

ANALIZA ZMIAN TEMPERATURY UKŁADANYCH WARSTW Z MIESZANEK MINERALNO-ASFALTOWYCH W STREFIE SPOINY PODŁUŻNEJ

Roman KUPRIANOW^a, Konstantin ANDRIANOW^a, Anatolij ZUBKOW^a, Andrzej PLEWA^{b*}

^a Katedra Budownictwa Miejskiego i Dróg Samochodowych, Państwowy Uniwersytet Techniczny w Tambowie, Sovetskaya 106, Tambov, Rosja

^b Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok

Streszczenie: Na podstawie przeprowadzonych badań ustalono, że podczas procesu wbudowywania mieszanek mineralno-asfaltowych (MMA) na etapie rozkładania i ich wstępnego zagęszczenia, w przekroju poprzecznym nawierzchni drogowej występują obszary, w których wartość wskaźnika zagęszczenia jest mniejsza od wartości wskaźnika w centralnej strefie warstwy. W celu określenia wartości spadku temperatury w strefie styku wbudowywanych warstw z gorącej MMA, przeprowadzono badania temperatury w warunkach *in situ*. Aby poznać rozkład temperatury, w strefie styku dwóch warstw asfaltowych, został opracowany program komputerowy pozwalający na symulację i określenie temperatury występującej w tej strefie.

Słowa kluczowe: mieszanka mineralno-asfaltowa (MMA), spoina podłużna, konstrukcja nawierzchni drogowej.

1. Wprowadzenie

Spoiny podłużne warstw asfaltowych, czyli podłużne szwy technologiczne, w konstrukcji nawierzchni drogowej są to połączenia (powierzchnie boczne kontaktu) pomiędzy poszczególnymi pasmami wykonywanej nawierzchni. Szwy technologiczne występują wtedy, gdy łączone są ze sobą pasma nawierzchni wykonane z tego samego rodzaju mieszanki mineralno-asfaltowej (MMA). Tego typu połączenia technologiczne wymagają szczególnej dbałości i uwagi podczas ich wykonywania. Technologiczny szew drogowy to miejsce szczególnie narażone na proces destrukcji nawierzchni asfaltowych (Dowell i Stubbs, 2004; GDDP, 2002).

Niestarannie wykonane złącze technologiczne może stwarzać niebezpieczeństwo tworzenia się ubytków MMA w nawierzchni drogowej, może inicjować powstanie wykruszeń i spękań nawierzchni (GDDP, 2002), co pokazano na rysunku 1. Spękana nawierzchnia drogowa jest narażona na przenikanie w jej dolne warstwy opadów atmosferycznych, które w okresie zimowym mogą powodować dalszą destrukcję konstrukcji nawierzchni w postaci, na przykład spękań siatkowych (Piłat i Radziszewski, 2010).



Rys. 1. Podłużne spękania nawierzchni drogowej w strefie spoin podłużnych (GDDP, 2002)

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: a.plewa@pb.edu.pl

W strefie szwów technologicznych nawierzchni asfaltowych obserwuje się wiele typowych uszkodzeń warstw nawierzchni drogowych. Jednak najtrudniejszymi uszkodzeniami w tej strefie są podłużne spękania nawierzchni (rys. 1) o znacznym rozwarciu i głębokości od kilku centymetrów do pełnej grubości warstwy z MMA (Dowell i Stubbs, 2004; GDDP, 2002). W ostatnim czasie zaobserwować można duży wzrost uszkodzeń na połączeniach nawet w niedawno wybudowanych drogach. Spękania nawierzchni drogowych są ogromnym problemem w utrzymaniu sieci infrastruktury drogowej. Miejsca połączeń poszczególnych warstw i ich właściwe zagęszczenie są elementami nawierzchni drogowej decydującymi o jej trwałości (Dowell i Stubbs, 2004; Plewa, 2014).

