



ADAM ZOFKA

Instytut Badawczy  
Dróg i Mostów  
azofka@ibdim.edu.pl



DOMINIKA  
MALISZEWSKA

Instytut Badawczy  
Dróg i Mostów  
dmaliszewska@ibdim.edu.pl



MACIEJ MALISZEWSKI

Instytut Badawczy  
Dróg i Mostów  
mmaliszewski@ibdim.edu.pl



DARIUSZ SYBILSKI

Instytut Badawczy  
Dróg i Mostów  
d.sybilski@ibdim.edu.pl

## Wpływ zastosowania maszyn podających mieszankę do rozkładarki na jakość nawierzchni asfaltowej

Trwałość nawierzchni asfaltowych zależy od dwóch podstawowych czynników: jakości zastosowanych materiałów oraz jakości wykonania robót asfaltowych. W każdym kraju istnieją specyfikacje techniczne, przepisy prawne i ekonomiczne, które mają za zadanie regulowanie tych dwóch czynników. Dokumenty te, a w szczególności specyfikacje techniczne, są ustalane na podstawie dotychczasowych doświadczeń oraz badań naukowych i są uaktualniane wraz z postępem technologicznym i materiałowym. Podczas gdy kraje w Europie dążą do pełnej standaryzacji i normalizacji, poszczególne stany w Stanach Zjednoczonych Ameryki Północnej mają swobodę w formułowaniu i wdrażaniu nowych specyfikacji technicznych. Jednym z przykładów technologii, które zostały selektywnie zaadaptowane w ostatnich 20 latach przez niektóre stany jest zastosowanie maszyny typu MTV (ang. *Material Transfer Vehicle*) podającej mieszankę mineralno-asfaltową ze środka transportowego do rozkładarki na placu budowy. Maszyną ta służy do przywrócenia, bądź poprawienia, jednorodności materiałowej i termicznej mieszanek mineralno-asfaltowych (mma) dostarczonych z wytwórni, w skrzyniach samochodów ciężarowych, na miejsce wbudowania.

Pogorszenie się lub utrata jednorodności materiałowej i/lub temperaturowej mma (segregacja) mogą zostać zainicjowane podczas przechowywania, załadunku oraz transportu mieszanki z wytwórni na plac budowy i mogą powodować niejednorodne zagęszczenie nawierzchni, co w efekcie prowadzi zwykle do jej przedwczesnego uszkodzenia bądź zniszczenia.

W niniejszym artykule przedstawiono pokrótce zasadę działania maszyny typu MTV oraz przybliżono ogólne zalety ich zastosowania opisane w literaturze. Bardziej szczegółowo przedstawiono wyniki oceny odcinków doświadczalnych wykonanych w 2002 roku w stanie Connecticut (USA) i pokazano wpływ zastosowania tego typu maszyny na cztery cechy techniczne oraz odpowiadające im parametry stanu nawierzchni w monitorowanych odcinkach, tj. równość podłużną, koleinowanie, spękania podłużne i spękania poprzeczne.

### Maszyny (MTV) podające mieszankę mineralno-asfaltową ze środka transportowego do rozkładarki na placu budowy

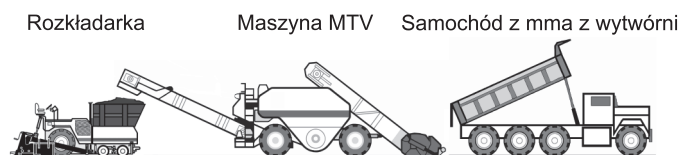
Maszyny typu MTV należą do szerszej grupy urządzeń, których podstawowym zadaniem jest przywrócenie, bądź poprawienie, jednorodności materiałowej i termicznej mma dostarczanej do rozkładarki wbudowującej taką mieszankę na budowie. Inne urządzenia z tej grupy to przystawki MTD (ang. *Material Transfer Device*) do rozkładarek mma oraz specjalnie skonstruowane rozkładarki, które zamiast tradycyjnego przenośnika taśmowego są wyposażone w parę (lub dwie pary) ślimakowych śrub przeciwbieżnych podających mieszankę z kosza zasypowego do stołu rozkładarki (ang. *Remix Pavers*). Cechą charakterystyczną maszyn typu MTV jest to, że są one samobieżne, przez co wymagają operatora. Dodatkową zaletą niektórych maszyn podających mma ze środka transportowego do rozkładarki jest możliwość przechowywania znacznej ilości mieszanki, nawet do 25 ton (np. *SB-2500D Shuttle Buggy® MTV* firmy *Roadtec®*). Tabela 1 przedstawia porównanie wybranych cech trzech rodzajów urządzeń do przywracania lub poprawiania jednorodności materiałowej i termicznej mma.

