

Fot. 1a. Przykład zniszczenia nawierzchni, w tym przypadku z bruku kamiennego, będącego wynikiem wtórnego naniesienia soli odladzających – strefa ruchu narażona na „wtórne” sole odladzające



fat. G.Łój

Chodnik po zimie: czyli o kryteriach trwałości betonowej kostki brukowej słów kilka

Tegoroczna zima pozornie należała do najłagodniejszych w ciągu ostatnich 10 lat. Jeśli wierzyć serwisom pogodowym, w których znaleźć można zbiorcze podsumowania aury z ostatnich miesięcy, to poza ekstremalnymi przypadkami polskich biegunów zimna nie odnotowano wartości niższych niż -12°C. Opadów również nie było zbyt wiele i zimą tę należy zaliczyć do bardziej suchych. Dodatkowo pokrywa śnieżna utrzymywała się stosunkowo krótko i była dość cienka. Np. w Krakowie jej średnia grubość nie przekroczyła 10 cm, a okres jej zalegania to zaledwie dwa tygodnie na przełomie stycznia i lutego. Zima przebiegła zatem całkiem łagodnie. Dlaczego zatem w naszych nawierzchniach brukowych pojawiły się uszkodzenia i to często całkiem poważne?

Przyczyn takiego stanu rzeczy może być kilka. Jedną z nich jest powszechne stosowanie soli odladzających w zimowym utrzymaniu nawierzchni kołowych i pieszych.

Fot. 1b. Przykład zniszczenia nawierzchni, w tym przypadku z bruku kamiennego, będącego wynikiem wtórnego naniesienia soli odladzających – strefa bez dostępu soli odladzających



fat. G.Łój

Nasz klimat charakteryzuje się, jak na klimat przejściowy, wysoką zmiennością pogody. Po okresach intensywnych opadów (deszczu lub śniegu) następują dni „dobrej pogody”, ale najczęściej z bardzo niskimi temperaturami, po których znowu następuje odwilż. I tak cyklicznie. Natomiast wymagania użytkowników dróg i chodników są w tym czasie bardzo wysokie. Tłumaczone jest to wszystko bezpieczeństwem ruchu drogowego, ale też niebagatelną rolę odgrywa tutaj komfort przemieszczania się. I stąd intensywne, wbrew obiegowym opiniom większości mediów ogólnych, zimowe „utrzymanie” dróg.

Wydane dokumenty krajowe dotyczące zimowego utrzymania dróg zakładają nie tylko brak zasp i ich przejezdność, ale również konieczność likwidowania śliskości nawierzchni, w tym gołoledzi. Jednak tylko w najwyższej 1 kategorii zimowego utrzymania zakładają, że droga powinna być czarna, czyli całkowicie pozbawiona pokrywy śnieżnej lub błota pośniegowego w dwie godziny po ustaniu opadów. W pozostałych przypadkach dopuszcza tzw. drogi białe i to przez wiele godzin lub nawet dni.

Praktyka jednak jest inna. Polewanie solanką lub posypywanie solą, albo mieszkankami „materiału ściernego” z solą jest powszechne, zarówno na drogach krajowych jak i na chodnikach osiedlowych. Owszem, poprawia to bezpieczeństwo i komfort użytkowania, ale ma też i negatywne skutki w postaci uszkodzeń butów, samochodów, a przede wszystkim samej nawierzchni. I to uszkodzenia te pojawić się mogą nie tylko tam, gdzie sól była bezpośrednio stosowana, ale również tam, gdzie w teorii nie powinno jej być. Przykładem tego niech będzie chociażby zniszczona nawierzchnia z bruku kamiennego wokół Kościoła Mariackiego w Krakowie. Kościół ten stoi przy Rynku Głównym, czyli w miejscu, gdzie ze względu na ochronę zabytków nie zaleca się i nie stosuje się chlorkowych środków odladzających. Jednak układ zniszczeń nawierzchni [fot. 1] wokół niego, a szczególnie ich nasilenie

w strefach, gdzie występuje większy ruch pieszy i istnieje możliwość pojawienia się pojazdów (np. meleksów wożących turystów lub pojazdów technicznych albo zaopatrzenia), są znacznie większe niż w miejscach, gdzie nawet dłużej zalega usunięty z ciągów pieszych śnieg. To właśnie naniesiona na butach i oponach sól odladzająca z innych ciągów komunikacyjnych przyczyniła się w znacznej mierze do przyspieszenia degradacji nawierzchni. Z podobnymi sytuacjami spotkać można się praktycznie w każdej mniejszej lub większej miejscowości.

Oporność betonu, a w tym i betonowych elementów brukowych, 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. złuszczenie 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 niż bez ich udziału. 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 bardzo szybko - już po kilku cyklach zamrażania/rozmrzania, 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 powstawaniem 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.

