



# Wydział Inżynierii Lądowej

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

## MATERIAŁY BUDOWLANE

ĆWICZENIA LABORATORYJNE

### **Budowlane spoiwa hydrauliczne: Spoiwa cementowe**

Autorzy:

dr inż. Joanna Sokołowska

dr inż. Kamil Załęgowski

# Spis treści

## CZEŚĆ A – SPOIWA GIPSOWE

1. Cel ćwiczenia .....	3
2. Podstawowe informacje.....	3
2.1. Definicje wg PN-EN 197-1:2012 .....	3
2.2. Wprowadzenie .....	3
3. Oznaczenia do wykonania: .....	8
3.1. Sprawdzenie klasy wytrzymałości na ściskanie cementu wg PN-EN 196-6:2016 .....	8
3.1.1. Materiały i wyposażenie do użycia .....	8
3.1.3. Ocena wyników badań .....	11
3.1.4. Opracowanie wyników badań .....	11
3.2. Konsystencja normowa zaczynu cementowego.....	12
3.2.1. Materiały i wyposażenie do wykorzystania .....	12
3.2.2. Wykonanie oznaczenia .....	12
3.2.3. Ocena wyników badań .....	13
3.2.4. Opracowanie wyników .....	13
3.3. Oznaczenie pH zaczynu cementowego.....	14
3.3.1. Materiały i wyposażenie do wykorzystania .....	14
3.3.2. Wykonanie oznaczenia .....	14
3.3.3. Ocena wyników badań .....	14
3.3.4. Opracowanie wyników .....	15
4. Sprawozdanie z ćwiczenia.....	15
5. Zalecana literatura uzupełniająca do tematu .....	16

## 1. Cel ćwiczenia

Oznaczenie klasy cementu powszechnego użytku, wyznaczenie współczynnika w/c, przy którym zaczyn cementowy z takiego cementu charakteryzuje się konsystencją normową i oznaczenie wartości pH zaczynu.

## 2. Podstawowe informacje

### 2.1. Definicje wg PN-EN 197-1:2012

- **składnik główny** – specjalnie wybrany materiał nieorganiczny, którego udział przekracza 5% masy cementu w stosunku do sumy wszystkich składników głównych i drugorzędnych
- **składnik drugorzędny** – specjalnie wybrany materiał nieorganiczny, którego udział w stosunku do sumy wszystkich składników głównych i drugorzędnych nie przekracza 5% masy
- **rodzaj cementu powszechnego użytku** – jeden z 27 wyrobów z rodziny cementów powszechnego użytku (tab.1)
- **klasa wytrzymałości cementu** – klasa wytrzymałości na ściskanie
- **ciepło hydratacji** – ilość ciepła wydzielonego podczas hydratacji cementu w ustalonym przedziale czasu

### 2.2. Wprowadzenie

**Cement** według definicji zamieszczonej w normie PN-EN 197-1 *Cement -- Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku* jest to spoiwo hydrauliczne, tj. drobno zmielony materiał nieorganiczny, który po zmieszaniu z wodą daje zaczyn, wiążący i twardniejący w wyniku reakcji i procesów hydratacji, a po stwardnieniu pozostaje wytrzymały i trwały także pod wodą.

W normie PN-EN 197-1 opisane są **rodzaje i skład cementów powszechnego użytku** – wyróżniono 5 rodzajów cementów oznaczonych liczbami rzymskimi, tj.:

- CEM I – cement portlandzki,
- CEM II – cement portlandzki wieloskładnikowy,
- CEM III – cement hutniczy,
- CEM IV – cement pucolanowy,
- CEM V – cement wieloskładnikowy.

Powyższe cementy różnią się składem – ilością klinkieru portlandzkiego oraz rodzajem i ilością pozostałych **składników głównych**, tj. specjalnie dobranych materiałów nieorganicznych,

których udział w stosunku do sumy masy wszystkich składników (głównych i składników drugorzędnych) przekracza 5,0% masy.

**Składnikami głównymi** cementu wg normy PN-EN 197-1 mogą być:

- **Klinkier portlandzki (K)**

Jest to materiał hydrauliczny składający się z krzemianów wapnia oraz glinianów i glinianożelazianów wapniowych. Wytwarzany jest przez spiekanie surowców zawierających: tlenek wapnia, dwutlenek krzemu, tlenek glinu, tlenek żelaza i niewielkie ilości innych materiałów.