Tabela 1. Porównanie różnych urządzeń do przywracania lub poprawiania jednorodności materiałowej i termicznej mma

Właściwości urządzeń oraz inne wymagania	Typ maszyny oraz charakterystyka przykładowych urządzeń			
	MTV	MTV	MTD	Remix Paver
Przykładowe urządzenie	Roadtec SB-2500D [1]	VÖGELE MT 3000-2 Offset [2]	Terex MS-4 [3]	Terex CR652RX [4]
Wymaga dodatkowego operatora?	Tak	Tak	Nie	Nie
Masa (ton)	34	24	10	19
Przechowuje dodatkową mma?	Tak (12 m³)	Tak (5,3 m³)	Tak (3,4 m³)	Nie
Umożliwia podawanie mma z boku? (ang. <i>offset paving</i> )	Tak	Tak	Nie	Nie

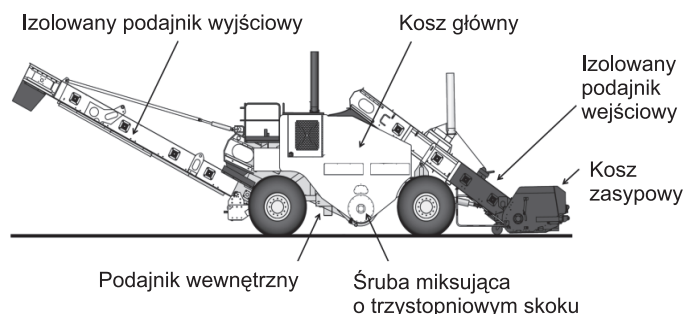
## Zasada działania maszyn typu MTV

Chociaż dostępne na rynku maszyny typu MTV różnią się konstrukcyjnymi i technologicznymi rozwiązaniami, zajmują one jednak zawsze to samo miejsce w procesie technologicznym w budowywania mma w warstwy nawierzchni. Schemat załadowywania do rozkładarki mieszanki (dostarczonej samochodami ciężarowymi z wytwórni mma) przy użyciu maszyny MTV przedstawiono na rysunku 1. Maszyna najpierw przyjmuje mieszankę z samochodów dowożących ją z wytwórni mma. Następnie mieszanka jest dodatkowo mieszana (miksowana) w koszu maszyny MTV i podawana izolowanym termicznie podajnikiem do kosza rozkładarki. W zależności od wielkości i właściwości izolacyjnych kosza maszyny MTV, mieszanka może być również przechowywana przez pewien czas w tym urządzeniu. Pozwala to na wydajniejsze zorganizowanie pracy samochodów dostarczających mma na budowę, co jest dalej szczegółowo omówione.



Rys. 1. Załadowywanie rozkładarki mma mieszanką przy zastosowaniu maszyny typu MTV

Rysunek 2. przedstawia główne elementy maszyny typu MTV na przykładzie *Roadtec SB-2500D* [1]. Na szczególną uwagę zasługuje specjalna śruba ślimakowa mieszająca, o trzystopniowym skoku (ang. *triple-pitch auger*), umieszczona w koszu głównym tej maszyny, do którego wysypywana jest mma dostarczona samochodami z wytwórni na budowę. Według producenta, takie rozwiązanie pozwala nie tylko na przemieszczanie boczne mieszanki wewnątrz kosza w kierunku podajnika wewnętrznego, ale umożliwia także dokładne wymieszanie mma, co prowadzi do jej ujednorodnienia pod względem materiałowym i termicznym. W rozwiązaniu innego producenta (*Terex*), mma jest mieszana i przemieszczana w kierunku podłużnym przez system dwóch par przeciwnych śrub ślimakowych o zmiennym skoku (ang. *variable-pitch auger*) [5]. Ta maszyna MTV (*Terex CR662RM*) może zostać zamieniona w rozkładarkę (ang. *remix paver*)



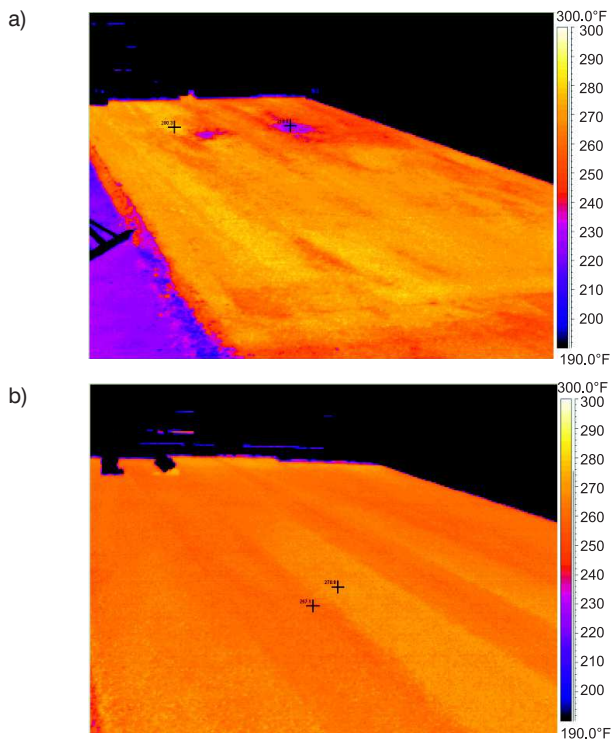
Rys. 2. Elementy maszyny podającej mma do rozkładarki na przykładzie *Roadtec SB-2500D Shuttle Buggy®*

