

GRZEGORZ ŁÓJ\*

## BETONOWA KOSTKA BRUKOWA – TRWAŁOŚĆ I ESTETYKA

---

## CONCRETE PAVING BLOCKS – DURABILITY AND VISUAL APPEARANCE

### Streszczenie

Betonowa kostka brukowa, na przestrzeni ostatnich kilkunastu lat, zyskała sobie bardzo szybko ogromną popularność jako materiał do budowy nawierzchni dla ruchu pieszego i kołowego. Za jej stosowaniem przemawiają nie tylko względy ekonomiczne czy powszechna dostępność i uniwersalność zastosowań, ale również walory estetyczne i stosunkowo duża trwałość. W niniejszym artykule podjęto próbę wyjaśnienia, z punktu widzenia technologa, zjawisk mających wpływ na estetykę i trwałość kostek brukowych z betonu wibroprasowanego.

*Słowa kluczowe: nawierzchnie, bruk betonowy, trwałość*

### Abstract

Concrete paving blocks, recently, gained the huge popularity as material for construction of the surface for pedestrian and wheeled movement. Not only economical accounts or the universal availability and the versatility are speaking for their application, but also aesthetic advantages and relatively great permanence. In this article an attempt to explain of phenomena having the influence on aesthetics and the permanence of concrete paving elements from the point of view of the technologist, was presented.

*Keywords: surface, concrete paving blocks, durability*

---

\* Dr inż. Grzegorz Łój, Katedra Technologii Materiałów Budowlanych, Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków.

## 1. Wstęp

Nawierzchnie z betonowych elementów brukowych na trwałe wpisały się w krajobraz naszych miejscowości. Jeszcze nie tak dawno miały one zapewniać poruszanie się pieszych lub pojazdów bez grzęźnięcia w błocie. Jednak na przestrzeni ostatnich 15 lat wymagania szybko się zmieniły. Wprowadzone stopniowo aprobaty techniczne, a od 2004 r. normy europejskie wyparły już, mające rodowód w latach 60. ubiegłego stulecia, normy branżowe. Wszystkie te dokumenty określają warunki techniczne, jakim powinny odpowiadać materiały do wykonania nawierzchni z bruku betonowego.

Niemniej jednak ważnymi kryteriami są w tym przypadku także wymagania subiektywne inwestora, projektanta i innych osób biorących udział w powstawaniu chodnika czy drogi. Skupiają się one właśnie wokół zagadnień trwałości i estetyki. O ile jednak parametry fizyczne są zawarte w odpowiednich dokumentach normatywnych i specyfikacjach technicznych, o tyle kwestia estetyki jest najczęściej sprawą indywidualną i nie zawsze unormowaną. W niniejszym artykule omówiono wybrane zagadnienia dotyczące tych dwóch problemów z punktu widzenia technologa odpowiadającego za produkcję elementów brukowych z betonu wibroprasowanego.

## 2. Po pierwsze staranne wykonanie

Nowoczesna produkcja betonowej kostki brukowej opiera się w większości przypadków na zagęszczaniu betonu metodą wibroprasowania. Jest to technologia odznaczająca się bardzo wysoką wydajnością. Jednocześnie umożliwia kształtowanie asortymentu i parametrów technicznych wyrobu w stosunkowo szerokim zakresie. Ma ona jeszcze dodatkowe zalety, a mianowicie możliwość osiągania bardzo dobrych właściwości wyrobów, przy jednoczesnym wysokim stopniu powtarzalności [1]. Warunkiem jednak jest tutaj odpowiednio staranny przebieg procesu produkcyjnego. Wprowadzone normy europejskie narzucają producentom prowadzenie systemu zakładowej kontroli produkcji. Obejmuje on działania nadzorujące wszystkie etapy wytwarzania kostki, począwszy od zakupu i sprawdzenia surowców, na pakowaniu i sprzedaży gotowych elementów kończąc [2]. Zasadniczy nacisk położony jest na kontrolowanie samego procesu produkcji i systematyczne badanie właściwości wyrobów.