- **Pucolana (P, Q)**

Pucolany to materiały pochodzenia naturalnego lub przemysłowego, krzemianowe lub glinokrzemianowe lub stanowiące zestawienie obydwu. Pucolany po zmieszaniu z wodą same nie twardnieją, lecz drobno zmielone i w obecności wody reagują w normalnej temperaturze otoczenia z rozpuszczonym wodorotlenkiem wapnia, tworząc związki krzemianów wapnia i glinianów wapnia o rosnącej wytrzymałości. Są podobne do związków, które tworzą się podczas twardnienia materiałów hydraulicznych. Pucolany zawierają reaktywny dwutlenek krzemu i tlenek glinu. Pozostałość zawiera tlenek żelaza i inne tlenki. W cementach stosuje się dwa rodzaje pucolan:

- **pucolana naturalna (P),**
- **pucolana sztuczna (Q).**

- **Popioły lotne (V, W)**

Popioły lotne otrzymywane przez elektrostatyczne lub mechaniczne osadzanie pylistych cząstek spalin z palenisk opalanych pyłem węglowym lub pyłem węglowym współspalonym z innymi materiałami. Popiół otrzymywany innymi metodami nie powinien być stosowany w cemencie. W cementach stosuje się dwa rodzaje popiołów lotnych:

- **popiół lotny krzemionkowy (V),**
- **popiół lotny wapienny (W).**

- **Łupek palony (T)**

Łupek palony wytwarzany jest w specjalnym piecu w temperaturze około 800°C; ze względu na skład materiału naturalnego i proces wytwarzania łupek palony zawiera fazy klinkierowe, głównie krzemian dwuwapniowy oraz glinian jednowapniowy. Zawiera również, oprócz niewielkich ilości wolnego tlenu wapnia i siarczanu wapnia, większe ilości tlenków o reaktywności pucolanowej, szczególnie dwutlenek krzemu. W

konsekwencji, w drobno zmielonym stanie, łupek palony wykazuje wyraźne właściwości hydrauliczne podobnie jak cement portlandzki oraz dodatkowo, właściwości pucolanowe.

- **Wapień (L, LL)**

Wapień, czyli kamień wapienny powinien zawierać co najmniej 75% węglanu wapnia, zawartość gliny (iłów) nie powinna przekraczać 1,2 g/100 g wapienia. Zawartość ogólna węgla organicznego (TOC) nie powinna przekraczać:

- 0,50% masy w przypadku **wapienia L**,
- 0,20% masy w przypadku **wapienia LL**.

Stopień zmielenia wapienia powinien wynosić ok. 5000 cm<sup>2</sup>/g wg Blaine'a.

- **Pył krzemionkowy (D)** – składa się z bardzo drobnych kulistych cząstek o zawartości krzemionki bezpostaciowej co najmniej w 85%. Powstaje podczas redukcji kwarcu wysokiej czystości w obecności węgla w elektrycznych piecach łukowych przy produkcji krzemu lub stopów żelazokrzemu.

**Składniki drugorzędne** są to wybrane nieorganiczne materiały mineralne pochodzące z procesu produkcji klinkieru lub składniki główne (popiół lotny, pucolana, granulowany żużel wielkopiecowy, łupek palony, kamień wapienny, pył krzemionkowy), jeżeli ich zawartość w składzie cementu jest mniejsza od 5%.

Z uwagi na udział składników głównych cement każdego rodzaju może występować w **odmianie A, B lub C**. Łącznie norma PN-EN 197-1 wyróżnia 27 cementów powszechnego użytku (tab.1)

