

dr inż. Grzegorz Bajorek*
mgr inż. Marta Kiernia-Hnat**
dr inż. Izabela Skrzypczak***

Prognozowanie badań typu kruszyw budowlanych w zależności od zamierzonego stosowania

W 2004 r., wstępując do Unii Europejskiej, Polska musiała wdrożyć przepisy obowiązujące w Unii, a co za tym idzie przyjąć także do stosowania normy europejskie. Będące wcześniej w stosowaniu polskie, niezharmonizowane normy na kruszywa, np. PN-86/B-06712 [1], bardzo precyzyjnie określały wymagany zakres badań wstępnych i badań bieżących. Tymczasem zharmonizowane z Dyrektywą 89/106/EWG normy dotyczące kruszyw budowlanych wskazują, że część właściwości musi być określona (sugerują to sformułowania „powinny spełniać wymagania...”), natomiast w przypadku niektórych właściwości pozwala na pominięcie ich w badaniach przez sformułowanie „jeśli jest to wymagane...”. Ale czy na pewno można niektóre z parametrów pominąć w badaniach? W zasadzie, analizując treść norm [2], [3], [4] i [5], dotyczącą wymagań na kruszywa, można dojść do wniosku, że część parametrów można pominąć w badaniach typu. Jeśli jednak uwzględnimy zapisy załączników norm dotyczących znakowania CE i etykietowania, to zaczynają się pojawiać pewne wątpliwości. W artykule dobrano i zestawiono wymagane zakresy badań typu dla kruszyw pochodzących z różnych źródeł i dla różnych zamierzonych zastosowań.

Uwarunkowania prawne

Ustawa o wyrobach budowlanych [6] oraz towarzyszące jej rozporządzenia wykonawcze określają m.in. zasady wprowadzania wyrobów budowlanych do obrotu oraz ich znakowania. W związku z tym, że na opracowanie zharmonizowanych norm na kruszywa do betonu [2], kruszywa dla budownictwa drogowego [3], kruszywa do zapraw [4] i mieszanek bitumicznych [5] udzielono mandatu, dlatego też szeroko pojęte kruszywa są wyrobem budowlanym i podlegają Ustawie o wyrobach budowlanych. Fakt ten powoduje, że wszyscy producenci kruszyw budowlanych zobowiązani są do stosowania norm zharmonizowanych, a ich wyroby podlegają znakowaniu znakiem CE bądź znakiem budowlanym, podlegają kontroli Nadzoru Budowlanego w zakresie niezbędnym do wprowadzenia ich do obrotu. Niejasne zapisy wymienionych wcześniej norm [2], [3], [4], [5] pozwalają na różne ich interpretacje zarówno przez producentów kruszyw, jak i poszczególne Wojewódzkie Inspektoraty Nadzoru Budowlanego. Efektem takiej sytuacji są różne wymagania stawiane producentom kruszyw w różnych częściach Polski.

Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 305/2011 z 9 marca 2011 r. ustanawiające zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych i uchylające Dyrektywę Rady 89/106/EWG [7] w części obowiązuje

od dnia uchwalenia, jednak w całości wejdzie w życie od początku lipca 2013 r. Dokument ten wprowadza w deklaracji właściwości użytkowych konieczność określenia zamierzonego zastosowania wyrobu budowlanego i dlatego producenci kruszyw zmuszeni są do weryfikacji zakresu badań typu kruszyw, aby odpowiadał zamierzonemu ich zastosowaniu.

Zakres badań typu kruszyw

Normy dotyczące kruszyw budowlanych ([2], [3], [4], [5]) w załącznikach ZA.2 określają procedury atestacji zgodności. W przypadku kruszyw wymagających wysokiego poziomu bezpieczeństwa przyjmuje się system atestacji (oceny) jako 2+, natomiast w przypadku kruszyw niewymagających wysokiego poziomu bezpieczeństwa wystarczający jest system 4.

