

Możliwości wykorzystania niechlorkowych środków odladzających do nawierzchni z bruku betonowego

Odporność betonu na działanie mrozu oraz wilgoci zależy generalnie od jego budowy wewnętrznej. Niewłaściwa struktura wewnętrzna, która nie spełnia odpowiednich wymagań, może być przyczyną poważnych uszkodzeń betonu. Najbardziej narażony na niekorzystne działanie czynników zewnętrznych jest beton poddawany ciągłemu kontaktowi z wodą oraz równoczesnemu działaniu wody ze środkami odladzającymi. Przykładem takich konstrukcji mogą być: betonowe nawierzchnie drogowe, krawężniki, chodniki, lotniska, elementy mostów. Zróżnicowanie warunków eksploatacyjnych, klimat, nasłonecznienie oraz budowa wewnętrzna betonu decydują w najwyższym stopniu o szybkości i rodzaju zachodzących procesów niszczących. Stąd wyróżnia się pięć typowych form zniszczeń betonu według klasyfikacji uszkodzeń mrozowych:

1. Pęknięcia powierzchniowe betonu
2. Odpryski fragmentów betonu
3. Zluszczanie się powierzchniowej warstwy betonu
4. Wewnętrzne pęknięcia betonu
5. Całkowita lub częściowa dezintegracja betonu.

Niebezpieczeństwo uszkodzeń betonu wzrasta, jeśli powierzchnia betonu ma kontakt z wodą i środkami odladzającymi przed lub w czasie zamrażania. Nawet małe zawartości związków soli rozpuszczonych w wodzie znacznie powiększają uszkodzenia powierzchni betonowych. Szkody te osiągają maksimum przy 2-4-procentowym stężeniu związków soli odladzających, w szczególności chlorkowych. Większe stężenia nie powodują już tak znacznych uszkodzeń

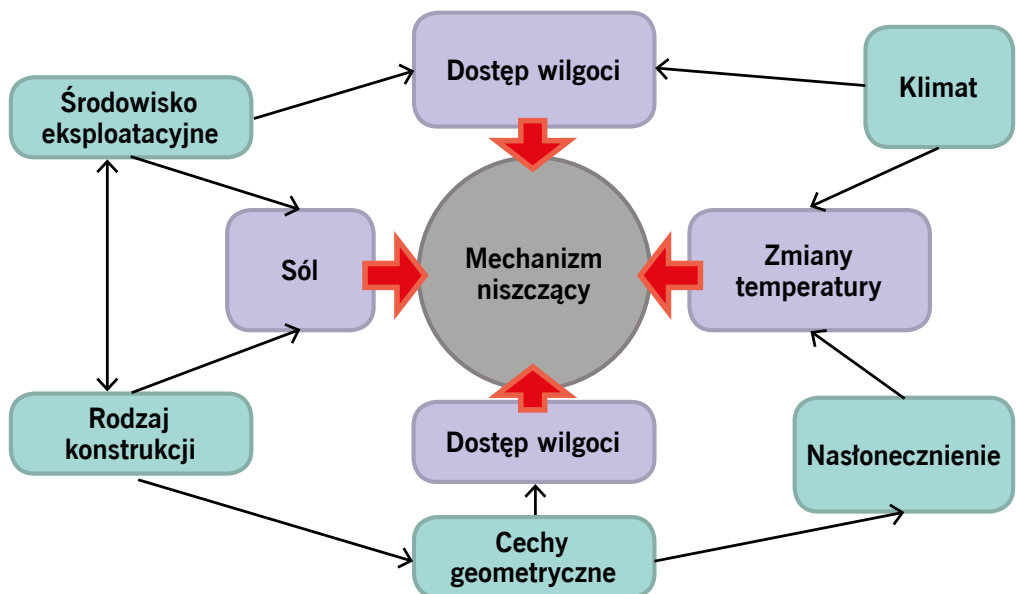
Uszkodzenia powierzchni betonu ujawniają się bardzo szybko - już po kilku cyklach zamrażania/rozmarzania, co wskazuje na to, że powodujące je zjawiska mają charakter fizyczny. Wyjątkiem jest chlorek wapnia, który powoduje uszkodzenia natury chemicznej, ale przede wszystkim przy wysokich stężeniach i długim okresie ekspozycji. Mechanizm destrukcji betonu ma związek z po-

