

mgr inż. Magdalena Czyż^{1*)}
 ORCID: 0000-0002-1031-4818
 mgr inż. Maciej Lis¹⁾
 ORCID: 0000-0002-2102-9502
 dr hab. inż. Elżbieta Szafranko²⁾
 ORCID: 0000-0003-1074-9317

Wpływ ujemnej temperatury i opadów podczas procesów technologicznych na właściwości nawierzchni asfaltowej

The impact of negative temperature and sleet during technological processes on the properties of the asphalt pavement

DOI: 10.15199/33.2022.04.14

Streszczenie. W artykule przedstawiono wpływ ujemnej temperatury i opadów reprezentujących warunki zimowe na właściwości nawierzchni wykonywanej podczas ich występowania. W celu uchwycenia granicznych warunków atmosferycznych, po przekroczeniu których właściwości nawierzchni znacznie odbiegają od wymaganych, wyodrębniono cztery odcinki, na których wykonywano podbudowę z betonu asfaltowego AC22P oraz warstwę wiążącą z betonu asfaltowego AC16W, w różnych warunkach atmosferycznych. W artykule opisano wady nawierzchni powstałe na skutek wykonywania robót w nieodpowiednich warunkach pogodowych.

Słowa kluczowe: roboty bitumiczne; nawierzchnia asfaltowa; szepność międzywarstwowa; warunki pogodowe.

Abstract. The article presents the impact of adverse weather conditions occurring in winter on the properties of the pavement performed during such winter conditions. In order to try to capture the boundary atmospheric conditions, beyond which the properties of the pavement significantly differ from the required ones, four sections were distinguished on which the AC22P asphalt concrete foundation and the AC16W asphalt concrete binding layer were made, in various weather conditions. The article the surface defects caused by the execution of works in inappropriate weather conditions were demonstrated.

Keywords: asphalt pavement construction; asphalt pavement; interlayer bonding; weather conditions.

Niekorzystne warunki pogodowe (niska temperatura powietrza i opady atmosferyczne) podczas prowadzenia robót bitumicznych w istotny sposób wpływają na właściwości nawierzchni [1, 2, 3]. Realizacja inwestycji drogowej wymaga niekiedy wykonania robót bitumicznych w takich niesprzyjających warunkach. Dzieje się tak szczególnie w okresie przedsięwzięcia, gdy rośnie presja wprowadzenia kolejnych etapów czasowych organizacji ruchu zapewniających podróżującym większy komfort i bezpieczeństwo [4].

Z punktu widzenia wykonawców podejmujących ryzyko wykonywania robót w niekorzystnych warunkach atmosferycznych istotny jest ich rzeczywisty wpływ na procesy technologiczne. W artykule przedstawiono wyniki badań próbek podbudowy i warstwy wi-

ążącej z betonu asfaltowego oraz opis uszkodzeń na czterech działkach roboczych wykonywanych w różnych warunkach atmosferycznych odwzorowujących warunki zimowe:

- A – roboty bitumiczne prowadzone w temperaturze 1 – 3°C; brak opadów; wiatr 7,4 – 17,9 km/h;
- B – roboty bitumiczne prowadzone w temperaturze 0 – 1°C; opady śniegu; wiatr 7,4 – 17,6 km/h;
- C – roboty bitumiczne prowadzone w temperaturze 0°C; opady śniegu; wiatr 7,4 – 17,6 km/h;
- D – roboty bitumiczne prowadzone w temperaturze od -1 do -2 °C; brak opadów śniegu; wiatr 10,1 km/h.

Wpływ warunków atmosferycznych na technologię robót bitumicznych

Zgodnie z przyjętymi zasadami wiedzy technicznej [5 – 8], mieszankę mineralno-asfaltową należy wbudowywać w sprzyjających warunkach atmosferycznych (ocenianych wizualnie). Nie dopuszcza się wykonywania warstwy

asfaltowej podczas opadów atmosferycznych oraz silnego wiatru ($v > 16$ m/s). Powierzchnia zawilgocona opadami deszczu powinna być osuszona, np. sprężonym powietrzem, a temperatura otoczenia w ciągu doby nie może być niższa (w zależności od źródeł) od temperatury podanej w tabeli 1.

