

# WAPNO JAKO NATURALNY POCHŁANIACZ DWUTLENKU WĘGLA

Przykłady mineralnej karbonatyzacji  
przy zastosowaniu wapna



[www.eula.eu](http://www.eula.eu)

# SPIS TREŚCI

WPROWADZENIE .....	3
WAPNO I JEGO ZASTOSOWANIA .....	4
CYKL ŻYCIA WAPNA .....	6
KORZYŚCI WYNIKAJĄCE Z KARBONATYZACJI .....	8
PRZYKŁADY KARBONATYZACJI PRZY STOSOWANIU WAPNA .....	11
WNIOSKI .....	14
ZAŁĄCZNIKI .....	15
Hutnictwo stali	
Zaprawy wapienne	
Beton konopny	
Uzdatnianie wody pitnej	
Oczyszczanie gazów spalinowych	
Produkcja papiernicza	
Produkcja aluminium	
DEFINICJE .....	30
INFORMACJE NA TEMAT EULA .....	32

# WPROWADZENIE

Każdego roku w Europie produkuje się ponad 20 milionów ton wapna w różnych postaciach. Wapno ma wiele zastosowań, jest niezbędne w wielu procesach, od produkcji żelaza i stali po zapewnienie czystej wody pitnej. Działa jako środek oczyszczający i wychwytuje zanieczyszczenia w najbardziej ekstremalnych środowiskach przemysłowych, a także jest przydatne w przetwórstwie spożywczym i służy do poprawy właściwości gruntu. Wapno jest zatem niezbędne dla społeczeństwa.

Produkcja wapna polega na ogrzewaniu wapienia ( $\text{CaCO}_3$ ) w celu przekształcenia go w wapno palone o wysokiej czystości ( $\text{CaO}$ ), co wiąże się z uwalnianiem w czasie reakcji chemicznej dwutlenku węgla ( $\text{CO}_2$ ). Jest on nazywany „procesowym  $\text{CO}_2$ ”. Oznacza to, że produkcja wapna jest z natury procesem wysokoemisyjnym. Europejska branża wapiennicza (reprezentowana przez Europejskie Stowarzyszenie Wapna, EuLA) przyznaje, że ma do odegrania ważną rolę w realizacji ambicji Unii Europejskiej zmierzających do tego, aby nasz region był neutralny pod względem emisji dwutlenku węgla do 2050 roku, i w pełni angażuje się w realizację celów Zielonego Ładu [1].

Branża wapiennicza przyczynia się do tej transformacji poprzez przestawienie się na paliwa o niższej emisyjności związków węgla oraz poprzez zwiększenie efektywności energetycznej procesów produkcyjnych. Dzięki temu zmniejszy się emisja zanieczyszczeń pochodzących ze spalania paliw. Emisje z paliw stanowią jednak mniej niż jedną trzecią całkowitej ilości  $\text{CO}_2$  uwalnianego podczas produkcji. Pozostała emisja  $\text{CO}_2$  to emisja procesowa  $\text{CO}_2$ , której nie da się uniknąć.

Wychwytywanie i utylizacja dwutlenku węgla lub jego składowanie są konieczne, aby ostatecznie produkcja wapna stała się neutralna pod względem emisji dwutlenku węgla poprzez rozwiązanie problemu emisji  $\text{CO}_2$  u źródła. Tego rodzaju technologie są nadal w fazie opracowywania i obecnie nie mają zastosowania komercyjnego.

Wapno ma jednak ważną właściwość, która nie została jeszcze w pełni udokumentowana ani uwzględniona przy obliczaniu śladu węglowego branży wapienniczej. Wychwytuje ono  $\text{CO}_2$  z otoczenia, przekształcając się w sposób naturalny w wapień. Proces ten nosi nazwę karbonatyzacji (lub mineralnej karbonatyzacji).

Zakres, w jakim ten proces przebiega w praktyce, zależy od sposobu wykorzystania wapna. Badania wykazują, że w zastosowaniach takich jak uzdatnianie wody pitnej stopień karbonatyzacji wynosi 100%, co oznacza, że cała ilość emisji procesowej  $\text{CO}_2$  jest wychwytywana, gdy wapno to jest wykorzystywane do oczyszczania wody pitnej.  $\text{CO}_2$  jest trwale wychwytywany i nie jest uwalniany do atmosfery, ponieważ wapno przekształca się w wapień –  $\text{CaCO}_3$ .

**W niniejszym dokumencie EuLA przedstawia wyniki przeglądu literatury przeprowadzonego przez Politechnikę w Mediolanie (Politecnico di Milano – PoliMI) w ramach którego przeanalizowano dostępne dane dotyczące stopnia karbonatyzacji w różnych zastosowaniach wapna. Uzyskane wyniki pokazują, że w procesie karbonatyzacji wychwytywane jest średnio 33% procesowego  $\text{CO}_2$  emitowanego w procesie produkcji wapna.**

# WAPNO I JEGO ZASTOSOWANIA

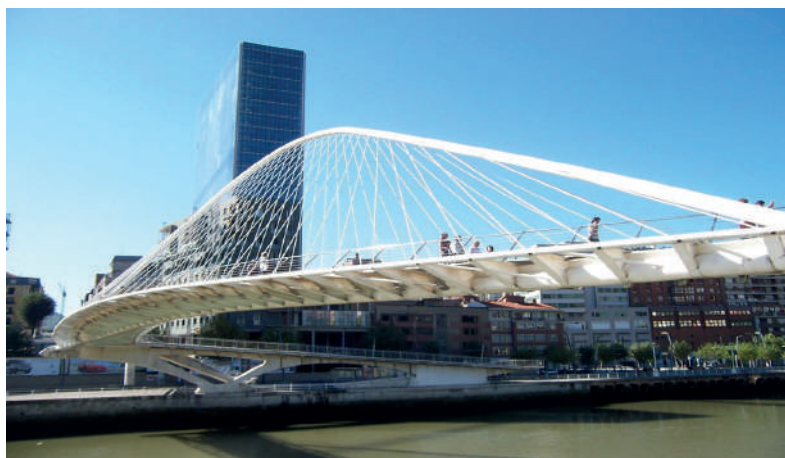
## Niezbędny czynnik

Wapno jest jednym z tych zazwyczaj niezauważalnych produktów, które mają ogromny wpływ na nasze codzienne życie. Jest ono stosowane w wielu procesach przemysłowych, w tym w produkcji stali, budownictwie, przemyśle spożywczym, rolnictwie i wielu zastosowaniach służących ochronie środowiska, aby wymienić tylko kilka z nich. Było ono używane na przestrzeni całej historii, np. Rzymianie zbudowali swoje imperium, stosując zaprawę wapienną. Obecnie wszechstronne i wyjątkowe właściwości tego materiału pomagają optymalizować produkty branży budowlanej i wytwórczej, a także odgrywają ważną rolę w rolnictwie, produkcji żywności i uzdatnianiu wody.

Dzięki plastyczności w stanie mokrym oraz naturalnej karbonatacji i twarżeniu z powrotem do postaci wapienia podczas wiązania, wapno jest często stosowane w zaprawach murarskich przeznaczonych dla budownictwa. Proces ten jest szczególnie istotny w przypadku renowacji budynków zabytkowych. W produkcji nowoczesnych zapraw wapno jest mieszane z innymi składnikami przyspieszającymi wiązanie. Podobnie połączenie wapna z paździerzami konopi lnu jest wykorzystywane do produkcji betonu konopnego.

W wielu nowoczesnych zastosowaniach wapno przemysłowe jest wykorzystywane jako związek zasadowy do neutralizacji kwasowości lub sekwestracji kwaśnych zanieczyszczeń. Takie zastosowanie ma najczęściej miejsce w hutnictwie żelaza i stali, gdzie wapno łączy się z pierwiastkami kwasotwórczymi w procesie wytopu, usuwając zanieczyszczenia poprzez tworzenie żużlu. Wapno było stosowane do zwalczania skutków kwaśnych deszczy pod koniec ubiegłego wieku i nadal jest używane do eliminowania kwasów z gazów spalinowych w elektrowniach i zakładach przemysłowych. Podczas produkcji aluminium wapno jest wykorzystywane w zasadowej mieszaninie do rozpuszczania boksytu (rudy aluminium).

Służy ono także do uzdatniania i zmiękczenia wody pitnej oraz do oczyszczania ścieków i osadów. W przypadku niektórych zastosowań wapno tworzy zawiesinę wodną i łączy się z  $\text{CO}_2$ , tworząc różne postaci tak zwanego strącanego węglanu wapnia (PCC), czyli zasadniczo oczyszczonego węglanu wapnia. Jest on stosowany jako pigment lub wypełniacz w materiałach takich jak papier i farby.



