



# Wydział Inżynierii Lądowej

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

## MATERIAŁY BUDOWLANE

ĆWICZENIA LABORATORYJNE

# Budowlane spoiwa powietrzne: Spoiwa wapienne

Autorzy:

dr inż. Joanna Sokołowska

dr inż. Kamil Załęgowski

## Spis treści

1. Cel ćwiczenia .....	3
2. Podstawowe informacje.....	3
2.1. Definicje wg PN-EN 459-1:2010 .....	3
2.2. Wprowadzenie .....	4
3. Oznaczenia do wykonania: .....	7
3.1. Stopień zmielenia wapna hydratyzowanego wapniowego metodą sitową wg PN-EN 196-6:2016.....	7
3.1.1. Materiały i wyposażenie do użycia .....	7
3.1.2. Wykonanie oznaczenia .....	7
3.1.3. Ocena wyników badań .....	8
3.1.4. Opracowanie wyników badań .....	8
3.2. Reaktywność wapna palonego powietrznego metodą zlewkową (uproszczoną) .....	9
3.2.1. Materiały i wyposażenie do wykorzystania .....	9
3.2.2. Wykonanie oznaczenia .....	9
3.2.3. Ocena wyników badań .....	9
3.2.4. Opracowanie wyników .....	10
4. Sprawozdanie z ćwiczenia .....	10
5. Zalecana literatura uzupełniająca do tematu .....	11

# 1. Cel ćwiczenia

Zapoznanie się z rodzajami wapna budowlanego, ich właściwościami i metodami badań. Wykonanie badania:

- stopnia zmielenia wapna wapniowego powietrznego hydratyzowanego (CL S)
- reaktywności (czasu i temperatury) podczas gaszenia wapna wapniowego powietrznego palonego (Q).

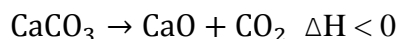
# 2. Podstawowe informacje

## 2.1. Definicje wg PN-EN 459-1:2012

- **wapno** – tlenek CaO i/lub wodorotlenek wapnia  $\text{Ca(OH)}_2$  oraz tlenek MgO i/lub wodorotlenek magnezu  $\text{Mg(OH)}_2$ , wytwarzany w procesie rozkładu termicznego (kalcynacji) naturalnie występującego węglany wapnia (np. kamienia wapiennego, kredy, muszli) lub naturalnie występującego węglanu wapnia i magnezu (np. wapienia dolomitowego, dolomitu)
- **wapno budowlane** – grupa produktów wapiennych, obejmująca wyłącznie dwie rodziny: wapno powietrzne i wapno o właściwościach hydraulicznych, stosowane w wykonawstwie lub materiałach budowlanych, budownictwie i inżynierii wodno-łądowej
- **wapno powietrzne** – wapno, które wiąże i twardnieje w obecności dwutlenku węgla w powietrzu
- **wapno o właściwościach hydraulicznych** – wapno budowlane składające się głównie z wodorotlenku wapnia, krzemianów wapnia i glinianów wapnia
- **wapno wapniowe (CL)** – wapno powietrzne zawierające głównie tlenek wapnia i/lub wodorotlenek wapnia bez żadnych hydraulicznych czy pucolanowych dodatków
- **wapno dolomitowe (DL)** – wapno powietrzne zawierające głównie tlenek wapnia i magnezu i/lub wodorotlenek wapnia i magnezu bez żadnych hydraulicznych czy pucolanowych dodatków
- **wapno palone (Q)** – wapno powietrzne, głównie w postaci tlenku, który reaguje egzotermicznie w kontakcie z wodą; jest dostępne w różnych postaciach – od brył do proszku
- **wapno hydratyzowane (S, S PL, S ML)** – wapno powietrzne, głównie w postaci wodorotlenku, otrzymywane w wyniku kontrolowanego gaszenia wapna palonego; jest dostępne w postaci proszku (S), ciasta (S PL) i zawiesiny, ewentualnie mleka (S ML)

## 2.2. Wprowadzenie

Zgodnie z PN-EN 459-1:2012 wapno budowlane to grupa spoiw wapiennych obejmujących wapno powietrzne i wapno hydrauliczne (rys.1). Spoiwa wapienne są otrzymywane w wyniku wypalania wapieni czystych lub dolomitowych w temperaturze od 800 do 1200°C. Podczas tego procesu zachodzi endotermiczna reakcja rozkładu węglanu wapnia  $\text{CaCO}_3$  na tlenek wapnia (wapno palone)  $\text{CaO}$  i dwutlenek węgla  $\text{CO}_2$ :