Odpowiednie dobranie zarówno jakościowe, jak i ilościowe surowców do produkcji to dopiero połowa sukcesu. Aby otrzymać kostkę brukową o wymaganych parametrach, konieczne jest również wyjątkowo staranne wymieszanie wszystkich składników w jednolitą masę betonową. Jak trudny jest to proces, niech świadczy fakt, że ilość stosowanej wody zarobowej jest tutaj nie większa niż 7% wagowych sumy wszystkich składników, a stosunek wodno-spoiwowy (w/c) rzadko przekracza 0,36. W takich warunkach uzyskujemy mieszanke betonową o konsystencji wilgotnej (a bardziej obrazowo rzecz ujmując – półsuchej). Uzyskanie z takiej masy wyrobów o bardzo dobrych parametrach wymaga ściśle kontrolowanego procesu formowania i dojrzewania. Jednak końcowy efekt w postaci trwałej i estetycznej kostki jest wart tego trudu.

Ważną zaletą produkcji betonowej kostki brukowej metodą wibroprasowania jest możliwość zastosowania dodatkowych zabiegów umożliwiających kształtowanie powierzchni wyrobów bez wpływu na ich ostateczną jakość. Są to tzw. zabiegi uszlachetniające. Zaliczyć do nich można: płukanie, śutowanie, młotkowanie, „objanie” – zwane najczęściej postarza-

niem i inne. Po takich zabiegach „zwykła kostka” zyskuje bardziej estetyczny wygląd. Znane są już nawet technologie produkcji betonowej kostki brukowej imitującej kamień naturalny. Przykładem tego są nawierzchnie chodnika niektórych ulic Starego Miasta w Krakowie. Odpowiednie połączenie naturalnej kostki kamiennej i właściwie wykonanej i dobranej kostki betonowej dało efekt zaniku granicy pomiędzy kamieniem a betonem na tyle dobry, że nie-wprawne oko nie zauważy różnicy.

Niestety, nie ma róży bez kolców. Specyfika produkcji betonowych elementów wibro-prasowanych ma również pewne niedogodności, których – pomimo najbardziej starannego prowadzenia procesu produkcyjnego – nie zawsze udaje się uniknąć. Takimi mankamentami są pojawiające się na powierzchni kostki brukowej białe naloty, tzw. wykwitwy wapniowe [1, 3]. Innym zjawiskiem charakterystycznym dla materiałów porowatych jest podatność na uszkodzenia wynikające z procesu cyklicznego zamrażania/rozmarzania, szczególnie jeśli jest on wzmocniony zastosowaniem soli odladzających.

### 3. Czy należy bać się wykwitów?

Aby odpowiedzieć na to pytanie, trzeba zastanowić się, co to takiego są te wykwitwy i jak one powstają? Zacząć trzeba od tego, że zjawisko wykwitów nie ogranicza się jedynie ani do kostki brukowej, ani tym bardziej do całego ogółu betonów i zapraw [3]. Są one zjawiskiem charakterystycznym dla większości materiałów porowatych, a w szczególności tych, które pracują w zmiennych warunkach ciepłno-wilgotnościowych. Jeżeli materiał porowaty zawiera związki dobrze rozpuszczalne w wodzie, to jest bardzo prawdopodobne, że będziemy mieli do czynienia z powstawaniem wykwitów. Zjawisko to jest również często spotykane w środowisku naturalnym. Pięknymi przykładami „wykwitów” gipsowych są tzw. róże pustyni lub białe osady halitu (o fantastycznych układach kryształów) [3].

