

Wpływ składu betonów zwykłych i wysokowartościowych na ich wilgotność w umownym stanie powietrzno-suchym

Effect of composition of ordinary and high performance concretes on their moisture level in the conventional air-dry state

Słowa kluczowe: beton, skład, wilgotność, stan powietrzno-suchy

Key words: concrete, composition, humidity, air-dry state

1. Wprowadzenie

Informacji o właściwościach betonu, najczęściej towarzyszą podstawowe dane dotyczące warunków jego dojrzewania oraz wieku w chwili badania. Podstawowe właściwości, a przede wszystkim wytrzymałość, dotyczą zazwyczaj betonu po 28 dniach. Często podawane są także wartości różnych cech betonu po dłuższych okresach przechowywania, na przykład po 90 i 365 dniach. Właściwości w dłuższych terminach często są określane jako cechy materiału znajdującego się w tak zwanym powietrzno-suchym stanie wilgotności. Zazwyczaj nie kontroluje się zawartości wilgoci w betonie. Materiał w stanie powietrzno-suchym formalnie charakteryzuje się tak zwaną wilgotnością równowagową, jaką po dłuższym lub krótszym czasie osiąga on przebywając w otoczeniu o stałej temperaturze i wilgotności.

Stan wilgotnościowy betonu i innych tworzyw cementowych występujący w chwili badania ma mniej lub bardziej istotny wpływ na niemal wszystkie właściwości. Szczególnie czułymi na to właściwościami betonu są między innymi przepuszczalność określana przy przepływie gazu (1), prędkość przepływu ultradźwięków stosowana jako podstawowy parametr w licznych nieniszczących metodach badań (2), rozszerzalność termiczna (3). Stan wilgotnościowy wpływa także na wytrzymałość na ściskanie i rozciąganie tworzyw cementowych (4, 5).

W dalszym ciągu przedstawiono wyniki badań stanu wilgotnościowego próbek obszernej i mocno zróżnicowanej pod względem składu grupy 36 betonów po 90 dniowym okresie przechowywania w zdefiniowanych warunkach. Wyniki te wykazują, że zawartość wilgoci w takich umownych warunkach powietrzno-suchych zależy od składu betonu i w niektórych przypadkach może być dosyć duża. Przedstawione wyniki mają zwrócić uwagę na relatywnie dużą i zmienną w zależności od składu wilgotność betonu, po 90 dniach przechowywania w typowych warunkach. Wyniki te

1. Introduction

Information on the properties of concrete is usually accompanied by basic information on the conditions of its maturation and age, at the time of testing. The basic strength characteristics usually apply to 28-day concrete. Values for various concrete properties after longer curing periods are also often given, e.g. after 90 and 365 days. Properties over longer periods are often referred to as the characteristics of a material in the so-called air-dry state of humidity. The moisture content of concrete is usually not controlled. The material in the air-dry state is formally characterized by the so-called equilibrium humidity, which is achieved after certain time in an environment with constant temperature and humidity.

The moisture content of concrete and other cement materials has a more or less significant effect on almost all properties. The properties of concrete which are particularly sensitive to this effect include permeability, determined for gas flow (1), ultrasonic flow velocity used as the basic parameter in numerous non-destructive testing methods (2), thermal expansion (3). The moisture level also affects the compressive and tensile strength of cementitious materials (4, 5).

The results of the moisture content of samples measurements for a large group of 36 concretes, strongly diversified in terms of composition, after a 90-day period of storage under the defined conditions, are still presented. These results indicate that the moisture content, in such conventional air-dry states, is strongly dependent on the composition of the concrete and in some cases can be quite high. The presented test results are to draw attention to the relatively high and variable humidity of various concrete after 90 days of storage in typical conditions. They can be useful when interpreting the test results of other concrete properties, dependent on its moisture level.

mogą być przydatne podczas interpretacji wyników badań innych właściwości betonu, które zależą od jego stanu wilgotnościowego.

