



KRZYSZTOF KOŁODZIEJ

Politechnika Rzeszowska
krzych@prz.edu.pl
ORCID: 0000-0002-2987-6140



LESŁAW BICHAJŁO

Politechnika Rzeszowska
leszbich@prz.edu.pl
ORCID: 0000-0002-2463-9672



TOMASZ SIWOWSKI

Politechnika Rzeszowska
siwowski@prz.edu.pl
ORCID: 0000-0002-2003-000X

Asfalt lany w nawierzchni drogowych obiektów mostowych

Nawierzchnia na obiekcie mostowym pracuje w odmiennych warunkach niż nawierzchnia na podłożu gruntowym. Z uwagi na ograniczenie ciężaru elementów wyposażenia mostu dąży się do stosowania możliwie najcieńszej nawierzchni, co prowadzi do zmniejszenia jej trwałości [23]. Nawierzchnia na obiekcie mostowym poddawana jest dużo większym wahaniom temperatury (w przedziale od -30°C do $+60^{\circ}\text{C}$), zwłaszcza że od spodu nie ma ochrony termicznej w postaci korpusu ziemnego. Równie istotny jest wpływ obciążenia ruchem. Odkształcenia i naprężenia w nawierzchni powstające od ruchu pojazdów są dużo większe niż w nawierzchni poza obiektem mostowym – na pomoście stalowym odkształcenia mogą osiągać do $1000\ \mu\epsilon$, podczas gdy w nawierzchni drogowej jest to około $100\text{--}200\ \mu\epsilon$ [13, 17]. Wpływa to na przyspieszone zniszczenie nawierzchni wskutek pojawienia się spękań, nie tylko w spodzie warstw asfaltowych, ale również na powierzchni nawierzchni [23, 34]. Oprócz zapewnienia dogodnych warunków do poruszania się po obiekcie mostowym, nawierzchnia

powinna zapewnić ochronę płyty pomostu przed działaniem wody oraz środków odladzających stosowanych w okresie zimowym. Sprzyja temu stosowanie szczelnych mieszanek z kruszywem niewrażliwym na działanie środków odladzających.

W nawierzchni asfaltowej na obiekcie mostowym możemy wyróżnić następujący układ warstw [16, 35]:

- warstwa ścieralna – pełni podobną funkcję jak warstwa ścieralna w typowej nawierzchni, ale z uwagi na szczególne warunki pracy powinna być szczelna i odporna na spękania,
- warstwa ochronna izolacji – ma na celu zabezpieczenie warstwy izolacji przed zniszczeniem w trakcie wbudowania warstwy ścieralnej i zazwyczaj jest jednowarstwowa, lecz przy dużym obciążeniu ruchem pojazdów ciężkich

może być także dwuwarstwowa; dodatkowo powinna być odporna na wodę i obciążenie ruchem,

- warstwa izolacji – jej celem jest ochrona płyty pomostu przed działaniem wody oraz zapewnienie połączenia płyty pomostu i nawierzchni.

Wymagania stawiane nawierzchniom na obiektach mostowych są bardzo wysokie. Wśród wielu z nich można wyróżnić [22]:

- równość i szorstkość warstwy ścieralnej zapewniającą płynną jazdę, wykonywanej w tym celu z użyciem kruszywa odpornego na polerowanie,
- odpowiednie połączenie między warstwami oraz między warstwą nawierzchni a płytą pomostu, w celu redukcji naprężeń oraz rozwarstwień spowodowanych przez naprężenia ścinające powstałe wskutek zginania oraz zmian temperatury,
- odporność na zniszczenia takie jak koleinowanie czy spękania zmęczeniowe spowodowane ruchem pojazdów oraz zmianami temperatury,
- trwałość i odporność na czynniki zewnętrzne jak promieniowanie słoneczne, utlenianie, zmiany temperatury oraz środki odladzające i paliwo,
- szczelność zapobiegająca penetrowaniu wody w głąb nawierzchni.

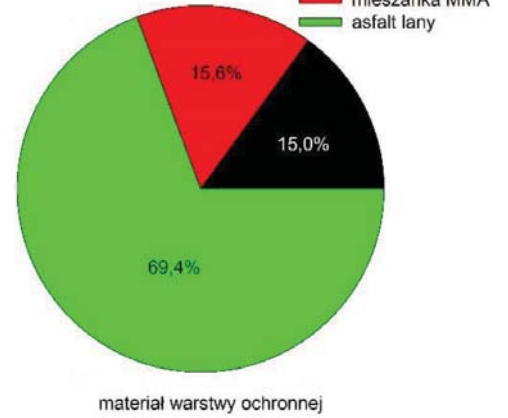
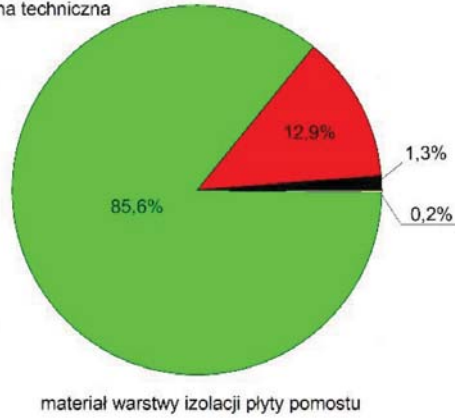
Podobnie jak w większości krajów Europy, w Polsce dominują asfaltowe nawierzchnie mostowe [17]. Standardowo są to nawierzchnie dwuwarstwowe. Układ taki wymagany jest przez rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie [20]. Do warstwy ochronnej najczęściej stosuje się mieszankę asfaltu lanego. Według danych GDDKiA oddział w Krakowie około 70% obiektów mostowych miało warstwę ochronną wykonaną z tego materiału. W przypadku warstwy ścieralnej dominują mieszanki SMA (85%), w mniejszym stopniu beton asfaltowy (12%) oraz asfalt lany (4%) [26]. Na obiektach w ciągu dróg krajowych w województwie podkarpackim, udział asfaltu lanego w warstwie ochronnej wynosi 69% (rys. 1), a pozostałą część, mniej więcej po równo, stanowi beton asfaltowy WMS oraz warstwa z mieszanki mineralno-asfaltowej (beton asfaltowy lub asfalt piaszkowy). Jako warstwa ścieralna na wszystkich obiektach ułożona jest mieszanka SMA. Od kilku lat na nowo budowanych obiektach stosowany jest układ: warstwa ochronna z asfaltu lanego i warstwa ścieralna z mieszanki SMA¹.

