

Nawierzchnie mostów drogowych

Nawierzchnie mostowe odgrywają szczególną rolę polegającą na zapewnieniu bezpieczeństwa i komfortu jazdy użytkownikowi oraz ochrony obiektu mostowego. Mosty projektowane są na dłuższy czas niż nawierzchnia drogowa, wobec tego należy oczekiwać, że nawierzchnia będzie kilkakrotnie wymieniana w okresie żywotności mostu.

Jakość i szczelność nawierzchni w znacznej mierze decydują o żywotności mostu. Dobrze zaprojektowana, wykonana i utrzymywana nawierzchnia mostowa nawet po trzydziestu latach eksploatacji może być w dobrym stanie, co wykazują doświadczenia szwajcarskie [1] lub niemieckie. Trwałość jest podstawowym wymaganiem wobec nawierzchni mostowej. Przykłady przedwczesnego uszkodzenia nawierzchni mostowych wskazują, że jest to trudna dziedzina działalności inżynierskiej, tym trudniejsza, że leży na pograniczu stref mostowej i drogowej. Wśród najczęstszych powodów uszkodzeń nawierzchni mostowych należy wymienić:

- niewłaściwie dobrane materiały,
- błędy wykonawstwa,
- brak właściwego utrzymania podczas eksploatacji obiektu.

Szczególne warunki obciążenia

Specyfika warunków eksploatacji nawierzchni mostowych wynika ze szczególnych obciążeń, jakim są one poddawane. Zarówno nawierzchnie drogowe, jak i mostowe poddane są obciążeniom pochodzącym od:

- ruchu pojazdów wywołującego siły pionowe i poziome,
- czynników klimatycznych i środowiskowych takich jak: woda, sól, niska temperatura.

Jednak naprężenia i odkształcenia wywoływane w nawierzchni mostowej pod działaniem tych obciążeń są z reguły większe niż w nawierzchni na korpusie drogowym.

Temperatura

Nawierzchnia mostowa w znacznie większej mierze niż nawierzchnia drogowa poddawana jest obciążeniom termicznym. Szybsze są dobowe zmiany temperatury i większy jest ich gradient. Nie ma tu bowiem łagodzącego działania korpusu ziemnego o dużej bezwładności termicznej. W przeciwieństwie do nawierzchni drogowej nawierzchnia mostowa poddawa-



Fot. 1. Nawierzchnia mostu Śląsko-Dąbrowskiego w Warszawie, pierwsza w Polsce w całości modyfikowana elastomerem SBS, rok wykonania 1993.

na jest zmianom temperatury z obu stron: od dołu, przez płytę pomostu, i od góry, w bezpośrednim styku z powietrzem. Szybkie dobowe zmiany temperatury są czynnikiem mogącym wywoływać efekt zmęczenia termicznego: powtarzające się przemienne skurcz i rozszerzanie materiału, którego skutkiem są spękania nawierzchni. Efekt ten trudno samoistnie zaobserwować, bowiem nakłada się on na zmęczenie pod obciążeniem ruchem pojazdów.

Woda i środki odladzające

Czynniki te są głównie niebezpieczne dla pomostu obiektu, lecz powodują również w połączeniu z niską temperaturą powierzchniowe uszkodzenia samej nawierzchni – ubytki kruszywa i lepizcza asfaltowego.

Obciążenie ruchem pojazdów

Obciążenia kołami pojazdów wywołują w nawierzchni naprężenia ścisające i ścinające, mogące powodować trwałe odkształcenia lepkoplastyczne nawierzchni asfaltowej. Większa sztywność podłoża nawierzchni asfal-

towej (płyta pomostu) powoduje, że takie samo obciążenie wywołuje w niej większe naprężenia, zwiększając możliwość powstania trwałych odkształceń. Często jest to widoczne w nawierzchniach mostowych, zwłaszcza na pomostach betonowych o większej sztywności.

W spodzie nawierzchni asfaltowej obciążenie kołami pojazdów powoduje powstawanie naprężeń rozciągających, które choć jednostkowo nie wyrządzają doraźnej szkody, to ich powtarzalność powoduje szkody zmęczeniowe nawierzchni. W nawierzchni nasztywnym podłożu płyty pomostu naprężenia te są większe niż na podatnym podłożu korpusu ziemnego, wskutek czego trwałość zmęczeniowa materiału w nawierzchni mostowej jest mniejsza niż tego samego materiału w nawierzchni na korpusie drogowym.