Temperatura podłoża pod warstwę asfaltową w chwili nanoszenia emulsji asfaltowej nie powinna wynosić mniej

Tabela 1. Wymagana temperatura podczas prowadzenia robót bitumicznych

Table 1. Required temperature during bituminous works

Element	Minimalna temperatura powietrza ¹⁾ [°C] wg literatury [2 – 4]		
	WT-2	SST ²⁾	
Podbudowa z betonu asfaltowego AC22P (10 cm)	-3	0	0 – przed rozpoczęciem do robót; 5 – w trakcie robót
Warstwa wiążąca z betonu asfaltowego AC16W (7 cm)	0	5	5 – przed rozpoczęciem do robót; 10 – w trakcie robót

¹⁾ minimalna temperatura w ciągu doby; ²⁾ szczegółowa Specyfikacja Techniczna stanowiąca Warunki Kontraktowe

¹⁾ IBV Group

²⁾ Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie; Wydział Geoinżynierii

^{*)} Adres do korespondencji: magdalena.czyz@ivbgroup.pl

niż +5°C (warstwa emulsji asfaltowej musi ulec rozpadowi; dodatnia temperatura jest niezbędna do odparowania wody).

Zgodnie z WT-2 podłoże pod warstwę asfaltową może stanowić:

- nowa warstwa podbudowy z mieszanki niezwiązanej lub związanej hydraulicznie;
- nowa warstwa asfaltowa – podbudowa lub warstwa wiążąca;
- stara warstwa asfaltowa naprawianej nawierzchni, np. warstwa po frezowaniu z wyłączeniem asfaltu lanego;
- nawierzchnia z betonu cementowego;
- warstwa z mieszanki mineralno-cementowo-emulsyjnej MCE.

Nieprzestrzeganie reżimu technologicznego może doprowadzić do powstania uszkodzeń i ponownego wykonania robót [9, 10]. W tabeli 2 przedstawiono wpływ poszczególnych warunków atmosferycznych na prowadzenie robót bitumicznych oraz sposoby niwelowania ich negatywnego oddziaływania.

Dynamiczna rozbudowa sieci drogowej wymusiła rozszerzenie technologii budowy nawierzchni asfaltowych w niskiej temperaturze [15 – 18]. Najbardziej popularnym rozwiązaniem umożliwiającym zminimalizowanie negatywnego wpływu niskiej temperatury na proces wbudowania MMA jest **technologia „gorące na gorące”**, polegająca na jednoczesnym wbudowaniu dwóch warstw asfaltowych. Inne rozwiązania to **WMA (Warm Mix Asphalt)** – pozwalający na obniżenie temperatury technologicznej lepiszcza lub stosowanie napromienników i nagrzewnic. Szczególnie niekorzystny wpływ na procesy technologicz-

ne związane z wbudowaniem mieszanki mineralno-asfaltowej ma silny wiatr. Wzmógłony ruch mas powietrza przyspiesza proces wymiany ciepła między powierzchnią MMA i otoczeniem, co powoduje szybki przyrost lepkości przypowierzchniowej warstwy o grubości 2 – 3 cm. Uniemożliwia to precyzyjne wykonanie procesu zagęszczania wbudowywanej mieszanki [20]. Użycie walca na fragmencie nawierzchni, na którym zbyt szybko nastąpił przyrost sztywności (przed uzyskaniem wymaganego zagęszczenia), powoduje pęknięcia i przemieszczenia warstwy. Najbardziej narażone na zbyt szybkie wychładzanie są krawędzie wykonywanych działek roboczych (fotografia 1), co jest następstwem większej powierzchni wymiany ciepła niż w przypadku elementów znajdujących się w środku działki roboczej. Nagłe ochłodzenie mieszanki na spodzie (wychłodzone, wilgotne podłoże) i na powierzchni warstwy powoduje powstanie naprężeń ścinających, czego efektem są pęknięcia.

