

## Słowo od Redaktora Naczelnego

Szanowni Państwo,

drugi numer „Drogownictwa” pod nową redakcją jest – podobnie jak pierwszy – w dużej części zbiorem publikacji z badań naukowych prowadzonych pod kierunkiem członków Kolegium Redakcyjnego czasopisma. Ta tendencja będzie utrzymywać się pewnie jeszcze przez kilka kolejnych wydań, dopóki nie przekonamy do siebie – jako dobrej platformy publikacji naukowych – młodych pracowników nauki (i ich opiekunów naukowych) z obszaru drogownictwa, prowadzących badania naukowe, których wyniki są warte upowszechnienia w gospodarce i administracji drogowej. Na razie dużą barierą, z którą spotykam się na co dzień w środowisku naukowym, jest „brak punktów”. Dlatego przytoczę tutaj słowa Ministra Edukacji i Nauki z jednego z ostatnich jego wystąpień: **Punktacja czasopism to jeden wielki skandal. Potworzyły się mafie czasopiśmowe, które wykupują miejsca w tych czasopiśmach zagranicznych, którym daliśmy 200 punktów. Jakość artykułów w tych czasopiśmach jest bardzo różna. I znów dochodzi do sytuacji, kiedy to nie jakość tych wyników badań naukowych ma znaczenie, ale to, gdzie jest to opublikowane. Z tym też trzeba skończyć, trzeba promować polskie czasopisma**. My w „Drogownictwie” konsekwentnie będziemy stawiać na jakość publikacji, czekając jednocześnie na obiecaną przez Pana Ministra promocję polskich czasopism.

Podobnie jak w poprzednim numerze, w aktualnym wydaniu poruszamy tematykę badań nawierzchni mostowych. Temat jest wdzięczny, bo łączy zgodnie drogowców i mostowców, co widać chociażby po zespołach autorskich. W obu tekstach zostały opublikowane wyniki badań prowadzonych przez autorów przy okazji opracowywania dla Ministerstwa Infrastruktury *Katalogu typowych nawierzchni obiektów mostowych*, który już niedługo będzie dostępny na stronie ministerstwa. Bez wątpienia problematyka ta

wymaga uporządkowania, a przy okazji wprowadzenia do polskiego mostownictwa kolejnej innowacji – nawierzchni betonowych na mostach. Innowacją jest również bardzo szybka implementacja do polskiego drogownictwa różnych technik cyfrowych. W ostatnim numerze wprowadzenie tych technik do mostownictwa prezentował prof. Marek Salamak, w tym numerze zespół prof. Joanny Bzówki pokazuje możliwości wykorzystania techniki cyfrowej (tym razem DIC) do badań w budownictwie drogowym.

Od czasu do czasu będziemy również prezentować problematykę transportu publicznego. W tym numerze moi koledzy z Politechniki Rzeszowskiej pod kierunkiem dr. Mateusza Szaraty poruszają bardzo aktualną problematykę transportu miejskiego, opisując wyniki swoich badań nad identyfikacją zachowań kierowców na czasowo wydzielanych pasach autobusowych. Prawdziwym „hitem” numeru jest artykuł prof. Janusza Rymusza umieszczony w serii „Z historii drogownictwa” nt. całkiem niedawnej katastrofy wiaduktu Polcevera w Genui. Podczas pobytu w 1993 r. we Włoszech J. Rymusza podał w wątpliwość realizowany właśnie sposób przebudowy wiaduktu i przedstawił włoskim inżynierom propozycję lepszego rozwiązania. Niestety, nie posłuchano go. Autor przekonuje nas, że jego pomysł mógł uratować ten obiekt. Artykuł kończy się ciekawym apelem Autora do władz Wenezueli i Libii (!?!). Dlaczego właśnie do nich? Warto sprawdzić w tekście.

Kolejne wydanie „Drogownictwa” będzie „eksperymentalne”. Po raz pierwszy poświęcimy cały numer jednej tematyce, zamieszczając przegląd artykułów relacjonujących ciekawe i aktualne prace naukowo-badawcze, związane z realizacją bardzo ważnych dla polskiego drogownictwa elementów infrastruktury drogowej. Nie zdradzając szczegółów, powiem tylko, że w tej dziedzinie staliśmy się ostatnio produkującym planem budowy – nie tylko w Europie, a nasi inżynierowie, projektanci i naukowcy, działający w tym obszarze, w przyspieszonym tempie uzupełniają i zdobywają nowe kompetencje techniczne.

Życzę ciekawej lektury

Tomasz Siwowski



BARTOSZ BUDZIŃSKI

Zachodniopomorski  
Uniwersytet Technologiczny  
w Szczecinie  
bbudzinski@zut.edu.pl  
ORCID: 0000-0001-6716-4454



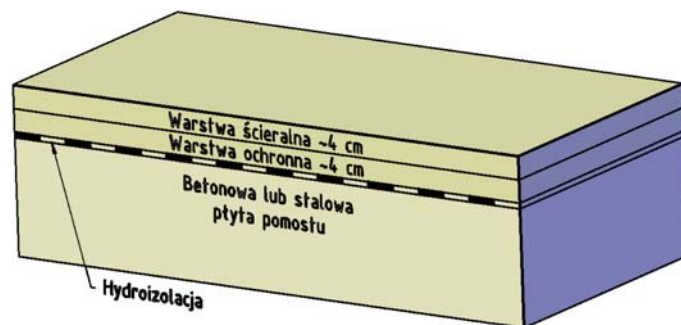
PAWEŁ MIECZKOWSKI

Zachodniopomorski  
Uniwersytet Technologiczny  
w Szczecinie  
pawel.mieczkowski@zut.edu.pl  
ORCID: 0000-0003-2128-5327

