

Nawierzchnie asfaltowe i betonowe na obiektach mostowych

Jaka nawierzchnia, taki most

Jerzy Piłat, Politechnika Warszawska

Piotr Radziszewski, Politechnika Białostocka

Karol Kowalski, Politechnika Warszawska, Purdue University

1. Wstęp

Nawierzchnia mostu jest elementem w dużej mierze decydującym o trwałości całej konstrukcji obiektu inżynierskiego. Pracuje ona w bardzo specyficznych warunkach obciążenia. Poddawana jest obciążeniom wywołanym przez ruch pojazdów samochodowych i czynniki klimatyczne. Działają na nią siły poziome i pionowe, niskie temperatury, woda i sól odładzająca. Według [1] nawierzchnia mostowa powinna spełniać następujące funkcje: rozkładać obciążenia na pomost, tłumić efekty dynamiczne obciążeń ruchowych, mieć dobrą przyczepność do podłoża, przejmować odkształcenia płyty pomostu wywołane zmianami temperatury w przedziale od $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ oraz działaniem obciążeń. Powinna mieć wytrzymałość na odrywanie nie mniejszą niż wytrzymałość warstw izolacji na odrywanie, być równa i szorstka, odporna na ścieranie, spękania niskotemperaturowe i zmęczeniowe oraz powstawanie kolein, a także cechować się niewrażliwością na niskie i wysokie temperatury.

Do zadań nawierzchni na obiekcie inżynierskim należy, oprócz zapewnienia dogodnych i bezpiecznych warunków poruszania się pojazdów, również ochrona pomostu przed niszczącym działaniem wody i środków odładzających.

Nawierzchniami mostowymi obecnie najpopularniejszymi i praktycznie jedyne wykonywanymi w Polsce są nawierzchnie asfaltowe.

2. Konstrukcja nawierzchni

Ogólny układ warstw konstrukcyjnych nawierzchni asfaltowych przedstawiono na rysunku 1.

Nawierzchnia asfaltowa układana na hydroizolacji składa się z war-

stwy ścieralnej i ochronnej. Warstwa ochronna poza obiektem mostowym w konstrukcji nawierzchni położonej na korpusie ziemnym nosi nazwę warstwy wiążącej. Zróżnicowane nazewnictwo tych warstw wskazuje, że ich rola w konstrukcji nawierzchni jest odmienna. Warstwa ochronna ma na celu zabezpieczenie izolacji przed uszkodzeniem podczas wykonywania warstwy górnej nawierzchni i później w trakcie eksploatacji. Warstwa ścieralna pełni natomiast podobną rolę jak w nawierzchni na korpusie ziemnym, lecz ze względu na szczególne warunki obciążenia (szybsze zniszczenie zmęczeniowe nawierzchni asfaltowej na obiekcie mostowym) oraz rolę, jaką pełni na obiekcie mostowym (zapewnienie szczelności i ochronę płyty pomostu), powinna mieć strukturę szczelną, zamkniętą [14, 15].

3. Rodzaje nawierzchni na mostach

Na obiektach mostowych możliwe jest wykonywanie nawierzchni w technologii asfaltowej lub betonowej. W Polsce powszechnie stosuje się nawierzchnie asfaltowe. W USA na wielu mostach wykonuje się nawierzchnie z betonu cementowego.

3.1. Doświadczenia USA: nawierzchnie z betonu cementowego

W USA z uwagi na znaczne różnice klimatyczne, natężenie ruchu i dostępność materiałów, administracja każdego ze stanów prowadzi odrębną politykę w zakresie technologii wykonywania obiektów mostowych i ich zabezpieczeń. Większość obiektów mostowych i estakad wykonywana jest w technologii żelbetowej. Głównym zagrożeniem dla tego rodzaju konstrukcji jest oddziaływanie

