

Referat opracowany na XVIII Konferencję Naukowo-Techniczną „Kontra”
The paper to be presented at the XVIII “Kontra” Conference

dr inż. Tomasz Tracz, prof. dr hab. inż. Jacek Śliwiński

Politechnika Krakowska

Wpływ zawartości zaczynu cementowego i wskaźnika w/c na nasiąkliwość betonu wodą

Effect of cement paste content and w/c ratio on concrete water absorption

1. Wprowadzenie

W przypadku betonów cementowych negatywne oddziaływanie wodnych roztworów różnych substancji, a szczególnie wykazujących agresywność wobec matrycy cementowej, jest powszechnie znane. Z tego powodu nasiąkliwość betonu jest jedną z ważniejszych cech tego materiału, która jest brana pod uwagę już na etapie projektowania składu betonu. Nasiąkliwość betonu, podobnie jak i inne jego właściwości, zależy od wielu czynników materiałowych i technologicznych. Zainteresowanie badaczy tym zagadnieniem trwa od bardzo wielu lat (1). Nasiąkliwość stanowi może bowiem podstawę do prognozowania potencjalnej trwałości materiału (2). Dla zapewnienia odpowiedniej trwałości betonu jest ona zazwyczaj ograniczana do 4 lub co najwyżej 6% mas. i najczęściej jest odnoszona do nasiąkliwości ocenianej na próbkach formowanych. Problemem, który warto tu przypomnieć, jest wpływ rodzaju próbki (objętość, próbka formowana lub wycinana, o kształcie regularnym lub nieregularnym, itp.), warunków dojrzewania próbek (3) oraz stosowanej metody badania (sposób nasycania wodą, kolejność procesów nasycania i suszenia, itp.) (4, 5) na ocenianą wartość nasiąkliwości. Problemy te porusza Neville (6), a także autorzy dosyć licznych publikacji, w tym na przykład (7, 8). Dodać należy, że w grupie norm związanych z PN-EN 206-1 „Beton Cz.1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność” brak jest normy dotyczącej bezpośrednio badania nasiąkliwości. Informacje na temat tej właściwości, metody badania oraz

1. Introduction

For cement-based concretes, the adverse impact of water; to be precise: of aqueous solutions of various substances, including those aggressive to its components and principally for matrix is common knowledge. Therefore concrete water absorption is among the more important properties of this material that is already taken into account at the concrete composition design stage. Concrete absorption, as well as its other properties, depends on numerous material-related and technological factors. Many papers have been devoted to the research of this property of concrete for several years (1). It can serve principally to forecast the potential durability of this composite (2). In order to ensure appropriate durability of concrete, the absorption is usually limited to 4%, yet not exceeding 6% by mass. It is usually assessed in terms of absorption of moulded samples. The problem that should be recalled is the effect of the type of sample (its volume, whether it was prepared in moulds or cut from a larger one, its regular or irregular shape, etc.), its curing conditions (3) and the impact of the test used (procedure of saturating in water, the sequence of saturation and drying processes, etc.) (4, 5) on the absorption value being assessed. These issues are touched upon by Neville (6) as well as authors of numerous publications, including e.g. (7, 8). It should be added that within the group of standards related to the PN-EN 206-1 standard: “Concrete – Part 1: Requirements, Properties, Manufacturing and Conformity Criteria” there is no standard

jej ograniczeń bywają podawane w normach dotyczących wyrobów (np. PN-EN 1339:2005 „Betonowe płyty brukowe. Wymagania i metody badań” i PN-EN 13369:2005 „Wspólne wymagania dla prefabrykatów betonowych”).

W projektowaniu składu betonu przyjmującym za podstawę jego trwałość, uwzględnienie nasiąkliwości jest niezbędne. W normie PN-EN 206-1 jest ona uwzględniana pośrednio przez wprowadzenie dla poszczególnych klas ekspozycji ograniczenia wskaźnika w/c oraz minimalnej klasy wytrzymałości betonu. Zagadnienie będące przedmiotem referatu jest w ogólności dosyć oczywiste i znane (9), jednak w literaturze nieliczne są informacje dotyczące bardziej szczegółowej, ilościowej oceny wpływu zarówno zawartości, jak i jakości zaczynu na nasiąkliwość betonu. Wyniki badań o podobnym charakterze znaleźć można w pracy (10), dotyczącej między innymi wpływu zawartości zaczynu na powierzchniową nasiąkliwość betonów, wykonanych z cementu CEM I 42,5. Ponieważ prezentowane w niniejszym artykule wyniki badań dotyczą dużej grupy betonów wykonanych z trzech rodzajów cementu, w których zawartość zaczynu zmieniała się od 240 do 360 dm³/m³, a wskaźnik w/c w granicach od 0,30 do 0,60, wyniki te będą mogły zapewne stanowić pewną wskazówkę przy projektowaniu składu betonu.