## Mieszanki mineralno-asfaltowe stosowane w drogowych nawierzchniach mostowych – przegląd

Nawierzchnie mostowe pracują w inny sposób niż typowe nawierzchnie na podłożu gruntowym. W odniesieniu do nawierzchni wykonywanych poza obiektami mostowymi istnieje szereg kryteriów projektowych, pozwalających na wymiarowanie konstrukcji nawierzchni w sposób optymalny [1–3]. W przypadku nawierzchni mostowych, brak jest jednoznacznych kryteriów projektowych [4, 5], a klasyczne metody projektowania okazują się nieodpowiednie dla nawierzchni na obiektach mostowych [6]. Rzeczywista trwałość nawierzchni mostowych może być niższa [7], niż nawierzchni prowadzonych poza obiektem. Również

projektanci obiektów mostowych nie podchodzą do problemu trwałości nawierzchni mostowych w odpowiedni sposób, skupiając się głównie na aspektach konstrukcyjnych i nośności samego obiektu mostowego. Na obiektach są szczególne warunki obciążenia [8, 9], które nie występują w konstrukcjach



Rys. 1. Typowy układ warstw konstrukcji nawierzchni na obiekcie mostowym

Tabela 1. Zakres stosowania mieszanek mineralno-asfaltowych w nawierzchniach obiektów mostowych w zależności od kraju [13]

	NIEMCY	TURCJA	CZECHY	HOLANDIA	POLSKA WT-2
Warstwa ścieralna	MA, SMA, AC, PA	AC, SMA, MA <sup>1</sup>	SMA, AC, MA	PA, AC, MA <sup>1</sup>	MA, SMA, AC, BBTM
Warstwa ochronna	MA	– <sup>2</sup>	MA, SMA, AC	MA <sup>1</sup> , AC <sup>3</sup>	MA

<sup>1</sup> Na obiektach stalowych. <sup>2</sup> Nie stosuje się warstwy ochronnej. <sup>3</sup> Dla warstwy wyrównawczej.

na podłożu gruntowym. Są to m.in. możliwe duże amplitudy odkształceń pionowych (od obciążeń pojazdami) i poziomych (od wahań temperatur), jak również drgania samego obiektu. W Polsce stosowano różne rozwiązania w zakresie nawierzchni mostowych [10, 11]. Obecnie na obiektach mostowych wykorzystuje się głównie materiały związane lepiszczem asfaltowym [4, 9, 11, 12]. Tradycyjna nawierzchnia na obiektach mostowych składa się najczęściej z warstwy hydroizolacyjnej, ochronnej (wiążącej) i ścieralnej (rys. 1).

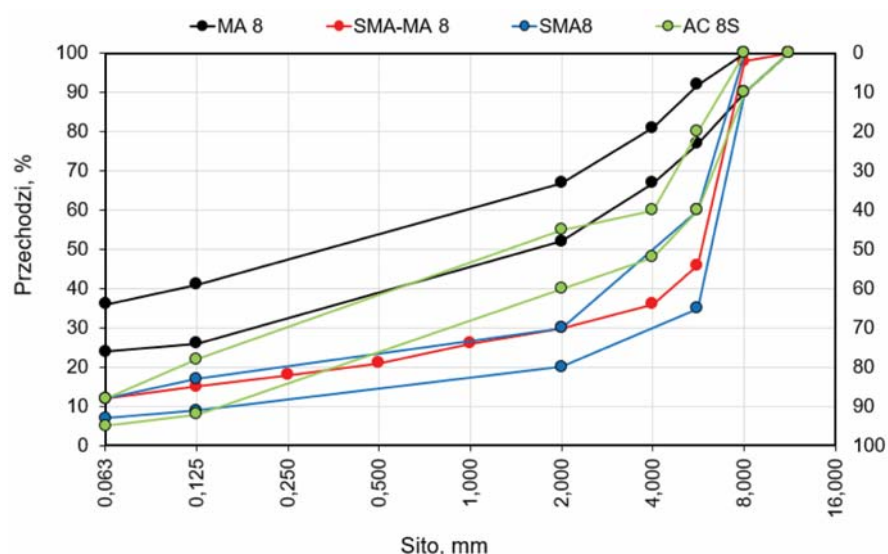
Przedstawiony na rysunku 1 układ warstwowy stał się standardowym rozwiązaniem nawierzchni mostowej. W przypadku warstwy ścieralnej, zazwyczaj stosuje się mieszanki typu beton asfaltowy lub SMA (w zależności od obciążenia ruchem). W przypadku warstw ochronnych, głównym materiałem jest asfalt lany.

## Mieszanki mineralno-asfaltowe stosowane na obiektach mostowych

### Podstawowy podział warstw nawierzchniowych z mieszanek mineralno-asfaltowych

Zakres stosowania poszczególnych mieszanek mineralno-asfaltowych jako warstw nawierzchniowych na obiektach mostowych w zależności od kraju stosowania oraz przeznaczenia zestawiono w tabeli 1.