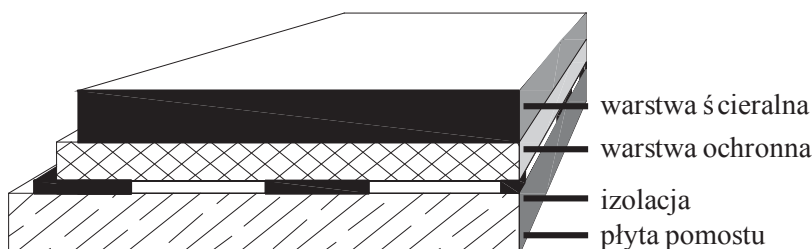
chlorków powodujące korozję zbrojenia. Korozja wywołana jest głównie oddziaływaniem środowiska i powszechnym stosowaniem soli odładzających.

Na podstawie badań przeprowadzonych w 30 stanach, w których występują warunki klimatyczne zbliżone do polskich, oddziaływanie chlorków i niszczące działanie wody i mrozu zidentyfikowane zostały jako główne przyczyny zniszczeń nawierzchni mostowych [2]. W stanach południowych nie występuje problem mrozoodporności materiału; w strefach nadmorskich zdiagnozowano jednak niszczące działanie wód morskich połączone z wysoką wilgotnością powietrza.

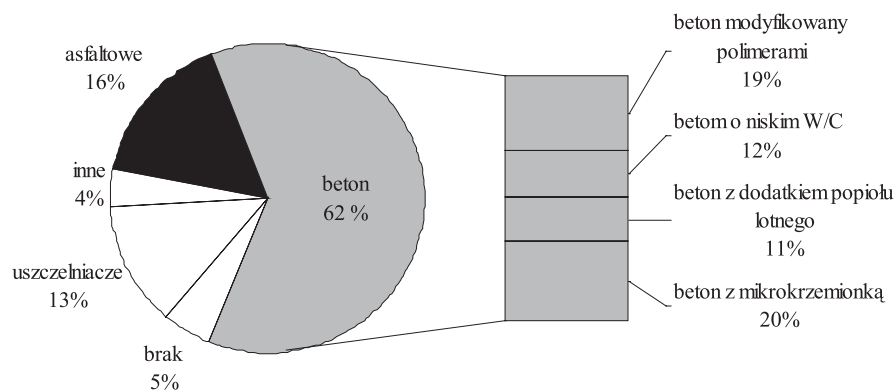
W celu poprawy trwałości konstrukcji betonowych obiektów mostowych stosuje się w USA następujące rozwiązania [3, 4]:

- warstwy nawierzchni (dodatkowe warstwy ochronne na płycie pomostu – *overlay*);
- dodatkowa ochrona zbrojenia (np. pokrywanie zbrojenia żywicą epoksydową lub zwiększenie grubości otuliny betonowej wokół zbrojenia);
- inhibitory korozji (jako dodatki chemiczne do betonu);
- ochrona elektrochemiczna (głównie ochrona konstrukcji za pomocą systemu katodowego powodująca zmianę potencjału elektrycznego, jeśli konstrukcja pracować będzie jako katoda, jej korozja zostanie wstrzymana);
- modyfikacje składu mieszanki betonowej (głównie w celu uszczelnienia warstwy betonowej).

W zależności od lokalizacji mostu, przewidywanego natężenia ruchu i innych czynników rozwiązania te występować mogą łącznie. W większości przypadków, poza innymi rozwiązaniami, na płytach pomostów układane są dodatkowe warstwy ochronne (nawierzchnie). Takie warstwy, oprócz ochrony konstrukcji mostu, muszą spełniać dodatkowe wymagania ze względu na bezpieczeństwo ruchu pojazdów (jak np. właściwości przeciwpoślizgowe). Najczęstsze rozwiązania warstw ochronnych (nawierzchni) stosowanych w USA i w Kanadzie przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 1. Schemat konstrukcji nawierzchni asfaltowej



Rys. 2. Rodzaje stosowanych nawierzchni płyt pomostów betonowych w USA i w Kanadzie, za: [3]

Nawierzchnie asfaltowe występują zwykle łącznie z dodatkowymi izolacjami przeciwwilgociowymi. Nawierzchnie asfaltowe na obiektach mostowych spotyka się najczęściej w północno-wschodnich stanach USA (np. Rhode Island, Massachusetts, Vermont, Main, New Hampshire, również Ohio).

