

dr inż. Paweł Łukowski

Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Warszawska

Ocena wpływu składników spoiwa polimerowo-cementowego na właściwości kompozytu

Evaluation of influence of components of polymer-cement binder on composite performance

1. Wprowadzenie

Kompozyty polimerowo-cementowe (PCC, Polymer-Cement Concretes) to materiały, w których modyfikator polimerowy stanowi co najmniej 5% masy cementu (1, 2). Kompozyty te stanowią szybko rozwijającą się grupę materiałów. Są stosowane do napraw i ochrony przed korozją konstrukcji betonowych, a także do wykonywania elementów prefabrykowanych, nawierzchni drogowych, w tym mostowych, oraz posadzek przemysłowych (3, 4). Mimo dużego zainteresowania ze strony badaczy i inżynierów, wiele zagadnień pozostaje wciąż nierozstrzygniętych. Do najważniejszych należy wkład, jaki każdy ze składników spoiwa – cement portlandzki i polimer – wnosi w procesie kształtowania się właściwości kompozytu (5, 6). W pracy dokonano ilościowej oceny znaczenia poszczególnych składników spoiwa oraz ich współdziałania – efektów synergicznych. W tym celu sformułowano model materiałowy kompozytu polimerowo-cementowego, a następnie określono statystyczną istotność elementów modelu.

2. Model materiałowy kompozytu akrylowo-cementowego

Przez model materiałowy rozumie się ilościową zależność „skład – właściwości” (7, 8). Model materiałowy, aby był przydatny zarówno w rozważaniach teoretycznych, jak i w praktyce inżynierskiej, powinien stanowić kompromis między prostotą a dokładnością.

1. Introduction

Polymer-cement concrete (PCC) is the material containing polymer additive, i.e. more than 5% of the polymer modifier by cement mass (1, 2). Polymer-cement concretes are the rapidly developed group of materials; they are widely used for repair and protection of the concrete structures as well as for prefabricated elements, overlays (including bridge decks) and industrial floors (3, 4). In spite of the significant interest of researchers and engineers, some problems are still unsolved. One of the most important is the share of the particular components of the binder – polymer and Portland cement – in the forming of the properties of the composite (5, 6). The subject of the paper is the statistical analysis of the synergic effects and estimation of the relative importance of the components of co-binder. For this aim, the material model of PCC has been developed on the basis of experimental results, and then the statistical significances of the elements of the model have been estimated.

2. Material model of polymer-cement composite

A material model is a quantitative relationship “composition – properties” (7, 8). The model, which is to be useful in theoretical considerations as well as engineering practice, should be a compromise between simplicity and accuracy. In this study the sought relationships have been determined in the form of 2nd degree polynomials

W niniejszej pracy poszukiwane zależności wyznaczono w postaci funkcji kwadratowych. Jakość dopasowania modeli do wyników doświadczalnych oceniano przez wyznaczenie współczynnika determinacji R^2 .

Do badań wybrano zaprawę modyfikowaną dyspersją poliakrylanów (PAE). Jest to modyfikator często stosowany w praktyce, skuteczny i spełniający wymagania racjonalności ekonomicznej. Zastosowano cement portlandzki CEM I 32,5. Badania przeprowadzono według statystycznego planu eksperymentu; zastosowano plan kompozycyjny Boxa-Behnkena (9) (tablica 1). Zmiennymi materiałowymi były stosunek zawartości polimeru do cementu,

Tablica 1 / Table 1

PLAN EKSPERYMENTU
EXPERIMENTAL DESIGN

Nr No.	Zmienne kodowane ¹ Coded variables ¹		Zmienne rzeczywiste Real variables		Składy mieszanek, mas. Mixes compositions by weight		
	x_1	x_2	p/c polimer/cement polymer/cement	s/k spoiwo/kruszywo binder/aggregate	kruszywo (piasek) aggregate (sand)	polimer ² polymer ²	cement
1	0,866	0,5	0,240	0,513	1000	99	414
2	-0,866	0,5	0,110	0,513	1000	51	462
3	0	-1	0,175	0,25	1000	37	213
4	0	1	0,175	0,60	1000	89	511
5	0,866	-0,5	0,240	0,338	1000	65,5	272,5
6	-0,866	-0,5	0,110	0,338	1000	33,5	304,5
7	0	0	0,175	0,425	1000	63	362

¹ $X_{kod} = \frac{X_{real} - X_0}{\frac{1}{2} \cdot \Delta X}$ czyli $X_{real} = X_{kod} \cdot \frac{1}{2} \Delta X + X_0$, gdzie: x_{real} – zmienna rzeczywista;
 x_{kod} – zmienna kodowana; x_0 – środek przedziału zmienności; Δx – przedział zmienności

² zawartość polimeru dotyczy składnika stałego w dyspersji (40%)

¹ $X_{kod} = \frac{X_{real} - X_0}{\frac{1}{2} \cdot \Delta X}$ so $X_{real} = X_{kod} \cdot \frac{1}{2} \Delta X + X_0$, where: x_{real} – real variable; x_{kod} – coded variable; x_0 – center of variability range; Δx – variability range

² polymer content regards to the solid component in the polymer dispersion (40%)