Nawierzchnia mostowa pracuje wraz z pomostem, a naprężenia powstające w nawierzchni zależne są od pracy konstrukcji. Jednak nawierzchnia mostowa pracuje inaczej niż drogowa, bowiem naprężenia rozciągające powstają nie tylko w spodzie warstw

asfaltowych, lecz także na jej powierzchni (rys. 1).

Zwłaszcza w nawierzchni mostowej konieczne jest zapewnienie połączenia pomiędzy jej warstwami i pomostem. Brak połączenia międzywarstwowego powoduje, że naprężenia rozciągające w spodzie warstw asfaltowych są większe, nawet dwukrotnie – rys. 2 [3]. To zaś pod powtarzalnym obciążeniem ruchem samochodowym powoduje szybsze uszkodzenia zmęczeniowe, objawiające się siatkowym pękaniem nawierzchni.

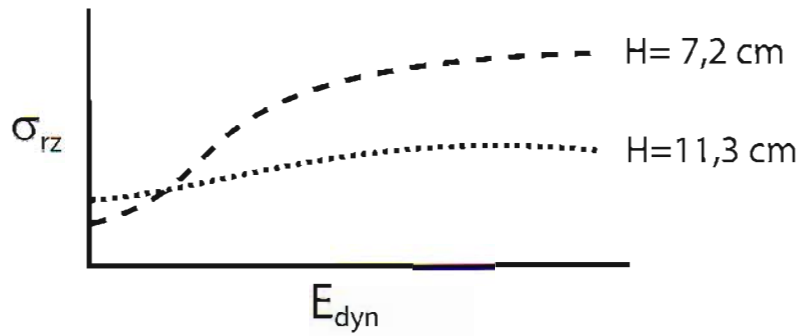
Taki sam mechanizm występuje w nawierzchni mostowej. Szczególnym aspektem są w tym wypadku połączenia: izolacji z pomostem i nawierzchni z izolacją bądź nawierzchni bezpośrednio z pomostem. Często przyczyną uszkodzeń jest brak połączenia nawierzchni asfaltowej z izolacją pomostu betonowego.

Naprężenie ścinające w połączeniu nawierzchni z pomostem stalowym zależy od dynamicznego modułu sztywności nawierzchni oraz od jej grubości (rys. 3). Grubsza nawierzchnia zapewnia mniejsze naprężenie ścinające, zwłaszcza jeśli jest sztywniejsza. Cieńsza nawierzchnia powinna być natomiast mniej sztywna.

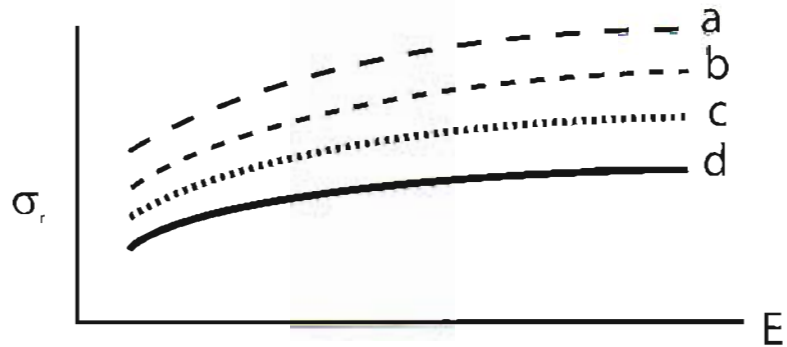
Naprężenie w połączeniach warstw w każdym wypadku zależy od modułu sztywności nawierzchni. Moduł zależy natomiast od temperatury i od częstotliwości (czasu) obciążenia. Im mniejszy moduł sztywności, tym mniejsze naprężenie w nawierzchni. Ta zależność stanowi jedno z podstawowych uzasadnień stosowania specjalnych lepiszczy w nawierzchniach mostowych. Lepiszczy, które nie są zbyt sztywne, ale wykazują zwiększoną zdolność relaksacji naprężenia i odkształcenia w niskiej temperaturze oraz przenoszenia naprężenia i odkształcenia rozciągającego. Zalecane jest zatem stosowanie materiałów asfaltowych, których termiczny zakres lepkosprężystości jest szeroki, zapewniający nawierzchni zachowanie właściwości sprężystych (sztywności) w wysokiej temperaturze i właściwości lepkich w niskiej temperaturze. Wymagania te spełniają polimeroasfalty, a zwłaszcza elastomeroasfalty, które powszechnie znalazły zastosowanie w mostowych systemach izolacyjno-nawierzchniowych.

