

## MODEL KARBONATYZACJI BETONU Z POPIOŁEM LOTNYM WAPIENNYM

Paweł WOLIŃSKI<sup>1</sup>, Piotr WOYCIECHOWSKI<sup>1</sup>, Grzegorz ADAMCZEWSKI<sup>1</sup>, Witold WOŹNIAK<sup>2</sup>

1. Politechnika Warszawska Wydział Inżynierii Lądowej  
tel.: 602465286 e-mail: pawxx@poczta.onet.pl, p.woyciechowski@il.pw.edu.pl, g.adamczewski@il.pw.edu.pl
2. Polish Gas Company, Warsaw, Poland

**Streszczenie:** Celem badań prezentowanych w artykule było opracowanie modelu karbonatyzacji betonu z popiołem lotnym wapiennym, zgodnego z koncepcją traktowania karbonatyzacji jako procesu nieskończonego w czasie ale ograniczonego w przestrzeni betonu. Przedstawiono wyniki własnych badań laboratoryjnych rodziny betonów o stałym doborze składników i ich zmiennych proporcjach. Analiza statystyczna uzyskanych wyników pozwoliła opracować oczekiwany model matematyczny karbonatyzacji i wykazać statystycznie jego adekwatność do wyników badań.

**Słowa kluczowe:** Model karbonatyzacji, karbonatyzacja betonu, popiół lotny wapienny, trwałość.

### 1. WPROWADZENIE

Ze względu na szerokie spektrum zastosowań współczesnych betonów, materiał ten narażony jest na wiele różnych rodzajów oddziaływań. Trwałość betonu zależna jest od jego odporności na oddziaływanie danego środowiska i może ona być efektywnie kształtowana w szczególności na poziomie materiałowym oraz technologicznym [1]. Odpowiedni dobór składników betonu oraz jego składu, a także warunki wykonania, takie jak sposób układania, zagęszczania oraz w szczególności pielęgnacji mają decydujący wpływ na trwałość produktu finalnego. Uzasadnionym ze względów ekonomiczno-ekologicznych jest wprowadzanie do betonu składników odpadowych, np. popiołów. Jednym z tego typu dodatków jest mało stosowany popiół lotny wapienny, który nie jest objęty w Polsce jednoznacznie normalizacją w odniesieniu do stosowania w betonie. Popiół lotny wapienny (W) – „to bardzo drobny pył, mający właściwości hydrauliczne i/lub pucolanowe. Składa się zasadniczo z reaktywnego tlenku wapnia (CaO), reaktywnego dwutlenku krzemu (SiO<sub>2</sub>) i tlenku glinu (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Pozostałość zawiera tlenek żelaza (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) i inne związki” [2]. Norma PN-EN 206:2014-04 [3] definiuje wiele różnych środowisk agresywnych opisanych klasami ekspozycji. Wśród nich szczególne znaczenie niewątpliwie należy przypisać oddziaływaniu atmosferycznego CO<sub>2</sub> – skutkującemu zjawiskiem karbonatyzacji betonu [4,5]. Zjawisku temu towarzyszy stopniowe obniżanie pH betonu postępujące powoli od zewnątrz elementu ku środkowi. Warstwa betonu, w której ten proces nastąpił, to znaczy tam gdzie wartość pH spadła poniżej określonej granicy uznaje się za strefę skarbonatyzowaną. Tempo karbonatyzacji zależy od wielu czynników: jak stosunek wody do cementu (w/c), czas oddziaływania CO<sub>2</sub>, wilgotność betonu, zawartość wolnego,

czyli zdatnego do reakcji wapna w kamieniu cementowym itd.

Zbrojenie stalowe w środowisku betonu jest chronione przed korozją o ile beton nie jest skażony substancjami agresywnymi w stosunku do stali, a jego pH jest na tyle wysokie aby zapewnić trwałość tzw. warstewki pasywnej na powierzchni zbrojenia. Warstewka pasywna na powierzchni stali powstaje dzięki alkalicznemu środowisku wewnątrz betonu i jest trwała do poziomu pH ok. 10 – 11. Odczyn betonu może jednak zmieniać się w czasie eksploatacji. Przy wysychaniu nadmiaru wody koniecznej dla układania mieszanki betonowej, dwutlenek węgla z atmosfery otaczającej element budowli może dyfundować w istniejące drobne pory betonu. Reakcja dwutlenku węgla z wodorotlenkiem wapnia prowadzi do powstawania węglanu wapnia, CaCO<sub>3</sub>.