Tablica 2 / Table 2

MODEL MATERIAŁOWY KOMPOZYTU AKRYLOWO-CEMENTOWEGO
MATERIAL MODEL OF ACRYLIC-CEMENT COMPOSITE

Właściwość Property	Zależność Relationship	Współczynnik determinacji, R^2 Determination coefficient, R^2
Przyczepność do podkładu betonowego, f_A Bond strength to the concrete substrate, f_A	$f_A = 2,80 - 0,20 (p/c) - 0,49 (p/c)^2 - 0,14 (s/k) - 0,46 (s/k)^2 - 0,20 (p/c) \cdot (s/k)$	0,75
Wytrzymałość na rozciąganie, f_t Tensile strength, f_t	$f_t = 5,27 + 0,46 (p/c) - 0,66 (p/c)^2 + 0,81 (s/k) - 1,45 (s/k)^2 - 0,76 (p/c) \cdot (s/k)$	0,73
Wytrzymałość na ściskanie, f_c Compressive strength, f_c	$f_c = 37,33 + 2,12 (p/c) - 0,28 (p/c)^2 + 2,83 (s/k) + 0,17 (s/k)^2 - 0,58 (p/c) \cdot (s/k)$	0,75
Nasiąkliwość wodą, n_w Water absorbability, n_w	$n_w = 2,28 - 0,50 (p/c) + 0,34 (p/c)^2 - 0,47 (s/k) - 0,57 (s/k)^2 + 0,48 (p/c) \cdot (s/k)$	0,83

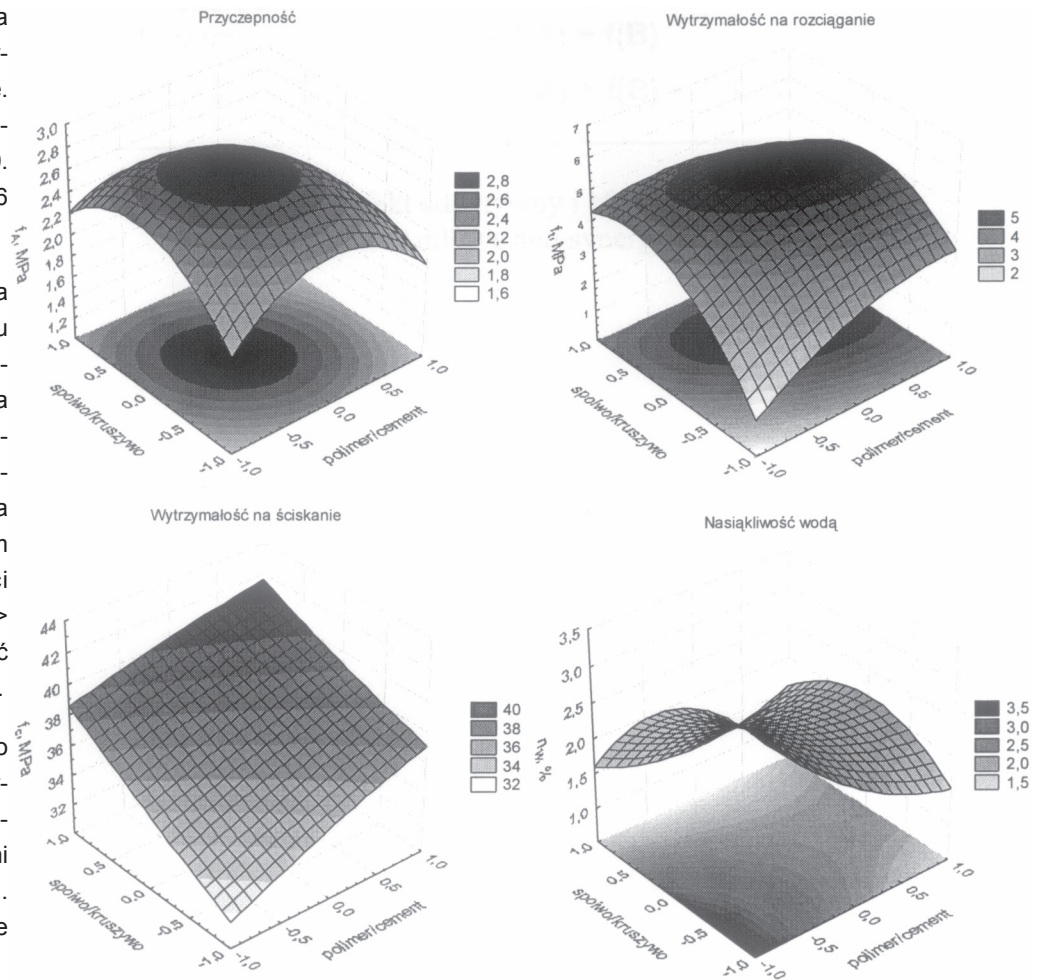
(quadratic functions). Conformity of the model to experimental data was evaluated using determination coefficient R^2 .

Polymer-cement mortar modified with water dispersion of polyacrylates (PAE) has been tested. The modifier is widely used in PCC, effective and economically rational. Portland cement CEM I 32.5 has been used in the tests. A Box's-Behnken's statistical design of experiment with two input variables has been used (9). The input (material) variables were polymer to cement ratio, p/c, and binder (polymer + cement) to aggregate (sand) ratio, s/k (Table 1). A constant water/cement ratio 0.50 has been kept. The number of specimens for each test was equal to 6.

p/c, oraz stosunek zawartości spoiwa polimerowo-cementowego do kruszywa, s/k, ($s = c + p$) w kompozycie. Zachowano stałą wartość współczynnika woda/cement, wynoszącą 0,50. Liczba badanych próbek wynosiła 6 dla każdego składu.

