

dr inż. Robert Jurczak¹⁾

ORCID: 0000-0003-3149-7497

mgr inż. Filip Szmatała^{2)*)}

ORCID: 0000-0001-9725-1540

Ocena odporności mieszanki mineralno-asfaltowej na zimno na działanie wody i mrozu

Evaluation of the cold-mix asphalt resistance to water and frost

DOI: 10.15199/33.2023.12.03

Streszczenie. Mając na uwadze problemy dotyczące trwałości napraw z użyciem mieszank mineralno-asfaltowych na zimno, sprawdzono ich odporność na działanie wody i mrozu. Z powodu niewystarczającej ich kohezji nie było możliwe wykorzystanie procedury oceny odporności na działanie wody i mrozu stosowanej w przypadku mieszank mineralno-asfaltowych w technologii na gorąco. W związku z tym do jej określenia wykorzystano metody normowe stosowane przy ocenie nawierzchni betonowych i kruszyw mineralnych. Przygotowano dwa zestawy próbek mieszanki o różnej zawartości wolnych przestrzeni. Badania wykazały, że mieszanka stosowana w województwie zachodniopomorskim jest odporna na zamrażanie i rozmrażanie w obecności wody oraz soli odladzających. Ważne jest prawidłowe zagęszczenie i uzyskanie możliwie jak najmniejszej zawartości wolnych przestrzeni, ale bez użycia nadmiernej energii zagęszczania.

Słowa kluczowe: mieszanka mineralno-asfaltowa na zimno; naprawa cząstkowa; wyboje i ubytki; odporność na działanie wody i mrozu.

Abstract. Considering the problems of durability of repairs made with cold-mix asphalt, their resistance to water and frost was determined. Due to their insufficient cohesion, it was not possible to use the procedure for assessing water and frost resistance used for hot-mix asphalt mixtures. Therefore, the standard test methods for concrete pavements and mineral aggregates were used. Two sets of mix samples were prepared with different air void contents. The results indicate that the mixture used in the West Pomeranian region is resistant to freezing and thawing in the presence of water and de-icing salts. It is also important to have correct compaction and obtain the lowest possible air void content, but without using excessive compaction energy.

Keywords: cold-mix asphalt; partial repair; potholes; water and frost resistance.

W okresie zimy i wczesny wiosny występują warunki sprzyjające powstawaniu ubytków i wybojów w nawierzchni. Z jednej strony brak napraw prowadzi do zwiększenia ich rozmiarów i pojawienia się nowych uszkodzeń, a z drugiej zagraża bezpieczeństwu ruchu. Konieczne jest wówczas natychmiastowe usunięcie uszkodzeń nawierzchni drogowej z zastosowaniem mieszank mineralno-asfaltowych (mas asfaltowych) na zimno [1], ale naprawa ma charakter doraźny. Jako lepsze stosuje się m.in. asfalty upłynnione, emulsje asfaltowe i biolepiszcza [2 – 6]. Są to gotowe mieszanki mineralno-asfaltowe, które nie wymagają uprzedniego podgrzewania. Wystarczą oczyścić z zanieczyszczeń ubytek lub wybój w górnej warstwie nawierzchni, wsypać mieszankę i zagęścić ją za pomocą ubi-

jaka ręcznego bądź zagęszczarki mechanicznej, a następnie zasypać kruszywem drobnym. Jest to idealne rozwiązanie w przypadku drobnych napraw uszkodzeń (standardowo o powierzchni do 1 m²). Taki sposób naprawy jest mniej pracochłonny niż w przypadku zastosowania tradycyjnych mieszank mineralno-asfaltowych w technologii na gorąco. Zdarzają się jednak sytuacje, że naprawa okazuje się niedostatecznie trwała.