W załącznikach ZA.3 normy określają znakowanie CE i etykietowanie kruszyw. W tych właśnie załącznikach znajdują się informacje o tym, że do znaku CE powinny być dołączone informacje o istotnych (ze względu na zastosowanie i pochodzenie kruszyw) właściwościach wymienianych w tablicach ZA.1. Zakres badań w przypadku różnych grup uziarnienia kruszyw przedstawiono w tabeli 1 przy założeniu, że badaniom typu podlega kruszywo naturalne, nie jest ono pochodzenia morskiego, a zamierzone jego zastosowanie końcowe jest bez jakichkolwiek wyłączeń. Opracowując program badań typu, uwzględniono także wymagania dotyczące zamierzonego zastosowania określone przy minimalnej częstotliwości badań bieżących.

Kruszywa do betonu. W ich przypadku konieczne jest wykonanie wszystkich badań wskazanych w tabeli wg normy PN-EN 12620 [2]. Wówczas producent deklaruje, iż produkowane przez niego kruszywo nadaje się do betonów wysokiej wytrzymałości, do betonów nawierzchniowych, m.in. tych podlegających ścieraniu przez opony z kolcami, jest odporne na zamrażanie i może być zastosowane do wykonania warstwy ścieralnej nawierzchni betonowej. Możliwe jest ograniczenie zakresu badań typu wskazanego w tabeli. W związku z tym, że w Polsce nie można stosować opon z kolcami, więc badanie z pozycji 17 tabeli (odporność na ścieranie abrazyjne przez opony z kolcami) można pominąć pod warunkiem, że w deklaracji właściwości użytkowych i w informacji towarzyszącej znakowaniu CE znajdzie się informacja o zamierzonym zastosowaniu: „kruszywa do betonu z wyjątkiem betonów nawierzchniowych w rejonach stosowania opon z kolcami”. Bez takiego ograniczenia zamierzonego zastosowania producent naraża się na podważanie zakresu badań typu jako nieadekwatnego do zamierzonego zastosowania.

Kruszywa do niezwiązanych i związanych hydraulicznie materiałów stosowanych w obiektach budowlanych i budownictwie drogowym wymagają wykonania badań typu w pełnym zakresie przedstawionym w tabeli w odniesieniu do normy PN-EN 13242 [3].

* Politechnika Rzeszowska, Centrum Technologiczne Budownictwa przy Politechnice Rzeszowskiej

