

# Niejednoznaczności w interpretacji wyników nasiąkliwości, prefabrykatów betonowej, wibroprasowanej galanterii drogowej

EQUIVOCALITIES IN THE INTERPRETATION OF THE RESULTS OF THE ABSORBABILITY OF CONCRETE PREFABRICATED VIBRO-PROCESSED PRECASTS

## Streszczenie

Celem niniejszego artykułu jest przybliżenie problematyki nierzetelnego, gdyż opieranego jedynie na podstawie szczytkowych informacji, oceniania jakości, a tym samym trwałości, prefabrykatów betonowej galanterii drogowej, przez nadzory budów w oparciu o (pozostawiające wiele do dyskusji) zapisy szczegółowych specyfikacji technicznych. Dokumenty te wielokrotnie zawierają odniesienia do nieaktualnych norm, co niejednokrotnie wiąże się z wymaganiem od Producentów, wystawienia deklaracji zgodności niezgodne z obowiązującym w Polsce prawodawstwem. Przykład częstego powoływania się w jednej SST na dwie normy [4, 11] z czego jedna zastąpiła drugą oraz co najmniej zrozumiałe, bezzasadne windowanie wymogu nasiąkliwości, szczególnie zauważalne w przypadku krawężników na inwestycje drogowe, bez jakiegokolwiek zastanawiania się nad zaostreniem, o wiele ważniejszych, wymogów trwałościowych, których przedstawicielem jest odporność na zamrażanie i rozmrażanie z udziałem soli odładzających, skutkuje wieloma konfliktami na styku Nadzór budowy – Wykonawca Robót oraz Producent.

A wszystko to w większości z najbardziej błahego powodu – nieznamości aktualnych norm [1, 2, 3], które to nasiąkliwość i szeroko pojętą „mrozoodporność” kwalifikują do jednego typu obciążenia, tzw. środowiskowego i tym samym nie zezwalają na jednoczesne deklarowanie tych dwóch parametrów. Co ważniejsze metodyka badań „mrozoodporności” bazuje na badaniu powierzchni betonowej, niezależnie od gabarytów całej próbki. W przypadku badania nasiąkliwości metodyka badań pozostawia wiele do życzenia, co w poniższym tekście zostanie udowodnione.

## Abstract

The aim of the hereby article is to explain the problematic aspects of unreliable assessment, solely based on vestigial information, of the quality and durability of concrete prefabricated precasts made by construction supervision services on the basis of (leaving a lot for discussion) records of detailed technical specification. These documents often include references to out-of-date norms, which is often involved with requiring the Producers to issue conformity declarations that are inconsistent with the legislation in force in Poland. The example of frequent reference to one SST in two norms [4,11] in which one replaced the other; and what is the least understandable, the unjustified guidance of the absorbability requirement, particularly noticeable in the matter of kerbstones in road investments, without any reflection upon the intensification of the more important durability requirements whose representative is resistance to freezing and unfreezing with the use of de-icing salt, results in many conflicts at the interface of construction supervision services-Contractor and Producer. And all of this is mostly due to the most trivial reason – ignorance of up-to-date norms [1, 2, 3] which qualify absorbability and widely understood „freeze resistance” as one type of environmental burden and ipso facto do not permit simultaneous declaration of the two parameters. What is more important, the methodology of research of „freeze resistance” relies on the study of the concrete surface irrespective of the dimensions of the whole sample. In the matter of the study of absorbability, the methodology of research leaves a great deal to be desired what will be proved in the text below.

## 1. Wstęp

Parametr nasiąkliwości nabralł ostatnimi laty rangi badania decydującego o jakości prefabrykatów betonowych, szczególnie przy wstępnym zatwierdzeniu przez inżynierów kontraktu lub inspektorów nadzoru, materiałów budowlanych, dostarczanych na budowy obiektów inżynierskich. Nowelizacja Prawa Budowlanego, zniósła obowiązkowość kompleksowego stosowania norm. Fakt ten można zauważyć w treści większości szczegółowych specyfikacji technicznych dołączanych do przetargów. Osoby je opracowujące „zawyzając” część wymagań normowych – nie zawsze tą właściwą – zakładają, iż są one niewystarczające, poprzez co nie zapewniają odpowiedniej trwałości prefabrykatów [1, 2, 3]. Wymagane, aktualnymi normami, wytrzymałości betonu na ściskanie, rozciąganie przy rozłupywaniu oraz zginanie, w chwili obecnej, dla producentów betonowej galanterii drogowej, są osiągalne bez większych problemów. Podobnie sprawa wygląda z normowymi wymogami nasiąkliwości do 6%. Problematyczne jest jednak to, iż zdecydowana większość SST, zaniża często tę wartość do 4%. Spowodowane jest to prawdopodobnie, spotykanymi do dnia dzisiejszego problemami z jakością betonu w Polsce, wytworzonego w ubiegłym wieku. Powstałe ówczesne konstrukcje betonowe i żelbetowe, poddawane są wielokrotnym remontom.