¹ Dane uzyskane z GDDKiA Oddział w Rzeszowie.

- bitumiczna
- papa asfaltowa lub smołowa
- papa zgrzewalna
- tkanina techniczna

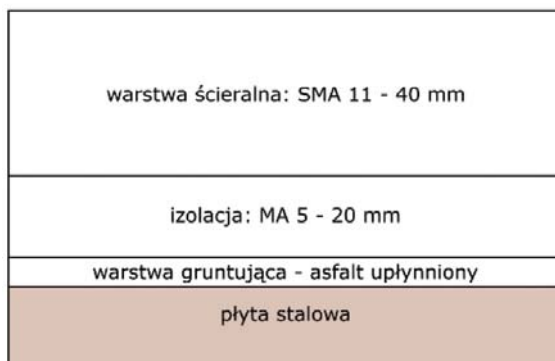
- AC WMS
- mieszanka MMA
- asfalt lany

Rys. 1. Procentowy udział materiałów w warstwie izolacji nawierzchni i warstwie ochronnej (wiążącej) w ogólnej liczbie obiektów mostowych w województwie podkarpackim (opr. własne)



KR 5-7

KR 1-2



Rys. 2. Przykładowe rozwiązania konstrukcji nawierzchni na obiekcie z pomostem betonowym oraz stalowym w zależności od obciążenia ruchem (opr. własne na podst. [18])

Według wytycznych WT-2 2014 [33] do stosowania w warstwie ochronnej izolacji można używać mieszanki asfaltu lanego o wymiarach 8, 11 i 16 mm z asfaltem 35/50, MG 35/50-57/69 oraz PMB 25/55-60. W przypadku warstwy ścieralnej dopuszczone są mieszanki asfaltu lanego MA 5 (tylko w ścieku przykrawężnikowym), MA 8 i MA 11, SMA 11 i BBTM 11, natomiast mieszanki SMA 5, SMA 8 i BBTM 5 – jeżeli należy zadbać o obniżenie hałasu drogowego. Wyjątkowo dopuszczona jest mieszanka betonu asfaltowego AC 11 S – tylko wtedy gdy nawierzchnia na dojeździe do obiektu mostowego również wykonana jest z mieszanki betonu asfaltowego. W ostatnim czasie w warstwie ścieralnej stosuje się również mieszankę mastyksu wysokogrynowego SMA-MA. Jako bezpieczny i typowy układ przyjmuje się dwie warstwy o grubości około 4 cm każda [17]. W roku 2011 na Politechnice Warszawskiej rozpoczęto program badawczy skierowany na opracowanie zaleceń dotyczących projektowania nawierzchni na obiektach mostowych. Efektem tych prac jest raport dotyczący zaleceń materiałowych nawierzchni na obiektach mostowych [18]. Przedstawione w nim konstrukcje nawierzchni mostowych podzielono pod względem zastosowanej izolacji oraz materiału, z jakiego wykonana jest płyta pomostu. W przypadku kategorii ruchu KR 5-7 wprowadzony został podział warstwy ochronnej na warstwę górną i dolną. Grubości nawierzchni wahają się od 6 do 11 cm. Przykładowe rozwiązania pokazano na rysunku 2.

Rozwiązania nawierzchni na mostach w innych państwach są w niektórych aspektach podobne do rozwiązań polskich, w innych zdecydowanie się różnią. W dalszej części przedstawiono wybrane przykłady z Niemiec, Holandii i Chin.

Nawierzchnia na obiektach mostowych w Niemczech zróżnicowana jest ze względu na rodzaj płyty pomostu, na którym jest ułożona. Z reguły stosuje się nawierzchnie dwuwarstwowe. W warstwie ochronnej wykorzystywany jest asfalt lany, natomiast warstwa ścieralna może być wykonana z mieszanki SMA, asfaltu porowatego lub betonu

asfaltowego, chociaż zazwyczaj stosowany jest asfalt lany. Warstwa ścieralna nie jest traktowana jako część systemu izolacji przeciwwilgociowej, stąd możliwość wykorzystania mieszanek o strukturze otwartej. W przypadku nawierzchni na pomoście betonowym warstwa wiążąca/ochronna projektowana jest jako nieco mniej sztywna niż warstwa ścieralna. Grubości warstw nawierzchni wahają się w przedziale 35–40 mm, w zależności od maksymalnego wymiaru ziarna kruszywa. W przypadku nawierzchni na obiekcie ze stalową płytą pomostu przewidziano trzy rozwiązania, w zależności od materiału warstwy izolacji [3]. Przykład przedstawiono na rysunku 3.

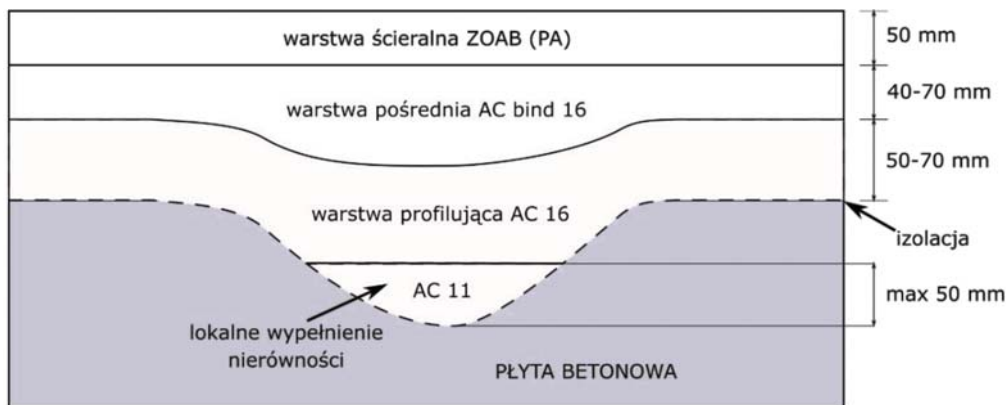
Podobnie jak w Niemczech, konstrukcja nawierzchni mostowej w Holandii zależy od rodzaju płyty pomostu, na której jest ułożona. Inna konstrukcja nawierzchni jest na płycie stalowej, a inna na płycie betonowej. Szczegółowe wymagania co do układu warstw zawarte są w wytycznych Ministerstwa Infrastruktury i Środowiska *Richtlijn voor het ontwerp van asfalt wegverhardingen op betonnen en stalen brugdekken* [19]. W zależności od wariantu konstrukcji nawierzchni warstwa ścieralna może być wykonana z asfaltu porowatego, betonu asfaltowego lub asfaltu lanego.