Porównanie uziarnienia mieszanek stosowanych do



Rys. 2. Uziarnienia mieszanek mineralno-asfaltowych stosowanych do warstwy ochronnej na obiektach mostowych

warstwy ochronnej na obiektach mostowych przedstawiono na rysunku 2. W przypadku mieszanek MA 8, SMA 8, AC8 S przedstawiono krzywe graniczne uziarnienia zawarte w polskich wymaganiach technicznych [14]. W przypadku mastyksu grysowego o zwiększonej zawartości mastyksu SMA-MA 8 wykorzystano przykładowe uziarnienie [15].

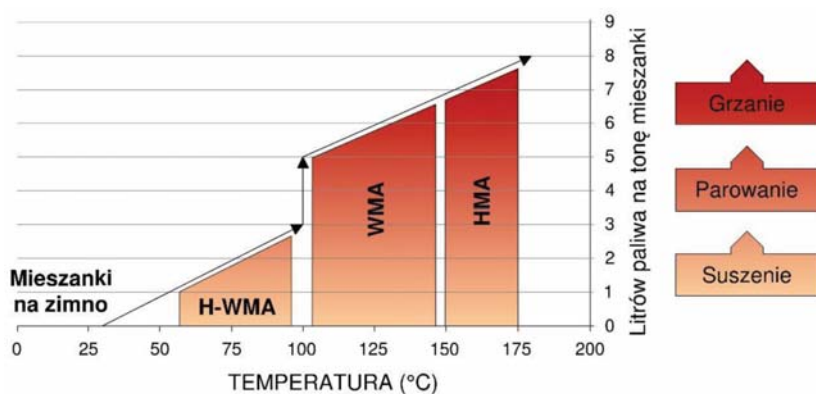
## Warstwy ochronne z asfaltu lanego

W przypadku warstwy ochronnej, polskie dokumenty techniczne przewidują możliwość stosowania wyłącznie asfaltu lanego MA [14]. Asfalt lany stosowany jest również powszechnie na świecie [16, 17]. Mieszanki tego typu opracowano na początku XX wieku, praktycznie równocześnie w Anglii i Francji [18]. W Europie projektowanie MA odbywa się na podstawie normy EN 13108-6 [19]. Parametry wytrzymałościowe w tego typu mieszankach są efektem przede wszystkim bardzo dużej lepkości (kohezji) części mastyksowej (mieszanki lepiszczka, wypełniacza i drobnego piasku). W celu zwiększenia kohezji mastyksu, często wykorzystuje się asfalty drogowe twarde (20/30, 35/50), charakteryzujące się niską penetracją i wysoką lepkością (kohezją) w zakresie temperatur eksploatacyjnych. Wadą tego typu rozwiązania może być podatność asfaltu lanego na pękanie w zakresie niskich temperatur. Z tego powodu w okresie ostatnich kilkunastu lat coraz częściej do asfaltów lanych wykorzystuje się asfalty modyfikowane polimerami, które są znacznie odporniejsze na tego typu zjawiska (miękkie asfalty bazowe). Asfalty tego rodzaju są jednak wrażliwe na wysokie temperatury (powyżej 180–190°C) ze względu na możliwość degradacji polimeru [16]. Z tego względu do produkcji asfaltów lanych z asfaltem modyfikowanym polimerami stosuje się dodatki obniżające lepkość (np. woski F-T, woski Monatana itp.) [20].

Mieszanka typu asfalt lany, obok niezaprzeczalnych zalet (samozagęszczalność, szczelność, żywotność), ma również wady, do których można zaliczyć [21–25]:

- konieczność stosowania specjalistycznych układarek i środków transportu, co przy ograniczonej liczbie sztuk tego sprzętu oraz obniżonej wydajności produkcji znacznie wydłuża czas trwania procesu inwestycyjnego w stosunku do rozwiązań na bazie typowych mieszanek mineralno-asfaltowych,

- wytwarzanie MA wymaga stosowania wysokich temperatur, co oddziałuje negatywnie na środowisko naturalne, a także zwiększa ryzyko przegrzania lepiscza asfaltowego,
- stosowanie warstwy z asfaltu lanego może prowadzić na skutek skurczu materiału do powstawania spękań (podłużnych i poprzecznych) i rozwarstwień, szczególnie przy znacznych różnicach temperatur powietrza oraz braku możliwości wbudowywania mieszanki całą szerokością jezdni (z tzw. szwem technologicznym podłużnym) (Fig. 3–4),
- brak możliwości kontroli składu mieszanki MA bezpośrednio po jej wyprodukowaniu, związany m.in. z brakiem systemów podgrzewania wypełniaczy w wytwórniach mieszanek bitumicznych.



