznacza to jednak że nie ulegają uszkodzeniom w czasie eksploatacji. Najczęściej są to uszkodzenia nawierzchni, asfaltowych lub betonowych. W artykule przedstawiono najczęściej występujące uszkodzenia nawierzchni asfaltowych, które wpływają na ograniczenie założonego na etapie projektowania okresu ich trwałości.

Rodzaje i ocena uszkodzeń

Uszkodzenia nawierzchni asfaltowych można podzielić na dwie grupy w zależności od miejsca, w którym powstają.

Jednymi z najbardziej uciążliwych uszkodzeń, jednocześnie najtrudniejszymi w naprawie, są spękania poprzeczne – efekt uszkodzeń stabilizowanego podłoża lub podbudowy. Występują na całej szerokości jezdni, z reguły w równych odstępach.

Natomiast najczęściej występującymi uszkodzeniami powierzchniowymi nawierzchni asfaltowych są deformacje trwałe, popularnie nazywane koleinami, a także utrata wodoodporności oraz szorstkości.

W celu oceny szkodliwości powstałych uszkodzeń na nawierzchniach

Drogi są obiektami liniowymi, ich uszkodzenia mają więc inny charakter niż pojawiające się w typowych obiektach kubaturowych lub inżynierskich. W celu oceny powstałych uszkodzeń nawierzchni asfaltowych, zarówno nowych, jak i remontowanych, powinna być stosowana odpowiednia ich diagnostyka.

asfaltowych, zarówno nowych, jak i remontowanych, stosowana jest odpowiednia ich diagnostyka. W zależności od rodzaju uszkodzenia można wyróżnić diagnostykę nawierzchni polegającą na ocenie właściwości materiałowych, która jest przeprowadzana w laboratorium, oraz diagnostykę powierzchni nawierzchni, a właściwie jej warstwy ścieralnej, wykonywaną w warunkach rzeczywistych na nawierzchni drogowej.

Diagnostyka spękań poprzecznych nawierzchni

Konstrukcje nawierzchni asfaltowych wykonywane w latach 60. i 70. zawierały w dolnych warstwach materiały na bazie cementu, takie jak np. chudy beton lub grunt stabilizowany cementem. Ze względu na brak doświadczenia związanego z oddziaływaniem cementu na konstrukcyjne materiały drogowe spoiwo było stosowane w zawyżonej ilości. Panowało przekonanie, że im więcej cementu, tym mocniejsza będzie warstwa konstrukcyjna, przeniesie większe obciążenie ruchem oraz będzie bardziej trwała. W wykonywanych warstwach nie stosowano również szczelin dylatacyjnych, które w przypadku prawidłowo sporządzonego materiału nie są potrzebne. Niestety w konsekwencji dużej ilości cementu oraz tak przyjętych rozwiązań wykonawczych w dolnych warstwach konstrukcyjnych powstawały

szczeliny, które przenosiły się przez warstwy asfaltowe aż na nawierzchnię – warstwę ścieralną, tworząc tzw. spękania odbite.

W czasie remontów konstrukcji nawierzchni, w celu poprawy jej nośności oraz likwidacji spękań odbitych, stosuje się recykling głęboki na zimno, który polega na sfrezowaniu warstw asfaltowych oraz podbudowy, np. z chudego betonu lub gruntu stabilizowanego cementem, i przemieszaniu tych materiałów. Następnie wykonuje się z nich warstwę podbudowy półsztywnej w technologii z emulsją asfaltową (M-M-C-E) [1] lub asfaltem spienionym (M-M-C-As) [2]. Prawidłowe wykonanie nowej recyklingowanej podbudowy zapobiega powstawaniu spękań odbitych oraz poprawia nośność konstrukcji nawierzchni, która może przenieść większe obciążenie ruchem pojazdów.