Cztery główne rodzaje mieszanek z betonu cementowego, stosowane jako nawierzchnie (wierzchnie warstwy obiektów mostowych), to:

- beton modyfikowany polimerami, głównie beton z dodatkiem emulsji lateksowej (*Latex-Modified Concrete*), dodatek emulsji do świeżej mieszanki betonowej powoduje dodatkowe uszczelnienie i powstanie nieprzepuszczalnej warstwy w związanym betonie;
- beton o niskim W/C (*Low Slump Concrete*) charakteryzuje się dużą zawartością cementu (ok. 470 kg/m³) i W/C równym 0,3;
- beton z dodatkiem popiołu lotnego (*High Performance Fly Ash Concrete*),
- beton z dodatkiem mikrokrzemionki (*High Performance Silica Fume Concrete*).

Wzrost zawartości cementu (obniżenie proporcji W/C) w mieszance betonowej powoduje wzrost skurczu. W przypadku stosowania nawierzchni z betonu modyfikowanego, szczególnie istotne jest rozpatrzenie problemu skurczu i zapewnienie właściwej pielęgnacji wykonanej nawierzchni [5, 6].

Zwiększone w ostatnich latach stosowanie betonów wysokowartościowych (*High Performance Concrete*, HPC) powoduje możliwość wznoszenia obiektów mostowych bez nawierzchni (dodatkowych warstw ochronnych). W przypadku

zastosowania betonów typu HPC płyta pomostu może pełnić równocześnie rolę nawierzchni obiektu. Warstwy z HPC są coraz powszechniej wykonywane w czasie remontów istniejących płyt mostów [7, 8, 9].

Innym rozwiązaniem mogą być cienkie warstwy uszczelniające (*sealers*) – izolacja-nawierzchnie nakładane są na płytę pomostu, głównie poprzez natryskiwanie lub rozkładanie za pomocą szczotki. Poprzez uszczelnienie powierzchni i zamknięcie dostępu do porów woda i chlorki nie mogą przeniknąć do płyty pomostu, co zapewnia ochronę przeciwmrozową i ochronę zbrojenia przeciw korozji. Warstwy te podatne są jednak na uszkodzenia spowodowane ruchem pojazdów [10].

W tabelicy 1 przedstawiono przeciętne koszty wykonania nawierzchni (dodatkowej warstwy ochronnej) na remontowanym obiekcie. Porównano przewidywany okres eksploatacji wykonanej nawierzchni aż do następnej naprawy głównej. Z zestawienia przedstawionego w tabelicy 1 wynika, że koszt wykonania nawierzchni asfaltowej i betonowej jest, z ekonomicznego punktu widzenia, zbliżony. W USA warstwy asfaltowe na obiektach mostowych są jednak wykonywane zdecydowanie rzadziej niż w Europie. Wy tłumaczyć to można trzema głównymi czynnikami:

- instytucja zarządzająca drogą (stanowa dyrekcja dróg publicznych, np. dla stanu Indiana – Indiana Department of Transportation, INDOT) chce uniknąć niezadowolenia użytkowników drogi z powodu zamykania odcinków drogowych i przeprowadzania remontów (częstszego w przypadku typowych nawierzchni asfaltowych);

Rodzaj warstwy wierzchniej	Przewidywany okres eksploatacji (w latach)	Średni koszt (\$/m ²)
Nawierzchnie asfaltowe	15–20	35–50
Nawierzchnie betonowe	25–30	65–80
Cienkie warstwy (uszczelniacze)	20–30	85–130

Tab. 1. Porównanie kosztów wykonania dodatkowej warstwy wierzchniej na remontowanych obiektach mostowych, za: [11]

□ izolacje przeciwwilgociowe są wrażliwe na błędy w wykonawstwie. W przypadku niestarannego wykonania dojdzie do rozwarstwień między płytą pomostu i izolacją oraz dalszych zniszczeń;

□ zlecenia w pracach publicznych są w USA przyznawane w ramach przetargów. Firma wykonująca obiekt mostowy nie dysponuje zwykle technologią do wykonania nawierzchni asfaltowych, ułożenie takiej nawierzchni musiałoby zostać podzleczone innej firmie. Ze względu na zakres prac wykonanie nawierzchni typu MMA staje się więc nieopłacalne.