Rozwój technologii wytwarzania betonów w ostatnich latach nabral tempa, jakiego jeszcze nigdy nie notowano w historii. Powstanie plastyfikatorów, superplastyfikatorów, jak i superplastyfikatorów nowej generacji, pozwoliło na znaczne redukcje wody zarobowej w mieszance betonowej, umożliwiające tym samym obniżenie współczynnika wodno-cementowego do poziomu 0,23 [5], a więc teoretycznie minimalnego z uwagi na konieczność przereagowania całej ilości cementu w mieszance. W chwili obecnej wyprodukowanie betonów klas od C35/45 do C50/60 nie nastęrcza wytwórciom prefabrykatów betonowych, większych problemów technologicznych, co oczywiście nie oznacza, iż jest to łatwe przedsięwzięcie. Należy, więc stwierdzić, iż beton wyprodukowany obecnie jest materiałem o zdecydowanie lepszych parametrach od tego wyprodukowanego jeszcze kilkadziesiąt lat temu.

Generalizując, można stwierdzić, iż to, czy prefabrykat betonowy „wchłonie” wagowo 4%, 5% czy 6% wody, nie powinno być decydującym czynnikiem decydującym o jakości dostarczanych elementów. Ważniejszymi parametrami opisującymi jakość prefabrykatów, powinny być, szczególnie w naszym klimacie, odporność na zamrażanie/rozmarzanie z udziałem soli odładzającej, odporność na ścieranie oraz oczywiście wytrzymałość mechaniczna [3, 4, 5]. Spełnienie powyższych wymogów gwarantuje, iż warstwa wierzchnia kostki, płytki lub krawężnika po pierwszych latach eksploatacji, nie ulegnie nadmiernemu złuszczeniu od cykli zamarzania i rozmrażania, nadmiernemu mechanicznemu przetarciu, spowodowanemu naturalnym zużyciem, bądź mechanicznemu zniszczeniu.

W chwili obecnej, zdecydowana większość prefabrykatów drogowych z uwagi na względy wizualne, wytwarzana jest dwuwarstwowo. W produkcji stosowane są zazwyczaj dwa rodzaje mieszanek betonowych – do warstwy konstrukcyjnej o uziarnieniu 0–8 mm, czasami 0–16 mm, oraz do warstwy wierzchniej 0–3 mm, czasami 0–4 mm. Zabieg taki gwarantuje jednorodny wygląd powierzchni licowej, wpływając jednakże negatywnie, na jakość, w tym i nasiąkliwość całego elementu. O ile, właściwie dobrane krzywe uziarnienia frakcji 0–16 mm, w połączeniu ze spoiwem, szczelnie wypełniają jednostkową objętość matrycy betonowej, tak beton wyprodukowany z mieszanki betonowej na bazie kruszywa 0–4 mm i spoiwa to niezwykle porowaty materiał – fot. 1.



Fot. 1. Widok powierzchni zawilgoconego krawężnika po 15 minutach wysychania w słońcu