Tab. 1. Skład 27 cementów powszechnego użytku wg normy PN-EN 197-1

Główne rodzaje	Nazwa		Skład (udział w procentach masy <sup>a)</sup> )										Składniki drugorzędne
			Składniki główne										
			klinkier	żużel wielkopiecowy	pył krzemionkowy	pucolana		popiół lotny		łupek palony	wapień		
						naturalna	naturalna wypalana	krzemionkowy	wapienny		L	LL	
K	S	D <sup>b</sup>	P	Q	V	W	T	L	LL				
CEM I	cement portlandzki	CEM I	95-100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
CEM II	cement portlandzki żużlowy	CEM II/A-S	80-94	6-20	—	—	—	—	—	—	—	—	
		CEM II/B-S	65-79	21-35	—	—	—	—	—	—	—	—	
	cement portlandzki krzemionkowy	CEM II/A-D	90-94	—	6-10	—	—	—	—	—	—	—	
	cement portlandzki pucolanowy	CEM II/A-P	80-94	—	—	6-20	—	—	—	—	—	—	
		CEM II/B-P	65-79	—	—	21-35	—	—	—	—	—	—	
		CEM II/A-Q	80-94	—	—	—	6-20	—	—	—	—	—	
		CEM II/B-Q	65-79	—	—	—	21-35	—	—	—	—	—	
	cement portlandzki popiołowy	CEM II/A-V	80-94	—	—	—	—	6-20	—	—	—	—	
		CEM II/B-V	65-79	—	—	—	—	21-35	—	—	—	—	
		CEM II/A-W	80-94	—	—	—	—	—	6-20	—	—	—	
		CEM II/B-W	65-79	—	—	—	—	—	21-35	—	—	—	
	cement portlandzki łupkowy	CEM II/A-T	80-94	—	—	—	—	—	—	6-20	—	—	
		CEM II/B-T	65-79	—	—	—	—	—	—	21-35	—	—	
	cement portlandzki wapienny	CEM II/A-L	80-94	—	—	—	—	—	—	—	6-20	—	
CEM II/B-L		65-79	—	—	—	—	—	—	—	21-35	—		
CEM II/A-LL		80-94	—	—	—	—	—	—	—	—	6-20		
CEM II/B-LL		65-79	—	—	—	—	—	—	—	—	21-35		
cement portlandzki wieloskładnikowy <sup>c</sup>	CEM II/A-M	80-94	←—————12-20—————→						—	—	—		
	CEM II/B-M	65-79	←—————21-35—————→						—	—	—		
CEM III	cement hutniczy	CEM III/A	35-64	36-65	—	—	—	—	—	—	—		
		CEM III/B	20-34	66-80	—	—	—	—	—	—	—		
		CEM III/C	5-19	81-95	—	—	—	—	—	—	—		
CEM IV	cement pucolanowy <sup>c</sup>	CEM IV/A	65-89	—	11-35				—	—	—		
		CEM IV/B	45-64	—	36-55				—	—	—		
CEM V	cement wieloskładnikowy <sup>c</sup>	CEM V/A	40-64	18-30	—	18-30		—	—	—	—		
		CEM V/B	20-38	31-50	—	31-50		—	—	—	—		

a) wartości odnoszą się do sumy składników głównych i składników drugorzędnych, b) udział pyłu krzemionkowego jest ograniczony do 10%, c) w cementach portlandzkich wieloskładnikowych CEM II/A-M i CEM II/B-M, w cementach pucolanowych CEM IV/A i CEM IV/B i w cementach wieloskładnikowych CEM V/A i CEM V/B główne składniki inne niż klinkier należy deklarować poprzez oznaczenie cementu.

**Klasę cementu** ustala się na podstawie wyniku oznaczenia wytrzymałości na ściskanie przeprowadzonego według procedury opisanej w normie PN-EN 196-1 *Metody badania cementu -- Część 1: Oznaczanie wytrzymałości*.

Przedmiotem badania jest **zaprawa normowa**, którą przygotowuje się ściśle według zaleceń ww. normy, stosując:

- cement przesiany wcześniej przez sito o boku oczka 1 mm, w ilości  $450 \pm 2$  g;
- piasek normowy w ilości  $1350 \pm 5$  g;
- wodę o temperaturze  $20 \pm 1^\circ$  w ilości  $225 \pm 1$  ml.

Do przygotowania zaprawy stosuje się następujące znormalizowaną mieszarkę z przystawką programową z możliwością sterowania szybkością obrotów, formy gwarantujące uzyskanie próbek „beleczek” o wymiarach 40 mm x 40 mm x 160 mm, wstrząsarke, wannę do przechowywania świeżych zapraw wraz z formami w warunkach powietrznych (gwarantującą utrzymanie temperatury  $20 \pm 1,0^\circ\text{C}$  i wilgotności względnej powietrza  $\geq 90\%$ ) oraz wannę do przechowywania próbek w wodzie. Próbki, po odpowiedniej pielęgnacji, poddaje się badaniom wytrzymałościowym.

