

## **ANALIZA ZALEŻNOŚCI POMIĘDZY METODAMI (VE-BE I STOLIKA ROZPŁYWOWEGO). BADANIA KONSYSTENCJI MIESZANKI BETONOWEJ**

Konrad Podawca, Michał Tupacz

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono porównanie wyników badania konsystencji metodą Ve-Be, stosowaną na podstawie PN-88/B-06250, i stolika rozplywowego wprowadzoną wraz z normą PN-EN 206-1 w 2003 roku. Celem badań było otrzymanie matematycznej zależności pomiędzy dwiema metodami badania konsystencji mieszanki betonowej: metody Ve-Be oraz metody stolika rozplywowego.

**Słowa kluczowe:** beton, mieszanka betonowa, konsystencja, Ve-Be, stolik rozplywowy

### **WSTĘP**

Aktualna norma dotycząca betonu została opublikowana przez Polski Komitet Normalizacyjny (PKN) w 2003 roku. Wprowadzenie jej było wydarzeniem tym bardziej znaczącym, że równocześnie zwiększył się zasięg jej działania, jest to bowiem norma wprowadzona w całej Europie. Zaczyna się ona od słów: „Niniejsza norma europejska będzie stosowana w Europie w różnych warunkach klimatycznych i geograficznych, przy różnych poziomach ochrony oraz przy różnych, dobrze ustalonych regionalnych tradycjach i doświadczeniu” [PN-EN 206-1:2003]. W normie pewne zagadnienia są potraktowane szerzej, inne są nieco zmodyfikowane, a niektóre rozpatrywane są pod zupełnie innym kątem niż w poprzednich jej wersjach.

Zauważalną i znaczącą odmiennością cechuje się przedstawienie w normie europejskiej badań i oceny konsystencji mieszanki betonowej. Dwie stosowane już w Polsce metody badawcze (metoda opadu stożka i metoda Ve-Be) zostały wzbogacone o dwa kolejne sposoby określania konsystencji (metoda stopnia zagęszczalności i metoda stolika rozplywowego). Zmienione zostało także nazewnictwo określające konsystencję – ze słownego określenia odzwierciedlającego stan fizyczny mieszanki na system cyfrowo-literowy. Zmiany te sprawiły trudności w sposobie określania ciekłości mieszanek

---

Adres do korespondencji – Corresponding author: Konrad Podawca, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Wydział Inżynierii i Kształtowania Środowiska, Katedra Budownictwa i Geodezji, ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa, e-mail: konrad\_podawca@sggw.pl

betonowych (ich konsystencji), a w praktyce problemy w prawidłowym ich projektowaniu, zgodnym z założonymi klasami konsystencji według normy PN-EN 206-1.

## PRZEGLĄD LITERATURY

W literaturze przedmiotu można znaleźć pewne szacunkowe wartości przedziałów opartych na podziale zgodnym z normą PN-EN 206-1 w odniesieniu do terminologii opisującej konsystencje według normy PN-B-06250 [Czarnecki 2005, Stefańczyk i in. 2005].

Publikacje z zakresu technologii betonu zawierają również próby określenia zależności pomiędzy metodami wyznaczania konsystencji. Były one przedmiotem badań, których efekt można odnaleźć m.in. w publikacji pod kierunkiem Czarneckiego [2005]. Podano w niej wyznaczone doświadczalnie zależności, pozwalające na przeliczenie wartości konsystencji wyznaczonych metodą stożka opadowego na wartości wyznaczone metodą rozplywu i stopnia zagęszczalności. Poniższe wzory można stosować dla mieszanek betonowych o maksymalnym wymiarze ziarna w zakresie  $D_{\max} = 16\text{--}32$  mm:

– dla metod S–F (stożek – rozplyw)

$$F = 1,1432S + 315,95 \quad (1)$$

– dla metod S–C (stożek – stopień zagęszczalności)

$$C = 1,4117 - 0,0714 \ln S \quad (2)$$

W publikacji Czarneckiego [2005] podano wzory przeliczeniowe tylko dla wyżej wymienionych metod badania konsystencji. Warto zająć się takimi odwzorowaniami matematycznymi, m.in. metodami badania konsystencji mieszanek betonowych. Celem badawczym jest znalezienie korelacji pomiędzy wynikami uzyskanymi metodą Ve-Be i stolika rozplywowego dla konsystencji plastycznej i półciekłej.