2. Zakres prezentowanych badań

2.1. Właściwości analizowanych betonów

Badaniami objęte zostały trzy grupy betonów wykonanych z trzech różnych, najpopularniej stosowanych cementów: CEM I 42,5; CEM II/A-V 42,5 i CEM III/A 42,5. W każdej grupie rozpatrywano po 12 betonów zróżnicowanych pod względem wskaźnika w/c, betony zwykłe: 0,50 i 0,60; betony wysokowartościowe: 0,30 i 0,40, zawartości zaczynu cementowego – 240, 300 i 360 dm³/m³. Kruszywo do betonów komponowano z piasku rzecznoego 0/2 mm oraz żwirów 2/8 i 8/16 mm – betony zwykłe lub grysów bazaltowych 2/8 i 8/16 mm – betony wysokowartościowe. Jamistość skomponowanych stosów okruszowych wynosiła około 22% objętościowych. Szczegółowe zróżnicowanie składu 36 badanych betonów przedstawiono w tablicy 1.

Betony te, w zależności od składu, po 90 dniach przechowywania w warunkach opisanych dalej, miały wytrzymałość na ściskanie w granicach od 42 do 97 MPa i wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu w granicach od 3 do 6 MPa (6). Ich nasiąkliwość wodą wynosiła od 3 do 9% mas. (7).

2.2. Próbkki, warunki dojrzewania i przechowywania

Badania będące przedmiotem artykułu towarzyszyły badaniom przepuszczalności betonów dla gazu (1). Stąd w prezentowanych badaniach stosowano próbki w postaci plastrów o grubości 50 mm wycinanych z typowych walców 150/300 mm. Należy zwrócić uwagę, że pod względem objętości (0,883 dm³) i modułu powierzchniowego (0,66) próbka ta jest bardzo podobna do próbki sześcienniej 100³ mm (objętość 1,0 dm³, moduł powierzchniowy 0,60). Próbkki walcowe 150/300 mm dojrzewały 28 dni w komorze

2. The scope of the presented study

2.1. Properties of the analyzed concretes

The study covered three groups of concrete made from three different, most widely used cements: CEM I 42.5; CEM II/A-V 42.5 and CEM III/A 42.5. In each group, 12 concretes were analyzed, differentiated in terms of the w/c ratio – ordinary concretes: 0.50 and 0.60; high performance concretes: 0.30 and 0.40 and cement paste content – 240, 300 and 360 dm³/m³. The aggregate for the concretes was composed of 0/2 mm river sand and 2/8 and 8/16 mm gravel, in the case of ordinary concretes, or 2/8 and 8/16 mm basalt – high performance concretes. The voids content of the composed aggregate was approx. 22% by vol. Detailed differentiation of the composition of all 36 tested concretes is presented in Table 1.

Depending on the composition, these concretes, after 90 days of storage under the conditions described below, had the compressive strength from 42 to 97 MPa and bending tensile strength from 3 to 6 MPa (6). Their water absorbability was between 3 and 9% by mas. (7).

2.2. Samples and storage conditions

The measurements described in the paper accompanied the tests of concrete permeability by gas (1). Hence, samples in the form of slices 50 mm in thickness cut from typical 150/300 mm cylinders, were used in the presented tests. It should be noted, that in terms of volume equal 0.883 dm³ and surface module 0.66, this sample is very similar to a 100³ mm cubic sample which has volume 1.0 dm³ and surface module 0.60. The 150/300 mm cylindrical samples were matured for 28 days in a chamber at 20°C and relative air humidity > 90%. Then, slices 150 mm in diameter and 50 mm thick, required for the permeability test, were cut from the cylindrical samples. Three samples of each type prepared in this manner were stored for the following two months in the laboratory hall, under conditions providing for a free exchange of mass

Tablica 1 / Table 1

ZRÓŻNICOWANIE SKŁADU 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

Skład Composition	Betony zwykłe / Ordinary concretes						Betony wysokowartościowe / High performance concretes					
	w/c = 0,50			w/c = 0,60			w/c = 0,30			w/c = 0,40		
V _z [dm ³ /m ³]	240	300	360	240	300	360	240	300	360	240	300	360
C [kg/m ³]	292	365	438	260	325	390	385	482	578	332	415	498
W [dm ³ /m ³]	146	182	219	156	195	234	116	145	173	133	166	199
P [kg/m ³]	546	687	828	546	687	828	540	684	825	540	684	825
K _g [kg/m ³]	żwir (gravel) 2/8 + 8/16 mm			żwir (gravel) 2/8 + 8/16 mm			bazalt (basalt) 2/8 + 8/16 mm			bazalt (basalt) 2/8 + 8/16 mm		
	1440	1146	852	1440	1146	852	1675	1332	992	1675	1332	992
SP	tak/yes					nie/no		tak/yes				