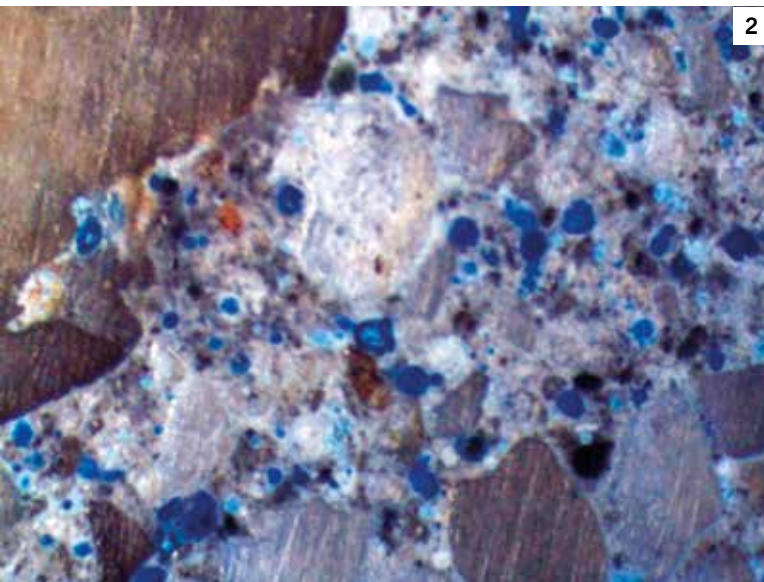
wstawianiem ciśnienia osmotycznego wywołanego różnicą pomiędzy stężeniem soli w wodzie w częściach powierzchniowych a stężeniem soli w wodzie znajdującej się w głębszych warstwach betonu. Istnieje bowiem zależność, że im większa zawartość soli w roztworze w warstwie powierzchniowej betonu, tym zawartość ciśnienia osmotycznego będzie większa. Jednak przy wysokich stężeniach soli na powierzchni betonu zmniejszeniu ulega ilość wody zdolnej do zamrożenia, dlatego też uszkodzenia betonu również ulegają ograniczeniu.

W warunkach eksploatacyjnych beton może być poddawany działaniu wody przez dłuższy lub krótszy czas. W każdym m³ betonu znajduje się od 120 do 180 litrów porów o wymiarach około 0,5 μm oraz o takiej strukturze, która powoduje, że woda łatwo wnika w pory. Generalnie powierzchniowe części betonu ulegają nasyceniu wodą w związku z opadami deszczu czy topnieniem śniegu. Znaczna część tej wody ulega zamrożeniu w okresie zimowym. Przy przejściu wody ze stanu ciekłego w postać lodu objętość wody zawartej w porach betonu zwiększa się o 9%. Następstwem zjawiska zwiększenia objętości jest wypieranie nadmiaru wody zawartej w porach, w których tworzy się lód, do sąsiednich porów wypełnionych przez powietrze. W ten sposób dochodzi do wyrównania ciśnienia wewnątrz betonu. Jeżeli beton nie posiada porów wypełnionych powietrzem, powstają wtedy bardzo duże naprężenia podczas tworzenia się lodu i może dojść do spękania betonu. Beton posiadający tego rodzaju spękania wykazuje objawy głębokiego uszkodzenia, co skutkuje występowaniem głębokich rys.