Typowa konstrukcja na płycie betonowej (rys. 4) składa się z następujących warstw:

- warstwy ścieralnej wykonanej z mieszanki PA 11 o grubości 30–40 mm lub PA 16 grubości 50 mm. Warstwę ścieralną można wykonać jako dwuwarstwową z PA o grubości warstwy 70 mm,
- warstwy klejącej,
- warstwy profilującej z AC 16 o grubości 50–70 mm. Mieszanka ta musi spełniać określone wymagania dotyczące wodoprzepuszczalności,
- lokalnych wypełnień nierówności większych niż 20 mm wykonanych z AC 11 z warstwą klejącą na górnej powierzchni,
- warstwy sklejającej (w ilości 0,6 kg/m²),
- pasywnego uszczelnienia złączy, jeżeli jest wymagane,



Rys. 3. Przykładowe rozwiązania nawierzchni mostowej na płycie betonowej (z lewej) i stalowej (z prawej) w Niemczech (opr. własne na podst. [3])



Rys. 4. Rozwiązanie nawierzchni na moście z płytą betonową (na podst. [19])

- warstwy hydrofobowej, zalecanej dla nowej konstrukcji pomostu.

Alternatywnie może być wykonana nawierzchnia z warstwą ścierną z betonu asfaltowego AC 16 o grubości 50–70 mm, o odpowiedniej wodoprzepuszczalności.

W przypadku nawierzchni na obiektach z płytą stalową zalecane są dwa warianty nawierzchni – z warstwą ścierną wykonaną z mieszanki asfaltu porowatego lub asfaltu lanego.

Wariant z nawierzchnią z asfaltu lanego przedstawia się następująco:

- warstwa ścierna z asfaltu lanego z lepiszczem modyfikowanym polimerem – gr. 25 mm,
- warstwa asfaltu lanego z lepiszczem modyfikowanym polimerem – gr. 25 mm,
- membrana Parafor Mistral C lub inna o podobnych parametrach – gr. 4 mm,
- primer.

Minimalna grubość nawierzchni powinna wynosić 50 mm. Przy założeniu prawidłowego i starannego wykonania autozry wytycznych szacują trwałość nawierzchni na 7 do 10 lat.

W przypadku nawierzchni mostowej w Chinach można wyróżnić rozwiązania bazujące na asfalcie lanym, betonie asfaltowym epoksydowym i mieszance SMA [4, 6]. Przykładowe konstrukcje nawierzchni na mostach z płytą ortotropową przedstawiono na rysunku 5. Są to następujące konstrukcje:

- a) jednowarstwowa nawierzchnia o grubości 40–50 mm z mieszanki asfaltu lanego z lepiszczem modyfikowanym polimerem. Warstwę izolacji stanowi 1–3 mm warstwa mastyksu asfaltowego. Pod nią rozłożony jest primer w ilości 1,5 l/m². Warstwa asfaltu lanego pokryta jest kruszywem lakierowanym w ilości 8–15 kg/m² w celu poprawienia szorstkości,
- b) dwuwarstwowa nawierzchnia z mieszanki SMA, warstwa górna ma grubość 30–40 mm, dolna natomiast 30–35 mm. Pod każdą warstwą rozłożona jest membrana z emulsją asfaltową z dodatkiem gumy,
- c) dwuwarstwowa nawierzchnia z mieszanki betonu asfaltowego epoksydowego. Obie warstwy nawierzchni mają grubość 25–30 mm. Pod każdą warstwą rozłożona jest membrana z asfaltu epoksydowego,

d) dwuwarstwowa z warstwą ścierną grubości 35–50 mm z mieszanki SMA/DGAC z lepiszczem modyfikowanym polimerem. Warstwę ochronną stanowi asfalt lany posypany kruszywem lakierowanym. Grubość warstwy ochronnej waha się w granicach 40–50 mm. Warstwę hydroizolacji stanowi 1–3 mm warstwa mastyksu asfaltowego,

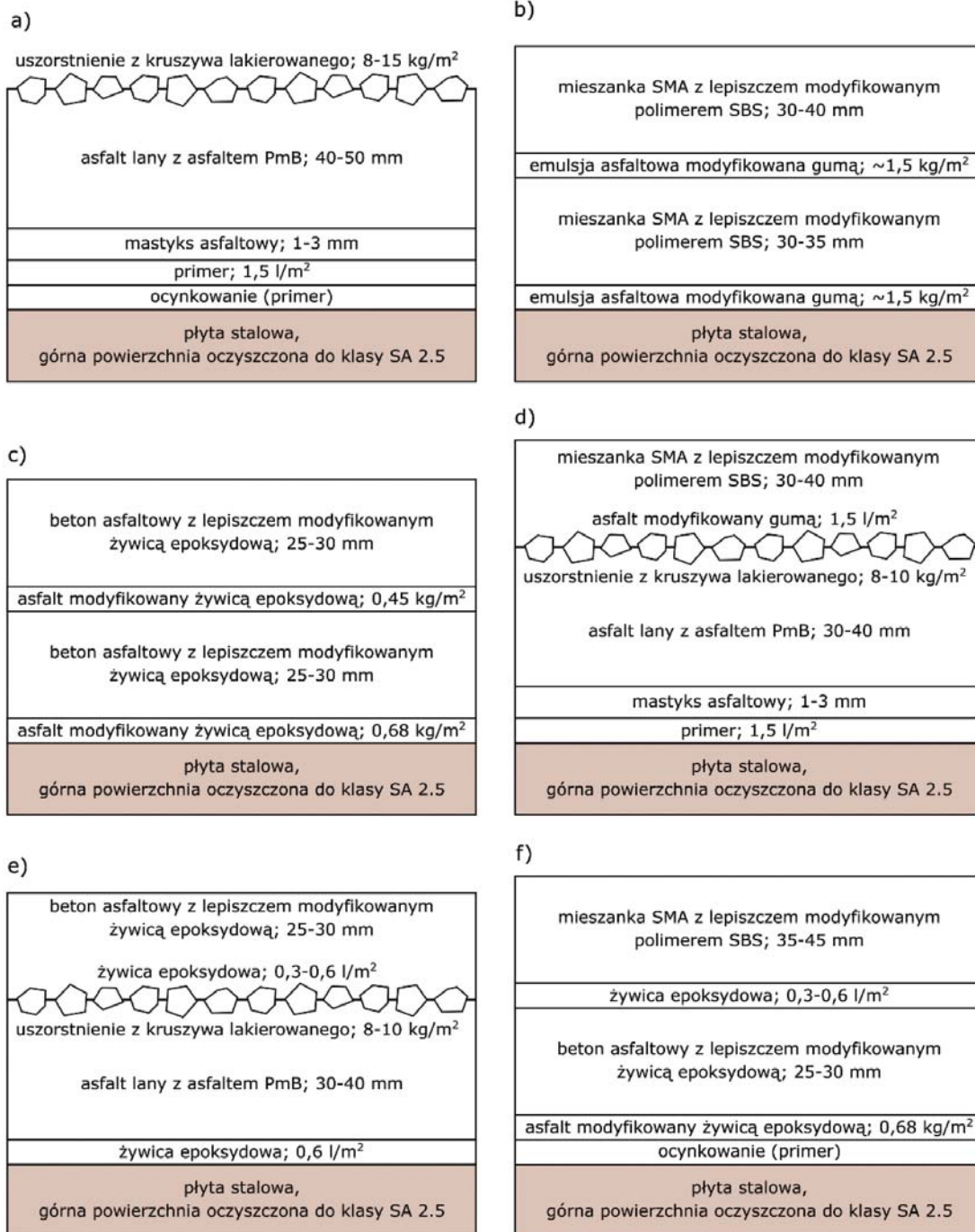
e) dwuwarstwowa konstrukcja podobna do wariantu d). Warstwę ścierną stanowi