Oznaczono właściwości uznane za szczególnie istotne dla materiału naprawczego: przyczepność do podkładu betonowego, wytrzymałość na rozciąganie, wytrzymałość na ściskanie i nasiąkliwość wodą. Do sformułowania modelu materiałowego (tablica 2, rysunek 1) wykorzystano program STATISTICA. Wysokie wartości współczynników determinacji ($R^2 > 0,70$) potwierdzają dobrą zgodność modelu z danymi doświadczalnymi.

Dobłą jakość modelu materiałowego potwierdza także porównanie wartości poszczególnych cech wyznaczonych w badaniach z wartościami obliczonymi z modelu (tablica 3). W żadnym przypadku różnica nie przekracza 10%.



Rys. 1. Graficzna prezentacja modelu materiałowego kompozytu akrylowo-cementowego
Fig. 1. Graphical presentation of the material model of acrylic-cement composite

Tablica 3 / Table 3

Porównanie właściwości kompozytu akrylowo-cementowego wyznaczonych w badaniach i obliczonych z modelu materiałowego
Comparison between the real values of the properties and the values calculated from the model

Nr No.	Zmienne (kodowane) Variable (coded)		Przyczepność do podkładu betonowego, f_A , MPa Bond strength to the concrete substrate, f_A , MPa		Wytrzymałość na rozciąganie, f_t , MPa Tensile strength, f_t , MPa		Wytrzymałość na ściskanie, f_c , MPa Compressive strength, f_c , MPa		Nasiąkliwość wodą, n_w , % Water absorbability n_w , %	
	p/c	s/k	rzecz. real	model	rzecz. real	model	rzecz. real	model	rzecz. real	model
1	0,866	0,5	2,1	2,0	4,6	4,9	37,2	40,2	1,8	1,9
2	-0,866	0,5	2,6	2,5	4,4	4,8	39,7	37,0	2,2	2,4
3	0	-1	2,5	2,7	2,8	3,0	35,0	34,7	2,0	2,2
4	0	1	2,2	2,2	4,9	4,6	43,8	40,3	1,4	1,2
5	0,866	-0,5	2,2	2,3	5,0	4,7	39,9	37,8	2,1	2,0
6	-0,866	-0,5	2,3	2,5	3,6	3,3	33,9	33,7	3,4	3,3
7	0	0	2,8	2,8	5,3	5,3	35,2	37,3	2,3	2,3

3. Udział składników spoiwa w kształtowaniu właściwości kompozytu

Model materiałowy kompozytu PCC został sformułowany w postaci funkcji kwadratowych ($Y = a_0 + a_1 \cdot (p/c) + a_{11} \cdot (p/c)^2 + a_2 \cdot (s/k) + a_{22} \cdot (s/k)^2 + a_{12} \cdot (p/c) \cdot (s/k)$) (tablica 2). Ocena statystycznej istotności współczynników regresji a_i pozwala określić znaczenie efektów,

The technical properties considered as the particularly important for the repair material: bond strength to the concrete substrate, tensile strength, compressive strength and water absorbability, were determined. Calculations, analyses and presentation of the model (Table 2 and Figure 1) have been carried out using STATISTICA computer program. High values of determination coefficients ($R^2 > 0.70$) have confirmed good conformity of the model to the experimental data.

do których się one odnoszą, to jest wpływu zawartości polimeru (efekt liniowy – p/c , efekt kwadratowy – p/c^2), cementu (analogicznie – s/k i s/k^2) oraz efektu współdziałania obu składników spoiwa ($p/c \cdot s/k$). Miarą istotności współczynnika jest wartość bezwzględna parametru t-Studenta. Dla danego poziomu istotności α (czyli akceptowanego ryzyka popełnienia błędu; w zagadnieniach technicznych przyjmuje się zazwyczaj $\alpha = 0,05$) istnieje wartość krytyczna t , powyżej której współczynnik regresji uznaje się za statystycznie istotny. Im wyższa wartość bezwzględna t , tym większa istotność ocenianego efektu. Ocena istotności współczynników regresji wyznaczonego modelu, przedstawiona w postaci tzw. wykresów Pareto, pozwala sformułować wnioski odnośnie do wpływu poszczególnych składników spoiwa na cechy techniczne kompozytu (10). Szczególnie interesująca jest możliwość oceny zachodzących w spoiwie efektów synergicznych. Efekt synergiczny (rysunek 2) oznacza takie współdziałanie dwóch lub więcej czynników, które powoduje, że efekt końcowy jest większy niż prosta suma oddziaływań poszczególnych elementów (7).

Efekt addytywny: $f(A, B) = f(A) + f(B)$
Efekt synergiczny: $f(A, B) = f(A) + f(B) + f(A, B)$

Rys. 2. Efekt addytywny i efekt synergiczny

Fig. 2. Additive and synergic effect

Kompozyt jest to materiał o charakterze ciała stałego, składający się z co najmniej dwóch faz o dających się makroskopowo zaobserwować granicach, którego właściwości nie stanowią sumy właściwości jego składników – a zatem wynikają nie tylko z efektów addytywnych, ale także synergicznych. Nasuwa się pytanie, czy tworzywo polimerowo-cementowe wypełnia powyższą definicję? W betonie lub zaprawie PCC można rozróżnić odrębne fazy kruszywa i spoiwa, zatem z punktu widzenia struktury materiał ten spełnia kryteria kompozytu. Na występowanie efektów synergicznych wskazuje wiele przesłanek; w niniejszym artykule wykazano, że efekty te w tworzywie polimerowo-cementowym są statystycznie istotne.