Gdy front karbonatyzacji osiągnie powierzchnię zbrojenia stalowego, warstewka pasywna ochraniająca przed korozją ulega destrukcji. Gdy jest dostatecznie dużo wody i tlenu zaczyna się proces korozji stali.

### 2. SFORMUŁOWANIE MODELU SKOŃCZONEGO KARBONATYZACJI DLA BETONÓW Z POPIOŁEM LOTNYM WAPIENNYM W POSTACI $h=f(t)$

Do sformułowania modelu wykorzystano element równania  $(1/\sqrt{t})$ , który determinuje charakter hiperboliczny funkcji przebiegu karbonatyzacji. Woyciechowski [6] przedstawił model ogólny karbonatyzacji w postaci:

$$h=a-b*(1/\sqrt{t}) \quad (1)$$

gdzie:

h – głębokość karbonatyzacji

a, b – współczynniki materiałowo – technologiczne

t – czas ekspozycji

W ogólnej postaci modelu (1) założono, że głębokość karbonatyzacji h jest funkcją odwrotnością pierwiastka z czasu karbonatyzacji:

$$h=f(1/\sqrt{t}) \quad (2)$$

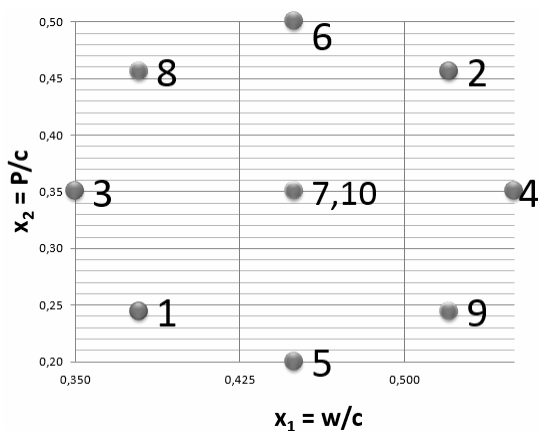
Model opracowano dla każdego ze zbadanych składów w postaci szczególnej:

$$h=A+B/\sqrt{t} \quad (3)$$

Wyraz wolny funkcji (A) dla każdego przypadku (składu) wyrażono w postaci złożonej (4), tak aby uwidocznic jego zależność od stałych w danym składzie wartości w/c i p/c.

$$A = a + b \cdot (w/c) + c \cdot (p/c) \quad (4)$$

W programie badawczym przyjęto ze względów technologicznych oraz praktycznych, wartości współczynnika w/c od 0,35 do 0,55 oraz p/c od 0,20 do 0,50. Obliczone wartości powyższych współczynników dla planu eksperymentu wyznaczono dla pięciu pośrednich wartości wejściowych  $x_1$  i  $x_2$ , wyznaczonych dla wartości umownych  $x_i$  wynoszących 0,  $\pm 1$ ,  $\pm 1,414$  (tab. 2). Program badań opracowano w postaci planu dwuczynnikowego polisekcyjno rotalno-quasi-uniformalnego z dwukrotnym powtórzeniem w punkcie centralnym (rys. 1). Plan uznano za optymalny ze względu na trzy kryteria doboru tj. kryterium realizowalności, informatywności i efektywności.



Rys. 1 Plan eksperymentu

Do badań wykorzystano cement portlandzki CEM I 32,5R (zgodny z PN-EN 197-1:2012 [2]), wodę wodociągową zgodną z PN-EN 1008:2004 [7], kruszywo frakcji 0/2 mm (piasek rzeczny) oraz żwirowe 2/8 mm, 8/16 mm, zgodne z normą PN-EN 12620 +A1:2010 [8]. Popiół wapienny użyty do badań pochodził z elektrociepłowni Bełchatów. Składy mieszanek betonowych podano w tabeli 1.