2. Materiały i metody

Badaniami objęte były trzy grupy betonów wykonanych z trzech cementów: CEM I 42,5; CEM II/A-V 42,5 i CEM III/A 42,5. Każda grupa składała się z 12 betonów zróżnicowanych pod względem wskaźnika w/c, zawartości zaczynu cementowego oraz rodzaju kruszywa grubego. Składy betonów przedstawiono w tablicy 1. Kruszywo do betonów komponowano z piasku rzeczno 0/2 mm oraz żwirów 2/8 i 8/16 mm lub grysów bazaltowych 2/8 i 8/16 mm. Jamistość uzyskanych stosów okruszowych wynosiła około 22% objętościowych. Ponieważ o porowatości otwartej, a więc i o nasiąkliwości betonu, decyduje w głównej mierze zaczyn (11), badaniom betonów towarzyszyły także badania nasiąkliwości zaczynów wykonanych z trzech wymienionych cementów, o zróżnicowanym jak to podano w tablicy 1 wskaźniku w/c.

Tablica 1 / Table 1

SKŁADY TRZECH ANALIZOWANYCH GRUP BETONÓW Z CEMENTÓW CEM I 42,5; CEM II/A-V 42,5 I CEM III/A 42,5

VARIATION IN COMPOSITION OF THE THREE GROUPS OF CONCRETES ANALYSED CONTAINING CEM I 42.5; CEM II/A-V 42.5 AND CEM III/A 42.5 CEMENTS

	w/c = 0,30			w/c = 0,40			w/c = 0,50			w/c = 0,60		
	V _z	240	300	360	240	300	360	240	300	360	240	300
C	385	482	578	332	415	498	292	365	438	260	325	390
W	116	145	173	133	166	199	146	182	219	156	195	234
P	540	684	825	540	684	825	546	687	828	546	687	828
K _g	bazalt (basalt) 2/8 + 8/16 mm			bazalt (basalt) 2/8 + 8/16 mm			żwir (gravel) 2/8 + 8/16 mm			żwir (gravel) 2/8 + 8/16 mm		
	1675	1332	992	1675	1332	992	1440	1146	852	1440	1146	852

V_z – zawartość zaczynu cementowego w betonie, dm³/m³, C – cement CEM I lub CEM II lub CEM III, kg/m³,

W, P, K_g – odpowiednio woda, piasek, kruszywo grube, kg/m³; SP – superplastyfikator

V_z – cement paste content, dm³/m³; C – cement type CEM I or CEM II or CEM III content, kg/m³,

W, P, K_g – respectively water, sand and coarse aggregate content, kg/m³, SP – superplasticizer

directly related to absorption measurements. The information on this property, the test of its measurement and limitations can be sometimes found in standards concerning certain products (e.g. PN-EN 1339:2005 “Concrete pavers. Requirements and test methods” and PN-EN 13369:2005 “Common requirements for precast concrete products”).

In designing concrete composition, and ensuring its durability, absorption is one of the most important factors to consider. The PN-EN 206-1 standard takes into account this factor, by introducing the limit of w/c ratio and the concrete strength for each class of exposure. In spite of that that this problem in general is quite obvious and widely known (9), the information in the literature about it is very limited and far from complete.

The goal of this paper is to present the results of the detailed study of quantitative impact of both the content of cement paste and its w/c ratio, on water absorption of concrete. The results of similar studies can be found in paper (10), which concerns, *inter alia*, the impact of cement paste content on the surface absorption of concretes produced of CEM I 42.5 cement. Since our study is embracing the large group of concretes, prepared from three types of cement whose cement paste content ranged from 240 to 360 dm³/m³ and their w/c ratio were from 0.30 to 0.60, these results will probably provide some guidelines to the concrete composition designers.