** Centrum Technologiczne Budownictwa przy Politechnice Rzeszowskiej

*** Politechnika Rzeszowska

Zakres badań typu kruszyw budowlanych

| Lp. | Właściwość | Procedura badawcza | 0-2 Kruszywo drobne | 2-8 Żwir/Grys Kruszywo grube | 8-16 Żwir/Grys Kruszywo grube | Kruszywo o ciągłym uziarnieniu |
|---|---|--------------------|---------------------------|---------------------------------------|--|--------------------------------------|
| Kształt, wymiar i gęstość ziarn | | | | | | |
| 1 | Uziarnienie | PN-EN 933-1 | | | | |
| 2 | Wskaźnik płaskości FI | PN-EN 933-3 | | | | |
| 3 | Wskaźnik kształtu SI | PN-EN 933-4 | | | | |
| 4 | Kanciastość kruszyw drobnych | PN-EN 933-6 | | | | |
| 5 | Zawartość ziarn przekruszonych [%] | PN-EN 933-5 | | | | |
| 6 | Gęstość ziarn | PN-EN 1097-6 | | | | |
| 7 | Nasiąkliwość | PN-EN 1097-6 | | | | |
| 8 | Gęstość nasypowa | PN-EN 1097-3 | | | | |
| Obecność zanieczyszczeń | | | | | | |
| 9 | Zawartość muszli SC | PN-EN 933-7 | | | | |
| 10 | Zawartość pyłów f | PN-EN 933-1 | | | | |
| 11 | Wskaźnik piaskowy SE | PN-EN 933-8 | | | | |
| 12 | Badanie błękitem metylowym MB | PN-EN 933-9 | | | | |
| Odporność na rozdrabnianie/kruszenie/polerowanie | | | | | | |
| 13 | Odporność na rozdrabnianie LA | PN-EN 1097-2 | | | | |
| 14 | Odporność na ścieranie M _{DE} | PN-EN 1097-1 | | | | |
| 15 | Odporność na polerowanie PSV | PN-EN 1097-8 | | | | |
| 16 | Odporność na ścieranie powierzchniowe AAV | PN-EN 1097-8 Zał.A | | | | |
| 17 | Odporność na ścieranie abrazyjne przez opony z kolcami A _N | PN-EN 1097-9 | | | | |
| Skład/zawartość | | | | | | |
| 18 | Opis petrograficzny | PN-EN 932-3 | | | | |
| 19 | Zawartość chlorków | PN-EN 1744-1 | | | | |
| 20 | Siarczany rozpuszczalne w kwasie | PN-EN 1744-1 | | | | |
| 21 | Siarka całkowita | PN-EN 1744-1 | | | | |
| 22 | Zawartość humusu | PN-EN 1744-1 | | | | |
| 23 | Zawartość kwasu fulwo | PN-EN 1744-1 | | | | |
| 24 | Porównawcze badanie wytrzymałość/czas tężenia | PN-EN 1744-1 | | | | |
| 25 | Lekkie zanieczyszczenia organiczne | PN-EN 1744-1 | | | | |
| 26 | Zawartość węgla wapnia | PN-EN 1744-1 | | | | |
| Substancje niebezpieczne | | | | | | |
| 27 | Promieniowane radioaktywne | | | | | |
| 28 | Uwalniane metale ciężkie (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Ba, As, Co, Mo, V) | | | | | |
| 29 | Uwalniane węglowodory poliaromatyczne | | | | | |
| 30 | Uwalniane inne substancje niebezpieczne | | | | | |
| Trwałość i inne | | | | | | |
| 31 | Mrozoodporność | PN-EN 1367-1 | | | | |
| 32 | Reaktywność alkaliczno-krzemionkowa | PN-91/B-06714/34 | | | | |
| 33 | | PN-92/B-06714/46 | | | | |
| 34 | Skurcz przy wysychaniu | PN-EN 1367-4 | | | | |
| 35 | Zgorzel słoneczna bazaltu | PN-EN 1367-3 | | | | |
| 36 | Odporność na szok termiczny | PN-EN 1367-5 | | | | |
| 37 | Przyczepność do spoiw bitumicznych | PN-EN 12697-11 | | | | |

Legenda:

- PN-EN 12620 *Kruszywa do betonu*
- PN-EN 13242 *Kruszywa do niezwiązanych i związanych hydraulicznie materiałów stosowanych w obiektach budowlanych i budownictwie drogowym*
- PN-EN 13139 *Kruszywa do zaprawy*
- PN-EN 13043 *Kruszywa do mieszanek bitumicznych i powierzchniowych utwardzeń stosowanych na drogach, lotniskach i innych powierzchniach przeznaczonych do ruchu*

Kruszywa do zapraw. W ich przypadku zakres badań typu musi odpowiadać zakresowi przedstawionemu w tabeli w odniesieniu do normy PN-EN 13139 [4], gdyż norma ta nie przewiduje jakichkolwiek wykluczeń z badań typu.

Kruszywa do mieszanek bitumicznych i powierzchniowych utwaleń stosowanych na drogach, lotniskach i innych powierzchniach przeznaczonych do ruchu wymagają wykonania pełnego zakresu badań typu przedstawionych w tabeli w odniesieniu do normy PN-EN 13043 [5], która w załączniku B i tablicy B.2 podaje minimalną częstotliwość badań specyficznych właściwości do zastosowania końcowego. Na podstawie tej informacji możliwe jest pominięcie w badaniach typu takich parametrów, jak odporność na polerowanie, odporność na ścieranie powierzchniowe i odporność na ścieranie abrazyjne (pozycje 15, 16 i 17 w tabeli) pod warunkiem zastrzeżenia, że kruszywo nie może być stosowane do warstwy ścieralnej.

Podsumowanie

Opracowując program badań typu kruszyw budowlanych, konieczne jest zawsze określenie na wstępie źródła pochodzenia materiału oraz jego zamierzonego późniejszego zastosowania. Przy takich danych możliwe jest opracowanie ekonomicznie uza-

sadzonego programu badań typu. Na szczególną uwagę zasługuje norma odniesienia dotycząca kruszyw do betonu PN-EN 12620 [2], gdyż daje największą możliwość „wyłączenia” niektórych badań typu, oczywiście przy jednoczesnym ograniczeniu zamierzonego zastosowania kruszywa. Takie podejście do ustalania programu badań typu i badań bieżących kruszyw pozwoli ustalić producentowi, adekwatne do zamierzonego zastosowania kruszywa, koszty badań w ramach kontroli produkcji.

