



**PROGRAM REGIONALNY**  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



**POLITECHNIKA OPOLSKA**  
**WYDZIAŁ BUDOWNICTWA**  
**Katedra Inżynierii Materiałów Budowlanych**  
**Laboratorium Materiałów Budowlanych**

**Raport LMB 109/2012**

**WDROŻENIE REOMETRII DO BADAŃ WŁAŚCIWOŚCI  
REOLOGICZNYCH CEMENTÓW Z CEMENTOWNI ODRA S.A.**

Wykonano na potrzeby projektu nr RPOP.01.03.01-16-019/10-00  
pt. "Utworzenie nowoczesnych stanowisk badawczych materiałów budowlanych  
w Laboratorium Materiałów Budowlanych Wydziału Budownictwa Politechniki  
Opolskiej, spełniających wymogi laboratorium akredytowanego przy PCA"

**Autor opracowania**

dr Elżbieta Janowska-Renkas

**Zespół realizujący:**

Prof. dr hab. Stefania Grzeszczyk

dr Elżbieta Janowska-Renkas

mgr inż. Alina Kaleta

mgr inż. Krystian Jurowski

**OPOLE, 09.11-10.12.2012 r.**

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego  
w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Opolskiego na lata 2007-2013

„Inwestujemy w Twoją przyszłość”

## SPIS TREŚCI

<b>1. Podstawa opracowania.....</b>	<b>3</b>
<b>2. Materiały do badań.....</b>	<b>3</b>
<b>3. Metoda badań .....</b>	<b>3</b>
<b>4. Wyniki badań.....</b>	<b>4</b>
<b>5. Interpretacja wyników badań.....</b>	<b>10</b>
<b>6. Wnioski.....</b>	<b>11</b>

## **1. Podstawa opracowania**

Podstawą opracowania jest wdrożenie wyników badań reologicznych cementów z Cementowni ODRA S.A. w praktyce budowlanej.

Badania reologiczne wykonano przy użyciu reometru rotacyjnego o współosiowych cylindrach - MARS III, zakupionego ze środków unijnych,

Celem pracy było określenie granicy płynięcia i lepkości plastycznej zaczynów i utrzymanie tych parametrów w czasie do wykorzystania przy projektowaniu i transportowaniu mieszanki betonowej.

## **2. Materiały do badań**

Do badań reologicznych stosowano 6 różnych rodzajów cementów stanowiących asortyment Cementowni ODRA S.A.:

1. CEM I 42,5 R,
2. CEM II B-M (V -LL) 32,5 R,
3. CEM II B-S 32,5 R,
4. CEM II B-S 42,5 R,
5. CEM III A 32,5 N,
6. CEM MURARSKI MC 32,5 X.

## **3. Metoda badań**

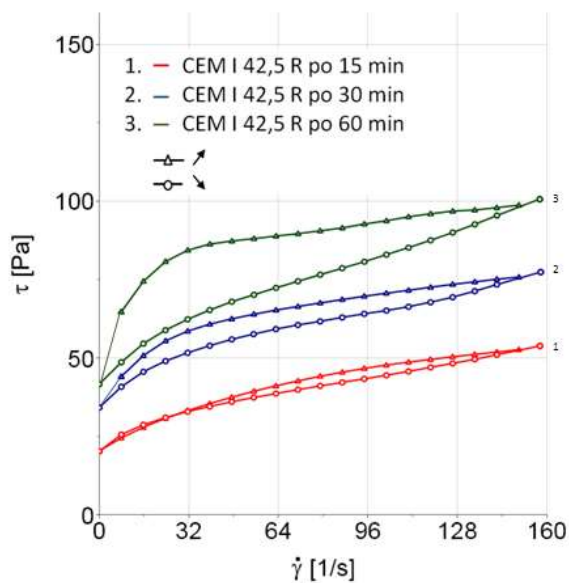
Pomiary reologiczne zaczynów przeprowadzono przy użyciu reometru rotacyjnego o współosiowych cylindrach typu MARS III. Właściwości zaczynów określono na podstawie wyznaczonych krzywych płynięcia dla rosnących i malejących szybkości ścinania w zakresie od 0 do 150 s<sup>-1</sup> po czasie 15, 30 i 60 minut. Granice płynięcia i lepkości plastyczne wyznaczono w oparciu o model Bingham. Pomiary przeprowadzono przy zachowaniu stałego stosunku wody do fazy stałej (w/s) wynoszącego 0,4 w stałej temperaturze 21°C.