Parametry procesu wypalania oraz rodzaj wykorzystanych surowców są kluczowe dla właściwości otrzymanego produktu – wapna palonego. Za wysoka temperatura spowoduje otrzymanie wapna spieczonego (tzw. wapna martwo palonego), które jest zбите, trudno się gasi i jest przyczyną braku stałości objętości zapraw. Wapno wypalane w niższej temperaturze jest bardziej aktywne, ale zbyt niska temperatura wypalania może doprowadzić do sytuacji, w której część węglanu wapnia nie ulegnie rozkładowi na tlenek wapnia oraz dwutlenek węgla. W efekcie otrzymane wapno jest niedopalone, zawiera węglan wapnia i zwykle szybko się gasi.

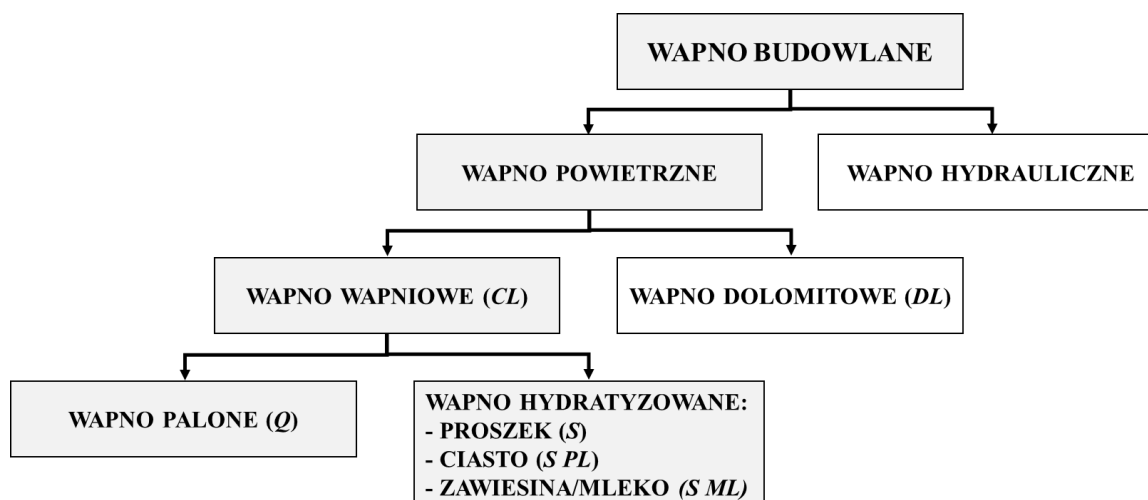
Reaktywność wapna palonego zależy od czystości surowca wyjściowego (rodzaju, ilości i rozmieszczenia zanieczyszczeń) oraz od temperatury wypalania. Wzrost temperatury wypału powoduje wzrost gęstości wapna, wzrost rozmiarów ziaren  $\text{CaO}$ , spadek ich powierzchni właściwej i porowatości. W zależności od wysokości temperatury wypalania surowca wyjściowego wyróżnia się:

- wapno lekko palone –  $T \approx 1000^\circ\text{C}$ , barwa biała, bardzo duża powierzchnia właściwa i wysoka reaktywność, kryształy  $\text{CaO}$  o wymiarach około  $1 \div 2 \mu\text{m}$
- wapno średnio palone –  $T \approx 1150^\circ\text{C}$ , barwa beżowa lub żółta, kryształy  $\text{CaO}$  o wymiarach około  $3 \div 6 \mu\text{m}$
- wapno ostro palone –  $T \approx 1250^\circ\text{C}$ , barwa ciemno żółta lub jasno brązowa, mała reaktywność
- wapno martwo palone –  $T \approx 1300^\circ\text{C}$ , kryształy  $\text{CaO}$  o wymiarach  $> 10 \mu\text{m}$ .