poprzez dołączenie deski rozkładającej, co według producenta jest rozwiązaniem bardziej ekonomicznym. Trzecim przykładem maszyny MTV jest *Blaw Knox MC-330* firmy *Ingersoll Rand* należącej do *Volvo Construction* [6]. Ta maszyna wyposażona jest w parę śrub ślimakowych do przemieszczania mma w kierunku poprzecznym w koszu głównym i płaski, podłużny podajnik wyjściowy. Podobne rozwiązanie jest zastosowane w maszynie *MT 3000-2 Offset* firmy *VÖGELE* [2], w której ponadto zastosowano podajnik na wysięgniku obrotowym.

## Zalety maszyn typu MTV

Wszystkie maszyny typu MTV charakteryzują się szeregiem wspólnych zalet, które poprawiają jakość wykonywanych warstw nawierzchni z mma na gorąco. Do najważniejszych zalet można zaliczyć znaczną poprawę jednorodności mma podawanej do rozkładarki, możliwość ciągłego układania warstw nawierzchni asfaltowej – bez przestojów, eliminację fizycznego kontaktu z rozkładarką samochodu dowożącego mma na budowę, bardziej ekonomiczne użycie samochodów dostarczających mma oraz łatwiejsze wykonywanie warstw z mma w miejscach o ograniczonym dostępie (np. skrzyżowania, parkingi z dużą liczbą wysepek) wraz z ochroną przygotowanego podłoża pod wbudowywaną warstwę z mma.

**Poprawa jednorodności mma podawanej do rozkładarki.** Niejednorodność materiałowa (segregacja) i temperatura mma prowadzi do niejednorodnego i zazwyczaj niedostatecznego zagęszczenia w budowywanej warstwy nawierzchni, co w rezultacie może znacznie skrócić trwałość nawierzchni asfaltowej. Maszyny typu MTV znacząco poprawiają jednorodność materiałową i termiczną mieszanki podawanej do rozkładarki mma. Segregacja materiałowa jest to fizyczna niejednorodność rozkładu ziaren otoczonego lepiszczem kruszywa w jednostce objętości mma, która może być zainicjowana zarówno na etapie wytwarzania i przechowywania mma w zasobnikach na wytwórni, jak i przy jej załadunku na środki transportu, a także w trakcie dowozu na budowę oraz zasilania rozkładarki; może także wystąpić w trakcie rozkładania mieszanki na budowie. Niejednorodność temperaturowa mieszanki może powstać podczas przechowywania mma w zasobnikach na terenie wytwórni, w czasie transportu i samego rozkładania mma na budowie. Maszyny typu MTV znacząco eliminują oba rodzaje niejednorodności poprzez dodatkowe mieszanie (miksowanie) mma na ostatnim etapie transportu. Fotografia 1. przedstawia porównanie rozkładu wartości temperatury nawierzchni za rozkładarką mma w dwóch przypadkach: bez zastosowania maszyny MTV (lewe zdjęcie) i z zastosowaniem maszyny MTV (prawe zdjęcie). Oba zdjęcia zostały wykonane przy użyciu kamery termowizyjnej podczas wykonywania odcinków doświadczalnych w stanie Connecticut (informacje na temat odcinków są zamieszczone w dalszej części artykułu). Przy identycznych czynnikach takich jak rodzaj mma, rodzaj wytwórni, czas transportu i rodzaj urządzeń rozkładających, zastosowanie maszyny MTV pozwoliło uzyskać jednorodną temperaturę w przedziale 126–132°C, podczas gdy w przypadku braku maszyny MTV temperatura nawierzchni wahała się w granicach 100–140°C.



Fot. 1. Rozkład temperatury rozłożonej warstwy ścierniczej nawierzchni: a) bez zastosowania maszyny MTV, b) przy zastosowaniu maszyny MTV [7][8]

**Nieprzerwane układanie nawierzchni asfaltowej.** Kolejną praktyczną zaletą zastosowania maszyny MTV jest eliminacja bezpośredniego kontaktu pomiędzy samochodem dostarczającym mma a rozkładarką. Rozładunek mma z samochodu do kosza zasypowego MTV może odbywać się nawet w odległości kilkunastu lub nawet kilkudziesięciu metrów od rozkładarki, co niesie za sobą szereg zalet. Po pierwsze, rozkładarka pracuje w sposób ciągły, ze stałą prędkością, a przez brak postojów eliminuje się miejsca o niejednorodnej gęstości. Brak kontaktu eliminuje również możliwość uderzenia samochodu w rozkładarkę, co najczęściej prowadzi do powstawania nierówności nawierzchni. Rozładunek mma z samochodów do kosza MTV z dala od rozkładarki jest także łatwiejszy, zajmuje zazwyczaj mniej czasu i może zminimalizować zniszczenia połączenia międzywarstwowego przez samochody dowożące mma z wytwórni. Prowadzi to do uzyskania większej wydajności pracy i bardziej jednorodnej nawierzchni.