W przypadku mostów wykonywanych z prefabrykowanych elementów sprężonych stosuje się podobne rozwiązania zabezpieczające jak dla klasycznych konstrukcji betonowych. Podobne są również koszty stosowania poszczególnych systemów [12, 13].

W USA na mostach stalowych wykonuje się podobne nawierzchnie jak ma to miejsce w przypadku mostów betonowych. Również i w tym przypadku nawierzchnie betonowe wykonywane są bez dodatkowych warstw pośrednich (izolacji).

3.2. Nawierzchnie asfaltowe

Asfaltowa nawierzchnia mostowa tradycyjnie składa się z dwóch warstw: warstwy ochronnej oraz warstwy ścieralnej. Według PN-S-96025:2000 *Drogi samochodowe i lotniskowe. Nawierzchnie asfaltowe. Wymagania* do warstwy ochronnej i ścieralnej nawierzchni mostowej stosuje się następujące mieszanki mineralno-asfaltowe:

- beton asfaltowy o strukturze zamkniętej;
- asfalt lany lub asfalt twardolany;
- mastyks grysowy SMA.

Ze względu na szczególne warunki obciążenia na obiekcie mostowym preferowane są mieszanki mineralno-asfaltowe o dużej zawartości mastyksu o strukturze zamkniętej. Wyróżniają się tu mieszanki asfaltu lanego i SMA do warstwy ochronnej i mieszanki asfaltu lanego, SMA i MNU do warstwy ścieralnej [16, 17, 18]. Ze względów technologicznych nie należy łączyć warstwy z mieszanki samozagęszczalnej (asfalt lany) z warstwą z mieszanki wałowanej (beton asfaltowy, SMA, MNU [19]). Bardzo często jest wybierany układ warstw z następujących mieszanek mineralno-asfaltowych:

- warstwa ochronna nawierzchni z betonu asfaltowego, warstwa ścieralna z mieszanki SMA;
- warstwa ochronna i ścieralna z mieszanki SMA;
- warstwa ochronna nawierzchni z mieszanki SMA lub betonu asfaltowego, warstwa ścieralna z mieszanki MNU.

Inne możliwe rozwiązania, rzadziej stosowane, to dwie warstwy z betonu asfaltowego lub dwie warstwy z asfaltu lanego.

Warstwy ochronne i ścieralne wykonuje się z mieszanki mastyksowo-grysowej SMA o różnym uziarnieniu, dobranym w zależności od kategorii ruchu KR oraz grubości warstwy. Dla nawierzchni na obiektach mostowych o kategorii ruchu KR1 lub KR2 stosuje się mieszanki SMA o uziarnieniu 0/6,3 mm. Do nawierzchni obciążonych ruchem kategorii KR3 lub KR4 mieszanki SMA 0/8 i 0/9,6 mm. Mieszanki o uziarnieniu 0/11 lub 0/12,8 mm mogą być stosowane do nawierzchni wszystkich kategorii ruchu [18].

Do bardzo cienkich warstw ścieralnych nawierzchni mostowych (o grubości od 1,5 do 2,5 cm) oraz ultracienkich warstw (o grubości mniejszej niż 1,5 cm) zaleca się stosować mieszankę mineralno-asfaltową o nieciągłym uziarnieniu (MNU) 0/12,8, 0/9,6, 0/6,3 mm.

