

Cementy naturalne – historia i nowe możliwości

Streszczenie

Cementy naturalne są obecnie stosowane niemal wyłącznie w pracach renowacyjnych budowli powstałych w XIX i na początku XX wieku. W artykule przedstawiono historię rozwoju ich produkcji oraz wskazano spektakularne przykłady dzieł budowlanych, w tworzeniu których były wykorzystane. Podano składy chemiczne surowców używanych do wytwarzania tych cementów oraz składy chemiczne i fazowe cementów naturalnych, a także produktów ich hydratacji. Opisano mechanizmy wiązania i twardnienia spoiw, sugerując możliwości ich wykorzystania we współczesnym budownictwie.

Słowa kluczowe:

historia spoiw hydraulicznych, cement naturalny, cement romański, cement Parkera, surowce, hydratacja, zastosowanie cementu naturalnego

Abstract

Natural cements are currently used almost exclusively in the renovation works of buildings built in the 19th century and early 20th century. The article presents the history of the development of their production and indicates spectacular examples of construction works in which they were used. The chemical compositions of raw materials used for the production of these cements as well as the chemical and phase compositions of natural cements and their hydration products are given. The mechanisms of binding and hardening of binders have been described, suggesting the possibilities of their use in modern construction.

Keywords:

history of hydraulic binders, natural cement, Roman cement, Parker cement, raw materials, hydration, natural cement use

Cementy naturalne są hydraulicznymi materiałami wiążącymi, wytwarzanymi z surowców marglistych o module hydraulicznym $MH = 1,3 \div 1,7$ – stanowiących naturalne mieszaniny wapieni lub wapieni i dolomitów z minerałami ilastymi, a niekiedy również z gipsem. Są uznawane dość powszechnie za spoiwa, których podstawowym i niemal jedynym przeznaczeniem są prace renowacyjne budowli powstałych w XIX i na początku XX wieku. Okazuje się, że mogą być także wartościowym składnikiem cementów murarskich i mieć zastosowanie tam, gdzie o przydatności spoiwa decyduje nie tyle szybki przyrost wytrzymałości, ale krótki czas wiązania i twardnienia oraz trwałość wyrobu.

Rozwój produkcji atrakcyjnych użytkowo i ekologicznie akceptowalnych spoiw hydraulicznych, innych niż cementy portlandzkie, stanowi jedno z wyzwań dla przemysłu mineralnych materiałów wiążących. Działania są inspirowane w dużej mierze dążeniami do spełnienia wymagań gospodarki o obiegu zamkniętym. Istotną rolę odgrywa presja wynikająca ze zobowiązań większości państw do ograniczenia emisji dwutlenku węgla do atmosfery. Badania i prace wdrożeniowe są prowadzone w dwóch podstawowych kierunkach:

- rozwoju produkcji cementów wieloskładnikowych zawierających obok klinkieru portlandzkiego duże ilości innych materiałów aktywnych w układach cement – woda;
- opracowania metod wytwarzania hydraulicznych materiałów wiążących bez udziału klinkieru portlandzkiego.

Rezultatem pierwszego rodzaju prac jest rozwój technologii cementów powszechnego użytku CEM II – CEM V (PN-EN 197-1:2012), a także umożliwienie produkcji cementów CEM II/C-M

i CEM VI (PN-EN 197-5:2021-07 – Część 5). Efektem realizacji drugiego kierunku działań są cementy wapniowo-siarczanowo-glinianowe CSA (*Calcium Sulfo-Aluminate Cements*) wytwarzane z klinkierów składających się głównie z siarczanoglinianu wapnia (kompleksu Kleina) $C_4A_3\bar{S}$, krzemianu dwuwapniowego (belitu) C_2S i glinożelazianu czterowapniowego (brownmillerytu) C_4AF , zmieszanych wspólnie z gipsem lub anhydrytem. Kolejnym przykładem są spoiwa AAB (*Alkali Activated Binders*) – liczna grupa hydraulicznych materiałów wiążących określanych często jako geopolimery, a także jako spoiwa żużlowo- lub popiołowowalkaliczne. Spoiwa AAB wiążą i twardnieją w wyniku aktywacji alkaliami (szkło wodne, NaOH, soda) zeszlonych żużli hutniczych i popiołów lotnych lub naturalnych surowców ilastych i produktów ich dehydroksylacji.