Na trwałość naprawy wpływ mają m.in. właściwości mieszanki mineralno-asfaltowej na zimno. Ze wstępnej analizy badań przedstawionych w pracy [7] wynika, że mieszanki na zimno stosowane do napraw cząstkowych (tj. zabiegów wykonywanych na bieżąco i obejmujących małą powierzchnię) nawierzchni dróg krajowych w województwie zachodniopomorskim spełniają odpowiednie wymagania. Decyzję o wyborze materiału należy podejmować po przeanalizowaniu warunków, w jakich on będzie pracował. Szukając przyczyn niewystarczającej trwałości napraw z użyciem mieszank mineralno-

-asfaltowych na zimno, przeanalizowano wymagania z uwzględnieniem warunków pracy w konstrukcji nawierzchni.

Ocena przydatności mieszank mineralno-asfaltowych na zimno

Wymagania dotyczące mieszank mineralno-asfaltowych na zimno zawarte są w zaleceniach do udzielania aprobat technicznych [8], opracowanych w 2009 r. przez Instytut Badawczy Dróg i Mostów w Warszawie. Obecnie są one wykorzystywane do oceny w postępowaniach w sprawie wydania krajowych ocen technicznych, które zastąpiły aprobaty techniczne. Zakres badań kontrolnych mieszank mineralno-asfaltowych na zimno przedstawiono w tabeli 1.

W związku z tym, że warstwa ścieralna jest narażona m.in. na bezpośrednie działanie wody i mrozu oraz środków chemicznych stosowanych podczas zimowego utrzymania dróg, może dochodzić do jej uszkodzeń. Wybierając więc materiał do jej wykonania, a także naprawy, należy wziąć pod uwagę jego od-

¹⁾ Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska

²⁾ Uniwersytet Zielonogórski, Instytut Budownictwa

*) Adres do korespondencji: f.szmatala@ib.uz.zgora.pl

Tabela 1. Wymagania dotyczące mieszanek mineralno-asfaltowych na zimno wg [8]

Table 1. Requirements for cold-mix asphalt according to [8]

Właściwość	Metoda badań	Wymaganie
Wygląd	ocena makroskopowa	mieszanka jednorodna, barwy czarnej, wszystkie ziarna kruszywa otoczone lepiszczem
Urabialność w temperaturze 5°C	Procedura IBDiM nr TN-3/03/05	urabialna
Zawartość lepiscza pozostającego po odparowaniu części lotnych [% (m/m)]	PN-EN 12697-1	wg specyfikacji producenta $\pm 0,5$
Uziarnienie [% (m/m)]	PN-EN 12697-2	wg specyfikacji producenta: frakcja $< 0,063$ mm – $\pm 2,0$ frakcja $> 0,063$ mm – $\pm 5,0$
Zawartość wolnych przestrzeni ¹⁾ [% (v/v)]	PN-EN 12697-8	< 25
Penetracja stemplem w temperaturze 40°C ²⁾ [mm]	PN-EN 12697-20	$\leq 2,0$
Przyczepność lepiscza do kruszywa ³⁾ [% powierzchni nieodmytej]	PN-B-06714-22:1984	≥ 80

¹⁾ gęstość wg PN-EN 12697-5 – metoda objętościowa w wodzie; gęstość objętościowa wg PN-EN 12697-6 metoda D – (bez wyjmowania próbki z formy)

²⁾ próbki zagęszczane: 2 x 50 uderzeń w ubijaku Marshalla; bez ich wyjmowania z formy; temperatura zagęszczania $20 \div 25^\circ\text{C}$; badanie po 48 godzinach od wykonania