Prawidłowy proces zagęszczania mieszanki polega na wzajemnej reorientacji ziaren kruszywa pod wpływem sił ścinających pochodzących początkowo od deski wibracyjnej, a następnie od walców. Wzajemne przemieszczanie ziaren kruszywa, bez ich skruszenia, umożliwia błonka lepiszcza o odpowiednio małej lepkości [22]. Zagęszczanie mieszanki mineralno-asfaltowej zapewnia wymaganą zawartość wolnych przestrzeni, co odpowiada za takie właściwości jak moduł sztywności i odporność na działanie mrozu i wody oraz umożli-



Fot. 1. Roboty bitumiczne w warunkach zimowych

Photo 1. Bitumen works in winter weather conditions

wia właściwe zaklinowanie szkieletu mineralnego, co z kolei wpływa na odporność nawierzchni na odkształcenia [24]. W warunkach obniżonej temperatury skraca się dostępny czas zagęszczania rozumiany jako czas, w którym następuje schłodzenie wbudowywanej MMA od temperatury początku zagęszczania do temperatury końca efektywnego zagęszczania [23]. Czas ten jest determinowany poziomem lepkości dynamicznej lepiszcza asfaltowego: $2 \div 20 \text{ Pa}\cdot\text{s}$.

Nawierzchnię drogową tworzy warstwa lub zespół połączonych ze sobą warstw, służących do przyjmowania i rozkładania obciążeń od ruchu na podłoże [7]. Wymagane właściwości nawierzchni uzależnione są m.in. od zapewnienia połączenia między warstwami oraz ich współpracy w przenoszeniu obciążeń. Oddziaływanie ujemnej temperatury oraz mokra powierzchnia podczas procesów technologicznych może powodować zmianę właściwości nawierzchni, a parametrem szczególnie podatnym [11 – 14] jest szczepność międzywarstwowa i zagęszczenie.

Metoda badań

W celu określenia wpływu czynników atmosferycznych na jakość wykonywanych odcinków prowadzono robo-

Tabela 2. Wpływ warunków atmosferycznych na prowadzenie robót bitumicznych

Table 2. The impact of weather conditions on bituminous works

Warunki atmosferyczne	Negatywny wpływ na wykonywane roboty	Sposoby niwelowania negatywnego wpływu
Silny wiatr	utrudnione, często niemożliwe do przeprowadzenia roboty przygotowawcze, w szczególności geodezyjne, a także uniemożliwione opróżnienie wywrotek podających mieszankę mineralno-asfaltową; silny wiatr potęguje zbyt szybkie wychłodzenie się wbudowywanej mieszanki (szczególnie krawędzi działek roboczych); występujące podmychy wiatru zwiększają intensywność poboru ciepła z powierzchni warstwy	brak
Opady śniegu	uniemożliwiają rozłożenie warstwy bitumicznej bez wystąpienia wody między warstwami; przyspieszają wychładzanie mieszanki; mieszanka mineralno-asfaltowa stykająca się z wilgotnym podłożem szybko oddaje ciepło, powodując natychmiastowe ogrzanie i odparowanie wody	odsnieżanie, osuszenie warstwy spodniej, nagrzewnice, dmuchawy
Niska temperatura powietrza i podłoża	powoduje przyspieszone wychładzanie mieszanki bitumicznej; intensywność oddawania ciepła przez mieszankę jest tym większa, im większa jest różnica temperatury pomiędzy powierzchnią mieszanki a stykającą się z nią warstwą	nagrzewnice, dmuchawy

ty bitumiczne na czterech działkach roboczych. W tabeli 3 opisano rodzaj wykonywanych prac oraz warunki atmosferyczne panujące podczas wbudowywania kolejnych warstw.

Na każdym z odcinków wykonano warstwę podbudowy asfaltowej AC22P o grubości 10 cm oraz warstwę wiążącą AC16W o grubości 7 cm. Podczas wykonywania robót bitumicznych badano temperaturę wbudowywanej mieszanki, której temperatura po dowiezieniu wynosiła 163 – 167°C, a bezpośrednio po rozłożeniu 160°C. Zastosowano emulsję asfaltową i emulsję asfaltową modyfikowaną polimerem o krótkim czasie rozpadu (w przypadku wbudowywania dwóch warstw mieszanki mineralno-as-

faltowej jednego dnia – oczekiwanie na faldpad emulsji wynosiło min. 3 h). Na odcinkach, które wykonywano podczas opadów atmosferycznych, podłoże było wilgotne. Podstawowe parametry związane z procesem wbudowywania MMA:

- prędkość rozkładarki – 3 m/min;
- temperatura stołu – 170°C;
- rodzaj i liczba walców zagęszczających – 2 walce stalowe z wibracją o masie 12 Mg;
- zmienna prędkość pracy walców – $2 \div 4$ km/h;
- czas od momentu rozłożenia MMA do zakończenia procesu zagęszczania warstwy – 9 min.