W literaturze przedmiotu poza informacjami o spoiwach CSA i AAB można znaleźć również opisy innych materiałów wiążących wytwarzanych bez udziału klinkieru portlandzkiego. Publikacje zawierają jednak często nadmiernie optymistyczne deklaracje o doskonałości prezentowanych pomysłów i możliwościach ich realizacji. Z pewnym rozczarowaniem należy jednak skonstatować, iż pomimo wielu wysiłków, cel prac poświęconych technologiiom nowych spoiw nadal pozostaje tyleż ambitny, co trudny do osiągnięcia.

Wartościowym uzupełnieniem podejmowanych prac może być nawiązanie do znanych technologii i wznowienie w zmodyfikowanej formie produkcji określonych, „historycznych” materiałów wiążących, które mogłyby być wykorzystane bądź jako pełnowartościowe spoiwa, bądź jako składniki mieszanin spoiwowych. Jedną z zalet takiego rozwiązania jest to, iż spoiwa te są produktami o właściwościach znanych i sprawdzonych w wyniku długotrwałego ich użytkowania, a tym samym będą łatwe do akceptowania przez potencjalnych nabywców i użytkowników. Najbardziej obiecujące w tej grupie spoiw są cementy naturalne. Cementy te są hydraulicznymi materiałami wiążącymi, wytwarzanymi z surowców marglistych o module hydraulicznym $MH = 1,3 \div 1,7$ – stanowiących naturalne mieszaniny wapieni lub wapieni i dolomitów z minerałami ilastymi, a niekiedy również z gipsem. Prowadzony w temperaturze 850°C – 1200°C proces wypalania przebiega bez udziału fazy ciekłej, a uzyskany materiał jest mielony bez dodatku gipsu. Podstawowymi składnikami cementów naturalnych są: krzemian dwuwapniowy, aktywna pucolanowo semiamorficzna faza glino-krzemianowa oraz gliniany wapnia, a w przypadku użycia margli dolomitycznych także tlenek magnezu. Nie występują w nich, lub obecne są w niewielkich ilościach, alit i niezwiązany tlenek wapnia (wolne wapno). Często identyfikowane są również kwarc, gehlenit C_2AS i kompleks Kleina $C_4A_3\bar{S}$.

Hydratacja cementów naturalnych przebiega w dwóch fazach, którym odpowiadają kolejno: szybkie, trwające zazwyczaj kilka minut wiązanie i twardnienie zaczynu cementowego (faza I), relatywnie powolne, ale długotrwałe narastanie wytrzymałości zaczynu (faza II).

W pierwszej fazie reakcji cementu z wodą następuje bardzo szybka hydratacja glinianów wapnia. Szybko reagują z wodą również tlenek wapnia, alit i kompleks Kleina. Nieco wolniej przebiega reakcja MgO z wodą. W drugiej fazie procesu dominuje hydratacja krzemianu dwuwapniowego. Powstają uwodnione krzemiany wapnia C-S-H i wodorotlenek wapnia, który reagując z obecną w spoiwie semiamorficzną fazą glinokrzemianową tworzy dodatkowe ilości C-S-H i C-S-A-H, zwiększając tym samym wytrzymałość stwardniałego zaczynu cementowego. Zaprawy z udziałem cementów naturalnych charakteryzują się dużą trwałością i po odpowiednio długim czasie osiągają wytrzymałość na ściskanie wynoszącą około 40 MPa.

Cementy naturalne są obecnie wykorzystane głównie w pracach renowacyjnych różnego rodzaju obiektów architektonicznych.

Cementy naturalne w XIX i XX wieku

Historia cementów naturalnych sięga końca XVIII wieku. Zapoczątkowuje ją brytyjski patent Jamesa Parkera nr 2120 „*A certain Cement or Terras to be used in Aquatic and other Buildings and Stucco Work*” zgłoszony 28 czerwca 1796 roku. Jako surowiec autor wskazał kongrecje margliste – septarie z wyspy Sheppey w południowo-wschodniej Anglii. Spoiwo wytwarzane według wspomnianego patentu, nazywane często cementem Parkera, było produkowane w Northfleet, w hrabstwie Kent, od 1797 roku. Chcąc podkreślić walory spoiwa, określano je mianem „cement rzymski” (ang. *Roman cement*), wskazując na podobieństwo jego cech użytkowych do właściwości materiałów wiążących stosowanych w starożytnym Rzymie. Nazwa spoiwa – *Roman cement* w sposób trwały przyjęła się w Wielkiej Brytanii i wielu innych krajach, obejmując nie tylko cement Parkera, ale również inne spoiwa wytwarzane w podobny sposób, np. *Francis & White's Roman cement*. W Polsce utrwaliła się i jest powszechnie używana niezręczna „pochodna” nazwy angielskiej – *cement romański*. Obydwie nazwy nie znajdują uzasadnienia w historii. Ani w starożytności, ani w średniowieczu nie produkowano tego rodzaju materiałów wiążących. Spoiwom wytwarzanym w starożytnym Rzymie nadawano cechy materiałów hydraulicznych poprzez wprowadzenie do wapna hydratyzowanego popiołów wulkanicznych.