³⁾ wielkość próbki ok. 350 g; badanie wykonuje się na gotowym wyrobie

porność na te czynniki. Z analizy wynika, że w ramach oceny przydatności materiałów do napraw cząstkowych nawierzchni przewiduje się sprawdzenie ich odporności na oddziaływanie wody tylko przez określenie przyczepności lepiscza do kruszywa wg wycofanej normy [9]. Metoda badania polega na gotowaniu próbki kruszywa otoczonego lepiszczem (w tym przypadku niezagęszczonej mieszanki na zimno) i ocenie wizualnej stopnia pokrycia ziaren kruszywa lepiszczem asfaltowym. Wynik podaje się w procentach, a 100% oznacza całkowitą przyczepność asfaltu do kruszywa. Zgodnie z [10] wymienioną metodę należy stosować uzupełniająco, a właściwszym rozwiązaniem jest ocena zmiany właściwości mieszanek po oddziaływaniu wody i mrozu. Mając na uwadze niekorzystne warunki klimatyczne w Polsce i warunki pracy górnej warstwy nawierzchni, wykonaliśmy badania, które miały na celu ocenę odporności na działanie wody i mrozu mieszanki mineralno-asfaltowej na zimno przeznaczonej do remontów cząstkowych nawierzchni dróg.

Materiały i metody badań

Badano mieszankę mineralno-asfaltową na zimno na kruszywie o uziarnieniu do 8 mm stosowaną w województwie zachodniopomorskim do remontów cząstkowych nawierzchni drogowych, obejmujących m.in. wypełnianie ubytków i wybojów. Próbkę do badań stanowiła mieszanka zapakowana w worek fo-

liowy o masie ok. 25 kg. Pobrano ją losowo z partii materiału podczas likwidacji ubytków w nawierzchni drogi ekspresowej w okresie zimowym. Mieszanka była jednorodna, a wszystkie ziarna kruszywa otoczone lepiszczem. Na podstawie przeprowadzonej ekstrakcji wg normy [11] ustalono, że zawartość lepiscza po odparowaniu części lotnych wynosi 4,8% i mieści się w deklarowanym przez producenta przedziale $4,0 \div 5,0\%$. W składzie mieszanki mineralnej stwierdzono drobne i grube kruszywo bazaltowe. Gęstość mieszanki mineralno-asfaltowej na zimno określona zgodnie z normą [12] wynosiła $2,767 \text{ Mg/m}^3$.

Do oceny odporności mieszanek mineralno-asfaltowych w technologii na gorąco na działanie wody i mrozu stosuje się instrukcję badawczą, która stanowi załącznik nr 1 do Wymagań Technicznych WT-2 z 2014 r. [13]. Badanie polega na przygotowaniu dwóch zestawów próbek. Próbkę jednego zestawu kondycjonuje się w wodzie o temperaturze 40°C , a następnie zamraża i ponownie kondycjonuje w wodzie, ale tym razem o temperaturze 25°C . Drugi zestaw przechowywany jest w temperaturze pokojowej, bez dodatkowego kondycjonowania. Oznaczana jest wytrzymałość na rozciąganie pośrednie. Wynikiem badania jest wskaźnik zmiany wytrzymałości na rozciąganie pośrednie ITSR wyrażony w procentach. Badanie to od ponad dekady stanowi w Polsce podstawową metodę oceny odporności mie-

szanek na działanie wody i mrozu. Nie można go jednak zastosować w przypadku mieszanek mineralno-asfaltowych na zimno, ponieważ próbki zaraz po wyjęciu z formy wykazują dużą podatność na odkształcenia i rozsypują się. Analizowano więc próbki rozformowane po upływie 72 h od zagęszczenia. Zachowały one swój kształt i dlatego poddano je kondycjonowaniu w wodzie o temperaturze 40°C . Po kilku godzinach uległy częściowemu uszkodzeniu (fotografia 1), co było spowodowane niewystarczającą wytrzymałością (spójnością) mieszanki na zimno, wynikającą z niedostatecznego odparowania składników lotnych. Dyskwalifikuje to przedstawioną metodę jako odpowiednią do oceny odporności mieszanek mineralno-asfaltowych na zimno na działanie wody i mro-



Fot. 1. Próbkę po kondycjonowaniu w wodzie o temperaturze 40°C

Photo 1. Samples after conditioning in water at 40°C

zu. W związku z tym postanowiono sprawdzić przydatność innych metod.