Grubość nawierzchni mostowej nie jest projektowana ze względu na konieczność przeniesienia obciążenia projektowego w planowanym okresie eksploatacji, tak jak to ma miejsce w przypadku wymiarowania nawierzchni na korpusie ziemnym. Nie wyznacza się trwałości zmęczeniowej nawierzchni, gdyż przyjmuje się, że jest ona spełniona na obiekcie mostowym przez samą konstrukcję mostu. Nawierzchnia mostowa powinna zapewniać odpowiednią szorstkość, równość, odwodnienie, trwałości i komfort jazdy [19]. Tradycyjnie, bezpieczne rozwiązanie stanowi układ dwóch warstw o grubości każdej warstwy 4 cm z mieszanki SMA o uziarnieniu 0/11 mm lub 0/12,8 mm. Dobrym rozwiązaniem jest stosowanie warstwy ścieralnej o zmniejszonej grubości do 2 cm z mieszanki SMA 0/8 lub mieszanki o nieciągłym uziarnieniu MNU 0/6,3 mm lub 0/9,6 mm. Asfalt twarzony wbudowany w nawierzchnię mostową powinien mieć grubość warstwy $3,5 \div 4$ cm, którą niezwłocznie należy posypać grysem lakierowanym $2 \div 4$ mm w ilości 15 kg/m^2 .

Najkorzystniejszym rozwiązaniem ze względu na rozmiar obciążenia byłoby stosowanie grubych nawierzchni mostowych. W niskiej temperaturze, gdy nawierzchnia bitumiczna od góry i od dołu ulega osiębieniu, następuje wzrost sztywności warstw konstrukcyjnych i im są one cieńsze, tym większe jest niebezpieczeństwo zniszczenia całej nawierzchni. Jednak stosowanie grubych nawierzchni jest niekorzystne z punktu widzenia projektanta dążącego do zmniejszenia ciężaru własnego konstrukcji mostu. Stosowanie nawierzchni o możliwie małej grubości jest dopuszczalne, gdy warstwy konstrukcyjne będą zbudowane z materiału wykazującego zwiększoną zdolność

relaksacji naprężeń i odkształceń w niskiej temperaturze oraz odpowiednią sztywność w wysokiej temperaturze. Wymagania te spełniają mieszanki mineralno-asfaltowe z lepiszczami modyfikowanymi polimerami (szczególnie elastomerami) charakteryzującymi się szerokim zakresem lepkości [21]. Dlatego też do warstw nawierzchni mostowych: ścieralnej i ochronnej – zaleca się stosowanie odpowiednio dobranych mieszanek (np. SMA, MNU i inne), konieczne z lepiszczami asfaltowymi modyfikowanymi przede wszystkim elastomerem SBS [14, 20].

Najdalej posuniętym rozwiązaniem w zakresie zmniejszenia grubości nawierzchni jest stosowanie izolacji nawierzchni o grubości kilku milimetrów. Charakteryzują się one wodoszczelnością, dobrą przyczepnością do podłoża, wysoką odpornością na ścieranie, starzenie, warunki atmosferyczne i koleinowanie. Kolor nawierzchni uzyskuje się przez barwienie żywicy podstawowej, kruszywa lub malowanie powłoki. Izolacja nawierzchni wykonywane są z żywicy chemoutwardzalnych (chodniki), z żywicy epoksydowych i poliuretanowych (nawierzchnie jezdni i chodników [21]).

Nawierzchnie z żywicy chemoutwardzalnych mają grubość $2 \div 5$ mm. Układają się na zagruntowanym podłożu betonowym lub stalowym. Podstawowe właściwości nawierzchni z żywicy chemoutwardzalnych są następujące: odporność na temperaturę od -30 °C do $+80$ °C, wytrzymałość na odrywanie powyżej 1,0 MPa.

Izolacja nawierzchni z żywicy epoksydowych i poliuretanowych mają grubość 10 mm w przypadku zastosowania izolacji na jezdni i 2 mm w przypadku chodnika. Układają się na dwukrotnie zagruntowanym podłożu betonowym lub stalowym. Mają one wytrzymałość na odrywanie co najmniej 2,5 MPa, są szczelne, szorstkie, odporne na ścieranie oraz niskie i wysokie temperatury otoczenia.