Niezmiernie ważną kwestią w produkcji betonu jest zgodnie z normą PN-EN 206-1: 2002/AC: 2005 „Beton. Część 1. Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność” [4], zapewnienie jego mrozoodporności, dzięki (...) napowietrzeniu mieszanki betonowej. Oczywiście za mrozoodporność odpowiada inny typ i wielkość por od tych, które transportują wodę w głąb betonu. Jednakże, co potwierdzono w wielu badaniach laboratoryjnych w seryjnej produkcji niezmiernie trudne jest zapewnienia jednorodnego i jednolitego w czasie napowietrzenia mieszanki betonowej. Innym aspektem jest to, iż wprowadzenie porów w strukturę matrycy betonowej zmniejsza jej jednorodność, co w konsekwencji wymusza na technologu produkcji, projektowanie mieszanki na klasę wytrzymałościową o stopień wyższą od wymaganej. Wśród dostępnej literatury fachowej, wielokrotnie można znaleźć przykłady realizacji prefabrykatów o nasiąkliwości poniżej 4% – bliskiej 3%, które przeszły pozytywnie badania mrozoodporności, bądź to w starszej wersji (F150), bądź w nowszej (28 cykli) z udziałem soli odładzających [6]. Dodatkowo, często podnosi się temat wpływu dopuszczalnych przepisami, odstępstw w samych procedurach badawczych, znacząco wpływających na końcowe wyniki badań [7]. Podsumowując, można stwierdzić, iż dzisiejsza znajomość technologii betonu, zdecydowanie poszerzona w porównaniu z tą, sprzed kilkudziesięciu lat, upoważnia do stwierdzenia, iż prosta zależność, pomiędzy nasiąkliwością a szeroko pojętą trwałością, nie istnieje. Wygórowane, więc zapisy SST, w chwili obecnej można tłumaczyć jedynie niewiedzą ich autorów.

Ocenianie, w jakim procencie nasiąkliwość wpływa na trwałość docelowego produktu, nie jest celem tego artykułu, a jedynie zainicjowaniem rozmowy na temat problemu „chodzenia na skrót” osób odpowiedzialnych za przygotowywanie SST dla betonowych prefabrykatów drogowych. Prezentowane stanowisko oparto na rozbieżnościach stwierdzonych w wynikach badań nasiąkliwości, prefabrykowanych elementów galanterii drogowej, wykonanych przez Producenta oraz Nadzory obsługiwanych budów. Zagadnienie dotyczyło przede wszystkim krawężników. Zakładowa kontrola produkcji działająca w tego rodzaju wytwórniach, zgodnie z aktualnymi normami i obowiązującymi przepisami, ma za zadanie wykonanie badania kilku próbek pobranych z poszczególnych partii produkcyjnych.

Poniżej przedstawiono możliwe rozbieżności w wynikach nasiąkliwości, otrzymanych na betonach tej samej jakości – model objętościowy, co następnie potwierdzono badaniami laboratoryjnymi.

## 2. Badania nasiąkliwości w świetle norm

Autorzy obowiązującej do roku 2003 normy PN-B-06250 „Beton zwykły” [8], w pkt. 6.4. podali sposób badania nasiąkliwości próbek betonu. Określał on jedynie minimalną objętość próbek o wielkości:

- 1 dm<sup>3</sup> – dla betonów z frakcjami kruszywa do 16 mm,
  - 2 dm<sup>3</sup> – dla betonów z frakcjami kruszywa powyżej 16 mm.
- Ostateczny wzór na obliczenie nasiąkliwości przybierał postać:

$$\eta_w = (G_2 - G_1) / G_1 \times 100\%,$$

w którym:  $G_1$  – średnia masa próbek suchych,  
 $G_2$  – średnia masa próbek nasyconych wodą.

Problem praktycznie nie istniał w przypadku elementów drobnowymiarowych, takich jak kostki, gdyż z powodu ich niewielkiej masy, były one zawsze badane w całości. W przypadku elementów masywniejszych, takich jak krawężniki, jednostka wykonująca badanie laboratoryjne nie miała „odgórnie” narzuconej górnej granicy masy próbek.

Wprowadzona w roku 2004 norma PN-EN 1340:2004 „Krawężniki betonowe. Wymagania i metody badań” [3], skorygowała wymagania dotyczące kontroli nasiąkliwości krawężników. W punkcie 5.3.2.2 zapisano, iż „krawężniki powinny spełniać wymagania podane w tabeli 2.1., w której to dla klasy 2 elementu nasiąkliwość średnia nie powinna być większa od 6,0%. Procedurę pomiaru nasiąkliwości opisano w załączniku E do normy. Ostateczny wzór do obliczania wartości średniej, ma niemalże identyczny kształt z [8]:

$$W_e = (M_1 - M_2) / M_2 \times 100\%,$$

w którym:  $M_1$  – początkowa masa próbki „nasyconej wodą” w (g),  
 $M_2$  – końcowa masa próbki „suchej” w (g),

jednakże w pkt. E.2. autorzy normy wprowadzili ograniczenia, co do masy próbek. Zgodnie z zapisem, należy je wyciąć (lub odwiercić) z dwóch końców badanego elementu przez jego całą wysokość, (tak, aby zachować proporcje betonów w elementach produkowanych dwuwarstwowo). Minimalna masa próbek nie powinna być mniejsza niż 2,5 kg oraz nie powinna przekraczać 5,0 kg. Ograniczenie to z jednej strony pomogło Producentom, dookreślając granice wymiarów badanych próbek, jednakże z drugiej strony, poprzez brak drugiej zmiennej, tj. wzajemnej zależności w długości 3 boków próbek, niesłychanie zaszkodziło „dobrym” jakościowo wyrobom betonowym.