**Obniżenie kosztów transportu mieszanki.** W przypadku maszyn typu MTV z koszem głównym o znacznej pojemności, możliwe jest obniżenie kosztów transportu mieszanki poprzez zredukowanie, praktycznie do zera, czasu oczekiwania na rozładunek samochodów dowożących mma z wytwórni. W takim przypadku maszyna MTV jest wykorzystana jako czasowa „przechowalnia” mma, a samochody mogą płynnie i bez zbędnych przerw kursować pomiędzy wytwórnią a placem budowy. Im dłuższy jest czas oczekiwania samochodu na rozładunek mma do kosza rozkładarki (w przypadku niekorzystania z kosza maszyny MTV), tym większe są oszczędności płynące z użycia maszyny typu MTV. W tabeli 2. przedstawiono hipotetyczne porównanie kosztów transportu przy założeniu takich dwóch scenariuszy. Przy tych założeniach,

Tabela 2. Porównanie kosztów transportu mieszanki bez/z użyciem kosza maszyny typu MTV. Założenia: 10-godzinny dzień pracy; zapotrzebowanie dzienne na mieszankę 2400 ton; ładowność samochodu 20 ton; koszty pracy samochodu 60 USD na godzinę

Operacja*	Scenariusz bez wykorzystania kosza MTV	Scenariusz z wykorzystaniem kosza MTV
Załadunek mieszanki w wytwórni	6 min.	6 min.
Transport na miejsce robót	20 min.	20 min.
Czas oczekiwania na rozładunek	15 min.	0 min.
Podmiana samochodu	2 min.	0 min.
Rozładowanie	3 min.	2 min.
Powrót do wytwórni	20 min.	20 min.
Czas na jeden cykl samochodu	66 min.	48 min.
Koszt pracy samochodu na jeden cykl	66,00 USD	48,00 USD
Koszt transportu jednej tony	3,30 USD	2,40 USD
Ilość cykli jednego samochodu na dzień	9	12
Dzienna ilość zapotrzebowanych cykli samochodów	120	120
Liczba potrzebnych samochodów	14	10

\* Na podstawie przykładu z [www.roadtec.com](http://www.roadtec.com)

zastosowanie kosza maszyny typu MTV pozwoliłoby zredukować liczbę samochodów z 14 do 10 i obniżyć koszty pracy.

**Łatwiejsze roboty drogowe przy ograniczonym dostępie.** Rozładowywanie samochodów dostarczających mma z wytwórni do kosza maszyny MTV może także znacznie ułatwić roboty asfaltowe w miejscach trudno dostępnych. Jest to szczególnie przydatne na skrzyżowaniach i parkingach z dużą liczbą wysepek, gdzie cofanie samochodu dostarczającego mma z wytwórni jest znacznie utrudnione. W takich przypadkach najlepiej jest zastosować maszyny typu MTV z obrotowym wysięgnikiem i poruszających się na kołach ogumionych. Ponadto użycie obrotowego wysięgnika chroni przygotowane uprzednio podłoże (np. skropione emulsją lub z ułożonymi geosyntetykami zbrojącymi), ponieważ samochody ciężarowe dostarczające mma z wytwórni i sama maszyna MTV nie poruszają się w pasie rozkładarki.

## Przykład zastosowania maszyn typu MTV

W literaturze istnieje szereg publikacji dokumentujących użycie maszyn typu MTV oraz ich wpływ na ograniczenie skutków segregacji termicznej i materiałowej, jak na przykład [7]–[15]. Poniżej przedstawiono wyniki z projektu badawczego, który obejmował budowę odcinków doświadczalnych w 2002 roku w stanie Connecticut (USA). W szczególności pokazano wpływ zastosowania maszyny MTV na cztery cechy techniczne nawierzchni w monitorowanych odcinkach, tj. równość podłużną, koleinowanie, spękania podłużne i spękania poprzeczne.



## Opis odcinków doświadczalnych

Prezentowane odcinki doświadczalne wykonano we wrześniu 2002 r. w ramach remontu 13 km drogi numer 94 w stanie Connecticut. Remont polegał na usunięciu, poprzez frezowanie, 50 mm istniejącej warstwy ścieralnej i ułożeniu nowej warstwy ścieralnej o takiej samej grubości. Prezentowane odcinki doświadczalne zostały wykonane na przestrzeni dwóch tygodni (tabela 3.) przez tę samą ekipę drogową i w takiej samej technologii, za wyjątkiem użycia maszyny typu MTV (*Roadtec SB-2500*) na odcinkach numer 4 i 5. Mieszanka mineralno-asfaltowa (0/12.5 mm z niemodyfikowanym asfaltem PG 64-22) była przygotowywana na bieżąco w wytwórni odległej o 25 km od miejsca remontu.