## METODY BADAŃ

Charakter analizy wymagał zastosowania jednocześnie metod doświadczalnych, obliczeniowych i statystycznych.

Do grupy pierwszej należały metody:

– analizy sitowej, w celu sprawdzenia składu ziarnowego piasku i możliwości zastosowania go w mieszance betonowej zgodnie z normą PN-EN 933-1/2000,

– iteracji (kolejnych przybliżeń), w celu znalezienia optymalnego stosu okruszowego kruszywa pod względem jamistości i wodożądności [Małolepszy i in. 1995, Gantner i in. 2000, Mizera i in. 2000, Jamroży 2003],

– Ve-Be, w celu określenia konsystencji mieszanki betonowej zgodnie z PN-EN 12350-3:2001 (ze względu na wynikowy cel matematyczny badań odczyty czasu przyjmowano z dokładnością stopera, tj. do 0,001 s, a nie zaokrąglone do 1 s, jak przewiduje norma),

– stolika rozplywowego, w celu sprawdzenia konsystencji mieszanki betonowej zgodnie z PN-EN 12350-5:2001 (ze względu na wynikowy cel matematyczny badań odczyty długości przyjmowano z dokładnością przyrządu pomiarowego, tj. do 1 mm, a nie zaokrąglone do 10 mm, jak przewiduje norma).

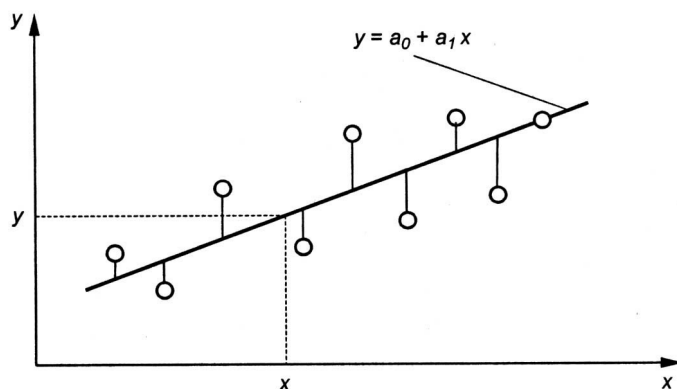
W drugiej grupie metod należy wymienić metody służące do ustalenia składu mieszanki betonowej [Nevile 2000, Szymański 2002, Jamróży 2003, Nocuń-Wczelik i in. 2003, Stefańczyk i in. 2005], tj. Bukowskiego i Kluza-Eymana.

W celu określenia zależności matematycznej oraz wyznaczenia pasa ufności posłużono się metodą najmniejszych kwadratów i metodą średniego odchylenia standardowego [Oktaba 1980, Kowalewski 2000].

Metoda najmniejszych kwadratów polega na znalezieniu najbardziej prawdopodobnych współczynników występujących w funkcji analitycznej, której postać wynika z założonego modelu, tj. takich współczynników, dla których suma kwadratów odchyleń poszczególnych pomiarów od wartości obliczonej rozciągnięta na wszystkie pomiary, posiada wartość minimalną [Kowalewski 2000]. Wynikiem obliczeń dokonanych tą metodą jest określenie liniowej zależności, która powinna mieć charakterystykę określoną funkcją:

$$y = a_0 + a_1 x \quad (3)$$

a obrazem graficznym tej zależności jest rysunek 1.