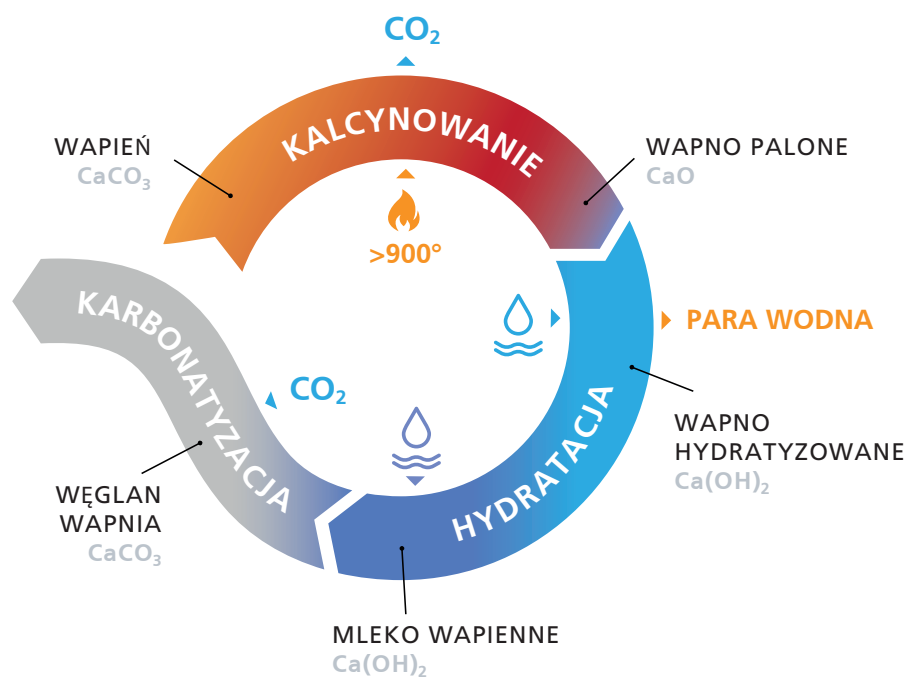


# CYKL ŻYCIA WAPNA

### Etapy produkcji wapna

Cykl życia wapna ma kluczowe znaczenie w związku z jego wieloma zastosowaniami. Dzięki niemu możliwe jest przetwarzanie wapienia wydobywanego jako surowiec

w różnorodne produkty, w tym wapno palone, wapno hydratyzowane i jego wodną zawiesinę – mleko wapienne. Każdy z tych produktów jest wykorzystywany na wiele różnych sposobów.



### Procesowy CO<sub>2</sub>

Produkcja wapna jest procesem wysoko-emisyjnym ze względu na uwalnianie CO<sub>2</sub> z wapienia. Gaz ten jest nazywany „procesowym CO<sub>2</sub>”. Spalanie paliwa w celu wytworzenia wymaganego ciepła również powoduje emisję CO<sub>2</sub> zwanego „CO<sub>2</sub> e spalania”. Zasadniczo emisja procesowa CO<sub>2</sub> stanowi ponad dwie trzecie emisji tego gazu z europejskiej branży wapienniczej, natomiast CO<sub>2</sub> ze spalania odpowiada za mniej niż jedną trzecią. O ile emisję CO<sub>2</sub> ze spalania można w jak największym stopniu ograniczyć, przechodząc na bardziej neutralne pod względem emisji CO<sub>2</sub> źródła energii, nie można tego zrobić w przypadku emisji procesowej, ponieważ stanowi ona nieodłączną część reakcji chemicznej, w wyniku której powstaje wapno.

### Wapno jako naturalny pochłaniacz dwutlenku węgla

Wapno naturalnie przekształca się w wapień, wychwytyjąc CO<sub>2</sub> z otoczenia. Proces ten nosi nazwę karbonatyzacji (lub mineralnej karbonatyzacji) i odgrywa istotną rolę w przypadku wielu zastosowań wapna. Na przykład, zaprawy zawierające wapno wychwytyją CO<sub>2</sub> z atmosfery, który reaguje z wapnem, tworząc kryształy węglanu wapnia.

Dlatego zaprawy wapienne twardnieją wraz z upływem czasu. Czyste wapno jest często nazywane wapnem powietrznym w przeciwieństwie do wapna hydraulicznego, którego wiązanie następuje w wodzie. Kryształy węglanu wapnia są większe niż kryształy wapna i tworzą się w wolnych przestrzeniach, takich jak pęknięcia, a następnie rosną, uszczelniając je. Ta cecha „dojrzewania zaprawy” ogranicza penetrację wody i zwiększa trwałość zapraw.

### Stopień karbonatyzacji

Stopień karbonatyzacji w przypadku danego zastosowania oznacza ilość wychwytywanego CO<sub>2</sub> jako procent procesowego CO<sub>2</sub> emitowanego podczas procesu produkcyjnego. Na przykład w czasie uzdatniania wody pitnej (zmiękczenia wody) stopień karbonatyzacji wynosi 100%. W przypadku tego zastosowania wapno jest celowo poddawane działaniu CO<sub>2</sub>, aby uzyskać wytrącony węglan wapnia. Ponieważ całe wapno obecne w wodzie ulega wytrąceniu, wychwytyuje ilość CO<sub>2</sub> równą ilości procesowego CO<sub>2</sub> emitowanego podczas jego produkcji. W produkcji stali wapno służy do usuwania innych zanieczyszczeń niż CO<sub>2</sub>, a zatem w przypadku tego zastosowania stopień karbonatyzacji po samym procesie produkcji stali jest mniejszy.

# KORZYŚCI WYNIKAJĄCE Z KARBONATYZACJI

W ostatnim czasie przeprowadzono i opublikowano wiele badań dotyczących trwałego wychwytywania CO<sub>2</sub> dzięki właściwościom wapna. Aby dokładnie ocenić ślad węglowy branży wapienniczej, należy wziąć pod uwagę ilość CO<sub>2</sub> wychwytywanego przez wapno podczas jego różnych zastosowań. Wymaga to danych dotyczących stopnia karbonatyzacji wszystkich najważniejszych zastosowań wapna i ich udziału w całej branży wapienniczej.

Aby wypełnić tę lukę w wiedzy, w 2018 roku EuLA zleciło Politechnice w Mediolanie (Politecnico di Milano – PoliMI) przeprowadzenie przeglądu literatury recenzowanych badań dotyczących karbonatyzacji wapna [2]. PoliMI dokonała oceny naturalnej i usprawnionej karbonatyzacji (patrz dalej) w przypadku różnych

zastosowań wapna, biorąc pod uwagę ilość i wiarygodność dostępnych informacji i danych.

## Co wiadomo na pewno?

W przypadku ośmiu zastosowań istnieją jednoznaczne informacje naukowe dotyczące stopnia karbonatyzacji. Są one określane jako „zastosowania jednoznaczne”. Zalicza się do nich największe i drugie co do wielkości zastosowanie wapna, tj. hutnictwo żelaza i stali oraz oczyszczanie gazów spalinowych, które oparte są na procesach przyczyniających się do wychwytywania 23% całkowitej emisji procesowej CO<sub>2</sub> powstającej podczas produkcji wapna w Europie. W przypadku sześciu innych powszechnych zastosowań dostępnych jest mniej danych, ale sugerują one wychwytywanie dodatkowych 10% emisji CO<sub>2</sub> z procesu produkcji wapna w Europie.

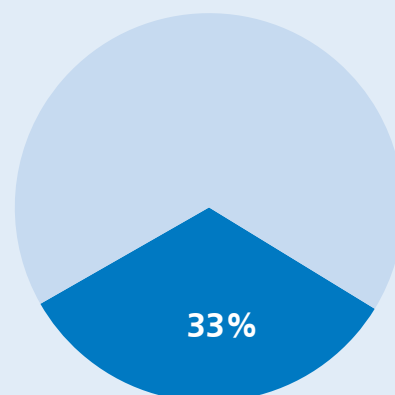
**Naturalny stopień karbonatyzacji w europejskiej branży wapienniczej mógłby wynosić średnio 33% emisji procesowej CO<sub>2</sub> powstającej z kamienia wapiennego przy produkcji wapna.**