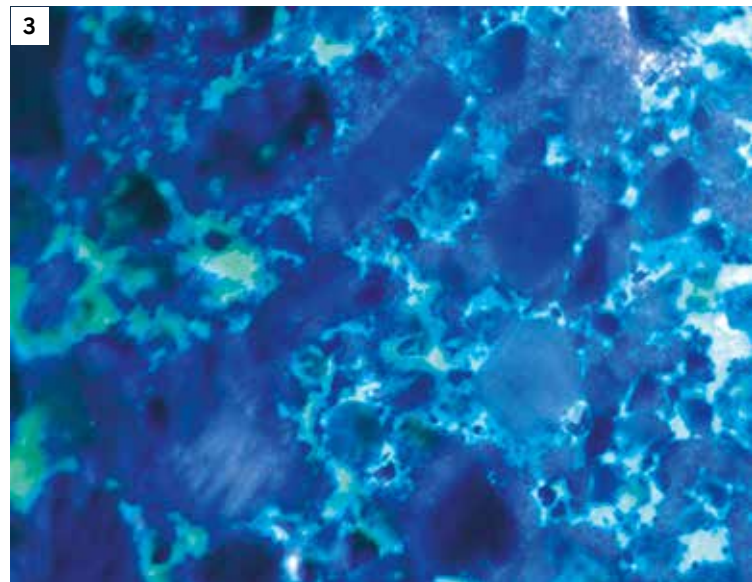
W betonie istnieje od 1,5 do 2,5% objętościowo porów technologicznych, czyli porów wypełnionych powietrzem, które zabezpieczają go przed spękaniem. Pory te są rozmieszczone w odpowiednio dużych odległościach od siebie, a także posiadają

Rys. 1. Schemat oddziaływania czynników eksploatacyjnych i konstrukcyjnych na beton (wg. Z. Rusin)





2



3

strukturę, która uniemożliwia im wypełnianie się wodą.

Naturalna zawartość porów powietrznych przeważnie jest niewystarczająca, dlatego podczas produkcji betonów zwykłych dodawana jest odpowiednia ilość środka napowietrzającego.

Struktura porów uzyskana przez dodatek środka napowietrzającego charakteryzuje się występowaniem małych i równo oddzielonych od siebie porów, które są rozmieszczone w całej masie betonu. Pozostają one wypełnione powietrzem nawet w warunkach bardzo wilgotnych. Jest oczywiste, że droga transportu wody zmniejsza się, gdy do betonu zostaną wprowadzone małe pory zamiast dużych, dzięki czemu zmniejszeniu ulegają również wewnętrzne naprężenia występujące podczas wypychania nadmiaru wody z porów.

Niestety, warunek ten jest niemożliwy do spełnienia w przypadku betonowych elementów brukowych produkowanych z betonu wibroprasowanego. Szywność konsystencji ($V_{eBe} > 31s$) oraz bardzo niski współczynnik wodno-cementowy ($w/c \approx 0,34 \div 0,38$) nie stwarzają warunków do pełnego działania środków napowietrzających. Przedstawiona na rysunkach 2 i 3 struktura porów w betonie „zwykłym” napowietrzonym (rys. 2) i w betonie wibroprasowanym (rys. 3) jest zdecydowanie różna.

W betonie wibroprasowanym dominuje bardzo nieregularna struktura porów i to zarówno pod względem ich wielkości jak i rozkładu, ale także kształtu. Dlatego zatem elementy z betonu wibroprasowanego znoszą trudne warunki eksploatacji z cyklicznym zamrażaniem/rozmarzaniem w obecności soli odładzających.

Wpływ na to ma kilka czynników, w tym między innymi wskaźnik wodno-cementowy i konsystencja mieszanki betonowej przeznaczonej do formowania prefabrykatów w technologii wibroprasowania. Obniżenie wartości wskaźnika w/c oznacza szczelniejszy beton o wolniejszym wchłanianiu wody i co za tym idzie mniejszej ilości wody zdolnej do zamrażania. Obniżenie wartości wodno-cementowej powoduje również powstawanie bardziej drobno-porowatej struktury, co wpływa na zmniejszenie się odległości między porami powietrznymi. Ob-

nizona wartość wskaźnika w/c powoduje zwiększenie mrozoodporności zarówno dla betonów zawierających środki napowietrzające, jak również niezawierające tych środków.