Efekty synergiczne w modelu materiałowym są reprezentowane przez zmienną mieszaną ($p/c \times s/k$). Zmienne występujące w drugiej potęgce, to znaczy $(p/c)^2$ i $(s/k)^2$, reprezentują efekty kwadratowe, które stanowią odpowiednik kinetycznego przyśpieszenia w dynamice (11). Brak istotności efektu kwadratowego świadczy o liniowym charakterze zmian danej cechy przy zmianie zawartości określonego składnika (zmiennej materiałowej).

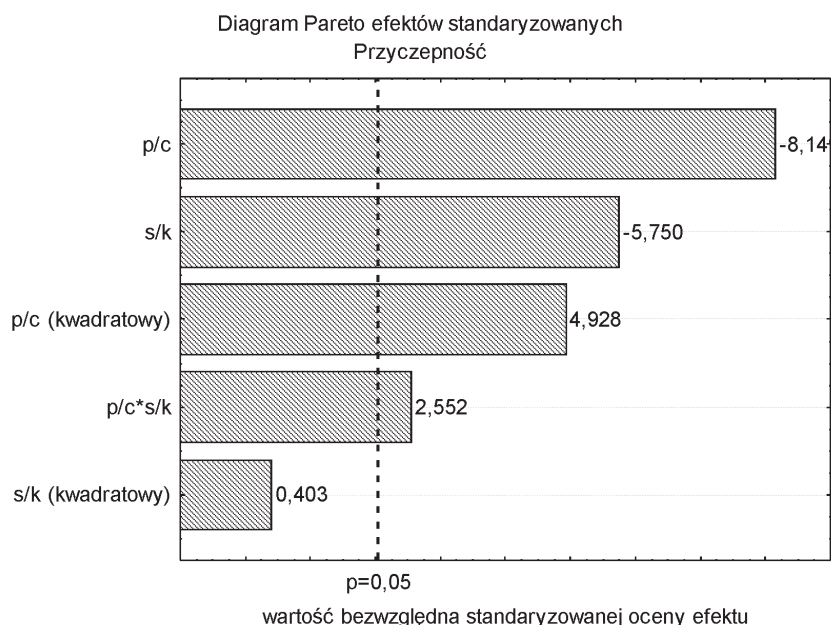
Krytyczna wartość parametru t przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$ jest na poniższych wykresach (rysunki 3 – 6) zaznaczona linią przerywaną.

Przyczepność kompozytu do podkładu betonowego (rysunek 3) jest determinowana zwłaszcza przez zawartość polimeru. Porównanie bezwzględnych wartości parametru t (tzn. standaryzowanej oceny

Good quality of the material model is also confirmed by comparison between the real values of the properties, determined in the experiment, and the values calculated from the model (Table 3). The difference does not exceed 10% in any case.

3. Share of the components of the binder in forming of the composite properties

The material model of PCC composite has been developed in the form of quadratic functions: $(Y=a_0+a_1 \cdot (p/c)+a_{11} \cdot (p/c)^2+a_2 \cdot (s/k)+a_{22} \cdot (s/k)^2+a_{12} \cdot (p/c) \cdot (s/k))$ (Table 2). Evaluation of statistical significance of synergic and additive (non-synergic) effects enables the estimation of contributions of the components to material performance. Estimation of the statistical significance of regression coefficients a_i makes possible to determine the importance of the effects, to which the coefficients are attributed, i.e. the influence of the polymer amount (linear effect – p/c , quadratic effect – p/c^2), Portland cement amount (s/k and s/k^2 , respectively) as well as the effect of interaction of both components of the binder ($p/c \cdot s/k$). The measure of the coefficient's significance is the absolute value of t-Student parameter. For the given significance level α (i.e. the accepted risk of mistake; in the technical problems α is usually equal to 0.05 or 0.10) there is a critical value of parameter t , above which the regression coefficient is considered as statistically significant. The higher is absolute value of t , the larger is significance of the estimated effect. The evaluation of the significance of the regression coefficients of the determined model is presented in the form of Pareto charts. This makes possible to formulate some conclusions on the influence of the components on the composite performance. Particularly interested is the possibility of evaluation of the synergic effects in the polymer-cement binder. Synergism (Fig. 2) is the simultaneous action of the components that, together, have greater



Rys. 3. Ocena wpływu polimeru i cementu na przyczepność (p na osi poziomej = α)

Fig. 3. Estimation of influence of polymer and Portland cement on adhesion (p on the horizontal axis means α)

efektów) dla zmiennych p/c i s/k (8,14 : 5,75) wskazuje, że zawartość polimeru jest bardziej istotna dla przyczepności do podkładu betonowego niż zawartość całego spoiwa, w którym dominuje ilościowo cement portlandzki. Znaczenie całego spoiwa można oszacować jako około 70% znaczenia polimeru, przy czym efekt kwadratowy zawartości spoiwa jest statystycznie nieistotny. Synergiczny efekt współdziałania składników spoiwa ($p/c \times s/k$) jest statystycznie istotny; w kategoriach ilościowych stanowi nieco poniżej 50% wpływu spoiwa jako całości.