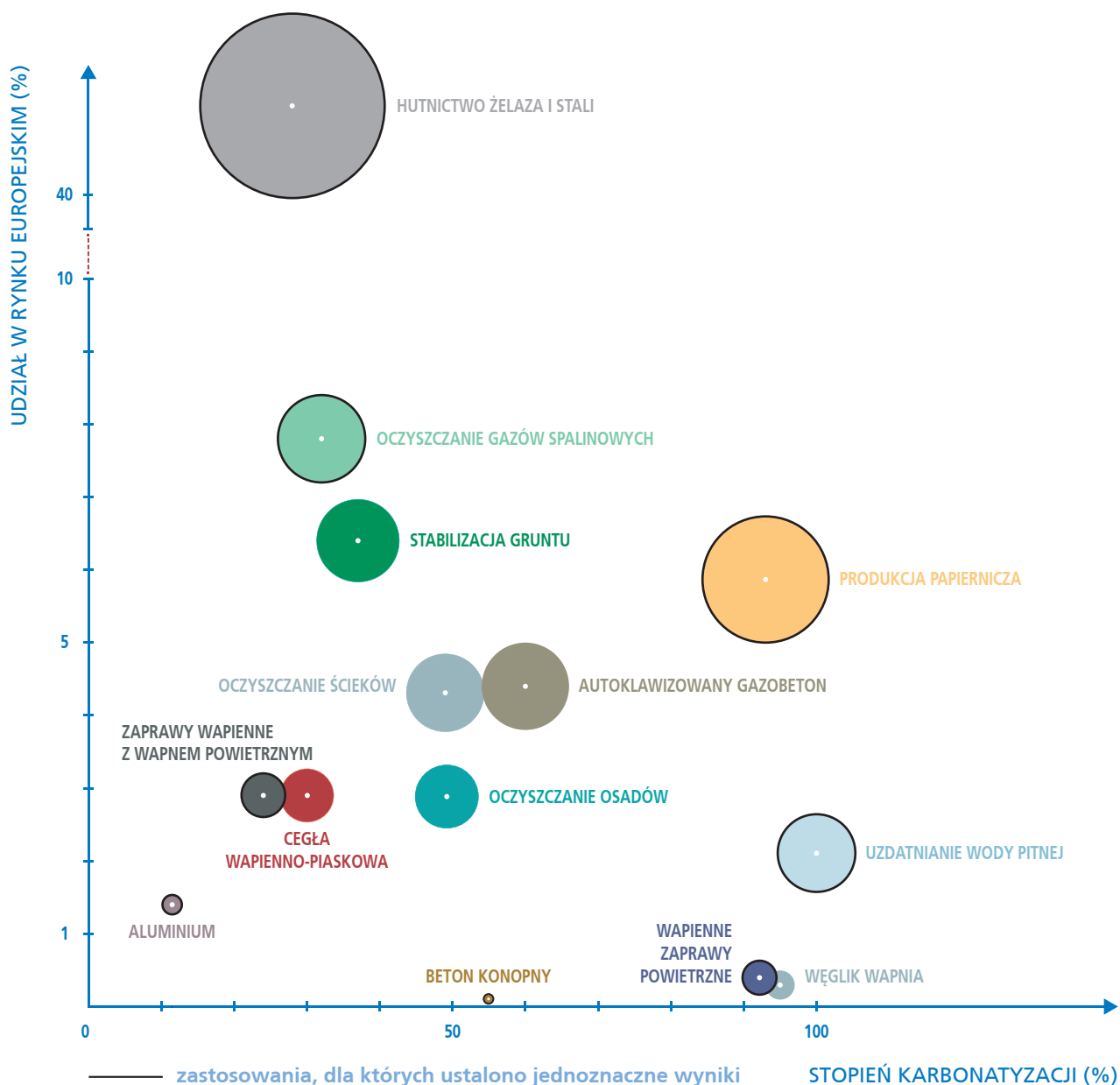
## Naturalna karbonatyzacja wapna powoduje wychwytywanie średnio 33% ilości CO<sub>2</sub> emitowanego w procesie produkcji.

Na poniższym wykresie przedstawiono ilość CO<sub>2</sub> wychwyconego w procesie naturalnej karbonatyzacji. W przypadku każdego zastosowania powierzchnia okręgu oznacza ilość wychwyconego CO<sub>2</sub> jako procent całkowitej emisji procesowej CO<sub>2</sub> podczas produkcji wapna na rynku europejskim.

Całkowity technologiczny CO<sub>2</sub>



Całkowita ilość CO<sub>2</sub> wychwyconego w procesie naturalnym



### Usprawnienie karbonatyzacji

Karbonatyzacja przebiega naturalnie w wyniku zastosowania wapna. W niektórych przypadkach można zmienić sposób jego użycia w celu osiągnięcia możliwie najwyższego stopnia karbonatyzacji. W tym celu często najkorzystniejsze jest zwiększenie powierzchni kontaktu, stężenia CO<sub>2</sub>, ciśnienia i czasu kontaktu wapna i CO<sub>2</sub>. Do innych możliwości zalicza się: poprawa wydajności procesu, dostosowanie stosunku wapna do substratów reakcji lub minimalizacja zanieczyszczeń oraz kontrola wilgotności względnej, kwasowości i temperatury reakcji.

**PoliMI zebrała informacje, które wskazują na łączny potencjał karbonatyzacji wynoszący około 40% emisji procesowej CO<sub>2</sub> przy zastosowaniu technik naturalnej oraz usprawnionej karbonatyzacji.**

### Okres karbonatyzacji

Podczas stosowania wapna do oczyszczania gazów spalinowych, do uzdatniania wody pitnej lub w produkcji papierniczej, karbonatyzacja następuje natychmiast. W hutnictwie żelaza i stali karbonatyzacja ma miejsce podczas składowania żużli na otwartej przestrzeni i zazwyczaj trwa od 3 do 6 miesięcy. Wapno stosowane w różnych materiałach budowlanych, takich jak zaprawy i beton konopny ulega stopniowej karbonatyzacji w okresie eksploatacji budynku.

**Chociaż czas trwania karbonatyzacji w przypadku poszczególnych zastosowań wapna jest różny, większość reakcji karbonatyzacji zachodzi w ciągu pierwszego roku.**

### Karbonatyzacja jest trwała

Wychwytywanie CO<sub>2</sub> poprzez karbonatyzację ma charakter trwały, ponieważ do jego ponownego uwolnienia potrzebna jest duża ilość energii cieplnej. Innymi słowy, jeżeli materiał nie zostanie ponownie przetworzony w celu uzyskania wapna, CO<sub>2</sub> pozostaje w nim trwale związane.

**Wapno może być zatem rzeczywiście uważane za trwały pochłaniacz dwutlenku węgla.**





# PRZYKŁADY KARBONATYZACJI PRZY STOSOWANIU WAPNA

Na następnej stronie przedstawiamy przykłady zastosowań wapna, dla których dostępne są jednoznaczne dane dotyczące karbonatyzacji. Bardziej szczegółowej oceny dokonała PoliMI [2]. W załącznikach na końcu niniejszej broszury znajdują się dodatkowe informacje wynikające z wykonanych przez nią prac. Na kolejnych stronach opisano rolę, jaką wapno odgrywa w każdym z tych jednoznacznych zastosowań oraz wskazano, kiedy i w jaki sposób zachodzi naturalna karbonatyzacja. Dla każdej aplikacji przedstawiono następujące dane:

- **Stopień karbonatyzacji:** CO<sub>2</sub> wychwycony podczas stosowania wyrażony jako procent technologicznego CO<sub>2</sub> wyemitowanego podczas produkcji wapna przeznaczonego do tego zastosowania.
- **Stopień usprawnionej karbonatyzacji:** stopień karbonatyzacji, który można osiągnąć poprzez zastosowanie dodatkowych środków mających na celu osiągnięcie jej maksymalnego poziomu.
- **Istotne publikacje:** liczba publikacji zawierających wiarygodne dane dla danego zastosowania w porównaniu z całkowitą liczbą publikacji ocenianych w związku z danym zastosowaniem.

## HUTNICTWO STALI



**Zastosowanie:** wapno neutralizuje pierwiastki kwasotwórcze, usuwa zanieczyszczenia, umożliwia spienianie żużla w piecach elektrycznych łukowych, chroni wymurówkę

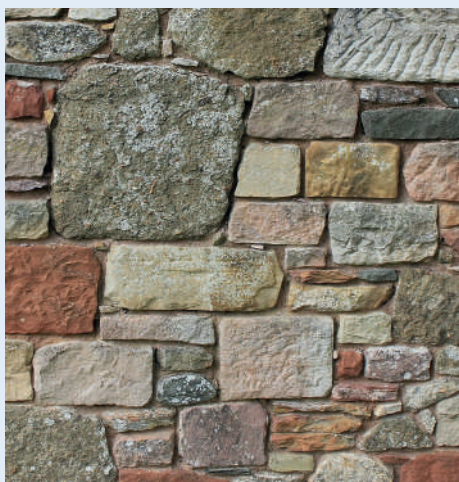
**Naturalna karbonatyzacja:** występuje podczas składowania żużla stalowego na wolnym powietrzu przez okres 3-6 miesięcy

**Stopień karbonatyzacji:** 5-28%

**Usprawniona karbonatyzacja:** 39-56%

**Istotne publikacje:** 55 z 72 ocenionych

## TRADYCYJNE ZAPRAWY WAPIENNE



**Zastosowanie:** wapno powietrzne zmieszane z kruszywem tworzy zaprawę, która twardnieje w wyniku karbonatyzacji, tworząc wapien

**Naturalna karbonatyzacja:** przez cały okres użytkowania budynku

**Stopień karbonatyzacji:** 80%

**Usprawniona karbonatyzacja:** 92%

**Istotne publikacje:** 21 z 100 ocenionych

## BETON KONOPNY



**Zastosowanie:** wapno powietrzne zmieszane z paździerzami konopi lnu do wyrobu bloczków lub ścian prefabrykowanych, które twardnieją w wyniku karbonatyzacji

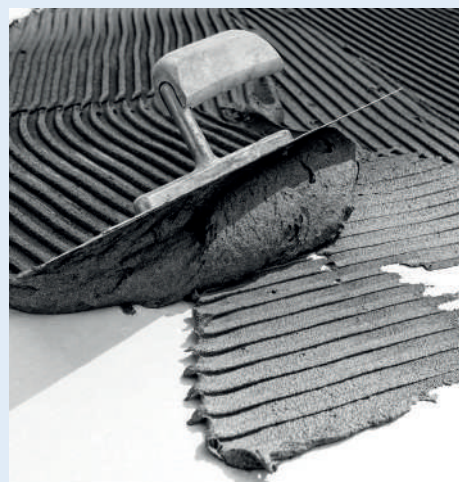
**Naturalna karbonatyzacja:** przez cały okres użytkowania budynku