Rys. 3. Porównanie procesu energochłonności różnych technologii produkcji MMA [41, 42]

Ze względu na wysoką temperaturę wbudowywania asfaltu lanego, rośnie ryzyko powstania pęcherzy [26–28] pomiędzy warstwą hydroizolacji z papy termozgrzewalnej i podłożem (płytą pomostu), wskutek wzrostu ciśnienia w pustkach oraz stosunkowo małej adhezji pomiędzy nimi [29, 30]. Wzrost temperatury wywołuje zwiększenie przede wszystkim ciśnienia pary wodnej i w niewielkim stopniu ciśnienia suchego powietrza. Znaczne wzrosty ciśnienia pary wodnej zauważalne są powyżej temperatury 100°C [21]. Dodatkowo, izolacje arkuszowe nie są odporne na przegrzanie. Papy po wygrzewaniu w temperaturze 200°C ulegają uszkodzeniom, a w wyższej temperaturze wygrze-

wania następuje ich całkowita degradacja strukturalna [31].

Wysoka temperatura ma również negatywny wpływ na stan zdrowia pracowników brygad bitumicznych. Wiąże się to ze zwiększonym wydzielaniem kancerogennych oparów, pochodzących z lepiscza asfaltowego [32, 33] (w szczególności w trakcie wykonywania nawierzchni w tunelach). Wśród robotników, szczególnie pracujących przy układaniu asfaltu lanego, ryzyko zachorowania na raka płuc wzrasta trzykrotnie [34]. Z tego powodu należy poszukiwać rozwiązań obniżających temperaturę wbudowywania mieszanek mineralno-asfaltowych [35, 36]. Każda redukcja temperatu-

Tabela 2. Propozycja wymagań dla mieszanek typu SMA-MA na podstawie analizy literatury i doświadczeń własnych [46]

Właściwość	Warunki zagęszczenia wg PN-EN 13108-20	Metoda i warunki badania	SMA-MA 5	SMA-MA 8	SMA-MA 11
Zawartość wolnych przestrzeni	C.1.2, ubijanie, 2×35 uderzeń	PN-EN 12697-8 [N3], p. 4	$V_{\max 1,5}$		
Zawartość wolnych przestrzeni	C.1.2, ubijanie, 2×50 uderzeń	PN-EN 12697-8 [N3], p. 4	$V_{\max 1,0}$		
Odporność na deformacje trwałe warstwy wiążącej (ochronnej) <sup>a)</sup>	C.1.20, wałowanie, $P_{98} - P_{100}$	PN-EN 12697-22 [N4], metoda B w powietrzu, PN-EN 13108029 D.1.6, 45°C <sup>d)</sup> 10 000 cykli	WTS <sub>AIR</sub> 0,30 PRD <sub>AIR</sub> Deklarowane		
Odporność na deformacje trwałe pakietu warstw (ścieralnej i ochronnej) <sup>b)</sup>	C.1.20, wałowanie, $P_{98} - P_{100}$	PN-EN 12697-22 [N4], metoda B w powietrzu, PN-EN 13108029 D.1.6, 50°C <sup>d)</sup> 10 000 cykli	WTS <sub>AIR</sub> 0,15 PRD <sub>AIR</sub> 9,0	WTS <sub>AIR</sub> 0,15 PRD <sub>AIR</sub> 7,0	
Odporność na działanie wody	C.1.1, ubijanie, 2×35 uderzeń	PN-EN 12697-12 [N5], przechowywanie w 40°C z jednym cyklem zamrażania <sup>c)</sup> , badanie w 25°C	ITSR <sub>90</sub>		
Splywność lepiscza	–	PN-EN 12697-18 [N6], p. 5	$D_{0,6}$		

a) Grubość płyty:

- 30 mm dla SMA-MA 5,
- 40 mm dla SMA-MA 8,
- 40 mm dla SMA-MA 11.

b) Grubość płyty:

- dla pakietu warstw 7 cm (warstwa ochronna 3 cm SMA-MA 5 + warstwa ścieralna 4 cm, np. SMA 11),
- dla pakietu warstw 8 cm (warstwa ochronna 4 cm SMA-MA 8 + warstwa ścieralna 4 cm, np. SMA 11).

c) Ujednoliconą procedurę badania odporności na działanie wody z jednym cyklem zamrażania podano w zał. nr 1 do WT-2:2014.

d) Temperatura badania zredukowana ze względu na niższą temperaturę nagrzewania się nawierzchni mostowej w okresie letnim w porównaniu do nawierzchni drogowej.

ry produkcji MMA przekłada się na zmniejszenie śladu węglowego oraz zmniejszenie energochłonności procesu [37] (rys. 3). W skrajnych przypadkach każde obniżenie temperatury wytwarzania mieszanki mineralno-asfaltowej o 11–12°C pozwala na dwukrotne zmniejszenie ilości wylęgów i gazów ciepłarnianych do atmosfery [38, 39, 40].

Obniżenie temperatury wbudowywania mieszanek mineralno-asfaltowych jest szczególnie istotne również w przypadku obiektów mostowych z płytą ortotropową. Wysoka temperatura wbudowywania nawierzchni oddziałuje negatywnie na połączenia stalowe, powodując powstanie naprężeń, a także przyczynia się do szybszego zmęczenia stalowej konstrukcji pomostu [43, 44].

