

Marta KOSIOR – KAZBERUK*
Politechnika Białostocka

MROZODPORNOŚĆ BETONÓW Z DODATKIEM ASFALTU PRZEZNACZONYCH DO KONSTRUKCJI MOSTOWYCH

Streszczenie. Konstrukcje mostowe, ze względu na szczególne warunki eksploatacji, wymagają stosowania betonów charakteryzujących się wysoką odpornością na cykliczne zamrażanie i odmrażanie. Dodatkowym czynnikiem niszczącym są sole chlorkowe stosowane do zimowego utrzymania dróg. Skuteczną metodą ochrony betonów, także betonów mostowych, przed wpływem środowiska zewnętrznego, może być ich modyfikacja poprzez wprowadzenie na etapie przygotowania mieszanki betonowej substancji bitumicznych. W pracy przedstawiono wyniki badań mrozodporności w obecności wody wodociągowej i 3% roztworu NaCl (soli odladzającej), przeprowadzonych na próbkach betonów drobnoziarnistych z dodatkiem asfaltu. Przeanalizowano możliwości zastosowania kompozytu do konstrukcji mostowych.

FROST RESISTANCE OF ASPHALT MODIFIED CONCRETE FOR BRIDGE CONSTRUCTION

Summary. The exposed surfaces of concrete bridge structures are subjected to the attack of deleterious agents such as temperature, sun, moisture, chlorides etc., which cause the rapid deterioration of concrete structure. Therefore, the application of concrete, high resistant to cyclic freezing and thawing, is required. The modification by introducing bituminous addition, during mix preparation, may be an effective method of concrete, as well as bridge concrete, protection against external environment influence. The experimental results of resistance to cyclic freezing and thawing in the presence of water and 3% NaCl (deicing agent) of fine-grained concrete with asphalt addition, are presented in the paper. The possibilities of composite application to bridge structure are analysed.

1. Wprowadzenie

Niszczenie konstrukcji budowlanych, w tym betonowych i żelbetowych, pod wpływem przemiennego zamrażania i odmrażania jest charakterystyczne dla wszystkich budowli odsloniętych, pracujących w warunkach wpływów atmosferycznych z jednoczesnym nasyceniem wilgocią. W takim przypadku na intensywność niszczenia betonu wpływają nie tylko zmiany temperatury i wilgotności, ale również przemiany fazowe wody i siły osmotyczne. Istotną rolę

* Opiekun naukowy: Prof. dr hab. inż. Grzegorz Wieczorek.

w rozwoju procesów niszczenia wskutek oddziaływania mrozu odgrywa charakter kapilarno-porowatej struktury materiału, wpływający na szybkość wymiany ciepła i masy z otaczającym środowiskiem. W całym spektrum porów można wyróżnić pory najbardziej niebezpieczne, powodujące niszczenie betonu. Powszechnie wiadomo, że mrozoodporność związana jest głównie z porowatością kapilarną, którą należy ograniczyć do minimum [1-3]. Obiekty drogowe są dodatkowo narażone na działanie soli stosowanych do zimowego utrzymania dróg. Beton ulega szczególnie intensywnemu niszczeniu podczas zamrażania z jednoczesnym oddziaływaniem roztworów soli. Między stwardniałym zaczynem cementowym a cieczą znajdującą się w porach naruszone zostają nie tylko termiczna i wilgotnościowa, ale również równowaga chemiczna [1].

Metodą ochrony strukturalnej betonu przed szkodliwym działaniem mrozu, zmierzającej do uzyskania szczelnej, nieprzepiękłej dla wody, struktury [2], może być wprowadzanie dodatku asfaltu w postaci tzw. „pasty bitumicznej”, na etapie przygotowania mieszanki betonowej. Dąży się w ten sposób do blokady połączeń między kapilarami i pokrycia ich powierzchni hydrofobowym materiałem organicznym, co powinno utrudniać penetrację środowiska ciekłego oraz ograniczyć jego kontakt ze stwardniałym zaczynem cementowym. Wyniki dotychczas prowadzonych prac [4,5] wskazują na znaczne możliwości wpływania na właściwości kompozytu, w tym na mikrostrukturę stwardniałego zaczynu cementowego, kinetykę hydratacji cementu i współczynnik w/c , w kierunku uzyskania korzystnych właściwości użytkowych.