2. Materials and methods

The study included three series of concretes produced from three kinds of cements: CEM I 42.5; CEM II/A-V 42.5 and CEM III/A 42.5. In each group, 12 concretes were analysed that differed in w/c ratio, cement paste content and type of coarse aggregate. The concrete composition is presented in Table 1. The used aggregate was composed of 0/2 mm river sand and 2/8 and 8/16 mm gravel or 2/8 and 8/16 mm crushed basalt. The voids content of aggregate was around 22% by volume. Since open porosity and thus also concrete absorption are governed principally by cement paste (11), the test of concrete was preceded by absorption measu-

Zarówno przyjęte zakresy wartości wskaźnika w/c jak i zawartości zaczynu wydają się pokrywać niemal cały obszar praktycznie wykonywanych betonów. Badania nasiąkliwości betonów i zaczynów prowadzono po dziewięćdziesięciodniowym okresie ich dojrzewania. Pierwsze 28 dni próbki dojrzewały w komorze o wilgotności względnej powietrza > 90% a następnie, do chwili badania, w warunkach laboratoryjnych. Nasiąkliwość każdego betonu określano na trzech próbkach walcowych o średnicy 150 mm i wysokości 50 mm. Próbki te, o objętości około 1 dm³, wycinano z wcześniej wykonanych walców 150/300 mm. W przypadku zaczynów badania prowadzono na próbkach walcowych o średnicy 10 mm i wysokości 50 mm. Każdy rodzaj zaczynu był reprezentowany także przez trzy próbki. Badania nasiąkliwości prowadzono w sposób zgodny z zaleceniami PN-88/B-06250 Beton zwykły.

3. Wyniki badań i ich analiza

Wykresy na rysunku 1 ilustrują zależność nasiąkliwości zaczynów z różnych cementów od wskaźnika w/c. Wykazują one niemal liniową jej zależność od tego współczynnika.

Z wykresów na rysunku 1 wynika, iż po 90 dniach dojrzewania zróżnicowanie nasiąkliwości zaczynów wykonanych z różnych rodzajów cementu nie jest duże. Bardzo podobną nasiąkliwość mają zaczyny z CEM I i CEM III. Nieco większą od nich nasiąkliwość wykazał zaczyn z CEM II w całym zakresie zmian w/c. Zauważalna jest ponadto tendencja do rosnącego zróżnicowania nasiąkliwości zaczynów w miarę zwiększania wartości wskaźnika w/c.

Wyniki badań nasiąkliwości betonów przedstawiono w tabelicy 2. Jak widać, badane betony charakteryzowały się nasiąkliwością zróżnicowaną w szerokim zakresie od 2,1 do 8,6 % mas. Najniższą nasiąkliwość wykazał beton z CEM III przy w/c = 0,30 i $V_z = 240 \text{ dm}^3/\text{m}^3$, a najwyższą beton z CEM II przy w/c = 0,60 i $V_z = 360 \text{ dm}^3/\text{m}^3$. Wykresy na rysunku 2 ilustrują zależność nasiąkli-

rements of cement paste prepared of three cements listed above with w/c ratio shown in Table 1.

It can be presumed that the w/c ratio and cement paste content cover almost the entire range of concretes produced in the industrial practice. Before absorption tests the concretes and cement pastes were cured for 90 days. For the first 28 days, the samples were cured in a chamber with a relative humidity > 90% and thereafter, until the test, in laboratory conditions. Three cylindrical samples with a diameter of 150 mm and a height of 50 mm of each concrete were used for the water absorption measurements. These samples, of the volume of about 1.0 dm³, were cut from bigger cylinders of dimension 50/300 mm. For cement paste, also three cylindrical specimens with a diameter of 10 mm and a height of 50 mm were used. The absorption test was executed, according to the standard PN-88/B-06250 "Ordinary concrete".