Ze względu na reaktywność, wyrażaną jako przyrost temperatury w jednostce czasu w trakcie gaszenia wapna palonego, wyróżnia się:

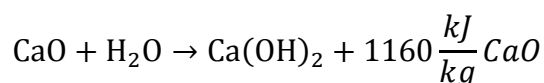
- wapno palone bardzo reaktywne – gasi się szybko ( $\leq 6$  min); zbyt mała ilość wody może powodować przegrzanie tzw. spalenie, objawiające się zbrązowieniem wapna;
- wapno palone średnio reaktywne – gaszące się z umiarkowaną szybkością ( $6 \div 9$  min)
- wapno palone słabo reaktywne – gaszące się wolno ( $\geq 9$  min), zanieczyszczone lub zawierające większą ilość  $\text{MgO}$ .

Wapno palone (*Q*) mielone lekko jest wykorzystywane do produkcji wyrobów wapienno piaskowych, natomiast wapno mielone średnio i ostro palone jest stosowane do produkcji betonów komórkowych, jak również w drogownictwie do stabilizacji i osuszania gruntów.



Rys. 1. Schemat blokowy rodzajów wapna budowlanego wg. PN-EN 459-1:2010

Proces gaszenia wapna palonego polega na reakcji tlenku wapnia  $\text{CaO}$  z wodą  $\text{H}_2\text{O}$ , w wyniku której otrzymuje się wapna hydratyzowane (*S*):



Tej egzotermicznej reakcji towarzyszy wzrost temperatury układu nawet do  $100^\circ\text{C}$ , a część wody zostaje odparowana. Ilość wody użytej w procesie gaszenia wapna palonego decyduje o postaci otrzymywanego wapna hydratyzowanego tj.:

- proszku (*S*) – wodorotlenku wapnia otrzymanego przy użyciu stechiometrycznej ilości wody
- ciasta (*S PL*) – mieszaniny wodorotlenku wapnia i jego nasyconego roztworu
- zawiesiny/mleka wapiennego (*S ML*) – zawiesiny wodorotlenku wapnia w wodzi.

Wapno hydratyzowane w budownictwie jest stosowane przede wszystkim do przygotowywania zapraw murarskich i tynkarskich, farb wapiennych i betonów oraz w drogownictwie do stabilizacji gruntów i wytwarzania mieszanek asfaltowych.

Charakterystyczne właściwości wapna budowlanego to:

- biała barwa
- bardzo duże rozdrobnienie – poprawia urabialność i plastyczność zapraw i betonów cementowych
- egzotermiczna reakcja z wodą – wykorzystywane do osuszania np. gruntów oraz przy robotach w zimę

- silna zasadowość – pozwala neutralizować inne materiały, ma właściwości bakteriobójcze, przeciwdziała rozwojowi mikroorganizmów
- zdolność absorbowania znacznych ilości wody – przeciwdziała zbyt szybkiemu odciąganiu wody przez podłoże
- rysoodporność – zmniejsza podatność zapraw do powstawania rys
- zdolność do reakcji chemicznych z materiałami pucolanowymi i hydraulicznymi – wykorzystywane do produkcji spoiw budowlanych, betonów czy mieszanek wapienno-popiołowych do podbudowy dróg
- niewielka wytrzymałość – wytrzymałość zapraw 1 ÷ 2 MPa
- zdolność do tworzenia z piaskiem mocnych krzemianów wapniowych – wykorzystywane do produkcji silikatów i autoklawizowanych betonów komórkowych

Wapno budowlane palone i hydratyzowane jest klasyfikowane z uwagi na zawartość CaO i MgO lub Ca(OH)<sub>2</sub> i Mg(OH)<sub>2</sub> [% masy], zgodnie z symbolem i całkowitą zawartością tlenków lub wodorotlenków wapnia i magnezu podanymi w tab.1.

W tab.2 przedstawiono badania właściwości użytkowych wapna budowlanego powietrznego uwzględnione w normie PN-EN 459-1:2010.