Rys. 1. Aproksymacja liniowa metodą najmniejszych kwadratów [Kowalewski 2000]

Fig. 1. Linear approximation done by least square method [Kowalewski 2000]

Metoda średniego odchylenia standardowego polega na określeniu średniego odchylenia kwadratowego dla wartości funkcji regresji, koniecznego do określenia wzorów dwóch prostych, z których jedna znajduje się powyżej wyznaczonej uprzednio prostej, a druga poniżej, tworząc w ten sposób przedział ufności dla prostej, zgodnie z poniższym schematem:

– na podstawie równania prostej  $y = ax + b$  wyznaczonego z metody najmniejszych kwadratów obliczamy wartości zastępcze

$$\bar{y}_i = ax_i + b \quad (4)$$

gdzie  $x_i$  są to wartości uzyskane z badań,

– wyznaczamy średnie odchylenie kwadratowe dla wartości funkcji regresji:

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( y_i - \bar{y}_i \right)^2 \quad (5)$$

– obliczamy pierwiastek z odchylenia kwadratowego

$$S = \sqrt{S^2} \quad (6)$$

– określamy wzory prostych wyznaczających pas ufności:

$$y = ax + b + S \quad (7)$$

$$y = ax + b - S \quad (8)$$

## USTALENIE SKŁADU MIESZANKI BETONOWEJ

### Określenie optymalnego stosu kruszynowego

Dobór najlepszego kruszywa do mieszanki betonowej został przeprowadzony według następujących etapów:

1. Analiza sitowa piasku według PN-EN 933-1/2000. Badania geometrycznych właściwości kruszyw. Oznaczanie składu ziarnowego metodą przesiewu.

2. Sprawdzenie krzywej uziarnienia piasku z krzywymi granicznymi.

3. Określenie procentowego stosunku zmieszania poszczególnych frakcji kruszywa grubego metodą iteracji:

– I seria badań dla frakcji 8–16 ( $G_1$ ) i 4–8 ( $G_2$ ), najkorzystniejszy stosunek zmieszania uzyskano przy stosunku  $G_1 : G_2 = 54 : 46$ ,

– II seria badań dla mieszaniny 4–16 ( $G_{1-2}$ ) i frakcji 2–4 ( $G_3$ ), optymalnym połączeniem mieszaniny frakcji 8–16 i 4–8 ( $G_{1-2}$ ) i frakcji 2–4 ( $G_3$ ) będzie stosunek  $G_{1-2} : G_3 = 82 : 18$ .

4. Określenie procentowego stosunku zmieszania kruszywa 2–16 mm ( $G_{1-2-3}$ ) z piaskiem ( $G_4$ ) metodą iteracji, zgodnie z zasadą minimalnej sumy jamistości i wodożądności:

– III seria badań, najkorzystniejszy stosunek procentowy  $G_{1-2-3} : G_4 = 65 : 35$  (rys. 2).

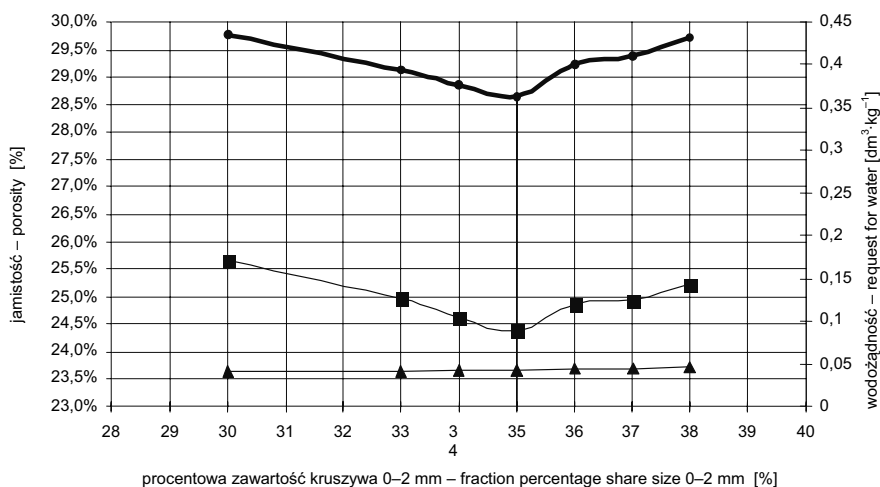
5. Ustalenie ostatecznego składu ziarnowego kruszywa, które zostanie użyte do badań (tab. 1).