**Wytrzymałość normowa cementu** to wytrzymałość na ściskanie oznaczona 28 dniach pielęgnacji. Według normy PN-EN 197-1 wyróżnia się **3 klasy wytrzymałości normowej** (wytrzymałości na ściskanie wyrażonej w  $\text{N/mm}^2$ , czyli w MPa):

- **klasa 32,5**,
- **klasa 42,5**,
- **klasa 52,5**.

Wymagania stawiane poszczególnym klasom zamieszczono w tab. 2.

**Wytrzymałość wczesna cementu** to wytrzymałość na ściskanie oznaczona po 2 dniach pielęgnacji lub po 7 dniach pielęgnacji. Według normy PN-EN 197-1 dla każdej wytrzymałości normowej rozróżnia się dodatkowo trzy klasy wytrzymałości wczesnej:

- **klasa L** – o niskiej wytrzymałości wczesnej (dot. tylko cementów hutniczych, CEM III),
- **klasa N** – o normalnej wytrzymałości wczesnej,
- **klasa R** – o wysokiej wytrzymałości wczesnej.

Wymagania stawiane poszczególnym klasom zamieszczono w tab.2.

Tab.2. Właściwości mechaniczne i fizyczne cementów powszechnego użytku wg PN-EN 197-1

Klasa wytrzymałości cementu	Wytrzymałość na ściskanie, MPa			Początek czasu wiązania, min	Stażność objętości, mm
	Wytrzymałość wczesna		Wytrzymałość normowa		
	po 2 dniach	po 7 dniach	po 28 dniach		
32,5L*	-	$\geq 12,5$	$\geq 32,5$	$\leq 52,5$	$\geq 75$
32,5N	-	$\geq 16,0$			
32,5R	$\geq 16,0$	-			
42,5L*	-	$\geq 16,0$	$\geq 42,5$	$\leq 52,5$	< 10
42,5N	$\geq 10,0$	-			
42,5R	$\geq 20,0$	-			
52,5L*	$\geq 10,0$	-	$\geq 52,5$	-	$\geq 45$
52,5N	$\geq 20,0$	-			
52,5R	$\geq 30,0$	-			

\*) klasa L odnosi się tylko do cementów hutniczych (CEM III)

### 3. Oznaczenia do wykonania:

#### 3.1. Sprawdzenie klasy wytrzymałości na ściskanie cementu wg PN-EN 196-6:2016

##### 3.1.1. Materiały i wyposażenie do użycia

- cement powszechnego użytku,
- woda wodociągowa,
- piasek normowy,
- środek antyadhezyjny,
- waga automatyczna
- naczynia (zlewka 400 ml, miska plastikowa)
- mieszarka normowa z przystawką programową
- formy do próbek o wymiarach 40 mm x 40 mm x 160 mm,
- wstrząsarka,
- wanna do przechowywania w warunkach powietrznych,
- wannę do przechowywania w wodzie