**Stopień karbonatyzacji:** 55%

**Usprawniona karbonatyzacja:** 65%

**Istotne publikacje:** 9 z 15 ocenionych

## ZAPRAWY WAPIENNE Z DODATKOWYM SKŁADNIKIEM WIĄŻĄCYM



**Zastosowanie:** wapno powietrzne zmieszane ze spoiwem i kruszywem. Wiązanie wapna hydratyzowanego następuje w procesie karbonatyzacji powodującej powstanie wapienia, natomiast wiązanie spoiwa następuje w wyniku innej reakcji, często poprzez hydratację

**Naturalna karbonatyzacja:** przez cały okres użytkowania budynku

**Stopień karbonatyzacji:** 20%

**Usprawniona karbonatyzacja:** 23%

**Istotne publikacje:** 27 z 90 ocenionych

## UZDATNIANIE WODY PITNEJ



**Zastosowanie:** wapno hydratyzowane wytrąca się w postaci wapnia, usuwa zanieczyszczenia i reguluje kwasowość

**Naturalna karbonatyzacja:** CO<sub>2</sub> jest rozpuszczone w wodzie w postaci wodorowęglanu wapnia i wytrąca się jako wapień

**Stopień karbonatyzacji:** 100%

**Usprawniona karbonatyzacja:** 100%

**Istotne publikacje:** 2 z 14 ocenionych

## OCZYSZCZANIE GAZÓW SPALINOWYCH



**Zastosowanie:** wapno hydratyzowane reaguje z kwaśnymi gazami pochodzącymi z emisji z zakładów przemysłowych

**Naturalna karbonatyzacja:** wolne wapno reaguje z CO<sub>2</sub> zawartym w gazach spalinowych

**Stopień karbonatyzacji:** 32%

**Usprawniona karbonatyzacja:** 59-64%

**Istotne publikacje:** 23 z 39 ocenionych

## PRODUKCJA PAPIERNICZA



**Zastosowanie:** wapno hydratyzowane strąca się, tworząc różne postaci węglanu wapnia

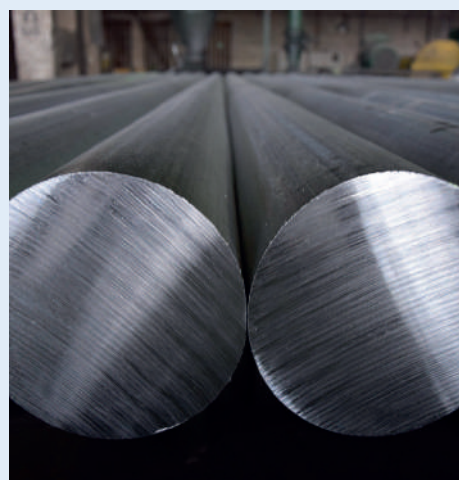
**Naturalna karbonatyzacja:** w trakcie procesu dodaje się CO<sub>2</sub> w celu wywołania strącania

**Stopień karbonatyzacji:** 93%

**Usprawniona karbonatyzacja:** 100%

**Istotne publikacje:** 26 z 41 ocenionych

## PRODUKCJA ALUMINIUM



**Zastosowanie:** wapno palone lub wapno hydratyzowane jest stosowane w mieszaninie do rozpuszczania boksytu

**Naturalna karbonatyzacja:** wolne wapno reaguje z atmosferycznym CO<sub>2</sub> podczas składowania pozostałości

**Stopień karbonatyzacji:** 12%

**Usprawniona karbonatyzacja:** 12%

**Istotne publikacje:** 13 z 52 ocenionych

# WNIOSKI

**Średnio 33% ilości całej emisji procesowej CO<sub>2</sub> w związku z produkcją wapna w Europie jest wychwytywane w procesie karbonatyzacji podczas jego użytkowania, a przy zastosowaniu specjalnych technik może to być nawet 40%.**

**Należy zauważyć, że karbonatyzacja ma miejsce głównie w ciągu pierwszego roku.**

**Ponieważ wychwytywanie CO<sub>2</sub> ma charakter trwały należy je uwzględnić przy obliczaniu śladu węglowego branży.**

Jasne zdefiniowanie i uwzględnienie roli wapna w usuwaniu i trwałym magazynowaniu CO<sub>2</sub> pozwoli europejskiej branży wapienniczej stać się silnym partnerem we wspólnym dążeniu do Europy neutralnej pod względem emisji dwutlenku węgla,

przy jednoczesnym zachowaniu konkurencyjności na rynku światowym.

EuLA w pełni się angażuje w realizację wizji Europy neutralnej pod względem emisji dwutlenku węgla do 2050 roku, zdając sobie sprawę, że będzie to wymagało zarówno innowacji technicznych, jak i solidnych ram prawnych. Uważamy, że integralną częścią tych ram jest właściwe uwzględnienie karbonatyzacji zachodzącej w wyniku powszechnego stosowania wapna.

EuLA opracowuje tematy badawcze w celu uzyskania dodatkowych danych na temat naturalnej i usprawnionej karbonatyzacji w tych zastosowaniach, w których obecnie dostępne dane lub badania naukowe nie pozwalają na wyciągnięcie solidnych wniosków. Pozwoli to na jeszcze dokładniejsze uwzględnienie karbonatyzacji wynikającej z zastosowania wapna.

## MATERIAŁY REFERENCYJNE

1. EC. 2019. Communication by the Commission on the green deal. COM(2019) 640 wersja ostateczna. Bruksela. [https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/actions-being-taken-eu\\_en](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/actions-being-taken-eu_en)
2. Grosso M., Biganzoli L., Campo F. P., Pantini S., Tua C. 2020. Literature review on the assessment of the carbonation potential of lime in different markets and beyond. Report prepared by Assessment on Waste and Resources (AWARE) Research Group at Politecnico di Milano (PoliMI), for the European Lime Association (EuLA). str. 333.
3. Campo F. P., Tua C., Biganzoli L., Pantini S., Grosso M. 2021. Natural and enhanced carbonation of lime in its different applications: A review. Przesłano do Environmental Technology Journal.

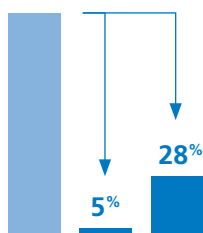


# ZAŁĄCZNIKI

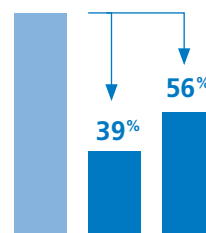




# HUTNICTWO STALI



STOPIEŃ NATURALNEJ KARBONATYZACJI  
STOPNIOWY WZROST W CZASIE



STOPIEŃ USPRAWNIONEJ KARBONATYZACJI  
STOPNIOWY WZROST W CZASIE

Stoień naturalnej karbonatyzacji od 5 do 28% (< 1 roku) podczas składowania żużła stalowniczego. Stoień usprawnionej karbonatyzacji od 39% do 56% (< 5 lat) podczas składowania żużła stalowniczego.

## CZYNNIKI WPŁYWAJĄCE NA STOPIEŃ KARBONATYZACJI

Na naturalną karbonatyzację wapna w hutnictwie stali wpływa:

- Odślonięta powierzchnia pryzm żużła stalowniczego.
- Niska porowatość pryzm zapobiega kontaktowi z CO<sub>2</sub>.

Na usprawnioną karbonatyzację wpływa:

- Skład żużli stalowniczych.
- Wielkość cząstek i powierzchnia mająca kontakt z CO<sub>2</sub>.

### Stosowanie wapna w hutnictwie żelaza i stali

Obecność związków wapnia w żużlu stalowniczym jest konsekwencją stosowania wapna (CaO) lub kamienia wapiennego (CaCO<sub>3</sub>) w hutnictwie żelaza i stali. Wapno jest stosowane w procesach odsiarczania surowki, jak również w konwertorach tlenowych (BOF) i piecach elektrycznych łukowych (EAF). Działa ono jako topnik, tworzący zasadowy żużel, który chroni wymurówkę, neutralizuje pierwiastki kwasotwórcze i usuwa siarkę, fosfor, krzemionkę i tlenek glinu. Wapno jest również stosowane w wielu różnych

procesach pozapiecowych do usuwania innych zanieczyszczeń i zapobiegania ponownemu wchłanianiu zanieczyszczeń z żużla. Ponadto może być stosowane wraz z innymi materiałami takimi jak fluoryt do tworzenia żużla syntetycznego, który jest stosowany jako topnik do usuwania pozostałości siarki w procesie rafinacji stali. W procesie produkcji surowki wapno stosowane jest znacznie rzadziej. W tym przypadku jest ono mieszane z wapieniem w proporcji 1:6, głównie w procesie spiekania.