6. Sprawdzenie krzywej uziarnienia kruszywa z krzywymi granicznymi (rys. 3).

### Obliczenie składu mieszanki betonowej

Przyjęto następujące założenia dla projektowanej mieszanki betonowej:

- beton klasy wytrzymałości C 16/20,
- konsystencja półciekła i plastyczna,
- kruszywo naturalne o uziarnieniu dobranym w trakcie badań,
- gęstość objętościowa kruszywa  $\rho_k = 2,65 \text{ kg} \cdot \text{dm}^{-3}$ ,
- punkt piaskowy PP = 35%,
- cement CEM I 32,5,



■ jamistość - porosity    ● jamistość + wodożądność - porosity + request for water    ▲ wodożądność - request for water

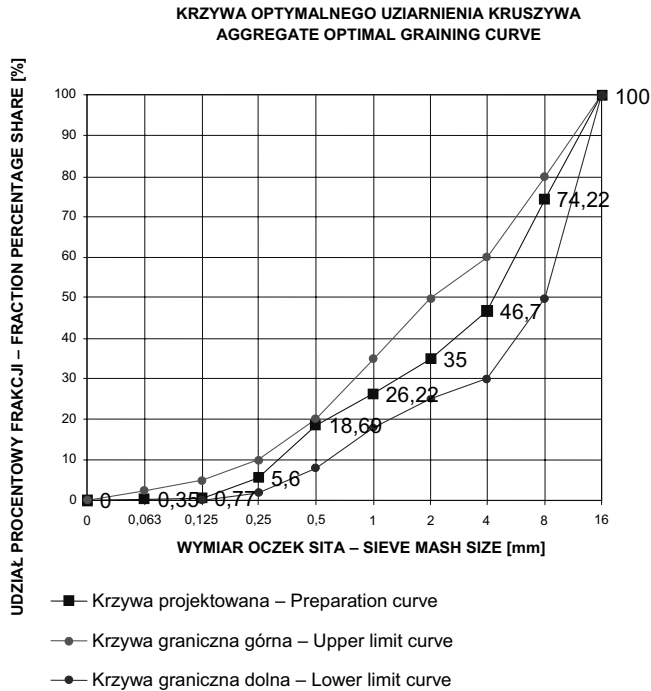
Rys. 2. Wykres jamistości i wodożądności kruszywa dla badań serii III (opracowanie własne)  
 Fig. 2. Diagram of porosity and request for water aggregate for III series analysis (autor's study)

Tabela 1. Skład procentowy optymalnego uziarnienia kruszywa uzyskanego w badaniu metodą iteracji (opracowanie własne)

Table 1. Optimal grain size distribution of aggregate received from iteration method (author's study)

Wymiar oczek sita Sieve mesh size [mm]	Fracja Fraction [mm]	Udział procentowy frakcji Fraction percentage share [%]
0	0-0,063	0,35
0,063	0,063-0,125	0,42
0,125	0,125-0,25	4,83
0,25	0,25-0,5	13,09
0,5	0,5-1,0	7,53
1,0	1,0-2,0	8,78
2,0	2,0-4,0	11,7
4,0	4,0-8,0	27,52
8,0	8,0-16,0	25,78
Suma - Total		100,00

- gęstość cementu  $\rho_c = 3,1 \text{ kg}\cdot\text{dm}^3$ ,
- wskaźniki wodożądności kruszywa i cementu zostały określone w sposób tabelaryczny według Nocuń-Wczelik i in. [2003],
- współczynnik  $A = 18$  dla kruszywa naturalnego i cementu 32,5, według Nocuń-Wczelik i in. [2003].



Rys. 3. Krzywa optymalnego uziarnienia dobrana metodą iteracji (opracowanie własne)  
Fig. 3. Aggregate optima graining curve to iteration method (author's study)

Obliczenia wykonano na podstawie dwóch sposobów z grupy metod „trzech równań”, tj. metody Bukowskiego i Kluza-Eymana. Obydwoma metodami uzyskano identyczne wyniki zamieszczone w tabeli 2.