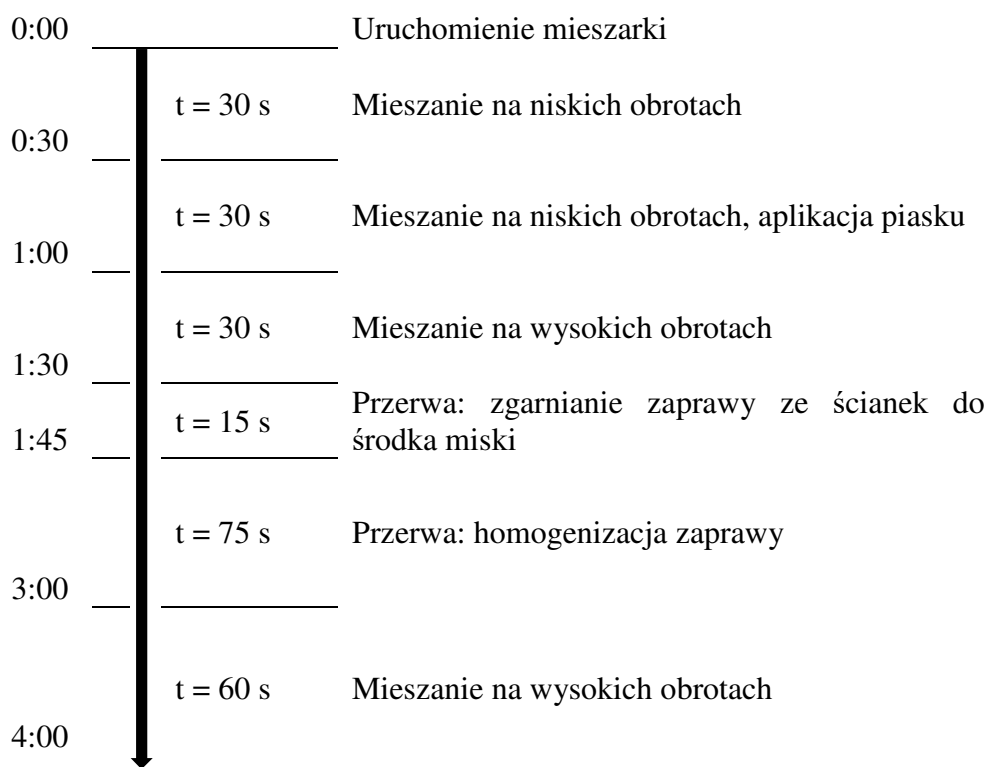
##### 3.1.2. Wykonanie oznaczenia

Należy odmierzyć ilości poszczególnych składników zaprawy normowej, tj. cementu będącego przedmiotem badania, wody wodociągowej (spełniającej wymagania sformułowane w normie PN-EN 1008 Woda zarobowa do betonu) oraz przygotować kruszywo normowe (piasek normowy spełniający wymagania sformułowane w normie PN-EN 196-1), a następnie umieścić



je w mieszarce normowej i postępować zgodnie z procedurą przygotowania próbek zaprawy normowej:

- W plastikowej misce odważyć 450,0 g próbkę cementu.
- W zlewce o pojemności 350 ml odmierzyć 225 g zimnej wody wodociągowej.
- Sprawdzić szczelność opakowania, a następnie odpieczętować worek z piaskiem normowym, należy umieścić w specjalnym pojemniku w automatycznej mieszarce normowej.
- Odbezpieczyć miskę mieszarki normowej i zwilżyć jej wnętrze; zwilżyć mieszadło mieszarki.
- Wodę, a następnie cement umieścić w misce mieszarki normowej i natychmiast uruchomić mieszarkę zaprogramowaną na procedurę mieszania zaprawy normowej.
- Przebieg mieszania jest następujący (por. rys.1):
  - 30 s mieszania na niskich obrotach,
  - 30 s mieszania na niskich obrotach – w tym czasie następuje aplikacja piasku normowego do zaczynu,
  - 30 s mieszania na wysokich obrotach,
  - 90 s przerwa w mieszaniu – w ciągu pierwszych 15 s przerwy należy odbezpieczyć miskę i zgarnąć zaprawę ze ścianek i dna na środek miski,
  - 60 s mieszania na wysokich obrotach.



Rys.1. Przebieg mieszania zaprawy normowej wg procedury opisanej w normie PN-EN 196-1

- Do przygotowanej (nasmarowanej środkiem antyadhezyjnym) formy umieszczonej na wstrząsarce nałożyć zaprawę – ułożyć pierwszą z dwóch warstw w każdej przegródce formy.
- Zagęścić pierwszą warstwę zaprawy 60 wstrząsami.
- Nałożyć drugą warstwę zaprawy.
- Zagęścić drugą warstwę zaprawy 60 wstrząsami.
- Nadmiar zaprawy usunąć za pomocą noża.
- Na formie umieścić gładką płytkę szklaną, metalową lub plastikową.
- Formy z zaprawą umieścić w pomieszczeniu klimatyzowanym.
- Po upływie 20 ÷ 24 h próbki rozformować i umieścić na rusztach nierdzewnych w pojemniku z wodą o temperaturze 18 ÷ 20°C w taki sposób, aby woda miała swobodny dostęp do wszystkich powierzchni próbki.
- Po upływie 27 dni oznaczyć wytrzymałość na zginanie oraz wytrzymałość na ściskanie zaprawy, a wyniki ocenić w świetle wymagań normowych (tab.2).