Prezentowane w niniejszej pracy badania mrozoodporności stanowią część programu realizowanego w ramach pracy doktorskiej. Celem prowadzonych badań jest uzyskanie kompozytu o podwyższonej odporności korozyjnej przy jednoczesnym zachowaniu cech fizycznych i wytrzymałościowych wymaganych dla betonów mostowych.

Podstawowe wymagania dotyczące betonów mostowych podaje norma PN-91/S-10042 [7]. Wytyczne, uściślone i zastrzone, zawarte są w wydanych przez Generalną Dyрекcję Dróg Publicznych „Wymaganiach i zaleceniach dotyczących wykonywania betonów mostowych” [10]. Określone warunki dotyczą zarówno składników betonu, jak i jego właściwości fizycznych i wytrzymałościowych. Beton do konstrukcji mostowych powinien odznaczać się mrozoodpornością, badaną metodą zwykłą wg PN-88/B-06250 [8], przy założeniu ubytku masy nie większego niż 5% i spadku wytrzymałości nie większego niż 20% po 150 cyklach zamrażania i rozmrażania.

2. Metodyka badań

Odporność betonu na działanie mrozu badano metodą zwykłą wg [8] oraz dodatkowo przeprowadzono badanie mrozoodporności w obecności środków odladzających wg procedury omówionej w pracy [6], opracowanej na podstawie projektu metody europejskiej. Zastrzeżenie warunków przeprowadzanych badań w stosunku do proponowanej metody europejskiej ma na celu zmniejszenie rozbieżności w uzyskiwanych wynikach.

Badania wykonano na próbkach z betonów drobnoziarnistych, przy zachowaniu jednolitej plastycznej konsystencji mieszanek betonowych, co wymagało każdorazowo odpowiedniej korekty potrzebnej ilości wody zarobowej. Dodatek pasty bitumicznej uwzględniano w zarobie poprzez zmniejszenie zawartości kruszywa, przeliczając odpowiednio zamieniane materiały na ich objętości. Zastosowano dwa cementy portlandzkie. Cement siarczanoodporny CEM I 42.5 HSR NA (cement A) z Cementowni „Rejowiec”, który spełnia wymagania stawiane cementom mostowym [7,10], oraz CEM I 42.5 MSR NA (cement B) - cement drogowy o umiarkowanej siarczanoodporności, z Cementowni „Chełm”. Skład mineraliczny badanych cementów podano w tablicy 1. Zawartość cementu w badanych betonach była stała i wynosiła 450 kg/m^3 .

Tablica 1

Skład mineraliczny i zawartość alkaliów w badanych cementach

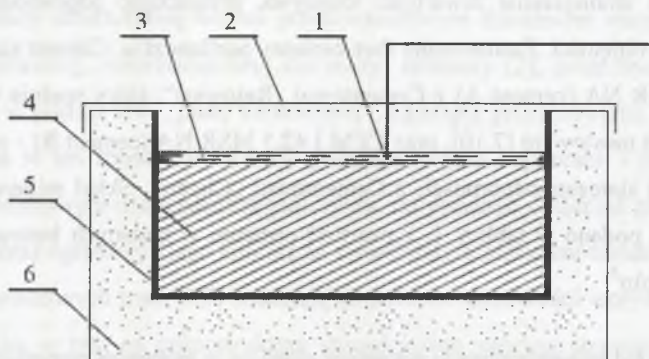
Cement	Zawartość masy [%]				
	C ₁ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	Na ₂ O _{rown}
CEM I 42.5 HSR	61,3	14,6	2,1	15,6	0,49
CEM I 42.5 MSR	59,7	15,5	7,8	10,5	0,54

Do wykonania próbek wykorzystano mieszaninę piasku rzeczno-głazowego i grysłu bazaltowego o maksymalnym wymiarze ziarna do 8 mm. Punkt piaskowy wynosił zawsze 44.9%. Składnikiem modyfikującym była pasta bitumiczna wyprodukowana przy zastosowaniu asfaltu przemysłowego.

Badania przeprowadzono na próbkach wykonanych wg dwóch receptur, z każdego cementu, zawierających pastę bitumiczną, a także na próbkach kontrolnych bez dodatku pasty. O doborze receptur do badań pod kątem zastosowania kompozytu na pomosty mostów zdecydowała analiza wyników dotychczas przeprowadzonych badań [4,5]. W przypadku cementu CEM I 42.5 HSR zastosowano dodatek asfaltowy w ilościach 11 i 13% w stosunku do masy cementu, w przypadku cementu CEM I 42.5 MSR dodatek stosowano w ilościach 9,5 i 11% w stosunku do masy cementu. Próbkę dojrzewały w warunkach 100% wilgotności oraz w temperaturze $18 \pm 2^\circ\text{C}$.