- beton asfaltowy epoksydowy o grubości 25–35 mm,
- f) nawierzchnia dwuwarstwowa z warstwą ścierną z mieszanki SMA grubości 35–45 mm oraz warstwą ochronną z betonu asfaltowego epoksydowego.

W każdym wariantcie płyta ortotropowa powinna być oczyszczona poprzez piaskowanie do klasy SA 2.5, a następnie pokryta primerem cynkowym.

Jednowarstwowy wariant nawierzchni z asfaltu lanego zdaniem niektórych badaczy nie jest odpowiedni [35]. Ze względu na warunki klimatyczne oraz obciążenie ruchem wykazuje on tendencję do przedwczesnego zniszczenia.

W ostatnich latach mieszanka asfaltu lanego jest coraz chętniej stosowana w nawierzchniach obiektów mostowych, głównie jako warstwa ochronna izolacji, chociaż zdarzają się zastosowania tej mieszanki w warstwie ścierną. Wymienić tutaj można nowo budowane mosty w Chinach, a w Polsce most im. Elżbiety Zawackiej w Toruniu. Nawierzchnie z tego materiału są trwałe i odporne na uszkodzenia, co znacząco obniża koszty eksploatacji obiektów, jak również koszty społeczne związane z zamknięciem na czas remontu czy wymiany nawierzchni. Mimo tych pozytywnych aspektów zdarza się, że nawierzchnie z asfaltu lanego ulegają nadmiernym odkształceniom trwałym – koleinom. Związane jest to zarówno z projektem mieszanki, jak i z użytymi materiałami, głównie lepiszczem asfaltowym. Z uwagi na wysoką temperaturę produkcji asfaltu lanego ogranicza się stosowanie polimeroasfaltów na rzecz asfaltów drogowych lub asfaltów wielorodzajowych. Słabsze parametry tych asfaltów w porównaniu do lepiszczy modyfikowanych polimerami skłaniają do poszukiwania dodatków poprawiających ich właściwości. W tym kontekście najczęściej stosowanym dodatkiem jest asfalt naturalny Trinidad Epuré. Typowo stosuje się go w ilości ok. 1–1,5% masy mieszanki. Nie uwzględnia się jednak składu mieszanki, sztywności mastyksu lub gatunku użytego asfaltu, co może skutkować nieoptymalną ilością tego dodatku. Ilość dodatku powinna wynikać z właściwości reologicznych lepiszcza oraz cech mastyksu asfaltowego z tak zmodyfikowanym asfaltem. Z kolei korelacja między właściwościami mastyksu z dodatkiem TE a odpornością na deformacje trwałe mieszanki asfaltu pozwala na racjonalne dozowanie asfaltu naturalnego TE w zależności od potrzeb. Może się okazać, że wy-



Rys. 5. Przykładowe konstrukcje nawierzchni mostowej w Chinach (objaśnienia w tekście) (opr. własne na podst. [6])

starczy znacznie mniejsza ilość tego dodatku, aby uzyskać pożądane efekty.

Projekt mieszanki asfaltu lanego jest zdecydowanie odmienny od betonu asfaltowego lub mieszanki SMA, zarówno jeżeli chodzi o proporcje składników, jak i sposób uzyskania odpowiedniej trwałości. W przypadku konwencjonalnych mieszank, odporność na koleinowanie uzyskiwana jest poprzez zaprojektowanie „mocnego” szkieletu mineralnego zapewniającego kontakt grubych ziaren kruszywa. W asfalcie lanym to mastyks asfaltowy odpowiada za odporność mieszanki na deformacje – kruszywo grube jest w nim zawieszona i poszczególne ziarna mają bardzo mały kontakt z sobą, dlatego

wystarczającą odpornością na deformacje trwałe (koleiny) [12, 15 25].

Asfalt lany został wynaleziony w latach 40 XIX wieku w Niemczech przez Dietricha H. Henninga, który wykorzystał asfalt naturalny ze złóż. Asfalt lany produkowany był poprzez topienie w stacjonarnych kotłach brykietów naturalnego asfaltu i mieszanie ich z dodatkiem żwiru lub grubego piasku (w ilości około 60%). Cała praca, łącznie z rozkładaniem, wykonywana była ręcznie. W latach 60 XIX w. doszło do połączenia z firmą Augusta Egestroffa, która eksploatowała złoża w Linden. W owym czasie były to jedyne znane złoża asfaltu naturalnego w Niemczech. Bardzo szybko asfalt lany

projektując mieszankę asfaltu lanego należy zwrócić uwagę na właściwy skład mastyksu asfaltowego. Zwłaszcza obecnie, gdy zaobserwować można tendencję do projektowania sztywnych mieszank, z dużą ilością mączki wapiennej.