Literatura

- [1] PN-86/B-06712 Kruszywa mineralne do betonu.
- [2] PN-EN 12620 Kruszywa do betonu.
- [3] PN-EN 13242 Kruszywa do niezwiązanych i związanych hydraulicznie materiałów stosowanych w obiektach budowlanych i budownictwie drogowym.
- [4] PN-EN 13139 Kruszywa do zaprawy.
- [5] PN-EN 13043 Kruszywa do mieszanek bitumicznych i powierzchniowych utwaleń stosowanych na drogach, lotniskach i innych powierzchniach przeznaczonych do ruchu.
- [6] Ustawa o wyrobach budowlanych.
- [7] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 305/2011 z 9 marca 2011 r. ustanawiające zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych i uchylające Dyrektywę Rady 89/106/EWG.

dr inż. Grzegorz Bajorek*
mgr inż. Marta Kiernia-Hnat**
dr inż. Izabela Skrzypczak***

Zastosowanie autokorelacji w analizie wyników wytrzymałości betonu na ściskanie

Wytrzymałość na ściskanie charakteryzuje się dużą zmiennością [3]. Do jej opisu stosowane są metody statystyczne uwzględniające czynnik następstwa czasowego mierzonych wartości wytrzymałości z wykorzystaniem teorii szeregów czasowych [1]. W artykule przedstawiono przykład zastosowania teorii szeregu czasowego, której rezultatem jest wyznaczenie modelu opisującego zmienność wytrzymałości na ściskanie betonu, mogącego stanowić w przyszłości podstawę działań prognozy stycznych.

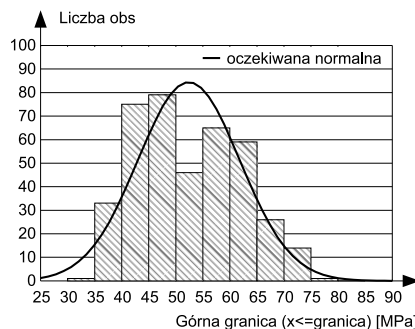
Modelowanie procesów stochastycznych z wykorzystaniem teorii szeregów czasowych składa się z trzech podstawowych etapów:

- identyfikacja badanego procesu (szeregu czasowego);

* Politechnika Rzeszowska, Centrum Technologiczne Budownictwa przy Politechnice Rzeszowskiej

** Centrum Technologiczne Budownictwa przy Politechnice Rzeszowskiej

*** Politechnika Rzeszowska



Wartości statystyk opisowych:
średnia [MPa] – 52,6; błąd standardowy [MPa] – 0,6; mediana [MPa] – 53,4; odchylenie standardowe [MPa] – 9,5; wariancja [MPa²] – 89,5; kurtოza – -1,0; skośność – 0,1; rozstęp [MPa] – 39,6; minimum [MPa] – 35,0; maksimum [MPa] – 74,6

Rys. 1. Histogram wartości wytrzymałości na ściskanie betonu klasy C30/37 oraz wartości statystyk opisowych

- estymacja i diagnostyka parametrów modelu wynikającego z identyfikacji badanego szeregu czasowego;

- prognozowanie badanego procesu.

Pomiary zmienności wytrzymałości betonu na ściskanie przeprowadzono na podstawie danych uzyskanych z węzła

betoniarskiego na terenie Podkarpacia. Dysponowano zbiorem $N = 399$ wyników betonu na realizowany na Podkarpaciu obiekt mostowy. Zebrane dane dotyczyły okresu od marca 2010 do marca 2012 r. (rysunek 1).