## Nowe rozwiązania materiałowe

W końcu lat 90. XX wieku na Politechnice Szczecińskiej (obecnie Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie) prowadzone były badania nad mieszanką do warstw ochronnych (mieszanki mastyksowo-grysowe o zwiększonej zawartości mastyksu SMA-MA). Skutkiem tego były zmiany polegające na ograniczeniu zawartości frakcji piaskowej (#0.063/2.0 mm) i zwiększeniu ilości wypełniacza oraz lepiszcza (mastyksu). Przy projektowaniu mieszanek tego typu dużą uwagę poświęcano podatności na zagęszczenie, co znalazło się w późniejszych wymaganiach odnośnie składu i zawartości wolnej przestrzeni w próbkach formowanych przy obniżonej energii zagęszczania.

Przykłady zastosowania mieszanki SMA-MA na przestrzeni lat to między innymi: Most Długi w Szczecinie (realizacja w 2000 r.), Wiadukt Akademicki w Szczecinie (realizacja w 2001 r.), wiadukt drogowy w Policach (realizacja w 2013 r.), wiadukt drogowy nad drogą S3 (węzeł Tczewska – realizacja w 2014 r.), most nad rzeką Dzierżęcinką w Koszalinie (realizacja w 2014 r.).

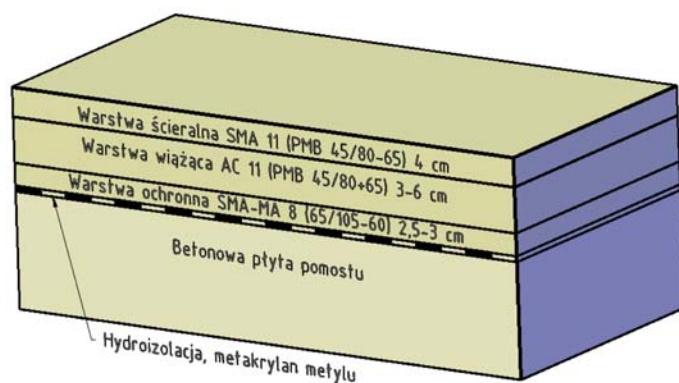
Wymagania dla mieszanek typu SMA-MA przedstawiono w tabeli (tab. 2). W wymaganiach tych uwzględniono podatność do zagęszczania mieszanki oraz zaproponowano odmienne podejście do badania odporności na deformacje trwałe (w stosunku do zapisów w WT-2014). Podatność do zagęszczania ocenia się na podstawie zmian w wolnej przestrzeni w próbkach Marshalla przy zróżnicowanej pracy zagęszczania (35 i 50 uderzeń na stronę), ale również dokonuje się makroskopowej oceny dotyczącej wypływu mastyksu na powierzchnię warstwy i jej jednorodności podczas zagęszczania w zagęszczarce walcowej. Podatność na deformacje trwałe ocenia się dwuetapowo. Badania wykonuje się w małym koleinomierzu. W pierwszej kolejności sprawdza się parametry warstwy ochronnej ( $WTS_{AIR}$ ,  $PRD_{AIR}$ ) o grubości 4 cm (dla SMA-MA 5 grubości 3 cm) w temperaturze 45°C. Drugi etap dotyczy oceny układu warstwowego (warstwa ochronna + warstwa ścierna) o grubości 8 cm (2 × 4 cm). Badanie wykonuje się w 50°C. W przypadku układu warstwowego oceniać można zarówno mieszankę SMA-MA, jak i MA (występujące w warstwie ochronnej) z identyczną mieszanką w warstwie ścierniej. Wyniki [45] wskazują, że mieszanki SMA-MA w tym badaniu charakteryzują się zdecydowanie większą odpornością na deformacje trwałe niż

asfalty lane. Nie świadczy to jednak o niższej odporności asfaltów lanych na deformacje trwałe, ale o niedostosowaniu metody badawczej do specyfiki tego typu mieszanek.

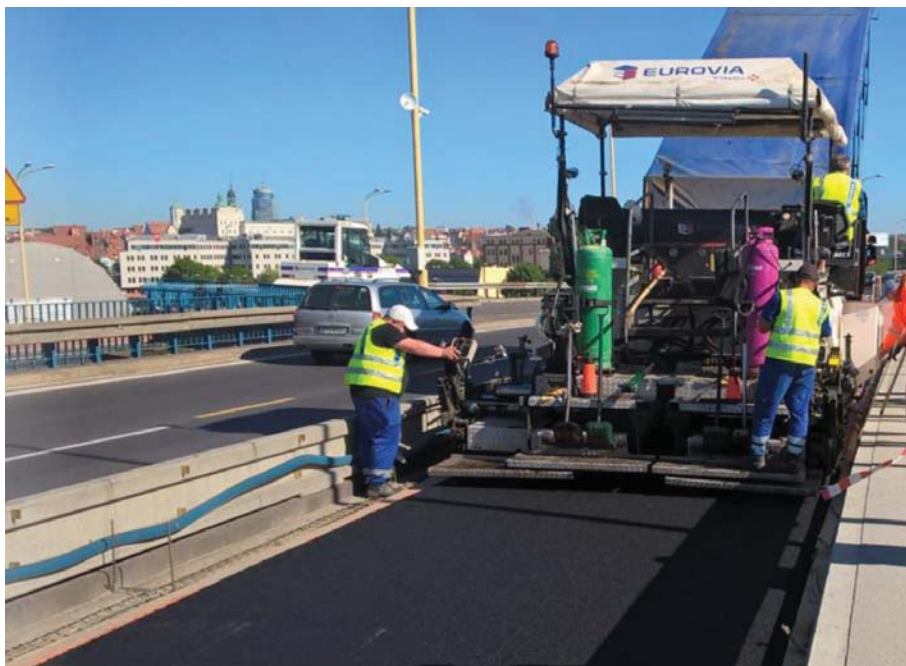
Największą inwestycją, na której zastosowano mieszankę SMA-MA, był remont arterii łączącej lewobrzeżną i prawobrzeżną część Szczecina (zwanej Trasą Zamkową). W latach 2017–2018 dokonano kompleksowego remontu nitki wjazdowej do miasta. Nitka ta składa się z dwóch mostów nad rzeką Odrą i Parnicą oraz wiaduktu nad wyspą Łasztownia [47]. Jednym z elementów poddanych przebudowie była nawierzchnia asfaltowa. Po 30 latach eksploatacji (rok budowy 1987) nawierzchnia była w bardzo złym stanie i wymagała kompleksowej odbudowy. Stary układ warstw na obiekcie składał się z jednej warstwy typowego mastyksu i dwóch warstw betonu asfaltowego o uziarnieniu do 11 mm. Mając na uwadze zakres prac, a także brak możliwości wyłączenia nawierzchni na dłuższy czas, podjęto decyzję o zastosowaniu innowacyjnego rozwiązania, jakim jest mieszanka SMA-MA. Zakres prac bitumicznych obejmował wykonanie nowej nawierzchni na długości 1818 m na 3–4 pasach ruchu.