Awaria miejskiego odcinka drogi krajowej

Po dwóch latach eksploatacji miejskiego odcinka dwujezdniowej drogi krajowej o długości 7,470 km na warstwie ścieralnej zaczęły się pojawiać spękania, które zaczynały się od środka jezdni, a następnie rozwijały ku krawężdziom.

Wykonana w trzecim roku eksploatacji analiza spękań poprzecznych wykazała, że można je sklasyfikować do dwóch grup. Pierwszą grupę sta-

nowiły spękania poprzeczne o rozwarości ponad 3,0 mm (rys. 1a), drugą grupę spękania niepełne oraz całkowite o rozwarości do 3,0 mm (rys. 1b).

Na spękaniu szerokim można było zaobserwować wykruszenia mastyksu. W celu szczególnej identyfikacji uszkodzeń nawierzchni wykonywano odwierty i pobierano próby konstrukcji nawierzchni w miejscu powstania spękań oraz w miejscach o stanie dobrym (rys. 2.).

Po analizie pobranych prób z nawierzchni stwierdzono, że grubości nowo wykonanych warstw konstrukcyjnych odpowiadają założeniom projektu. Tym samym zachowana jest przyjęta na etapie projektowania nośność konstrukcji. Jednak na remontowanym odcinku drogi nie wykonano badań nośności nawierzchni przed rozpoczęciem działań.

Szczegółowa analiza miejsc, w których wykonano odwierty, wykazała, że pozostawiono starą podbudowę wykonaną z piasku stabilizowanego cementem, której grubość pozostawała w zakresie od 15 do 17 cm. W miejscach występowania spękań na nawierzchni podbudowa z piasku stabilizowanego cementem była spękana. Wystąpiło zjawisko spękań odbitych. Powstałe spękania w warstwie podbudowy z piasku stabilizowanego cementem przenosiły się przez nowo wykonane warstwy konstrukcyjne na nawierzchnię. Wykonana nowa recyklingowana podbudowa z mieszanki M-C-E, będąca podbudową półsztywną, przez pewien okres eksploatacji nawierzchni kumulowała powstanie spękań, jednak po wyczerpaniu się jej zakresu wytrzymałości na pośrednie rozciąganie nastąpiło jej spękanie. Następnie przeniosło się przez asfaltową warstwę wiążącą na warstwę ścieralną nawierzchni.

Analiza uszkodzeń nawierzchni wykazała, że wszystkie występujące na nawierzchni (obu jezdni) spękania mają podparte krawędzie. Proces destrukcji materiałowej asfaltowych warstw konstrukcyjnych w obrębie spękania jeszcze się nie rozpoczął. Fakt ten w znacznym stopniu ułatwił przyjęcie technologii naprawy spękań nawierzchni. Zaproponowano, aby szczeliny zabezpieczyć za pomocą specjalnych wkładek z mieszanki asfaltowej, które pod ciśnieniem są montowane w odpowiednio przygotowanych spękaniach nawierzchni. Technologia zabezpiecze-



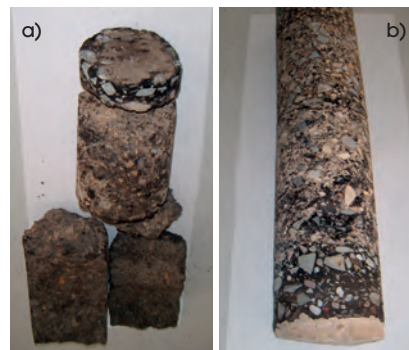
Rys. 1. Spękania poprzeczne remontowanej nawierzchni asfaltowej: a) spękanie z wykruszeniami mastyksu, b) spękanie nowo powstałe

nia spękań polegała na poszerzeniu szczeliny do szerokości ok. 20 mm, wykonaniu iniekcji z emulsji kationowej, a następnie montażu wkładki (taśmy) wykonanej z mieszanki asfaltowej.