Cytowana norma [3], zawiera szereg załączników, w których przedstawiono procedury badawcze, wykorzystywane przy sprawdzaniu spełnienia określonych wymogów przez elementy betonowe. Wśród zamieszczonych w załącznikach, od C do J, metod badawczych, najmniej rzetelna, a co z tego wynika „sprawiedliwa” dla produktu, z powodu rozbieżności pomiędzy warunkami laboratoryjnymi a rzeczywistym zachowaniem się elementów w miejscu wbudowania jest procedura badania nasiąkliwości. We wszystkich cytowanych załącznikach, badaniom laboratoryjnym, a następnie obróbce matematycznej podlegają wyniki uzyskane podczas badania powierzchni rzeczywiście narażonych na działanie czynników zewnętrznych.

W przypadku sprawdzania nasiąkliwości elementów, badaniu podlegają niewielkiej masy próbki (o niereprezentatywnych długościach boków), przy rzeczywistych gabarytach

produkowanych prefabrykatów, kilkadziesiąt razy większych. Ma to decydujący wpływ na wyniki z powodu pojawiającego się podczas badania efektu skali.

Beton to sztuczny zlepianiec. Z powodu niedoskonałości produkcyjnych charakteryzuje się on zdecydowanie większą porowatością od kamienia naturalnego (bazalt, granit). W trakcie projektowania mieszanki betonowej jedną z podstawowych wielkości opisujących składniki betonu (między innymi kruszywa) jest ich powierzchnia właściwa, a co za tym idzie wodożądność [5]. Ogólnie można stwierdzić – im drobniejszej frakcji stosujemy kruszywa, tym więcej wody mogą one „przejąć” poprzez zwilżenie swojej powierzchni zewnętrznej.

Przenosząc tę analogię do badanych elementów można stwierdzić, iż dwie próbki o masie  $M_1$  oraz  $M_2$ , gdzie  $M_1 = 2M_2$ , będą miały identyczne (matematycznie) nasiąkliwości jedynie w sytuacji, w której stosunek ich powierzchni zewnętrznych (właściwych) będzie spełniać zależność  $A_1 = 2A_2$ , gdzie  $A_1$  – powierzchnia właściwa i-tej próbki. Model taki, zwany powierzchniowym pozwala na porównanie nasiąkliwości materiałów o niskiej przesiąkliwości jak konstrukcyjny kamień naturalny. W przypadku materiałów porowatych, takich jak betony wibroprasowane, dokładniejsze wyniki pozwala osiągnąć model objętościowy. Bazuje on na porównaniu objętości betonu „nasączonego” wodą oraz objętości betonu suchego. Stosując prostą zależność:

$$W_e = ((V_1 + V_2) \gamma_b + V_2 e \gamma_w - (V_1 + V_2) \gamma_b) / ((V_1 + V_2) \gamma_b)$$

$$W_e = (V_2 e \gamma_w) / ((V_1 + V_2) \gamma_b)$$

- gdzie:
- $V_1$  – objętość suchej masy betonu w ( $m^3$ ),
  - $V_2$  – objętość „nawodnionej” masy betonu w ( $m^3$ ),
  - $\gamma_b$  – ciężar objętościowy betonu równy 2,25 ( $T/m^3$ ),
  - $\gamma_w$  – ciężar objętościowy wody równy 1,00 ( $T/m^3$ ),
  - $e$  – porowatość betonu w (-).

Przed nasączeniem betonu wodą, waga próbki betonu wynosi  $(V_1 + V_2) \gamma_b$ .

### 3. Model powierzchniowy

W celu porównania wpływu wielkości próbek badawczych na końcowy wynik nasiąkliwości betonowego prefabrykatu, wykonano przykładowe obliczenia do krawężnika 15 cm x 30 cm x 100 cm. W tabeli 1 zamieszczono wyliczone w zależności od długości próbki (liczonej po długości elementu) ich powierzchnie właściwe oraz dla założonego średniego ciężaru  $1m^3$  betonu równego 2250 kg masy poszczególnych próbek. Pole powierzchni bocznej omawianego krawężnika wynosi około 423  $cm^2$  natomiast obwód (w przekroju poprzecznym) około 86 cm. Dla tak przygotowanych danych wyliczono wszystkie niezbędne wielkości.