W wyniku działania mrozu ryzyko wystąpienia uszkodzeń jest zależne od konsystencji betonu. Im gęstsza konsystencja, tym mniejsze ryzyko wystąpienia uszkodzeń. Spowodowane jest to tym, że przy powierzchni betonu zaczynają się tworzyć warstwy separacyjne. Skutkiem oddzielenia warstw jest powstawanie porów wypełnionych wodą, znajdujących się pod grubymi ziarnami kruszywa. W rzadszych konsystencjach jest większy wzrost utraty zawartości powietrza. Przykładem korzystnego efektu mniejszej konsystencji są płyty chodnikowe, w których nie stosuje się napowietrzania, a ich mrozoodporność jest bardzo duża, nawet w przypadku, gdy działanie mrozu odbywa się w środowisku wody zawierającej roztwory soli. W tego typu wyrobach decydującą rolę spełnia niska wartość współczynnika w/c , zaś obserwowane ubytki powierzchniowe są stosunkowo małe.

Do utrzymania przejeźdźności ulic miejskich stosowany jest przede wszystkim chlorek sodu. Ma on kilka zalet. Jako środek chemiczny nie jest bezpośrednio toksyczny dla ludzi i zwierząt. Ponadto jest łatwy w składowaniu i aplikacji (stosuje się w postaci sypkiej, zwilżonej lub solanek). Wykazuje dużą skuteczność działania do temperatury -6°C , czyli w zakresie temperatur, przy których występuje gołoledź. Przy niższych temperaturach zaleca się stosować domieszkę chlorku wapnia CaCl_2 . Do negatywnych cech chlorku sodu zalicza się jego niszczący wpływ na nawierzchnie betonowe, elementy stalowe konstrukcji oraz pojazdy samochodowe. Niekorzystnie wpływa również na środowisko, powoduje zniszczenia zieleni miejskiej i zanieczyszcza wodę.

Mocznik (diamid kwasu węglowego) jest środkiem coraz częściej stosowanym do odładzania nawierzchni betonowych. Chemicznie czysty mocznik to bezbarwna, krystaliczna substancja, rozpuszczalna w wodzie i w alkoholu. Występuje w postaci granulatu. Najważniejszym kierunkiem zastosowania mocznika jest przemysł nawozów sztucznych. Fakt, że mocznik nie jest substancją

Rys. 2. Zdjęcie mikroskopowe struktury betonu „zwykłego” napowietrzonego (pory powietrzne – przestrzenie zabarwione na niebiesko)

Rys. 3. Zdjęcie mikroskopowe struktury betonu wibroprasowanego (pory powietrzne – przestrzenie zabarwione na jasnoniebieski kolor)

Tablica 1. Właściwości badanej kostki brukowej

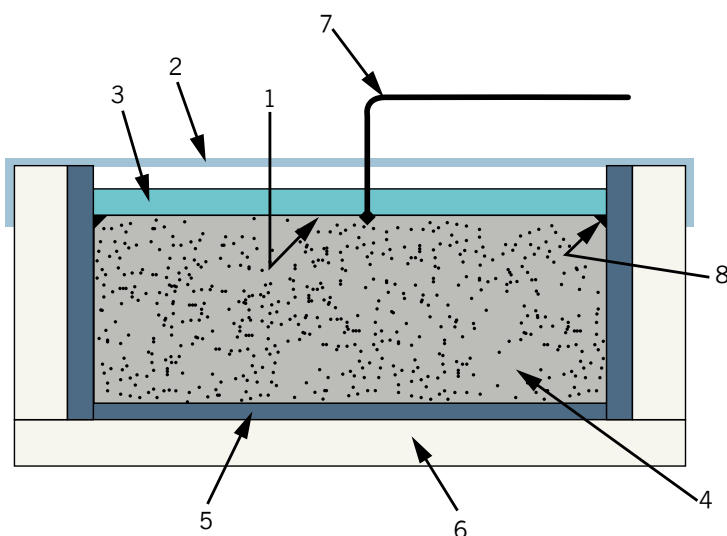
	Wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu MPa	Nasiąkliwość % by mass	Odporność na ścieranie (metoda Boehme'go) mm ³ /mm ²
CEM I 42,5R	4,7	4,9	14500 mm ³ /5000 mm ²
CEM II/A-LL 42,5R	4,2	5,1	15800 mm ³ /5000 mm ²
CEM II/A-S 42,5R	4,4	4,4	15200 mm ³ /5000 mm ²