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

Tablica 2 / Table 2

ŚREDNIE WYNIKI BADANIA ZAWARTOŚCI WILGOCI W BETONACH W STANIE POWIETRZNO-SUCHYM

MEAN RESULTS OF MOISTURE CONTENT MEASUREMENTS FOR CONCRETES IN THE AIR-DRY STATE

Beton / Concrete	w/c	Zawartość zaczynu cementowego V_z Cement paste content V_z [dm ³ /m ³]	Zawartość wilgoci mc_{m90} / Moisture content mc_{m90} [%m]		
			CEM I 42,5 R	CEM II/A-V 42,5 R	CEM III/A 42,5 N
Zwykły, kruszywo żwirowe Ordinary, gravel aggregate	0,60	240	2,54	2,83	4,25
		300	3,17	3,48	5,03
		360	3,98	4,31	5,50
	0,50	240	2,74	2,73	3,79
		300	3,38	3,70	4,55
		360	4,14	4,82	5,78
Wysokowar-tościowy, kruszywo bazaltowe HPC, crushed basalt	0,40	240	2,71	2,92	3,76
		300	3,63	3,43	4,31
		360	4,16	4,18	5,18
	0,30	240	2,96	2,72	3,01
		300	3,39	3,31	3,86
		360	3,90	3,82	4,30

w temperaturze 20°C i wilgotności względnej powietrza > 90%. Następnie, z walców tych wycinano wymagane przy badaniu przepuszczalności plastry o średnicy 150 mm i wysokości 50 mm. W dalszym ciągu, po trzy tak przygotowane próbki przechowywano przez kolejne dwa miesiące w hali laboratoryjnej, w warunkach umożliwiających swobodną wymianę masy z otoczeniem. Kontrolne pomiary prowadzone w czasie przechowywania próbek wykazały, iż temperatura wahała się w granicach od 18 do 25°C, a wilgotność względna powietrza zmieniała się w zakresie od 50 do 60%. Próbki ważono raz na tydzień. W zależności od składu betonu pomiary przeprowadzone w ostatnich dwóch lub trzech tygodniach takiego przechowywania wykazały stabilizację masy próbek. Stan próbek po takim przechowywaniu uznano więc jako tak zwany stan powietrzno-suchy, zaś stwierdzoną zawartość wilgoci, jako wilgotność równowagową dla tychże warunków.

2.3. Metody badań

Ocenę wilgotności próbek przeprowadzono porównując masę próbek przed i po suszeniu do stałej masy w temperaturze 105°C. Przeciętnie, stabilizacja masy próbek następowała po okresie od 7 do 12 dni suszenia.

3. Wyniki badań i ich analiza

Szczegółowe wyniki badań przedstawiono w tablicy 2. Każdy z wyników jest średnią arytmetyczną z trzech pomiarów.

Na rysunkach 1-4 przedstawiono określone doświadczalnie zależności zawartości wilgoci w betonach od zawartości zaczynu i wskaźnika w/c. Podano tam liniowe równania regresji wraz z parametrami charakteryzującymi stopień skorelowania zmiennych oraz wartości standaryzowanych współczynników regresji

with the surroundings. Control measurements carried out during the samples storage period showed that the temperature ranged from 18°C to 25°C, and the relative air humidity varied from 50% to 60%. Samples were weighed once a week. Depending on the concrete composition, measurements carried out in the last two or three weeks of such storage showed stabilization of the samples mass. The condition of the subject to after such method of storage was therefore considered to be the so-called air-dry state, and the moisture content – as equilibrium humidity for these conditions.

2.3. Test methods

The humidity of the samples was measured by comparing the weight of the samples before and after drying to a constant weight at 105°C. On average, the mass of the samples were stabilized after 7 to 12 days of drying.