Do utrzymania 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 pod temperatury -6°C , czyli w zakresie temperatur, przy których występuje gołoledź. Przy niższych temperaturach zaleca się stosowanie domieszki 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.

Według jakich zatem kryteriów oceniać betonowe elementy brukowe pod względem ich oporności na warunki atmosferyczne (a ściślej rzecz biorąc na warunki eksploatacyjne)?

W założeniach niemieckiej normy z lat 90. nie było badania mrozoodporności kostki brukowej, jeżeli spełnione były następujące kryteria: wytrzymałość na ściskanie wynosiła co najmniej 60 MPa oraz nasiąkliwość nie przekraczała poziomu 5%.

Obowiązujące w tym samym okresie aprobaty techniczne IBDiM [6] dla kostki brukowej i normy branżowe dla pozostałych elementów brukowych (w tym krawężników) zakładały badanie zarówno nasiąkliwości jak i mrozoodporności betonowych elementów brukowych. W swojej metodyce badawczej opierały się na wymaganiach normy na beton zwykły, tj. PN-88/B-06250 i wcześniejszych (w przypadku norm branżowych na krawężniki). Zakładały minimalną ilość 150 cykli zamrażania/rozmrzania w wodzie (lub 30 cykli z rozmrzaniem w roztworze 4% NaCl), przy braku rys i spękań na wszystkich powierzchniach elementu oraz dopuszczaly spadek wytrzymałości do 20%, a także ubytek masy do 5%. Jeżeli chodzi o nasiąkliwość, to dla kostki brukowej logicznie przyjęto kryterium jak dla betonu zwykłego narażonego na oddziaływanie czynników atmosferycznych, tj. 5% nasiąkliwości wagowej. Nieco inaczej sprawa miała się w przypadku krawężników. Tutaj norma branżowa zakładała tylko 4% nasiąkliwości wagowej, co przez wiele lat było bardzo trudne do uzyskania w warunkach produkcji wibroprasowanej, przy zachowaniu optymalności całego procesu technologicznego.

Wprowadzone w 2005 roku normy europejskie zmieniły znacząco podejście do obu tych parametrów.

Jak przedstawiono w tabeli 1, oporność na warunki atmosferyczne podzielono na klasy, a nasiąkliwość i oporność na działanie soli odladzających są kolejnymi stopniami tego parametru. Przyjęte w nich zostało również założenie podobne do tego,

Tabela 1. Wymagania norm europejskich odnośnie oporności betonowych elementów brukowych na warunki atmosferyczne

Klasa	Znakowanie	Wymagania
1	A	nie określa się
2	B	Nasiąkliwość wagowa $\leq 6\%$ (w projekcie nowelizacji normy $\leq 6,5\%$)
3*	D	Ubytek masy z badanej powierzchni po 28 cyklach zamrażania/rozmrzania w obecności soli odladzających Wartość średnia $\leq 1,0 \text{ kg/m}^2$ przy czym żaden pojedynczy wynik $> 1,5 \text{ kg/m}^2$

*Jeśli istnieją specjalne warunki, takie jak częsty kontakt powierzchni z solą odladzającą w warunkach mrozu,



fot. G.Łój

Fot. 2. Uszkodzenia warstwy licowej kostki brukowej spowodowane destrukcją mrozową betonu warstwy konstrukcyjnej



fot. G.Łój

Fot. 3. Uszkodzenia warstwy licowej betonowej płyty chodnikowej spowodowane destrukcją mrozową betonu warstwy konstrukcyjnej

jakie było we wspomnianych wyżej normach niemieckich, że w sytuacji, kiedy nie stosuje się soli odladzających, wystarczającym jest spełnienie kryterium nasiąkliwości przy jednoczesnym spełnieniu wymagań wytrzymałościowych odpowiednich dla danej grupy elementów brukowych. Badania odporności na zamrażanie/rozmarzanie w obecności środków odladzających zalecane są tylko wtedy, gdy mamy do czynienia z ich stosowaniem. Dodać również należy, że według procedur zawartych w normach europejskich badaniu takiemu podlega

Fot. 4a. Kostka brukowa poddana badaniu na oddziaływanie soli odladzających zgodnie z PN-EN 1338:2005 – pozytywny wynik odporności betonu warstwy licowej



fot. W. Brynicki, D. Dobrzańska

tylko powierzchnia licowa elementu, a co za tym idzie oceniana jest w praktyce tylko odporność betonu warstwy licowej w przypadku najpopularniejszych w Polsce elementów brukowych produkowanych w technologii dwuwarstwowej.