#### 4. Wyniki badań

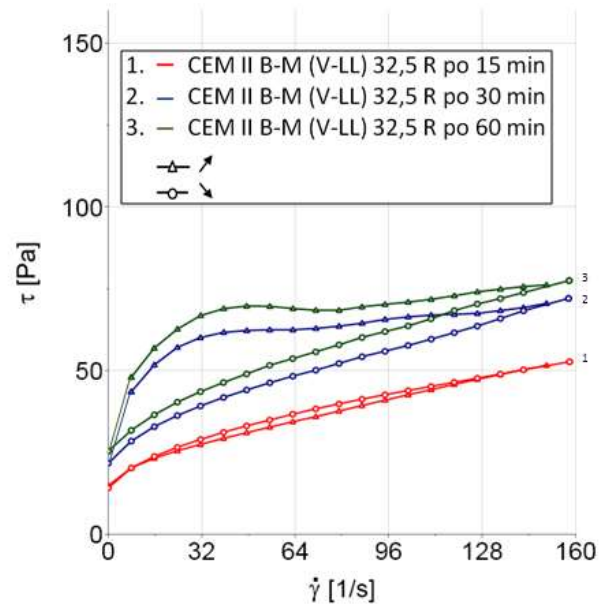
Na rysunkach 1- 6 przedstawiono krzywe płynięcia zaczynów z tego samego rodzaju cementu po czasie 15, 30 i 60 minut.

Natomiast na rysunkach 7- 9 zestawiono krzywe płynięcia zaczynów z różnych cementów uzyskane odpowiednio po czasie: 15, 30 i 60 minutach.

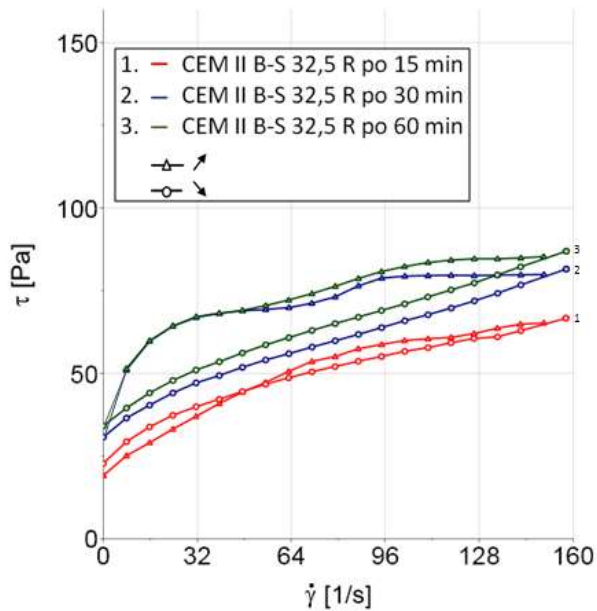
W tabelach 1-6 przedstawiono wyznaczone wartości granicy płynięcia i lepkości plastycznej dla zaczynów cementowych po czasie 15, 30 i 60 minut.