Badania mrozoodporności wymagane dla betonów mostowych [7] przeprowadzono wg zaleceń zawartych w PN-88/B-06250 [8] na próbkach $4 \times 4 \times 16$ cm. Zastosowanie próbek w postaci beleczek miało na celu ocenę zmian wytrzymałości zarówno na ściskanie, jak i zginanie. Każdorazowy okres zamrażania, w temperaturze -18°C , wynosił nie mniej niż 6 godzin, okres rozmrażania, w wodzie o temperaturze 20°C - 4 godziny. Na podstawie wyników badań wytrzymałościowych próbek zamrażanych i próbek porównawczych-niezamrażanych określano średni spadek wytrzymałości.

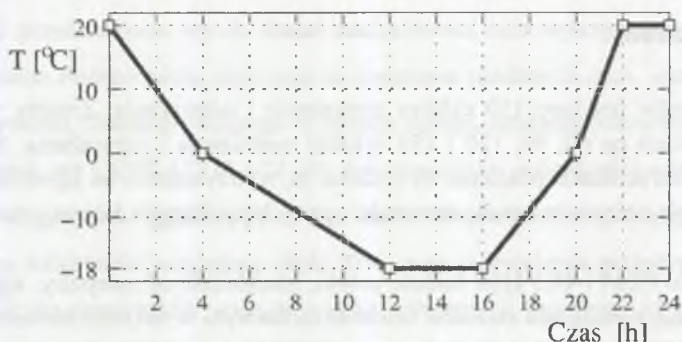
Do badania mrozoodporności betonu w obecności środków odladzających wg [6] stosowano próbki w formie kostek $15 \times 15 \times 15$ cm, wykonane i przechowywane jak próbki do badań odporności na działanie mrozu metodą opisaną wyżej.



Rys. 1. Przekrój próbki stosowanej do badania mrozoodporności; 1 – sonda temperaturowa; 2 – osłona przeciwdziałająca odparowywaniu; 3 – ciecz mrozżąca; 4 – próbka; 5 – płaszcz gumowy; 6 – izolacja cieplna
 Fig. 1. The section of specimen used for the freeze-thaw test; 1 - thermocouple; 2 - polyethylene sheet; 3 - freezing medium; 4 - specimen; 5 - rubber sheet; 6 - thermal insulation

Z każdej kostki prostopadle do jej górnej powierzchni odcinano płytkę grubości 5 cm, przy czym powierzchnią poddawaną działaniu mrozu jest powierzchnia cięcia. Wycięte płytki oklejono miękką gumą pozostawiając nieoklejoną powierzchnię poddawaną działaniu mrozu. Brzeg płaszcza gumowego wystawał 2 cm ponad badaną powierzchnię. Następnie wykonano izolację cieplną grubości 2 cm dolnej i bocznych powierzchni próbki. Próbkę przygotowaną do badania przedstawia rysunek 1.

Górną powierzchnię tak przygotowanych próbek nasycano wodą przez 72 godziny. Bezpośrednio przed umieszczeniem próbek w komorze zamrażalniczej dokonano wymiany wody na 3% roztwór chlorku sodu. Każdą próbkę przykryto osłoną zapobiegającą odparowywaniu cieczy. W programowalnej komorze testowej próbki poddawano cyklicznemu zamrażaniu i odmarżaniu, przy czym temperatura cieczy mrozżącej zmieniała się w ciągu pojedynczego dobowego cyklu wg diagramu pokazanego na rysunku 2.



Rys. 2. Przebieg zmian temperatury cieczy mrożącej
Fig. 2. The time-temperature cycle in the freezing medium

Ciecz mrozącą wymieniało się co 7 cykli, jednocześnie zbierano materiał złuszczonej z każdej próbki, suszono go do stałej masy i ważono. Dla każdego pomiaru i dla każdej próbki obliczano wagę złuszczeń w odniesieniu do powierzchni poddanej próbie działania mrozu. Odporność badanych betonów na działanie mrozu oceniano zgodnie z kryteriami zawartymi w tabelicy 2.