Podczas procesu wbudowywania warstw z mieszanek mineralno-asfaltowych, na etapie rozkładania i ich wstępnego zagęszczania stołem wibracyjnym rozkładarki, można stwierdzić, że wartość wskaźnika zagęszczenia MMA w obszarze szwu technologicznego jest mniejsza niż w środkowej (centralnej) części wbudowywanej warstwy (Jemielanow i in., 2009). Tego typu efekty niedogęszczenia warstw w obszarach krawędzi zachodzą niezależnie od szerokości układanych warstw. Niedogęszczenie warstw wbudowywanych z gorącej mieszanki mineralno-asfaltowej można tłumaczyć nierównomiernym rozkładem fali vibracji stołu zagęszczającego rozkładarki lub brakiem zachowania odpowiedniej temperatury podczas układania warstwy z gorącej MMA.

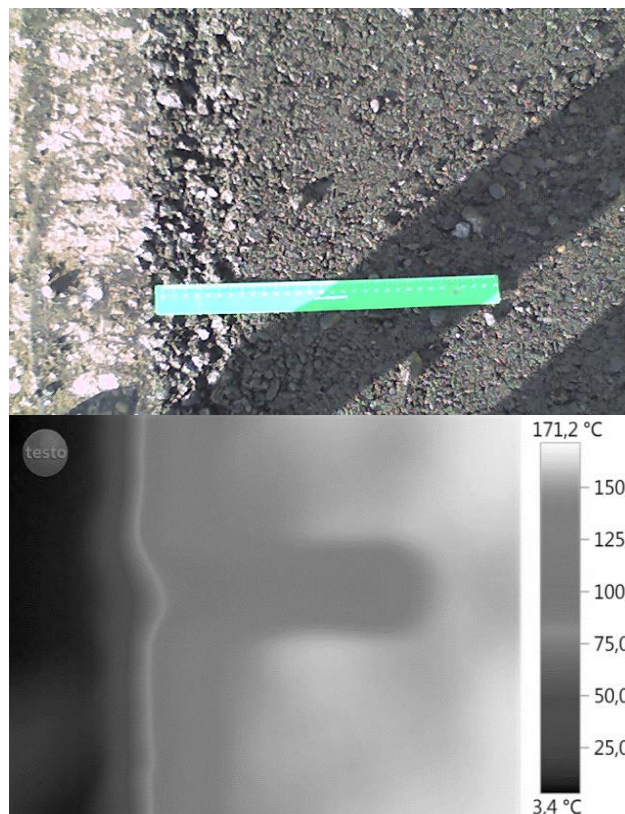
Na podstawie przeprowadzonych badań ustalono, że podczas procesu wbudowywania mieszanek mineralno-asfaltowych na etapie rozkładania i ich zagęszczania, niezależnie od szerokości wbudowywanej warstwy, występują obszary, w których wartość temperatur technologicznych gorącej MMA jest niższa od wartości temperatur odnotowywanych w środkowej (centralnej) części wbudowywanej warstwy (Jemielanow i in., 2009). W celu uściślenia wpływu niezachowania reżimów temperaturowych wbudowywanych warstw z gorącej mieszanki mineralno-asfaltowej, przeprowadzono badania w warunkach *in situ*.

2. Metodyka badań

Do pomiarów temperatury w różnych punktach wzdłuż szerokości wbudowywanej warstwy z MMA wykorzystano urządzenie termowizyjne „Testo 880”. Zdjęcia termowizyjne wykonywano przy różnych temperaturach powietrza.

Pomiary temperatur wbudowanych warstw wykonano w momencie ułożenia warstw przez rozścielacz, w czasie procesu zagęszczania przez sekcję walców drogowych, w interwałach 5, 10, 15, 25 do 30 minut od momentu wbudowania MMA. Pomiary wykonywano przy temperaturach technologicznych wbudowywanych warstw od 155°C do 170°C, grubość warstw wyniesie 3-5 cm, a szerokość 360-720 cm. Na rysunku 2 przedstawiono przykładowy obraz termiczny wbudowanej warstwy tuż

za rozścielaczem w obszarze styku warstw (obszar szwu technologicznego): grubość warstwy 4 cm, szerokość 360 cm, maksymalna temperatura wbudowywanej mieszanki mineralno-asfaltowej 172°C, temperatura powietrza -5°C, temperatura wcześniej wbudowanej warstwy (z lewej strony) 3°C, prędkość wiatru do 3 m/s.