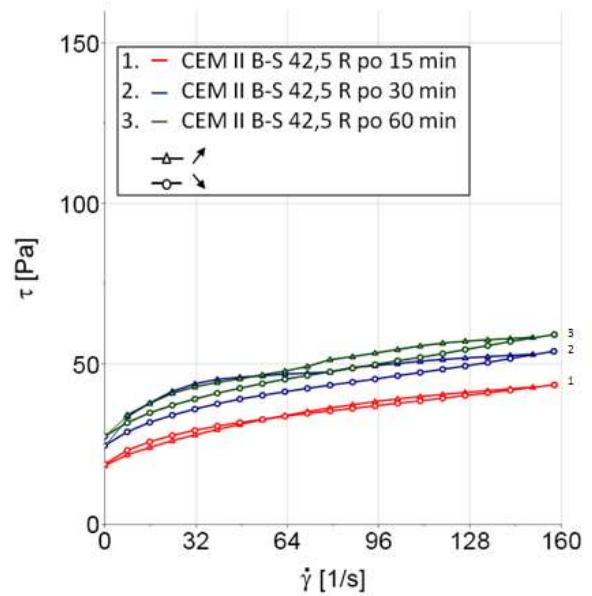
**Rys.1.** Krzywe płynięcia zaczynu z cementu CEM I 42,5 R, po czasie 15, 30 i 60 minut



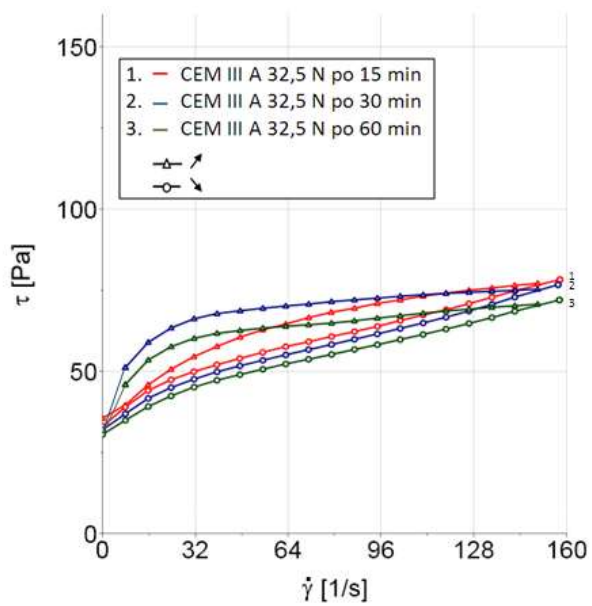
**Rys. 2.** Krzywe płynięcia zaczynu z cementu CEM II B-M (V-LL) 32,5 R, po czasie 15, 30 i 60 minut



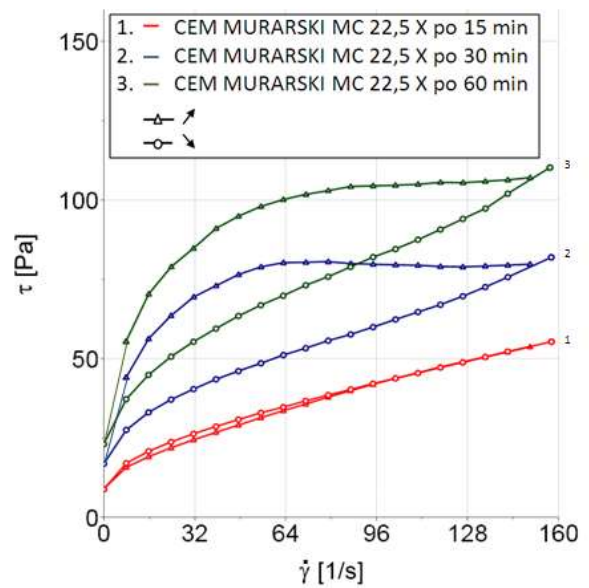
Rys.3. Krzywe płynięcia zaczynu z cementu CEM II B-S 32,5 R, po czasie 15, 30 i 60 minut