W badaniach wykorzystano dwie metody symulujące oddziaływanie wody, środków odladzających i mrozu w laboratorium, które stosuje się do oceny nawierzchni betonowych oraz kruszyw:

- badanie odporności na zamrażanie i rozmrażanie w obecności soli odladzających zgodnie z PKN-CEN/TS 12390-9:2017-07 [14], tzw. metoda złuszczenia powierzchniowego;
- badanie odporności kruszywa wg normy PN-EN 1367-6 [15].

Badania obejmowały dwie serie próbek w kształcie walca o średnicy 101 mm i wysokości $40 \div 50$ mm, które różniły się zawartością wolnych przestrzeni.

Pierwszą serię stanowiły próbki zagęszczone zgodnie z normą [16] za pomocą ubijaka Marshalla (po 50 uderzeń na każdą stronę, temperatura zagęszczania $20 \pm 25^\circ\text{C}$) o średniej zawartości wolnych przestrzeni 23,8%. Taką zbliżoną zawartość wolnych przestrzeni mają mieszanki mineralno-asfaltowe na zimno stosowane do naprawy ubytków lub wybojów w okresie zimowym. Natomiast do zagęszczenia drugiej serii próbek (pod stałym naciskiem 100 kN w ciągu 3 minut) użyto prasy wytrzymałościowej stosowanej w badaniach betonów. Charakteryzowały się one zawartością wolnych przestrzeni na poziomie 11,4%. Próbki po zagęszczeniu przechowywano w formach przez 48 h. Każda seria składała się z 6 próbek. Łącznie do badań mrozoodporności przygotowano 12 próbek. Ich gęstość objętościową określano metodą geometryczną D zgodnie z normą [17]. Na podstawie uzyskanych wyników badań gęstości i gęstości objętościowej wyznaczono zawartość wolnych przestrzeni w uformowanych próbkach wg normy [18], a następnie przeznaczono je do badań mrozoodporności.

Oznaczenie odporności próbek mieszanki na zimno na powierzchniowe łuszczenie przeprowadzono wg procedury opisanej w normie [14] przeznaczonej do badań betonu cementowego, z którego wykonuje się nawierzchnie betonowe. Po zagęszczeniu pozostawiono je w formach stalowych i uszczelniono. Badanie wykonano zarówno w wodzie, jak i w obecności roztworu NaCl o stężeniu 3%. Po 14, 28 i 56 cyklach zamrażania i rozmrażania określano ubytek masy złuszczonego materiału w przeliczeniu na powierzchnię badanej próbki. Złuszczenie mieszanek mineralno-asfaltowych (w tym na zimno) nie ma takiego samego charakteru jak w przypadku betonu cementowego. W nawierzchniach asfaltowych przejawia się jako ubytek ziaren kruszywa lub lepiszcza. Do oceny odporności mieszanki mineralno-asfaltowej na zimno na działanie wody i mrozu wykorzystano kryteria opracowane z przeznaczeniem do weryfikacji trwałości konstrukcji mostowych, które mogą być wykorzystywane również do oceny próbek pobranych z nawierzchni betonowej. Ocena mrozoodporności betonów metodą Boras przedstawiono w tabeli 2. Zgodnie z [19] metoda ta

Tabela 2. Kryteria oceny mrozoodporności betonów wg metody Boras [20]

Table 2. Criteria for evaluating the frost resistance of concrete according to the Boras method [20]

Mrozoodporność	Wymagania
Niedostateczna	nie są spełnione wymagania dotyczące mrozoodporności dostatecznej
Dostateczna	$m_{36} < 1,00 \text{ kg/m}^2$, gdy $m_{36}/m_{28} < 2$, bądź $m_{112} < 1,00 \text{ kg/m}^2$
Dobra	$m_{36} < 0,20 \text{ kg/m}^2$, bądź $m_{36} < 0,50 \text{ kg/m}^2$, gdy $m_{36}/m_{28} < 2$, bądź $m_{112} < 1,00 \text{ kg/m}^2$
Bardzo dobra	$m_{36} < 0,10 \text{ kg/m}^2$