Taki sposób oceny nie zawsze się sprawdza. Jak pokazują przykłady na fotografiach 2 i 3, środki odladzające działają nie tylko na powierzchnię licową elementu brukowego, ale również na jego głębsze warstwy, tj. oddziałują nie tylko na beton warstwy licowej wyrobu, ale również mogą niszczyć beton warstwy konstrukcyjnej.

Dlatego też podczas opracowywania projektu nowych ogólnych specyfikacji technicznych dla nawierzchni z bruku betonowego przygotowywanych dla Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad przyjęto nieco inne podejście do oceny odporności „zimowej” betonowych elementów brukowych (tabela 2).

Przede wszystkim przyjęto stosowanie kryteriów nasiąkliwości i mrozoodporności łącznie, a nie jak w normach jako kolejne stopnie odporności na warunki atmosferyczne.

Możliwość szybkiej kontroli nasiąkliwości, w szczególności przy zaostrzeniu kryteriów do podanych w tabeli 2 daje narzędzie dla szybkiej weryfikacji jakości elementów brukowych. Pozwala na eliminowanie materiałów o niezadowalającej jakości (patrz trwałości) już na etapie dostawy, jeszcze przed wbudowaniem z uniknięciem kosztownych rozbiórek bądź wymian wyrobów o niskiej jakości, które zostały już wbudowane. Ponadto wspomniane już zaostrzenie kryteriów, tj. obniżenie średniej wartości nasiąkliwości do 5%, podyktowane zostało doświadczeniem, jakie pozyskano przez kilkanaście lat doświadczeń w eksploatacji nawierzchni z kostki brukowej w polskich warunkach klimatycznych. Wspomniane 5% jest wartością „rozsądną” również z punktu widzenia producenta elementów brukowych i poprawnego kompromisu pomiędzy oczekiwaną trwałością produkowanych elementów a rozsądnymi kosztami produkcji. Dlatego też wartość tę przyjęto nie tylko dla kostki brukowej, ale również dla pozostałych wyrobów brukowych, w tym również dla krawężników (dla których, przypomnijmy, dawne normy branżowe jak również „stare” OST zakładały nierealną do spełnienia wartość 4% nasiąkliwości wagowej).

Ponadto w trakcie prac nad nowymi projektami Ogólnych Specyfikacji Technicznych przeanalizowano dokładnie kwestię oceny odporności na zamrażanie/rozmarzanie z udziałem soli odladzających, ze szczególnym uwzględnieniem naszych krajowych warunków klimatycznych i eksploatacyjnych oraz doświadczeń różnych ośrodków badawczych oceniających na przestrzeni lat jakość betonowych elementów brukowych. Wynikiem tych analiz są zaostrzone kryteria oceny tej cechy (tabela 2). W skrócie można powiedzieć, że założone w normie europejskiej złuszczenie z powierzchni badanego elementu na poziomie 1,0 kg/m² w rzeczywistości obrazuje poziom dość poważnych uszkodzeń nawierzchni. Dlatego też podjęto decyzję o zaproponowaniu wyżej omawianych kryteriów. Ponadto, mając chociażby na uwadze zniszczenia pokazane na zdjęciach 2-4, wprowadzono parametry weryfikujące trwałość betonu

warstwy konstrukcyjnej elementów brukowych. W przypadku krawężników i płyt chodnikowych warstwy konstrukcyjnej ocena będzie analogiczna jak warstwy licowej. Natomiast kostkę brukową, jako element o małych wymiarach, można będzie badać w całości wykorzystując dobrze znaną procedurę mrozoodporności z normy PN-88/B-06250 lub jej modyfikację wykorzystywaną w latach 90. na potrzeby badań do aprobat technicznych. Jako parametr graniczny przyjęto w tym przypadku wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu po 150 cyklach zamrażania/rozmrzania w wodzie lub 30 cyklach zamrażania/rozmrzania w 3% roztworze NaCl, nie mniejszą niż 2,9 MPa. Wartość taką przyjęto, wychodząc z wymagań wspomnianej już normy na beton zwykły, która, jak wspomniano wyżej, zakładała dopuszczalny 20-procentowy spadek wytrzymałości po mrożeniu. Ponieważ norma PN-EN 1338:2005 określa dla betonowej kostki brukowej charakterystyczną wytrzymałość na rozłupywanie na poziomie 3,6 MPa, to po pomniejszeniu tej wartości o wspomniane 20% otrzymujemy wymagane 2,9 MPa.