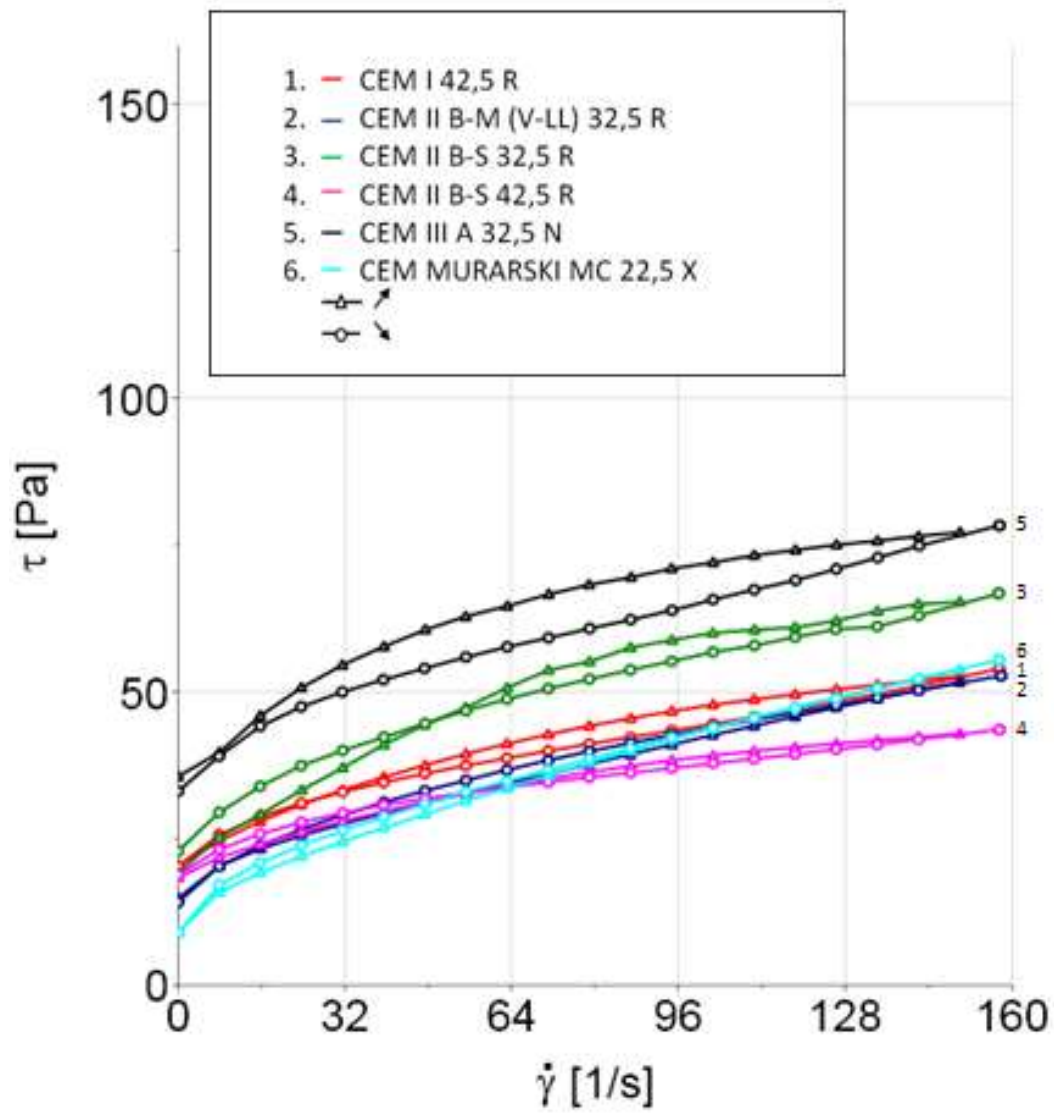
Rys.4. Krzywe płynięcia zaczynu z cementu CEM II B-S 42,5 R, po czasie 15, 30 i 60 minut