Asfalt lany jako materiał w nawierzchni mostowej

Asfalt lany jest mieszanką mineralno-asfaltową typu betonowego z dużym udziałem wypełniacza (do 28%, tj. 1,5–3 razy więcej niż w typowym betonie asfaltowym lub mieszance SMA) oraz większą zawartością asfaltu w stosunku do innych mieszank. W związku z pewnym nadmiarem lepiszcza, szkielet mineralny jest prawie w całości wypełniony mastyksem asfaltowym. Mieszanka ta charakteryzuje się bardzo małą zawartością wolnej przestrzeni (poniżej 1,5–2%), co przekłada się na jej odporność na działanie wody oraz środków odladzających. Z uwagi na swój skład mieszanka ta jest samozagęszczalna oraz cechuje się

upowszechnił się w Niemczech, a niedługo później w całej Europie – nawierzchnie wykonywano w takich miastach jak Paryż, Wiedeń i Budapeszt [8, 24]. W latach 50 XX wieku nastąpiła zmiana w produkcji asfaltu lanego. Dotychczasowe przewoźne kotły zostały zastąpione przez otaczarki. Wprowadzono również do użytku mechaniczne rozkładarki, co znacznie poprawiło wydajność i jakość pracy. Lata 60 i 70 ubiegłego wieku to wprowadzenie do stosowania asfaltów naturalnych (takich jak Trinidad Epuré) oraz polimeroasfaltów. Miało to na celu poprawienie właściwości sprężystych nawierzchni, jej trwałości oraz żywotności. Rozwinięto również technologię asfaltu lanego wałowanego aby zapobiec niszczeniu nawierzchni przez opony z kolcami. W tym celu wgniatało walcem w świeżo ułożoną mieszankę ziarna kruszywa rozłożone w cienkiej warstwie na powierzchni asfaltu lanego. Ostatnie lata to wprowadzenie do stosowania dodatków modyfikujących lepkość lepiszcza, w celu zmniejszenia temperatury mieszania oraz rozkładania asfaltu lanego, aby zredukować ilość oparów i aerozoli powstających przy produkcji tej mieszanki.

W Polsce mieszanka ta używana była od końca XIX w. W latach 60–80 XX wieku asfalt lany stosowany był w ograniczonym zakresie. Wiązało się to z technologią jego wykonania. W tym czasie mieszanka ta była rozkładana ręcznie, musiała więc zawierać stosunkowo dużo lepiszcza, aby była płynna i łatwo się rozkładała. Dodatkowo słaba kontrola jakości oraz błędy wykonawcze negatywnie wpływały na jego właściwości i jakość nawierzchni, a głównie na odporność na deformacje trwałe. Pierwsze próby mechanicznego rozkładania asfaltu lanego przypadają na połowę lat 70 XX w. Możliwe stało się wówczas produkowanie twardszych mieszanek o obniżonej zawartości lepiszcza. Negatywne doświadczenia ze stosowaniem asfaltu lanego doprowadziły niemal do zaniechania jego stosowania. Na początku XXI wieku wprowadzono nową normę na asfalt lany. Wtedy to upowszechniła się błędna nazwa mieszanki – asfalt twar dolany, która miała za zadanie odciąć się od niechlubnej przeszłości. Wdrożono wówczas rozwiązania oparte na niemieckich wzorcach, zaostrożono wymagania co do materiałów, jak i do kontroli produkcji [24, 31]. W ostatnich latach asfalt lany zyskuje na znaczeniu. Świadczą o tym inwestycje, na których został zastosowany: m. im. obwodnica Poznania, obiekty mostowe na drodze S5 czy most im. gen. Elżbiety Zawackiej w Toruniu [11, 21].

W obecnie obowiązującej wersji Wytycznych WT-2 [33] ograniczono nadziarno dla mieszanki MA 5, stąd mieszanka ta ma uziarnienie do 4 mm. Wprowadzono do stosowania nową mieszankę MA 16. Jako kruszywo drobne można stosować mieszankę kruszywa łamanego i niełamanego lub tylko kruszywo łamane. Jedynie dla kategorii ruchu KR1-2 dopuszczono stosowanie wyłącznie kruszywa niełamanego. Jako lepiszcze można stosować asfalt drogowy 35/50 i wielorodzajowy MG 35/50–57/69, a dla kategorii KR3-7 dodatkowo można stosować asfalt modyfikowany PMB 25/55–60. Zalecono również stosowanie środków obniżających lepkość asfaltów. Do oceny odporności mieszanki asfaltu lanego na deformacje trwałe stosuje się badanie penetracji stemplem statycznym. W zakresie wymagań dla mieszanek asfaltu lanego stosuje się jedno wymagania niezależnie od kategorii ru-

chu. Zrezygnowano z różnych poziomów kategorii przyrostu penetracji w zależności od modyfikacji asfaltu, brak jest również zróżnicowania wymagań w zależności od warstwy w jakiej ma być ułożona. Mieszanka MA 5 dopuszczona jest do stosowania w przypadku ręcznego układania ścieku przykrawężnikowego, natomiast MA 16 tylko do warstwy ochronnej nawierzchni mostowej. Pozostałe mieszanki można stosować bez ograniczeń. W tabeli 1 przedstawiono wymagania dotyczące uziarnienia oraz właściwości asfaltu lanego, natomiast w tabeli 2 wymagane właściwości mieszanki asfaltu lanego.

Tabela 1. Wymagane uziarnienie mieszanek asfaltu lanego wg [33]

| Właściwość | Przesiew [%, m/m] | | | | | | | |
|-------------------------|-------------------|-----|---------------|-----|----------------|-----|----------------|-----|
| | MA 5 KR1-7 | | MA 8 KR1-7 | | MA 11 KR1-7 | | MA 16 KR1-7 | |
| Wymiar sита # [mm] | od | do | od | do | od | do | od | do |
| 22,4 | | | | | | | 100 | 100 |
| 16,0 | | | | | 100 | 100 | 90 | 100 |
| 11,2 | | | 100 | 100 | 90 | 100 | - | - |
| 8,0 | | | 90 | 100 | 70 | 85 | 63 | 78 |
| 5,6 | 100 | 100 | 77 | 92 | - | - | - | - |
| 4,0 | 90 | 100 | 67 | 81 | - | - | 46 | 61 |
| 2,0 | 65 | 80 | 52 | 67 | 45 | 55 | 35 | 50 |
| 0,125 | 32 | 47 | 26 | 41 | 22 | 35 | 20 | 31 |
| 0,063 | 28 | 40 | 24 | 36 | 20 | 28 | 20 | 28 |
| Zawartość lepiszcza [%] | | | | | | | | |
| B _{min} | 7,0 | | 7,0 | | 6,8 | | 6,5 | |