Tabela 2. Skład mieszanki betonowej o konsystencji plastycznej i półciekłej (opracowanie własne)  
Table 2. The concrete mix composition with the plastic and semiliquid consistency (author's study)

Składniki Components	Skład mieszanki betonowej – The concrete mix composition [kg·m <sup>-3</sup> ]	
	Konsystencja plastyczna Plastik consistency	Konsystencja półciekła – Semiliquid consistency
Cement – Cement	318	367
Piasek – Sand curve	676	637
Kruszywo grube – Gravel curve	1255	1184
Woda – Water	168	194

## WYNIKI BADAŃ

Badania konsystencji wykonano w laboratorium budowlanym Katedry Budownictwa i Geodezji SGGW w Warszawie metodą Ve-Be [PN-EN 12350-3:2001] i metodą stolika rozpluwowego [PN-EN 12350-3:2001] (tab. 3 i 4).

Tabela 3. Zestawienie wyników badania konsystencji plastycznej (K3) mieszanki betonowej metodą stolika rozplywowego i metodą Ve-Be (opracowanie własne)

Table 3. The results of the examination of the plastic (K3) consistency of a concrete mix with the spilling table and Ve-Be methods (author's study)

Numer próbki Number of sample	Stolik rozplywowy Spilling table			Numer próbki Number of sample	Ve-Be		
	Średnice rozplywu Spill diameter		$(d_1+d_2)/2$ [mm]		Rodzaj opadu Types of a fall	Opad A fall [mm]	Czas Ve-Be Time Ve-Be [s]
	$d_1$ [mm]	$d_2$ [mm]					
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	433	418	426	1	właściwy proper	6	9,489
2	428	391	410	2	właściwy proper	4	9,489
3	408	373	391	3	właściwy proper	4	11,396
4	434	409	422	4	właściwy proper	6	8,760
5	420	389	405	5	właściwy proper	4	9,641
6	450	400	425	6	właściwy proper	5	9,766
7	468	375	422	7	właściwy proper	4	8,921
8	395	401	398	8	właściwy proper	5	9,858
9	375	440	408	9	właściwy proper	4	9,600
10	355	450	403	10	właściwy proper	5	8,515
11	459	373	416	11	właściwy proper	7	10,569
12	420	415	418	12	właściwy proper	9	10,338
13	360	420	390	13	właściwy proper	3	12,226

Próbki do badań pobierane były z partii mieszanki betonowej o objętości 1,5 raza większej od potrzebnej do wykonania oznaczenia. Próbki brane do badania w metodzie Ve-Be i stolika rozplywowego o identycznej numeracji pobierano z tego samego zarobu roboczego.

Dla założonej konsystencji plastycznej K3 uzyskane wyniki w porównaniu z normą PN-EN 206-1 mieszczą się prawie w całości w przedziale konsystencji oznaczonej jako V3. Podobnie dane uzyskane dla konsystencji półciekłej K4 mieszczą się prawie w całości w konsystencji V4. Biorąc więc pod uwagę metodę Ve-Be oraz sugestie autorów [Czarnecki 2005, Stefańczyk i in. 2005], dotyczące przypisywania słownych oznaczeń konsystencji do aktualnych klas konsystencji, należy stwierdzić, że zaprojektowane mieszanki spełniły założenia.

Tabela 4. Zestawienie wyników badania konsystencji półciekłej (K4) mieszanki betonowej metodą stolika rozplywowego i metodą Ve-Be (opracowanie własne)

Table 4. The results of the examination of the semiliquid (K4) consistency of a concrete mix with the spilling table and Ve-Be methods (author's study)

Numer próbki Number of sample	Stolik rozplywowy Spilling table			Numer próbki Number of sample	Ve-Be		
	Średnice rozplywu Spill diameter		$(d_1+d_2)/2$ [mm]		Rodzaj opadu Types of a fall	Opad A fall [mm]	Czas Ve-Be Time Ve-Be [s]
	$d_1$ [mm]	$d_2$ [mm]					
1	2	3	4	5	6	7	8
14	445	450	448	14	właściwy proper	48	5,116
15	440	430	435	15	właściwy proper	56	5,238
16	452	435	444	16	właściwy proper	53	3,461
17	467	430	449	17	właściwy proper	64	3,782
18	440	427	434	18	właściwy proper	44	4,873
19	434	420	427	19	właściwy proper	54	5,125
20	462	438	450	20	właściwy proper	68	3,444
21	432	427	430	21	właściwy proper	60	4,228
22	420	425	423	22	właściwy proper	40	6,264
23	446	449	448	23	właściwy proper	48	3,429
24	430	436	433	24	właściwy proper	51	4,018
25	458	438	448	25	właściwy proper	60	2,910

Przyglądając się wynikom z metody stolika rozplywowego, należy zauważyć, że mieszanka o konsystencji półciekłej spełniła założenia, natomiast mieszanka o konsystencji plastycznej wykazywała cechy mieszanki półciekłej [Podawca 2007].