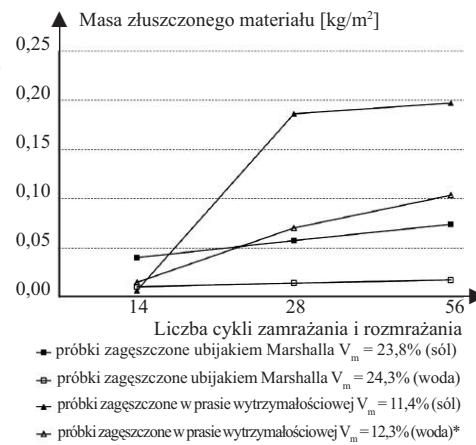
jest uznawana za najbardziej rygorystyczną do określania mrozoodporności.

Dodatkowo do oceny odporności badanej mieszanki na działanie wody i mrozu wykorzystano procedurę oznaczania mrozoodporności kruszywa wg [15]. Polega ona na określeniu ubytku masy ziaren kruszywa w wyniku cyklicznego zamrażania i rozmrażania. Próbki kruszywa określonej frakcji wysuszone do stałej masy umieszcza się w metalowych puszkach (pojemnikach) i zalewa wodą lub roztworem NaCl o stężeniu 1%. Po upływie doby pojemniki z kruszywem poddaje się cyklom zamrażania i rozmrażania, przy czym jeden cykl trwa 24 h. Po zakończeniu 10 cykli próbkę kruszywa przesiewa się na sicie o boku oczka kwadratowego równego połowie dolnego wymiaru badanych ziaren kruszywa. W przypadku mieszanki mineralno-asfaltowej na zimno zamiast określonej frakcji kruszywa wykorzystano próbki uformowane w laboratorium. Ponadto roztwór NaCl o stężeniu 1% zastąpiono roztworem o stężeniu 3%. Jako wskaźnik stopnia destrukcji próbek mieszanki na zimno w wyniku cyklicznego zamrażania i rozmrażania zastosowano kryterium rozluźnienia uformowanych próbek.

Analiza wyników badań i dyskusja

Na rysunku przedstawiono wyniki badania odporności mieszanki na zimno na cykliczne zamrażanie i rozmrażanie zarówno w obecności wody, jak i soli odladzających.

Próbki mieszanki mineralno-asfaltowej na zimno wykazujące zawartość wolnych przestrzeni na poziomie ok. 24% (zagęszczone za pomocą ubijaka Marshalla) można uznać za odporne na działanie mrozu zarówno w obecności wo-



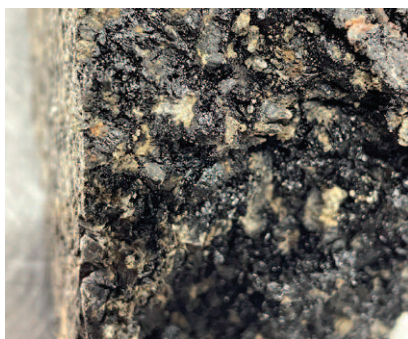
* Próbkę mieszanki mineralno-asfaltowej na zimno pochodząca z innego okresu produkcji

Wyniki badania odporności mieszanek mineralno-asfaltowych na zimno na zamrażanie i rozmrażanie w obecności wody i soli odladzających (złuszczenie)

Test results of freeze-thaw resistance with water and de-icing salts (scaling) of cold-mix asphalt