4. Szczególne warunki obciążenia nawierzchni mostowych

Nawierzchnie na obiektach mostowych, podobnie jak na korpusach ziemnych, podlegają obciążeniom od ruchu oraz od środowiska. Jednak należy podkreślić to, że agresywność obciążeń w przypadku nawierzchni mostowych jest znacznie wyższa niż nawierzchni drogowych.

Od obciążenia kół pojazdów samochodowych w nawierzchni mostowej, podobnie jak w nawierzchni poza obiektem, powstają naprężenia i odkształcenia ściskające i rozciągające, mogące spowodować trwałe deformacje lepkoplastyczne i spękania zmęczeniowe warstw asfaltowych. Ze względu na dużą sztywność pomostów napre-

żenia i odkształcenia w nawierzchni mostowej są większe niż w nawierzchni na korpusie drogowym, a co za tym idzie przybiera możliwości powstania zniszczeń zmęczeniowych.

Naprężenia rozciągające w nawierzchni mostowej powstają zarówno na spodzie warstw asfaltowych, jak i w górnej strefie nawierzchni. Naprężenia rozciągające w górnej strefie nawierzchni asfaltowej zależą od jej grubości i sztywności [19]. Ze względu na odporność na spękania zmęczeniowe od naprężeń rozciągających w górnej strefie korzystniejsze są grubsze nawierzchnie.

Naprężenia rozciągające na spodzie warstw bitumicznych (w dole warstwy ochronnej nawierzchni) zależą przede wszystkim od rodzaju warstw asfaltowych (rodzaj mieszanek mineralno-asfaltowych), grubości warstw, jakości połączenia międzywarstwowego pomiędzy warstwą ścieralną i ochronną nawierzchni oraz nawierzchnią asfaltową a izolacją oraz izolacją a pomostem. Dotychczasowa praktyka wskazuje, że szczególnie niebezpieczna jest utrata połączenia izolacji z pomostem i nawierzchni z izolacją, skutkująca gwałtownym zmniejszeniem trwałości nawierzchni [22, 23, 24].

Duże naprężenia ściskające od obciążeń kołowych na mostowych nawierzchniach bitumicznych mogą powodować płynięcie materiału lepkościowego, jakim jest mieszanka mineralno-asfaltowa. Jest to szczególnie niebezpieczne w okresie letnich upałów, kiedy temperatura nawierzchni może osiągnąć nawet 70 °C (przy temperaturze powietrza 35 °C).

Nawierzchnia mostowa w znacznie większym stopniu jest narażona na obciążenia termiczne niż nawierzchnia drogowa. Wiąże się to z tym, że z powodu braku korpusu ziemnego o dużej bezwładności termicznej, nawierzchnia na obiekcie mostowym podlega szybszym dobowym zmianom temperatury. Wahania temperatury powietrza oddziałują na nawierzchnię zarówno od góry, jak i od dołu – przez płytę pomostu. Szybkie zmiany temperatury nawierzchni skutkują powtarzającymi się na przemian naprężeniami ściskającymi i rozciągającymi, które w efekcie mogą powodować spękania zmęczeniowe w warstwach konstrukcyjnych nawierzchni. Jeśli nałoży się na to szkodliwe działanie wody i środków odladzających, może nastąpić zniszczenie nawierzchni w postaci ubytków materiału nawierzchni, jak również może powstać niebezpieczeństwo korozji pomostu obiektu mostowego [14, 15, 19].

5. Zniszczenia nawierzchni mostowych

Podobnie jak nawierzchnie asfaltowe na korpusie drogowym, nawierzchni

nie na obiektach mostowych ulegają zniszczeniu. Jednakże w przypadku nawierzchni mostowych, ze względu na szczególne warunki obciążenia, na źle wykonanych nawierzchniach zniszczenia te mogą pojawić się wcześniej i mogą być bardziej dotkliwe dla konstrukcji obiektu i dla użytkownika drogi [14, 15, 19].