## Karbonatyzacja

Naturalna karbonatyzacja występuje podczas składowania żużła stalowniczego na wolnym powietrzu, ponieważ wapno hydratyzowane  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  zawarte w żużlu reaguje z atmosferycznym  $\text{CO}_2$ .  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  powstaje w wyniku całkowitej hydratacji wolnego  $\text{CaO}$  pozostałego w żużlu.

Hydratacja jest niezbędna w związku z recyklingiem żużła jako materiału budowlanego i odbywa się poprzez działanie zewnętrznych czynników atmosferycznych na pryzmy żużła zazwyczaj przez okres 3-6 miesięcy. W przypadku żużła żelaznego karbonatyzacja jest uważana za nieistotną nawet po 100 latach.

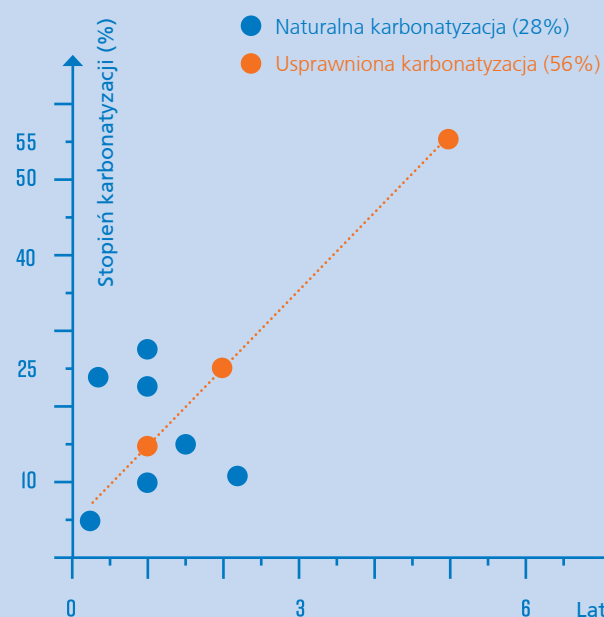
## Okres karbonatyzacji

Karbonatyzacja wapna w czasie w przypadku żużła stalowniczego przebiega według poniższego równania.

## Stopień karbonatyzacji

- Przez pierwsze 5 lat:  
= 0,0085/liczba dni.
- Po upływie pierwszych 5 lat: 39-56%.

Zgodnie z równaniem minimalny stopień usprawnionej karbonatyzacji wynoszący 39% zostaje osiągnięty po 5 latach. Wartość ta jest nieco zawyżona, ponieważ 2/3 wolnego wapna w żużlu stalowniczym reaguje w ciągu pierwszych 5 lat. Natomiast karbonatyzacja krzemianów wapnia i glinianów wapnia trwa ponad 5 lat i ostatecznie ulega temu procesowi zaledwie w 1/3. Zatem za teoretyczny maksymalny naturalny stopień karbonatyzacji można uznać wartość 39%, która jest osiągana zwykle po ponad 5 latach. Ponieważ po karbonatyzacji powierzchnia pryzmy żużłu jest mniej porowata, dyfuzja  $\text{CO}_2$  zmniejsza się z czasem.



## Żużel stalowniczy

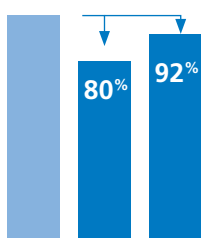
Oceniana literatura: 72

Publikacje zawierające istotne i wiarygodne informacje oraz dane: 34

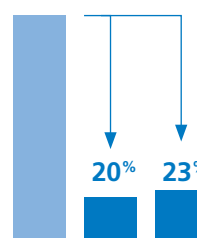
## Żużel żelazny

Oceniana literatura: 72

Publikacje zawierające istotne i wiarygodne informacje oraz dane: 21



**TRADYCYJNE ZAPRAWY WAPIENNE**  
STOPNIOWY WZROST W CZASIE



**ZAPRAWY WAPIENNE Z DODATKOWYM SKŁADNIKIEM WIĄŻĄCYM**  
STOPNIOWY WZROST W CZASIE

### STOPIEŃ NATURALNEJ KARBONATYZACJI

Stopień naturalnej karbonatyzacji zależy od grubości zaprawy. Przewiduje się, że przez 100 lat wapno ulega karbonatyzacji na grubości od 0 do 191 mm od powierzchni zaprawy.

#### Stosowanie wapna jako zaprawy

Zaprawy wapienne stosowane są od czasów starożytnych.

**Tradycyjne zaprawy wapienne** są produkowane z wapna hydratyzowanego ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ).

**Zaprawy wapienne z dodatkowym składnikiem wiążącym** są mieszanką wapna i innych związków przyspieszających wiązanie, np. cementu portlandzkiego lub gipsu.

#### Karbonatyzacja

**Zaprawy wapienne na bazie wapna powietrznego** twardnieją w wyniku oddziaływania atmosferycznego  $\text{CO}_2$ , tworząc węglan wapnia ( $\text{CaCO}_3$ ). Tak więc karbonatyzacja jest częścią procesu twardnienia i dojrzewania wapiennych zapraw powietrznych.

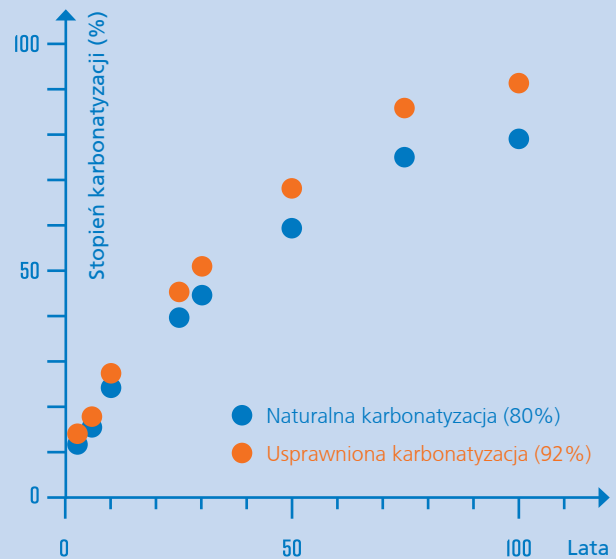
**W zaprawach z dodatkowym składnikiem wiążącym** wiązanie wapna hydratyzowanego następuje w procesie karbonatyzacji powodującej powstanie wapienia, natomiast wiązanie innych składników następuje w wyniku innej reakcji, często poprzez hydratację.

### Okres karbonatyzacji tradycyjnych zapraw wapiennych

Stopień naturalnej karbonatyzacji w czasie w przypadku wapiennych zapraw powietrznych wyraża się równaniem:

$$[CR=NCR \cdot K \sqrt{t/\text{głębokość}}]$$

- **CR** = stopień karbonatyzacji (%).
- **NCR** = stopień naturalnej karbonatyzacji (80%).
- **t** = czas w dniach.
- **K** = stała karbonatyzacji równa 1 mm/√dzień.
- **głębokość** = grubość warstwy, która ulega karbonatyzacji po 100 latach (191 mm).

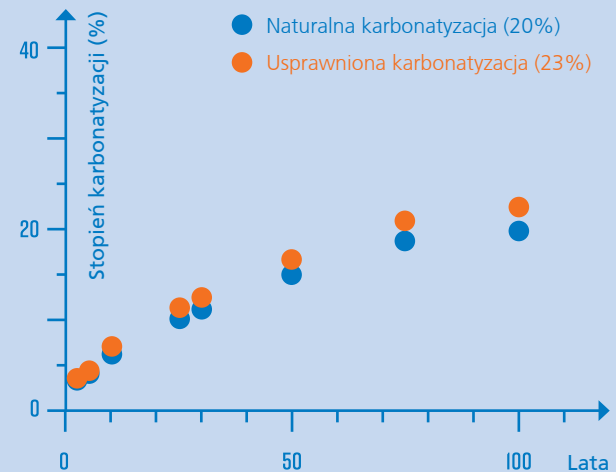


### Okres karbonatyzacji zapraw wapiennych z dodatkowym składnikiem wiążącym

Na naturalną karbonatyzację w zaprawach wapiennych z dodatkowym składnikiem wiążącym wpływa stopień zastąpienia cementu portlandzkiego, który zmniejsza porowatość. To z kolei obniża stopień karbonatyzacji do jednej czwartej wartości charakterystycznej dla tradycyjnych zapraw wapiennych. Przyjęte równanie:

$$[CR=NCR \cdot K \sqrt{t/\text{głębokość}}]$$

- **CR** = stopień karbonatyzacji (%).
- **NCR** = stopień naturalnej karbonatyzacji (20%).
- **t** = czas w dniach.
- **K** = stała karbonatyzacji równa 0,25 mm/√dzień.
- **głębokość** = grubość warstwy, która ulega karbonatyzacji po 100 latach (191 mm).