Tab.1. Zestawienie ilościowe składników (kg) na 1 m<sup>3</sup> mieszanek betonowych

Składniki	Cement	Woda	Kruszywo	Popiół	w/c	p/c
Skład nr 1	361,2	137	1872,2	88,1	0,379	0,244
Skład nr 2	299,6	156	1817,6	136,6	0,521	0,456
Skład nr 3	338,6	118,5	1904,4	118,5	0,35	0,35
Skład nr 4	317,3	174,5	1784,6	111,0	0,55	0,35
Skład nr 5	363,3	163,5	1816,6	72,6	0,45	0,2
Skład nr 6	297,8	134	1861,1	148,8	0,45	0,5
Skład nr 7	327,3	147,3	1841,2	114,5	0,45	0,35
Skład nr 8	312,4	118,5	1895,5	142,5	0,379	0,456
Skład nr 9	343,8	179	1781,6	83,5	0,521	0,244
Skład nr 10	327,3	147,3	1841,2	114,5	0,45	0,35

Badanie przyspieszone odporności na karbonatację betonu prowadzono wg procedury podanej w projekcie normy EN 12390-12 [9]. Badanie wykonuje się na minimum 2 próbkach o wymiarach 100mm×100mm×500mm. Wynikiem badania jest średnia z 20 punktów pomiarowych.. Karbonatacji poddawane są próbki po dojrzeniu nie

krótszym niż 42 dni od wykonania – w tym 1 doba w formie pod przykryciem folii, 27 dni w wodzie i min 14 dni w warunkach laboratoryjnych ( RH 50÷65%, T=18÷25°C), wysuszone do stałej masy. Karbonatacja przebiega w hermetycznej komorze karbonatyzacyjnej w środowisku spełniającym poniższe warunki: wymuszony obieg powietrza o stężeniu CO<sub>2</sub>=(4±0,5)%, temperatura T=(20±2)°C, RH =(55±5)%. Podstawowy czas ekspozycji wynosi 70 dni. W przypadku przedstawionych badań badanie było przeprowadzone po 28, 56, 70 oraz 90 dniach ekspozycji. Do ustalenia głębokości karbonatacji stosuje się roztwór fenoloftaleiny (1g fenoloftaleiny rozpuszczony w 70g alkoholu etylowego i następnie rozcieńczony 30g wody destylowanej). Roztwór natrykuje się na świeży przełom próbki i ocenia zmianę zabarwienia na kolor fioletowy po ok. 60 minutach.

Łącznie w warunkach przyspieszonej karbonatacji zbadano i zamodelowano matematycznie 9 składów betonów o różnych stosunkach w/c oraz p/c wyznaczonych zgodnie z planem eksperymentu, uzyskując bardzo dobrą zgodność wyników z modelem hiperbolicznym w postaci

$$h = a + b \cdot (w/c) + c \cdot (p/c) + B/\sqrt{t} \quad (5)$$

Współczynniki korelacji modeli hiperbolicznych opracowanych na podstawie średnich z pomiarów, wskazują na dobre dopasowanie przyjętego modelu hiperbolicznego do wyników badań laboratoryjnych uzyskanych w warunkach przyspieszonej karbonatacji (R=0,85-0,99) niezależnie od przyjętego zakresu zmiennych materiałowo – technologicznych (tab.3). Adekwatność rzeczywistego przebiegu zjawiska i modeli uzyskanych z wykorzystaniem średnich pomiarowych potwierdza fakt, że we wszystkich seriach pomiarowych wskaźnik zmienności wyników nie przekraczał 10%. Szeroki zakres zmiennych materiałowo – technologicznych przyjęty w przeprowadzonych eksperymentach i wysoka zgodność statystyczna wyników doświadczalnych z testowanym modelem ogólnym karbonatacji oraz mały rozrzut wyników pomiarów w seriach pomiarowych pozwalają przyjąć za prawdziwą tezę, że proces przebiegu karbonatacji ma charakter skończony w przestrzeni betonu, a do matematycznego opisu zmian zasięgu karbonatacji można wykorzystać model karbonatacji będący hiperbolą, której asymptota stanowi maksymalny zasięg karbonatacji.