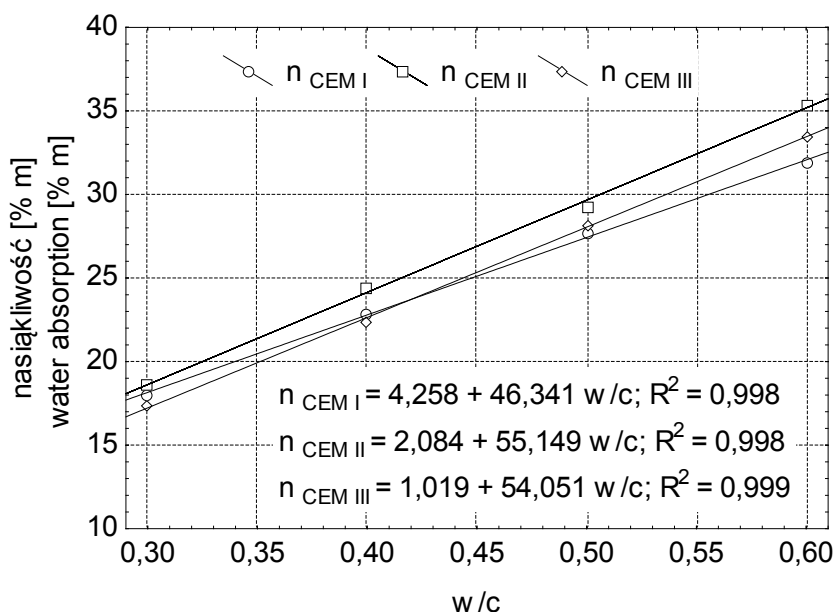
3. Test results and analysis

The points in Fig. 1 show the relation of cement paste absorption of w/c ratio.

The results show that after 90 days of curing, the variation of cement pastes absorptions, made of different cements, is not significant. The absorption of CEM I and CEM III pastes are very similar. However, at each w/c level, CEM II paste exhibited a slightly higher absorption. Moreover, an increasing trend in the variation of cement paste absorption can be observed as the w/c ratio is rising.

The results of concrete absorption measurements are presented in Table 2. It can be observed that the prepared concretes absorption varied within a wide range: from 2.1% to 8.6% by mass. The lowest absorption was found for CEM III concrete with w/c ratio equal 0.30 and paste content $V_z = 240 \text{ dm}^3/\text{m}^3$, while the highest one was exhibited by CEM II concrete with w/c ratio of 0.60 and

$V_z = 360 \text{ dm}^3/\text{m}^3$. In Fig. 2 the relationship between the absorption of concrete made from different cement types and the two principal parameters of its composition: cement paste content and the w/c ratio. Despite the fact that concretes with different w/c ratios were made of different coarse aggregates (concretes with w/c equal 0.30 and 0.40 were produced of basalt aggregate and concretes with w/c = 0.50 and 0.60 of gravel aggregate), they were compared together since the water absorption of those aggregates was relatively very low in relation to the cement paste absorption. Then the simplifying assumption was taken that the type of coarse aggregate (basalt or gravel) did not affect absorption significantly. This assumption is particularly justified for the concretes made of basalt aggregate since the absorption of this type of aggregate is very low, about 0.15% by mass. For the concretes prepared from gravel aggregate, whose absorption is higher and equal to about 1.5%



Rys. 1. Zależność nasiąkliwości zaczynów po 90 dniach twardnienia od wskaźnika w/c

Fig. 1. Water absorption of 90-day cured cement paste vs. w/c ratio

Tablica 2 / Table 2

SZCZEGÓŁOWE WYNIKI BADAŃ NASIĄKLIWOŚCI BETONÓW, % MAS.

WATER ABSORPTION OF CONCRETES, % BY MASS

w/c	Cement	Zawartość zacczynu Cement paste content, dm ³ /m ³			w/c	Cement	Zawartość zacczynu Cement paste content, dm ³ /m ³		
		240	300	360			240	300	360
0,3	CEM I	3,3	4,1	4,7	0,5	CEM I	5,0	6,1	7,6
	CEM II	3,4	4,7	5,7		CEM II	5,3	6,5	7,5
	CEM III	2,1	2,7	3,3		CEM III	4,0	5,4	6,6
0,4	CEM I	4,3	5,0	6,0	0,6	CEM I	5,4	6,9	8,2
	CEM II	4,5	5,5	6,5		CEM II	5,8	7,2	8,6
	CEM III	2,8	3,8	4,7		CEM III	5,3	6,2	7,1

wości betonu wykonanego z danego cementu od dwóch parametrów różnicujących jego skład: zawartości zacczynu i wskaźnika w/c. Mimo, iż betony o różnych wskaźnikach w/c były wykonywane z różnych kruszyw grubych (betony o w/c = 0,30 i 0,40 z kruszywa bazaltowego, a betony o w/c = 0,50 i 0,60 z kruszywa żwirowego) analizę przeprowadzono dla nich wspólnie, bowiem nasiąkliwości tych kruszyw w porównaniu z nasiąkliwością zacczynów są relatywnie małe. W dalszych analizach przyjęto upraszczające założenie, iż rodzaj kruszywa grubego (bazalt i żwir) nie ma dużego wpływu na nasiąkliwość. Założenie to jest uzasadnione zwłaszcza w przypadku betonów z kruszywa bazaltowego, bowiem nasiąkliwość tego kruszywa jest bardzo mała i wynosi około 0,15 % m. W przypadku betonów z kruszywa żwirowego, którego nasiąkliwość jest większa (ok. 1,5% mas.), maksymalną możliwą sorpcję wody przez to kruszywo oszacować można na około 10% całkowitej masy wody wchłoniętej przez beton. Wynika to ze stosowania kruszywa żwirowego w betonach zawierających zacczyn o w/c = 0,50 i 0,60, a więc o dużej nasiąkliwości.