Wpływ grubości nawierzchni

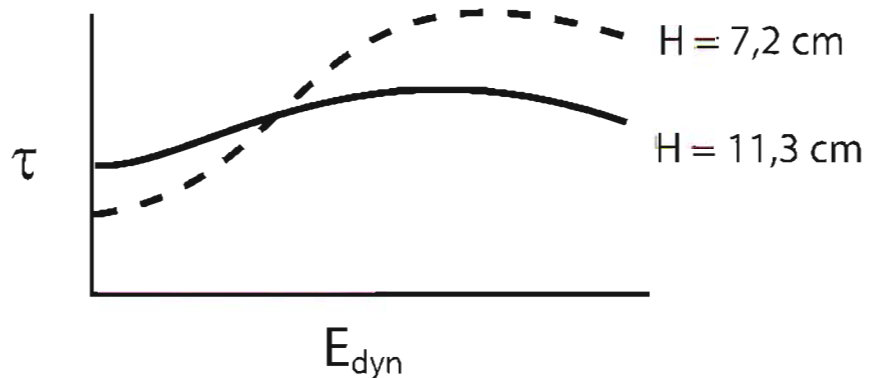
Gdy moduł sztywności nawierzchni jest większy, np. w niższej temperaturze, grubość nawierzchni istotnie wpływa na wielkość naprężenia rozciągającego w górnej strefie nawierzchni



Rys. 1. Naprężenie rozciągające przy zginaniu σ_{rz} w górnej strefie nawierzchni nad środkiem podpory w zależności od dynamicznego modułu sztywności nawierzchni E_{dyn} [2]



Rys. 2. Naprężenie rozciągające σ_r pod obciążeniem kołem 50 kN w spodzie warstw asfaltowych nawierzchni drogowej w zależności od modułu sztywności E i połączenia międzywarstwowego: a – brak połączenia między trzema warstwami, b – brak połączenia między warstwą wiążącą a podbudową, c – brak połączenia między warstwą ścierną a wiążącą, d – połączenie między trzema warstwami



Rys. 3. Naprężenie ścinające w połączeniu nawierzchni ze stalową płytą pomostu w sąsiedztwie podpory, H – grubość nawierzchni

i ścinającego w połączeniu z płytą pomostu (lub z izolacją i izolacji z płytą). Oznacza to, że w niskiej temperaturze, gdy nawierzchnia asfaltowa staje się sztywniejsza, im cieńsza nawierzchnia, tym większe niebezpieczeństwo uszkodzenia. Przy tym uszkodzenie może następować dwójako:

- wskutek odspojenia nawierzchni od płyty (lub nawierzchni od izolacji i/lub izolacji od płyty), prowadząc do utraty połączenia międzywarstwowo-

wego, które z kolei powoduje wzrost wielkości naprężenia rozciągającego w spodzie nawierzchni asfaltowej i przyspieszone uszkodzenie zmęczeniowe – pęknięcie postępujące od spodu nawierzchni, bądź

- wskutek zmęczenia w górnej strefie nawierzchni – pęknięcie postępujące od powierzchni.

Uszkodzenie nawierzchni mostowej może zatem następować obustronnie: od dołu i od góry.



Fot. 2. Kosztowny system odwodnienia obiektu mostowego

Z przedstawionej analizy wyraźnie wynika, że najkorzystniejsze byłyby grube nawierzchnie mostowe. Dlatego też w szwajcarskich zaleceniach wyraźnie podaje się, żeby grubość nawierzchni mostowej, uwzględniając odchyłkę dopuszczalną w dół, była nie mniejsza niż grubość projektowana. Gruba nawierzchnia mostowa kłóci się jednak z dążeniem projektantów i konstruktorów obiektów mostowych do zmniejszania ciężaru własnego konstrukcji. Dwuwarstwowa tradycyjna nawierzchnia o grubości 10 cm ma masę 250 kg/m^2 , co stanowi poważne obciążenie własne.