Tab. 2 Zestawienie zmiennych rzeczywistych i kodowych seriach planu eksperymentu

Nr. Serii	Wartości kodowe		Zmienne rzeczywiste	
	$x_1$	$x_2$	$x_1^{(w/c)}$	$x_2^{(p/c)}$
1	-1	-1	0,379	0,24
2	1	1	0,521	0,46
3	-1,414	0	0,35	0,35
4	1,414	0	0,55	0,35
5	0	-1,414	0,45	0,20
6	0	1,414	0,45	0,50
7	0	0	0,45	0,35
8	-1	1	0,379	0,46
9	1	-1	0,521	0,24
10	0	0	0,45	0,35

Tab.3. Zestawienie modeli karbonatyzacji w warunkach przyspieszonych – (badania własne)

Numer składu betonu	Model karbonatyzacji, $h, t$ – odpowiednio głębokość i czas karbonatyzacji	Rzędna asymptota, mm	Współczynnik korelacji, R
1 w/c=0,379 p/c=0,24	$h=(7,500938)+(2,907884)*0,379+(1,878495)*0,24+(-27,1548)/\sqrt{t}$	9,04	0,96
2 w/c=0,521 p/c=0,46	$h=(9,74987)+(5,126820)*0,521+(4,538526)*0,46+(-54,3055)/\sqrt{t}$	14,49	0,93
3 w/c=0,35 p/c=0,35	$h=(1,769975)+(0,686727)*0,35+(0,686727)*0,35+(-8,35332)/\sqrt{t}$	2,25	0,62
4 w/c=0,55 p/c=0,35	$h=(12,31813)+(6,822073)*0,55+(4,378277)*0,35+(-65,9656)/\sqrt{t}$	17,59	0,96
5 w/c=0,45 p/c=0,2	$h=(10,88112)+(4,954678)*0,45+(2,258276)*0,2+(-50,5864)/\sqrt{t}$	13,56	0,94
6 w/c=0,45 p/c=0,5	$h=(9,372020)+(4,274658)*0,45+(4,738282)*0,5+(-50,3489)/\sqrt{t}$	13,66	0,92
7 w/c=0,45 p/c=0,35	$h=(7,701497)+(3,522767)*0,45+(2,762448)*0,35+(-37,2595)/\sqrt{t}$	10,25	0,85
8 w/c=0,379 p/c=0,46	$h=(2,424346)+(0,983052)*0,379+(1,171441)*0,46+(-11,5269)/\sqrt{t}$	3,33	0,99
9 w/c=0,521 p/c=0,24	$h=(11,88171)+(6,240330)*0,521+(2,929116)*0,24+(-60,4545)/\sqrt{t}$	15,83	0,94

Podstawą przyjęcia modelu hiperbolicznego jest uznanie procesu karbonatyzacji za skończony w czasie w wyniku samoograniczającego się charakteru zjawiska, ze względu na stopniowe obniżenie się wskaźnika dyfuzji CO<sub>2</sub> oraz szybkości karbonatyzacji dążącej asymptotycznie do zera. Maksymalną głębokość karbonatyzacji  $h_{max}$  stanowi asymptota funkcji hiperbolicznej o równaniu:

$$h_{max} = \lim_{t \rightarrow \infty} h\left(\frac{w}{c}; \frac{p}{c}; t\right) = a + b * \left(\frac{w}{c}\right) + c * \left(\frac{p}{c}\right) \quad (5)$$

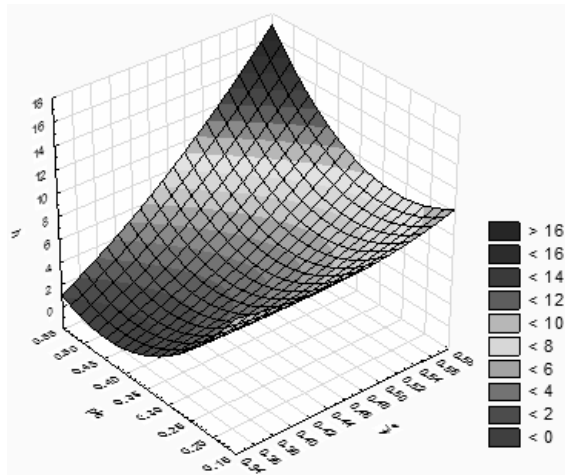
### 3.SFORMUŁOWANIE MODELU GŁĘBOKOŚCI KARBONATYZACJI PO OKREŚLONYM CZASIE EKSPOZYCJI JAKO FUNKCJI w/c ORAZ p/c