#### Tradycyjna zaprawa wapienna

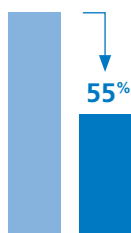
Oceniana literatura: 100

Publikacje zawierające istotne i wiarygodne informacje oraz dane: 21

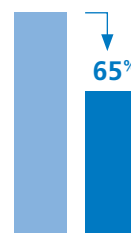
#### Zaprawa wapienna z dodatkowym składnikiem wiążącym

Oceniana literatura: 90

Publikacje zawierające istotne i wiarygodne informacje oraz dane: 27



**STOPIEŃ NATURALNEJ KARBONATYZACJI**  
STOPNIOWY WZROST W CZASIE



**STOPIEŃ USPRAWNIONEJ KARBONATYZACJI**  
STOPNIOWY WZROST W CZASIE

Na stopień karbonatyzacji wpływa:

- Skład spoiwa.
- Kontakt z CO<sub>2</sub>.

### Wykorzystanie betonu konopnego jako materiału budowlanego

Materiały budowlane z betonu konopnego są stosowane głównie we Francji i Wielkiej Brytanii, skąd pochodzi większość publikacji. Beton konopny jest produkowany z paździerzy konopi lnu, czyli rozdrobnionego, zdrewniałego rdzenia

łodyg konopi. Jest on mieszany ze spoiwem na bazie wapna powietrznego z dodatkiem cementu pucolanowego lub wapna hydraulicznego, a w niektórych przypadkach środków powierzchniowo czynnych

### Karbonatyzacja

Spoiwo na bazie wapna powietrznego to wapno hydratyzowane (Ca(OH)<sub>2</sub>). W fazie użytkowania materiałów budowlanych z betonu konopnego wapno hydratyzowane ulega karbonatyzacji

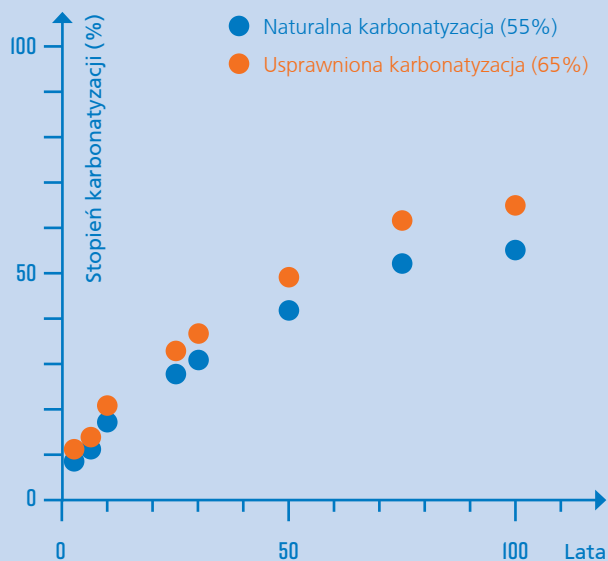
w wyniku reakcji z atmosferycznym CO<sub>2</sub>, tworząc węglan wapnia (CaCO<sub>3</sub>). Z przeglądu literatury wynika, że stopień naturalnej karbonatyzacji wynosi 55%.

### Okres karbonatyzacji

Sięga ona 50 mm i po 91 dniach na tej głębokości wapno jest w pełni skarbonatyzowane. Zatem stała karbonatyzacji, która służy do pomiaru postępu głębokości karbonatyzacji w czasie, jest równa 5,24 mm/√dzień, tzn. jest równa stosunkowi 50 mm do pierwiastka kwadratowego z 91 dni. Stopień naturalnej karbonatyzacji w czasie w przypadku betonu konopnego wyraża się równaniem:

$$[CR = NCR \cdot K \cdot \sqrt{t} / \text{głębokość}]$$

- **CR** = stopień karbonatyzacji (%).
- **NCR** = stopień naturalnej karbonatyzacji (55%).
- **t** = czas w dniach.
- **K** = stała karbonatyzacji równa 5,24 mm/√dzień.
- **głębokość** = grubość warstwy, która ulega karbonatyzacji po 100 latach (1001 mm).



### Beton konopny

Oceniana literatura: 15

Publikacje zawierające istotne i wiarygodne informacje oraz dane: 9



#### STOPIEŃ NATURALNEJ KARBONATYZACJI KARBONATYZACJA NATYCHMIASTOWA

Na stopień karbonatyzacji wpływa:

- Niska rozpuszczalność węglanu wapnia i wodorotlenku magnezu.
- Dodanie koagulantów i flokulantów w celu przyspieszenia procesu.
- Dodanie obojętnych drobnych cząstek, takich jak piasek lub uprzednio wytrącony  $\text{CaCO}_3$ , które działają jako centra nukleacji, zwiększając szybkość reakcji.

#### Zastosowanie wapna w uzdatnianiu wody pitnej

Wapno ma wiele zastosowań w procesach uzdatniania wody pitnej, np. służy do zmiękczenia, regulacji pH, neutralizacji kwasów, usuwania metali, regulacji zasadowości oraz usuwania fluorków, fosforanów, siarczanów i azotu. Jednym z głównych zastosowań jest zmiękczenie wody polegające

na zmniejszeniu twardości wody surowej (tj. ilości zawartości wodorowęglanów wapnia i magnezu), zmniejszenie zasadowości i usunięcie krzemionki, aby uniknąć niepożądanych efektów osadzania się kamienia.

### Karbonatyzacja

Twarda woda jest zmiękczana przez zastosowanie wapna hydratyzowanego ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), które wytrąca rozpuszczone związki wapnia i magnezu w postaci nierozpuszczalnego węgla wapnia i wodorotlenku magnezu. Po sedymentacji lub osadzeniu te nierozpuszczalne związki

są usuwane metodą filtracji. Wapno stosowane do zmiękczenia wody jest uważane za całkowicie skarbonatyzowane, ponieważ  $\text{CaO}$  i  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  nie występują w otrzymanym produkcie ubocznym, zawierającym wapń w postaci węgla wapnia ( $\text{CaCO}_3$ ).

### Okres karbonatyzacji

Stopień naturalnej karbonatyzacji w czasie w przypadku uzdatniania wody pitnej nie był dotychczas dogłębnie analizowany, opisywany w literaturze. Przepuszczalnie jest on natychmiastowy,

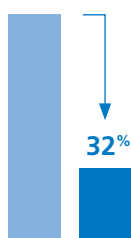
co oznacza, że 100% emisji procesowej jest pochłaniane w fazie wykorzystania wapna, jeżeli jest ono przeznaczone do uzdatniania wody pitnej.

### Woda pitna

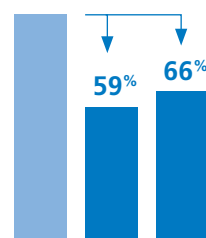
Oceniana literatura: 14

Publikacje zawierające istotne i wiarygodne informacje oraz dane: 2

# OCZYSZCZANIE GAZÓW SPALINOWYCH



**STOPIEŃ NATURALNEJ KARBONATYZACJI**  
KARBONATYZACJA NATYCHMIASTOWA



**STOPIEŃ USPRAWNIONEJ KARBONATYZACJI**  
KARBONATYZACJA NATYCHMIASTOWA

Na stopień karbonatyzacji wpływa:

- Charakterystyka gazów spalinowych (skład, temperatura itp.).
- Tworzenie się zewnętrznej warstwy związków wapnia, charakteryzującej się niską porowatością, która hamuje dyfuzję CO<sub>2</sub>.
- Proces oczyszczania gazów spalinowych ma wpływ na stopień karbonatyzacji: nieoptymalny projekt może prowadzić do wyższej specyficznej dawki koniecznej do usuwania kwasów (wyższy współczynnik stechiometryczny), co zwiększa potencjalną reakcję z CO<sub>2</sub> z gazów spalinowych, a tym samym naturalną karbonatyzację.

Na stopień karbonatyzacji wpływa:

- Temperatura:
  - 20-30 °C w przypadku karbonatyzacji wodnej,
  - powyżej 350 °C w przypadku karbonatyzacji gazowo-stałej.
- Stosunek cieczy do ciała stałego w przypadku wodnej karbonatyzacji zasadowej:
  - optymalny dla karbonatyzacji stosunek cieczy do ciała stałego wynosi 0,2-0,3.
- Obecność SO<sub>2</sub>:
  - SO<sub>2</sub> zatyka pory w pozostałości z oczyszczania gazów spalinowych i zmniejsza karbonatyzację.



### Stosowanie wapna do oczyszczania gazów spalinowych

Wapno stosowane jest do usuwania kwaśnych składników gazowych (HCl, SO<sub>x</sub>, HF) zawartych w spalinach pochodzących z instalacji spalania: elektrowni wykorzystujących paliwa kopalne, spalania biomasy oraz spalarni odpadów. Proces oczyszczania gazów spalinowych może być półsuchy lub suchy, w zależności od postaci zastosowanego wapna.

W procesach półmokrych/mokrych wapno dostarczane jest w postaci roztworu wodnego lub zawiesiny, tj. jako mleko wapienne

lub zawiesina wapienna (Ca(OH)<sub>2</sub>). Podczas reakcji z gazami spalinowymi w procesach mokrych powstaje zawiesina wymagająca dalszego przetwarzania. Natomiast w procesach półmokrych woda odparowuje, a produkty reakcji są suche. W procesach półsuchych/suchych wapno hydratyzowane (Ca(OH)<sub>2</sub>) w proszku jest dostarczane bezpośrednio jako sorbent. W obu procesach produkty reakcji są oddzielane w konwencjonalnym urządzeniu odpylającym (zwykle przy wykorzystaniu filtrów workowych).