W celu przeprowadzenia analizy pobierano próbki mieszanki mineralno-as-

faltowej dowiezionej w miejsce wbudowania, a po wykonaniu robót – odwiercano próbki nawierzchni.

Analiza wyników badań

Z odcinków A i B pobrano po trzy próbki zlokalizowane w jednym przekroju (strona lewa, środek, strona prawa). W tabelach 4 i 5 podano wyniki badań cech fizykomechanicznych nawierzchni na odcinku A i B, zestawiając najgorsze uzyskane parametry. Powstałe na odcinku C i D widoczne uszkodzenia warstwy wiążącej jednoznacznie wykluczyły nawierzchnię z odbioru przez nadzór oraz zamawiającego i w związku z tym zaniechano wykonywania badań. Dodatkowo próbki pobrane na potrzeby własne wykazały brak szczepności międzywarstwowej (próbka rozpadała się). Na fotografii 2 przedstawiono uszkodzenia na odcinku C i D, a na fotografii 3 połączone działki robocze. Warunki atmosferyczne uniemożliwiły wykonanie prac z należytą dokładnością.

Tabela 3. Wykaz działek roboczych z opisem warunków atmosferycznych podczas robót bitumicznych

Table 3. List of working plots with a description of weather conditions during bituminous works

Proces technologiczny	Charakterystyka	Rodzaj odcinka			
		A (KR4)	B (KR4)	C (KR4)	D (KR4)
		100	114,3	142,8	142,8
		7	7	7	7
		700	800	1000	1000
Skropienie kruszywa	Data realizacji	23.11.2021	23.11.2021	30.11.2021	05.12.2021
	Rodzaj skropienia	C60 B10 ZM/R	C60 B10 ZM/R	C60 B10 ZM/R	C60 B10 ZM/R
	Prędkość wiatru [km/h]	7,4	7,4	17,6	10,1
	Temperatura powietrza/opady	1°C/brak	1°C/brak	0°C/brak	-2°C/brak
Wbudowanie podbudowy z betonu asfaltowego	Data realizacji	25.11.2021	30.11.2021	30.11.2021	05.12.2021
	Rodzaj mieszanki (grubość warstwy 10 cm)	AC22P	AC22P	AC22P	AC22P
	Prędkość wiatru [km/h]	12,6	17,6	17,6	10,1
	Temperatura powietrza/opady	3°C/brak	0°C/śnieg 3 cm	0°C/śnieg 3 cm	-2°C/brak
	Temperatura wbudowanej mieszanki [°C]	ok. 160	ok. 160	ok. 160	ok. 160
Skropienie podbudowy	Data realizacji	26.11.2021	01.12.2021	30.11.2021	05.12.2021
	Rodzaj skropienia	C60 BP3 ZM	C60 BP3 ZM	C60 BP3 ZM	C60 BP3 ZM
	Prędkość wiatru [km/h]	17,9	8,3	17,6	10,1
	Temperatura powietrza/opady	1°C/brak	1°C/brak	0°C/śnieg 3 cm	-1°C/brak
Wbudowanie warstwy wiążącej	Data realizacji	26.11.2021	01.12.2021	30.11.2021	05.12.2021
	Rodzaj mieszanki (grubość warstwy 7 cm)	AC16W	AC16W	AC16W	AC16W
	Sposób układania	–	–	ciepłe na ciepłe	ciepłe na ciepłe
	Prędkość wiatru [km/h]	17,9	8,3	17,6	10,1
	Temperatura powietrza/opady	2°C/brak	1°C/śnieg – 1 cm	0°C/śnieg – 3 cm	-1°C/brak
	Temperatura wbudowanej mieszanki [°C]	ok. 164	ok. 160	ok. 160	ok. 160
	Widoczne wady	brak	brak	liczne spękania poprzeczne warstwy wiążącej	drobne spękania poprzeczne warstwy wiążącej

Tabela 4. Wyniki badań nawierzchni na odcinku A

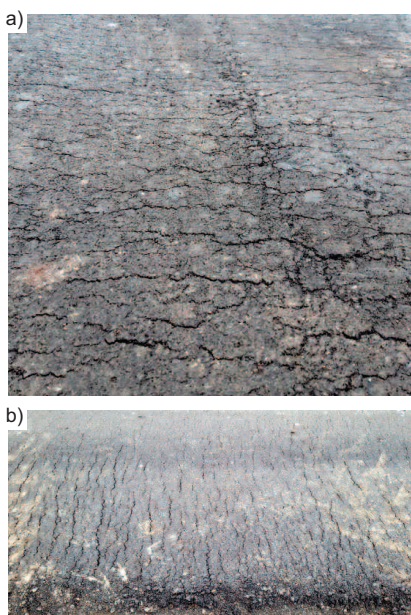
Table 4. The results of the pavement tests on the section A