Szeregi czasowe – modelowanie szeregu czasowego

W analizie szeregów czasowych stacjonarnych stosuje się trzy podstawowe typy [1, 2]:

- model autoregresyjny rzędu p oznaczany symbolem AR (p) – Autoregressive, opisany równaniem:

$$x_t = c_1 + \varphi_1 x_{t-1} + \varphi_2 x_{t-2} + \varphi_3 x_{t-3} + \dots + \varphi_p x_{t-p} + \alpha_t \quad (1)$$

gdzie:

- c_1 – stała;
- φ_n – współczynniki wagowe modelu szeregu czasowego $n \leq p$;
- α_t – nieskorelowana zmienna losowa o rozkładzie normalnym $(0, \sigma_\alpha^2)$, tzw. biały szum;

- model średniej ruchomej rzędu q oznaczany symbolem MA (q) – Moving Average model, opisany równaniem:

$$x_t = c_2 + \alpha_t - \theta_1 \alpha_{t-1} - \theta_2 \alpha_{t-2} - \theta_q \alpha_{t-q} \quad (2)$$

gdzie:

c_3 – stała;
 θ_1 – współczynniki wagowe modelu szeregu czasowego $n \leq q$;
 α_1 – jak w równaniu (1);

■ model autoregresyjny średniej ruchomej rzędu (p, q) oznaczany symbolem ARMA (p, q) , opisany równaniem:

$$x_t = c_3 + \Phi_1 x_{t-1} + \dots + \Phi_p x_{t-p} - \theta_1 \alpha_{t-1} - \dots - \theta_q \alpha_{t-q} + \alpha_t \quad (3)$$

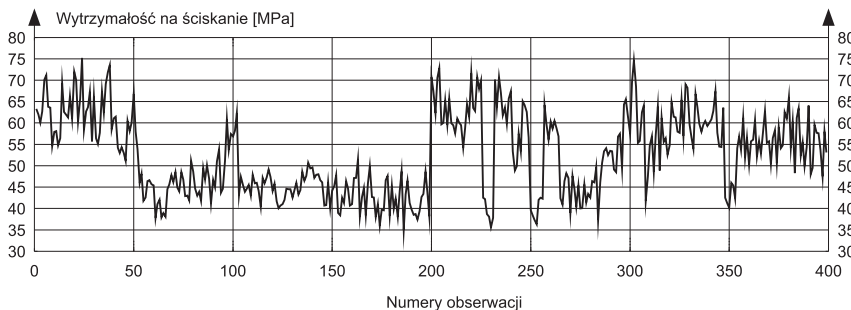
gdzie:

c_3 – stała;
 pozostałe parametry jak w równaniach (1) i (2).

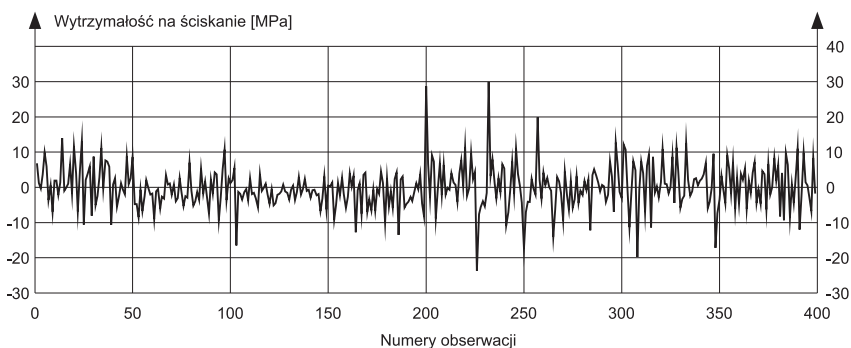
W wielu przypadkach można otrzymać adekwatny opis obserwowanego szeregu czasowego za pomocą modelu autoregresji AR, średniej ruchomej MA lub modelu autoregresji i średniej ruchomej ARMA, w których rzędy modeli p i q są wg [1, 2] nie większe, a często mniejsze niż 2 ($p, q \leq 2$).