Produkcja *Roman cementu* rozwijała się początkowo na Wyspach Brytyjskich. W latach trzydziestych XIX wieku produkowany był już w wielu krajach. Spektakularnymi przykładami jego zastosowania w Wielkiej Brytanii są między innymi latarnia morska na Bell Rock u wschodnich wybrzeży środkowej Szkocji (1807-1810) oraz zrealizowana w Londynie w latach 1825-1843 pełna dramatycznych epizodów budowa tunelu pod Tamizą.

W kontynentalnej Europie *Roman cement* natrafił na silną konkurencję sztucznego wapna hydraulicznego opracowanego przez Louisa J. Vicata. Próby

wytwarzania cementu naturalnego we Francji miały jednak miejsce już w 1802 roku. Surowiec stanowiły kongrecje margliste z okolic Boulogne-sur-Mer w departamencie Pas de Calais. Spoiwo określano jako *plâtre ciment*. Niewielkie zasoby surowcowe nie pozwoliły na rozwinięcie produkcji cementu naturalnego w tym rejonie. Udane inwestycje zrealizowano w Pouilly-en-Auxois (1827) i Vassy-les-Avalon (1835). Produkty nosiły odpowiednio nazwy – *Ciment de Pouilly* i *Ciment de Vassy*.

W Niemczech zainteresowanie *Romanementem* było na tyle duże, iż stał się on w latach dwudziestych XIX wieku przedmiotem działań agenturalnych prowadzonych na terenie Wielkiej Brytanii. W Prusach był stosowany głównie w budownictwie obiektów militarnych. W Królestwie Wirtembergii został wykorzystany między innymi do budowy tunelu Rosenstein w Stuttgarcie (1844-1846) oraz fortyfikacji twierdzy Ulm (1842-1859).

Na ziemiach polskich, zwłaszcza w Małopolsce, *cement romański* był używany w drugiej połowie XIX wieku i na początku XX stulecia głównie do wykonywania tynków zewnętrznych oraz sztukaterii. Liczne przykłady jego zastosowania można znaleźć w Krakowie. Wykorzystany został również w latach trzydziestych XIX wieku do budowy pruskich twierdz w Tarnowskich Górach i Nysie, a także do budowy fortyfikacji Poznania. W Królestwie Polskim był produkowany w latach 1853-1867 w miejscowości Koziół (obecnie część Sławkowa). Użyto go między innymi do budowy gmachu Towarzystwa Kredytowego Ziemskiego w Warszawie (1853-1858).

Narastająca od połowy XIX wieku podaż cementu portlandzkiego coraz bardziej ograniczała produkcję cementów naturalnych w Europie. Najwcześniejszej zmiany zaznaczyły się w Wielkiej Brytanii, a swoistym symbolem ich początku była likwidacja pierwszej brytyjskiej fabryki *Roman cementu* w Northfleet w 1846 roku i uruchomienie na jej terenie produkcji „prawdziwego” (zawierającego alit) cementu portlandzkiego przez Williama Aspdina. Jednak w niektórych państwach (Austro-Węgry) jeszcze pod koniec lat osiemdziesiątych XIX wieku masa wytwarzanego cementu naturalnego była znacząco większa niż podaż cementu portlandzkiego. Stopniowo jednak malała i niemal zaniknęła w Europie po I wojnie światowej.