**Wytrzymałość na zginanie zaprawy normowej** oznacza się na trzech próbkach (beleczkach). Próbkę układa się w maszynie wytrzymałościowej na podporach, których rozstaw wynosi 100 mm, a następnie jest obciąża siłą skupioną w środku rozpiętości, aż do zniszczenia. Wytrzymałość na zginanie zaprawy oblicza się w MPa z dokładnością do 0,1 MPa według wzoru:

$$f_b = 2,34 \cdot P \quad (2.1)$$

gdzie:

$f_b$  – wytrzymałość na zginanie, MPa,

$P$  – siła zginająca, kN.

Wynikiem oznaczenia jest średnia arytmetyczna z trzech wartości wytrzymałości na zginanie, które oznaczono na komplecie trzech próbek (beleczek).

**Wytrzymałość na ściskanie zaprawy normowej** oznaczana jest na sześciu połówkach beleczek – próbek pozostałych po oznaczeniu wytrzymałości na zginanie zaprawy. Próbkę umieszcza się w maszynie wytrzymałościowej pomiędzy dwoma metalowymi nakładkami o powierzchni 40 x 40 mm (1600 mm<sup>2</sup>), a następnie obciąża aż do zniszczenia. Urządzenie do wyznaczania wytrzymałości na ściskanie powinno zapewnić prędkość przyrostu obciążenia 2400 ± 200 N/s. Wytrzymałość na ściskanie zaprawy oblicza się w MPa z dokładnością do 0,1 MPa według wzoru:

$$f_c = P/A \quad (2.2)$$

gdzie:

$f_c$  – wytrzymałość na ściskanie, MPa,

$A$  – pole powierzchni ściskanej (pole powierzchni nakładki), mm<sup>2</sup>,

$P$  – siła ściskająca, N.

Wynikiem oznaczenia jest średnia arytmetyczna z sześciu wartości wytrzymałości na ściskanie, które oznaczono na komplecie trzech próbek (beleczek). Jeśli jedna z sześciu wartości wytrzymałości różni się od wartości średniej o więcej niż 10%, taką wartość należy odrzucić i ponownie obliczyć średnią arytmetyczną z pięciu pozostałych wyników. Jeśli jedna z pozostałych pięciu wartości różni się od nowej średniej o więcej niż 10%, wtedy należy odrzucić całe badanie.

### 3.1.3. Ocena wyników badań

Na podstawie średniej wartości wytrzymałości na ściskanie zaprawy normowej należy ocenić w świetle wymagań dotyczących wytrzymałości normowej (tab.2.) i wskazać klasę badanego cementu.

### 3.1.4. Opracowanie wyników badań

Przykład tablicy zawierającej zestawienie wyników opisanych wyżej badań to tab.3. W celu dokonania lepszej oceny jednorodności zaprawy, oprócz wartości średniej należy policzyć także odchylenie standardowe ( $SD$  – ang. standard deviation) i współczynnik zmienności ( $CV$  – ang. coefficient of variance).

Tab.3. Wyniki badań wytrzymałości na zginanie i wytrzymałości na ściskanie zaprawy normowej i oznaczenie klasy cementu

Wytrzymałość na zginanie				Wytrzymałość na ściskanie					
Lp.	$P$ [kN]	$f_b$ [MPa]	$f_{b,śr}$ [MPa]	Lp.	$P$ [kN]	$f_c$ [MPa]	$f_{c,śr}$ [MPa]	$SD$ [MPa]	$CV$ [%]
1				1.1					
				1.2					
2				2.1					
				2.2					
3				3.1					
				3.2					

## 3.2. Konsystencja normowa zaczynu cementowego

### 3.2.1. Materiały i wyposażenie do wykorzystania

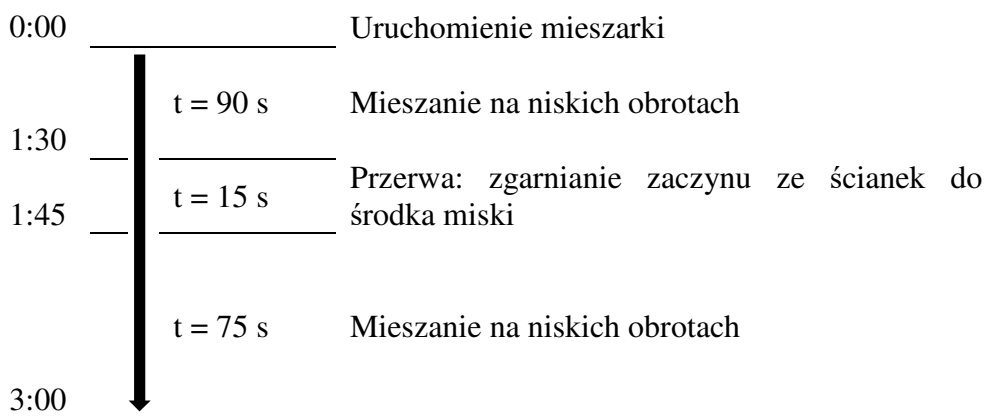
- cement powszechnego użytku,
- woda wodociągowa,
- środek antyadhezyjny
- waga automatyczna,
- naczynia (zlewka 400 ml, miska plastikowa),
- mieszarka normowa przystawką programową,
- aparat Vicata (z bolcem).