Właściwości	Norma badawcza	Wynik	Wymagania SST
Odcinek A podbudowa AC22P (10 cm)			
Gęstość objętościowa [Mg/m ³]	PN-EN 12697-6:2020-07	2,394	–
Zawartość wolnej przestrzeni [obj. %]	PN-EN 12697-8:2019-01	4,9	3,0 – 8,0
Grubość [mm]	PN-EN 12697-36:2005	107	≥ 90
Wskaźnik zagęszczenia [%]	PN-EN 13108-20:2016	100,4	≥ 98
Odcinek A warstwa wiążąca (7 cm)			
Gęstość objętościowa [Mg/m ³]	PN-EN 12697-6:2020-07	2,344	–
Zawartość wolnej przestrzeni [obj. %]	PN-EN 12697-8:2019-01	5,9	3,0 – 8,0
Grubość [mm]	PN-EN 12697-36:2005	78	≥ 68
Wskaźnik zagęszczenia [%]	PN-EN 13108-20:2016	98,0	≥ 98
Badanie szczepności międzywarstwowej			
Wytrzymałość na ścinanie [MPa]	metoda Leutnera	1,4	0,7

Tabela 5. Wyniki badań nawierzchni na odcinku B

Table 5. The results of the pavement tests on the section B

Właściwości	Norma badawcza	Wynik	Wymagania SST
Odcinek B podbudowa AC22P (10 cm)			
Gęstość objętościowa [Mg/m ³]	PN-EN 12697-6:2020-07	2,441	–
Zawartość wolnej przestrzeni [obj. %]	PN-EN 12697-8:2019-01	3,1	3,0 – 8,0
Grubość [mm]	PN-EN 12697-36:2005	126	≥ 90
Wskaźnik zagęszczenia [%]	PN-EN 13108-20:2016	102,3	≥ 98
Odcinek B warstwa wiążąca (7 cm)			
Gęstość objętościowa [Mg/m ³]	PN-EN 12697-6:2020-07	2,395	–
Zawartość wolnej przestrzeni [obj. %]	PN-EN 12697-8:2019-01	3,6	3,0 – 8,0
Grubość [mm]	PN-EN 12697-36:2005	71	≥ 68
Wskaźnik zagęszczenia [%]	PN-EN 13108-20:2016	100,8	≥ 98
Badanie szczepności międzywarstwowej			
Wytrzymałość na ścianie [MPa]	metoda Leutnera	1,1	0,7



Fot. 2. Uszkodzenia na odcinku: a) C; b) D
Photo 2. Damages registered on road section: a) C; b) D

Wnioski

Badania na odcinkach A i B przeprowadzone tuż po wykonaniu robót bitumicznych wskazują brak negatywnego wpływu występujących warunków atmosferycznych na właściwości na-



Fot. 3. Połączenie między działkami roboczymi
Photo 3. Joint between the working plots

wierzchni. Istnieje możliwość ujawnienia się negatywnego wpływu wraz z upływem czasu. Na odcinkach C i D powstały widoczne spękania poprzeczne warstwy wiążącej spowodowane zbyt szybkim wychładzaniem się mieszanki podczas wykonywania robót (wychładzająca się mieszanka popękała pod wpływem walcowania, zamiast dogęścić się). Najbardziej narażone na powstanie uszkodzeń były krawędzie wykonywanych działek roboczych ze względu na najszybsze wychładzanie się mieszanki mineralno-asfaltowej. Warunki atmosferyczne, w jakich wykonywane są warstwy z mieszank mineralno-asfaltowych, odgrywają istotną rolę w kształtowaniu właściwości nawierzchni. Uzyskanie wymaganej jakości zależy w dużym stopniu od prawidłowego zagęszczenia poszczególnych warstw, co uniemożliwia obniżona temperatura, silne podmuchy wiatru i opady atmosferyczne.