Uzyskany zbiór wyników karbonatyzacji posłużył także do sformułowania uogólnionego modelu, wyrażającego zasięg karbonatyzacji w ustalonym czasie  $t$  jako funkcję wskaźnika woda – cement i proporcja udziału popiołu i cementu w spoiwie w postaci:

$$h_i(w/c;p/c)=a+b(w/c)+c(p/c)+d(w/c)^2+e(w/c)(p/c)+f(p/c)^2 \quad (6)$$

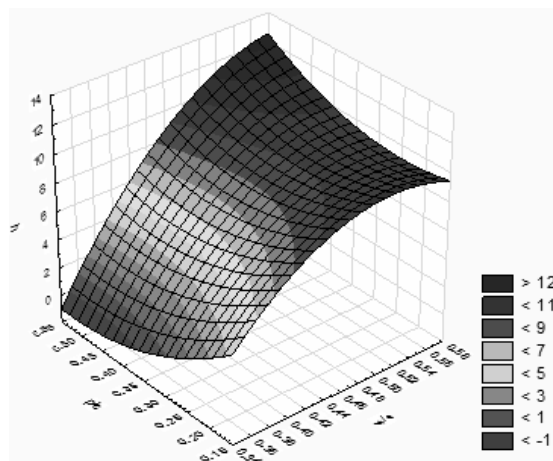
Powierzchnie odpowiedzi uwzględniające całkowity zakres wartości  $x=w/c$  od 0,35 do 0,55 oraz  $y=p/c$  od 0,2 do 0,50 przyjętych w badaniach przedstawiono na kolejnych rysunkach od 1 do 4, odpowiadających wybranym czasom ekspozycji  $t$ , tj. 56, 70, 90 dni oraz czasowi nieskończonemu. Jako zasięg karbonatyzacji w czasie nieskończonym przyjęto rzędne asymptot modeli wyznaczonych we wcześniejszym rozdziale.

$$h(x, y, t)|_{t=56} = 46,5749 - 103,8549 * x - 150,8833 * y + 90,0475 * x * x + 159,1553 * x * y + 107,8645 * y * y$$



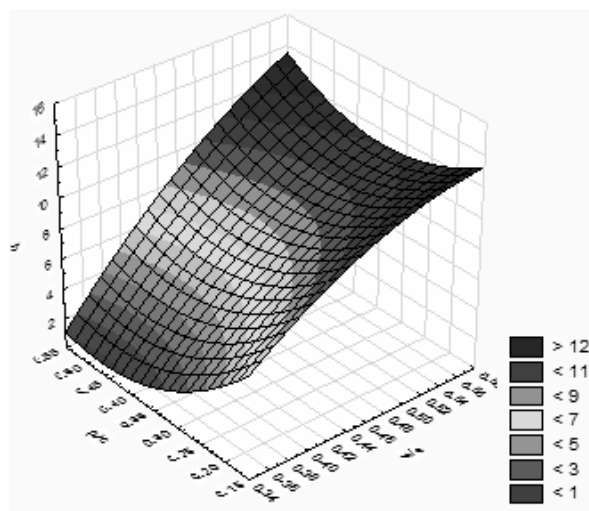
Rys. 1. Model karbonatyzacji w warunkach przyspieszonych t=56 dni; w/c; p/c

$$h(x, y, t)|_{t=70} = -32,0093 + 188,8516 * x - 69,9195 * y - 196,6252 * x * x + 88,2843 * x * y + 37,8822 * y * y$$



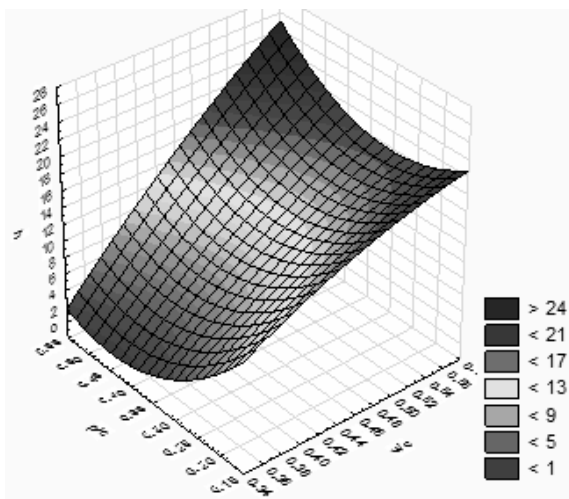
Rys. 2. Model karbonatyzacji w warunkach przyspieszonych t=70 dni; w/c; p/c

$$h(x, y, t)|_{t=90} = -10,4643 + 102,5476 * x - 76,244 * y - 92,3498 * x * x + 62,3145 * x * y + 58,289 * y * y$$