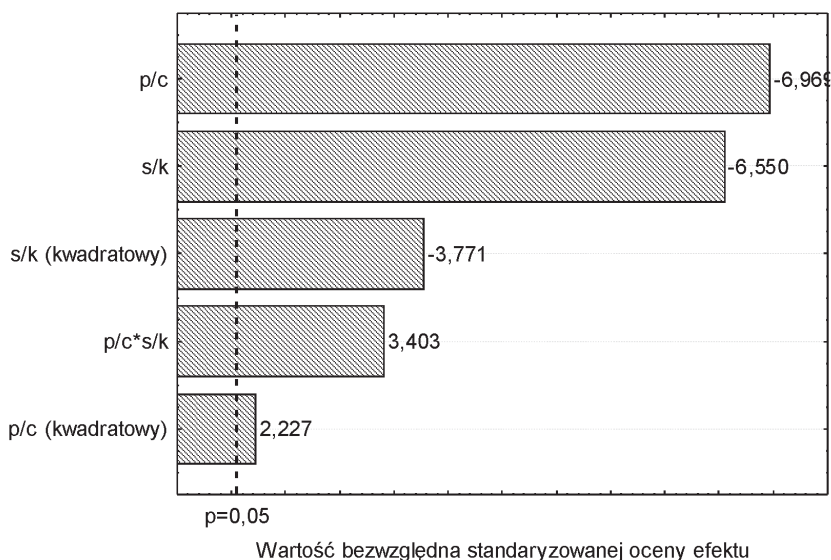
W przypadku nasiąkliwości wodą (rysunek 4) wszystkie czynniki są statystycznie istotne. Znaczenie polimeru i cementu jest zbliżone (względna istotność zmiennych p/c i s/k = 6,70 : 6,55). Efekt synergiczny jest istotny i stanowi ponad 50% w stosunku do wpływu spoiwa.

W przypadku wytrzymałości na rozciąganie (rysunek 5) dominujące znaczenie polimeru jest widoczne szczególnie wyraźnie. Liniowy efekt zawartości spoiwa jest statystycznie nieistotny, a efekt kwadratowy stanowi zaledwie 30% efektu kwadratowego dla zawartości polimeru. Efekt synergiczny jest również statystycznie istotny.

Odmienne przedstawia się sytuacja w przypadku wytrzymałości na ściskanie (rysunek 6). Cecha ta, zgodnie z oczekiwaniami, zależy przede wszystkim i niemal wyłącznie od zawartości cementu.

Wpływ polimeru jest nieznaczny i można go oszacować jako około 25% wpływu całego spoiwa (oba efekty liniowe). Współdziałanie składników spoiwa – efekt synergiczny – można natomiast uznać w tym przypadku za statystycznie nieistotne.

Diagram Pareto efektów standaryzowanych
Nasiąkliwość

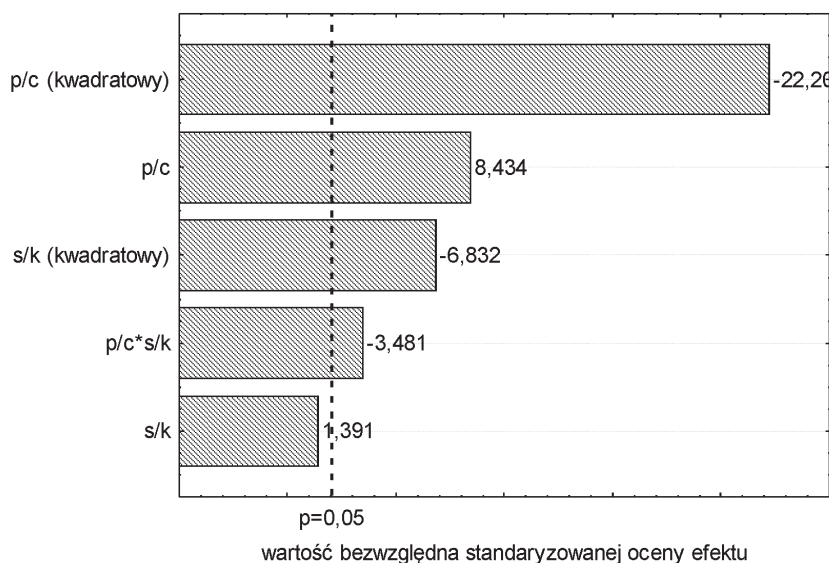


Rys. 4. Ocena wpływu polimeru i cementu na nasiąkliwość wodą (p na osi poziomej = α)
Fig. 4. Estimation of influence of polymer and Portland cement on water absorbability (p on the horizontal axis means α)

total effect than the sum of their individual effects (7):

A composite is the solid material consisting in at least two phases with macroscopically distinguishable boundaries. The properties of the composite are not the sum of the properties of its components – they are the result of not only additive, but also synergic effects. A question arises, whether the polymer-cement material does satisfy the above definition? The separate phases of the aggregate and the binder can be distinguish in the PCC concrete or mortar, therefore, from the structural point of view the composite criterion is met. The statistical significance of the synergic effects in PCC material has been demonstrated in that paper.