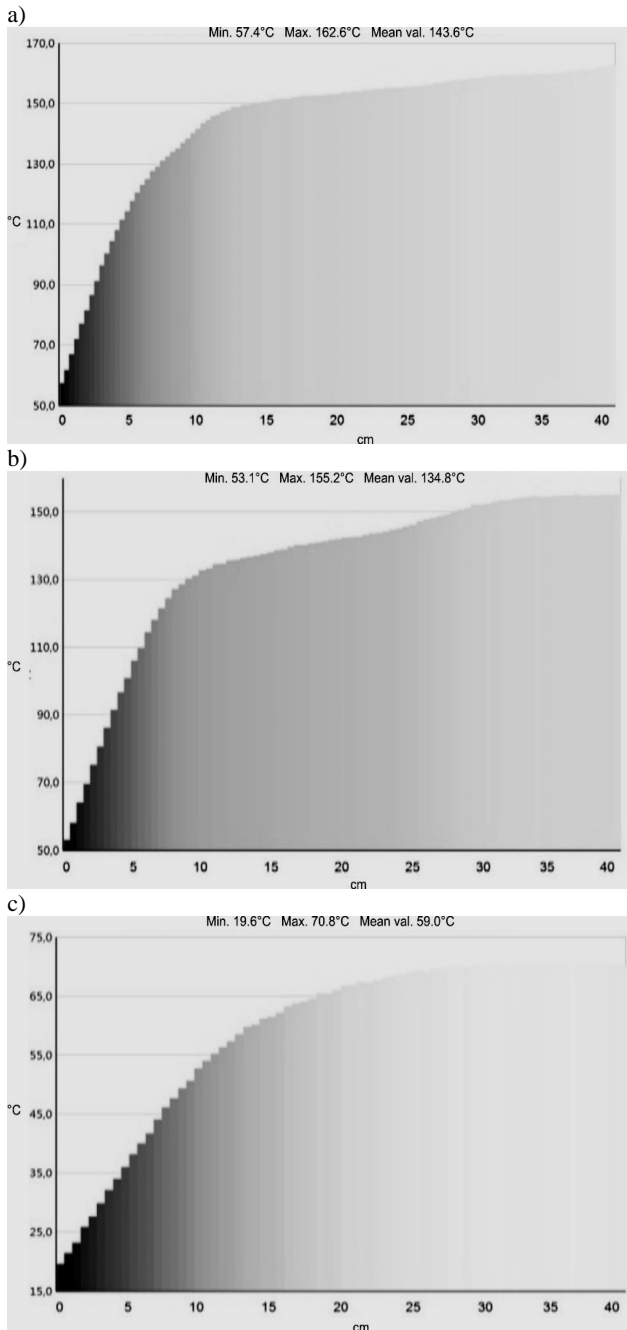


Rys. 2. Obraz termiczny wbudowanej warstwy z MMA tuż za rozścielaczem w obszarze spoiny podłużnej (wbudowywanie „warstwy przy warstwie”)