Zaprojektowana konstrukcja składała się z 3 warstw asfaltowych (rys. 4) [48], ułożonych na hydroizolacji wykonanej z płynnej żywicy (metakrylanu metylu), aplikowanej metodą natryskową na odpowiednio przygotowanym podłożu (wypiaszkowana i oczyszczona płyta betonowa). Zabezpieczeniem hydroizolacji była warstwa mastyksu grysowego SMA-MA 8 PmB 65/105-60 o grubości 2,5–3,0 cm. Do wyrównania niwelety płyty pomostu zastosowano w warstwie wiążącej beton asfaltowy (jak do warstw ściernych) AC 11 S PmB 45/80-65. Grubość tej warstwy, ze względu na nierówności płyty pomostu, wahała się od 3,0 cm do 6,0 cm. Warstwa ścierna była wykonana w technologii standardowej mieszanki mastyksowo-grysowej SMA 11 PmB 45/80-65. Grubość warstwy ścierniej wynosiła 4 cm.

Warstwę ochronną wykonano z mieszanki SMA-MA 8. Zastosowano asfalt modyfikowany polimerami PmB 65/105-60 (zgodnie z PN-EN 14023:2011) w ilości 9,1% (m/m). Rozkładano ją klasycznymi rozścielaczami wykorzystywanymi przy wbudowywaniu typowych mieszanek mineralno-asfaltowych. Prace były wykonywane etapami (kolejne pasy ruchu) ze względu na konieczność zapewnienia ruchu na obiekcie mostowym (fot. 1).



Rys. 4. Konstrukcja nawierzchni na obiekcie mostowym „Trasa Zamkowa”



Fot. 1. Rozkładanie mieszanki SMA-MA w warstwie ochronnej na obiekcie mostowym „Trasa Zamkowa”



Fot. 2. Zagęszczanie warstwy ochronnej z mieszanki mastykowo-grysowej o zwiększonej zawartości mastyksu SMA-MA 8 PmB 65/105-60



Fot. 3. Warstwa z mieszanki SMA-MA 8 PmB 65/105-60 po zagęszczeniu (widoczny wyciśnięty mastyks na powierzchni warstwy)

Do zagęszczania stosowano walce stalowe (fot. 2), które poruszały się do momentu wyciśnięcia mastyksu (fot. 3). Uzyskiwano to po 2–3 przejściach walca pracującego statycznie (bez włączonej oscylacji). Miejsca połączeń technologicznych (w kierunku poprzecznym i podłużnym) zabezpieczano specjalną taśmą bitumiczną (mineralno-asfaltowo-kauczukową). Czteroletnia obserwacja wykonanego remontu nie wykazuje jakiegokolwiek uszkodzenia warstw asfaltowych. Podobnie na innych obiektach, na których w ostatnich kilkunastu latach wykonano warstwę z mieszanki SMA-MA, nie zaobserwowano uszkodzeń warstw asfaltowych.

## Podsumowanie

W Polsce większość nawierzchni mostowych wykonanych jest z mieszanek mineralno-asfaltowych. W przypadku warstw ścieralnych dominują mieszanki typu beton asfaltowy oraz mastyks grysowy SMA. Warstwy ochronne wykonywane są z asfaltu lanego. Materiał ten, mimo wielu zalet ma również szereg wad, którymi są między innymi: duża energochłonność procesu produkcji i wbudowywania, mała wydajność oraz problemy związane z wysoką temperaturą wbudowywania. W ostatnich latach zaproponowano inne rozwiązania materiałowe. Są to między innymi mieszanki mastykowo-grysowe o zwiększonej zawartości mastyksu SMA-MA, które z powodzeniem zostały wdrożone jako warstwy ochronne w województwie zachodniopomorskim na szeregu obiektów mostowych.