Warunkiem stacjonarności obserwowanego szeregu czasowego x_t jest spełnienie trzech następujących warunków:

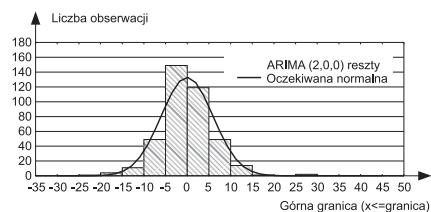
- wartość oczekiwana $E(x_t)$ jest stała (nie zmienia się wraz ze zmianą chwili t);
- wariancja jest stała;



Rys. 2. Szereg czasowy wytrzymałości na ściskanie w analizowanym okresie badań 2010-2012



Rys. 3. Funkcja autokorelacji – wykres reszt



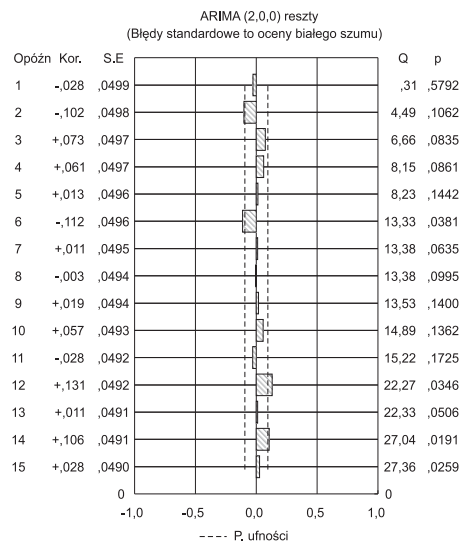
Rys. 4. Histogram reszt

• autokorelacja szeregu czasowego zależy tylko od różnicy $(t-n)$, gdzie autokorelacja to statystyka opisująca, w jakim stopniu dany wyraz obserwowanego szeregu czasowego x_t zależy od wyrazów poprzedzających go.

Do identyfikacji obserwowanego szeregu czasowego wykorzystano program Statistica i polega ona na analizie kształtu funkcji autokorelacji, autokorelacji cząstkowej oraz wykresu funkcji autokorelacji reszt, który pozwala wnioskować o klasie analizowanego szeregu czasowego i innych cechach, np. okresowości (rysunki 2 – 5).

Analiza kształtu wykresów autokorelacji i autokorelacji cząstkowej wytrzymałości na ściskanie wskazuje na autoregresyjny charakter procesu. Hipotezę potwierdza kształt wykresu funkcji autokorelacji reszt (rysunek 5) – silne skupienie prążków w bezpośredniej bliskości zera wskazuje również na autoregresyjny charakter badanego szeregu.

Zakładając, że szereg jest opisany modelem autoregresyjnym AR(2), to jego rząd p wynika z kształtu funkcji autoko-



Rys. 5. Wykres funkcji autokorelacji reszt

zbieżne z modelem zaproponowanym przez Taewre [3], który do opisu wytrzymałości betonu na ściskanie zaproponował model AR(1) oraz AR(2).

Wstępną ocenę stanowi wartość współczynnika korelacji między resztami odległymi o pewien okres (przesunięcie). Stosując odpowiednie testy, wyciągnięto wnioski o istnieniu autokorelacji reszt pierwszego i drugiego rzędu badanej populacji. Wykorzystane testy Durbin_Watson oraz Breusch_Godfrey potwierdziły, że na poziomie istotności 0,05 można uznać, że reszty są skorelowane.

Wnioski

Przeprowadzone wstępne analizy potwierdzają, że przy badaniu wytrzymałości betonu na ściskanie można zastosować teorię szeregów czasowych. Przedstawione w artykule dane opisano za pomocą modeli AR(1) oraz AR(2). W przypadku zastosowania modeli typu ARMA lub ARIMA otrzymany model AR(2) można zapisać jako ARMA(2, 0) lub ARIMA(2, 0, 0). Kontynuacja badań umożliwi bardziej precyzyjną ocenę zmienności wytrzymałości betonu na ściskanie.

Literatura

[1] Drapik S., Kobielski A., Prusak J., Analiza zmienności obciążeń trakcyjnych w ujęciu szeregów czasowych, Elektrotechnika, 1-E/2011 zeszyt 13, 2011.
 [2] Snarska A., Statystyka Ekonometria prognozowanie, Placet, W-wa, 2009.
 [3] Taewre L., The influence of autocorrelation on OC-lines of compliance criteria for concrete strength, Materials and Structures, 1987, nr 20, s. 418 – 427.