3. Analiza wyników badań

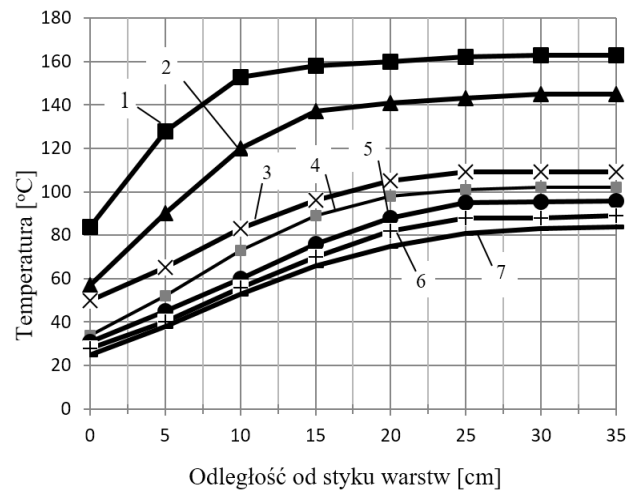
Na podstawie przeprowadzonych pomiarów temperatury w obszarze spoiny podłużnej (rys. 2) wynika, że temperatura gorącej mieszanki mineralno-asfaltowej obniża się w miarę zbliżania się do uprzednio wbudowanej „zimnej” warstwy. Największe obniżenie temperatury odnotowano na granicy styku warstw „gorącej” z „zimną”, w chwili wbudowywania warstwy tuż za rozścielaczem. Spadek temperatury we wbudowywanej warstwie z mieszanki mineralno-asfaltowej, w strefie kontaktu z uprzednio wykonaną „zimną” warstwą, jest zależny od właściwości termicznych (charakterystyki akumulacji ciepłej) mieszanki mineralno-asfaltowej, temperatury powietrza i prędkości wiatru. Charakterystykę zmiany temperatury w wbudowywanej warstwie z gorącej mieszanki mineralno-asfaltowej w obszarze spoiny podłużnej w chwili rozłożenia warstwy (tuż za rozścielaczem), po 5 minutach i po 30 minutach od wbudowania warstwy, przedstawiono na rysunku 3 (temperatura wbudowywanej mieszanki mineralno-

asfaltowej 165°C, temperatura powietrza -5°C, temperatura wcześniej wbudowanej warstw 3°C, prędkość wiatru do 3 m/s).



Rys. 3. Rozkład temperatur w warstwie wykonanej z gorącej mieszanki mineralno-asfaltowej na styku spoiny podłużnej (0-40 cm): a) w chwili wbudowywania warstwy (tuż za rozścielaczem), b) 5 minut od ułożenia warstwy, c) 30 minut od ułożenia warstwy

Na rysunku 4 przedstawiono rozkład temperatur w gorącej MMA wzdłuż szerokości warstwy na styku spoiny podłużnej, określone: tuż za rozścielaczem, 5, 10, 15, 20, 25 i 30 minut po ułożeniu gorącej warstwy.



Rys. 4. Zmiana temperatury w gorącej MMA wzdłuż szerokości warstwy na styku spoiny podłużnej, odczytanych w czasie: 1 – tuż za rozścielaczem; 2 – 5 minut, 3 – 10 minut, 4 – 15 minut, 5 – 20 minut, 6 – 25 minut, 7 – 30 minut po ułożeniu gorącej warstwy

Analiza uzyskanych wyników badań (rys. 4) potwierdza, że największe spadki temperatury wbudowywanej mieszanki mineralno-asfaltowej zachodzą w strefie styku gorącej warstwy i warstwy „zimnej”. Na podstawie wyników badań ustalono, że największe spadki temperatury układanej mieszanki mineralno-asfaltowej zachodzą w przedziale od linii styku warstw do 10-12 cm w kierunku środkowym wbudowywanej warstwy. Strefa obniżonych temperatur MMA, przy których proces zagęszczania nie odpowiada wymaganiom technologicznym, waha się w granicach od linii styku warstw do 3-10 cm w kierunku środkowym warstwy, w zależności od temperatury początkowej wbudowywanej warstwy. Jest to bardzo niekorzystne z punktu widzenia eksploatacji nawierzchni drogowej. Tego typu „uszkodzenie” technologiczne, w dalszej perspektywie eksploatacji nawierzchni, może powodować duże ubytki w warstwie ścieralnej nawierzchni drogowej nawet już po 2-3 latach jej eksploatacji.

Wyniki wykonanych badań i analiza literatury technicznej dotyczącej budowy nawierzchni drogowych (Wasilijew i in., 2005; Sybilski, 2009) dowodzą, że w trakcie układania warstw z MMA ze spoiną podłużną wymagane jest rozgrzanie krawędzi „zimnej” warstwy na szerokości 10-15 cm do temperatury 70-80°C. Do tego celu można wykorzystać promienniki liniowe, które umożliwiają rozgrzanie zimnej warstwy z MMA w czasie 2-3 minut do temperatury 80-100 °C na grubość 3-4 cm w głąb warstwy. Dodatkowo, na styku warstw należy zastosować emulsję asfaltową.