Rys. 4. Schemat zasady pomiaru odporności betonowej kostki brukowej na zamrażanie/rozmarzanie w obecności soli odladzających

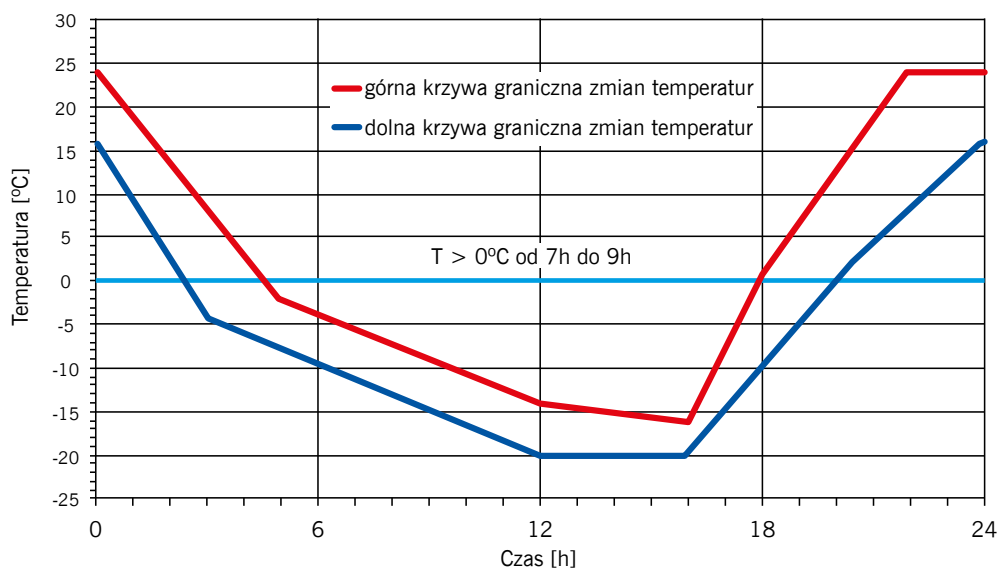
Legenda:

- 1 – Badana powierzchnia
- 2 – Folia z polietylenu
- 3 – Roztwór zamrażający
- 4 – Kostka brukowa
- 5 – Arkusz gumowy
- 6 – Styropian
- 7 – Termopara
- 8 – Uszczelnienie

szkodliwą dla roślin znajdujących się w pobliżu nawierzchni betonowych, stanowi jego zaletę. Jako środek odladzający aplikowany jest najczęściej na sucho lub w postaci 20% roztworu. Dzięki gęstości wyższej od gęstości lodu (wody), roztwór mocznika łatwo się dostaje pod lód, a następnie wypiera lód do góry i odspaja od nawierzchni. Zaletą mocznika jest możliwość stosowania profilaktycznie w porozumieniu ze służbą meteorologiczną. Jednak środek ten wykazuje własności korodujące w stosunku do nawierzchni jak również sprzętu. Na korozję kwasową, będącą następstwem stosowania mocznika, najmniej odporne są betony cementowe. Większą odporność wykazują betony asfaltowe. W betonie mocznik przyczynia się do powstawania korozji wapniowej poprzez reakcję ze składnikami zaczynu cementowego.



Rys. 5. Schemat cyklu dobowego testu zamrażania/rozmarzania z udziałem soli odladzających



Teoretycznie mocznik zapobiega oblodzeniu do temperatury – 11,3°C, praktycznie natomiast stosowany jest do temperatury – 6°C. Jednak najbardziej optymalną szybkość działania mocznika obserwuje się w temperaturach do – 4°C. Dlatego przy temperaturach poniżej – 9,4°C występujący na powierzchni wodny roztwór mocznika oraz inne pozostałości po odladzaniu powinny być usuwane, aby zapobiec ponownemu zamarzaniu.