Jak można się było spodziewać i co zostało potwierdzone przez uzyskane zależności, zarówno zawartość zacczynu oraz charakteryzujący go wskaźnik w/c, wpływają na nasiąkliwość betonu. Wystarczająco dokładnie zależność tę opisują liniowe równania regresji. Nasiąkliwość oczywiście rośnie wraz ze wzrostem wartości obydwu tych czynników. W przypadku betonów z cementów CEM I i CEM II wpływ na predykcję nasiąkliwości, jaki wywierają obydwa zmienne (w/c i zawartość zacczynu) jest podobny. W przypadku betonów z CEM III silniejszy wpływ ma wartość w/c. Świadczą o tym podane na rysunku 2 wartości standaryzowanych współczynników regresji w/c_{β} i Vz_{β} .

Zależność nasiąkliwości betonów wykonanych z różnych cementów po 90 dniach twardnienia od obydwu czynników jest podobna. Podobieństwo to dotyczy przede wszystkim przebiegu zmian nasiąkliwości w zależności od rozpatrywanych czynników zmiennych. Betony wykonane z cementów CEM I i CEM II wykazują podobną ilościowo nasiąkliwość, zaś betony z cementu CEM III nasiąkliwość generalnie niższą, z tym że różnica w porównaniu z betonami z CEM I i CEM II zmniejsza się wraz ze wzrostem ilości zacczynu w betonie. Wykres na rysunku 3 stanowi próbę uogólnienia wyników badań.

by mass, the highest amount of water absorbed by this aggregate may be estimated at about 10% of the total water quantity absorbed by these concretes. This share is caused by the application of the gravel aggregate in concrete containing highly absorbent cement paste, with two w/c ratios namely, 0.50 and 0.60.

As it could be expected, the experimental results show that both cement paste content and its w/c ratio affect concrete absorption. This relations can be described with sufficient precision by linear regression equations. Obviously, absorption rises together with the increase of both factors. For the concretes made of CEM I and CEM II cements, the contribution of both variables (w/c ratio and cement paste content) to predicted absorption is similar. For the concretes produced from CEM III cement, the w/c ratio is a stronger predictor. It is confirmed by the values of the w/c_{β} and Vz_{β} standardised regression coefficients presented in Fig. 2.

The relationships between the absorption of 90-day concretes made of different cements and both factors are similar. This similarity primarily concerns changes in absorption depending on the variable factors analysed. The concretes made with CEM I and CEM II cements exhibit similar absorption in quantitative terms, while the concretes made with CEM III cement exhibit lower absorption in general but the difference compared to the concretes with CEM I and CEM II decreases as the amount of cement paste in concrete increases. The graph in Fig. 3 is an attempt to generalise test results.