Aby zbadać rozkład temperatury, jaki ma miejsce w strefie styku dwóch warstw asfaltowych, opracowano program komputerowy pozwalający na symulację i określenie temperatur występujących w warstwach „zimnej” i „gorącej”, przy różnych temperaturach otoczenia podczas realizacji prac wbudowywania warstwy „gorącej”. Symulacje komputerowe potwierdzają wyniki badań *in situ* spadku temperatury w warstwie z MMA. W pewnych przypadkach spadek temperatury, jest tak

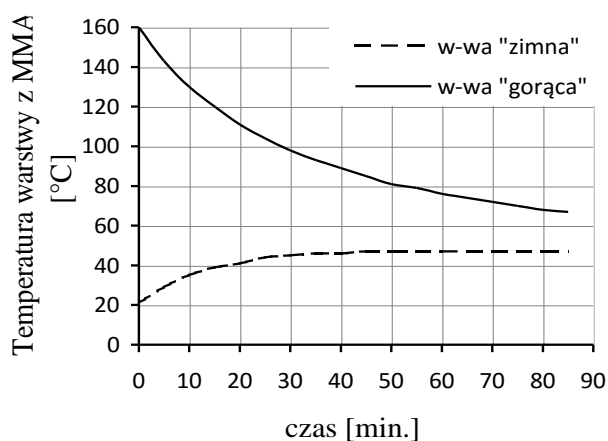
istotny, że nie są zachowane temperatury technologiczne zagęszczania MMA (Zubkow, 2006). Na rysunku 5 przedstawiono rezultaty modelowania rozkładu temperatur w strefie styku warstw przy różnych wartościach temperatur rozgrzanej krawędzi „zimnej” warstwy uprzednio wbudowanej. Założono temperaturę powietrza 20°C i grubość warstw 5 cm.

Na podstawie przedstawionych rezultatów obliczeń (rys. 5) stwierdzono, że wartość temperatury rozgrzewanej (uprzednio ułożonej warstwy nawierzchni) istotnie wpływa na rozkład temperatur w MMA warstwy wbudowywanej „gorącej” w strefie styku warstw. Ustalono, że następuje dodatkowy wzrost temperatury warstwy „zimnej” w strefie styku od 15°C o 20°C (w zależności od temperatury otoczenia). Obliczenia dowiodły także, że największy wzrost temperatury

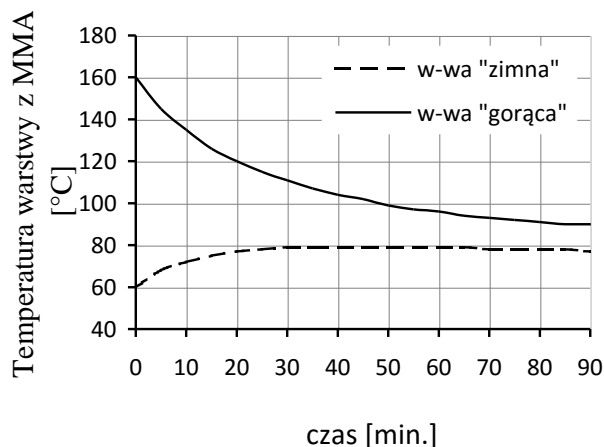
krawędzi styku dwóch warstw zachodzi po 10-20 minutach od momentu ułożenia wbudowywanej warstwy. Dlatego ważne jest, aby proces zagęszczania strefy styku obu warstw był realizowany w okresie 10-20 minut od chwili ułożenia przez rozścielacz gorącej MMA.

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń ustalono także, że minimalna temperatura do jakiej należy podgrzać strefę styku „zimnej” warstwy przy temperaturze wbudowywanej warstwy z gorącej MMA 165°C wynosi 80°C, a przy temperaturze wbudowywanej MMA 140°C – 90°C (rys. 6). Po czasie 10-20 minut warstwa „zimna” w strefie styku osiąga temperaturę około 95-100°C, co pozwala na prawidłowe zagęszczenie strefy styku (szwu technologicznego) obu warstw.