### 3.2.2. Wykonanie oznaczenia

Oznaczenie konsystencji normowej wykonuje się według procedury opisanej w normie PN-EN 196-3 Metody badania cementu -- Część 3: Oznaczanie czasów wiązania i stałości objętości. Należy przygotować zaczyny z badanego cementu o różnym współczynniku w/c (woda/cement), a następnie ocenić ich konsystencje w aparacie Vicata z nierdzewnym bolcem (wynikiem badania konsystencji jest głębokość zanurzenia bolca w zaczynie). Na podstawie uzyskanych wyników należy wskazać taki skład zaczynu (z uwzględnieniem procentowego udziału wody w zaczynie), przy którym głębokość zanurzenia odpowiada tzw. konsystencji normowej (tj. kiedy odległość bolca od dna pierścienia w aparacie Vicata wynosi  $6 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ ).

Przebieg wykonywanych czynności

- W plastikowej misce odważyć 500,0 g próbkę cementu.
- W zlewce o pojemności 400 ml odmierzyć 125 g zimnej wody wodociągowej.
- Odbezpieczyć miskę mieszarki i zwilżyć jej wnętrze; zwilżyć mieszadło mieszarki.
- Wodę, a następnie cement umieścić w misce mieszarki i mieszać zaczyn (uwaga: moment zmieszania składników to tzw. czas zerowy badania).
- Przebieg mieszania jest następujący (por. rys.2):
- 90 s mieszania na niskich obrotach.
- 15 s przerwa w mieszaniu – w ciągu przerwy należy odbezpieczyć miskę i zgarnąć zaczyn ze ścianek i dna na środek misy,
- 75 s mieszania na niskich obrotach.



Rys.2. Przebieg mieszania zaczynu wg procedury opisanej w normie PN-EN 196-3

- Wymieszany zaczyn wlać do pierścienia w aparacie Vicata, który uprzednio został umieszczony na lekko natłuszczonej płytce szklanej. Nadmiar zaczynu usunąć nożem w taki sposób, aby zaczyn cementowy w pierścieniu miał gładką powierzchnię.
- Ostrożnie umieścić pierścień z zaczynem w osi bolca aparatu, bolec aparatu umieścić na powierzchni zaczynu, wyzerować skalę.
- Zwolnić blokadę bolca, aby ten zanurzył się w zaczynie (uwaga: czynność tę należy wykonać po 4 minutach od czasu zerowego – momentu zmieszania składników zaczynu).
- Kiedy bolec przestanie się zanurzać w zaczynie, lecz nie później niż po 30 s od zwolnienia blokady, należy odczytać głębokość zanurzenia w mm; jest to odległość bolca od dna pierścienia, czyli szklanej płytki. Zanotować wartość wraz z informacją o wartości współczynnika w/c oraz procentowej zawartości wody w zaczynie (masowo).
- Badanie zaczynów o różnych zawartości wody powtarzać do momentu, aż odstęp między bolcem a szklaną płytką osiągnie  $6 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ . Podać procentową zawartość wody w takim zaczynie – wynik odczytać z dokładnością do 0,5%.

### 3.2.3. Ocena wyników badań

Na podstawie uzyskanych wyników badania należy wskazać przedziały procentowego udziału wody i współczynnika w/c odpowiadających granicom zakresu głębokości odpowiadającego konsystencji normowej zaczynu sporządzonego z badanego cementu.

### 3.2.4. Opracowanie wyników

Przykład tablicy zawierającej zestawienie wyników opisanych wyżej badań to tab.4.