### Karbonatyzacja

Podczas oczyszczania gazów spalinowych wapno reaguje z HCl, HF i SO<sub>x</sub>, ale także z CO<sub>2</sub>, tworząc węgiel wapnia.

Ze względu na krótki czas kontaktu pomiędzy sorbentem w postaci wapna a zanieczyszczonym gazem, zazwyczaj będący rzędu kilku sekund, oraz ograniczenia kinetyczne reakcji chemicznych, wapno jest dostarczane w nadmiarze w stosunku do przewidywanych ilości kwaśnych gazów, zazwyczaj w stosunku stechiometrycznym 1,3 do 2,5. W rezultacie, stałe pozostałości powstałe w procesie, określane jako pozostałości z oczyszczania gazów

spalinowych, zawierają pewne ilości wolnego wapna, które może ulegać karbonatyzacji.

Usprawniona karbonatyzacja pozostałości z oczyszczania gazów spalinowych została w dużej mierze zaproponowana jako technologia mająca na celu poprawę ich stabilności chemicznej i zdolności do wymywania przed ich ostatecznym usunięciem lub recyklingiem. Ponadto usprawniona karbonatyzacja pozostałości z oczyszczania gazów spalinowych pozwala na kontekstową sekwestrację CO<sub>2</sub> bezpośrednio w miejscu emisji CO<sub>2</sub>, w którym te pozostałości są generowane.

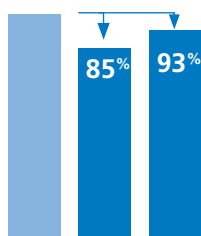
### Oczyszczanie gazów spalinowych

Oceniana literatura: 39

Publikacje zawierające istotne i wiarygodne informacje oraz dane: 23



# PRODUKCJA PAPIERNICZA



STOPIEŃ NATURALNEJ KARBONATYZACJI  
KARBONATYZACJA NATYCHMIASTOWA



STOPIEŃ USPRAWNIONEJ KARBONATYZACJI  
KARBONATYZACJA NATYCHMIASTOWA

Na stopień karbonatyzacji wpływa:

- Szybkość rozpuszczania się wodorotlenku wapnia w zawieszynie.
- Ciśnienie reakcji karbonatyzacji.
- Stosowanie szczególnych dodatków.

### Stosowanie wapna w produkcji papierniczej

Strącony węglan wapnia (PCC) jest powszechnie stosowany jako pigment do powlekania lub wypełniacz w przemyśle celulozowo-papierniczym, ale także w innych zastosowaniach przemysłowych. PCC jest produkowany metodami chemicznymi poprzez połączenie kontrolowanymi metodami dwutlenku węgla ( $\text{CO}_2$ ) z wapnem ( $\text{CaO}$ ). Zawiesina wapna hydratyzowanego jest poddawana działaniu gazów spalinowych zawierających  $\text{CO}_2$ , co prowadzi do ponownej karbonatyzacji wapna. W ten sposób dochodzi do powstawania węglanu, a ponieważ jest on nierozpuszczalny w wodzie,

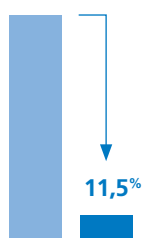
wytrąca się. W celu zapewnienia wysokiej czystości PCC stosuje się separację zanieczyszczeń z zawiesiny wapiennej.

W wyniku wytrącania, w zależności od warunków przeprowadzania reakcji, może powstać każda z trzech form krystalicznych (kalcyt, aragonit i wateryt). Charakterystykę PCC można odpowiednio dostosować, zmieniając: temperaturę, stężenie i przepływ  $\text{CO}_2$ , szybkość mieszania, wielkość cząstek, stężenia zawiesiny wapna hydratyzowanego oraz zastosowanie dodatków.

### Produkcja papiernicza

Oceniana literatura: 52

Publikacje zawierające istotne i wiarygodne informacje oraz dane: 13



**STOPIEŃ NATURALNEJ KARBONATYZACJI**  
W OCENIANEJ LITERATURZE CZAS NIE ZOSTAŁ PODANY

Na stopień karbonatyzacji wpływa:

- Skład czerwonego szlamu.
- Czas ekspozycji od rozpuszczenia minerałów zawierających Ca zwykle obecnych w czerwonym szlamie.
- Intensywność mieszania podczas składowania czerwonego szlamu, a co za tym idzie powierzchnia mająca kontakt z atmosferycznym CO<sub>2</sub>.

### Stosowanie wapna w produkcji aluminium

Wapno jest stosowane w procesie Bayera, który jest głównym sposobem rafinacji rudy boksytu w celu uzyskania tlenku glinu. W procesie Bayera boksyt jest trawiony w ługu żrącym zawierającym wapno. Powstają w nim dwa strumienie wyjściowe: ług bogaty w tlenek glinu, który jest następnie wykorzystywany do produkcji aluminium, oraz stała pozostałość zwana czerwonym szlamem, przeznaczona do usunięcia.

Ta pozostałość jest alkaliczną zawiesiną o zawartości wody około 50-70% i pH zazwyczaj powyżej 13. Obecnie utylizacja czerwonego szlamu polega na układaniu go w stosy na sucho w celu zagęszczenia, aż do osiągnięcia zawartości suchej masy wynoszącej co najmniej 48-55%. Zagęszczony czerwony szlam jest następnie składowany w sposób umożliwiający jego konsolidację i wyschnięcie.

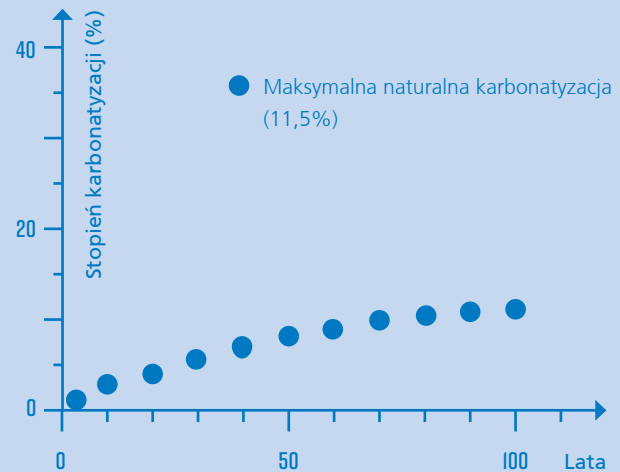
### Karbonatyzacja

Naturalna karbonatyzacja czerwonego szlamu obejmuje zarówno karbonatyzację wody porowej, jak i reakcje w fazie stałej polegające na rozpuszczaniu glinianu trójwapniowego (TCA) i wytrącaniu kalcytu.

W celu neutralizacji szlamu i obniżenia jego pH, proponowane są różne metody neutralizacji za pomocą wody morskiej lub technologii wykorzystujących sztuczne solanki bogate w Ca i Mg. Inna metoda neutralizacji jest oparta na CO<sub>2</sub>, czyli jest to karbonatyzacja we wzmocnionych warunkach.

### Karbonatyzacja

Okres trwania naturalnej karbonatyzacji nie jest podawany w ocenianej literaturze. Za najgorszy scenariusz uważa się karbonatyzację w okresie 100 lat. Na tym wykresie przedstawiono szacunkowy przebieg tego scenariusza.



### Produkcja aluminium

Oceniana literatura: 41

Publikacje zawierające istotne i wiarygodne informacje oraz dane: 26

# DEFINICJE

## TRADYCYJNE ZAPRAWY WAPIENNE

W większości zastosowań w materiałach budowlanych, w tym w zaprawach i tynkach, stosuje się wodorotlenek wapnia zwany również wapnem hydratyzowanym lub wapnem gaszonym. Takie wapno twardnieje powoli, reagując z dwutlenkiem węgla z atmosfery, tworząc węglan wapnia, reakcja taka nazywa się karbonatyzacją. Wapno uczestniczące w tym procesie nazywa się „wapnem powietrznym”, ponieważ reaguje tylko z powietrzem.

## KALCYNOWANIE

Oznacza ogrzewanie wapienia lub innych skał składających się głównie z węglanu wapnia ( $\text{CaCO}_3$ ) w celu wytworzenia wapna palonego, wapna niegaszonego, tj. tlenku wapnia ( $\text{CaO}$ ). Podczas rozkładu termicznego (kalcynacji)  $\text{CaCO}_3$  powstają dwa produkty:  $\text{CaO}$  i  $\text{CO}_2$ .

## POCHŁANIACZ WĘGLA

Oznacza naturalne systemy, które pochłaniają i magazynują dwutlenek węgla z atmosfery.

## WAPNO SKARBONATYZOWANE

Część wapna, która w wyniku reakcji z dwutlenkiem węgla ( $\text{CO}_2$ ) przekształciła się w  $\text{CaCO}_3$  (węglany).