Wypełnione szczeliny pomimo kilku lat eksploatacji nie wykazują żadnego rodzaju ubytków. Naprawa spękań zapewniła trwałość nawierzchni.

Utrata odporności na oddziaływanie wody i mrozu

W okresie gwarancyjnym na powierzchni warstwy ścieralnej odcinka drogi jednojezdniowej dwupasowej o długości 1,3 km wykonanego na wysokim nasypie pojawiły się uszkodzenia, polegające na wykruszeniu pojedynczych ziaren kruszywa oraz ubytki mastyksu, które rozwijały się z każdym rokiem eksploatacji. Wykonawca przedmiotowej nawierzchni wykonywał na bieżąco naprawy powierzchniowe uszkodzonej warstwy ścieralnej. Na zakończenie okresu gwarancyjnego inwestor



Rys. 2. Widok próbki pobranej z konstrukcji nawierzchni: a) w miejscu spękania, b) w miejscu bez spękania

postanowił dokonać oceny stanu nawierzchni, by określić jej trwałość oraz przyczyny zaistniałej sytuacji.

Inwentaryzacja uszkodzeń

Inwentaryzację uszkodzeń wykonano dla każdego pasa ruchu nawierzchni. Dokonywano oceny makroskopowej powstałych uszkodzeń na nawierzchni oraz wykonywano ich dokumentację fotograficzną (rys. 3.).



Rys. 3. Stan warstwy ścieralnej nawierzchni: a) widok uszkodzeń powierzchniowych, b) spękania i wysięk wody, c), d) naprawione powierzchnie

Na podstawie wykonanej inwentaryzacji stwierdzono występowanie 35 uszkodzeń o łącznej powierzchni 1178,7 m², co stanowi 13% całkowitej powierzchni analizowanego odcinka drogi. Uszkodzenia występują przede wszystkim w postaci rozbudowanej tekstury nawierzchni, łat o dużej powierzchni (wykonanych na zdegradowanej powierzchni warstwy ścieralnej) oraz pęknięć siatkowych z wysiękami wody, które świadczą o utracie nośności konstrukcji i zaleganiu wody w głębszych warstwach.

W czasie remontów konstrukcji nawierzchni, w celu poprawy jej nośności oraz likwidacji spękań odbitych, stosuje się recykling głęboki na zimno.

Szczególne uwagi należy zwrócić na zakres powierzchni uszkodzeń na poszczególnych hektometrach drogi. W siedmiu przypadkach powierzchnia uszkodzeń na danym hektometrze stanowi więcej niż 20%, a charakter uszkodzeń odpowiada spękanom zmęczeniowym, co może świadczyć o utracie nośności konstrukcji nawierzchni [3]. Większą powierzchnię uszkodzeń stwierdzono na stronie lewej, która jest równa 839,4 m². Jedynie w dwóch hektometrach nie stwierdzono żadnych napraw nawierzchni.

Oznaczenie grubości wbudowanych warstw asfaltowych

Podstawowym elementem sprawdzenia poprawności wykonanej nawierzchni była ocena grubości wbudowanych konstrukcyjnych warstw asfaltowych. W tym celu zostało wykonanych 12 odwiertów w miejscach wykazujących największy stopień destrukcji warstwy ścieralnej nawierzchni.

Uzyskane grubości warstw konstrukcyjnych w znacznym stopniu odbiegają od wymaganych minimalnych grubości założonych na etapie projektowania. Zakładając dopuszczalną tolerancję dla pojedynczych pomiarów jedynie w warstwie ścieralnej, wszystkie zbadane próby spełniają dopuszczalną odchyłkę. Dokonując analizy grubości całego pakietu warstw asfaltowych zgodnie z zapisami Szczegółowej Specyfikacji Technicznej, dopuszczalne jest odchylenie

grubości pojedynczych warstw o $\pm 10\%$, natomiast wymagane jest zachowanie pełnego pakietu warstw asfaltowych. W odniesieniu do warunku minimalnej grubości warstw asfaltowych równego 18 cm należy stwierdzić, że jedynie odwiert nr 2 spełnia kryterium. Natomiast pozostałe próby charakteryzują się zaniżoną grubością przy minimalnej wartości równej 14 cm dla próby nr 11.