Tabela 2. Wymagane właściwości mieszanki asfaltu lanego wg [33]

| Właściwość | Wymagania |
|--|--|
| Odporność na deformacje trwałe, penetracja stemplem statycznym wg PN-EN 12697-20 | |
| • zagłębienie trzpienia po 30 minutach, [mm] | I _{min} 1,0 I _{max} 3,0 |
| • przyrost penetracji między 30 a 60 minutą, [mm] | I _{nc} 0,60 |

Asfalt lany z uwagi na swoje właściwości jest chętnie stosowany w nawierzchni mostowej, z reguły jako warstwa ochronna izolacji, a rzadziej jako warstwa ściernalna. Za stosowaniem tej mieszanki w nawierzchni mostowej przemawiają następujące względy [29]:

- zawartość wolnych przestrzeni w mieszance asfaltu lanego jest bliska 0%, dlatego też mieszanka ta jest praktycznie nieprzepuszczalna dla wody. Skutkuje to jej dużą trwałością, ponieważ woda nie ma możliwości wnikięcia do jej wnętrza. Wskutek ograniczonego dostępu powietrza znacznie mniejsze jest starzenie długoterminowe mieszanki i wywołana tym jej kruchość. W wielu przypadkach asfalt lany stosowany był jako element hydroizolacji w nawierzchni mostowej,
- dzięki dużej zawartości lepiszcza mieszanka zachowuje dobrą elastyczność niezależnie od warunków klimatycz-

nych i ruchowych panujących na obiekcie mostowym. Mieszanka ta ma również dobrą odporność na zmęczenie. Nie wykazuje żadnych zniszczeń takich jak rozwarstwienie czy spękania,

- mieszanka asfaltu lanego wykazuje pewne cechy mieszanki samopoziomującej. Dzięki tej właściwości jest odporna na odkształcenia pionowe i poziome. Zapewnia to dobrą spójność nawierzchni,
- mieszanka nie wymaga stosowania walców zagęszczających, przez co nie występują zagrożenia z tym związane takie jak np. segregacja kruszywa lub niedogęszczenie warstwy w trudno dostępnych miejscach.

Dotychczasowe doświadczenia związane ze stosowaniem asfaltu lanego na obiektach mostowych są różne. Wskazać można obiekty, na których nawierzchnia okazała się bardzo trwała, jak i takie, gdzie w krótkim czasie uległa zniszczeniu [9, 10, 27, 28]:

- most Forth Road nad zatoką Firth of Forth w środkowo-wschodniej Szkocji został oddany do użytku w 1964 r. Ułożona została jednowarstwowa nawierzchnia z asfaltu lanego o grubości 38 mm. Przez 30 lat użytkowania nie było potrzeby wymiany nawierzchni na nową,
- most Akashi Kaikyo Bridge położony nad cieśniną Akashi w Japonii ma nawierzchnię z warstwą ochronną izolacji z asfaltu lanego o grubości 40 mm oraz warstwą ścieralną z mieszanki SMA o grubości 35 mm. Od momentu oddania do ruchu w roku 1998 do roku 2015 nawierzchnia nie wykazywała zniszczeń,
- most Severn Bridge został otwarty dla ruchu w roku 1966. Nawierzchnia jednowarstwowa o grubości 40–50 mm wykonana została z asfaltu lanego. W latach 1990–1991 wymieniono nawierzchnię na nową, również z asfaltu lanego,
- most nad Cieśniną Bosfor w Turcji zbudowany w 1973 r. miał 50 mm nawierzchnię z asfaltu lanego. Po 18 latach użytkowania (w 1991 r.), nawierzchnia została wymieniona na nową, cieńszą z asfaltu lanego,
- most Jiangyin nad rzeką Jangcy miał jednowarstwową nawierzchnię z asfaltu lanego. Do użytku został oddany we wrześniu 1999 r. Pierwsze spękania pojawiły się już w zimie, natomiast widoczne koleiny w czasie lata w 2000 r. Nawierzchnia uległa całkowitemu zniszczeniu na wiosnę 2002 r. Szczegółowe badania nawierzchni wykazały, że przyczyną zniszczeń była źle zaprojektowana mieszanka asfaltu lanego. Projekt opierał się na wytycznych brytyjskich, które nie przystawały do warunków panujących w Chinach [29, 30]. Po zastosowaniu zmodyfikowanej mieszanki asfaltu lanego w 2004 r., poza kilkoma spękaniem podłużnymi nie zanotowano większych zniszczeń nawierzchni [6],
- most nad kanałem Ulgi w Raciborzu w ciągu drogi wojewódzkiej nr 935. W roku 2007 został wykonany remont nawierzchni. Nowo ułożona nawierzchnia jest układem dwuwarstwowym z asfaltu lanego. Po 10 latach użytkowania stwierdzono prawie dwukrotnie mniejsze koleiny na moście niż na dojazdach oraz jedno pęknięcie [14],
- most Łazienkowski na Trasie Łazienkowskiej otwarty został do ruchu w lipcu 1974 r. Zastosowano tu innowacyjną na ówczesne czasy nawierzchnię z asfaltu lanego. Mieszanka

ta zawierała nieco mniej ziaren grubych oraz znacząco mniej asfaltu (ok 6,5% w porównaniu do 9–10%) niż w typowej mieszance asfaltu lanego w tamtym okresie. Wynikało to z przyjętych do projektowania założeń. Warstwy nawierzchni miały być układane w sposób mechaniczny, dzięki czemu mieszanka mogła być bardziej sztywna niż te przeznaczone do rozkładania ręcznego. Większa ilość drobnych ziaren w mieszance zwiększała odporność nawierzchni na powstanie spękań zmęczeniowych [24, 32]. Nawierzchnia ta służyła do początku XX wieku, kiedy to przeprowadzono jej częściową wymianę,

- most im. gen. Elżbiety Zawackiej w Toruniu został oddany do ruchu w grudniu 2013 r. Nawierzchnia tego mostu wykonana została w technologii dwuwarstwowej. Warstwę ochronną izolacji stanowi 5 cm warstwa mieszanki MA 16, natomiast 4 cm warstwa ścieralna została wykonana z mieszanki MA 11. Obie warstwy powstały na bazie asfaltu modyfikowanego. Do projektu mieszanki wykorzystano wytyczne szwajcarskie, z uwagi na wieloletnie doświadczenia w tym kraju w stosowaniu tej mieszanki [21].