3. Results and discussion

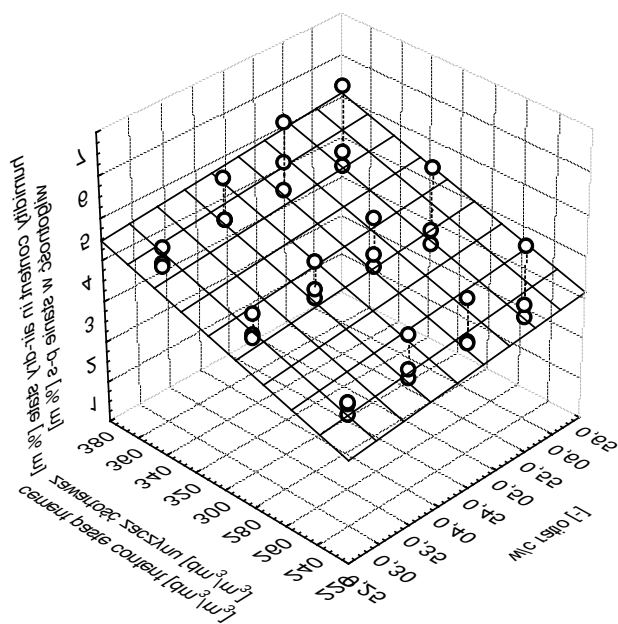
The detailed results of tests are presented in Table 2. Each of the results is an arithmetic mean of three measurements.

Figs. 1-4 show experimentally determined relationships between moisture content in concretes and the cement paste content as well as the w/c ratio. Linear regression equations are provided along with parameters characterizing the degree of correlation of variables and values of w/c_{beta} and $V_{z,\text{beta}}$ standardized regression coefficients, which demonstrate the contribution of both variables, in the prediction of moisture content.

Fig. 1 illustrates the relationship between the moisture content and the cement paste content as well as the w/c ratio for the entire population of the 36 concretes tested. Although the analyzed concretes were made with the use of various coarse aggregates; High

$$mc_{90} = -0,569 + 1,573 w/c + 0,0122 V_z; R^2 = 0,548$$

$$w/c_{\text{beta}} = 0,209 \text{ (nieistotne/negligible); } V_z_{\text{beta}} = 0,710$$



Rys. 1. Zależność wilgotności betonu od wskaźnika w/c i zawartości zaczynu dla wszystkich analizowanych betonów, wykonanych z różnych cementów

Fig. 1. Humidity mc_{90} of concrete vs. w/c ratio and cement paste content for all analyzed concretes made from various cements

w/c_{beta} i V_z_{beta} , które podają wkład, jaki wnoszą obydwie zmienne w predykcję zawartości wilgoci.

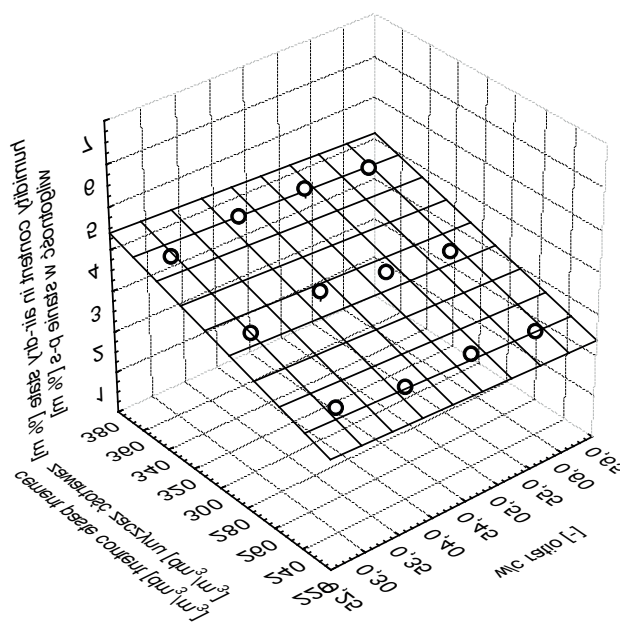
Rysunek 1 ilustruje zależność zawartości wilgoci we wszystkich betonach od zawartości zaczynu i wskaźnika w/c dla całej populacji badanych 36 betonów.

Mimo, iż analizowane betony wykonywane były z udziałem różnych kruszyw grubych (betony wysokowartościowe o $w/c = 0,30$ i $0,40$ z kruszywem bazaltowym, a betony zwykłe o $w/c = 0,50$ i $0,60$ z kruszywem żwirowym) analizę przeprowadzono dla nich wspólnie. Przyjęto upraszczające założenie, iż rodzaj kruszywa grubego (bazalt i żwir) nie wywiera znaczącego wpływu na globalną wilgotność betonu. Założenie to jest uzasadnione, bowiem nasiąkliwość tych kruszyw, a więc i wilgotność w danych warunkach otoczenia, jest bardzo mała w stosunku do nasiąkliwości zaczynu. O ile bowiem nasiąkliwość kruszywa bazaltowego i żwirowego wynosi odpowiednio około $0,15$ i $1,0$ % mas., o tyle nasiąkliwość zaczynu (7) zawiera się w granicach od $17,4$ %m (zaczyn z cementu CEM III o $w/c = 0,30$) do $35,3$ %m (zaczyn z cementu CEM II o $w/c = 0,60$).