dy, jak i soli odladzających, ponieważ średnia masa złuszczonego materiału jest mniejsza niż $0,10 \text{ kg/m}^2$. Większy ubytek masy odnotowano, gdy na powierzchnię próbki oddziaływał roztwór NaCl o stężeniu 3%. Analizując wyniki pod kątem zagęszczenia, można stwierdzić, że po 56 cyklach zamrażania i rozmrażania w obecności soli odladzających wg normy [14] największą odporność na powierzchniowe łuszczenie wykazują próbki mieszanki mineralno-asfaltowej na zimno zagęszczone w ubijaku Marshalla. Średnia masa złuszczonego materiału w odniesieniu do pola powierzchni wyniosła $0,07 \text{ kg/m}^2$. W przypadku próbek statycznie zagęszczonych w prasie wytrzymałościowej, które wykazywały znacznie mniejszą zawartość wolnych przestrzeni, oczekiwano braku złuszczeń. Tymczasem średnia całkowita masa złuszczeń okazała się znacznie większa zarówno w przypadku działania wody, jak roztworu NaCl o stężeniu 3% i wyniosła odpowiednio $0,11$ i $0,18 \text{ kg/m}^2$. Możliwą przyczyną mniejszej odporności tych próbek jest częściowe rozdrobnienie ziaren (zniszczenie) wskutek nadmiernej energii zagęszczenia. Powierzchnie przekruszonych ziaren pozbawione są błonki asfaltu, co zmniejsza ich odporność na działanie wody i mrozu (fotografia 2).

W skali oceny wg szwedzkiej normy SS 137244 [20] próbki zagęszczone w ubijaku Marshalla wykazują „bardzo



Fot. 2. Przekruszone ziarna w próbce zagęszczonej w prasie wytrzymałościowej
 Photo 2. Crushed grains in a sample compacted in a testing machine

dobrą” mrozoodporność (średnia masa złuszczeń po 56 cyklach jest mniejsza niż $0,10 \text{ kg/m}^2$), a próbki zagęszczone w prasie wytrzymałościowej kwalifikuje się do klasy „dobrej” (średnia masa złuszczeń po 56 cyklach jest mniejsza niż $0,20 \text{ kg/m}^2$).

Wcześniejsza ocena odporności mieszanek na działanie wody i mrozu nie potwierdziła się w przypadku badania wg procedury oznaczania mrozoodporności kruszyw. Próbki o zawartości wolnych przestrzeni na poziomie 23,8% poddane dziesięciu cyklom zamrażania i rozmrażania uległy rozluźnieniu (fotografia 3a). Prawdopodobnie można je przypisać możliwości poprzecznego odkształcania się mieszanki mineralno-asfaltowej na zimno (próbki po zagęszczeniu wyciągnięto z form i włożono do pojemnika). Próbki bezpośrednio po zagęszczeniu i wyjęciu z formy nie wykazywały wystarczającej kohezji, aby zachować kształt i zachodziło ich rozluźnienie. W związku z tym przy określaniu gęstości objętościowej mieszanek na zimno nie wyjmuje się próbek z formy. Uzyskane wyniki mają również ważne znaczenie praktyczne.



Fot. 3. Próbki po 10 cyklach zamrażania i rozmrażania zagęszczone: a) ubijaniem Marshalla; b) w prasie wytrzymałościowej

Photo 3. The sample after freezing and thawing compacted with: a) a Marshall compactor; b) in a testing machine

W przypadku naprawy ubytku lub wyboju za pomocą mieszanki na zimno bardzo ważne jest usunięcie luźnych fragmentów materiału w obszarze uszkodzonego miejsca. Ich pozostawienie pozwala na odkształcanie się mieszanki, podobnie jak w przypadku próbki widocznej na fotografii 3a. W takich sytuacjach na trwałość naprawy wpływa stopień zagęszczenia mieszanki, co potwierdzają próbki lepiej zagęszczone, które wykazywały znacznie mniejszą zawartość wolnych przestrzeni i nie uległy rozluźnieniu po oddziaływaniu wody i mrozu (fotografia 3b).

Wnioski

Na podstawie wykonanych badań mieszanki mineralno-asfaltowej na zimno i analiz sformułowano następujące wnioski:

- bezpośrednie określenie mrozoodporności powierzchniowej na podstawie masy złuszczenia powierzchniowego potwierdza odporność badanej mieszanki mineralno-asfaltowej na zimno na działanie wody i mrozu oraz środków odładzających;
- właściwe zagęszczenie mieszanki mineralno-asfaltowej na zimno wpływa na trwałość naprawianego miejsca. Należy dążyć do uzyskania możliwie jak najmniejszej zawartości wolnych przestrzeni, ale bez użycia nadmiernej energii zagęszczania, gdyż może to powodować niszczenie (pęknięcie) ziaren i w konsekwencji zmniejszyć odporność na działanie wody i mrozu.