Do badań wytypowano betonowe kostki brukowe dwuwarstwowe z betonu wibroprasowanego. Warstwa licowa tych elementów wykonana została dla celów porównawczych z trzech rodzajów cementów powszechnie stosowanych w produkcji betonowych elementów infrastrukturalnych: CEM I 42,5R; CEM II/A-LL 42,5R oraz CEM II/A-S 42,5R. Dla badanych betonów receptury oraz sposób formowania były takie same.

Do oceny odporności betonowej kostki brukowej z betonu wibroprasowanego na oddziaływanie soli odladzających zastosowano standardową metodykę zalecaną przez normę PN-EN 1338:2005+AC:2007.

W pierwszej kolejności dokonano oceny charakterystycznych właściwości betonowej kostki brukowej. Wyniki badań podstawowych zestawiono w tabeli 1.

Badania odporności betonowej kostki brukowej na zamrażanie/rozmarzanie z udziałem soli odladzających wykonano, stosując procedurę opisaną w załączniku D ww. normy.

Schemat badanej próbki przedstawia rysunek 4. Zaznaczyć trzeba, że badaniu poddawana jest tylko powierzchnia licowa betonowej kostki brukowej. Pozostałe ściany jak również spodnia strona kostki są zaizolowane zarówno przeciwwilgociowo (osłona gumowa i warstwa silikonu) jak i termicznie (warstwa styropianu).

Jako medium odladzające stosowano roztwory mocznika 46 w trzech stężeniach 5%, 10% i 30% wagowych. Mocznik 46 jest to nawóz sztuczny ogrodniczy zawierający w przeliczeniu 46% wagowych azotu. W badaniach wykorzystano również próbę porównawczą zgodną z wymaganiami wyżej cytowanej normy. W próbie tej solą odladzającą był chlorek sodu o stężeniu 3% wagowych.



Rys. 6. Próbkę po badaniu mrozoodporności (z lewej CEM I 42,5 R odladzana 3% NaCl, z prawej CEM I 42,5 R odladzana 30% mocznikiem)

Przygotowane wg wyżej opisanego schematu próbki poddane zostały zamrażaniu i rozmrażaniu w cyklach, których przebieg przedstawiono na rysunku 5. Norma PN-EN 1338:2005+AC:2007 wymaga, aby próbki poddane zostały 28 cyklom badawczym. Jednak do celów poznawczych wielkość testu zwiększono do 56 cykli zamrażania/rozmrażania, a ilości materiału złuszczonego z powierzchni oceniano po 28 i 56 cyklach.

Wyniki badań odporności na zamrażanie/rozmrażanie z udziałem soli odladzających zestawiono w tabeli 2.

Analizując otrzymane wyniki badań, zwrócić trzeba uwagę, że w przypadku zastosowania mocznika jako soli odladzającej uszkodzenia powierzchni elementów betonowych były mniejsze niż w przypadku NaCl. Jednocześnie wraz ze wzrostem stężenia mocznika w roztworze odladzającym wielkość uszkodzeń powierzchni malała. Na taki stan rzeczy wpłynęło między innymi obniżenie się temperatury zamrażania roztworu odladzającego wraz ze zwiększeniem się jego stężenia.

Podsumowanie

Badania wykazały, że mocznik jest równie skutecznym środkiem odladzającym, co stosowane dotychczas na masową skalę sole chlorkowe. Jego właściwości odladzające zależą od temperatury i proporcji w stosunku do wody lub lodu:

1. 10% roztwór mocznika w wodzie zabezpiecza przed zlodowaceniem do temp. ok. -3°C
2. 25% roztwór zabezpiecza przed zlodowaceniem do temp. ok. -7°C

Poniżej temperatury -7°C mocznik daje słabsze efekty i przestaje topić lód w temp. $-11,5^{\circ}\text{C}$. Największą skuteczność mocznika, która porównywalna jest ze skutecznością chlorku sodu występuje do temp. $-4 \div -3^{\circ}\text{C}$. Jednocześnie istotny jest fakt, że mocznik ma gęstość większą od lodu, przez co podczas odladzania dostaje się pod niego i wypiera go z powierzchni odladzanej. Daje zatem możliwości stosowania tzw. odladzania prewencyjnego, czyli zabezpieczania nawierzchni ulicy przed powstawaniem gołoledzi.