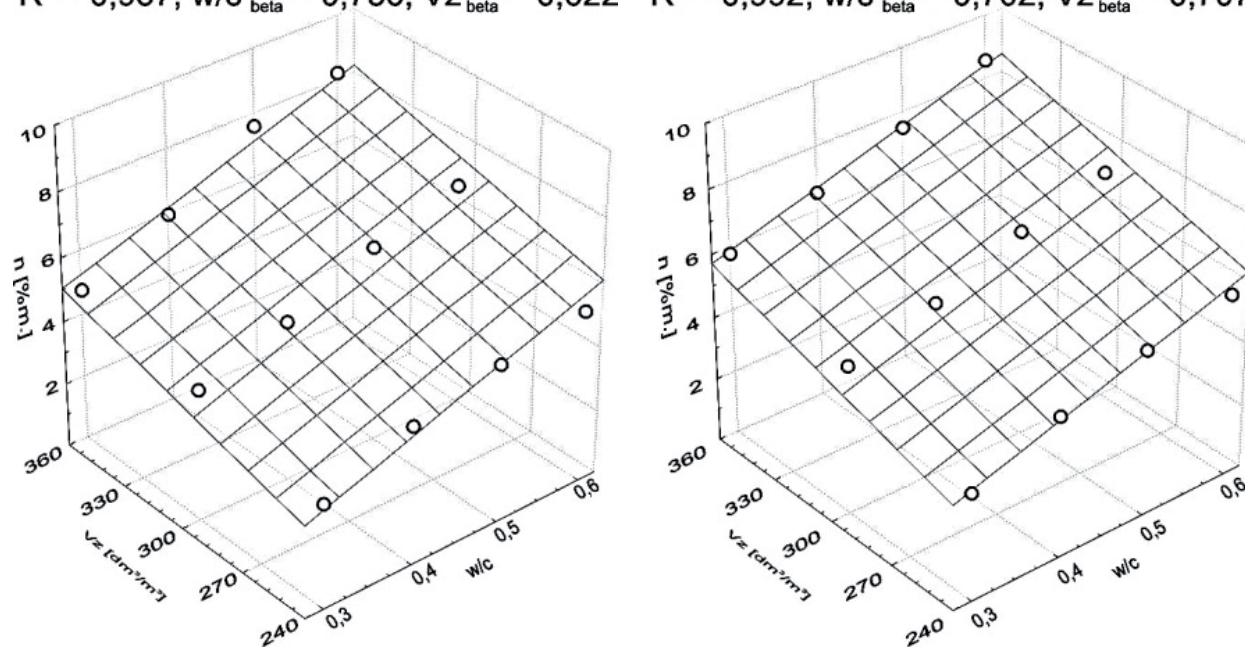
5. Conclusions and summary

On the basis of test results the following conclusions can be drawn:

- 1/ The absorption of cement pastes after 90 days of curing depends only slightly on the type of cement. On the other hand, it exhibits a strong linear relation of the w/c ratio.
- 2/ The variation of cement paste content and of its w/c ratio within the large range from 0.30 to 0.60 causes large changes in the water absorption of 90-day cured concrete, which can reach up to 5% by mass. In the case of the concrete made from CEM I and CEM II cements absorption is in the range of abo-

$$n = -4,010 + 9,449 w/c + 0,0177 Vz \quad n = -3,793 + 8,552 w/c + 0,0197 Vz$$

$$R^2 = 0,957; w/c_{\text{beta}} = 0,756; Vz_{\text{beta}} = 0,622 \quad R^2 = 0,992; w/c_{\text{beta}} = 0,702; Vz_{\text{beta}} = 0,707$$

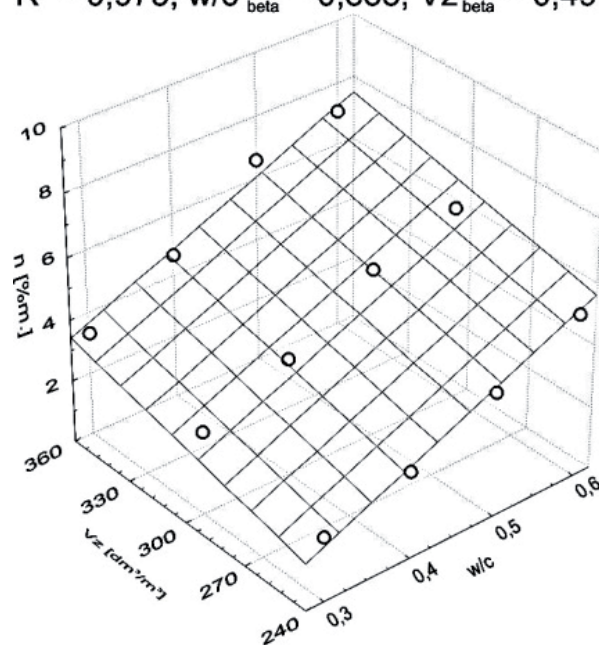


a)

b)

$$n = -5,642 + 12,075 w/c + 0,0157 Vz$$

$$R^2 = 0,975; w/c_{\text{beta}} = 0,858; Vz_{\text{beta}} = 0,490$$



c)

Rys. 2. Zależność nasiąkliwości (n) betonów od zawartości zaczynu (V_z) i wskaźnika w/c : a) beton z CEM I 42,5; b) beton z CEM II/A-V 42,5; c) beton z CEM III/A 42,5