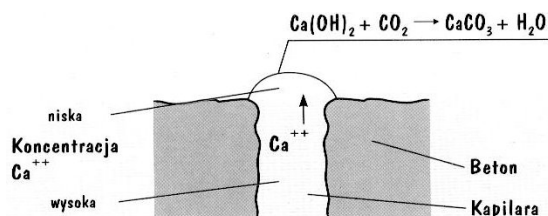


Ryc. 1. Gipsowe „róże pustyni” [4]

Fig. 1. Gypsum "desert roses"

Mechanizm powstawania wykwitów jest związany z transportem rozpuszczonych w wodzie (cieczy porowej) soli na powierzchnię materiału porowatego, gdzie zachodzi odparowanie wody i ich krystalizacja. Zatem zjawisko to jest ściśle związane z istnieniem całej sieci dróg transportu w materiale, czyli z występowaniem w nim porów kapilarnych, oraz właściwościami wody związanymi z napięciem powierzchniowym i ciśnieniem hydrostatycznym.

Przykład takiego mechanizmu powstawania wykwitów na kostce brukowej najlepiej zilustrowano na ryc. 2 [1].



Ryc. 2. Mechanizm powstawania wykwitów wapniowych [1]

Fig. 2. Mechanism of coming into existence of calcium efflorescence

Najczęściej spotykanymi wykwitami na powierzchni kostki brukowej są wykwity wapniowe. Ich powstawanie jest nierozzerwalnie związane z jednym z produktów hydratacji cementu, a mianowicie z portlandytem ( $\text{Ca(OH)}_2$ ). Jest on drugim pod względem ilościowym po fazie C-S-H składnikiem zaczynu cementowego, a jednocześnie najlepiej rozpuszczalnym spośród nich. Przetransportowany na powierzchnię elementu betonowego ulega karbonatacji pod wpływem dwutlenku węgla z atmosfery. Ponieważ  $\text{CaCO}_3$  ma zdecydowanie mniejszą rozpuszczalność niż wodorotlenek, szybciej się krystalizuje i osadza się na powierzchni betonu właśnie w postaci najczęściej białych wykwitów [1, 3].

Jak zatem widać jest to zjawisko jak najbardziej naturalne dla technologii betonu i pomimo że wpływa czasowo na estetykę nawierzchni, nie ma w zasadzie negatywnego wpływu na trwałość elementów brukowych. Dlatego też nie zostało ono uznane, przez twórców norm europejskich, za istotne dla jakości wyrobów brukowych.

Producenci betonowej kostki brukowej stosują różne metody w celu ograniczenia wykwitów wapniowych [1, 3]. Wiele z nich opiera się na ograniczeniu powstawania portlandytu przez stosowanie dodatków pucolanowych, np. popioły lotne z węgla kamiennego. Aktywne składniki krzemianowe tych dodatków mineralnych reagują z wodorotlenkiem wapnia, tworząc bardzo trwały produkt wspólnej hydratacji, jakim jest faza C-S-H.

Ale zastosowanie dodatków mineralnych charakteryzuje się jeszcze innym mechanizmem ograniczania wykwitów. Mianowicie ich bardzo drobne uziarnienie sprzyja „uszczelnieniu” stosu okruszowego kruszywa stosowanego do produkcji kostki brukowej. To zjawisko, wraz z tworzeniem się w wyniku reakcji pucolanowej zwartej fazy C-S-H, powoduje ograniczenie powstawania porów kapilarnych, czyli dróg transportu umożliwiających powstawanie wykwitów.

Innym sposobem ograniczania wykwitów na etapie technologicznym jest stosowanie dojrzewania w atmosferze z kontrolowaną zawartością  $\text{CO}_2$ . Polega ona na stworzeniu optymalnych warunków do tego, aby reakcja dwutlenku węgla z wodorotlenkiem wapnia przebiegała w sposób kontrolowany wewnątrz porów kapilarnych betonu. Daje to dwójaki efekt. Po pierwsze powoduje zmniejszenie ilości „czynnego” portlandytu, a po drugie, przez pokrywanie produktem reakcji (czyli węglanem wapnia) ścianek porów kapilarnych lub wręcz ich zabudowywanie, powoduje ograniczenie dróg transportu dla wody wewnątrz betonu. Zasadę tę dobrze zilustrowano na rycinie 3 [5].