Rys. 3. Model karbonatyzacji w warunkach przyspieszonych t=90 dni; w/c; p/c

$$h(x, y, t)|_{t=\infty} = 2,0543+98,0502*x-161,1833*y-87,7139*x*x+145,6227*x*y+125,0161*y*y$$



Rys. 4. Model karbonatyzacji w warunkach przyspieszonych  $t=\infty$  dni; w/c; p/c

Wyznaczone współczynniki korelacji modeli funkcji drugiego stopnia (tab. 4) pozwalają stwierdzić dobre dopasowanie przyjętego modelu funkcji drugiego stopnia do wyników badań laboratoryjnych uzyskanych w warunkach przyspieszonej karbonatyzacji. Oznacza to, że wyznaczony model można stosować do projektowania grubości otuliny betonowej lub do szacowania trwałości elementu żelbetowego.

Tab.4 Zestawienie modeli karbonatyzacji wraz ze współczynnikiem korelacji – (badania własne)

Czas	Model	R
56 dni	$h(x, y, t) _{t=56} = 46,5749-103,8549*x-150,8833*y+90,0475*x^2+159,1553*x*y+107,8645*y^2$	R=0,98
70 dni	$h(x, y, t) _{t=70} = -32,0093+188,8516*x-69,9195*y-196,6252*x^2+88,2843*x*y+37,8822*y^2$	R=0,96
90 dni	$h(x, y, t) _{t=90} = -10,4643+102,5476*x-76,244*y-92,3498*x^2+62,3145*x*y+58,289*y^2$	R=0,94
$\infty$	$h(x, y, t) _{t=\infty} = 2,0543+98,0502*x-161,1833*y-87,7139*x^2+145,6227*x*y+125,0161*y^2$	R=0,97

#### 4. MODEL OGÓLNY KARBONATYZACJI $h=f(w/c; p/c; 1/\sqrt{t})$ UWZGLĘDNIAJĄCY ZMIENNE MATERIAŁOWE I CZAS EKSPOZYCJI

Opracowanie modeli pomocniczych (rozdział 1 i 2) o dobrym dopasowaniu do wyników badań wskazują, że możliwe jest opracowanie ogólnego modelu karbonatyzacji betonu z popiołem lotnym wapiennym, uwzględniającego zarówno zmienne materiałowe (w/c i p/c) jak i czas karbonatyzacji w określonych warunkach ekspozycji, w następującej postaci:

$$h(w/c;p/c;t)=a+b_1*(w/c)+b_2*(p/c)+b_3/\sqrt{t} \quad (7)$$

gdzie:

h – głębokość karbonatyzacji

a, b1, b2, b3 – współczynniki materiałowo – technologiczne

t – czas ekspozycji

Wszystkie badania prowadzono w odniesieniu do próbek dojrzewających do 28 dni w wodzie, wobec czego w modelu nie uwzględniano czasu początkowej pielęgnacji. Uwzględniając wszystkie wartości wyników badań karbonatyzacji betonów w czasie do 90 dni ekspozycji wyznaczono z użyciem programu Statistica szczegółową postać modelu:

$$h(w/c;p/c;t)=1,069+25,28*(w/c)-3,53*(p/c)-41,066/\sqrt{t}(8)$$

Wyznaczone współczynniki korelacji modelu wynosi  $R=0,85$ . Mówi to o dobrym dopasowaniu przyjętego modelu funkcji do wyników badań laboratoryjnych uzyskanych w warunkach przyspieszonej karbonatyzacji w 4%  $CO_2$ . Modele szczegółowe wyznaczone w opisany sposób mogą mieć zastosowanie jedynie do betonów o takim zakresie stałych i zmiennych charakterystyk materiałowo – technologicznych jak przyjęte w badaniach będących podstawą wyznaczania modeli.

Wielkości obliczeniowe z modelu ogólnego w czasie nieskończonym są zawsze większe od wyników badania i wielkości wyznaczonych z modelu ogólnego w czasie skończonym  $t=30$  lat (tab.5). Oznacza to, że użycie w prognozowaniu lub projektowaniu trwałości wartości obliczeniowych z modelu ogólnego w czasie nieskończonym może być obarczone błędem w stronę bezpieczną, tzn. prawdopodobnie zawyża prognozowaną głębokość karbonatyzacji w stosunku do wartości rzeczywistych.