Diagram Pareto efektów standaryzowanych
Wytrzymałość na rozciąganie



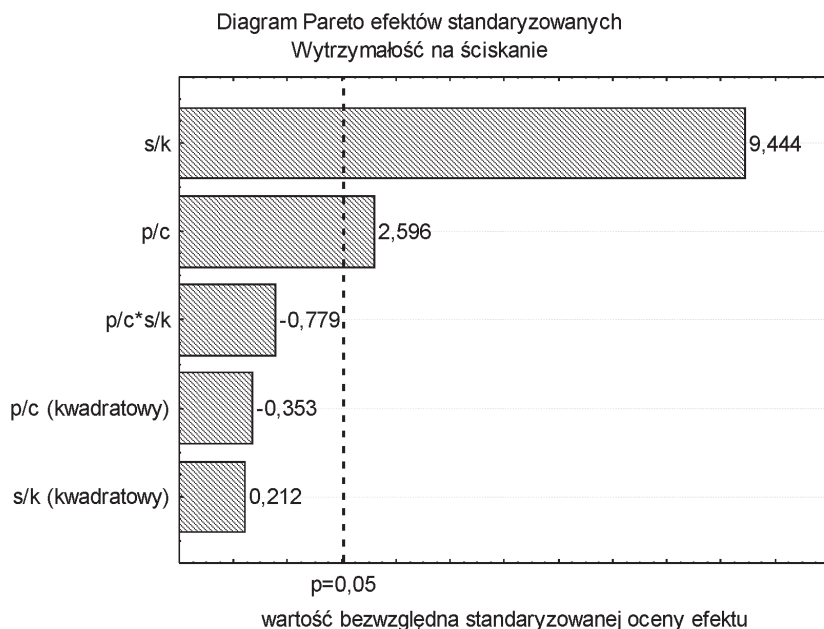
Rys. 5. Ocena wpływu polimeru i cementu na wytrzymałość na rozciąganie (p na osi poziomej = α)

Fig. 5. Estimation of influence of polymer and Portland cement on tensile strength (p on the horizontal axis means α)

The synergic effects are represented in the material model by the mix variable ($p/c \times s/k$). The second degree variables, i.e. $(p/c)^2$ and $(s/k)^2$, represent the quadratic effects, which are an equivalent of the kinetic acceleration in dynamic (11). Lack of significance of the quadratic effect means that the given property changes in linear way with the change of the content of the given component (material variable).

On Pareto diagrams (Figures 3 – 6) the dotted line marks the critical value of the parameter t when the significance level $\alpha = 0.05$.

Bond strength of the composite to the concrete substrate (Figure 3) is determined particularly by the content of polymer. A comparison of the absolute value of parameter t (i.e. the standardised estimation of effects) for the variables p/c i s/k (8.14 : 5.75) shows that the polymer content is much more important for the adhesion to the concrete substrate than the content of the total binder, dominated quan-



Rys. 6. Ocena wpływu polimeru i cementu na wytrzymałość na ściskanie (p na osi poziomej = α)

Fig. 6. Estimation of influence of polymer and Portland cement on compressive strength (p on the horizontal axis means α)

Bezwzględne wartości parametru t poszczególnych zmiennych modelu materiałowego można podzielić przez wartość krytyczną t , w ten sposób uzyskując standaryzację istotności ocenianych efektów (rysunek 7). Zastosowanie jednolitej skali na osi wartości t pozwala porównywać ze sobą względne istotności poszczególnych składników. Statystycznie istotne są współczynniki o względnej wartości $t \geq 1$.

Efekty synergiczne ($p/c \times s/k$) są statystycznie istotne w przypadku wszystkich właściwości z wyjątkiem wytrzymałości na ściskanie. Zawartość polimeru jest szczególnie istotna w przypadku przyczepności do podkładu betonowego i wytrzymałości na rozciąganie. W przypadku nasiąkliwości wodą istotne są wszystkie czynniki, natomiast wytrzymałość na ściskanie, zgodnie z oczekiwaniami, zależy przede wszystkim od zawartości cementu.

4. Podsumowanie

Analiza powyższych zależności pozwala na sformułowanie wniosków dotyczących udziału poszczególnych składników spoiwa polimerowo-cementowego w kształtowaniu właściwości kompozytu. Cechy związane ze zmniejszeniem sztywności tworzywa, takie jak wytrzymałość na rozciąganie, a także przyczepność do podłoża, są w decydującej mierze określane przez zawartość polimeru. Mniejszą rolę odgrywa w tym przypadku spoiwo cementowe. Natomiast w przypadku właściwości związanych z przepuszczalnością, jak nasiąkliwość wodą, istotną rolę odgrywa zarówno spoiwo organiczne, jak i nieorganiczne. Wytrzymałość na ściskanie jest cechą, która zależy w zdecydowanie większym stopniu od zawartości cementu, zaś wpływ polimeru jest tu – w porównaniu – nieznaczny. Powyższe wnioski są zasadniczo zgodne z wynikami innych badań autora (12).

titatively by the Portland cement. The significance of the total binder may be estimated as about 70% of the significance of polymer; the quadratic effect of the total binder content is statistically non-significant. The synergic effect of interaction between the components of the polymer-cement binder ($p/c \times s/k$) is significant and equal to about 50% of the effect of the total binder.