#### **ZALEŻNOŚĆ MATEMATYCZNA POMIĘDZY BADANIEM KONSYSTENCJI METODĄ STOLIKA ROZPLYWOWEGO I METODĄ VE-BE**

W celu uzyskania zależności matematycznej pomiędzy dwiema metodami badania konsystencji mieszanki betonowej należy wykreślić prostą uśredniającą otrzymane wyniki oraz w następnej kolejności wyznaczyć jej wzór matematyczny. Aby zrealizować to zadanie, wykorzystano metodę najmniejszych kwadratów.



W celu określenia, czy linię trendu (rys. 4) można uznać za wiarygodną, wyznaczono wartość  $R^2$ , określaną także jako kwadrat współczynnika korelacji Pearsona. Im wartość liczbowa tego współczynnika jest bliższa 1, tym bardziej linia trendu jest zbliżona do wartości liniowej. Dla powyższych danych wartość  $R^2 = 0,8$ , co pozwala stwierdzić, że między danymi punktami rzeczywiście istnieje korelacja liniowa.

Dzięki powyższej analizie można określić wzór matematyczny, umożliwiający wyznaczenie z badań konsystencji jednej metody przybliżonych wyników, jakie uzyskano by drugą metodą. Z wykonanych badań i analiz wynika, że wzór ten będzie miał następującą postać:

$$V = 68,5 - 0,145R \quad (9)$$

gdzie:  $V$  – przewidywany wynik z metody Ve-Be,

$R$  – wynik uzyskany metodą stolika rozplywowego.

Analogicznie można przedstawić wzór wyznaczający wyniki metody stolika rozplywowego na podstawie pomiarów z metody Ve-Be. Wzór przyjemnie wtedy postać:

$$R = 472,4 - 6,9V \quad (10)$$

gdzie:  $R$  – przewidywany wynik z metody stolika rozplywowego,

$V$  – wynik uzyskany metodą Ve-Be.

Ze względu na to, że zjawiska – badania z dziedziny technologii betonu, nie odznaczają się dużą powtarzalnością, w celu określenia możliwości i zakresu zastosowań wzoru postanowiono wyznaczyć przedział ufności (zwany też pasem ufności) dla funkcji regresji:

$$S^2 = \frac{1}{25} \sum_{i=1}^{25} \left( y_i - \bar{y}_i \right)^2 = 1,94$$

$$S = \sqrt{1,94} = 1,39$$

Krzywa górna:

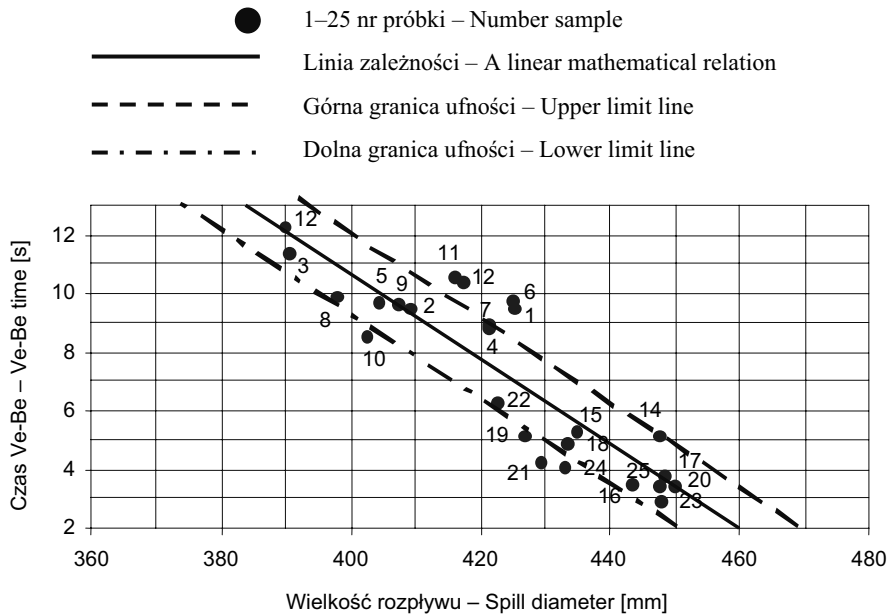
$$V = -0,145R + 69,89$$

Krzywa dolna:

$$V = -0,145R + 67,11$$

Wyznaczony metodą średniego odchylenia kwadratowego przedział ufności prostej regresji pokazuje szacunkowe granice poprawnego działania wzoru. Na poniższym wykresie (rys. 4) zaprezentowano prostą (malejącą), uzyskaną z programu Excel, na podstawie zadanych punktów otrzymanych z badań doświadczalnych na tle wyznaczonego pasa ufności.

Przedstawiony przedział ufności zawiera 68% punktów uzyskanych z badań laboratoryjnych. Biorąc pod uwagę fakt, że badane zjawisko odznacza się dużą zmiennością i zależnością od bardzo wielu czynników zewnętrznych, można stwierdzić, że jest to wynik średnio zadowolający.



Rys. 4. Liniowa zależność matematyczna pomiędzy metodą Ve-Be i stolika rozplýwowego oraz przedział ufności (opracowanie własne)

Fig. 4. A linear mathematical relation between the Ve-Be method and the spilling table method with confidence interval (author's study)

## DYSKUSJA WYNIKÓW I WNIOSKI

Posługując się przedstawiają zależnością pomiędzy badaniem konsystencji mieszanki betonowej metodą stolika rozplýwowego i metodą Ve-Be, należy mieć na uwadze, że została ona uzyskana w warunkach laboratoryjnych, a badania wykonane były tylko na podstawie jednego stosu kruszywa. Nie stosowano także innych klas wytrzymałości betonu, poza B20 (C 16/20). Dlatego też zaleca się jego weryfikację przed zastosowaniem w innych niż przedstawione warunkach.

Analizując uzyskane wyniki badań, możemy sprecyzować następujące wnioski szczególne:

1. Zależność pomiędzy metodami badania konsystencji mieszanki betonowej (metodą Ve-Be i metodą stolika rozplýwowego) jest funkcją liniową.

2. Podane wzory mogą być stosowane w przedziale wyrażonym w postaci odchylenia czasu Ve-Be, wynoszącym  $\pm 1,39$  s.

3. Uwzględniając występujące przedziały wartości poszczególnych konsystencji w badaniach, przedział ufności należy uznać za średnio zadowalający (68% wyników leży w wyznaczonym przedziale ufności).

4. Wzór opracowano jednocześnie dla konsystencji półciekłej i plastycznej, ponieważ wielkość (zakres) przedziałów konsystencji metody Ve-Be i stolika rozplýwowego są zbliżone (przedziały Ve-Be: konsystencja F3 420–480 mm, konsystencja F4 490–550 mm,

więc zakresy dla obydwu wynoszą 60 mm, podobnie w metodzie stolika rozpliwowego: F3 6–10, a F4 3–6 s, więc zakres też jest zbliżony [Czarnecki 2005].

5. Wzorów tych nie należy stosować dla konsystencji skrajnych (wilgotnej i ciekłej, gdzie występowały zróżnicowane przedziały wartości przy metodzie Ve-Be, wynoszące 10 s), jak również dla konsystencji gęstoplastycznej, dla której z przeprowadzonej próby określenia konsystencji metodą Ve-Be dla zaprojektowanej mieszanki gęstoplastycznej uzyskano wyniki (około 120 s) przez normę PN-EN 206-1 uznawane za niemiarodajne.

6. Wykorzystując metodę Kluza-Eymana i Bukowskiego oraz posługując się tabelarycznymi wskaźnikami wodożądności, otrzymano beton, który badany metodą Ve-Be odpowiada zaprojektowanej konsystencji (według przedziałów podanych w PN-EN 206-1), natomiast po części odbiega od przedziałów przy badaniu metodą stolika rozpliwowego.