Podsumowując to, co napisano powyżej, trzeba mieć nadzieję, że prace na przygotowanymi projektami nie zostaną zarzucone przez władze centralne, a nowe OST pozwolą nie tylko na utrzymanie wysokiej trwałości naszych nawierzchni brukowych, ale również przyczynią się do uporządkowania wymagań w przetargach publicznych i na budowach.

dr inż. Grzegorz Łój
AGH Akademia Górniczo-Hutnicza
im. St. Staszica w Krakowie
Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki
Katedra Technologii Materiałów Budowlanych

Literatura

1 W. Brylicki, *Kostka brukowa z betonu wibroprasowanego*, Polski Cement sp. z o.o., Kraków 1998



Fot. W. Brylicki, D. Dobrzańska

- 2 G. Łój, *Mróz kostce niestraszy, Autostrady 3/2004*
- 3 G. Fagerlund, *Trwałość konstrukcji betonowych, Arkady, Warszawa 1997*
- 4 Z. Rusin, *Technologia betonów mrozoodpornych, Polski Cement sp. z o.o., Kraków 2002*
- 5 A.M. Neville, *Właściwości betonu, wyd. IV, Polski Cement, Kraków 2000*
- 6 Polska Norma PN-EN 1338:2005 *Betonowe kostki brukowe. Wymagania i metody badań*, Warszawa
- 7 W. Brylicki, *Zasady kształtowania właściwości wibroprasowanej kostki brukowej, wyd. I, Cementownia Nowiny, Rok 2000*
- 8 Nawozy – serwis internetowy Zakładów Chemicznych Police oferujących mineralne nawozy wieloskładnikowe
- 9 G. Łój, *Trwałość nawierzchni z betonowych elementów brukowych w warunkach polskiej zimy, Dni Betonu 2006*
- 10 Wymagania dla udzielania aprobat technicznych dla betonowej kostki brukowej, IBDiM, Warszawa 1995
- 11 PN-88/B-06250 *Beton zwykły*
- 12-BN-80/6775-03 *Prefabrykaty budowlane z betonu. Elementy nawierzchni dróg, ulic, parkingów i nawierzchni tramwajowych – zeszyty 01-04*

Fot. 4b. Kostka brukowa poddana badaniu na oddziaływanie soli odładzających zgodnie z PN-EN 1338:2005 – uszkodzenia betonu warstwy konstrukcyjnej

Tabela 2. Wyciąg z wymagań dla betonowych elementów brukowych zawartych w nowych projektach OST przygotowanych dla GDDKiA

Projekt OST: D-05.03.23 NAWIERZCHNIA Z BETONOWEJ KOSTKI BRUKOWEJ				
3	Odporność na warunki atmosferyczne (kryteria stosowane łącznie)			
3.1	Odporność na zamrażanie/rozmrzanie z udziałem soli odładzającej	D	Ubytek masy po badaniu: wartość średnia $\leq 0,5 \text{ kg/m}^2$, przy czym każdy pojedynczy wynik $\leq 1,0 \text{ kg/m}^2$	
3.2	Odporność na zamrażanie/rozmrzanie po 150 cyklach wg PN-B-06250 przy rozmrażaniu w wodzie lub 30 cyklach w 3% roztworze NaCl	F	Żadna kostka nie powinna mieć wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu mniejszej niż 2,9 MPa	
3.3	Nasiąkliwość	E	Wartość średnia nie większa niż 5,0%, przy czym żaden pojedynczy wynik nie przekracza 5,5%	
Projekt OST: D-08.01.01 KRAWĘŻNIKI BETONOWE				
3	Odporność na warunki atmosferyczne (kryteria stosowane łącznie)			
3.1	Odporność na zamrażanie/rozmrzanie z udziałem soli odładzającej - badanie warstwy ścieralnej - badanie warstwy konstrukcyjnej (dotyczy krawężników dwuwarstwowych)	D	Ubytek masy po badaniu w kg/m^2	
			Średni	Maksymalny
			$\leq 0,5 \text{ kg/m}^2$	$\leq 1,0 \text{ kg/m}^2$
			$\leq 1,0 \text{ kg/m}^2$	$\leq 1,5 \text{ kg/m}^2$
3.2	Nasiąkliwość	E	Wartość średnia dla każdego krawężnika nie większa niż 5,0%	
Projekt OST: D-08.02.01 CHODNIKI Z BETONOWYCH PŁYT BRUKOWYCH				
3	Odporność na warunki atmosferyczne (kryteria stosowane łącznie)			
3.1	Odporność na zamrażanie/rozmrzanie z udziałem soli odładzającej - badanie warstwy ścieralnej - badanie warstwy konstrukcyjnej (dotyczy płyt dwuwarstwowych)	D	Ubytek masy po badaniu w kg/m^2	
			Średni	Maksymalny
			$\leq 0,5 \text{ kg/m}^2$	$\leq 1,0 \text{ kg/m}^2$
			$\leq 1,0 \text{ kg/m}^2$	$\leq 1,5 \text{ kg/m}^2$
3.2	Nasiąkliwość	E	Wartość średnia nie większa niż 5,0%, przy czym żaden pojedynczy wynik nie przekracza 5,5%	