Efekt dynamiczny

Częstą przyczyną uszkodzeń nawierzchni mostowych, zwłaszcza w sąsiedztwie urządzeń dylatacyjnych, jest nierówność nawierzchni, powodująca pojawienie się efektu dynamicznego obciążenia. Efekt ten uwzględnia się w postaci współczynnika zwiększającego obciążenia koła (osi), którego wartość może wynosić od 1,1 do 1,5 zależnie od rodzaju zawieszenia i stanu nawierzchni [4]. W wypadku oddziaływania dynamicznego na konstrukcję mostu może dochodzić ponadto efekt rezonansu drgań własnych mostu i obciążenia. Efekt ten zależy od długości przęsła i częstotliwości drgań własnych mostu oraz rodzaju zawieszenia i równości nawierzchni.

Rodzaje uszkodzeń nawierzchni mostowej

Efekt obciążenia nawierzchni mostowej łącznym działaniem pojazdów i czynników klimatycznych i środowiskowych jest możliwość wystąpienia kilku podstawowych rodzajów uszkodzenia (razem lub osobno):

- spękania siatkowe wskutek zmęczenia w wyniku:
 - powtarzalnego naprężenia rozciągającego w spodzie warstw asfaltowych od obciążenia ruchem pojazdów,
 - powtarzalnego naprężenia rozciągającego w górnej strefie nawierzchni od zginania konstrukcji (uwaga: utrata połączenia pomiędzy nawierzchnią a izolacją bądź izolacją z płytą powoduje znaczne przyspieszenie uszkodzeń zmęczeniowych);
- spękania pojedyncze niskotemperaturowe wskutek gwałtownego spadku temperatury lub wystąpienia bardzo niskiej temperatury;
- trwałe odkształcenia lepkoplastyczne warstw asfaltowych wskutek działania obciążenia ruchem w wysokiej temperaturze;
- uszkodzenia powierzchniowe wskutek działania wody, mrozu i środków odładzających;
- odkształcenia, pęknięcia, sfalowania nawierzchni wskutek przesunięcia nawierzchni po izolacji bądź

nawierzchni z izolacją po płycie w wyniku utraty przyczepności w połączeniu między nimi;

- wyboje w sąsiedztwie urządzeń dylatacyjnych lub studzienek wskutek przejazdu kół pojazdów i występowania efektu dynamicznego obciążenia, który ulega zwiększeniu wraz ze zwiększeniem lokalnej nierówności połączenia nawierzchni z urządzeniem wyposażenia mostu.

Wymagania

Nawierzchnia i izolacja mostowa powinny stanowić nierozłączną całość. Dlatego też często nawierzchnię wraz z izolacją nazywa się systemem. Zadania systemu izolacyjno-nawierzchniowego na moście są dwójakiego rodzaju: 1) stanowi powierzchnię, po której poruszają się pojazdy, a zatem ma zapewnić bezpieczeństwo i komfort użytkownika, spełniając wymagania szorstkości i równości; 2) stanowi ochronę obiektu inżynierskiego przed niszczącym działaniem wody i środków odładzających.

Nawierzchnia mostowa nie jest projektowana jak nawierzchnia drogowa. Jej nośność, czyli zdolność przeniesienia obciążeń użytkowych, zapewniana jest bowiem przez samą konstrukcję obiektu mostowego. Wymagania wobec systemu izolacyjno-nawierzchniowego można zatem określić następująco:

- wobec nawierzchni mostowej:
 - szorstkość,
 - równość podłużna i poprzeczna,
 - spadki zapewniające odwodnienie,
 - trwałość,
 - komfort jazdy;
- wobec izolacji:
 - zabezpieczenie płyty pomostu obiektu przed szkodliwym działaniem czynników środowiskowych,
 - trwałość co najmniej taka jak warstwy nawierzchni na niej położone,
 - zapewnienie połączenia z płytą pomostu i nawierzchnią.