## Bibliografia

- [1] Judycki J., Jaskuła P., Pszczoła M., Ryś D., Jaczewski M., Alenowicz J., Dołżycki B., Stiness M., *Analizy i projektowanie konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych*. WKŁ, Warszawa 2014; ISBN 978-83-206-1928-7.
- [2] *Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures, Final Report, Part 3 – Design and Analysis*, NCHRP, TRB, NRC, March 2004.
- [3] *French Design Manual for Pavement Structures, Guide technique*, Ministere de l'Equipe-ment, des Transports et du Tourisme, LCPC, SETRA, May 1997.
- [4] Radziszewski P., Piłat J., Sarnowski M., Kowalski K., Pokorski P., Liphardt A., *Rozwią-*

- zania *Materiałowo-Technologiczne Izolacji i Nawierzchni Obiektów Mostowych*, Raport Końcowy 2013.
- [5] Caliendo C., Simplified Models for Estimating Stresses and Strains in Pavements on Concrete and Steel Bridges. *IJCIET* **2017**, *8*, 1273-1282.
- [6] Castro M., Structural Design of Asphalt Pavement on Concrete Bridges. *Can. J. Civ. Eng.* **2004**, *31*, 695-702, doi:10.1139/04-032.
- [7] Piłat J., Radziszewski P., Kowalski K., *Jaka nawierzchnia, taki most. „Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne” 2007.*
- [8] Madaj A., Wołowicki W., *Budowa i utrzymanie mostów*. WKŁ, Warszawa 2009; ISBN 978-83-206-1848-8.
- [9] Sybilski D., *Bitumiczne nawierzchnie mostowe. „Drogownictwo” 1994.*
- [10] Głomb J., *Tendencje rozwojowe w projektowaniu nawierzchni mostów drogowych. „Drogownictwo” 1972.*
- [11] Śliwiński J., Furtak K., *Materiały budowlane w mostownictwie*. WKŁ, Warszawa 2004; ISBN 978-83-206-1531-9.
- [12] Piłat J., Radziszewski P., *Nawierzchnie asfaltowe*. WKŁ, Warszawa 2007; ISBN 978-83-206-1759-7.
- [13] Association, E.A.P. *Asphalt pavements on bridge decks*; EAPA, 2013.
- [14] *WT-2 2014 – część I Mieszanki mineralno-asfaltowe, Wymagania Techniczne*. Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, Warsaw 2014.
- [15] Budziński B., Mieczkowski P., Application of Innovative SMA-MA Mixtures on Bridges. *Applied Sciences* **2020**, *10*, 6958, doi:10.3390/app10196958.
- [16] Zou G., Xu X., Li J., Yu H., Wang C., Sun J., The Effects of Bituminous Binder on the Performance of Gussasphalt Concrete for Bridge Deck Pavement. *Materials* **2020**, *13*, 364, doi:10.3390/ma13020364.
- [17] Luo S., Qian Z., Yang X., Wang H., Design of Gussasphalt Mixtures Based on Performance of Gussasphalt Binders, Mastics and Mixtures. *Construction and Building Materials* **2017**, *156*, 131-141, doi:10.1016/j.conbuildmat.2017.08.171.
- [18] Nikolaidēs A., *Highway engineering: pavements, materials and control of quality*; 2017; ISBN 978-1-138-89376-4.
- [19] EN 13108-6:2016-07 Bituminous Mixtures – Material Specifications – Part 6: Mastic Asphalt. CEN: Brussels, Belgium 2016.
- [20] Mazumder M., Kim H., Lee S.-J., Performance Properties of Polymer Modified Asphalt Binders Containing Wax Additives. *International Journal of Pavement Research and Technology* **2016**, *9*, 128-139, doi:10.1016/j.ijprt.2016.03.004.
- [21] Budziński B., Mieczkowski P., Sarnowski M., *Doświadczenia w zastosowaniu technologii SMA-MA*. Kraków 2016.
- [22] Mieczkowski P., *Warstwy ochronne z mieszanek mineralno-asfaltowych na obiektach mostowych Izolacje. „Izolacje” 2012*, 54-61.
- [23] *Alternatywne systemy izolacji płyt obiektów mostowych. „Magazyn Autostrady” 2014*, 30-34.
- [24] Mieczkowski P., *Hydroizolacja płyt pomostów na obiektach mostowych. „Budownictwo Mostowe Vademecum” 2015*, 11-17.
- [25] Giu-Lian Z., Xiao-Ning Z., Chung W., Evaluation of Steel Bridge Deck Ma Mixture Properties during Construction. *Journal of Marine Science and Technology* **2015**, *23*, 293-301, doi:10.6119/JMST-014-0327-2.
- [26] Hailesilassie B., Partl M., Mechanisms of Asphalt Blistering on Concrete Bridges. *Journal of ASTM International* **2012**, *9*.
- [27] Stosh H.J., *Błędy wykonawstwa nawierzchni bitumicznych*. WKŁ, Warszawa 1977;
- [28] Graczyk M., Zbiciak A., Michalczyk R., Kowalewski Ł., Numerical Modelling of Bubbles Formation in the Bridge Asphalt Pavement Under Gas Pressure Impact. *Transportation Research Procedia* **2016**, *14*, 3925-3934, doi:10.1016/j.trpro.2016.05.484.