Tab. 5. Zestawienie wartości obliczeniowych wg. modelu ogólnego z rzeczywistymi wartościami średnimi postępu karbonatyzacji. Głębokości karbonatyzacji podane są w milimetrach

Oznaczenie składu	Wynik badania po 56d $t=56d$	Wynik badania po 70d $t=70d$	Wynik badania po 90d $t=90d$	Wartość obliczeniowa wg. modelu		Stosunek $f/e$
				$t=30$ lat	$t=\infty$	
				$h(w/c;p/c;t)=1,069+25,28*(w/c)-3,53*(p/c)-41,066/\sqrt{t}$	$h(w/c;p/c;t)=1,069+25,28*(w/c)-3,53*(p/c)$	
a	b	c	d	e	f	g
1	5,05	5,7	6,2	9,40	9,79	1,04
2	8,4	8,6	8,3	12,23	12,62	1,03
3	0,63	0,6	2,45	8,28	8,68	1,04
4	7,8	10,4	11,6	13,34	13,73	1,02
5	6,3	7,8	9,2	11,34	11,73	1,03
6	5,1	8,8	9,3	10,28	10,68	1,03
7	3,5	7,1	7,2	10,81	11,20	1,03
8	1,7	2	2,1	8,65	9,04	1,04
9	6,8	9,5	10,4	12,97	13,37	1,03

#### 5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przedstawione wyniki badań i ich statystyczna analiza dowiodły, że przebieg karbonatyzacji betonu z popiołem wapiennym można opisać modelem hiperbolicznym (proces nieskończony w czasie ale o ograniczonym zasięgu w betonie). Zaprezentowano ogólny sposób wyznaczania

takich modeli i opracowano przykłady modeli szczegółowych dla rodziny betonów scharakteryzowanej stałym doborem składników oraz czynników technologicznych i szerokim zakresem zmienności dwóch podstawowych zmiennych materiałowych, tj. współczynnika woda/cement i współczynnika popiołu/cementu.

Przedstawiona koncepcja modelu hiperbolicznego i sposobu jego opracowywania dla rodziny betonów może być przydatna zarówno w projektowaniu grubości otuliny zbrojenia w konstrukcjach narażonych na karbonatyzację jak i w prognozowaniu trwałości elementów eksploatowanych w takich warunkach.

## 5. BIBLIOGRAFIA

1. Thomas, M. (2007). "Optimizing the use of fly ash in concrete", IS548, Portland Cement
2. PN-EN 197-1:2012 Cement - Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku
3. PN-EN 206:2014-04, Beton - Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność
4. Jack M. Chi, Ran Huang, C. C. Yang. Effects Of Carbonation On Mechanical Properties And Durability Of Concrete Using Accelerated Testing Method. Journal of Marine Science and Technology, Vol. 10, No. 1, 2002, s. 14-20
5. F. Pacheco Torgal, S. Miraldo, J.A. Labrincha, J. De Brito. An overview on concrete carbonation in the context of eco-efficient construction: Evaluation, use of SCMs and/or RAC. Construction and Building Materials 36 2012 s.141-150
6. Woyciechowski P., Model Karbonatyzacji betonu, Prace naukowe budownictwo z.157, Oficyna wydawnicza PW Warszawa 2013
7. PN-EN 1008:2004 Woda zarobowa do betonu -- Specyfikacja pobierania próbek, badanie i ocena przydatności wody zarobowej do betonu, w tym wody odzyskanej z procesów produkcji betonu
8. PN-EN 12620 +A1:2010 - Kruszywa do betonu
9. EN 12390-12 Testing hardened concrete — Part 12: Determination of the potential carbonation resistance of concrete: Accelerated carbonation method 2010-12-15

## MODEL OF CARBONATION OF CONCRETE WITH LIMESTONE FLY ASH

The aim of the research presented in the article was to develop a model of carbonation of concrete with limestone fly ash, consistent with the concept of treating carbonation as a process of infinite time but limited in concrete space. The results of their own laboratory tests of the concrete family with constant selection of components and their variable proportions were presented. Statistical analysis of the obtained results allowed to develop the expected mathematical model of carbonation and to show statistically its adequacy to the research results.

**Keywords:** Carbonation model, carbonation of concrete with limestone fly ash, durability.

