



Rys. 10.4. Widok warstwy wiążącej AC WMS 16 ułożonej w dwóch warstwach na warstwie antyzmęczeniowej AC 16 (AF) (fot. M. Sarnowski)

10.2. Nawierzchnie inteligentne

Pod pojęciem nawierzchni inteligentnych, które zmieniają swoje właściwości w kontrolowany sposób w reakcji na czynniki zewnętrzne, występują przede wszystkim nawierzchnie samonaprawialne oraz nawierzchnie wykorzystujące energię cieplną w utrzymaniu zimowym.

10.2.1. Nawierzchnie samonaprawialne

Nawierzchnie asfaltowe, poddawane wielokrotnemu obciążeniu kołami pojazdów samochodowych, ulegają spękanom wskutek zmęczenia. Spękania zmęczeniowe są wynikiem działania naprężeń rozciągających, których efektem są duże odkształcenia względne w dolnej części pakietu związanych warstw asfaltowych. W pierwszym etapie powstają spękania włoskowate, których rozwój prowadzi do wykształcenia sieci mikrospekkań, które w dalszej kolejności prowadzą do powstania makrospekkania. Na skutek wyczerpania się trwałości zmęczeniowej w dolnej strefie warstwy asfaltowej, w końcowym etapie „może nastąpić zniszczenie nawierzchni przez pęknięcie.

Podatność na spękania zmęczeniowe mieszanek mineralno-asfaltowych jest zróżnicowana i najbardziej uzależniona od rodzaju i zawartości lepiszcza asfaltowego.

Stwierdzono, że trwałość zmęczeniowa mieszanek mineralno-asfaltowych zależy również od okresów odpoczynku, jakim podlega nawierzchnia między przejazdami

kolejnych samochodów. Tłumaczy się to zdolnością do samoregeneracji (samonaprawy) lepiscza asfaltowego w okresie odpoczynku, szczególnie w podwyższonej temperaturze eksploatacyjnej [93].

Starzejące się nawierzchnie drogowe ze stwardniałym lepisczem są szczególnie narażone na powstawanie mikrospekkań i spękkań. Mikropęknięcia są rezultatem głównie utleniania się asfaltu, zmiany składu chemicznego i jego właściwości fizycznych, przy działaniu zmiennego obciążenia mechanicznego. W twardniejącym asfalcie, w coraz większej ilości powstają trwałe mikropęknięcia na skutek powolnej utraty jego naturalnej zdolności do samonaprawy oraz na skutek wzrostu kruchości asfaltu. Uszkodzenia te powodują pogłębioną penetrację powietrza w głąb warstwy asfaltowej i jej dalsze starzenie. Asfalt traci stopniowo zdolność do naturalnego uszczelniania swojej struktury. Osłabieniu ulega stopniowo wytrzymałość całej warstwy nawierzchni, staje się ona dodatkowo bardziej podatna na działanie mrozu, w chłodnym klimacie pęka, a w makroskali dalej wykrusza się i wymaga kosztownych napraw lub wręcz wymiany. Mikropęknięcia te są niewidoczne gołym okiem, ale stopniowo powiększają się, co prowadzi do utworzenia dużych uszkodzeń w strukturze kompozytu asfaltowego. Mikropęknięcia powodują zmniejszenie trwałości zmęczeniowej warstwy asfaltowej i umożliwiają większą penetrację wody do struktury nawierzchni, co przyczynia się do propagacji makropęknięć, zwłaszcza w okresie zimowym, w rezultacie cyklicznego zamrażania i rozmrażania wody. Mikropęknięcia w starzejącym się asfalcie tracą naturalną zdolność do samozamykania się.

Proces samonaprawy mikrospekkań nawierzchni asfaltowej można wspomagać przez stosowanie dodatkowych procesów technologicznych, takich jak oddziaływanie fal elektromagnetycznych [108].

Obecnie trwają intensywne prace badawcze [105], [157], [173], [174], [187], [189], [197] nad opracowaniem technologii wprowadzania do mieszanki mineralno-asfaltowej specjalnych mikrowłókien oraz mikrosfer zawierających środek naprawczy (mikrokapsulek). Wszystkie te procesy należą do technologii samonaprawy nawierzchni (ang. self-healing).

Przykładem technologii samonaprawiających się nawierzchni asfaltowych jest system opracowany w ramach 7 Programu Ramowego UE (Self-healing Asphalt for Road Pavements – SHARP, 2015-2016), realizowanego w Uniwersytecie Technicznym w Delft [183]. Dowiedziono, że kapsułki zawierające włókna alginianu sodu skutecznie dostarczą środek regenerujący do samonaprawiającego się systemu asfaltowych nawierzchni drogowych. Włókna alginianu sodu, które są naturalnymi polisacharydami, otrzymanymi z wodorostów, stworzyły fundament dla mechanizmu dostarczania i wyzwiania środka naprawczego. Gdy na jezdni pojawią się mikropęknięcia, dochodzi do naruszenia struktury kapsulek i uwolnienia środka regenerującego, który przenika do lepiscza asfaltowego, aby zasklepić szczelinę. System naprawy asfaltu okazał się niezwykle skuteczny w obszarze napraw niewielkich uszkodzeń w postaci mikropęknięć. Jednak jego możliwości w zakresie