Wśród znanych sposobów ograniczenia wykwitów są również te stosowane już po ułożeniu nawierzchni z kostki brukowej. Zaliczyć do nich można różnego rodzaju preparaty chemiczne, które, wnikać w strukturę betonu, powodują hydrofobizację powierzchni porów kapilarnych i co za tym idzie zmniejszenie sił podciągania wody.

	niedomiar	optimum	nadmiar
H <sub>2</sub> O	za niski W/C beton powietrze (CO <sub>2</sub> ) CaCO <sub>3</sub>	odpowiedni W/C beton powietrze (CO <sub>2</sub> ) CaCO <sub>3</sub>	kondensacja pary wodnej podczas twardnienia beton powietrze (CO <sub>2</sub> ) CaCO <sub>3</sub>
wykwity pierwotne	brak	slabe	silne
wykwity wtórne	silne	slabe	?
CO <sub>2</sub>	twardnienie bez wystarczającej ilości powietrza beton powietrze (CO <sub>2</sub> ) CaCO <sub>3</sub>	ok. 6 h odpowiednie doprowadzenie powietrza beton wystarczająca ilość powietrza (CO <sub>2</sub> ) CaCO <sub>3</sub>	dodatek CO <sub>2</sub> podczas twardnienia beton powietrze (CO <sub>2</sub> ) CaCO <sub>3</sub>
wykwity pierwotne	slabe	slabe	slabe
wykwity wtórne	silne	slabe	silne

Ryc. 3. Natężenie wykwitów pierwotnych i wtórnych w zależności od ilości wody zarobowej oraz warunków dojrzewania betonu

Fig. 3. Straining primitive and secondary efflorescence depending on the amount of water put into mixed concrete and of conditions of ripening of concrete

Jak już wspomniano powstawanie wykwitów na powierzchni betonu jest zjawiskiem naturalnym i również w sposób naturalny najczęściej zanika. Jeśli popatrzymy na nasze miasta, to zauważymy, że wykwity nie są widoczne na chodnikach. Nie oznacza to, że te powierzchnie są wykonane z materiałów innych niż np. podjazd w domku jednorodzinny czy ścieżka w ogrodzie. Mamy tutaj do czynienia z naturalnym zjawiskiem ścierania wykwitów przez czynniki ruchome (podeszwy butów, koła samochodów i znajdujący się pomiędzy nimi a nawierzchnią piasek i kurz). Wykorzystując to naturalne zjawisko, wykwity mogą być łatwo usuwane przez np. delikatne piaskowanie. Znając chemizm węgla wapnia, a zwłaszcza jego podatność na reakcje z kwasami, można zastosować również zmywanie wykwitów bardzo rozcieńczonymi kwasami, o takim stężeniu, aby nie spowodować destrukcji betonu. Nadmienić jeszcze należy, że w handlu znaleźć można wiele produktów przeznaczonych właśnie do usuwania wykwitów.

#### 4. Co się dzieje, kiedy nastaje mróz

Betonowa kostka brukowa, jak już wcześniej wspomniano, jest tworzywem porowatym i dlatego jest potencjalnie narażona na oddziaływanie mrozu. Jest to w zasadzie potoczne określenie, które stanowi znaczny skrót myślowy. Dlaczego? Dlatego, że nie sam mróz jest zagrożeniem dla nawierzchni betonowych, ale cyklicznie po sobie następujące zamrażanie i rozmrażanie nasączonej wodą powierzchni.

W polskim klimacie to zjawisko jest nader powszechne. Mając w pamięci nawet tylko pogodę ostatniej zimy, możemy szybko policzyć ile było tzw. przejść przez zero, czyli zmian temperatury z ujemnej na dodatnią i odwrotnie. Pociągają one z sobą zmiany stanu skupienia wody zarówno tej na powierzchni kostki, jak i tej w jej porach kapilarnych – a jak wiadomo zmiany stanu skupienia objawiają się znacznymi zmianami objętości wody. Zjawisko to bardzo często jest połączone ze stosowaniem na naszych drogach środków „zimowego utrzymania”, czyli substancji antypoślizgowych i substancji odladzających.