Tabela 3. Dane dotyczące wykonywania remontów realizowanych na odcinkach doświadczalnych

Odcinek	Data wykonania	Pogoda	Średnia temp. pow. (°C)	MTV	Długość odcinka (km)	Średnia różnica temp. (°C)*
1	3-9-2002	Słonecznie	27	Nie	0,33	33
2	4-9-2002	Pochmurnie	29	Nie	0,18	25
3	5-9-2002	Słonecznie	24	Nie	0,80	32
4	10-9-2002	Słonecznie	32	Tak	0,22	8
5	17-9-2002	Pochmurnie	18	Tak	0,36	10

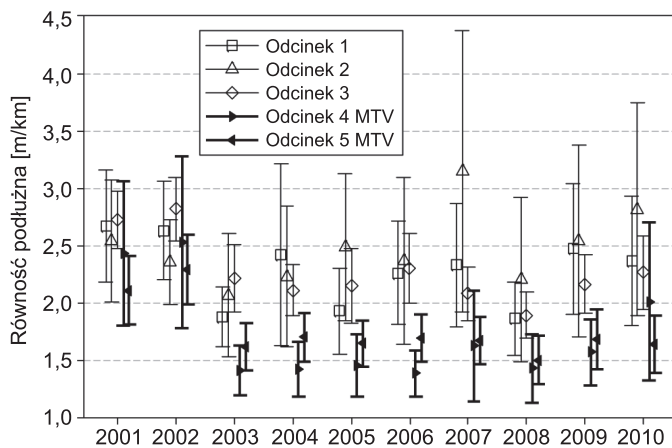
\* Różnica temperatury układanej mieszanki pomiędzy obszarem „najzimniejszym” i „najcieplejszym” mierzona w zakresie zdjęcia termowizyjnego (przykłady na rys. 3.); wyniki w tabeli reprezentują średnie wartości uzyskane z wielu zdjęć.

## Parametry techniczne odcinków doświadczalnych w latach 2002–2010

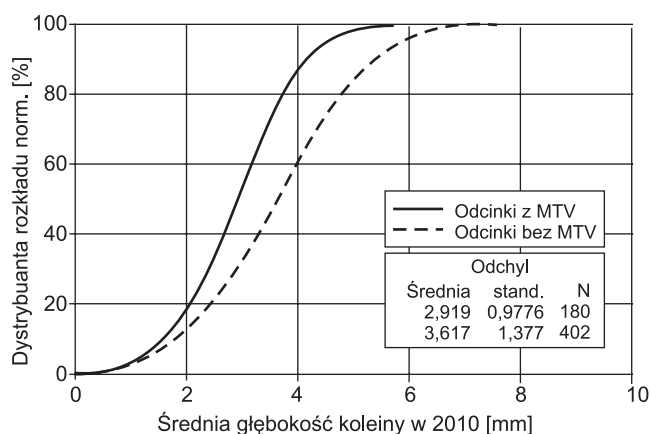
W celu oceny wpływu zastosowania maszyny MTV na cechy techniczne nawierzchni, odcinki doświadczalne były monitorowane corocznie przed i po remoncie (w 2002 roku), przy użyciu pojazdu diagnostycznego ARAN (ang. *Automatic Road Analyzer*) [16]. Poniżej przedstawiono wyniki oceny wybranych cech technicznych, tj. równości podłużnej, koleinowania, spękań podłużnych oraz spękań poprzecznych.

Rysunek 3. przedstawia zmiany równości podłużnej wyrażonej poprzez wskaźnik IRI (ang. *International Roughness Index*). Należy zwrócić szczególną uwagę, że wszystkie odcinki miały zbliżoną równość przed remontem, co wskazują wartości z 2001 oraz 2002 roku. Następnie, najprawdopodobniej dzięki zastosowaniu urządzenia MTV, odcinki 4. oraz 5. zachowały znacząco niższe wartości średnie i rozrzut wskaźnika IRI przez 8 kolejnych lat.

Rysunek 4. prezentuje zbiorcze dystrybuanty rozkładu głębokości kolein pomierzonych w 2010 roku. To zestawienie pozwala na określenie powierzchni nawierzchni (w procentach), która wykazuje konkretną wartość skoleinowania bądź odwrotnie – można określić głębokość maksymalnej koleiny na konkretnej części powierzchni nawierzchni. W przykładzie: 50% powierzchni odcinków wybudowanych z zastosowaniem urządzenia MTV wykazywało 2,9 mm lub niższą głębokość kolein, podczas gdy na odcinkach, na których nie zastosowano maszyny MTV ta wartość wynosiła 3,6 mm. Parametr ten, podobnie jak w przypadku IRI, wskazuje na pozy-



Rys. 3. Równość podłużna scharakteryzowana (wskaźnik IRI) przed (tj. w 2001 r.) i po wykonaniu odcinków doświadczalnych w 2002 r. (symbol reprezentuje średnią arytmetyczną, podczas gdy kolumna wskazuje przedział ufności 95% dla tej średniej)