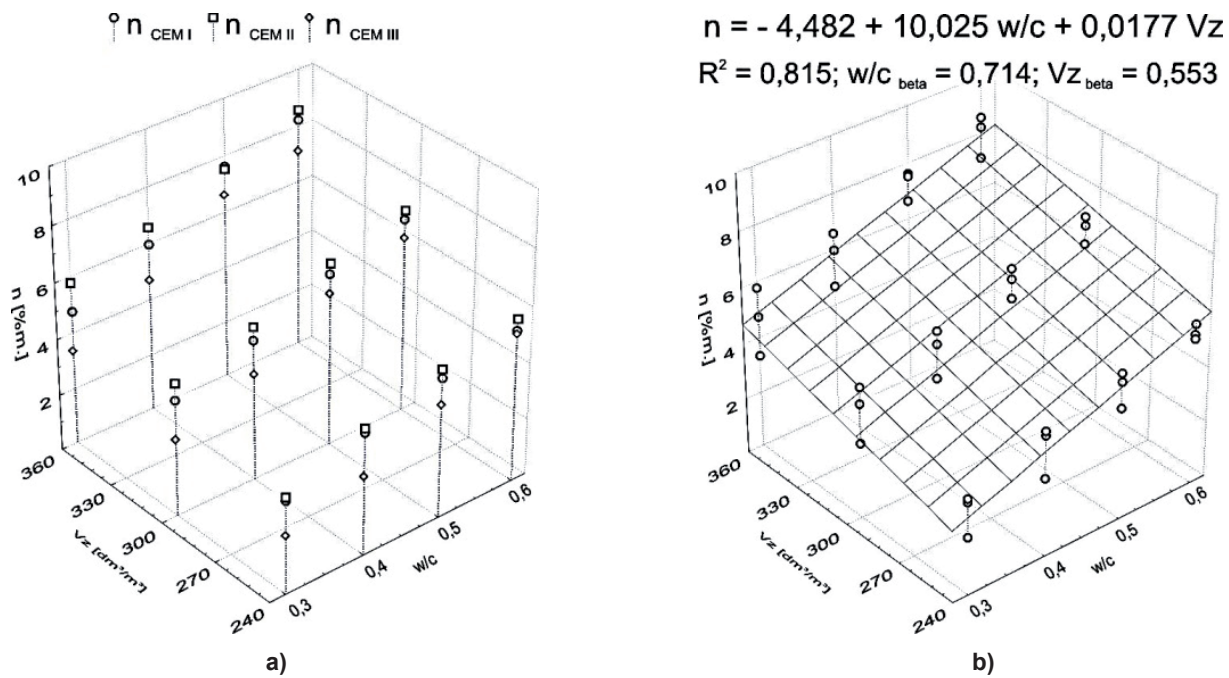
Fig. 2. Water absorption (n) of concrete with different paste content (V_z) and w/c ratio: a) concrete with CEM I 42.5; b) concrete with CEM II/A-V 42.5; c) concrete with CEM III/A 42.5

5. Wnioski i podsumowanie

Przedstawione wyniki badań pozwalają na podjęcie próby sformułowania podanych niżej wniosków i praktycznych spostrzeżeń.

ut 3% to about 8% and for the concretes with CEM III cement from about 2% to about 7% by mass.

- The relative increase in absorption may in general be considered proportional both to the increase in cement paste con-



Rys. 3. Zależność nasiąkliwości (n) wszystkich badanych betonów od zawartości zączynu (V_z) i wskaźnika w/c : wykres zmienności, b) wykres funkcji regresji

Fig. 3. Water absorption (n) of all concretes in relation to the paste content (V_z) and w/c ratio: a) scatter graph, b) regression function graph