Biorąc pod uwagę, że analizowano łącznie betony z trzech różnych cementów, badana wilgotność jest niezbyt mocno skorelowana ze wskaźnikiem w/c i zawartością zaczynu w betonie – $R^2 = 0,548$. Na wilgotność w sposób statystycznie istotny wpływa przede wszystkim zawartość zaczynu. Wpływ stosunku w/c okazał się niewielki i statystycznie nieistotny.

$$mc_{90 \text{ CEM I}} = 0,411 - 0,640 w/c + 0,0109 V_z; R^2 = 0,950$$

$$w/c_{\text{beta}} = -0,13 \text{ (nieistotne/negligible); } V_z_{\text{beta}} = 0,966$$



Rys. 2. Zawartość wilgoci mc_{90} betonu z cementu CEM I w funkcji stosunku w/c i zawartości zaczynu cementowego

Fig. 2. Humidity mc_{90} of concrete from cement CEM I vs. w/c ratio and cement paste content

Performance concretes $w/c = 0,30$ and $0,40$ with basalt aggregate, and ordinary concretes $w/c = 0,50$ and $0,60$ with gravel aggregate, the analysis was carried out jointly for both types. A simplifying assumption was made, that the type of coarse aggregate – basalt and gravel, does not have a significant impact on the global moisture level of concrete. This assumption is justified as the absorbability of these aggregates, and thus humidity in given ambient conditions, is very low in relation to the absorbability of the cement paste. While the absorbability of basalt and gravel aggregate is about $0,15$ % and $1,0$ % by mass respectively, the absorbability of the cement paste (7) is in the range from $17,4$ % by mass – cement paste from CEM III and $w/c = 0,30$, up to $35,3$ % by mass for cement paste of CEM II and $w/c = 0,60$.

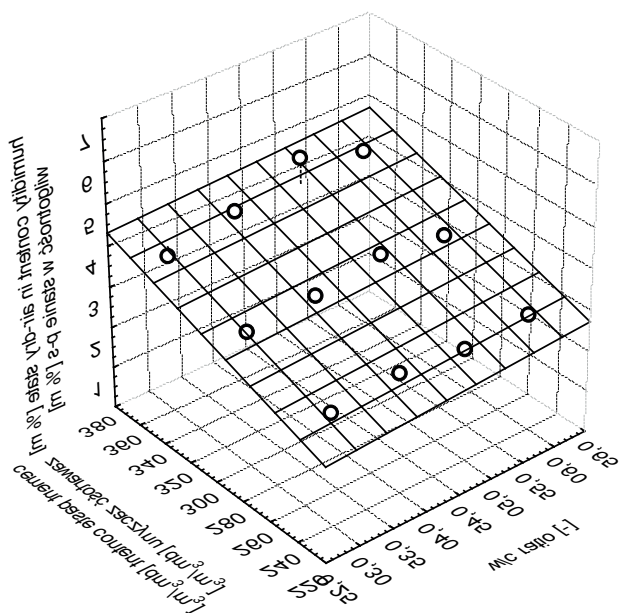
Taking into account that the analysis includes concretes made with three different cements, the measured moisture content is rather weakly correlated with the w/c ratio and the cement paste content in concrete – $R^2 = 0,548$. The moisture content is statistically significantly affected primarily by cement paste content. The effect of the value of the w/c ratio seems to be low and statistically insignificant.

Figs. 2-4 show the results of similar analyses, however, carried out separately for concretes made using three different cements. As can be seen, the distinction of concretes by the type of cement used means that the correlation of moisture content with two variable factors is very strong – $R^2 = 0,905$ to $0,958$.

In all cases, the relatively high moisture content of concretes in the conventional air-dry state is noteworthy. Depending on the compo-

$$mc_{90} \text{ CEM II} = 0,640 + 1,010 w/c + 0,0124 V_z; R^2 = 0,905$$

$$w/c_{\text{beta}} = 0,174 \text{ (nieistotne/negligible); } V_{z_{\text{beta}}} = 0,935$$



Rys. 3. Wilgotność mc_{90} betonu z cementu CEM II w funkcji stosunku w/c i zawartości zaczynu cementowego

Fig. 3. Humidity mc_{90} of concrete from cement CEM II vs. w/c ratio and cement paste content

Na kolejnych rysunkach 2-4 przedstawiono wyniki podobnych analiz, lecz przeprowadzone oddzielnie dla betonów wykonanych z trzech różnych cementów. Jak widać, rozróżnienie betonów według rodzaju zastosowanego cementu powoduje, iż skorelowanie zawartości wilgoci z dwoma zmiennymi jest bardzo mocne bowiem $R^2 = 0,905$ do $0,958$.

We wszystkich przypadkach zwraca uwagę relatywnie duża zawartość wilgoci w betonach, w umownym stanie powietrzno-suchym. W zależności od składu betonu zawiera się ona w przedziale od ok. 2,5 do blisko 6% mas. i jest niemal porównywalna z ich nasiąkliwością, która wynosi od 2,8 do 8,2% mas. (3). Należy podkreślić, że próbki miały małą objętość ($0,883 \text{ dm}^3$) i relatywnie duży moduł powierzchniowy ($0,66$). Takie cechy geometryczne badanych próbek powinny ułatwiać wysychanie, zawartej w nich wilgoci.

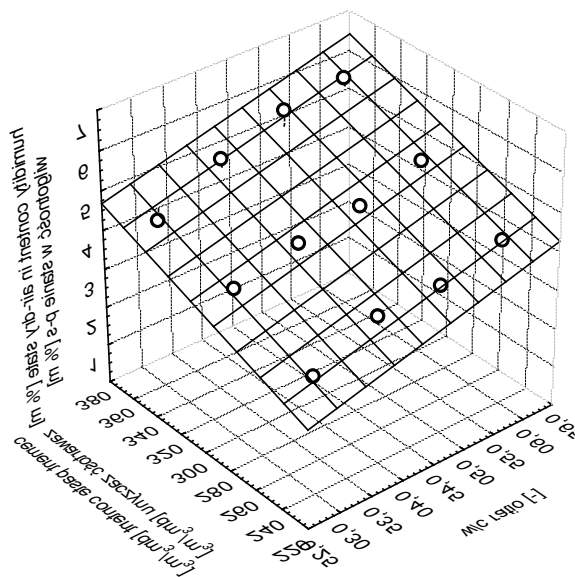
Zawartość wilgoci w betonach z cementów CEM I i CEM II (rysunki 2 i 3) jest podobna i zawiera się w granicach od około 2,5 do około 4,5% m. W obydwu przypadkach zależy ona w większym stopniu od zawartości zaczynu. Wpływ wartości wskaźnika w/c jest niewielki i statystycznie nieistotny.

Największą zawartość wilgoci w stanie powietrzno-suchym mają betony z cementu CEM III (rysunek 4). Waha się ona od około 3% mas. do około 5,5% mas. i w sposób wyraźny zależy zarówno od w/c, jak i od zawartości zaczynu.

Stwierdzone zróżnicowanie wynika zapewne z faktu, iż zaczyny z cementów hutniczych mają większą szczelność (8), która

$$mc_{90} \text{ CEM III} = - 1,477 + 4,350 w/c + 0,0133 V_z; R^2 = 0,958$$

$$w/c_{\text{beta}} = 0,585; V_{z_{\text{beta}}} = 0,785$$



Rys. 4. Zależność wilgotności betonu z cementu CEM III od wskaźnika w/c i zawartości zaczynu

Fig. 4. Humidity mc_{90} of concrete from cement CEM III vs. w/c ratio and cement paste content

sition of the concrete, it is in the range of about 2.5 to nearly 6% by mass and is almost comparable with their water absorbability, from 2.8 to 8.2% by mass (3). It should be emphasized that the samples were of a small volume equal 0.883 dm^3 and a relatively large surface modulus = 0.66 . Such geometric characteristics of the tested samples should facilitate the drying of the contained moisture.

The moisture content of concretes from CEM I and CEM II cements, Figs. 2 and 3, is similar and ranges from about 2.5% by mass to about 4.5% by mass. In both cases, it depends to a greater degree on the cement paste content. The effect of the w/c ratio is low and statistically insignificant.

Concretes from cement CEM III have the highest moisture content in the air-dry state – Fig. 4. It ranges from about 3% by mass. to about 5.5% by mass and clearly depends on both, w/c ratio and the cement paste content.

The demonstrated diversification probably results from the different properties of hardened cement pastes from blastfurnace slag cements CEM III, which have a higher tightness and lower permeability (8). It is hindering the exchange of moisture with the environment, under normal conditions.

Fig. 5 shows the results of similar tests carried out for High Performance concretes with a w/c = 0.30 , with basalt aggregate and the addition of silica fume. It should be underlined that the concrete with cement paste content = $240 \text{ dm}^3/\text{m}^3$ and addition of silica fume could not be made.

utrudnia wymianę wilgoci z otoczeniem, w warunkach normalnych.

Na rysunku 5 przedstawiono wyniki podobnych badań przeprowadzonych dla betonów wysokowartościowych o wskaźniku $w/c = 0,30$, z kruszywem bazaltowym i dodatkiem pyłu krzemionkowego. Należy podkreślić, że betonów z zaczynem w ilości $240 \text{ dm}^3/\text{m}^3$ i dodatkiem pyłu krzemionkowego nie udało się wykonać.

Jak widać, uszczelniający efekt dodatku pyłu krzemionkowego, utrudniając wymianę masy z otoczeniem powoduje, że zawartość wilgoci w 90 dniowych betonach jest każdorazowo nieco większa niż w podobnych betonach, lecz bez tego dodatku.

4. Wnioski

Przedstawione wyniki badań obszernej i mocno zróżnicowanej pod względem składu grupy betonów zwykłych i wysokowartościowych, pozwalają na sformułowanie kilku wniosków i spostrzeżeń. Należy podkreślić, że zachowują one ważność jedynie w odniesieniu do próbek betonowych o podobnej geometrii oraz do warunków przechowywania podobnych do stosowanych podczas relacjonowanych tu badań.

1/ Wilgotność próbek betonowych ustabilizowana po 90 dniowym przechowywaniu w typowych, opisanych wcześniej warunkach zależy od składu betonu. Wilgotność ta w zależności od składu może osiągać wartości od około 2,5 do około 5,5% mas.

2/ Na wilgotność tą w różnym stopniu wpływa zarówno rodzaj zastosowanego cementu, jak i wskaźnik w/c oraz zawartość zaczynu w betonie.

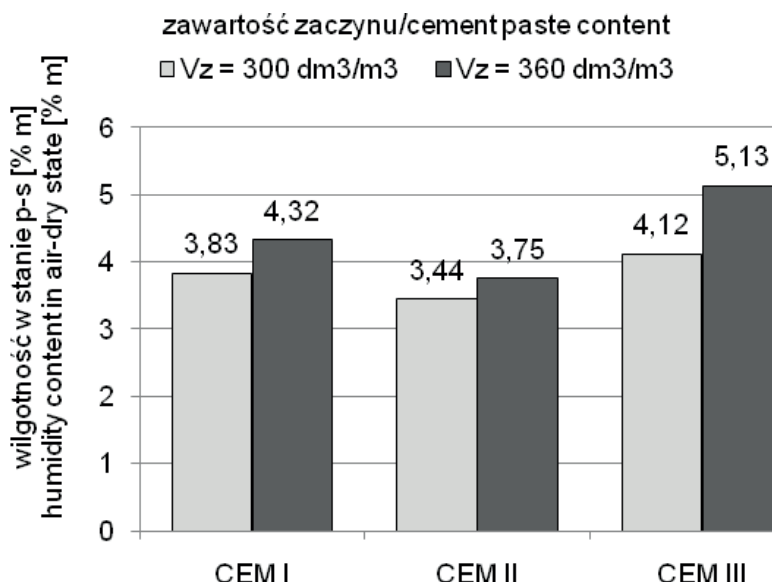
3/ W przypadku próbek z betonów wykonanych z cementów CEM I i CEM II ich wilgotność okazała się podobna (od około 2,5 do około 4,0% mas). Dominujący na nią wpływ wywarła zawartość zaczynu. Wpływ wskaźnika w/c okazał się bardzo niewielki i statystycznie nieistotny.

4/ W przypadku próbek z betonów wykonanych z cementu CEM III ich wilgotność jest największa i zawiera się w granicach od około 4 do około 5,5 % mas. Wilgotność ta zależy w równej mierze od wskaźnika w/c , jak i od zawartości zaczynu.

5/ Przedstawione zróżnicowanie wilgotności próbek betonowych jest związane przede wszystkim z różnicami w mikroporowatości i szczelności stwardniałych zaczynów cementowych. W przeciwieństwie do zaczynów z cementów CEM I i CEM II, zaczyny z cementu hutniczego CEM III, jako bardziej szczelne, utrudniają migrację wilgoci do otoczenia.

Literatura / References

1. T. Tracz T., J. Śliwiński, Wpływ stanu wilgotnościowego betonu na jego przepuszczalność, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. Budownictwo i Inżynieria Środowiska, 2012, z. 59, nr 3/III, 267-274.



Rys. 5. Zawartość wilgoci typowa dla powietrzno-suchych warunków betonów wykonanych z różnych cementów o stosunku $w/c = 0,30$ i z dodatkiem pyłu krzemionkowego

Fig. 5. Moisture content typical for the air-dry state concretes made from various cements with $w/c = 0.30$ and with the addition of silica fume

As can be seen, the sealing effect of the addition of silica fume, hindering the exchange of mass with the environment and is resulting in a somewhat higher moisture content in 90-days concretes compared to similar concretes, but without this addition.

4. Conclusions

The presented test results of the extensive and highly diversified group of ordinary and High Performance concretes allow for the formulation of several conclusions and observations. It should be underlined that they are valid only for concrete samples with similar geometry and storage conditions, similar to those used during the measurements reported in this paper.

1 / The moisture content of concrete samples stabilized after 90 days of storage under typical, previously described conditions, depends on the composition of the concrete. Depending on the composition, this humidity can reach values from about 2.5% to about 5.5% by mass.

2 / This humidity is affected to a different degree by both the type of cement used, as well as the w/c ratio and the cement paste content in the concrete.

3 / In the case of samples of concretes made from CEM I and CEM II cements, their humidity proved to be similar – from approx. 2.5% to about 4.0% by mass. The cement paste content had a dominant effect in this case. The effect of the w/c ratio turned out to be very low and statistically insignificant.

4 / In the case of samples of concretes made from cement CEM III, their moisture content is the highest and ranges from about 4% to about 5.5% by mass. This humidity depends equally of the w/c ratio and on the cement paste content.

2. U. Lencis, A. Udris, A. Korjamins, Moisture effect on the ultrasonic pulse velocity in concrete cured under normal conditions and at elevated temperature, *Construction Science*, 14/2013, 71-78
 3. A. Al-Ostaz, Effect of moisture content on the coefficient of thermal expansion of concrete, Final Report, University of Mississippi, 2007
 4. X. Chen, W. Huang, J. Zhou, Effect of moisture content on compressive and split tensile strength of concrete, *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*, vol.19, 2012, 427-435
 5. J. Zhou, X. Chen, L. Wu, X. Kan, Influence of free water content on the compressive mechanical behaviour of cement mortar under high strain rate, *Sadhānā, Indian Academy of Sciences*, vol. 36, part 3, June 2011, pp. 357–369
 6. J. Śliwiński, T. Tracz, Cement paste content as the factor influencing on compressive and splitting tensile strength of concrete, Zawartość zączynu cementowego jako czynnik wpływający na wytrzymałość betonu na ściskanie i rozciąganie przy rozłupywaniu, *Cement Wapno Beton*, 6/2013, 353-361.
 7. T. Tracz, J. Śliwiński, Effect of cement paste content and w/c ratio on concrete water absorption, Wpływ zawartości zączynu cementowego i wskaźnika w/c na nasiąkliwość betonu wodą, 3/2012, 131-137.
 8. W. Kurdowski, *Chemia cementu i betonu*, Polski Cement i Wydawnictwo Naukowe PWN, Kraków, 2010
- 5/ The presented diversity of the moisture level in concrete samples is primarily associated with differences in the microporosity and tightness of hardened cement pastes. In contrast to the cement pastes of CEM I and CEM II cements, the pastes from slag cement CEM III, as more tight and less permeable, hinder the migration of moisture into the environment.