Następnie podzielono powierzchnię właściwą każdej próbki przez jej objętość otrzymując, tzw. zredukowany obwód w jednostce [1/m].

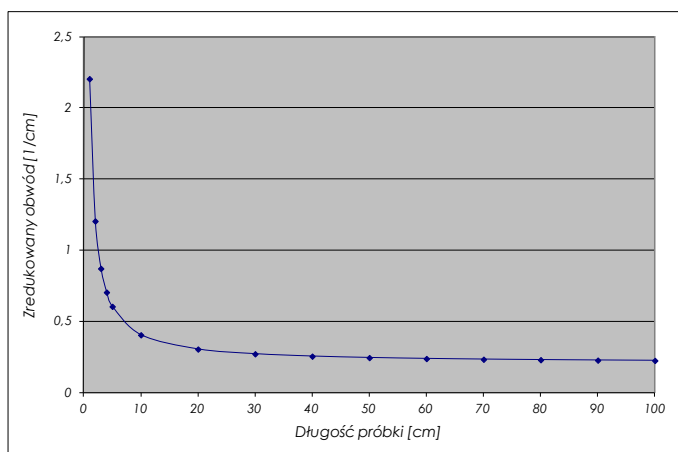
Tabela 1. Wpływ długości próbek krawężnika 15x30x100 cm na wartość ich zredukowanego obwodu w modelu powierzchniowym

L.p.	Długość próbki [cm]	Powierzchnia właściwa [cm <sup>2</sup> ]	Objętość [cm <sup>3</sup> ]	Średni ciężar [kg/m <sup>3</sup> ]	Ciężar próbki [kg]	Zredukowany obwód [1/cm]
1	1	932	423	2250	1,0	2,20
2	2	1018	846	2250	1,9	1,20
3	3	1104	1269	2250	2,9	0,87
4	4	1190	1692	2250	3,8	0,70
5	5	1276	2115	2250	4,8	0,60
6	10	1706	4230	2250	9,5	0,40
7	20	2566	8460	2250	19,0	0,30
8	25	2996	10575	2250	23,8	0,28
9	50	5146	21150	2250	47,6	0,24
10	100	9446	42300	2250	95,2	0,22

Dla rzeczywistej długości elementu 100 cm, wyliczony obwód zredukowany wynosi około 0,22. Normowe próbki o ciężarach od 2,5 do 5,0 kg, opisują wartości odpowiednio:

- dla 2,9 kg – 0,87 [1/cm],
- dla 3,8 kg – 0,70 [1/cm],
- dla 4,8 kg – 0,60 [1/cm].

Należy zauważyć, iż dla próbki o średniej normowej masie 3,8 kg analizowany współczynnik jest ponad 3 razy większy, niż dla całego wyprodukowanego elementu. Oznacza to „możliwość” 3-krotnie wyższej nasiąkliwości takiej próbki w porównaniu z badaniem całego krawężnika. Dodatkowo należy zauważyć, iż normatyw w przypadku wiersza nr 2 i 4 – tabeli 1, dopuszcza wymiary próbek, różniące się stosunkiem powierzchni właściwych do ciężarów o niemalże 50% ( $0,87/0,60 = 145\%$ ).



Rys. 1. Wykres zależności zredukowanego obwodu w funkcji długości próbek krawężnika 15x30x100 cm w modelu powierzchniowym

Analiza przebiegu funkcji – rys. 1, opisującej zmianę wartości zredukowanego obwodu wykazała, iż próbki o długości około 3 cm, a więc masie około 2,9 kg, opisują nasiąkliwość całego krawężnika z błędem niemalże 400%, próbki o długości 25 cm, a więc masie około 23,8 kg, opisują nasiąkliwość całego krawężnika z błędem około 27%, natomiast o długości około 50 cm, a więc masie około 47,6 kg z błędem tylko 9%.

## 4. Badania laboratoryjne

W celu weryfikacji modelu matematycznego, w Laboratorium Zakładowym ZPB Kaczmarek w Rawiczu, wykonano badania nasiąkliwości próbek krawężnika 15 cm x 30 cm o różnych długościach [9].