Biorąc pod uwagę słuszność podjęcia ryzyka związanego z wykonywaniem robót bitumicznych w warunkach zimowych, należy wziąć pod uwagę także czynnik ludzki oraz standardy bezpieczeństwa i higieny pracy (BHP). Uciążliwość prowadzenia robót w warunkach zimowych stanowi istotny element w ich planowaniu i organizacji, także ze względu na występującą mgłę oraz wcześniej zapadający zmrok.

Wszystkie fotografie: M. Lis

Literatura

[1] Liphardt A, Kowalski KJ. Wpływ technologii i wybranych warunków pogodowych na wykonanie nawierzchni asfaltowych. *Drogownictwo*. 2015; 7: 225 – 230.
[2] Janczak A. Układanie nawierzchni w niskiej temperaturze. *Nowości zagranicznej techniki drogowej*. 2006; 166: 23 – 32.

[3] Spuziak W. Wykonywanie drogowych robót nawierzchniowych w niskiej temperaturze. *Drogownictwo*. 2000; 7: 195 – 200.

[4] Baranowska M, Gurba A. Wyniki badań zależności wypadków drogowych od warunków meteorologicznych i próby praktycznego uzyskania tych wyników. *Problemy Uzdrawiskowe*. 1979; 9 (10): 143 – 153.

[5] Piłat J, Radziszewski P. Nawierzchnie asfaltowe: podręcznik akademicki. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności; 2010.

[6] Radziszewski P, Kalabińska M, Piłat J. Materiały drogowe i nawierzchnie asfaltowe. PB; 1995.

[7] WT-2 2016 część II Wykonanie warstw nawierzchni asfaltowych Wymagania Techniczne.

[8] Warunki wykonania i odbioru robót budowlanych, D-04.07.01 v02, nawierzchnia z betonu asfaltowego, warstwa podbudowy, GDDKiA 2019.

[9] Warunki wykonania i odbioru robót budowlanych, D-05.03.0a v02, nawierzchnia z betonu asfaltowego, warstwa wiążąca, GDDKiA 2019.

[10] Mieczkowski P. Zagęszczanie MMA w cienkich warstwach. *Uwarunkowania cieplne. Magazyn Autostrady*. 2006; 10: 94 – 104.

[11] Mieczkowski P. Krawędzie warstw z mieszank asfaltowych – problem zagęszczania w technologii na gorąco. *Drogownictwo*. 2010; 1: 3 – 12.

[12] Jaskała P, Judycki J. Badanie i ocena wpływu szczepności międzywarstwowej na trwałość konstrukcji nawierzchni asfaltowej. *Raport z pierwszego etapu badań*, Politechnika Gdańska. 2005.

[13] Jaskała P. Szczepność międzywarstwowa w nowo budowanych nawierzchniach w Polsce. *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury*. 2016; 33: 225 – 232.

[14] Jaskała P. Szczepność warstw asfaltowych w wielowarstwowych układach nawierzchni drogowych. *Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej*. 2018.

[15] Cyna M, Ossola M F. *Bitumen emulsions*. SFERB, Paris; 2008.

[16] Mieczkowski P. *Emulsje asfaltowe w drogownictwie*. *Czasopismo Izolacje*; 2011.

[17] Becher P. *Emulsions, theory and practice*. OXFORD PRESS; 2000.

[18] *Asphalt Cold Mix Manual*. Asphalt Institute, USA; 2000.

[19] Merska O. Cienkie warstwy na zimno – nowe trendy w technologii drogowej. *Magazyn Autostrady*; 2011.

[20] Piłat J, Radziszewski P. Nawierzchnie asfaltowe. WKŁ, Warszawa; 2010.

[21] Janczak A. Układanie nawierzchni w niskiej temperaturze. *Nowości zagranicznej techniki drogowej*. 2006; 166.

[22] Chadboum B. i inni. *Praca zbiorowa: An asphalt paving tool for adverse conditions*. Final report. University of Minnesota Department of Civil Engineering; 1998.

[23] West R, Watson D, Turner P, Casola J. *Mixing and Compaction Temperatures of Asphalt Binders in Hot-Mix Asphalt*. National Cooperative Highway Research Program, Report 648, Washington D.C.; 2010.

[24] Stefańczyk B, Mieczkowski P. *Mieszanki mineralno-asfaltowe*. *Wykonawstwo i badania*. WKŁ, Warszawa; 2008.

Przyjęto do druku: 18.03.2022 r.