Do powszechnie stosowanych materiałów antypoślizgowych zaliczamy piasek i wszelkiego rodzaju żuźle. Ich mechanizm destrukcyjny objawia się w ścieraniu powierzchni kostki brukowej. Jest on tym silniejszy, że wzmacniany zostaje przez kruszący się pod wpływem ścierania lód. Betonowa kostka brukowa musi być zatem odporna na ścieranie.

Wprowadzone normy europejskie zakładają kilka klas ścieralności i od projektanta zależy, jaką klasę dobierze do konkretnego zastosowania.

Nadmienić jeszcze trzeba, że gdy nie istnieje zagrożenie ze strony soli odladzających, wówczas betonowa kostka brukowa, która spełnia wymagania wytrzymałości, nasiąkliwości i ścieralności, jest odporna na działanie mrozu.

Inaczej sprawa wygląda, gdy nawierzchnia poddawana jest intensywnemu odladzaniu, szczególnie z zastosowaniem środków chlorkowych (np. NaCl, CaCl<sub>2</sub>). Mechanizm destrukcyjny jest w tym przypadku o wiele bardziej złożony. Po pierwsze stosowanie środków odladzających znacznie zwiększa liczbę cykli zamrażania/rozmarzania wody na powierzchni betonu (ekstremalnie z kilkunastu do kilkudziesięciu w ciągu jednej zimy). Po drugie, zateżający się roztwór soli chlorkowych na powierzchni kostki brukowej powoduje jej krystalizację w porach kapilarnych i powstawanie dodatkowego czynnika destrukcyjnego. Dlatego twórcy normy dla kostki brukowej przewidzieli dodatkowe badania odporności na zamrażanie/rozmarzanie z udziałem soli odladzających. Badaniu temu poddawana jest tylko górna powierzchnia, potencjalnie narażona na działanie czynników antyodowych. Analizując wyniki badań na przestrzeni ostatnich lat, można stwierdzić, że większość kostek produkowanych w Polsce spełnia z „dużym zapasem” wymagania normy w tym zakresie. Natomiast do destrukcji nawierzchni przyczyniają się bardzo często błędy w jej wykonaniu oraz niestety nadmierne i nie zawsze uzasadnione stosowanie środków odladzających.

## 5. Podsumowanie

Betonowa kostka brukowa na trwałe wpisała się w krajobraz naszych miast. Technologie jej produkcji stwarzają możliwości kreowania nie tylko wielkości, kształtów i kolorów, ale również sterowania jej parametrami technicznymi w zakresie przewidzianym normami. Istotną rzeczą jest w tej chwili właściwe dobranie jej do odpowiednich zastosowań, nie tylko ze względów estetycznych, ale również technicznych. Potocznie mówi się, że kostka brukowa z wiekiem szlachetnieje i jeśli jest odpowiednio, starannie dobrana i ułożona, potrafi odwzajemnić się wspaniałym wyglądem przez długie lata.

## Literatura

- [1] Brylicki W., *Kostka brukowa z betonu wibroprasowanego*, Polski Cement Sp. z o.o., Kraków 1998.
- [2] Łój G., *Nowe standardy produkcji i oceny betonowej kostki brukowej*, Budownictwo Technologie Architektura, numer specjalny, 2005.
- [3] Kurdowski W., Garbaciak A., *Wykwity na betonie*, Budownictwo Technologie Architektura, numer specjalny, 2005.
- [4] [www.wikipedia.pl](http://www.wikipedia.pl).
- [5] Brylicki W., *Właściwości betonowej kostki brukowej z betonu wibroprasowanego na mieszankach betonowych o niskiej zawartości cementu*, Konferencja Naukowo-Techniczna „Dni Betonu 2004”, Wisła 2004.
- [6] Neville A.M., *Właściwości betonu*, wyd. 4, Polski Cement Sp. z o.o., Kraków 2000.
- [7] Łój G., *Mróz kostce niestraszy*, Autostrady nr 3/2004.
- [8] Rusin Z., *Technologie betonów mrozoodpornych*, Polski Cement Sp. z o.o., Kraków 2002.