W IBDiM opublikowano ostatnio zalecenia [5], obejmujące część systemów izolacyjno-nawierzchniowych z zastosowaniem pap zgrzewalnych.

Stosowane rozwiązania izolacji i nawierzchni

Izolacja przeciwwodna

Izolacja przeciwwodna (hydroizolacja) jako element nawierzchni mostowej jest warstwą pośrednią pomiędzy konstrukcją (płytą) pomostu a war-

stwami nawierzchni. Hydroizolacja spełnia następujące zadania [6]:

- zapewnia przyczepność nawierzchni do płyty pomostu,
- zapewnia relaksację naprężeń rozciągających i ścinających powstających pod działaniem poziomych sił składowych obciążenia użytkowego oraz relaksację naprężeń w nawierzchni od odkształceń konstrukcji, a zwłaszcza pomostu,
- kompensuje różnicę odkształceń termicznych nawierzchni i pomostu,
- kompensuje odkształcenia pomostu, powodujące powstawanie rys w podłożu hydroizolacji.

W Polsce zaproponowano następującą klasyfikację izolacji przeciwwodnych:

- powłokowe:
 - cienkowarstwowe (od 1 do 2 mm),
 - grubowarstwowe niezbrojone i zbrojone (od 2 do 6 mm);
- arkuszowe:
 - klejone,
 - termozgrzewalne,
 - samoprzylepne;
- mastyksy asfaltowe.

Wymienione mastyksy asfaltowe są materiałem prawie zapomnianym, ale warto pamiętać o nim w połączeniu z elastomeroasfaltem.

Przedstawiona klasyfikacja w znacznej mierze ilustruje systemy stosowane w świecie, choć trzeba zauważyć pewną specyfikę rozwiązań w różnych krajach, co jest efektem zarówno tradycji technicznej, jak i wpływu warunków klimatycznych.

W Szwajcarii stosuje się:

- systemy klejone: z izolacją termozgrzewalną i warstwami nawierzchni z asfaltu lanego lub betonu asfaltowego,
- system pływający: z warstwą odcinającą pomiędzy płytą pomostu

a nawierzchnią, np. z papieru nasączonego olejem, oraz warstwami nawierzchni z asfaltu lanego,

- system kotwionej nawierzchni betonowej.

Trzeba wyjaśnić, że w Szwajcarii zdecydowanie przeważają mosty o pomostach żelbetonowych bądź sprężanych. Najpowszechniej stosowane są systemy pierwszego typu z izolacją termozgrzewalną. W ostatnich latach znaczny postęp techniczny przyczynił się do powrotu stosowania izolacji powłokowych (natryskowych). Zwłaszcza w połączeniu z nawierzchnią z asfaltu lanego. Izolacje takie są szczególnie zalecane w trudno dostępnych strefach pomostów, w których nie można rozłożyć izolacji rolowej.

Na południu USA bardzo popularne jest pozostawienie płyty betonowej jako powierzchni jezdnej. Oczywiście uwarunkowane jest to odpowiednimi właściwościami betonu oraz warunkami klimatycznymi znacznie łagodniejszymi niż Polska. Na północy USA, w podobnych do naszych warunkach klimatycznych, stosuje się przeważnie izolacje termozgrzewalne lub mastyksy asfaltowe. Ze względu na warunki klimatyczne stosowane lepszczą to przede wszystkim polimeroasfalty.

W naszej strefie klimatycznej, w Europie, stosuje się podobne systemy jak w Polsce. Można wspomnieć, że w Skandynawii i Wielkiej Brytanii nadal bardzo często stosowane są mastyksy asfaltowe, lecz np. w Szwecji wyłącznie z elastomeroasfaltem jako lepiszczem.



Fot.3. Obwodnica miasta Szubin; inwestor: GDDKiA; główny wykonawca: Skanska S.A.; fot. archiwum Skanska S.A.

Nawierzchnia

Nawierzchnia asfaltowa układana na izolacji przeciwwodnej składa się najczęściej z dwóch warstw, z których dolną zwyczajowo nazywa się warstwą ochronną, a górną – warstwą ścieralną (jak ogólnie przyjęło się ją nazywać także poza obiektem mostowym).