Wiek betonu określono na ponad 90 dni, co gwarantuje w przypadku betonu wyprodukowanego na cemencie hutniczym, pomijalny przyrost jego wytrzymałości oraz zmniejszenia nasiąkliwości w trakcie kolejnych cykli namaczania i suszenia. Pierwszą próbkę przygotowano w oryginalnym fabrycznym wymiarze długości 100 cm i poddano badaniu. Następnie próbkę przecięto na pół do wymiarów długości około 50 cm i ponownie przebadano 2 powstałe próbki. Analogicznie przebadano otrzymane 4 próbki o długościach około 25 cm, następnie 8 próbek o długości około 10 cm, 20 próbek o długości około 5 cm i finalnie 40 próbek o długościach około 2,5 cm każda. Należy w tym miejscu zauważyć, iż normowe masy osiągnięto jedynie przy badaniu próbek 2,5 cm i 5 cm.

Wszystkie próbki, zgodnie z załącznikiem E, [3], namaczano i suszono, aż do otrzymania stałych mas, tzn. wyników dwóch kolejnych pomiarów, nieróżniących się między sobą więcej niż 0,1%. Wyniki pomiarów zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Zmiana nasiąkliwości betonu krawężnika w zależności od długości próbek

L.p.	Średnia długość próbki [cm]	Powierzchnia właściwa próbki [cm <sup>2</sup> ]	Objętość próbki [cm <sup>3</sup> ]	Średnia waga [kg]	Zredukowany obwód [1/cm]	Nasiąkliwość próbki [%]
1	~ 2,5	~ 1 061	~ 1 058	~ 2,4	~ 1,00	3,23
2	~ 5	~ 1 276	~ 2 115	~ 4,8	~ 0,60	2,72
3	~ 10	~ 1 706	~ 4 230	~ 9,5	~ 0,40	2,32
4	~ 25	~ 2 996	~ 10 575	~ 23,8	~ 0,28	1,92
5	~ 50	~ 5 146	~ 21 150	~ 47,5	~ 0,24	1,67
6	~ 100	~ 9 446	~ 42 300	~ 95,0	~ 0,22	1,51

## 5. Model objętościowy

W celu dokładniejszego opisu zjawiska, model powierzchniowy zastąpiono modelem objętościowym. Zmianę nasiąkliwości elementu w oparciu o głębokość wnikania wody zamodelowano na modelu prostopadłościennego krawężnika 15 x 30 x 100 cm. Obliczenia wykonano dla kolejnych długości próbek: 3, 5, 10, 20, 25, 50 i 100 cm. Zakładając, kolejne głębokości wnikania wody w beton (prześlakliwość) co 0,5 cm, porowatość betonu 10%

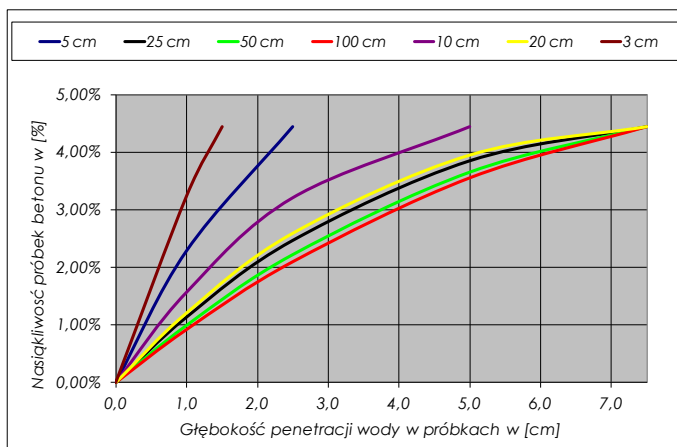


oraz ciężar objętościowy betonu 2250 kg/m<sup>3</sup> i wody 1000 kg/m<sup>3</sup>, wyliczono nasiąkliwości poszczególnych próbek – tabeli 3.