Tab.1. Rodzaje wapna wapiowego

Oznaczenie	Symbol	Wartości podane jako % masy	
		CaO + MgO / Ca(OH) <sub>2</sub> + Mg(OH) <sub>2</sub>	MgO / Mg(OH) <sub>2</sub>
Wapno wapiowe 90	<i>CL 90</i>	≥ 90	≤ 5
Wapno wapiowe 80	<i>CL 80</i>	≥ 80	≤ 5
Wapno wapiowe 70	<i>CL 70</i>	≥ 70	≤ 5

Tab.2. Badania właściwości użytkowych wapna powietrznego uwzględnione w normie PN-EN 459-1:2010

Rodzaj badania	Wapno palone	Wapno hydratyzowane		
		<i>S</i>	<i>S PL</i>	<i>S ML</i>
Zawartość CaO + MgO	+	+	+	+
Zawartość CO <sub>2</sub>	+	+	+	+
Zawartość MgO	+	+	+	+
Zawartość SO <sub>3</sub>	+	+	+	+
Wielkość ziaren	+	+	-	-
Rozkład wielkości ziaren	+	-	-	-
Stołość objętości	+	+	+	+
Wnikanie (badanie zaprawy)	-	+	-	-
Wodozadržność (badanie zaprawy)	-	+	-	-
Zawartość powietrza (badanie zaprawy)	-	+	+	+
Zawartość wapna czynnego	+	+	+	+
Zawartość wolnej wody	-	+	-	-
Reaktywność	+	-	-	-
Gęstość nasypowa	+	+	-	-
Wydajność	+	-	-	-
Stopień białości	+	+	+	+
+ bada się, - nie bada się				

### 3. Oznaczenia do wykonania:

#### 3.1. Stopień zmielenia wapna hydratyzowanego wapniowego metodą sitową wg PN-EN 196-6:2016

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

- wapno powietrzne hydratyzowane
- sito o wymiarach oczek 0,09 mm z denkiem
- sito o wymiarach oczek 0,2 mm z denkiem
- waga

##### 3.1.2. Wykonanie oznaczenia

Oznaczenie polega na przesianiu próbki wapna przez dwa sita o wymiarach oczek kwadratowych równych 0,09 oraz 0,2 mm i określeniu masy ziaren pozostałych na kolejnych sitach. W celu wykonania oznaczenia należy odważyć próbkę 10 g wapna hydratyzowanego

z dokładnością do 0,01 g. Odważony materiał przenosi się na sito o boku oczka 0,09 i porusza sitem poziomym ruchem kołowym, aż cząstki przestaną przez nie przechodzić. Pozostałość na sicie waży się, a potem przesiewa przez sito o boku oczka 0,2 mm. Pozostałości na kolejnych sitach odnosi się do masy próbki analitycznej wapna, a wynik wyrazić w procentach z dokładnością do 0,1%. Badanie wykonuje się dwukrotnie, a za wynik oznaczenia przyjmuje się średnie procentowe pozostałości na obu sitach, z dokładnością do 0,1%.

### 3.1.3. Ocena wyników badań

Pozostałość ziaren wapna budowlanego, które przechodzą przez sito kontrolne o rozmiarze oczek 0,09 i 0,2 mm powinna być zgodna z wymaganiami wskazanymi w PN-EN 459-1:2010 (tab.3).

Tab.3. Wymagania fizyczne odnośnie wapna hydratyzowanego wg PN-EN 459-1:2010 – wielkość ziaren

Rodzaj wapna	Pozostałość na sicie w % masy	
	Sito 0,09 mm	Sito 0,2 mm
<i>CL 90</i>	≤ 9,0	≤ 4,0
<i>CL 80</i>		
<i>CL 70</i>		

### 3.1.4. Opracowanie wyników badań

Wyniki powinny być przedstawione w postaci tabeli (tab.4).

Tab.4. Przykładowa tabela prezentująca uzyskane wyniki

Rodzaj wapna:					
Masa próbki 1:					
Masa próbki 2:					
Pozostałość na sicie	Pomiar 1		Pomiar 2		Wartość średnia z pomiaru 1 i 2 [%]
	[g]	[%]	[g]	[%]	
0,09					
0,2					
Wniosek: Uzyskane wyniki są zgodne/niezgodne z wymogami normy PN-EN 459-1:2010					