Tablica 2

Kryteria oceny mrozoodporności betonu, badanej wg [6]

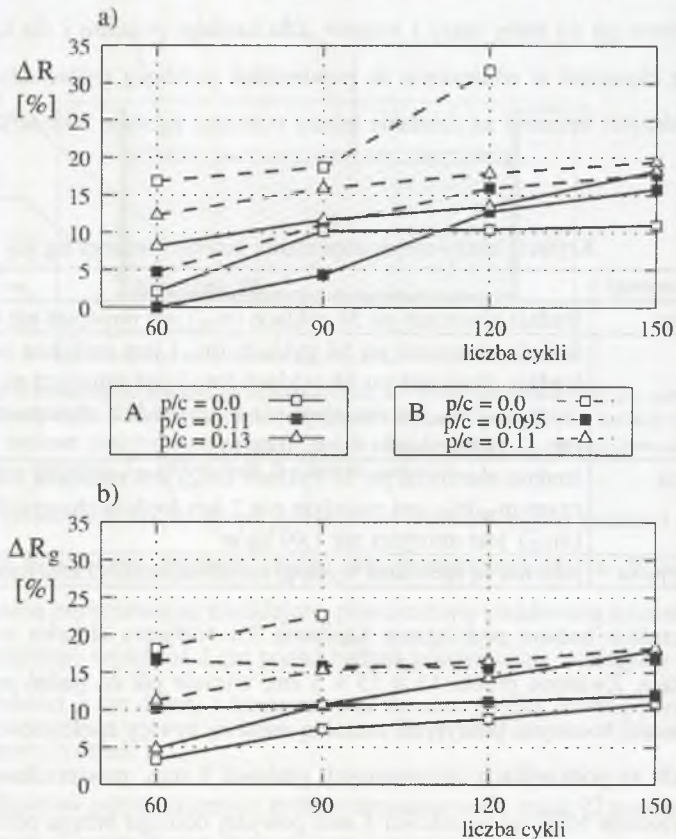
Mrozoodporność	Wymagania
Bardzo dobra	średnia złuszczeń po 56 cyklach (m_{56}) jest mniejsza niż $0,10 \text{ kg/m}^2$
Dobra	średnia złuszczeń po 56 cyklach (m_{56}) jest mniejsza niż $0,20 \text{ kg/m}^2$ lub średnia złuszczeń po 56 cyklach (m_{56}) jest mniejsza niż $0,50 \text{ kg/m}^2$, przy czym m_{56}/m_{28} jest mniejsze niż 2 lub średnia złuszczeń przy 112 cyklach (m_{112}) jest mniejsza niż $0,50 \text{ kg/m}^2$
Do przyjęcia	średnia złuszczeń po 56 cyklach (m_{56}) jest mniejsza niż $1,00 \text{ kg/m}^2$, przy czym m_{56}/m_{28} jest mniejsze niż 2 lub średnia złuszczeń przy 112 cyklach (m_{112}) jest mniejsza niż $1,00 \text{ kg/m}^2$
Nie do przyjęcia	jeśli nie są spełnione wymogi mrozoodporności możliwej do przyjęcia

Równocześnie badano podciąganie kapilarne 3% roztworu chlorku sodu, stanowiącego ciecz mrozącą. Zważone próbki $15 \times 15 \times 5 \text{ cm}$, wycięte jak do badań mrozoodporności, z powierzchniami bocznymi pokrytymi szczelną warstwą żywicy epoksydowej, umieszczano w pojemnikach na podkładkach dystansowych grubości 8 mm, powierzchnią badaną do dołu. Wlewano roztwór NaCl do wysokości 5 mm powyżej dolnego brzegu próbki. Tak przygotowane próbki nasączało się przez 7 dni, po czym ponownie je ważono w celu określenia podciągania kapilarnego w odniesieniu do powierzchni.

3. Wyniki badań

Próbki betonów poddano 150 cyklom zamrażania i odmrażania. Zmiany wytrzymałości betonów określano po 60, 90, 120 i 150 cyklach zamrażania i odmrażania. Średnie spadki wytrzymałości na ściskanie pokazano na rysunku 3a, wytrzymałości na zginanie – na rysunku 3b. Wielkość p/c oznacza stosunek zawartości „pasty bitumicznej” do masy cementu w badanej recepturze.

W przypadku CEM I 42.5 HSR badane próbki, niezależnie od receptury, wg której je wykonano, spełniają wymagania stawiane betonom mostowym w zakresie mrozoodporności. W przypadku CEM I 42.4 MSR, jedynie betony z dodatkiem pasty bitumicznej spełniały wymagania [7,10] dotyczące mrozoodporności. Po 150 cyklach zamrażania i odmrażania, próbki bez dodatku pasty uległy tak poważnym uszkodzeniom, że wykonanie badania wytrzymałości było niemożliwe.