Dodatkowo stwierdzono, że w miejscach, w których występują największe uszkodzenia, warstwy asfaltowe nie są ze sobą połączone, co wpływa w sposób negatywny na nośność konstrukcji nawierzchni.

Oznaczenie składu wbudowanych materiałów asfaltowych warstw konstrukcyjnych

W celu oceny jakości wbudowywanej mieszanki mineralno-asfaltowej (mma) wykonano oznaczenie zawartości lepiszcza rozpuszczalnego oraz składu ziarnowego mieszanek mineralno-asfaltowych. Odchylenia od składu projektowanej krzywej uziarnienia mieszanki mineralno-asfaltowej poddano ocenie w odniesieniu do wymagań przytoczonych w wytycznych WT-2 2008 [4]. Zgodnie z zapisami wytycznych WT-2 z 2008 r. ocenie poddano wartość średniej arytmetycznej uzyskanej z wytypowanych trzech próbek dla każdej analizowanej warstwy konstrukcyjnej.

Na podstawie uzyskanych wyników badań określenia zawartości asfaltu rozpuszczalnego oraz składu ziarnowego badanych mieszanek mineralno-asfaltowych można stwierdzić, że uzyskane krzywe uziarnienia ze średniej arytmetycznej nie odbiegają od projektowanych krzywych uziarnienia mieszanek mineralno-asfaltowych. W przypadku warstwy ścieralnej skład wbudowanej mieszanki mineralno-asfaltowej jest całkowicie zgodny, w granicach dopuszczalnych odchylenia, z projektowaną krzywą mma. Natomiast w przypadku warstwy wiążącej występują niewielkie przekroczenia na sicie 11,2 mm w ilości 7,1% od projektowanej mieszanki mineralno-asfaltowej. W przypadku uwzględnienia dopuszczalnej odchyłki jest to wartość 2,1%.

Oznaczenie wolnej przestrzeni

Kolejny etap badań obejmował określenie zawartości wolnej przestrzeni mieszanek mineralno-asfaltowych. Do zobrazowania zmian za-

wartości wolnej przestrzeni wykorzystano próby wytypowane jako minimalne, maksymalne i średnie (na podstawie gęstości) ze wszystkich zbadanych prób danej warstwy konstrukcyjnej. Wybór ten pozwoli na zminimalizowanie liczby badań przy zachowaniu jednorodności badanych prób. Co zostało potwierdzone badaniem ekstrakcji, na której podstawie można stwierdzić, że wszystkie próby (wytypowane) charakteryzują się zbliżonym składem mma.

Jedynie w warstwach podbudowy we wszystkich zbadanych próbach występuje wymagana zawartość wolnej przestrzeni. Pozostałe warstwy charakteryzują się zawyżoną zawartością wolnej przestrzeni.

Określenie odporności mma na działanie wody i mrozu (ITSR)

W celu oceny odporności mma na działanie wody i mrozu przeprowadzono aktualnie obowiązującą procedurę opisaną w WT-2 2010 [5]. Uzyskane wyniki badań odporności na działanie wody i mrozu pobranych materiałów warstw konstrukcyjnych nawierzchni przedstawiono w wersji elektronicznej artykułu zamieszczonej na www.buildercorp.pl.