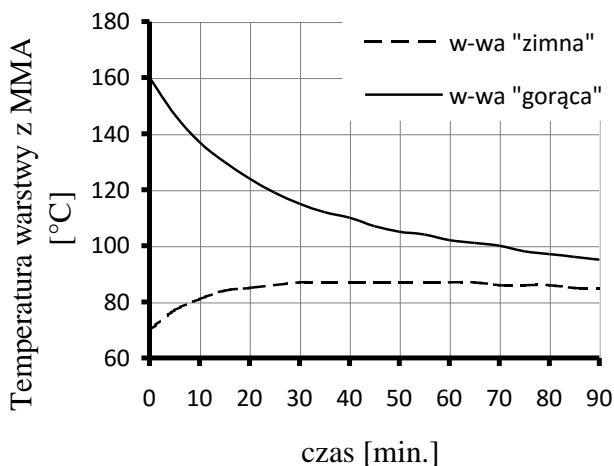
a) temperatura rozgrzewania krawędzi warstwy „zimnej” 20°C



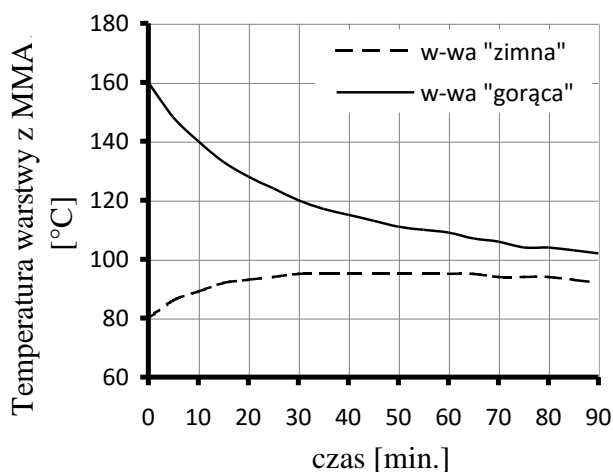
b) temperatura rozgrzewania krawędzi warstwy „zimnej” 60°C



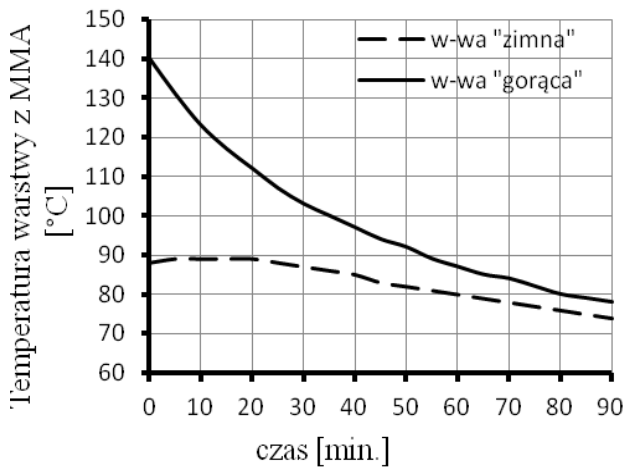
c) temperatura rozgrzewania krawędzi warstwy „zimnej” 70°C



d) temperatura rozgrzewania krawędzi warstwy „zimnej” 80°C



Rys. 5. Wykresy rozkładu temperatur w strefie styku warstw z MMA „gorącej” (wbudowywanej) i „zimnej” (uprzednio wbudowanej) w funkcji czasu, uzyskane podczas procesu modelowania, przy różnych wartościach temperatur rozgrzewania krawędzi warstwy „zimnej”: a) 20°C, b) 60°C, c) 70°C i d) 80°C, gdzie temperatura powietrza 20°C, grubość warstw 5 cm, temperatura układanej warstwy 165°C



Rys. 6. Wykresy rozkładu temperatury w strefie styku warstw z MMA w funkcji czasu, uzyskane podczas procesu modelowania, przy temperaturze rozgrzania krawędzi warstwy „zimnej” 90°C, temperaturze powietrza 20°C, grubości warstw 5 cm, temperaturze układanej warstwy 140°C

4. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań terenowych, symulacji komputerowych i analiz ustalono następujące wnioski:

- Największe wartości zmiany temperatury w strefie spoiny podłużnej, w obszarze styku warstw „gorącej” z „zimną”, odnotowano w chwili wbudowywania warstwy „gorącej” – tuż za rozścielaczem.
- Strefa największych spadków temperatur w gorącej mieszance mineralno-asfaltowej zachodzi w przedziale od linii styku warstw do 10-12 cm w kierunku środkowym warstwy.
- Strefa obniżonych temperatur wbudowywanej warstwy, przy których proces zagęszczania mieszanki mineralno-asfaltowej nie odpowiada wymaganiom technologicznym, waha się w granicach od linii styku warstw do 3-10 cm w kierunku środkowym warstwy i zależy od temperatury początkowej wbudowywanej mieszanki mineralno-asfaltowej.
- Minimalna temperatura do jakiej należy podgrzać „zimną” warstwę w strefie styku wynosi 80°C przy temperaturze wbudowywanej warstwy z gorącej MMA równej 165°C, natomiast przy temperaturze wbudowywanej MMA 140°C – wynosi 90°C.

Literatura

- Dowell E., Stubbs J. (2004). Zagęszczanie i rozkładanie nawierzchni asfaltowych: teoria i praktyka. Tłumaczenie A. Grzybowski, red. J. Judycki, M. Pszczoła. *Dynapac*, Szwecja, 12-18.
- GDDP (2009). System Oceny Stanu Nawierzchni SOSN. Wytyczne Stosowania - Załącznik E. Katalog typowych uszkodzeń nawierzchni bitumicznych dla potrzeb ciągłego obmiaru uszkodzeń metodą oceny wizualnej w Systemie Oceny Stanu Nawierzchni SOSN. *GDDP*, Warszawa, 69-74.
- Jemielanow R. T., Prokoliew A. P., Klimiow A. S. (2009). Issledowanie procesa upłotnienia asfaltobetonnej smiesi po szirinie układki. *Czasopismo SDM*, 7/2009, 1-5.
- Piłat J., Radziszewski P. (2010). Nawierzchnie asfaltowe. *Wydawnictwa Komunikacji i Łączności*, Warszawa, 404-406
- Plewa A. (2014). Analiza porównawcza wybranych metod badawczych odporności na działanie wody i mrozu mieszanek mineralno-asfaltowych. *Budownictwo i Architektura*, Vol. 13, No. 4, 195-202.
- Sybilski D. (2009). Wymagania techniczne dotyczące nawierzchni asfaltowych na drogach publicznych – cz. I. *Magazyn Autostrady*, 3/2009, 60.
- Wasiljew A.P. i inni (2005). Stroitelstwo i rekonstrukcja awtomobilnych dorog. SED, T.1. *Informawtodor*, Rosja.
- Zubkow A. F. (2006). Technologia ustrojstwa drożnych pokrytii s uczetom temperaturnych režimow asfaltobetonnych smiesiej. Naucznoje izdanije. *Izd-wo Perszina*, Tambow.

THE ANALYSIS OF TEMPERATURE DIFFERENCES BETWEEN THE LAYERS MADE OF MINERAL- ASPHALT MIX, IN THE TECHNOLOGICAL SEAM ZONE

Abstract: Previous research confirmed that during laying process of the mineral-asphalt mix layers, there are areas formed therein the compaction index is smaller than in the central zone of the layer. Those areas are observed in the cross-section of road surface and they are formed at the stage of laying and pre-compaction of asphalt layers. To clarify the temperature drops in the contact zone of the incorporated layers of hot mineral-asphalt mix the *in situ* research was conducted. To analyze temperature changes in the technological seam zone computer programme was developed. The software allows to simulate and determine temperatures occurring in the area.

Przedstawione w artykule wyniki badań i analiz zostały uzyskane w ramach międzynarodowej współpracy pomiędzy Katedrą Budownictwa Miejskiego i Dróg Samochodowych Państwowego Uniwersytetu Technicznego w Tambowie (Rosja) a Zakładem Inżynierii Drogowej, Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Białostockiej.