Rys. 3. Mrozoodporność betonów modyfikowanych asfaltem, wykonanych przy użyciu cementów: A – CEM I 42.5 HSR, B – CEM I 42.5 MSR: a) spadek wytrzymałości na ściskanie ΔR , b) spadek wytrzymałości na zginanie ΔR_g

Fig. 3. Frost resistance of asphalt modified concretes (used cements: A – CEM I 42.5 HSR, B – CEM I 42.5 MSR): a) compressive strength loss ΔR , b) flexural strength loss ΔR_g

W tablicy 3 przedstawiono wyniki badań nasiąkliwości oraz wytrzymałości na ściskanie badanych betonów. Podano także, obliczone na podstawie zbadanych cech, wartości wskaźnika mikroporowatości, charakteryzującego w sposób ogólny, strukturę porowatości. Wskaźnik mikroporowatości, wg GOST 12730.4-78 [9], jest stosunkiem wilgotności sorpcyjnej betonu (badanej przy wilgotności względnej powietrza około 95%), odniesionej do jego porowatości kapilarnej. Przy wilgotności względnej około 95%, pory o promieniu mniejszym od 100 nm mogą wypełniać się samorzutnie wodą w wyniku kondensacji kapilarnej wilgoci. Wskaźnik zawiera się w granicach od 0 do 1 i służy do oceny ilości mezoporów (o promieniu mniejszym od 100 nm) oraz makroporów (o promieniu większym od 100 nm). Im wskaźnik mikroporowatości jest wyższy, tym większa jest zawartość mezoporów w materiale. Procesy destrukcyjne w kapilarno-porowatym stwardniałym zaczynie cementowym związane są z przepływem wody, który odbywa się w wyniku ruchu kapilarnego i dyfuzyjnego – wywołanego gradientami: ciśnienia, stężeń chemicznych, wilgotności i temperatury [3]. Dane literaturowe wskazują na ścisłe uzależnienie ciśnienia lodu w porach betonu od promienia i długości kapilar [1,3].

Tablica 3

Wyniki badań nasiąkliwości betonów, wskaźnika mikroporowatości oraz wytrzymałości na ściskanie po 28 dniach dojrzewania

Cement	Wartość p/c	Wartość w/c	Nasiąkliwość wagowa (%)	Nasiąkliwość objętościowa (%)	Wskaźnik mikroporowatości (-)	Wytrzymałość na ściskanie (MPa)
CEM I 42.5 HSR	0.0	0.395	4.83	11.92	0.47	61.5
	0.11	0.370	1.87	4.28	0.77	43.1
	0.13	0.355	1.91	4.40	0.70	35.6
CEM I 42.5 MSR	0.0	0.395	4.54	11.00	0.50	69.4
	0.095	0.380	1.92	4.46	0.86	51.3
	0.11	0.370	2.02	4.66	0.85	46.2

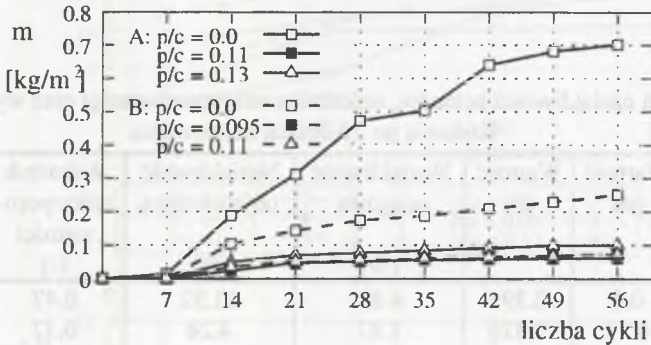
W tablicy 4 zamieszczono ocenę mrozoodporności badanych betonów po 56 cyklach zamrażania i odmrażania w obecności roztworu soli odladzającej oraz wyniki badania podciągania kapilarnego 3% NaCl.