In the case of water absorbability (Fig. 4), all factors are statistically significant. The importance of the polymer and Portland cement is similar (proportion of the estimations of significance of variables p/c and $s/k = 6.70 : 6.55$). The synergic effect is significant and equal to more than 50% of the effect of the total binder.

In the case of tensile strength (Figure 5) the dominated importance of the polymer is particularly evident. The linear effect of total binder content is statistically non-significant, and the quadratic effect is equal to merely 30% of the quadratic effect of the polymer content. The synergic effect is also statistically significant.

The different situation is observed in the case of compressive strength (Figure 6). This property, as it could be expected, depends mainly on the content of Portland cement.

The effect of polymer is slight and could be estimated as equal to about 25% of the effect of the total binder (both effects are linear ones). The interaction of the components of the binder – the synergic effect – may be considered as statistically non-significant in this case.

The absolute values of parameter t for the particular variables of the material model may be divided by the critical value of t , and thus the standardisation of the estimated effects can be achieved (Figure 7). Using of the uniform scale on the axis of t values enables the comparison of the relative significances of the particular components. The coefficients with relative value of $t \geq 1$ are statistically significant.

The synergic effects ($p/c \times s/k$) are statistically significant in the case of all properties except to compressive strength. The polymer content is particularly significant for the adhesion to the concrete substrate and tensile strength. In the case of water absorbability all components are significant, while compressive strength, according to the expectations, is dependent mainly on the Portland cement content.

4. Sum up

The above analysis makes possible to draw out some conclusions on the share of the components of polymer-cement binder in the composite performance. The properties involved with making the PCC composite more elastic, like tensile strength, as well as bond strength to the concrete substrate, are mostly determined

W pracy oceniono ilościowo wpływ składników spoiwa polimerowo-cementowego na właściwości tworzywa PCC. Na szczególną uwagę zasługuje statystyczna istotność efektów synergicznych – współdziałania polimeru z cementem. Efekty synergiczne stanowią immanentną cechę materiałów kompozytowych. Przeprowadzone analizy potwierdzają ich znaczenie w kształtowaniu tych cech kompozytów polimerowo-cementowych, które zależą w dużej mierze od dodatku polimeru. Jedyną właściwością, w przypadku której efekty synergiczne nie odgrywają znaczącej roli, jest wytrzymałość na ściskanie, wyznaczana głównie przez spoiwo cementowe. Wyniki przedstawionych obliczeń wskazują zatem, że uwzględnienie synergii jest niezbędne dla zrozumienia natury tworzyw polimerowo-cementowych.

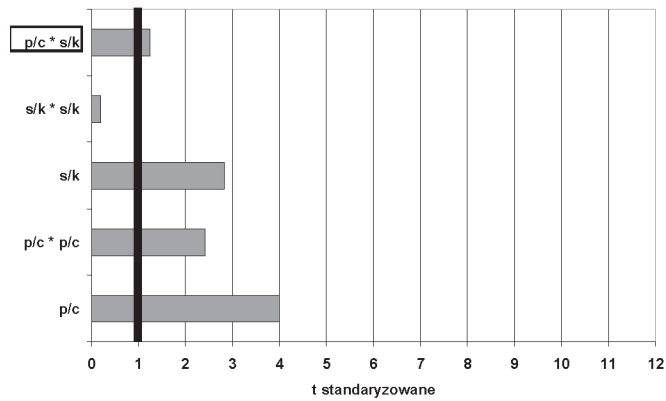
Podziękowanie

Autor dziękuje Panu prof. dr hab. inż. Lechowi Czarneckiemu za cenne wskazówki i dyskusje w czasie przygotowywania pracy.

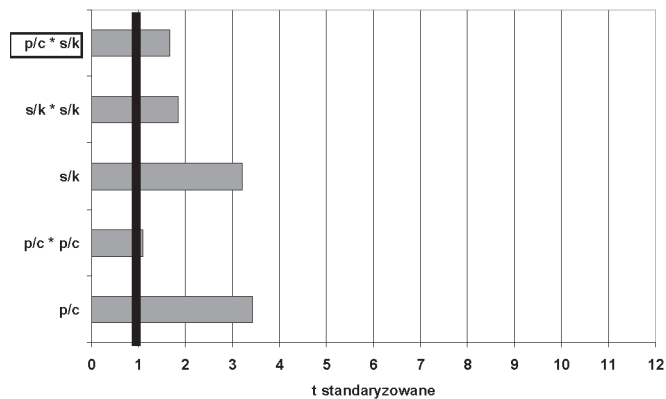
Pracę wykonano w ramach pracy statutowej Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej

Literatura / References

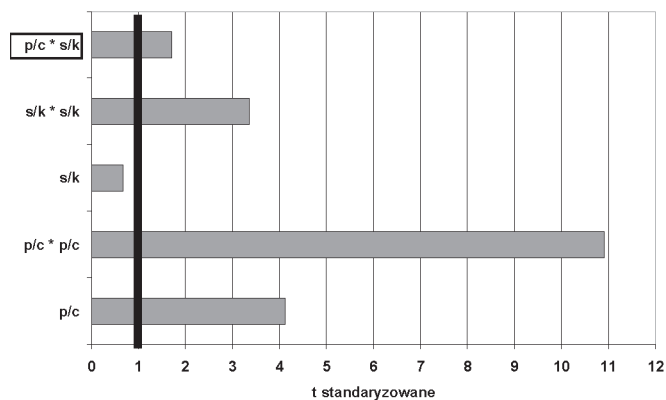
1. PN-EN 934-2: Domieszki do betonu zaprawy i zaczynu. Domieszki do betonu. Definicje i wymagania.
2. P. Łukowski, Domieszki do zapraw i betonów, Polski Cement Sp. z o.o., Kraków, 2003.
3. L. Czarnecki, P.H. Emmons, Naprawa i ochrona konstrukcji betonowych, Polski Cement, Kraków, 2002.
4. G. W. DePuy, 9th Int. Congress on Polymers in Concrete, Bologna, 1998, 429-439.
5. L. Czarnecki, P. Łukowski, 3rd International Conference on Construction Materials – Performance, Innovations and Structural Implications, Vancouver, Canada, 2005 (CD).
6. Guide for the use of polymers in concrete, Report of ACI Committee 548, Journal of the American Concrete Institute, 9-10, 798-829, 1986.



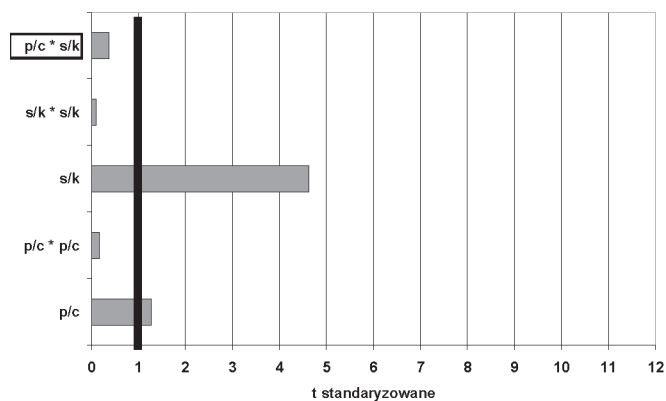
pryczepność do podkładu betonowego



nasiąkliwość wodą



wytrzymałość na rozciąganie



wytrzymałość na ściskanie

Rys. 7. Ocena wpływu polimeru i cementu na właściwości zaprawy polimerowo-cementowej – wartości standaryzowane

Fig. 7. Estimation of influence of polymer and Portland cement on the properties of polymer-cement mortar – standardised values

by the content of polymer. The role of Portland cement is minor in this case. However, in the case of the properties involved with permeability, like water absorbability, the both components of the binder – organic and inorganic ones – are significant. Compres-

7. L. Czarnecki, 4th Int. Congress on Polymers in Concrete, Darmstadt, 1984, 50-64.
8. L. Czarnecki, P. Łukowski, Studies of University of Transport and Communications in Žilina, Civil Engineering, vol. 21, 21-29, 1998.
9. Z. Piasta, Rozprawa doktorska, Politechnika Świętokrzyska, Kielce, 1978.
10. L. Czarnecki, P. Łukowski, B. Chmielewska, 11th Int. Congress on Polymers in Concrete, Berlin, 2004, 201-208.
11. L. Czarnecki, P. Łukowski, XLII Konferencja Naukowa KILiW PAN i KN PZITB, Krynica, 1996, t.4, 13-20.
12. P. Łukowski, Cement Wapno Beton, 3, 142-147, 2005.

sive strength is the property dependent mostly on the Portland cement content and the effect of polymer is relatively slight. The above conclusions are generally conform to the results of other investigations by the author (12).

In the paper, the significance of the components of the polymer-cement binder for the PCC properties has been evaluated in the quantitative way. Particular attention should be paid to the statistical significance of the synergic effects – interaction between polymer and Portland cement. The synergic effects are the immanent feature of the composites. The carried out analysis has confirmed their importance for those properties of PCC, which are dependent mostly on the polymer addition. The only property not influenced significantly by the synergic effects is compressive strength, dependent mainly on the Portland cement content. Therefore, the results of calculations shows that taking the synergism into consideration is necessary for understanding the nature of the polymer-cement materials.

Warunki prenumeraty na 2007 r.

Wpłaty na prenumeratę można dokonywać na ogólnie dostępnych blankietach w Urzędach Poczтовых (przekazy pieniężne) lub Bankach (polecenie przelewu), przekazując środki na adres: Stowarzyszenie Producentów Cementu, 30-003 Kraków, ul. Lubelska 29, kol. 4/5.

Konto: PKO BP S.A. I O/Kraków nr 24 1020 2892 0000 5202 0016 0945

Na blankiecie wpłaty należy czytelnie podać nazwę zamawianego czasopisma, liczbę zamawianych egzemplarzy, okres prenumeraty oraz własny adres.

„Cement-Wapno-Beton” – dwumiesięcznik
Cena 1 egz. – 40 zł,

Prenumerata roczna – 240 zł
Prenumerata roczna – 80 € lub 100\$

Zamówienia na prenumeratę można przysyłać bezpośrednio na e-mail lub faxem do redakcji podając numer NIP-u.

Ogłoszenia przyjmuje: Redakcja „Cement-Wapno-Beton” Sp. z o.o., ul. Lubelska 29, 30-003 Kraków, tel./fax: +48 12 632 29 95.

Adres do korespondencji: ul. Lubelska 29, 30-003 Kraków
e-mail: cwb@polskicement.com.pl

Redakcja nie bierze odpowiedzialności za treść publikowanych ogłoszeń