## 3.2. Reaktywność wapna palonego powietrznego metodą zlewkową (uproszczoną)

### 3.2.1. Materiały i wyposażenie do wykorzystania

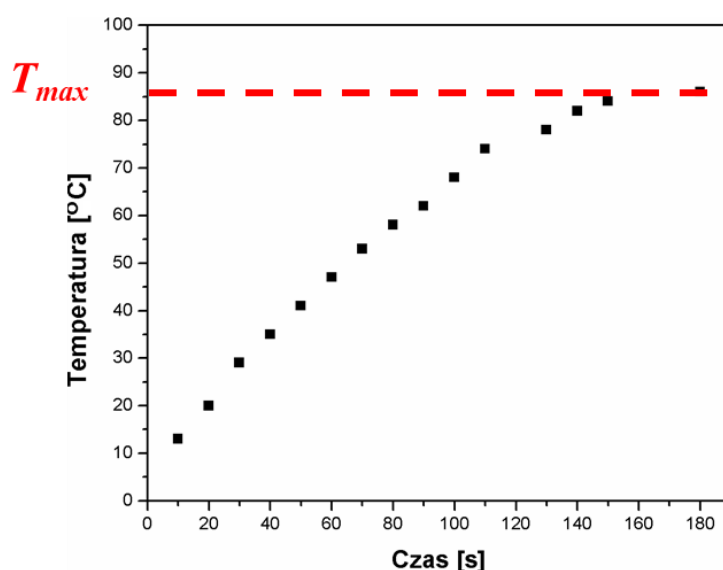
- wapno powietrzne palone
- woda destylowana
- waga
- zestaw dwóch zlewek aluminiowych o pojemność 350 ml i 450 ml, włożonych jedna w drugą, zaopatrzone w przykrywkę zaopatrzoną w termometr

### 3.2.2. Wykonanie oznaczenia

Badanie reaktywności podczas gaszenia wykonuje się metodą zlewkową (uproszczoną), polegającą na pomiarze czasu, w którym mieszanina wapna palonego z wodą osiągnie temperaturę maksymalną. Należy odmierzyć 40 ml wody destylowanej do zlewki i odważyć  $20 \pm 0,1$  g wapna palonego. Próbkę wapna wsypać do zlewki, jednocześnie włączając stoper. Następnie zakryć zlewkę, zwracając uwagę na to żeby termometr był zanurzony w mieszance, potem lekko wstrząsnąć i odstawić. We wskazanych przez prowadzącego odstępach czasu odczytywać i notować temperaturę. Pomiar prowadzić do uzyskania maksymalnej temperatury utrzymującej się przez trzy kolejne pomiary. Wynik badania jest wyrażany jako czas  $t$  [min] konieczny do osiągnięcia maksymalnej temperatury  $T$  [°C].

### 3.2.3. Ocena wyników badań

Zmierzone wartości temperatury w stopniach Celsjusza przedstawić graficznie jako funkcję czasu w minutach (rys.2).



Rys.2. Przykładowy wykres zależności temperatury od czasu gaszenia wapna palonego

Z uwagi na wymogi technologiczne produkcji autoklawizowanego betonu komórkowego, badane wapno powietrzne palone powinno spełniać następujące wymogi dotyczące reaktywności:

- czas gaszenia wynoszący od 10 do 30 min
- temperatura gaszenia powyżej 60°C

### 1.1.1. Opracowanie wyników

Wyniki powinny być przedstawione w postaci tabeli:

Tab.5. Przykładowa tabela prezentująca uzyskane wyniki

Rodzaj wapna: Masa próbki: Masa wody destylowanej:			
Reaktywność	Pomiar 1	Pomiar 2	Wartość średnia z pomiaru 1 i 2
Czas [min]			
Temperatura [°C]			
Wniosek: Uzyskane wyniki spełniają/nie spełniają wymogów technologicznych produkcji autoklawizowanego betonu komórkowego			

## 2. 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).

### 3. 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.

Instrukcję przygotowano w ramach projektu

**NERW PW Nauka – Edukacja – Rozwój – Współpraca**

Projekt typu P2 finansowany w ramach

**Programu Operacyjnego Wiedza Edukacja Rozwój 2014-2020,**

**Oś priorytetowa III Szkolnictwo Wyższe dla gospodarki i rozwoju, Działanie 3.5 Kompleksowe  
programy szkół wyższych**

Jednostka wiodąca

**Centrum Zarządzania Innowacjami i Transferem Technologii PW**

Zadanie:

**Dostosowanie i realizacja programów kształcenia na Wydziale Inżynierii Lądowej  
w zakresie umiejętności praktycznych stosowania BIM w budownictwie**