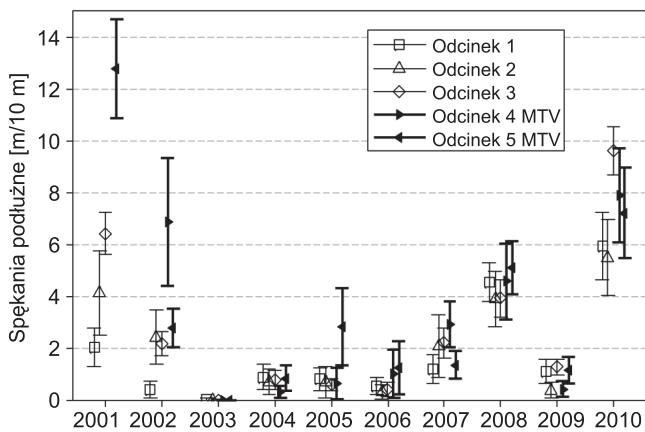


Rys. 4. Średnia głębokość koleiny w 2010 roku

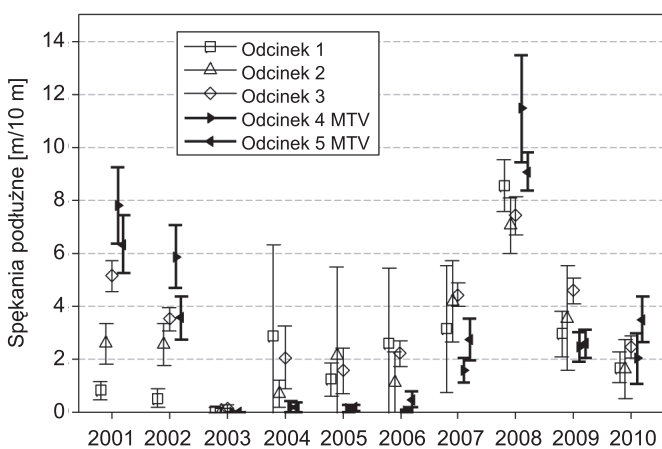
tywny wpływ zastosowania urządzenia typu MTV na jakość wykonanej warstwy ścieralnej z mma na gorąco.

Rysunek 5. oraz rysunek 6. przedstawiają ilość spękań podłużnych i poprzecznych pomierzonych na rozpatrywanych odcinkach, w metrach na 10 metrów pasa ruchu. Na podstawie przytoczonych wyników pomiarów można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Odcinki, na których zastosowano w trakcie remontu podanie mma do rozkładarki maszyną MTV charakteryzowały się przed remontem w 2002 r. większą liczbą spękań podłużnych i poprzecznych.
2. Wszystkie odcinki miały podobny przyrost ilości spękań podłużnych, ale znacząco mniej spękań poprzecznych zaobserwowano w latach 2003–2007 na odcinkach, przy remoncie których zastosowano maszynę MTV.
3. Pomiar spękań w latach 2008–2010 był obarczony wyraźnym błędem. Było to najprawdopodobniej spowodowane zmianą systemu wykonywania i interpretowania zdjęć nawierzchni (z systemu zdjęć cyfrowych realizowanych pojazdem ARAN, na system oparty na pomiarach laserowych – ang. *Laser Road Imaging System, LRIS* [17]). Należy tutaj wspomnieć, że system pomiaru spękań jest niezależny od pomiaru wskaźnika IRI czy koleinowania, przez co obraz zmian wskaźnika IRI na rysunku 3. jest ciągły i wiarygodny.

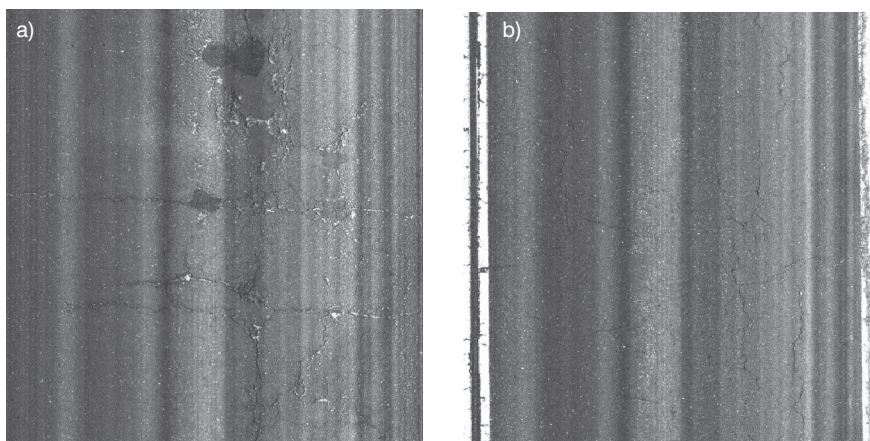


Rys. 5. Spękania podłużne przed i po wykonaniu odcinków doświadczalnych w 2002 r. (symbol reprezentuje średnią arytmetyczną, podczas gdy kolumna wskazuje przedział ufności 95% dla tej średniej)