Tablica 4

Wyniki badań mrozoodporności betonu w obecności środków odladzających

Cement	Wartość p/c	Masa złuszczeń po 28 cyklach (kg/m ²)	Masa złuszczeń po 56 cyklach (kg/m ²)	Mrozoodporność wg kryteriów tablicy 2	Podciąganie kapilarne 3% NaCl (kg/m ²)
CEM I 42.5 HSR	0,0	0,535	0,702	Do przyjęcia	1,96
	0,11	0,051	0,061	Bardzo dobra	0,59
	0,13	0,077	0,100	Bardzo dobra	0,56
CEM I 42.5 MSR	0,0	0,174	0,251	Do przyjęcia	1,86
	0,095	0,054	0,074	Bardzo dobra	0,68
	0,11	0,057	0,073	Bardzo dobra	0,61

Przedmiotem badań były betony stosunkowo dobrej jakości, pomimo to betony z dodatkiem asfaltu wykazały zdecydowanie większą odporność na działanie mrozu w obecności środków odladzających. Średnia masa powierzchniowych złuszczeń, będących efektem cyklicznego zamrażania i odmrażania, w przypadku betonu bez dodatku, jest kilkakrotnie większa od masy złuszczeń materiału kompozytowego, co pokazano na rysunku 4.

Rys. 4. Średnia waga złuszczeń m po n cyklachFig. 4. The average scaling m after n cycles

4. Podsumowanie

Przeprowadzone badania potwierdziły korzystny wpływ dodatku asfaltu na mrozoodporność betonów, zarówno przy jednoczesnym nasyceniu wodą, jak i roztworem soli odladzających. Betony średniej wytrzymałości, będące przedmiotem badań, spełniają warunek mrozoodporności stawiany betonom przeznaczonym do konstrukcji mostowych. Przy badaniu metodą zwykłą nieco mniejsze spadki wytrzymałości wystąpiły w przypadku betonów wykonanych przy użyciu cementu CEM I 42.5 HSR, natomiast podczas badania w obecności 3% NaCl,

większą odporność na łuszczenie wykazały betony, do wykonania których użyto CEM I 42.5 MSR. Należy podkreślić, że różnice te są nieznaczne.

Występuje istotna korelacja pomiędzy mrozoodpornością betonów a takimi właściwościami, jak nasiąkliwość i podciąganie kapilarne roztworu soli.

W świetle wykonanych badań można stwierdzić, że ocena betonu na podstawie powierzchniowych złuszczeń jest bardziej wiarygodną miarą stopnia uszkodzenia materiału wskutek działania mrozu, niż na podstawie zmian wytrzymałości. W wyniku cyklicznego zamrażania i rozmrażania próbki betonowe są rozpulchnione, a ich powierzchnie stają się nierówne. Podczas badania wytrzymałości na ściskanie możliwa jest redystrybucja naprężeń i częściowe odciążenie słabej strefy próbki.

LITERATURA

1. Babuszkin W.I.: Zaszczita stroitielnych konstrukcyj ot korozii, starienia i iznosa. Charkow 1989.
2. Cai H., Liu X.: Freeze-thaw durability of concrete: Ice formation process in pores. *Cement and Concrete Research*. Vol. 28, No. 9, 1998, pp. 1281-1287.
3. Piasta J., Piasta W.G.: *Beton zwykły*. Arkady, Warszawa 1997.
4. Wieczorek G.: Beton z dodatkiem asfaltu zwiększającym szczelność i odporność korozyjną. *Cement, Wapno, Beton* 6, 1999, s. 199-204.
5. Wieczorek G., Kosior-Kazberuk M.: Asphalt modified concretes and mortars. W: W. Kurdowski, M. Gawlicki (Eds.), *Science of Cement and Concrete*, Kraków 20-21 czerwiec 2001, s. 315-327.
6. Grodzicka A.: Trwałość betonów wysokowartościowych w aspekcie oddziaływania zmian termicznych. *Praca naukowo-badawcza nr NB-25, ITB, Warszawa 1999*.
7. PN-91/S-10042 *Obiekty mostowe. Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Projektowanie*.
8. PN-88/B-06250 *Beton zwykły*.
9. GOST 12730.4-78 *Bietony. Metody opriedielienia pokazatieliej poristosti*.
10. *Wymagania i zalecenia dotyczące wykonywania betonów do konstrukcji mostowych*. Generalna Dyrekcja Dróg Publicznych, Warszawa 1990.

Abstract

The exposed surfaces of concrete bridge structures are subjected to the attack of deleterious agents such as temperature, sun, moisture, chlorides etc., which cause the rapid deterioration of concrete structure. Therefore, the application of concrete, high resistant to cyclic freezing and thawing, is required. The modification by introducing bituminous addition, during mix preparation, may be an effective method of concrete, as well as bridge concrete, protection against external environment influence. The experimental results of resistance to cyclic freezing and thawing in the presence of water and 3% NaCl (icing agent) of fine-grained concrete with asphalt addition, are presented in the paper. The possibilities of composite application to bridge structure are analysed.