Tab.4. Wyniki głębokości zanurzenia bolca aparatu Vicata w zaczynach cementowych o różnej zawartości wody (i różnym współczynniku w/c)

Lp.	Cement [g]	Woda [g]	Woda [%]	w/c	Głębokość zanurzenia [mm]
1	500	125	20,0	0,25	
2	500				
..	500				
n	500				

Na podstawie uzyskanych wyników badań należy sporządzić wykresy głębokości zanurzenia (w mm) w funkcji:

- a) procentowej zawartości wody w zaczynie (%),
- b) wartości współczynnika w/c (g/g),

z zaznaczeniem przedziału  $6 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$  jako zakresu głębokości odpowiadającego konsystencji normowej zaczynu z badanym cementem.

### 3.3. Oznaczenie pH zaczynu cementowego

#### 3.3.1. Materiały i wyposażenie do wykorzystania

- cement powszechnego użytku,
- woda wodociągowa,
- papierek uniwersalny do oceny pH.

#### 3.3.2. Wykonanie oznaczenia

W przypadku każdego z zaczynów cementowych przygotowywanych w ramach oznaczenia konsystencji normowej, bezpośrednio przed wypełnieniem pierścienia Vicata zaczynem należy sprawdzić wartość pH zaczynu metodą przybliżoną (papierkiem uniwersalnym) oraz wskazać odczyn zaczynu.

#### 3.3.3. Ocena wyników badań

Przy formułowaniu wniosku odnośnie pH zaczynu cementowego należy odnieść się do informacji teoretycznych (w tym przeanalizować przyczyny wysokiej alkaliczności zaczynu cementowego). Co więcej wartości uzyskane dla zaczynu cementowego należy porównać z pH zaczynu gipsowego i/lub zaczynu wapiennego oznaczonych w ramach ćwiczenia praktycznego dotyczącego spoiw powietrznych.

### 3.3.4. Opracowanie wyników

Przykład tablicy zawierającej zestawienie wyników wartości pH to tab.5.

Tab.5. Wyniki pomiaru wartości pH zaczynów cementowych

Lp.	Cement [g]	Woda [g]	w/c	Wartość pH	Odczyn
1	500	125	0,25		
2	500				
...	500				
n	500				

Wartość pH uzyskaną dla zaczynu cementowego o najwyższym współczynniku w/c należy zestawić z wartościami pH zaczynu gipsowego i/lub zaczynu wapiennego uzyskanymi w ramach ćwiczenia praktycznego dotyczącego spoiw powietrznych. Przykład tablicy zawierającej zestawienie wyników wartości pH zaczynów z różnymi spoiwami to tab.6.

Tab.6. Wyniki pomiaru wartości pH zaczynów cementowych

	Zaczyn gipsowy	Zaczyn wapienny	Zaczyn cementowy*
w/s			
pH			
Odczyn			

\*) zaczyn o współczynniku woda/spoiwo w/s (tutaj w/c) o najwyższej wartości spośród badanych

## 4. Sprawozdanie z ćwiczenia

Sprawozdanie powinno zawierać następujące punkty:

- I. Przedmiot badań  
(zawierający podstawowe informacje o badanych materiałach/wyrobach)
- II. Wyniki badań  
(zawierający pozyskane na zajęciach laboratoryjnych wyniki oznaczeń przedstawione w tabelach i opracowane we wskazany sposób)
- III. Wnioski  
(zawierający wypunktowane twierdzenia sformułowane na podstawie uzyskanych wyników)
- IV. Literatura  
(zawierający odniesienia do literatury wykorzystanej do przygotowania sprawozdania)

## 5. Zalecana literatura uzupełniająca do tematu

- Gantner E., Chojczak W., Materiały budowlane. Spoiwa, kruszywa, zaprawy. Ćwiczenia laboratoryjne, OWPW, 2013
- Chojczak W., Materiały budowlane. Ćwiczenia laboratoryjne. Część 1. Właściwości techniczne, kamień naturalny, ceramika, OWPW, 2016
- Chojczak W., Materiały budowlane. Ćwiczenia laboratoryjne. Część 2. Drewno, szkło, lepiszcza bitumiczne, tworzywa sztuczne, OWPW, 2018
- Stefańczyk B. i in., Budownictwo ogólne t.1. Materiały i wyroby budowlane, Wyd. Arkady Warszawa 2007
- Szymański E., Materiałoznawstwo budowlane z technologią betonu. T.1, OWPW, Warszawa 2003.