Warstwa ochronna nawierzchni mostowej ma na celu zabezpieczenie izolacji przeciwwodnej przed uszkodzeniem podczas wykonania nawierzchni oraz

Tabela 1. Zestawienie materiałów do warstw nawierzchni mostowych

Warstwa	Materiał	Zalecenie
Wiążąca (ochronna)	Mieszanki mineralno-asfaltowe	MA 8, MA 11
	Lepiszczą asfaltowe	PMB 25/55-60
	Kruszywa mineralne	Tablice 6.1, 6.2, 6.3 według WT1 Kruszywa – 2008, część 2
	Mieszanki mineralno-asfaltowe	MA 5 ¹⁾ , MA 8, MA 11 SMA 5 ²⁾ , SMA 8 ²⁾ , SMA 11 BBTM 8 ²⁾ , BBTM 11 AC 11 S ³⁾
Ścieralna		PMB 25/55-60 PMB 45/80-55 ⁴⁾ PMB 45/80-65 ⁴⁾ PMB 65/105-60 ⁴⁾
	Lepiszczą asfaltowe	
	Kruszywa mineralne	Tablice 4.1, 4.2, 4.3, 5.1, 5.2, 5.3, 6.1, 6.2, 6.3 według WT1 Kruszywa – 2008, część 2

Uwagi:

- ¹⁾ dopuszczone wyłącznie do wykonania ścieku przykrawężnikowego,
 - ²⁾ zalecane, jeśli wymagane jest zmniejszenie hałasu drogowego,
 - ³⁾ dopuszczone stosowanie warstwy ścieralnej z betonu asfaltowego AC 11 S, jeśli nawierzchnia dojazdów do mostu wykonana jest z betonu asfaltowego,
 - ⁴⁾ zalecane do SMA lub BBTM w cienkiej warstwie o grubości nie większej niż 3,5 cm.
- Skróty nazw mieszanek według norm PN-EN:
MA – asfalt lany,
SMA – mieszanka SMA,
BBTM – mieszanka BBTM (dawniej MNU) do cienkiej warstwy ścieralnej,
AC – beton asfaltowy.



Fot. 4. Przykład zaniedbania administratora mostu – niesprawny system odwodnienia

w czasie eksploatacji. Rola ochronna dolnej warstwy nawierzchni asfaltowej stała się w ostatnich latach raczej umowna, bowiem izolacje rolowe nowej generacji są z reguły dwuwarstwowe, a ich górna warstwa jest właśnie warstwą ochronną i przejęła funkcję, jaką wcześniej spełniała dolna warstwa nawierzchni. Dwuwarstwowy układ nawierzchni asfaltowej na izolacji jest więc układem tradycyjnym, mającym uwarunkowanie technologiczne.

Obie warstwy nawierzchni powinny mieć zatem strukturę możliwie szczelną, zamkniętą. Według przygotowanych do publikacji „Wymagań technicznych nawierzchni asfaltowych na drogach publicznych” (WT Nawierzchnie asfaltowe) zalecenia materiałów do nawierzchni mostowych przedstawia tabela 1.

Do warstwy wiążącej (ochronnej) zaleca się wyłącznie asfalt lany. Mieszanka ta jest wśród mieszanek mineralno-asfaltowych jedyną samozagęszczalną (niewymagającą zagęszczania walcem). To zapewnia wyeliminowanie ryzyka uszkodzenia izolacji rolowej pod walcem zagęszczającym, co wcześniej zdarzało się dość często, gdy warstwa wiążąca wykonana była z betonu asfaltowego wymagającego zagęszczenia.

Powrót do naszej praktyki asfaltu lanego (wadliwie nazywanego jeszcze twardolanym) rozkładanego mechanicznie, specjalnymi przeznaczonymi do tego rozkładarkami pozwala na zalecenie jego stosowania i powtórne upowszechnienie [7]. Asfalt lany jest wyjątkową mieszanką mineralno-asfaltową, zapewniającą wyjątkową trwałość nawierzchni. Zwłaszcza

zalecany jest do nawierzchni mostowych. Najczęściej stosowany jest w połączeniu z izolacją natryskową.