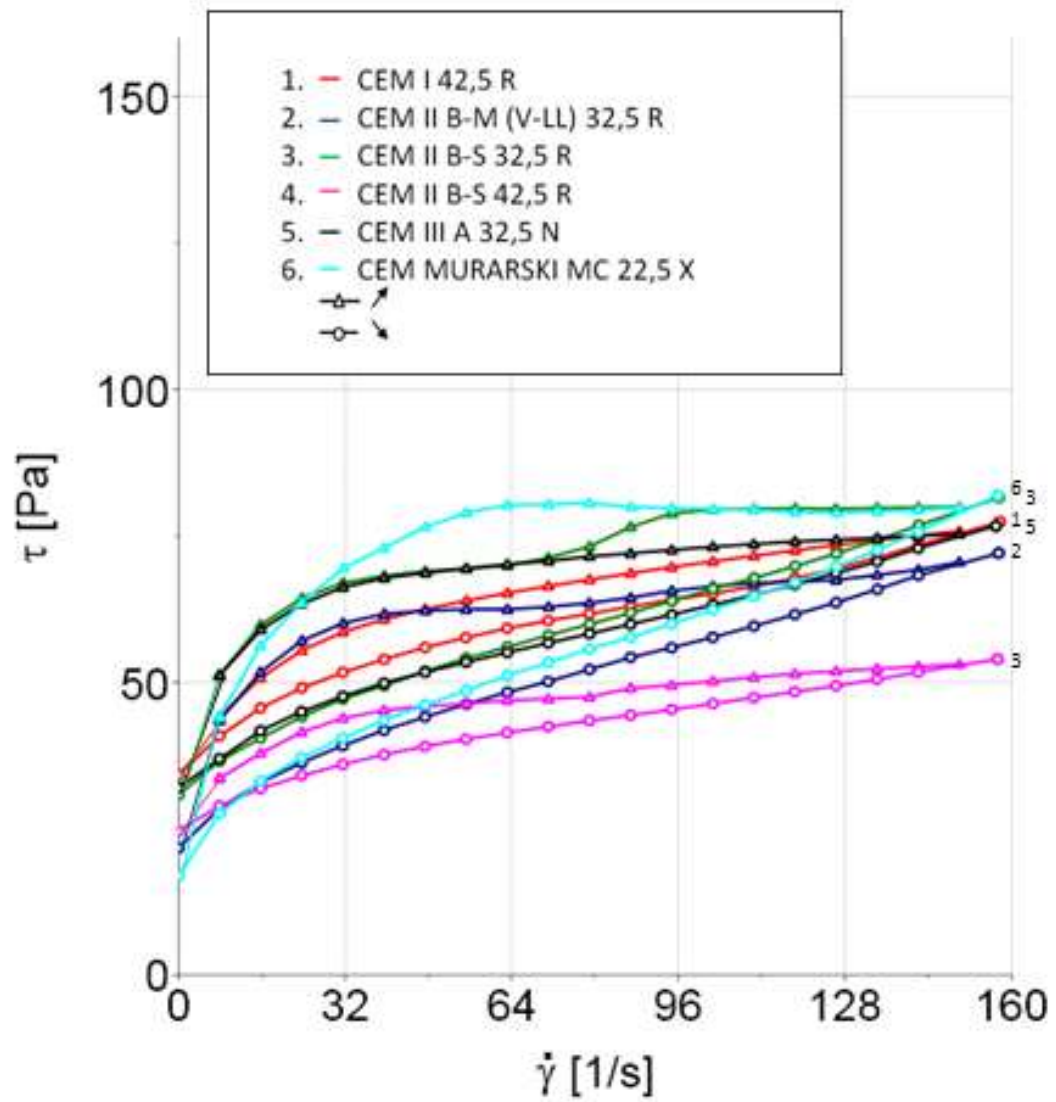
Rys.5. Krzywe płynięcia zaczynu z cementu CEM III A 32,5 N, po czasie 15, 30 i 60 minut