Mimo dobrych właściwości mieszanki asfaltu lanego, zdarzają się przypadki uszkodzenia nawierzchni mostowej. Do najczęstszych uszkodzeń należą [4]:

- podłużne spękania zmęczeniowe na obiektach z płytą ortotropową. Powstają najczęściej w miejscach występowania usztywnień podłużnych i poprzecznych takich jak połączenia żeber z płytą pomostu. Jeżeli spękania te nie zostaną naprawione w odpowiednim czasie, mogą się rozwinąć w spękania siatkowe,
- utrata połączenia między warstwami oraz przesunięcia poziome warstwy ścieralnej,
- koleiny oraz sfalowania nawierzchni. Uszkodzenia te występują również w przypadku stosowania warstwy z mieszanki SMA. Dodatkowym zagrożeniem jest występowanie ich łącznie ze spękaniem zmęczeniowymi. Uszkodzenia te są skutkiem dużego natężenia ruchu na obiekcie mostowym oraz braku podjęcia działań w związku z pojazdami przeciążonymi,
- pęcherze spowodowane uszkodzeniem izolacji niedostosowanej do wyższej temperatury układania asfaltu lanego niż dla mieszanek wałowanych.

Asfalt naturalny jako dodatek ulepszający mieszanki mineralno-asfaltowe na nawierzchnie mostowe

W literaturze można znaleźć dużo przykładów pozytywnego wpływu tego dodatku na właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych. Danowski [7] przytacza przykłady realizacji nawierzchni drogowych z wykorzystaniem asfaltu naturalnego: m.in. budowa autostrady A-61 na odcinku Gau-Bickelheim, skrzyżowanie autostrad A7 i A5 w pobliżu miejscowości Fernwald, jak również nawierzchnie na obiektach mostowych w ciągu autostrad A 3 i A 95. Asfalt naturalny stosowano również do remontu nawierzchni ulicy Berliner Heerstrasse, do nawierzchni z betonu asfaltowego w Brandenburgii oraz w Polsce do warstwy wiążącej z asfal-

tu lanego na obiektach mostowych na drogach wojewódzkich w Wielkopolsce. Z ciekawych zastosowań TE można wymienić nawierzchnię pasa startowego (pas południowy 07 R – 25 L) na lotnisku we Frankfurcie nad Menem oraz na lotnisku w Monachium, gdzie nawierzchnia po 22 latach od momentu ułożenia nie wymaga naprawy ani przebudowy.

W 2007 r. została wymieniona nawierzchnia na moście Tacoma Narrows w stanie Waszyngton w USA. Zastosowano nawierzchnię z dwiema warstwami betonu asfaltowego modyfikowanego dodatkiem asfaltu naturalnego Trinidad. Warstwa wiążąca zawierała lepiszcze PG 64-22 modyfikowane 1,5% dodatkiem polimeru SBS i 40% dodatku TLA, natomiast warstwa ścieralna wykonana była z tego samego lepiszcza, ale z 25% dodatku TLA. Przegląd gwarancyjny po 5 latach od oddania nawierzchni do ruchu nie wykazał większych zniszczeń. Średnia głębokość koleiny wyniosła 4,0 mm, przy maksymalnej wynoszącej 5,1 mm [2]. Asfalt naturalny został również użyty w warstwie wiążącej z asfaltu lanego na moście Sultana Selima nad Bosforem. Łącznie wbudowano ponad 6000 ton mieszanki asfaltu lanego [1]. Kolejnym obiektem jest most Tsing Ma w Hong Kongu z jednowarstwową nawierzchnią z mieszanki asfaltu lanego. Od otwarcia do ruchu w maju 1997 r. przez 13 lat użytkowania nawierzchnia nie wykazywała zniszczeń, jedynie wymagane były niewielkie naprawy. Był to okres, w którym zaczęto stosować asfalt lany w nawierzchniach mostów w Chinach. Zaprojektowana mieszanka asfaltu lanego zawierała lepiszcze składające się w 70% z asfaltu naturalnego Trinidad i 30% z asfaltu drogowego [29]. Innym mostem, na którym zastosowano asfalt lany modyfikowany dodatkiem asfaltu naturalnego TE jest most Guo Shien na Tajwanie. Zastosowana mieszanka asfaltu lanego 0/12,5 mm zawierała lepiszcze Pen20/40 z dodatkiem asfaltu naturalnego w stosunku 75/25. Od momentu wbudowania w 2008 r., po trzech latach użytkowania nawierzchnia wykazała tylko niewielkie koleiny w śladzie kół, nie zaobserwowano natomiast innych zniszczeń [5].

Wnioski

Uszkodzenia nawierzchni mostowej wiążą się nie tylko z kosztami prac remontowych, ale również z utrudnieniami w sferze społeczno-gospodarczej – zamknięcie mostu może spowodować zatory drogowe, kolizje związane z najechaniem na pojazd poprzedzający, zwiększenie drogi, jaką muszą pokonać pojazdy przy objazdach zamkniętego mostu. Dlatego warstwy nawierzchni mostowej muszą być odpowiednio trwałe.

Zaprojektowanie odpowiedniej mieszanki mineralnej dla nawierzchni na obiekcie mostowym, w tym mieszanki asfaltu lanego, wobec zwiększającego się ruchu pojazdów ciężkich o obciążeniu osi 115 kN, wymaga nieraz stosowania dodatków polepszających jej właściwości. Jednym z ważniejszych etapów komponowania mieszanki jest dobór lepiszcza. Właściwości reologiczne znacznie lepiej klasyfikują lepiszcza pod względem ich użyteczności w nawierzchni niż podstawowe właściwości jak penetracja lub temperatura mięknięcia. Powszechnie stosowany w Polsce stempel do

badania penetracji niewystarczająco różnicuje twarde mieszanki o penetracji poniżej 2 mm, zatem powinno stosować się badanie stemplem dynamicznym.

Jednym z możliwych ulepszeń lepiszcza skutkującego zwiększeniem odporności na deformację trwałe jest dodatek asfaltu naturalnego. Ilość tego dodatku nie powinna być przyjmowana arbitralnie, lecz na podstawie badań laboratoryjnych.