Do najczęściej spotykanych zniszczeń nawierzchni należy zaliczyć:

1) Spękania zmęczeniowe (siatkowe), będące wynikiem oddziaływania obciążeń cyklicznych od ruchu samochodowego i zmian temperatury. Tego rodzaju spękania mogą powstawać w dole i górze warstw nawierzchni. Powstawanie spękań zmęczeniowych nawierzchni może być przyspieszone w przypadku braku lub utraty połączeń międzywarstwowych, w tym między izolacją a nawierzchnią.

2) Spękania pojedyncze niskotemperaturowe, będące skutkiem szybkiego spadku temperatury i długiego czasu oddziaływania niskich temperatur.

3) Koleiny – deformacje lepkoplastyczne powstają pod wpływem obciążeń od ruchu w wysokich temperaturach. Sztywne podłoże pomostu powoduje wzrost naprężeń ściskających i w efekcie przyspieszone koleinowanie. Do tego rodzaju zniszczeń należy zaliczyć sfaldowania i pęknięcia nawierzchni wskutek przesunięcia nawierzchni na styku z izolacją.

4) Zniszczenia nawierzchni będące wynikiem długotrwałego oddziaływania wody i środków odladzających, szczególnie w niskich temperaturach.

5) Wyboje i wykruszenia w warstwie nawierzchni na styku urządzeń dylatacyjnych połączeń nawierzchni z krawęznikami itp. Zmiany te są wynikiem braku prawidłowo wykonanych uszczelnień, a w przypadku urządzeń dylatacyjnych również dynamiką obciążeń od ruchu samochodowego.

6. Zakończenie

Trwałe i bezpieczne nawierzchnie mostowe wymagają właściwego doboru materiałów odpowiedniej technologii i wykonawstwa na najwyższym poziomie. Można to osiągnąć stosując lepszą modyfikowane i nowe technologie, takie jak: mastyks grysowy SMA, mieszanki o nieciągłym uziarnieniu MNU, asfalty lane o zwiększonej odporności na odkształcenia trwałe i inne nowe rozwiązania materiałowo-technologiczne. Dokładne przestrzeganie technologii wykonania jest podstawą uzyskania trwałych nawierzchni mostowych, dotyczy to wszystkich warstw konstrukcyjnych nawierzchni, łącznie z izolacją.

Porównując stosowane rozwiązania materiałowo-technologiczne wykonywania nawierzchni w USA i w Polsce należy zwrócić uwagę na powszechne stosowanie w USA nawierzchni beto-

nowych (62%) przy małym udziale nawierzchni asfaltowych (16%). W USA uzasadnia się to prostszym wykonawstwem nawierzchni betonowych oraz możliwością wykonania całości robót przez jedną firmę.

Literatura

1. Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie. DzU 2000, nr 63.
2. Hema J., Guthrie W.S.: *Construction and Condition Assessment of Concrete Bridge Decks and Decision Thresholds for Deck Rehabilitation and Replacement: State of the Practice*. Proceedings of the 84th Transportation Research Board annual meeting. Washington D.C. 2005.
3. *Concrete Bridge Deck Performance*. Ed. H.G. Russell. NCHRP Synthesis 333. Washington D.C. 2004.
4. *Design and Construction Practices to Mitigate Corrosion of Reinforcement in Concrete Structures*. ACI report 222.3R-03, 2003.
5. Buchanan P.M., Mokarem D.W., Weyers R.E., Sprinkel M.M.: *Shrinkage of Latex-Modified and Microsilica Concrete Overlays*. "Transportation Research Record" 2003, No. 1834, pp. 33-39.
6. Suksawang N., Nassif H., Mohammed A.: *Properties of Latex Modified Concrete under Different Curing Conditions*. Proceedings of the 84th Transportation Research Board annual meeting. Washington D.C. 2005.
7. Rabbat B.G., Vanikar S.N.: *What is HPC for Bridges*. "Bridge Views" 1999, No. 1.
8. Vanikar S.N., Triandafilou L.N.: *Implementation of High-Performance Concrete Bridge Technology in the USA*. 7th International Symposium on the Utilization of High-Strength/High-Performance Concrete. June 20-24, 2005. American Concrete Institute. Washington D.C. 2005.
9. Delatte N., Chen S., Davidson J., Sehdev A., Amer N., Endfinger M.: *Design and Quality Control of Concrete Overlays*. Report 01220. University Transportation Center for Alabama. Alabama 2001.
10. Sprinkel M.M., Weyers R.E.: *Concrete Bridge Protection and Rehabilitation: Chemical and Physical Techniques Rapid Concrete Bridge Deck Protection. Repair and Rehabilitation*. SHRP report S-344. Washington D.C. 1993.
11. Knight M.L., Wilson G.S., Seger W.J., Mahadevan S.: *Overlay Types Used As Preventive Maintenance on Tennessee Bridge Decks*. "Transportation