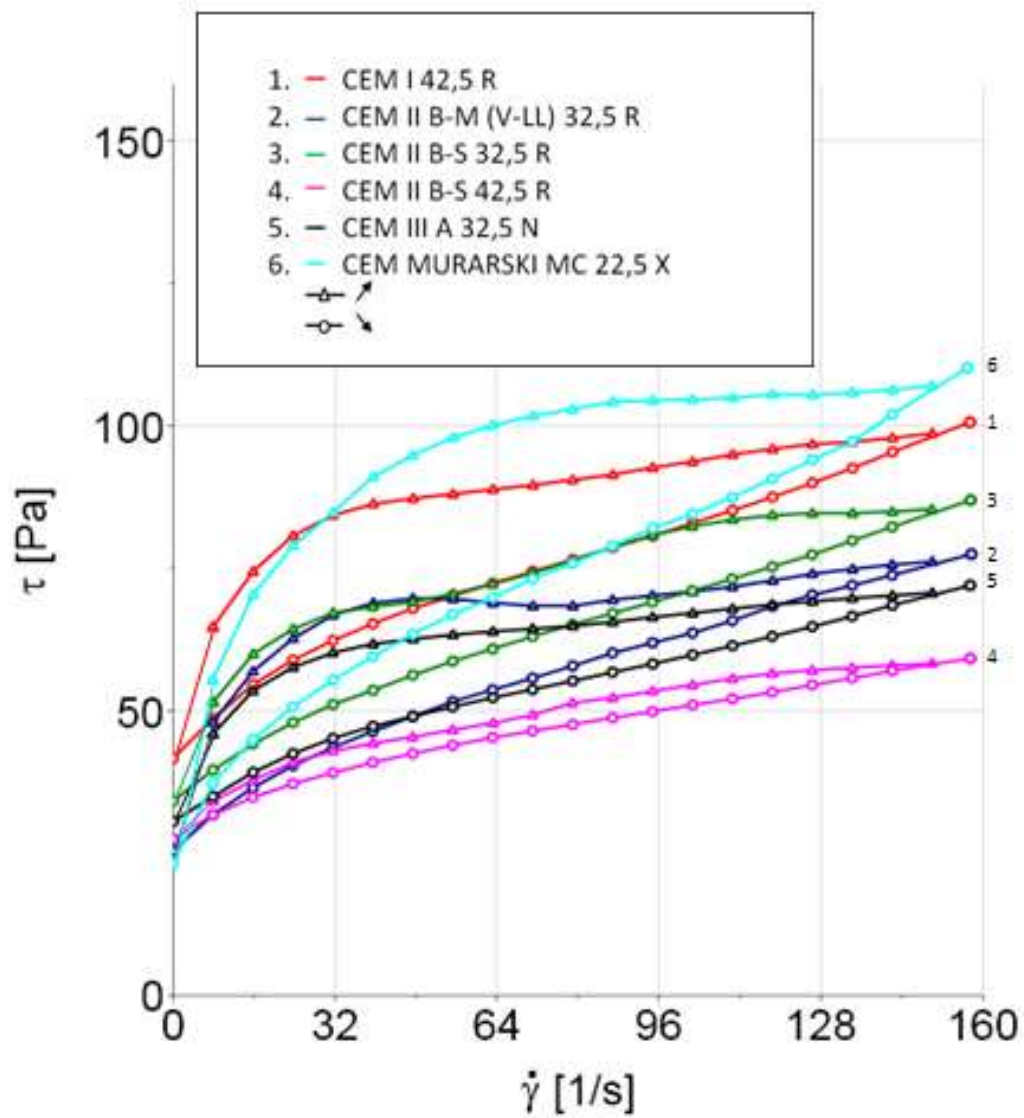
Rys.6. Krzywe płynięcia zaczynu z cementu CEM MURARSKI MC 32,5 X, po czasie 15, 30 i 60 minut



**Rys.7.** Krzywe płynięcia zaczynów z cementu CEM I 42,5 R; CEM II B-M (V -LL) 32,5 R; CEM II B-S 32,5 R; CEM II B-S 42,5 R; CEM III A 32,5 N; CEM MURARSKI MC 32,5 X po czasie 15 minut



**Rys.8.** Krzywe płynięcia zaczynów z cementu CEM I 42,5 R; CEM II B-M (V -LL) 32,5 R; CEM II B-S 32,5 R; CEM II B-S 42,5 R; CEM III A 32,5 N; CEM MURARSKI MC 32,5 X po czasie 30 minut



**Rys.9.** Krzywe płynięcia zaczynów z cementu CEM I 42,5 R; CEM II B-M (V-LL) 32,5 R; CEM II B-S 32,5 R; CEM II B-S 42,5 R; CEM III A 32,5 N; CEM MURARSKI MC 32,5 X po czasie **60 minut**