Bibliografia

- [1] „Asphalt pavement operations on the 3rd bridge has been finished,” [Online] Dostęp z: <https://www.3kopru.com/eng/newsfromnmp/3-ASPHALT-PAVEMENT-OPERATIONS-ON-THE-3RD-BRIDGE-HAS-BEEN-FINISHED/396> [dostęp: 12. 12. 2021].
- [2] Anderson K., Russell M., Uhlmeier J., Luhr D., Dias B., Weston J., Trinidad Lake Asphalt Overlay Performance. Final Report, Olympia: WSDOT, 2014.
- [3] Asphalt pavements on bridge decks, Bruksela: EAPA, 2013.
- [4] Chen X., Xueyan L., Qian Z., Lei Z., State of the Art of Asphalt Surfacing on Long-spanned Orthotropic Steel Decks in China, w: International symposium on heavy duty asphalt pavements and bridge deck pavements, Nanjing: 2012.
- [5] Chen J.-S., Liao M.-C., Huang C.-C., Wang C.-H., Fundamental Characterization of Engineering Properties of Gussasphalt Mixtures, Journal of Materials in Civil Engineering, 2011, nr 23, s. 1719-1726.
- [6] Chen X., Huang W., Qian Z., Zhang L., Design principle of deck pavements for long-span steel bridges with heavy-duty traffic in China, Road Materials and Pavement Design, 2017, nr 18, s. 226-239.
- [7] Danowski M., *Nawierzchnie z dodatkiem asfaltu naturalnego Trinidad*, „Nawierzchnie Asfaltowe”, 2009, nr 2, s. 7-14.
- [8] „Dietrich Heinrich Henning” [Online]. Dostęp z: https://de.wikipedia.org/wiki/Dietrich_Heinrich_Henning [dostęp: 28. 03. 2019].
- [9] Guilian Z., Xiaoning Z., Wu C., Evaluation of steel bridge deck ma mixture properties during construction, Journal of Marine Science and Technology, 2015, nr 23, s. 293-301.
- [10] Hicks R.G., Dussek I.J., Seim C., Asphalt Surfaces on Steel Bridge Decks, Transportation Research Record, 2000, nr 1740, s. 135-142.
- [11] Knöbig A., Gussasphalt im Wachstumsmarkt Polen, Gussasphalt, 2014, nr 6, s. 26-27.
- [12] Luszawski S., Wojdanowicz S., *Nowoczesne nawierzchnie bitumiczne*, WKŁ, Warszawa 1977.
- [13] Medani T.O., Kolstein M.H., Scarpas A., Bosch A., Molenaar A.A.A., Material behaviour of mastic asphalt for orthotropic steel deck bridges, w: Proceedings van de Wegbouwkundige Werkdagen, Ede: 2002.
- [14] Moszko M., *Asfalt lany na moście w Raciborzu w ciągu drogi DW 935: 10 lat później*, w: *Asfalt lany: wymagania i wykonawstwo*, Cedry Wielkie: 2018.
- [15] Piłat J., Radziszewski P., *Nawierzchnie asfaltowe*, WKŁ, Warszawa 2010.
- [16] Piłat J., Radziszewski P., Kowalski K.J., *Jaka nawierzchnia, taki most*, „Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne”, 2007, nr 4, s. 49-52.
- [17] Radziszewski P., Piłat J., Sarnowski M., Król J., Kowalski K.J., *Nawierzchnie asfaltowe na obiektach mostowych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2016.
- [18] Radziszewski P., Piłat J., Sarnowski M., Kowalski K.J., Król J., *Rozwiązania materiałowo-technologiczne izolacji i nawierzchni obiektów mostowych*, Warszawa 2013.
- [19] Richtlijn voor het ontwerp van asfalt wegverhardingen op betonnen en stalen brugdekken, 2012.
- [20] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 30 maja 2000 roku w sprawie warunków technicznych, jakim po-

- winy odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie, (Dz.U. 2000 nr 63 poz. 735).
- [21] Ruttmar I., Hering M., *Renesans asfaltu lanego w Polsce? Pierwsze doświadczenia z niekonwencjonalnego projektu przy realizacji nawierzchni mostowych w Toruniu*, „Nawierzchnie asfaltowe”, 2014, nr 1, s. 4-11.
- [22] Seim C., Ingham T., Influence of Wearing Surfacing on Performance of Orthotropic Steel Plate Decks, *Transportation Research Record*, 2004, nr 1892, s. 98-106.
- [23] Sybilski D., *Nawierzchnie mostów drogowych*, „Inżynier Budownictwa”, 2009, nr 1, s. 62-65.
- [24] Sybilski D., *Stosowanie asfaltu lanego*, „Magazyn Autostrady”, 2008, nr 5, s. 52-59.
- [25] Tylman E., *Technologia materiałów drogowych*, WKŁ, Warszawa 1987.
- [26] Urbański K., *Doświadczenia w utrzymaniu nawierzchni jezdni i chodników na obiektach mostowych w zarządzie GDDKiA Oddział w Krakowie*, w: „Nawierzchnie Mostowe” 2016, Kraków 2016.
- [27] Wang H., Li G., Study of factors influencing gussasphalt mixture performance, *Construction and Building Materials*, 2015, nr 101, s. 193-200.
- [28] Wang H., Li G., Study on high-temperature stability of composite gussasphalt concrete, *Materials Research Innovations*, 2015, nr 19, s. 494-455.
- [29] Wang M., Hu D., Xiao L., Shang F., Developments of Gussasphalt System on Steel Deck Pavement, *World Journal of Engineering and Technology*, 2017, nr 5, s. 141-147.
- [30] Wang X., Chen X., Cheng G., Huang W., Cracking of the asphalt surfacing of the longest suspension steel bridge in China, w: *Proceedings of the 24th Southern African Transport Conference*, Pretoria: 2005.
- [31] Wąchalcki K., *Nowoczesne nawierzchnie na mostach. Asfalt lany*, [Online]. Dostęp z: <https://inzynerbudownictwa.pl/nowoczesne-nawierzchnie-na-mostach-asfalt-lany/>. [Dostęp: 30. 03. 2018].
- [32] Wojnarski R., *Doświadczenia ze stosowaniem asfaltów twardolanych w polskim drogownictwie w latach 70. Pierwsze nawierzchnie z asfaltu twardolanego*, „Polskie Drogi”, 2014, nr 4, s. 60-62.
- [33] WT-2 2014 – część I. Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych. Mieszanki mineralno-asfaltowe. Wymagania techniczne, Warszawa: GDDKiA, 2014.
- [34] Yao B., Cheng G., Wang X., Cheng C., Characterization of the stiffness of asphalt surfacing materials on orthotropic steel bridge decks using dynamic modulus test and flexural beam test, *Construction and Building Materials*, 2013, nr 44, s. 200-206.
- [35] Zhang D., Ye F., Yuan J., Analysis on Steel Bridge Pavement Structure Performance, w: *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, Shenzhen: 2013.