Tabela 3. Wpływ długości próbek betonu na ich nasiąkliwość w modelu objętościowym

Długość [cm]	Szerokość [cm]	Wysokość [cm]	Prześciąkliwość wody [cm]	Porowatość [%]	Nasiąkliwość [%]
3,00	15,00	30,00	0,00	10%	0,00%
<b>3,00</b>	<b>15,00</b>	<b>30,00</b>	<b>1,00</b>	<b>10%</b>	<b>3,25%</b>
3,00	15,00	30,00	1,50	10%	4,44%
5,00	15,00	30,00	0,00	10%	0,00%
<b>5,00</b>	<b>15,00</b>	<b>30,00</b>	<b>1,00</b>	<b>10%</b>	<b>2,29%</b>
<b>5,00</b>	<b>15,00</b>	<b>30,00</b>	<b>2,50</b>	<b>10%</b>	<b>4,44%</b>
10,00	15,00	30,00	0,00	10%	0,00%
<b>10,00</b>	<b>15,00</b>	<b>30,00</b>	<b>1,00</b>	<b>10%</b>	<b>1,57%</b>
<b>10,00</b>	<b>15,00</b>	<b>30,00</b>	<b>2,50</b>	<b>10%</b>	<b>3,21%</b>
10,00	15,00	30,00	5,00	10%	4,44%
20,00	15,00	30,00	0,00	10%	0,00%
<b>20,00</b>	<b>15,00</b>	<b>30,00</b>	<b>1,00</b>	<b>10%</b>	<b>1,21%</b>
<b>20,00</b>	<b>15,00</b>	<b>30,00</b>	<b>2,50</b>	<b>10%</b>	<b>2,59%</b>
20,00	15,00	30,00	5,00	10%	3,95%
20,00	15,00	30,00	7,50	10%	4,44%
25,00	15,00	30,00	0,00	10%	0,00%
<b>25,00</b>	<b>15,00</b>	<b>30,00</b>	<b>1,00</b>	<b>10%</b>	<b>1,14%</b>
<b>25,00</b>	<b>15,00</b>	<b>30,00</b>	<b>2,50</b>	<b>10%</b>	<b>2,47%</b>
25,00	15,00	30,00	5,00	10%	3,85%
25,00	15,00	30,00	7,50	10%	4,44%
50,00	15,00	30,00	0,00	10%	0,00%
<b>50,00</b>	<b>15,00</b>	<b>30,00</b>	<b>1,00</b>	<b>10%</b>	<b>0,99%</b>
<b>50,00</b>	<b>15,00</b>	<b>30,00</b>	<b>2,50</b>	<b>10%</b>	<b>2,22%</b>
50,00	15,00	30,00	5,00	10%	3,65%
50,00	15,00	30,00	7,50	10%	4,44%
100,00	15,00	30,00	0,00	10%	0,00%
<b>100,00</b>	<b>15,00</b>	<b>30,00</b>	<b>1,00</b>	<b>10%</b>	<b>0,92%</b>
<b>100,00</b>	<b>15,00</b>	<b>30,00</b>	<b>2,50</b>	<b>10%</b>	<b>2,10%</b>
100,00	15,00	30,00	5,00	10%	3,56%
100,00	15,00	30,00	7,50	10%	4,44%

Porównując wyniki dla poszczególnych długości można stwierdzić, iż nasiąknięcie całkowitej objętości próbek wodą, we wszystkich przypadkach wykazuje ich jednakową nasiąkliwość. Należy jednak zauważyć, iż głębokość penetracji (przeziąkania) wody w tych przypadkach jest różna, co jednoznacznie oznacza betony różnej jakości – rys. 2.



Rys. 2. Wpływ długości próbek betonu na ich nasiąkliwość w modelu objętościowym

Analizując kształt wykresu, przedstawiającego zależność pomiędzy głębokością penetracji (przeziąkania) wody w próbkach betonu a nasiąkliwością, można stwierdzić, iż w przypadku próbek z dominującym jednym minimalnym wymiarem, wyniki nasiąkliwości są zdeterminowane tymże wymiarem boku badanego elementu (linia brązowa – 3 cm, linia niebieska – 5 cm, linia fioletowa – 10 cm). W przypadku, kiedy dwa mniejsze, z trzech wymiarów są porównywalne, zmiana wymiarów trzeciego boku nie wpływa tak diametralnie na otrzymane wartości nasiąkliwości (linia żółta – 20 cm, linia czarna – 25 cm, linia zielona – 50 cm, linia czerwona – 100 cm). Powyższe zależności powodują, iż dla porównywalnej, przykładowej 60. procentowej zawartości wody (wpływającej bezpośrednio na nasiąkliwość) w próbkach o długościach 10, 20 i 100 cm, przeziąkliwość wody, będzie wynosić odpowiednio 2, 3 i 4 cm. Tylko dwukrotna zmiana masy i wymiarów pomiędzy próbkami o długości 5 cm i 10 cm oraz pomiędzy 10 cm i 20 cm daje rozbieżność wyników około 1 cm, porównywalną tym samym z pięciokrotną zmianą masy i wymiarów pomiędzy próbkami o długości 20 cm i 100 cm.