Research Record" 2004, No. 1866, pp. 79-84.

12. Sprinkel M.M.: *Deck Protection Systems for Post-Tensioned Segmental Concrete Bridges*. Federal Highway Administration [on-line]. Dostępny w Internecie: <http://www.fhwa.dot.gov/BRIDGE/segmental/protect.htm>.
13. *Prefabricated Bridge Elements and Systems to Limit Traffic Disruption during Construction*". Ed. M.A. Shahaway. NCHRP Synthesis 324, Washington D.C. 2003.
14. Piłat J., Radziszewski P.: *Nawierzchnie asfaltowe*. WKiŁ. Warszawa 2004.
15. Majdan A., Wołowicki W.: *Budowa i utrzymanie mostów*. WKiŁ. Warszawa 2001.
16. Zalecenia wykonywania cienkich warstw ściernych „na gorąco” bitumicznych nawierzchni drogowych. IBDiM. „Informacje. Instrukcje” 1995, z. 50.
17. Zasady wykonywania nawierzchni asfaltowej o zwiększonej odporności na koleinowanie i zmęczenie. IBDiM. „Informacje, Instrukcje” 2002, z. 63.
18. Zasady wykonywania nawierzchni z mieszanki mineralno-asfaltowej o nieciągłym uziarnieniu. IBDiM. „Informacje, Instrukcje” 1995, z. 50.
19. Sybilski D.: *Długowieczne nawierzchnie asfaltowe w świecie i w Polsce*. „Drogownictwo” 2004, nr 3.
20. Gawęł I., Kalabińska M., Piłat J.: *Asfalty drogowe*. WKiŁ. Warszawa 2001.
21. Piłat J., Radziszewski P.: *Izolacje przeciwwodne obiektów mostowych*. „Materiały Budowlane” 2004 nr 4.
22. Al-Qadi L.L., Lahouar S., Jiang K., McGhee K.K., Mokarem D.: *Bridge Deck Reinforcing Steel Cover Depth Prediction Using GPR*". Proceedings of the 85th Transportation Research Board annual meeting. Washington D.C. 2006.
23. Procedura IBDiM PB-TM-X3. Badanie przyczepności powłoki ochronnej do betonu metodą pull-off.
24. Procedura badawcza IBDiM nr PB-TM-X4. Oznaczenie przyczepności powłoki ochronnej do stali metodą pull-off.
25. Baker: *Evaluation of Various Types of Bridge Deck Joints*. Final Report 510. Arizona Department of Transportation. Phoenix 2006.
26. Guthrie W.S., Ross L.A.: *Concrete Bridge Deck Management Practices: Summary of Scanning Tour*. Final Report No. UT-05.06. Utah Department of Transportation. Taylorsville 2006.

Referat wygłoszony na seminarium *Nawierzchnie, izolacje i inne elementy wyposażenia mostów* zorganizowanym przez Zakład Mostów, Instytut Dróg i Mostów Politechniki Warszawskiej.