- 1) Nasiąkliwość zączynów po 90 dniach dojrzewania jest w niewielkim stopniu zależna od rodzaju cementu, wykazuje ona natomiast liniową zależność od wartości wskaźnika w/c , charakteryzującego zączyn.
 - 2) Zmienność zawartości zączynu oraz charakteryzującego go wskaźnika w/c , w granicach przyjętych w badaniach, powoduje bezwzględne zmiany nasiąkliwości betonów po 90 dniach twardnienia sięgające 5% mas. W przypadku betonów z cementów CEM I i CEM II są to zmiany od około 3 do około 8%, a w przypadku betonów z cementu CEM III od około 2 do około 7% mas.
 - 3) Względny wzrost nasiąkliwości można generalnie uznać za proporcjonalny zarówno do wzrostu zawartości zączynu, jak i wartości wskaźnika w/c . Skala wzrostu wywołanego obydwo-ma czynnikami jest jednak inna.
 - 4) Maksymalne zmiany nasiąkliwości betonu wywołane zmiennością zawartości zączynu w analizowanym zakresie (od 240 do 360 dm^3/m^3) wynoszą około 2%, praktycznie bez względu na wartość wskaźnika w/c . Można więc przyjąć, że wzrost zawartości zączynu na przykład o 20 dm^3/m^3 wywołuje bezwzględny wzrost nasiąkliwości betonu o około 0,3% w przypadku stosowania CEM III/A 42,5 i około 0,4% w przypadku CEM I 42,5 i CEM II/A-V 42,5.
 - 5) Maksymalne zmiany nasiąkliwości betonu wywołane zmiennością wskaźnika w/c w analizowanym zakresie (od 0,30 do 0,60) wynoszą około 3%, praktycznie bez względu na zawartość zączynu w betonie. Można więc przyjąć, że wzrost wskaźnika w/c na przykład o 0,10 powoduje w przypadku betonów
- tent and to the w/c ratio. The range of this increase is, however, very different for these two factors.
- 4) The highest change of concrete absorption caused by the variation of cement paste content within the analysed range (from 240 to 360 dm^3/m^3) amounts to about 2%, irrespectively of the w/c ratio. Therefore it may be assumed that an increase in cement paste content by e.g. 20 dm^3/m^3 causes an increase in concrete absorption by about 0.3% when CEM III/A 42.5 is used and by about 0.4% in the case of CEM I 42.5 and CEM II/A-V 42.5.
 - 5) The highest change in concrete absorption caused by the variation of w/c ratio within the range from 0.30 to 0.60 amounts to about 3%, irrespectively of cement paste content. Therefore, it may be assumed that the rise in the w/c ratio of 0.10 causes an increase in absorption of about 1% for the concrete made from all applied cements.
- It should be underlined that these observations concern the concrete after 90 days of curing and they only remain valid for the concrete whose composition is within the range of variation applied in this study.
- The research presented in this paper was conducted within the framework of the N N506 072138 research project funded by the National Science Centre

Literatura / References

1. E. Anderson, Industrial and engineering chemistry, 17-23, January 1926.
2. G. De Schutter, K. Audenaert, Evaluation of water absorption of concrete

z wszystkich rozpatrywanych cementów bezwzględny wzrost nasiąkliwości o około 1%.

Należy tu podkreślić, iż powyższe wnioski dotyczą betonów po 90 dniach dojrzewania oraz odnoszą się jedynie do betonów, których skład mieści się w objętym badaniami zakresie.

Prezentowane w artykule badania zostały zrealizowane w ramach projektu badawczego N N506 072138 finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki.

as a measure for resistance against carbonation and chloride migration, *Materials and Structures*, 37, 591-596, November 2004.

3. J. Castro, D. Bentz, J. Weiss, Effect of sample conditioning on the water absorption of concrete, *Cem. Concr. Comp.*, 33, 805-813 (2011).

4. J. P. Castro-Gomez, L. A. Pereira de Oliveira, C. N. Gonilho-Pereira, F. M. Pacheco Torga, Discussion of aggregate and concrete water absorption and permeability testing methodology, *Proc. of XXX IAHS World Congress on Housing – Housing construction – an interdisciplinary task*, Coimbra, Portugal 2001.

5. J. M. Khatib, P. S. Mangat, Absorption characteristics of concrete as a function of location relative to casting position, *Cem. Concr. Res.*, 25, 5, 999-1010 (1995).

6. A. Neville, *Właściwości betonu*, Polski Cement, Kraków 2000.

7. A. Golda, S. Kaszuba, Nasiąkliwość betonu - wymagania a metody badawcze, *Cement Wapno Beton*, 6, 308-312 (2009).

8. M. A. Glinicki, Widmo nasiąkliwości, *Budownictwo-Technologie-Architektura*, 3, 50 (2007).

9. Z. Jamróży, *Beton i jego technologie*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2005.

10. S. Kolas, C. Georgiou, *Cem. Concr. Res.*, 27, 211 (2005).

11. W. Kurdowski, *Chemia cementu i betonu*, Wydawnictwo Polski Cement i Wydawnictwo Naukowe PWN 2010.