Rys. 6. Spękania poprzeczne przed i po wykonaniu odcinków doświadczalnych w 2002 r. (symbol reprezentuje średnią arytmetyczną, podczas gdy kolumna wskazuje przedział ufności 95% dla tej średniej)

Przykład stanu nawierzchni na odcinkach doświadczalnych przedstawia fot. 2, uzyskana z systemu LRIS pojazdu diagnostycznego w 2011 r. Na zaprezentowanym zdjęciu z odcinka bez zastosowania maszyny MTV (lewe zdjęcie) wi-



Fot. 2. Przykładowy stan nawierzchni w 2011 r. uzyskany z systemu LRIS: a) odcinek bez zastosowania maszyny MTV oraz b) odcinek wybudowany z wykorzystaniem MTV (prawy)

dać większą ilość spękań oraz znaczące ubytki (wykruszenia) mma w porównaniu do odcinka z wykorzystaniem maszyny MTV (prawe zdjęcie). Niemniej jednak, oba zdjęcia potwierdzają wcześniejsze wyniki numeryczne o złym obecnym stanie obu odcinków doświadczalnych i konieczności ich powtórnego remontu.

## Podsumowanie

Praktyka w USA i innych krajach pokazała, że maszyny typu MTV pozwalają na uzyskanie odpowiedniej jakości nawierzchni przy realizacji remontów i inwestycji o wysokich wymaganiach, takich jak lotniska, drogi o dużym natężeniu ruchu lub tory wyścigowe. Coraz częściej wykonawcy w tych krajach używają maszyn MTV także przy zwykłych budowach i remontach nawierzchni asfaltowych ze względu na bezsporne zalety i efektywność tego rozwiązania. Taki trend prawdopodobnie utrzyma się szczególnie, gdy coraz więcej robót będzie wykonywanych przy wzroście odpowiedzialności wykonawcy za jakość nawierzchni i przy dłuższych okresach gwarancyjnych.

Należy zwrócić uwagę, że w niniejszym artykule nie zawarto innych rozwiązań technologicznych do ograniczania segregacji powodowanej pracą rozkładarki mma, na przykład przez zastosowanie podgrzewanego stołu rozkładarki oraz nie omawiano coraz szerzej stosowanych mma na ciepło (ang. *Warm-Mix Asphalt, WMA*). Zastosowanie maszyny MTV jest bardzo korzystne z punktu widzenia technologii wykonania warstw z mma na gorąco. Należy mieć świadomość, że są także pewne ograniczenia do zastosowania tego rozwiązania. Do ograniczeń formalnych należy m.in. konieczność akceptacji nieznanego w kraju rozwiązania przez inwestora. W Polsce nie ma opracowanych szczegółowych specyfikacji technicznych, które dopuszczałyby stosowanie maszyn typu MTV. Występują również ograniczenia finansowe, gdyż zaangażowanie w proces budowy dodatkowych urządzeń pociąga za sobą konieczność pokrycia dodatkowych kosztów sprzętu oraz zasobów ludzkich. W związku z tym, w zależności od sytuacji, zastosowanie maszyny typu MTV nie musi prowadzić do najbardziej ekonomicznego rozwiązania, a przy zachowaniu reżimu technologicznego i innych sprawdzonych rozwiązań można uzyskać ten sam efekt. W każdym przypadku wykonawca musi podjąć decyzję co do szczegółów technologicznych, w oparciu o istniejące specyfikacje techniczne, przepisy prawne i analizę kosztów.

Wyniki przedstawione w niniejszym artykule mają jedynie charakter informacyjny, dostępny poprzez media publiczne. Ponadto, przedstawione maszyny nie są w żaden sposób reklamowane ani propagowane przez IBDiM.

## Bibliografia

- [1] Roadtec SB-2500D, informacja producenta wg stanu na: 25/2/2013, <http://goo.gl/cWIAA>
- [2] VÖGELE MT 3000-2 Offset, <http://goo.gl/Cg6Mi>, informacja producenta wg stanu na: 25/2/2013