W największej skali produkcja cementów naturalnych rozwinęła się w USA. Jej początek wiąże się z powstaniem kanału Erie (1817-1835) łączącego Wielkie Jeziora z Nowym Jorkiem, a zwłaszcza z osobą zatrudnionego przy jego budowie Canvas-



Tabela 1. Wyniki analiz chemicznych surowców użytych w początkowej fazie rozwoju produkcji cementów naturalnych

Rodzaj spoiwa	Zawartość, % m/m							
	CaCO ₃	MgCO ₃	FeCO ₃	MnCO ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	H ₂ O
Cement Parkera*	65,7	..0,5	6,0	1,9	18,0	6,6	b.o.	1,5
Plâtre ciment *	61,6	b.o.	6,0	b.o.	15,0	4,8	3,0	6,6
Cement White'a**	44,0	38,4	b.o.	b.o.	11,8	2,7	1,5	1,5

*/ na podstawie „Mortars and Cements” – reprint tłumaczenia na j. angielski prac L.J. Vicata dokonanego przez J.T. Smith'a. Wyd. Donhead Publishig Ltd, 2003

**/ na podstawie H.J. McKee – „Canvass White and Natural Cement, 1818–1834”. Concrete International, 1(6), 39-44, 1979

sa White'a. Jesienią 1817 roku White został odelegowany do Wielkiej Brytanii w celu pozyskania odpowiednich know how dotyczących technik budowy kanałów oraz technologii używanych materiałów budowlanych. Doskonale wywiązał się z powierzonych zadań, a jednym z rezultatów jego wyjazdu było uruchomienie w USA produkcji cementu naturalnego. Cement według patentu White'a (1820) był wytwarzany ze zdomolizowanych margli zalegających w Chittenango w hrabstwie Madison w stanie Nowy Jork. Sprzedawano go pod nazwą *White's Water-Proof Cement*. Był spoiwem o dobrej jakości, tańszym niż *Roman cement* importowany w owym czasie z Wielkiej Brytanii. Canvass White dość szybko przekazał kierownictwo firmy swemu bratu Hugh, który znacznie ją powiększył, budując cementownie w Rosendale w stanie Nowy Jork, Louisville w Kentucky i Cumberland w stanie Maryland.

Szczególną rolę w rozwoju produkcji cementu naturalnego w USA odegrały złoża margli zalegające w dolinie rzeki Hudson w hrabstwie Ulster, w stanie Nowy Jork. Produkcja cementu w zakładach w pobliżu Rosendale rozpoczęła się w 1825 roku i była kontynuowana przez ponad 150 lat. Na początku lat czterdziestych XIX wieku w 13 zakładach wytwarzano łącznie około 600 000 beczek cementu naturalnego rocznie (1 beczka cementu = 376 lbs = 170,6 kg). W 1896 roku w 17 stanach USA działało 71 zakładów produkujących cement naturalny. W ostatnim roku XIX wieku przemysł ten osiągnął szczyt swoich możliwości, wytwarzając około 10 milionów beczek cementu, głównie w rejonie Rosendale. Dobra jakość *Rosendale hydraulic cement* umożliwiała jego długotrwałą konkurencję z cementem portlandzkim, którego produkcję w USA rozpoczął David O. Saylor w 1875 roku. Konstrukcjami wzniesionymi w XIX wieku w USA z udziałem cementów naturalnych są między innymi: Most Brookliński i cokół Statuy Wolności w Nowym Yorku oraz Kapitol Stanów Zjednoczonych w Waszyngtonie.

Tabela 2. Zawartości podstawowych składników w 8 wybranych surowcach, z których na przełomie XIX i XX wieku wytwarzano w Europie kontynentalnej cementy naturalne*

Nośnik tlenu – składnik surowca	Zawartość, % m/m			
	MeCO ₃ /tlenek	średnia	min.	max.
kalcyt, dolomit	CaCO ₃	67,83	58,86	82,08
dolomit	MgCO ₃	3,66	0,00	12,11
syderyt	FeCO ₃	3,06	0,00	12,01
kwarc, minerały ilaste, skalenie	SiO ₂	16,97	11,57	21,24
minerały ilaste, skalenie	Al ₂ O ₃	4,63	0,82	6,01
limonit	Fe ₂ O ₃	3,23	0,00	8,47
skalenie	K ₂ O	0,35	0,00	1,02
skalenie	Na ₂ O	0,19	0,00	0,25

*/ na podstawie J. Weber, T. Köberle, F. Pintér, K. Stingl – „Romanzement”. Johannesberger Arbeitsblätter. Themengebiet 1.1, 1-16, 2018