Wykazują one, że mieszanka mineralno-asfaltowa wbudowana w warstwę wiążącą charakteryzuje się najniższą odpornością na działanie wody i mrozu. W porównaniu z warstwą ścieralną, która narażona jest na bezpośrednie oddziaływanie czynników atmosferycznych, warstwa wiążąca charakteryzuje się dużo niższym wskaźnikiem ITSR. Może to być spowodowane zbyt wysoką zawartością wolnej przestrzeni w stosunku do ilości asfaltu w składzie mma. Warstwa ścieralna charakteryzuje się zawyżoną zawartością wolnej przestrzeni, natomiast w jej składzie ścieralnej asfalt stanowi 5,9% (v/v) mma, co pozwala na zabezpieczenie jej przed negatywnym oddziaływaniem wody i mrozu.

Badanie modułu sztywności asfaltowych materiałów warstw konstrukcyjnych

Wyniki analizy wyteżenia nawierzchni przeprowadzonych przy pomocy oznaczeń modułów sztywności oraz pomiarów ugięć sprężystych nawierzchni wskazują na różnicowanie nośności nawierzchni dwóch odcinków. Obliczenia numeryczne, wykonane na podstawie modułów sztywności warstw w tem-

peraturze +23°C, takich samych, jak pomiar ugięć sprężystych, wykazały niedostateczną nośność podłoża pod warstwami asfaltowymi. Uzyskany wynik aproksymacji modułu zastępczego warstw podłoża nasypu jest niewystarczający na odcinku I i wynosi odpowiednio dla jezdni lewej $E_o = 101$ MPa i dla jezdni prawej $E_o = 118$ MPa. Jest to wartość bliska (jezdni prawa) oraz znacznie poniżej (jezdni lewa) wartości przyjętych do określenia konstrukcji typowych według zapisów zawartych w Dz.U. 1999 r. nr 43 poz. 430 Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. [6], w myśl którego nośność podłoża pod konstrukcją drogi dla ruchu wyższego niż KR2 powinna wynosić $E_o > 120$ MPa. Wartości modułów sztywności w okresie lata powinny być dla warstw asfaltowych w przedziale od 2800 MPa do 3000 MPa. Uzyskane wartości, szczególnie dla jezdni lewej odcinka I, są w większości przypadków niewystarczające. Przy interakcji dużej podatności podłoża oraz niskiej sztywności pakietu warstw asfaltowych istnieje duże prawdopodobieństwo wystąpienia spękań siatkowych i lokalnych odkształceń dużej powierzchni nasypu, a również nawierzchni asfaltowej. Taki stan rzeczy został zaobserwowany na ocenianym odcinku drogi, podczas analizy materiału pochodzącego z inwentaryzacji uszkodzeń. Na odcinku II dla obu jezdni poziom nośności nasypu okazał się dostateczny i występujące uszkodzenia mogą być spowodowane przez niedostateczną grubość pakietu warstw asfaltowych oraz wpływ dużej porowatości warstwy wiążącej, która w nawierzchni poddana jest największym naprężeniom rozciągającym.

W związku z powyższym należy dokonać redukcji wymiaru problemu do oceny trwałości zmęczeniowej warstw na odcinku I. Jest to odcinek newralgiczny, rzutujący globalnie na trwałość konstrukcji drogi i może wyjaśniać przyszłe uszkodzenia na pozostałych odcinkach.

Można zaobserwować liczne spękania zmęczeniowe oraz łaty, których w założeniu modelu, w sytuacji utraty trwałości zmęczeniowej, może być więcej niż 20%. Efekt nadmiernej deformacji podłoża gruntowego rzutuje, na podstawie inwentaryzacji uszkodzeń drogi, na odkształcenie dużej powierzchni konstrukcji

Poprawne zaprojektowanie warstw konstrukcyjnych remontowanej nawierzchni możliwe jest tylko przy prawidłowym rozpoznaniu grubości i jakości istniejących warstw konstrukcyjnych.

drogi w stosunku do projektowanej jej niwelety.