W „WT Nawierzchnie asfaltowe” do warstwy ścieralnej nawierzchni mostowej mogą być stosowane przede wszystkim asfalt lany lub mieszanka SMA, rzadziej (w szczególnych wypadkach) beton asfaltowy. Powodem ograniczenia stosowania betonu asfaltowego jest mniejsza trwałość tej mieszanki w stosunku do asfaltu lanego lub SMA.

W nawierzchni mostowej nie zaleca się stosowania asfaltu porowatego ze względu na ryzyko zamarzania wody i niebezpieczeństwo poślizgu (vide: wcześniejsze uwagi o warunkach temperaturowych nawierzchni mostowej). Zwłaszcza zalecane jest rozwiązanie nawierzchni mostowej z izolacją natryskową i dwóch warstw asfaltu lanego, z uszorstnieniem warstwy ścieralnej. Takie rozwiązanie zapewnia największą trwałość nawierzchni.

Wymaga się stosowania lepszycy elastomeroasfaltowych do mieszanek mineralno-asfaltowych do nawierzchni mostowych.

Szczegółowej uwagi wymaga most Śląsko-Dąbrowski, remontowany w 1993 r. Podczas remontu wymieniono izolację i nawierzchnię. Kolejne warstwy nawierzchni na izolacji termozgrzewalnej:

- asfalt piaskowy – warstwa ochronna 2 cm (zastosowanie warstwy ochronnej było w tym wypadku konieczne ze względu na osłabienie izolacji rolowej wskutek długiego przechowywania),
- beton asfaltowy 0/12,8 o strukturze zamkniętej – warstwa wiążąca 4 cm,
- SMA 0/12,8 – warstwa ścieralna 4 cm.

Na chodnikach położono asfalt lany. Wszystkie mieszanki były modyfikowane elastomerem SBS. Po kilkunastu latach eksploatacji nawierzchnia nie wykazuje uszkodzeń.

Podsumowanie

Nawierzchnie mostowe odgrywają szczególną rolę w zapewnieniu bezpieczeństwa użytkownika i ochronie obiektu mostowego. Dostępne są sprawdzone materiały i technologie pozwalające na spełnienie wymagań i zapewnienie trwałości nawierzchni. Ważnym czynnikiem jest człowiek zarówno podczas projektowania, budowy, jak i utrzymania obiektu i nawierzchni.

Jednym z ważnych elementów zapewnienia trwałości nawierzchni mostowej i obiektu jest odwodnienie. I tu decydującą rolę odgrywa człowiek. Niezbędne są bowiem przeglądy stanu obiektu, w tym systemu odwodnienia. Na cóż nam bowiem kosztowne systemy odwodnieniowe, jeśli nie są użytkowane podczas eksploatacji obiektu mostowego (fot. 2, 4).

prof. dr hab. inż. **DARIUSZ SYBILSKI**
Instytut Badawczy Dróg i Mostów
Politechnika Lubelska
Zdjęcia 1, 2, 4 autora

Piśmiennictwo

1. H. Fritz, S. Hean, *Erfahrungen mit Brückenabdichtungen und Brückenbelägen*, „Strasse und Verkehr” nr 3/1998.
2. V. Nies, *Brückenbeläge auf Stahl – Bauvorbereitung und Bauüberwachung des Auftraggebers*, „Bitumen” nr 1/1993, 55.
3. *Bemessung flexibler Fahrbahnbefestigungen* Abschnitt B 5.1. Einfluss des Schichtenverbandes von Asphaltbefestigungen. FGSV, Arbeitspapier nr 25/B 5.1, Köln, 1990.
4. *Dynamic Interaction Between Vehicles And Infrastructure Experiment (DIVINE)*, Technical Report OECD, October 1998.
5. K. Germaniuk, D. Sybilski, *Zalecenia wykonywania izolacji z pap zgrzewalnych i nawierzchni asfaltowych na drogowych obiektach mostowych*, IBDiM, Informacje, Instrukcje, zeszyt 68, 2005.
6. R. Kilarski, *Analiza i ocena materiałów hydroizolacyjnych na pomosty obiektów mostowych*, Prace IBDiM 3–4/1996.
7. D. Sybilski, *Stosowanie asfaltu lanego*, „Autostrady” nr 5/2008, s. 52–59.