**Tabela.1.** Granica płynięcia  $\tau_0$  i lepkość plastyczna  $\eta_{pl}$  zaczynów z cementów z Cementowni ODRA S.A., po czasie 15, 30 i 60 minut

Rodzaj cementu	Granica płynięcia $\tau_0$ [Pa]			Lepkość plastyczna $\eta_{pl}$ [Pa·s]		
	15 min	30min	60 min	15 min	30min	60 min
<b>1. CEM I 42,5 R</b>	28,0	46,4	59,4	0,16	0,19	0,29
<b>2. CEM II/B-M (V -LL) 32,5 R</b>	23,9	31,7	35,0	0,21	0,26	0,28
<b>3. CEM II/B-S 32,5 R</b>	34,0	38,9	42,4	0,23	0,26	0,28
<b>4. CEM II/B-S 42,5 R</b>	23,0	31,3	34,3	0,12	0,14	0,16
<b>5. CEM III/A 32,5 N</b>	43,1	40,8	38,7	0,22	0,21	0,20
<b>6. CEM MUR. MC 32,5 X</b>	19,0	31,1	49,1	0,24	0,31	0,41

## 5. Interpretacja wyników

Analiza położenia krzywych płynięcia oraz wartości granic płynięcia i lepkości plastycznych zaczynów z różnych cementów z cementownia ODRA S.A. wyznaczonych w czasie (do 60 minut), wykazała różnice w stopniu upłynnienia badanych cementów.

Największym stopniem upłynnienia charakteryzował się zaczyn z cementu **CEM II/B-S 42,5 R** (rys. 4). Zaczyn ten posiadał najniższe wartości zarówno granic płynięcia jak i lepkości plastycznych, w całym zakresie pomiarowym (po 15, 30 jak i 60 min.), w porównaniu do pozostałych cementów (tab. 1).

Nieco większe wartości parametrów reologicznych (granic płynięcia i lepkości plastycznych) uzyskano dla zaczynów z cementów: **CEM II/B-M (V -LL) 32,5 R**, oraz **CEM II/B-S 32,5 R** (tab. 1).

Należy podkreślić, że zaczyn z cementu **CEM I 42,5 R**, chociaż charakteryzował się najniższymi wartościami lepkości plastycznych, posiadał największe wartości granic płynięcia, których wartości stopniowo wzrastały z upływem czasu (15, 30 i 60 minut).

Najmniejszym stopniem upłynnienia (największe wartości lepkości plastycznych oraz nieco niższe wartości granic płynięcia), w porównaniu do zaczynu z cementu **CEM I 42,5 R** (po czasie 15, 30 i 60 minutach), wykazywał zaczyn z cementu **CEM MUR. MC 32,5 X**.

Zaczyny z cementu **CEM III/A 32,5 N** charakteryzowały się, w początkowym etapie hydratacji gorszym stopniem upłynnienia niż zaczyny z pozostałych cementów (**CEM II/B-S 42,5 R**, **CEM II/B-M (V -LL) 32,5 R**, **CEM II/B-S 32,5 R**, **CEM I 42,5 R**, **CEM MUR. MC 32,5 X**), natomiast w późniejszym czasie (po 60 min.) obserwowano zjawisko odwrotne. Zaczyn z **CEM III/A 32,5 N** osiągnął porównywalny stopień upłynnienia z cementem **CEM II/B-S 42,5 R**, o największym stopniu upłynnienia.

## 6. Wnioski

- W technologii betonów, ze względu na upłynnienie mieszanki zachowanie upłynniania w czasie (np. podczas transportowania czy pompowania mieszanki), zalecane jest stosowanie cementu **CEM II/B-S 42,5 R** - o największym stopniu upłynnienia.
- Produkowane cementy w Cementowni ODRA S.A., ze względu na stopień upłynnienia zaczynów wykonanych z tych cementów, można przedstawić w następującym szeregu:

**CEM II/B-S 42,5 R > CEM III/A 32,5 N > CEM II/B-M (V -LL) 32,5 R >  
CEM II/B-S 32,5 R > CEM I 42,5 R > CEM MUR. MC 32,5 X.**