## PODSUMOWANIE

Stosowanie metod porównawczych w zakresie badania konsystencji mieszanek betonowych daje możliwość prognozowania wyników, jakie otrzymano by różnymi metodami, mając do dyspozycji dane uzyskane tylko jedną. Można je stosować m.in. do przeliczeń starych danych na nowe metody, a także do sprawdzenia poprawności wykonanych badań laboratoryjnych. Pozwalają one także szerzej spojrzeć na problem określania konsystencji oraz powiązania ze sobą metod stosowanych w różnych krajach.

Kolejne badania powinny „iść” w kierunku sprawdzenia tabelarycznych wskaźników wodożądności przy stosowania ich w procesie projektowania składu mieszanki betonowej w kontekście otrzymania mieszanki o założonej klasie konsystencji zgodnej z PN-EN 206-1.

## PIŚMIENNICTWO

- Czarnecki L., 2005. Beton według normy PN-EN 206-1 – komentarz. Wydawnictwo Polski Cement, Kraków.
- Gantner E., Wrońska Z., Wędrychowski W., Nicewicz S., 2000. Materiały budowlane z technologią betonu. Ćwiczenia laboratoryjne. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- Jamroży Z., 2003. Beton i jego technologie. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Kowalewski Z.L., 2000. Ćwiczenia laboratoryjne z wytrzymałości materiałów. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- Małolepszy J., Deja J., Brylicki W., Gawlicki M., 1995. Technologia betonu. Metody badań. Wydawnictwo AGH, Kraków.
- Mizera J. i inni, 2000. Ćwiczenia laboratoryjne z materiałów budowlanych i technologii betonu. Politechnika Opolska, Opole.
- Nevile A.W., 2000. Właściwości betonu. Polski Cement, Kraków.
- Nocuń-Wczelik W. i inni, 2003. Laboratorium materiałów wiążących. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków.
- Oktaba W., 1980. Elementy statystyki matematycznej i metodyka doświadczalnictwa. PWN, Warszawa.
- PN-EN 206-1:2003. Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.
- PN-B-06250:1988. Beton zwykły.
- PN-EN 12620:2004. Kruszywa do betonu.

- PN-EN 12350-1:2001. Badania mieszanki betonowej. Część 1: Pobieranie próbek.
- PN-EN 12350-3:2001. Badania mieszanki betonowej. Część 3: Badanie konsystencji metodą Ve be.
- PN-EN 12350-5:2001. Badania mieszanki betonowej. Część 5: Badanie konsystencji metodą stolika rozpluwowego.
- PN-EN 933-1:2000. Badania geometryczne właściwości kruszyw. Oznaczanie składu ziarnowego. Metoda przesiewania.
- Podawca K., 2007. Analiza wyników badania konsystencji mieszanki betonowej w odniesieniu do przedziałów granicznych według PN-EN 206-1 i PN-88/B-06250. *Acta Scientiarum Polonorum, Architectura* 6 (4).
- Stefańczyk B. i inni, 2005. *Budownictwo ogólne. Tom I: Materiały i wyroby budowlane*. Wydawnictwo Arkady, Warszawa.
- Szymański E., 2002: *Materiałoznawstwo budowlane z technologią betonu*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- Węglorz M., Ajdukiewicz A. i inni, 2005. *Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Komentarz naukowy do PN-B-03264:2002. Tom 1*. Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa.

#### **ANALYSIS OF RELATIONS BETWEEN METHODS (THE VE-BE METHOD AND THE PROPAGATION TABLE METHOD). OF EXAMINING THE CONSISTENCE OF A CONCRETE MIX**

**Abstract.** The paper presents the comparison of the results of the consistency test with the Ve-Be method according to the PN-88/B-06250 and spilling table method, introduced in PN-EN 206-1. The aim of the work was to obtain of a mathematical relation between two selected methods of examining the consistence of a concrete mix: the Vebe method and the spilling table method.

**Key words:** concrete, concrete mix, consistency, the Ve-Be method, the spilling table method