Z uwagi na fakt dużej porowatości warstwy wiążącej, wynikającej z niskiego poziomu zagęszczenia, jako wariant naprawy przyjęto rozwiązanie polegające na sfrezowaniu warstwy ścieralnej oraz wiążącej. Następnie zaleca się ułożenie warstwy geosyntetyku o wysokim module sztywności na odcinku I oraz wykonanie warstw asfaltowych o wymaganych parametrach i zgodnej ze specyfikacją grubością. Efekt geosyntetyku będzie ujawniony w momencie utraty sztywności warstw nawierzchni oraz spowoduje usztywnienie konstrukcji drogi, rozkładając deformacje podłoża na większą powierzchnię. Tym samym nastąpi redukcja naprężeń jednostkowych przekazywanych na konstrukcję nasypu. Na odcinku II drogi rekomendowano wariant polegający na sfrezowaniu warstwy wiążącej oraz ścieralnej i ponowne ich wykonanie przy zachowaniu parametrów zgodnych ze specyfikacją co do uzyskanego zagęszczenia oraz grubości pakietu warstw asfaltowych.

Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonej diagnostyki powstałych uszkodzeń nawierzchni można sformułować następujące wnioski:

- poprawne zaprojektowanie warstw konstrukcyjnych remontowanej nawierzchni możliwe jest tylko przy prawidłowym rozpoznaniu grubości i jakości istniejących warstw konstrukcyjnych,
- pozostawienie dolnych warstw konstrukcyjnych związanych cementem spowoduje powstanie spękań odbitych na remontowanej nawierzchni,
- zastosowanie nowoczesnego sprzętu laboratoryjnego pozwala na prawidłową diagnostykę w zakresie jakości wbudowanych materiałów konstrukcyjnych oraz pozwala na określenie ich prawidłowej pracy w aspekcie eksploatacji nawierzchni. ■

Streszczenie: Artykuł omawia dwie grupy uszkodzeń, jakie mogą powstawać na drogach. Do najczęściej występujących uszkodzeń w głębi konstrukcji nawierzchni zalicza się odbite spękania poprzeczne będące z reguły wynikiem pozostawienia dolnych warstw konstrukcyjnych, wykonanych z materiałów na bazie cementu. Natomiast uszkodzenia nowych nawierzchni asfaltowych to powstawanie trwałych deformacji plastycznych (kolein), utrata wodoporności oraz szorstkości. Dzięki nowoczesnej aparaturze kontrolno-pomiarowej możliwa jest szczegółowa analiza właściwości materiałowych, parametrów powierzchniowych, a tym samym prognozowanie trwałości nawierzchni asfaltowych.

Słowa kluczowe: uszkodzenia mrozowe, spękania odbite, diagnostyka, nawierzchnia

ABSTRACT. DAMAGE AND DIAGNOSIS OF ROAD SURFACES.

The article describes two groups of damage that may affect roads. The most prevalent damage inside the construction of the surface are reflected transverse cracks, being usually a result of leaving the bottom cement-based structural layers. However damage appearing on the surface of new asphalt surfaces is the formation of permanent deformations (wheel-ruts), loss of water and frost resistance, and loss of roughness. Thanks to the modern control and measurement apparatus, it is possible to profoundly analyse the material properties, surface parameters and consequently to forecast the durability of asphalt surfaces. Keywords: frost damage, reflected cracks, diagnosis, surface

Literatura:

- [1] Warunki techniczne wykonania warstw podbudowy z mieszanki mineralno-cementowo-emulsyjnej (MCE). IBDiM., Zeszyt 61, Warszawa 1999.
- [2] Iwański M., Podbudowa z asfaltem spienionym. „Drogownictwo” 3, 2006, s. 97–106.
- [3] Katalog Wzmocnień i Remontów Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych. GDDKiA.
- [4] WT2 2008. Wytyczne Techniczne 2. Nawierzchnie asfaltowe na drogach publicznych. GDDKiA, 2008.
- [5] WT2 20108. Wytyczne Techniczne 2. Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych. GDDKiA, 2010.
- [6] Dz.U. 1999 nr 43 poz. 430 Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie.