

Sorpcyjność betonu zwykłego i wysokowartościowego

Sorptivity of normal and high performance concrete

1. Wprowadzenie

Trwałość porowatych mineralnych materiałów budowlanych w bardzo dużym, o ile nie decydującym, stopniu zależy od łatwości z jaką do ich wnętrza mogą wnikać ciecze i gazy z otaczającego środowiska. Najczęściej medium tym jest woda, a właściwie wodne roztwory różnych substancji, w tym mogących powodować wystąpienie procesów korozyjnych. Do cech tych należą przede wszystkim: przepuszczalność, nasiąkliwość i związana z nimi tytułowa sorpcyjność. Wszystkie te cechy opisują zdolność materiału do transportu mediów środowiskowych. Ponieważ znajomość tych cech pozwala na szacowanie i porównywanie potencjalnej trwałości materiałów, cieszą się one w ostatnich latach dużym zainteresowaniem badaczy (1-4).

2. Cel i zakres badań

Celem prezentowanych badań było określenie sorpcyjności analizowanych betonów oraz porównanie jej z innymi, określonymi wcześniej w pracy (7) cechami opisującymi ich zdolność transportową. Badania te stanowią kontynuację i uzupełnienie obszernych badań dotyczących wpływu rodzaju cementu na przepuszczalność betonów wysokowartościowych, będących przedmiotem pracy (7).

Zakresem swym badania objęły ocenę tzw. nasiąkliwości powierzchniowej i na jej podstawie sorpcyjności, pięciu betonów wysokowartościowych wykonanych z różnych cementów (CEM I 42,5; CEM III/A-D 42,5; CEM II/B-S 42,4; CEM II/B-V 32,5 i CEM III/42,5) oraz jednego, produkowanego przemysłowo, betonu zwykłego z cementu CEM III/A 32,5. Wszystkie badania dotyczyły betonów w wieku 90 dni.

3. Charakterystyka badanych betonów i ciał próbnych

3.1. Skład i właściwości badanych betonów

Skład i podstawowe charakterystyki mieszanek betonowych podane zostały w tablicach 1 i 2, zaś wybrane właściwości wykonanych

1. Introduction

Durability of porous mineral building materials strongly depends upon their permeability both towards the gaseous and liquid media. Water and water solutions infiltrate concrete most frequently, and therefore the corrosion process can be induced. Permeability, absorbability and sorptivity values give the possibility to evaluate the transportation behavior of material. Further on the durability can be predicted potentially and that is why these features are the subject of numerous investigations (1-4).

2. Targets and scale of experiments

The studies aimed in the determination of sorptivity of analyzed concretes on the background of the other parameters found in the previous work (7). The results presented in this work are the further step of the project in which the permeability of high performance concretes as a function of the type of cement used in concrete production was investigated (7).

The so-called surface absorbability measurements and, as a consequence, sorptivity determination were done for five high performance concretes produced from different cements (CEM I 42,5; CEM II/A-D 42,5; CEM II/B-S 42,4; CEM II/B-V 32,5 i CEM III/42,5), as well as for the one commercial normal concrete produced from CEM III/A 32,5. Concrete samples were cured for 90 days.

3. Properties of initial components and concretes

3.1. Composition and properties of concretes

Composition and some basic properties of concrete mixtures are given in Tables 1 and 2. The properties of hardened materials are shown in Table 3. These data were taken from report (7).

3.2. Sample preparation

Sorptivity was measured on cylindrical samples with diameter 150 mm and height 50 mm. These samples were used in previous

z nich betonów stwardniałych w tablicach 3. Dane te pochodzą z pracy (7).

3.2. Próbkki i ich przygotowanie

Do badania sorpcyjności stosowano próbki walcowe o średnicy 150 mm i wysokości 50 mm. Próbkki te używano wcześniej (7) do pomiaru przepuszczalności betonu metodą RILEM-Cembureau (6). Próbkki wycinane były ze środkowej części wysokości standardowych próbek walcowych 150/300 mm. We wszystkich przypadkach badaniom podlegały betony po 90 dniach dojrzewania. Wszystkie próbki przed badaniem przepuszczalności i sorpcyjności poddawane były suszeniu do stałej masy w temperaturze +105°C.

4. Pomiar nasiąkliwości powierzchniowej i wyznaczenie sorpcyjności

Sorpcyjność, rozumiana jest jako cecha wyrażająca szybkość wnikania w beton wody pod ciśnieniem atmosferycznym, spowodowanego działaniem sił kapilarnych powstających w porach materiału o zwilżalnym szkielecie mineralnym. Oceny jej dokonywać można na podstawie pomiaru zmian wysokości podciągania kapilarnego albo na podstawie pomiaru zmiany masy próbek materiału (nasiąkliwości powierzchniowej).

Między wysokością podnoszenia kapilarnego lub nasiąkliwością powierzchniową i sorpcyjnością istnieje podobna zależność (5):

$$H = S\sqrt{t} \text{ lub } NP = S\sqrt{t}$$

gdzie: H – wysokość podciągania kapilarnego, mm,

NP – nasiąkliwość powierzchniowa, g/cm²,

t – czas, h,

S – sorpcyjność, mm/√h lub g/cm²√h .

W prezentowanych badaniach sorpcyjność określana była na podstawie pomiarów zmian masy próbek walcowych o średnicy 150 i wysokości 50 mm, stykających się jedną z powierzchni (176,6 cm²) z wodą. W badaniach każdy z betonów reprezentowany był przez 3 próbki.

Próbki umieszczano w wypełnionych wodą kuwetach w ten sposób, że jedną z powierzchni stykały się one z lustrem wody. Sukcesywne pomiary masy wykonywano na wadze o dokładności ± 0,1 g. Przed ważeniem mokrą powierzchnię próbek starannie wycierano. Dalsze badania obejmowały nasiąkliwość powierzchniową wyrażoną jako masa wody w gramach absorbowana przez 1 cm² powierzchni styku próbki z wodą (176,6 cm²).

Sorpcyjność, zwaną także współczynnikiem nasiąkliwości powierzchniowej, określano jako wartość współczynnika kierunkowego prostej, opisującej zależność nasiąkliwości powierzchniowej od pierwiastka z czasu.

Mikroporowatość zapraw oddzielonych od wysuszonych do stałej masy betonów wysokowartościowych i betonu zwykłego, określono metodą porozymetrii rtęciowej. Wyniki przedstawiono na rysunku 1.

studies (7) in the RILEM-Cembureau permeability tests (6). The cylinders were cut from the middle parts of standard 150/300 mm cylinders. All tests were performed on 90 days cured concretes. Before permeability and sorptivity determination, the samples were dried to the constant mass at temperature +105°C.

4. Surface absorbability measurements and sorptivity determination

Sorptivity is defined as a feature characterizing the rate of water infiltration inside concrete material at atmospheric pressure, due to the capillary forces in the pores generated in mineral matrix wetted by water. Sorptivity can be evaluated by measurements of capillary suction or basing on the change of mass resulting from water sorption (surface absorbability). There is a similar relation between the height of capillary suction or absorbability and sorptivity (5):

$$H = S\sqrt{t} \text{ or } NP = S\sqrt{t}$$

where: H - height of capillary suction, mm,

NP - surface absorbability, g/cm²,

t - time, h,

S - sorbtivity, mm/√h or g/cm²√h .

In this study sorptivity was determined taking into account the change of mass for cylindrical samples with diameter 150 mm and height 50 mm, touching the surface of water with one basic wall (176,6 cm² surface). The three different samples from each concrete mixture were tested.

The samples were placed in the cuvettes filled with water; one bottom wall was in the contact with water. Subsequently, the mass of samples was measured with accuracy of ± 0,1 g. The samples were carefully dried before weighting. As a further step, the surface absorbability was determined. This was defined as the mass of water (in grams) absorbed on 1 cm² surface being in contact with water.

The sorptivity, known also as the surface absorbability coefficient, was found from the slope of the straight line, showing the relation between the surface absorbability and square root of time.

The porosity of mortars, separated from high performance concrete samples dried to the constant mass, was measured by mercury porosimetry. The results are presented in Figure 1.

5. Results and discussion

5.1. Surface absorbability and sorptivity

In Figure 2 the curves illustrating the course of absorbability changes vs. time are plotted. For better readability in Figure 3 the changes of surface absorbability for the high performance concretes are presented. In Figures 4 and 5 the linear dependence between the surface absorbability and square root of time is shown.

Tablica 1 / Table 1

SKŁADY BETONÓW WYSOKOWARTOŚCIOWYCH (7)
COMPOSITION OF CONCRETE MIXTURES (7)

Oznaczenie betonu, rodzaj cementu Type of cement	Jednostka Unity	CEM I 42,5	CEM III/A 42,5	CEM II/A-D 42,5	CEM II/B-V 32,5	CEM II/B-S 42,5
Rodzaj składnika Component						
Cement		450				
Woda/Water		135 (uwzględniono wodę wprowadzoną z superplastyfikatorem)/ (including water with superplasticizer)				
Piasek/Sand 0/2 mm	kg/m ³	631				
Grys bazaltowy/ Basalt grit 2/8 mm		727				
Grys bazaltowy/ Basalt grit 8/16 mm		727				
Superplastyfikator/ Superplasticizer	% mc	1,75	1,10	1,50	1,35	1,10
	kg/m ³	7,88	4,95	6,14	6,08	4,95
Dane uzupełniające/ Supplementary data						
Wskaźnik wodno-cementowy Water/cement ratio	-	0,30				
Zawartość zacczynu Paste content	dm ³ /m ³	282				
Zawartość zaprawy Mortar content	dm ³ /m ³	520				
Właściwości mieszanki/ Properties of concrete mixture						
Opad stożka Slump	mm	92	142	120	152	112
Zawartość powietrza Air content	% obj. % volume	1,8	1,0	1,2	0,8	0,8

Tablica 2 / Table 2

SKŁAD BETONU ZWYKŁEGO ^{*)} KLASY C30/37 (7)
COMPOSITION OF NORMAL CONCRETE ^{*)} CLASS C30/37 (7)

Rodzaj składnika Component	Jednostka Unity	Zawartość Content
Cement CEM III/A 32,5	kg/m ³	350
Woda / Water		151
Piasek / Sand 0/2 mm		685
Żwir / Gravel 2/8 mm		565
Żwir / Gravel 8/16 mm		640
Superplastyfikator / Superplasticizer		4,20
Dane uzupełniające / Supplementary data		
Wskaźnik wodno-cementowy Water/cement ratio	-	0,43
Zawartość zacczynu / Paste content	dm ³ /m ³	264
Zawartość zaprawy / Mortar content	dm ³ /m ³	522
Właściwości mieszanki / Properties of concrete mixture		
Opad stożka/ Slump	Mm	80
Zawartość powietrza/ Air content	%obj. % volume	1,2

^{*)} mieszanka betonowa pochodziła z jednej z przemysłowych wytwórni betonu; receptura producenta

^{*)} commercial concrete mixture; producer's recipe

The maximum absorbability of normal concrete (Fig. 2), 0,33 g/cm² is about 4 to 5,5 times higher than the surface absorbability of high performance concrete. The values for HPC are placed in a narrow range from ca. 0,06 to ca. 0,09 g/cm², depending on the type of cement. One can notice that in case of normal concrete the surface absorbability value stabilizes after 14 days (ca. 330 hours) (Fig. 2), while for HPC the surface absorbability grows slowly but steadily until the 21 days (the end of experiment).

The course of surface absorbability changes vs. time (R² = 0,98) for normal concrete is fairly well given by the following formula:

$$NP = 0,014 + 0,016 \sqrt{t}$$

Its sorptivity is therefore 0,016 g/cm²√h .

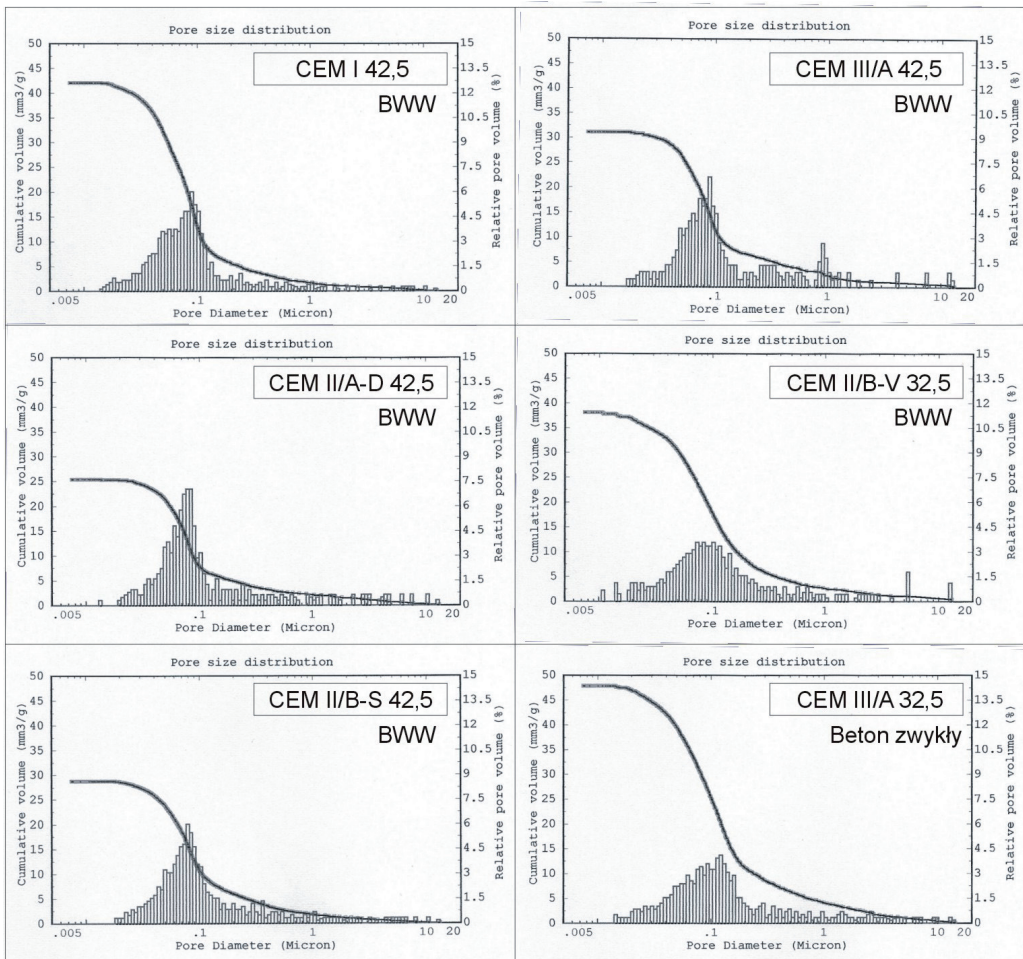
Differentiation of surface absorbability for high performance concretes produced from different cements is negligible (Fig. 3). The highest value (0,09 g/cm²) was found in case of the concrete produced using CEM II/B-S 42,5, while the lowest (0,06 g/cm²) – for concrete with CEM III/A 42,5. Consequently, their sorptivity varies in a similar way within the range from 0,0021 to 0,0032 g/cm²√h (Fig. 5). The CEM II/B-S 42,5 based concrete significantly declines from the others. Owing to the small differences between the sorptivities of HPC, it is possible to analyze this feature for all HPC together (see Fig. 4) taking into account the following formula:

5. Wyniki badań i ich analiza

5.1. Nasiąkliwość powierzchniowa i sorpcyjność

Na rysunku 2 przedstawiono krzywe ilustrujące przebieg zmian nasiąkliwości powierzchniowej wszystkich betonów w czasie. Dla zwiększenia czytelności wykresów na rysunku 3 pokazano oddzielnie zmiany nasiąkliwości powierzchniowej dla betonów wysokowartościowych. Rysunki 4 i 5 przedstawiają liniową zależność nasiąkliwości powierzchniowej badanych betonów od pierwiastka z czasu.

Maksymalna nasiąkliwość powierzchniowa betonu zwykłego (rys. 2), wynosząca 0,33 g/cm² jest od około 4 do 5,5 razy większa od nasiąkliwości powierzchniowej betonów wysokowartościowych, która w zależności od rodzaju użytego cementu mieści się w wąskim zakresie od około 0,06 do około 0,09 g/cm². Zauważyć można, że w przypadku betonu zwykłego wartość nasiąkliwości



Rys. 1. Rozkład porów w zaprawach oddzielonych od badanych betonów po 90 dniach dojrzewania (8)

Fig. 1. Distribution of pores in the mortars separated from concretes after 90 days curing (8)

powierzchniowej stabilizuje się po 14 dniach (około 330 godzin) (rys. 2), podczas gdy betony wysokowartościowe do końca badania (21 dni) wykazywały, wprawdzie niewielki, lecz jednak systematyczny jej wzrost.

Dla betonu zwykłego zależność nasiąkliwości powierzchniowej od czasu wystarczająco wierne ($R^2 = 0,98$) opisuje równanie:

$$NP = 0,014 + 0,016 \sqrt{t}$$

Jego sorpcyjność wynosi więc $0,016 \text{ g/cm}^2 \sqrt{h}$.

Zróżnicowanie nasiąkliwości powierzchniowej betonów wysokowartościowych wykonanych z różnych cementów jest niewielkie (rys. 3). Największą ($0,09 \text{ g/cm}^2$) wykazał beton wykonany z cementu CEM II/B-S 42,5, a najmniejszą ($0,06 \text{ g/cm}^2$) beton z cementu CEM III/A 42,5. W efekcie w podobny sposób zróżnicowana jest ich sorpcyjność, której wartości mieszczą się w granicach od $0,0021$ do $0,0032 \text{ g/cm}^2 \sqrt{h}$ (rys. 5). Najbardziej odbiegający także i pod tym względem od pozostałych jest beton z cementu CEM II/B-S 42,5. Dzięki wspomnianemu, nie-

Tablica 3 / Table 3

WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI BETONÓW STWARDNIAŁYCH (7)
PROPERTIES OF HARDENED CONCRETE (7)

Beton z cementu Concrete from cement	Średnia wytrzymałość na ściskanie $f_{cm,cyl}$, MPa Compressive strength – mean value $f_{cm,cyl}$, MPa		Nasiąkliwość po 90 dniach dojrzewania, % Absorbability after 90 days curing, %m	Przepuszczalność po 90 dniach dojrzewania, m^2 Permeability after 90 days curing, m^2	Całkowita porowatość zaprawy (porozymetria rtęciowa), mm^3/g Total porosity of mortar (by mercury porosimeter), m^3/g
	po 28 dniach after 28 days	po 90 dniach after 90 days			
CEM I 42,5	76,8	86,1	2,95	$3,323 \times 10^{-17}$	42
CEM III/A 42,5	76,7	89,1	3,20	$3,212 \times 10^{-17}$	31
CEM II/A-D 42,5	81,9	95,2	2,90	$2,723 \times 10^{-17}$	25
CEM II/B-V 32,5	70,3	79,8	3,85	$10,10 \times 10^{-17}$	38
CEM II/B-S 42,5	82,0	93,1	2,90	$4,121 \times 10^{-17}$	29
CEM III/A 32,5 (beton zwykły) (normal concrete)	38,3	45,9	5,44	$22,88 \times 10^{-17}$	48

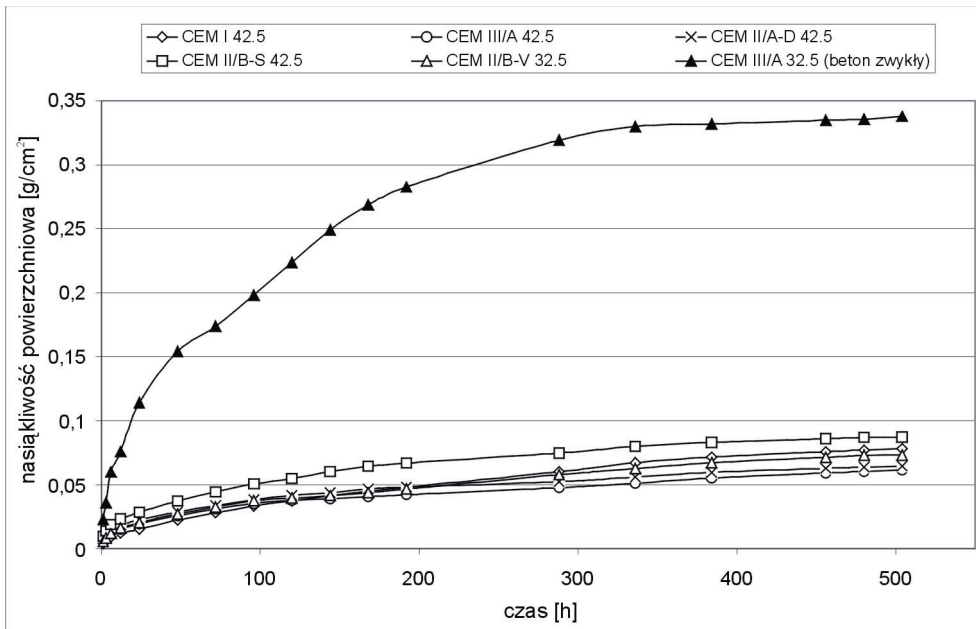
$$NP = 0,0037 + 0,0025 \sqrt{t}, R^2 = 0,91$$

It is worthwhile to discuss, why poor differentiation of sorptivity of HPC tested in his work is accompanied by significantly different properties of mortars, as the pore size distribution and total porosity are concerned (Fig. 1).

5.2. Relation between the sorptivity and other properties of concretes

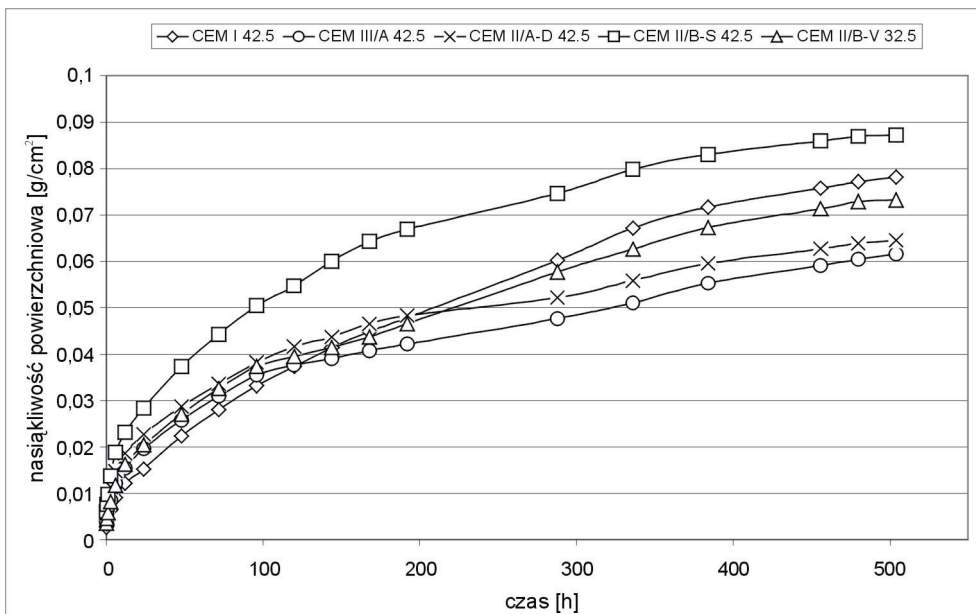
The values of the other three parameters of concretes, such as sorptivity, absorbability and permeability determined basing on the nitrogen flow method (RILEM-Cembureau) are listed below. All these features characterize the resistance of concrete material against the migration of liquids and gases. As one can see in Figure 6 there is very good, logical accordance between their values.

Because of the specifics of population of results – they do not cover



Rys. 2. Zmiana nasiąkliwości powierzchniowej badanych betonów w czasie

Fig. 2. Surface absorptivity changes of concretes as a function of time



Rys. 3. Zmiana nasiąkliwości powierzchniowej betonów wysokowartościowych w czasie

Fig. 3. Surface absorptivity changes of high performance concretes as a function of time

wielkiemu zróżnicowaniu sorpcyjności możliwa jest łączna analiza tej cechy dla wszystkich betonów wysokowartościowych (rys. 4), którą można opisać zależnością:

$$NP = 0,0037 + 0,0025 \sqrt{t}, R^2 = 0,91$$

Zastanawiającym jest, że stwierdzonemu brakowi większego zróżnicowania sorpcyjności analizowanych betonów wysokowartościowych towarzyszy dosyć znaczne ilościowe i jakościowe zróżnicowanie mikroporowatości wchodzących w ich skład zapraw (rys. 1).

5.2. Sorpcyjność a inne cechy betonów

Poniżej zestawiono wartości trzech właściwości badanych betonów: sorpcyjności, zwykłej nasiąkliwości wodą i przepuszczalności

all the variability range for the features studied – one cannot perform the satisfactory statistical analysis. However, because the sorptivity of concrete is strongly bound with absorptivity (as it has been proved in (3)) and permeability, their mutual relations have been plotted in Figure 7. One should take in mind that this is only the illustration of the trends thus observed and it cannot be used to evaluate more accurately the sorptivity from the absorptivity and permeability data.

6. Conclusions

The following conclusions can be drawn from the experiments and analysis of results:

- sorptivity of high performance concretes, irrespectively of the type of cement used, is many times lower than the sorptivity of the high quality normal concrete,
- type of cement has little influence on the sorptivity of HPC,
- low sorptivity of HPC is mainly due to the low w/c ratio and, as a consequence, to the high tightness of hardened cement paste as well as to the strong cement matrix – aggregate interface,
- sorptivity of concrete is strongly bound to the absorptivity and permeability,
- low sorptivity of the high performance concrete is among the high durability controlling factors.

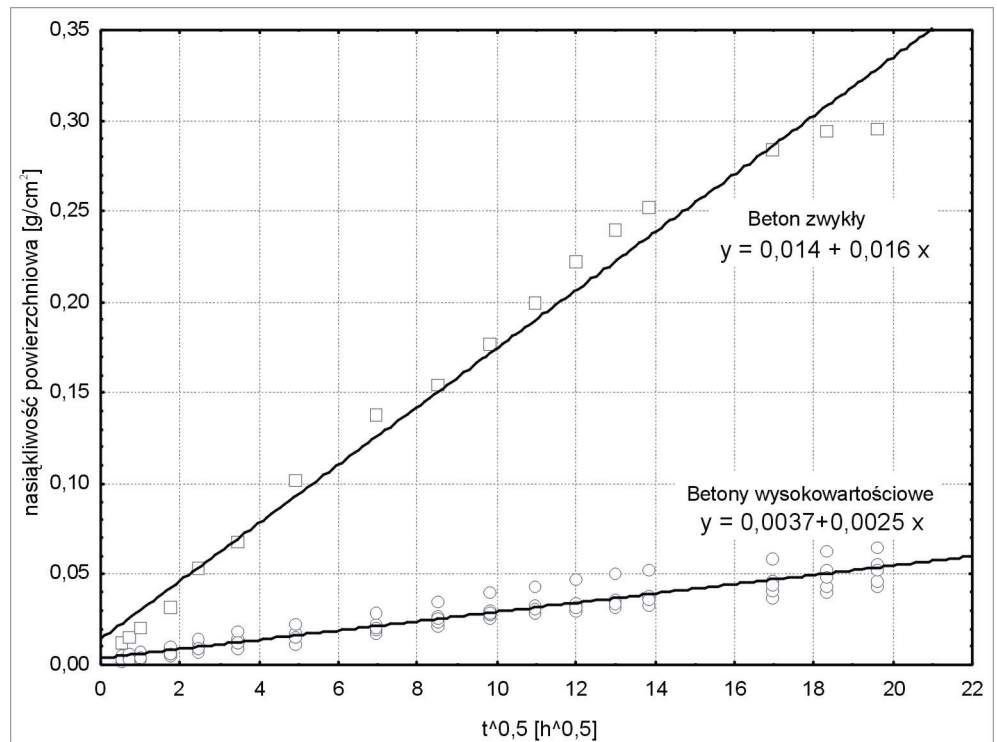
określonej na podstawie przepływu azotu (metoda RILEM-Cembureau). Wszystkie te właściwości charakteryzują opór stawiany przez beton migracji cieczy i gazów. Jak widać z wykresu na rysunku 6 ich wartości są ze sobą logicznie powiązane.

Ze względu na specyfikę populacji wyników (brak pełnego pokrycia nimi całego zakresu zmienności badanych właściwości) nie można dokonać rzetelnych analiz statystycznych. Ponieważ jednak sorpcyjność betonu wyraźnie zależy od jego nasiąkliwości (co już wcześniej potwierdziły badania (3)) i przepuszczalności, na rysunku 7 pokazano te zależności. Zastrzec tutaj należy, że ilustrują one jedynie stwierdzone tendencje i nie mogą być wykorzystywane do dokładniejszego przewidywania sorpcyjności na podstawie nasiąkliwości i przepuszczalności.

6. Wnioski

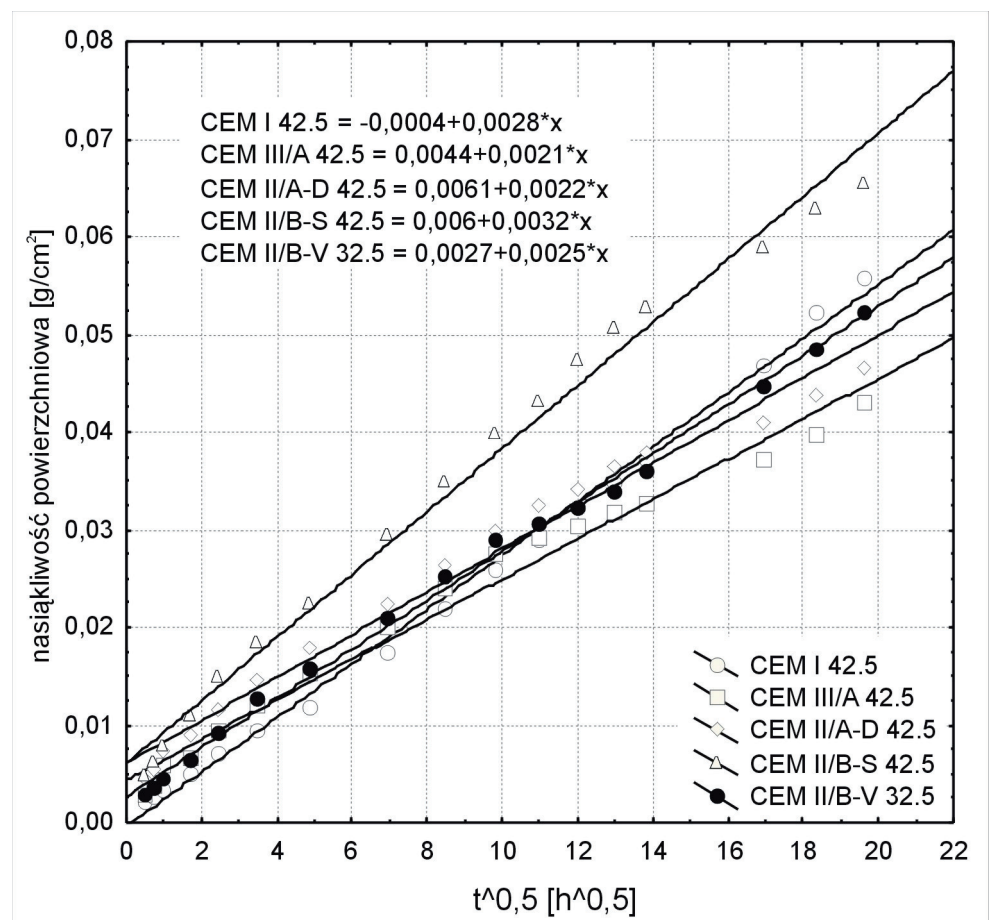
Wyniki przeprowadzonych badań i ich analiza pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

- sorpcyjność badanych betonów wysokowartościowych, bez względu na rodzaj cementu, z którego zostały wykonane, jest wielokrotnie niższa od sorpcyjności dobrej jakości betonu zwykłego,
- rodzaj cementu ma niewielki wpływ na zróżnicowanie sorpcyjności badanych betonów wysokowartościowych,
- małą sorpcyjność betony wysokowartościowe zawdzięczają głównie niskiej wartości w/c oraz spowodowanej nim wysokiej szczelności stwardniałego zaczynu cementowego, a zapewne także dobrej jakości strefy przejściowej matrycy cementowej z kruszywem,
- sorpcyjność betonu w sposób wyraźny zależy od nasiąkliwości i przepuszczalności,
- mała sorpcyjność betonów wysokowartościowych jest jednym



Rys. 4. Zależność nasiąkliwości powierzchniowej betonu zwykłego i wspólnie betonów wysokowartościowych od pierwiastka z czasu

Fig. 4. Surface absorptivity changes of normal concrete and high performance concretes vs. square root of time



Rys. 5. Zależność nasiąkliwości powierzchniowej betonów wysokowartościowych od pierwiastka z czasu

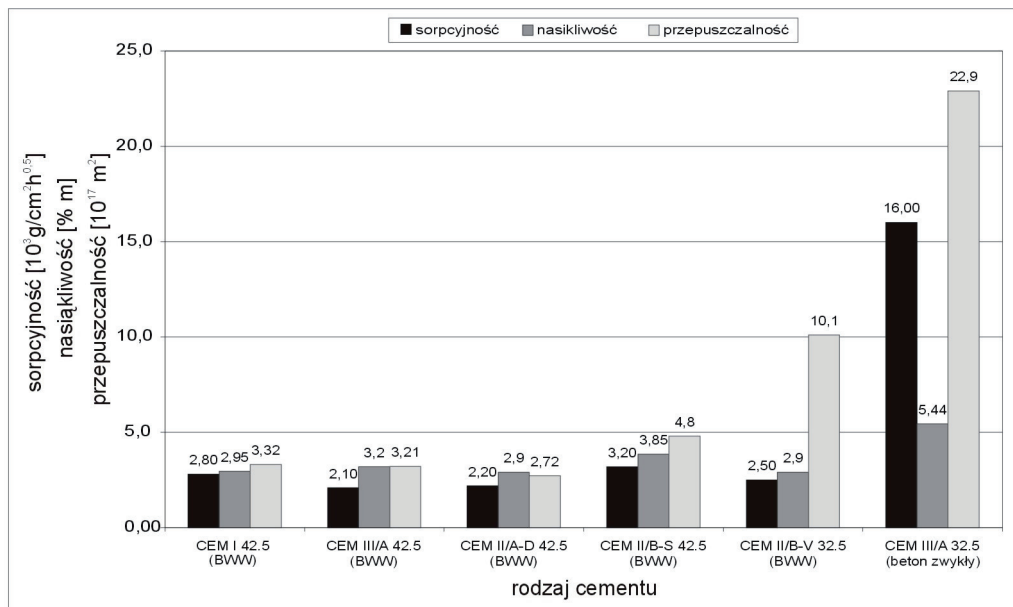
Fig. 5. Surface absorptivity changes of high performance concretes vs. square root of time

z czynników zapewniających ich wysoką trwałość.

Badania stanowiące przedmiot referatu zostały zrealizowane w ramach działalności statutowej, temat L-1/245/DS/2006 „Trwałość i modyfikacja mineralnych materiałów budowlanych”, prowadzonej w Katedrze Materiałów Budowlanych i Ochrony Budowli, Instytut Materiałów i Konstrukcji Budowlanych, Wydział Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej.

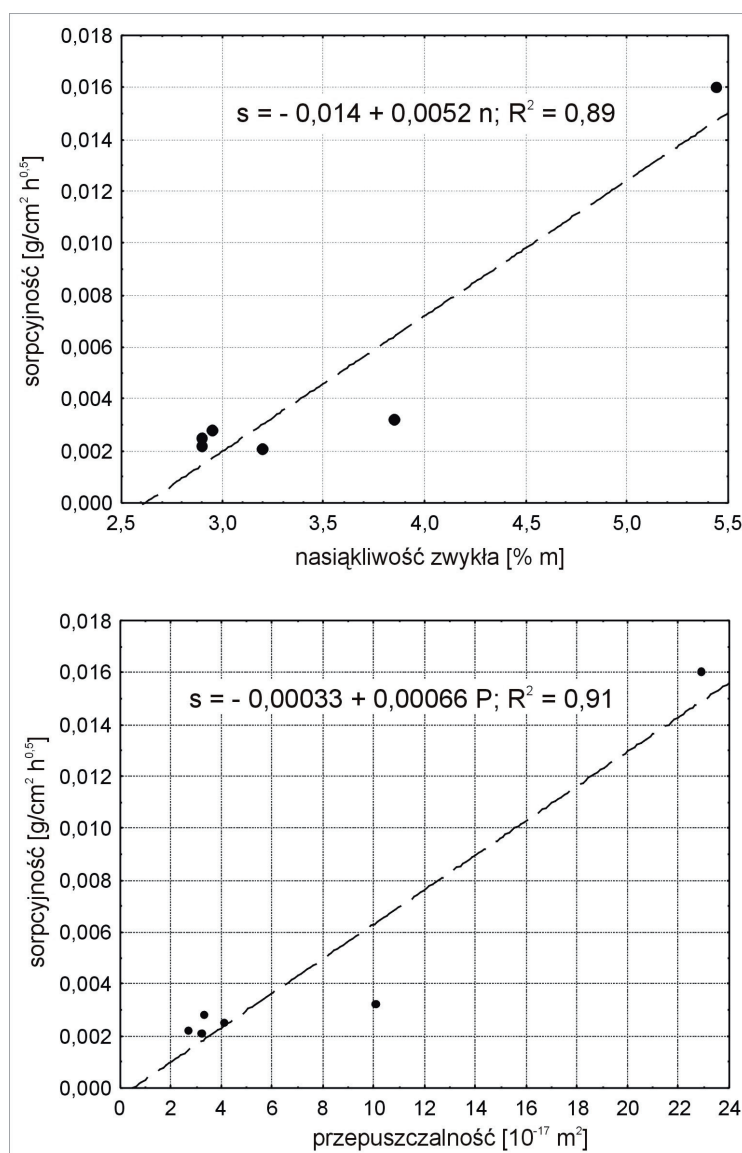
Literatura / References

1. H. Garbalińska, A. Kasprzak, I. Zińczuk, Podciąganie kapilarne w materiale o matrycy cementowej, Przegląd Budowlany, 9 (2001).
2. R. J. Gummerson, C. Hall, W. D. Hoff, Water movement in porous building materials; Hydraulic suction and sorptivity of brick and other masonry materials, Building and Environment, 15 (1980).
3. W. Kubissa, Sorpcyjność betonu jako parametr oceny trwałości konstrukcji żelbetowych, praca doktorska, Politechnika Warszawska, 2001.
4. S. N. Martys, C. F. Ferraris, Capillary transport in mortars and concrete, Cement and Concrete research, 5 (1997).
5. A. M. Neville, Właściwości betonu, Wyd. Polski Cement, Kraków 2000.
6. RILEM Technical Recommendation, Test of gas permeability of concrete, TC 116-PCD: Permeability of concrete as criterion on its durability, Materials and Structures, April, 1999.
7. T. Tracz, Wpływ rodzaju cementu na przepuszczalność betonów wysokowartościowych, praca doktorska, Politechnika Krakowska, 2005.
8. T. Tracz, J. Śliwiński, Influence of type of cement on porosity and permeability of high performance concrete, Proc. of 7th CANMET/ACI Int. Conf. on Durability of concrete, Montreal, Canada, 2006.



Rys. 6. Porównawcze zestawienie właściwości transportowych badanych betonów

Fig. 6. Parameters characterizing the transport properties of concretes



Rys. 7. Szacunkowe i orientacyjne zależności sorpcyjności od nasiąkliwości i przepuszczalności

Fig. 7. Evaluation/approximation of the sorptivity values from the absorbability and permeability data