- [3] Terex MS-4, informacja producenta 25/2/2013, <http://goo.gl/O4jUb>
- [4] Terex CR652RX, informacja producenta wg stanu na: 25/2/2013, <http://goo.gl/KWK7Y>
- [5] Terex CR662RM, informacja producenta wg stanu na: 25/2/2013, <http://goo.gl/lxPvx>
- [6] Ingersoll Rand Blaw Knox MC-330, informacja producenta wg stanu na: 25/2/2013, <http://goo.gl/QttLd>
- [7] J. Mahoney, S.A. Zinke, J.E. Stephens, L.A. Myers, J.A. DaDalt, *Application of Infrared Thermographic Imaging to Bituminous Concrete Pavements – Final Report*. Report 2229-F-03-7, Connecticut Advanced Pavement Laboratory, Connecticut Transportation Institute, 2003
- [8] D.J. Nener-Plante, A. Zofka, *Long-Term Study on Asphalt Mixture Segregation in Connecticut: Preliminary Results on Use of MTV*, 8<sup>th</sup> International Conference on the Bearing Capacity of Roads, Railways, and Airfields, University of Illinois at Urbana-Champaign, June 29 – July 2, 2009
- [9] Gilbert K., *Thermal Segregation*, Raport przygotowany dla Colorado Department of Transportation, Listopad 2005
- [10] T. Cho Y. Bode T., Jim Y.-R., *Infrared Thermography-Driven Flaw Detection and Evaluation of Hot Mix Asphalt Pavements*, Raport przygotowany dla Nebraska Department of Roads, Styczeń 2010
- [11] J. Song, M. Abdelrahman, E. Asa, *Use of a Thermal Camera during Asphalt Pavement Construction*, Raport przygotowany dla North Dakota Department of Transportation, Wrzesień 2009
- [12] J. Harris, F. Parker, M. Stroup-Gardiner, 2004. *Effect of Material Transfer Devices on Flexible Pavement Smoothness*. Transportation Research Record Vol. 1900: 50-55
- [13] J. Henault, D. Larsen, 2006. *Thermal Imaging of Hot-Mix Asphalt Paving Projects in Connecticut*. Transportation Research Record Vol. 1946: 130-138
- [14] K. Oba, M. Partl, 2000. *Non-Destructive Detection of Distress in Asphalt Pavements and Bridge Deck Surfacing Using IR-Thermography*. Road Materials and Pavement Design Vol. 1: 407-418.
- [15] M. Stroup-Gardiner, R. Brown, 2000. NCHRP Report 441: Segregation in Hot-Mix Asphalt Pavements. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.
- [16] Automatic Road Analyzer, ARAN (Connecticut Department of Transportation) informacja wg stanu na: 25/2/2013, <http://goo.gl/2X1y3>
- [17] Laser Road Imaging System (LRIS), INO, informacja wg stanu na: 25/2/2013, <http://goo.gl/H2ccm> ■



MARIUSZ JACZEWSKI

Politechnika Gdańska  
Mariusz.jaczewski@willis.pg.gda.pl



ŁUKASZ MEJŁUN

Politechnika Gdańska  
lukasz.mejlon@willis.pg.gda.pl

## Wyznaczanie parametrów lepkosprężystego modelu Burgersa mieszanek mineralno-asfaltowych na podstawie badania pod obciążeniem dynamicznym

### Określenie modelu warstw asfaltowych

Właściwości warstw asfaltowych w konstrukcjach nawierzchni są zależne od ich temperatury i czasu obciążenia. Ma to swoje odzwierciedlenie w modelach materiałowych przyjmowanych do symulacji pracy warstw asfaltowych w konstrukcjach nawierzchni drogowych. O ile model sprężysty stosowany jest do modelowania mieszanek mineralno-asfaltowych

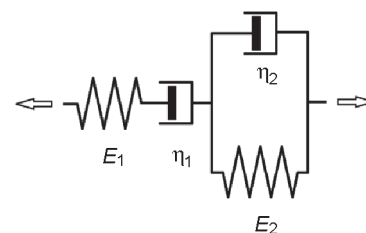
w temperaturze niskiej (ujemnej), to w temperaturze wysokiej (dodatniej) pojawia się konieczność uwzględniania także właściwości lepkich – mieszanek mineralno-asfaltowe modelowane wówczas są jako ciała lepkosprężyste.

Modele reologiczne mieszanek mineralno-asfaltowych są stosowane powszechnie na całym świecie. Także Katedra Inżynierii Drogowej Politechniki Gdańskiej od dawna zajmuje się reologią tych materiałów. Już Borkowski i Judycki [3], a później także inni stosowali modele reologiczne mieszanek mineralno-asfaltowych. Pracę kontynuują Mariusz Jaczewski [4] i Łukasz Mejłun [6] pod kierunkiem prof. Józefa Judyckiego, stosując modele lepkosprężystości w wysokiej (dodatniej) temperaturze.

Jednym z najchętniej stosowanych lepkosprężystych modeli reologicznych jest czteroparametrowy model Burgersa (rys. 1.) określony dwoma modułami sprężystości –  $E_1$  [MPa] i  $E_2$  [MPa] oraz dwoma współczynnikami lepkości –  $\eta_1$  [MPa·s] i  $\eta_2$  [MPa·s].

Parametry reologiczne modelu Burgersa wyznacza się wykorzystując wynik badania pełzania mieszanki mineralno-asfaltowej pod obciążeniem statycznym, lub o większą liczbę wyników z badania pod obciążeniem dynamicznym.

W przypadku pierwszej metody korzysta się z wykresu prezentującego zmianę odkształceń próbki w funkcji czasu, podczas jej obciążenia i po jej odciążeniu. Po przyłożeniu w sposób natychmiastowy stałego co do wartości obciążenia, trwającego określony czas, obserwuje się pewne natychmiastowe odkształcenie materiału, a następnie zjawisko jego płynięcia – wzrost odkształceń w czasie pod stałym obciążeniem. Po natychmiastowym odciążeniu próbki obserwować



Rys. 1. Model Burgersa ciała lepkosprężystego