Sformułowane wnioski należy traktować jako wstępne z uwagi na zastosowanie do badań jednej mieszanki mineralno-asfaltowej na zimno. Zaplanowano kontynuację badań w celu sprawdzenia, czy podobne efekty można uzyskać w przypadku innych mieszanek dostępnych na rynku krajowym.



Literatura

- [1] Katalog Wzmocnień i Remontów Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych. Warszawa: IBDiM; 2001.
- [2] Simonen M, Pellinen T, Valtonen J, Blomberg T. Biofluxed bitumens – experiences from field tests and further developments. 5th Euroasphalt&Eurobitume Congress, 13-15th June 2012, Istanbul.
- [3] Shobhit J, Bhupendra S. Cold mix asphalt: An overview. Journal of Cleaner Production, Volume 280, Part 2. 2021; <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124378>.
- [4] Diaz LG. Creep performance evaluation of Cold Mix Asphalt patching mixes. International Journal of Parament Research and Technology, Volume 9, Issue 2. 2016.
- [5] <http://doi.org/10.1016/j.ijpnt.2016.04.002>.
- [6] Day D, Lancaster JM, McKay. Emulsion cold mix asphalt in the UK: A decade of site and laboratory experience. Engineering. 2019; <http://doi.org/10.1016/j.jtte.2019.05.002>.
- [7] Jurczak R, Kalinowska-Szarejko D. Ocena właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych na zimno stosowanych do napraw cząstkowych dróg. Drogownictwo. 2023; 1: 3-7.
- [8] Szczepaniak Z, Skierczyński P, Mularzuk R. Mieszanki mineralno-asfaltowe na zimno do remontów cząstkowych nawierzchni drogowych. Zalecenia IBDiM do udzielania Aprobata Technicznych nr Z/2009-03-022. Zeszyt 76. Warszawa: IBDiM; 2009.
- [9] PN-B-06714-22:1984. Kruszywa mineralne. Badania. Oznaczanie przyczepności bitumów.
- [10] Jaskuła P. Niszczące oddziaływanie wody i mrozu na mieszanki mineralno-asfaltowe – przegląd literatury. Drogi i Mosty. 2004; 4: 5-44.
- [11] PN-EN 12697-1:2020-08 Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badań – Część 1: Zawartość lepiszcza rozpuszczalnego.
- [12] PN-EN 12697-5:2019-01 Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badań – Część 5: Oznaczenie gęstości.
- [13] WT-2 2014 – Część I. Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych. Mieszanki mineralno-asfaltowe. Wymagania techniczne. GDDKiA, Warszawa 2014.
- [14] PKN-CEN/TS 12390-9:2017-07 Badania betonu – Część 9: Oznaczanie odporności na zamrażanie i rozmrażanie w obecności soli odładzających – Złuszczenie.
- [15] PN-EN 1367-6:2008 Badania właściwości cieplnych i odporności kruszyw na działanie czynników atmosferycznych – Część 6: Mrozoodporność w obecności soli.
- [16] PN-EN 12697-30:2019-01 Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badań – Część 30: Przygotowanie próbek zagęszczonych przez ubijanie.
- [17] PN-EN 12697-6:2020-07 Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badań – Część 6: Oznaczenie gęstości objętościowej próbek mieszanki mineralno-asfaltowej.
- [18] PN-EN 12697-8:2019-01 Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badań – Część 8: Oznaczenie zawartości wolnej przestrzeni próbek mineralno-asfaltowych.
- [19] Kalisty M, Małasiewicz D. Metody badania mrozoodporności betonów. Ocena mrozoodporności betonu z cementem hutniczym. Budownictwo i Inżynieria Środowiska. 2010; 1: 293 – 300.
- [20] SS 137244:1995 Concrete testing. Hardened concrete. Scaling at freezing. Swedish Standard.

Przyjęto do druku: 22.11.2023 r.