Ponadto przy średnim stężeniu mocznik nie jest szkodliwy dla ludzi i zwierząt. W przypadku osadzenia się go w gruncie, pod wpływem temperatury i enzymu gruntowego ureazy może nastąpić jego hydroliza do amoniaku i dwutlenku węgla. W przypadku dostania się do wód może działać toksycznie na ryby oraz stymulować niepożądany wzrost bakterii wodnych, alg i innych roślin. Należy zwrócić uwagę na fakt, że mocznik jest

substancją o dużo mniejszych właściwościach korozyjnych niż chlorek sodu. Jednak koszt mocznika jest kilka razy wyższy niż NaCl.

dr inż. Grzegorz Łój
Akademia Górniczo-Hutnicza
Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki
Katedra Technologii Materiałów Budowlanych

Literatura

1. Kowalska D., Grabowski P., Środki odladzające stosowane na lotniskach z uwzględnieniem ich wpływu na środowisko. *Dni Betonu 2006 r.*
2. Brylicki W., *Kostka brukowa z betonu wibroprasowanego*, Polski Cement sp. z o.o., Kraków 1998.
3. Polska Norma PN-EN 1338:2005 *Betonowe kostki brukowe. Wymagania i metody badań*, Warszawa.
4. Rusin Z., *Technologia betonów mrozoodpornych*, Polski Cement sp. z o.o., Kraków 2002.
5. Neville A.M., *Właściwości betonu*, wydanie czwarte, „Polski Cement”, Kraków 2000.
6. Łój G., *Mróz kostce niestraszy*, *Autostrady 3/2004*.
7. Fagerlund G., *Trwałość konstrukcji betonowych*, Arkady, Warszawa 1997.
8. Brylicki W., *Zasady kształtowania właściwości wibroprasowanej kostki brukowej*, wydanie I, Cementownia Nowiny, Rok 2000
9. Nawozy – serwis internetowy Zakładów Chemicznych Police oferujących mineralne nawozy wieloskładnikowe
10. Łój G., *Trwałość nawierzchni z betonowych elementów brukowych w warunkach polskiej zimy*, *Dni Betonu 2006*

Tabela 2. Odporność na zamrażanie/rozmrażanie kostki brukowej z udziałem środków odladzających

	Ubytek masy z powierzchni elementu poddanego testowi zamrażania/rozmrażania z udziałem soli odladzających kg/m ²			
	Po 28 cyklach		Po 56 cyklach	
	Średni	Max.	Średni	Max.
NaCl 3% by mass				
CEM I 42,5R	0,72	1,12	0,81	1,39
CEM II/A-LL 42,5R	0,61	0,94	0,71	1,25
CEM II/A-S 42,5R	0,57	0,69	0,82	1,12
Urea 5% by mass				
CEM I 42,5R	0,54	0,62	0,60	0,79
CEM II/A-LL 42,5R	0,32	0,37	0,42	0,52
CEM II/A-S 42,5R	0,42	0,50	0,49	0,61
Urea 10% by mass				
CEM I 42,5R	0,27	0,45	0,40	0,57
CEM II/A-LL 42,5R	0,04	0,07	0,10	0,17
CEM II/A-S 42,5R	0,04	0,05	0,12	0,22
Urea 30% by mass				
CEM I 42,5R	0,02	0,04	0,04	0,05
CEM II/A-LL 42,5R	0,01	0,01	0,04	0,04
CEM II/A-S 42,5R	0,01	0,01	0,02	0,03