## STAŁA KARBONATYZACJI (K)

Parametr równania wyrażający postęp karbonatyzacji poprzez jej głębokość odniesioną do czasu (t) dla materiałów budowlanych: głębokość karbonatyzacji =  $K\sqrt{t}$ .

## GŁĘBOKOŚĆ KARBONATYZACJI

Odległość od powierzchni do miejsca, w którym wapno uległo słabej karbonatyzacji lub nie uległo jej wcale. Mierzy się ją za pomocą testu z wykorzystaniem roztworu fenoloftaleiny i wyraża w milimetrach.

## STOPIEŃ KARBONATYZACJI

Procentowy stosunek ilości  $\text{CO}_2$  pochłoniętego podczas karbonatyzacji do ilości procesowego  $\text{CO}_2$  wyemitowanego podczas kalcynowania.

## USPRAWNIONA KARBONATYZACJA

Proces, w którym dochodzi do wspomaganie karbonatyzacji przez zwiększone stężenie dwutlenku węgla i/lub przez zoptymalizowane parametry procesu, takie jak temperatura, wilgotność względna, powierzchnia reaktywna, pH i inne w zależności od matrycy reakcyjnej w fazie stałej, wodnej lub gazowej. W ten sposób skraca się czas karbonatyzacji.

## OCZYSZCZANIE GAZÓW SPALINOWYCH

Gazy spalinowe powstające w obiektach wykorzystujących procesy spalania, w szczególności w elektrowniach węglowych i spalarniach odpadów, zawierają znaczne ilości kwaśnych gazów ( $\text{HCl}$ ,  $\text{SO}_x$ ,  $\text{HF}$ ). Usuwanie kwaśnych gazów może odbywać się przy zastosowaniu różnych środków alkalicznych takich jak wapno, wapień itp. To zastosowanie jest również znane jako odsiarczanie gazów spalinowych (FGD) czy oczyszczanie gazów spalinowych (FGC).

### BETON KONOPNY

Jest to materiał budowlany, który został pierwotnie opracowany w celu zastąpienia konieczności wypełniania drewna w budynkach szkieletowych wikliną i gliną. Składnikami betonu konopnego są wióry konopne, czyli rozdrobniony zdrewniały rdzeń łodyg konopi (*Cannabis sativa*), spoiwo na bazie wapna powietrznego z dodatkiem cementu pucolanowego lub wapna hydraulicznego oraz w niektórych przypadkach środki powierzchniowo czynne.

### HYDRATAcja

Oznacza proces dodawania wody do wapna palonego w celu wytworzenia wodorotlenku wapnia ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) będącego produktem reakcji pomiędzy wapnem palonym a wodą.

### WAPNO

Jest to szeroko stosowany termin, który oznacza zarówno wapno palone, jak i gaszone.

### ZAPRAWY WAPIENNE Z DODATKOWYM SKŁADNIKIEM WIAŻĄCYM

Obecnie powszechne jest dodawanie do mieszanek zaprawowych spoiwa, takiego jak cement portlandzki. Zapewnia to szybki przyrost wytrzymałości początkowej, umożliwiając szybki postęp prowadzenia prac budowlanych. Wapno (zwykle wapno hydratyzowane) jest dodawane do tych mieszanek, aby zapewnić lepszą trwałość i ogólną wytrzymałość konstrukcji, a zaprawy takie funkcjonują pod nazwą mieszanych wapiennych zapraw powietrznych.

### NATURALNA KARBONATYZACJA

Proces polegający na samoistnym reagowaniu wapna z dwutlenkiem węgla, w wyniku którego powstaje węglan wapnia ( $\text{CaCO}_3$ ), który trwale magazynuje dwutlenek węgla. Reakcja ma przebieg egzotermiczny, a zatem jest korzystna pod względem termodynamicznym. W zależności od stałego, wodnego lub gazowego środowiska reakcji  $\text{CO}_2$  może pochodzić z atmosfery, z wody lub z innego źródła.

### PROCESOWY $\text{CO}_2$

Jest to  $\text{CO}_2$  uwolniony w wyniku rozkładu  $\text{CaCO}_3$  na  $\text{CaO}$  i  $\text{CO}_2$ . Odnosząc się do emisji procesowych  $\text{CO}_2$  nie uwzględnia się uwalniania  $\text{CO}_2$  ze spalania paliw, ponieważ jest ono silnie uzależnione od rodzaju wykorzystywanej energii.

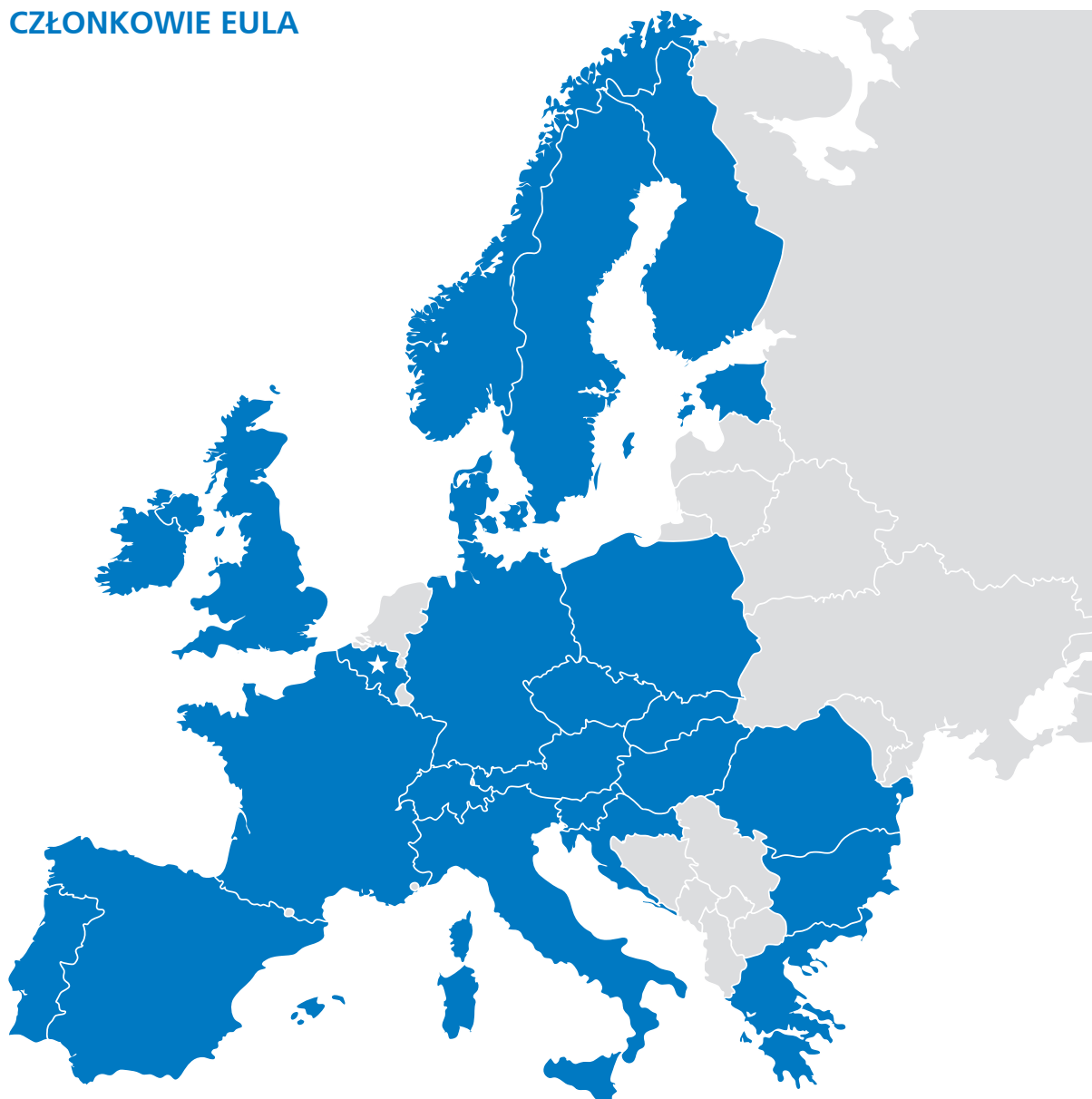
### WAPNO PALONE LUB WAPNO NIEGASZONE

Tlenek wapnia ( $\text{CaO}$ ) będący produktem kalcynacji.

### WAPNO GASZONE LUB WAPNO HYDRATYZOWANE

Wodorotlenek wapnia ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) jest produktem reakcji pomiędzy wapnem palonym a wodą.

## CZŁONKOWIE EULA



Europejskie Stowarzyszenie Wapna wspiera realizację wizji branży wapienniczej. Celem organizacji jest obrona interesów europejskich producentów wapna na poziomie europejskim oraz wspieranie członków w realizacji krajowych celów, poprzez wyrażanie ich głosu. EuLA jest członkiem IMA-Europe (Industrial Minerals Association Europe) – stowarzyszenia reprezentującego minerały przemysłowe.



European Lime Association  
c/o IMA-Europe  
Rue des Deux Eglises, 26  
1000 Brussels, Belgium  
info@eula.eu | [www.eula.eu](http://www.eula.eu)