- [29] Rosenberg J., *Thin pavements with synthetic binder used in Denmark*; Roskilde, 2001; ISBN 978-87-90145-73-6.
- [30] Hailesilassie B.W., Partl M.N., Adhesive Blister Propagation under an Orthotropic Bituminous Waterproofing Membrane. *Construction and Building Materials* **2013**, *48*, 1171-1178, doi:10.1016/j.conbuildmat.2013.07.047.
- [31] Radziszewski P., Piłat J., Sarnowski M., Influence of High Temperature on Properties of Materials Used in Bridge Asphalt Pavement Structures. *Roads and Bridges – Drogi i Mosty* **2015**, 175-191, doi:10.7409/rabdim.015.012.
- [32] Vapours and Aerosols of Bitumen: Exposure Data Obtained by the German Bitumen Forum. *The Annals of Occupational Hygiene* **2006**, doi:10.1093/annhyg/mel001.
- [33] Raulf-Heimsoth M., Marczyński B., Spickenheuer A., Pesch B., Welge P., Rühl R., Bramer R., Kendzia B., Heinze E., Angerer J., et al. Bitumen Workers Handling Mastic versus Rolled Asphalt in a Tunnel: Assessment of Exposure and Biomarkers of Irritation and Genotoxicity. *Arch Toxicol* **2011**, *85*, 81-87, doi:10.1007/s00204-011-0685-2.
- [34] Hansen E.S., Cancer Incidence in an Occupational Cohort Exposed to Bitumen Fumes. *Scand J Work Environ Health* **1989**, *15*, 101-105, doi:10.5271/sjweh.1875.
- [35] Rumler R., Rühl R., Nies E., Rode P., Heger M., Health Complaints of German Mastic Asphalt Workers. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* **2007**, *4*, 233-236, doi:10.1080/15459620701337635.
- [36] Weiss F., Baloh P., Pfaller C., Cetintas E.C., Kasper-Giebl A., Wonaschütz A., Dimitrov M., Hofko B., Rechberger H., Grothe H., Reducing Paving Emissions and Workers' Exposure Using Novel Mastic Asphalt Mixtures. *Building and Environment* **2018**, *137*, 51-57, doi:10.1016/j.buildenv.2018.03.060.
- [37] Cheraghian G., Cannone Falchetto A., You Z., Chen S., Kim Y.S., Westerhoff J., Moon K.H., Wistuba M.P., Warm Mix Asphalt Technology: An up to Date Review. *Journal of Cleaner Production* **2020**, *268*, 122128, doi:10.1016/j.jclepro.2020.122128.
- [38] T. Calabi-Floody A., A. Valdés-Vidal G., Sanchez-Alonso E., A. Mardones-Parra L., Evaluation of Gas Emissions, Energy Consumption and Production Costs of Warm Mix Asphalt (WMA) Involving Natural Zeolite and Reclaimed Asphalt Pavement (RAP). *Sustainability* **2020**, *12*, 6410, doi:10.3390/su12166410.
- [39] Autelitano F., Bianchi F., Giuliani F., Airborne Emissions of Asphalt/Wax Blends for Warm Mix Asphalt Production. *Journal of Cleaner Production* **2017**, *164*, 749-756, doi:10.1016/j.jclepro.2017.06.247.
- [40] Brandt H.C.A., de Groot P.C., A Laboratory Rig for Studying Aspects of Worker Exposure to Bitumen Fumes. *American Industrial Hygiene Association Journal* **1999**, *60*, 182-190, doi:10.1080/00028899908984433.
- [41] Mieczkowski P., Budziński B., *Ochrona środowiska w aspekcie produkcji i w budowywania mieszanek mineralno-asfaltowych. „Magazyn Autostrady” 2016*, 11-12, 40-44.
- [42] Olard F., Noan C., Low Energy Asphalts, Routes Roads, 336/337 2008.
- [43] Liu Y., Qian Z., Hu J., Jin L., Temperature Behavior and Stability Analysis of Orthotropic Steel Bridge Deck during Gussasphalt Pavement Paving. *Journal of Bridge Engineering* **2018**, *23*, 04017117, doi:10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0001163.
- [44] Wang Q., Ji B., Fu Z., Wang H., Effect of High-Temperature Pavement Paving on Fatigue Durability of Bearing-Supported Steel Decks. *Applied Sciences* **2020**, *10*, 7196, doi:10.3390/app10207196.
- [45] Pokorski P., Radziszewski P., Sarnowski M., *Odporność na deformacje trwałe asfaltowych nawierzchni mostowych*. ZNPrzBiS **2016**, doi:10.7862/rb.2016.103.
- [46] Radziszewski P., Piłat J., Sarnowski M., Kowalski K., Król K.J., *Nawierzchnie asfaltowe na obiektach mostowych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2016;
- [47] Hołowaty J., Multi-Span Bridge Crossing for Improved Road Access to Szczecin Sea Port.; CRC Press: Porto, Portugal, July 1 2015.
- [48] Dokumentacja projektowa dla zadania pn. „Remont Trasy Zamkowej w ciągu drogi wojewódzkiej nr 115 w m. Szczecin – Jezdnia Północna”. Zarząd Dróg i Transportu Miejskiego w Szczecinie, 2017.