## 6. Podsumowanie

1. Podsumowując powyższe rozważania można stwierdzić, iż obecne niejednoznaczne zapisy normowe, dotyczące wymiarów próbek poddawanych badaniu nasiąkliwości, wprowadzają duży margines błędu wyniku badania laboratoryjnego. Dookreślenie kształtu jednolitego dla wszystkich prefabrykatów budowlanych, uwierzytelniłoby i ułatwiło w porównywaniu wyników dla różnych betonów. Najmniejszą powierzchnię właściwą wśród brył możliwych do przygotowania w warunkach laboratoryjnych posiada sześcian (teoretycznie kula). Wydaje się, że wystarczającym z uwagi na różne kształty prefabrykatów betonowej galanterii drogowej byłoby wprowadzenie dopusz-

- czalnych procentowych różnic pomiędzy dwoma skrajnymi wymiarami badanych próbek w celu zbliżenia ich kształtów do sześcianu jako bliskiego ideałowi bryły, a zarazem prostemu do wykonania.
2. Wprowadzony zapis na temat skrajnych dopuszczalnych wag próbek badawczych, dodatkowo potęguje możliwe rozbieżności wyników opracowywanych przez dwa niezależne laboratoria badawcze. Pobrane do badań próbki betonów o normowej wadze 2,5 kg mogą osiągać około 30% wyższy wynik nasiąkliwości w porównaniu z normowymi próbkami o wadze około 5,0 kg (zakładając beton o tej samej jakości). Wprowadzenie drugiej zmiennej w postaci dopuszczalnych różnic w długościach boków, wyeliminowałoby problemy z wpływem wielkości próbek na końcowy wynik badania nasiąkliwości.
  3. Obecny stan rzeczy uderza szczególnie w producentów wytwarzających „wysokie” jakościowo prefabrykaty, gdyż w ich przypadku kilkumilimetrowa zmiana przesiąkliwości betonu w zależności od kształtu i wymiaru próbek badawczych, może zaniżyć otrzymane wyniki nasiąkliwości o ważne części dziesiątne wymaganej wartości nasiąkliwości. Producentów wytwarzających, betony o dużej przesiąkliwości, problem omawiany w niniejszym artykule nie dotyczy, gdyż po całkowitym nasączeniu objętości próbek wodą wpływ ich kształtu i wagi na wynik końcowy jest pomijalny lub bliski zeru – zależność prostoliniowa.
  4. Nie zrozumiałym jest fakt, iż autorzy SST, dbający o interes Zleceniodawcy – najczęściej GDDKiA, nigdy nie zaostrzają parametrów mrozoodporności bądź wytrzymałości mechanicznej (autor po zapoznaniu się z kilkudziesięcioma dokumentacjami nie znalazł takich zapisów ...), tzn. tych wielkości, które gwarantują wysoką trwałość prefabrykatów betonowych, wymaganą w [4].

## Literatura

- [1] PN-EN 1338:2005/AC:2007, Betonowe kostki brukowe. Wymagania i metody badań.
- [2] PN-EN 1339:2005/AC:2007, Betonowe płyty brukowe. Wymagania i metody badań.
- [3] PN-EN 1340:2004/AC:2009, Krawężniki betonowe. Wymagania i metody badań.
- [4] PN-EN 206-1:2003, Beton – Część 1. Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.
- [5] A.M. Neville. Właściwości betonu. Polski Cement Sp. z o. o. Kraków 2000.
- [6] M.A. Glinicki, IPPT PAN Warszawa. Widmo nasiąkliwości, „Budownictwo, Technologie, Architektura”, nr 3/2007, s. 50–53.
- [7] A. Gołda, S. Kaszuba, Betotech Sp. z o. o. Nasiąkliwość betonu – wymagania i metody badawcze, CWB-6/2009, s. 308–312.
- [8] PN-B-06250, Beton zwykły.
- [9] Wyniki wewnętrznych badań nasiąkliwości próbek betonu, opracowane przez Zakładowe Laboratorium ZPB Kaczmarek w okresie marzec – maj 2012 r.