W ciągu dekady 1900-1910 zmienił się radykalnie rynek materiałów wiążących w USA. Produkcja cementu naturalnego zmniejszyła się w tym okresie z około 10 milionów beczek rocznie do jednego miliona, natomiast masa wytwarzanego cementu portlandzkiego wzrosła z miliona beczek do ponad 12 milionów. W 1920 roku w rejonie Rosendale pracowała już tylko jedna cementownia wytwarzająca cement naturalny. Ożywienie produkcji nastąpiło pod koniec lat 30. XX wieku i wiązało się z udanymi eksperymentami tworzenia mieszanin cementu portlandzkiego z cementem naturalnym, umożliwiających uzyskanie betonów o bardzo dużej trwałości. Mieszanki takie wykorzystane zostały między innymi do budowy Rockefeller Center na Manhattanie w latach trzydziestych XX wieku, systemu autostrad – New York State Thruway w latach pięćdziesiątych i Drogi Wodnej Świętego Wawrzyńca na przełomie lat 50/60 ubiegłego wieku. Produkcji cementu naturalnego zaniechano w USA w 1976 roku. Wznowiono ją jednak na początku XXI wieku, powtórnie wprowadzając w 2006 roku normę ASTM C10 *Standard Specification for Natural Cement*. Cement naturalny wykorzystywany jest obecnie w Stanach Zjednoczonych w pracach renowacyjnych różnego rodzaju dzieł budowlanych pochodzących z XIX i początku XX wieku.

Cementy naturalne w XIX i XX wieku były wytwarzane z surowców o znacznie zróżnicowanym składzie. Przykłady składów chemicznych surowców oraz składów produkowanych z nich cementów w różnych okresach i w różnych krajach przedstawiono w tabelach 1, 2 i 3.

W USA częściej niż w Europie wykorzystywano do produkcji cementów naturalnych margle zdomolizowane, wyróżniając naturalne cementy wapienne o relatywnie małej zawartości MgO i naturalne cementy magnezjowe, w których zawartość MgO wynosiła zazwyczaj kilkanaście procent, a niekiedy nawet około 30%. Do pierwszej grupy należały cementy wytwarzane między innymi w dolinie Potomaku, do drugiej zaś cementy z rejonu Rosendale. Naturalne cementy magnezjowe nie wiązały tak szybko jak cementy wapienne. Wolniejszy był również przyrost ich wytrzymałości i mniejsze ciepło hydratacji. Ich wytrzymałości długoterminowe były jednak większe niż wytrzymałości cementów wapiennych. Brak uregulowań normowych w okresie pierwszych kilkadziesiąt lat produkcji cementów naturalnych i niemożność dokonania wiarygodnych ocen niepewności wyników badań nie pozwala na przeprowadzenie szczegółowych porównań właściwości omawianych cementów. Należy jednak zaznaczyć, że trwałość betonów z cementów naturalnych była często wyższa od trwałości betonów z cementów portlandzkich, a ich długoterminowe wytrzymałości na rozciąganie przewyższały wytrzymałości współczesnych im cementów portlandzkich.

Cementy naturalne wytwarzane współcześnie w Europie

Jedynym europejskim wytwórcą cementu naturalnego w skali przemysłowej pozostaje od wielu lat francuski koncern Vicat. Produkcja *Ciment Naturel Promt (CNP)* kontynuowana jest w rejonie Grenoble od 1842 roku. Cement wytwarzany jest z margli pozyskiwanych z charakteryzującego się dużą jednorodnością złoża o zawartości węglanów wapnia i magnezu wynoszącej łącznie około 72%. Proces wypalania prowadzony jest w piecach szybowych w temperaturze nieprzekraczającej 1200°C. Roczna produkcja CNP wynosi około 100 000 Mg. Cement jest przedmiotem francuskiej normy NF P15-314 – *Liants hydrauliques. Ciment promt naturel*. Spełnia wymagania stawiane spoiwom mineralnym wykorzystywanym w konstrukcjach poddanych działaniu wody morskiej (NF P15-317). Uzyskał również Europejską Aprobata Techniczną (ETA – 07/0019). Przykładowy skład tlenkowy CNP jest następujący: strata praż. – 9,28%, SiO₂ – 8,09%, Al₂O₃ – 7,24%, Fe₂O₃ – 3,20%, CaO – 53,07%, MgO – 3,84%, SO₃ – 3,24%, Na₂O – 0,28%, K₂O – 1,16%, zaś skład fazowy zawiera się w następujących granicach: C₃S – 5-15%, C₂S – 40-60%, C₃A – 6% ±2%, C₄AF – 9% ±2%, C₄A₃S̄ – 3% ±1% MgO – 4% ±1%, CaO_w – 2% ±2%, CaCO₃ – 10-12%, siarczany – 3% ±1%, fazy amorficzne – 10-15%. W XXI wieku zrealizowano dwa międzynarodowe projekty badawcze EU-FP5 ROCEM (2003-2006) i EU-FP57 ROCARE (2009-2012) poświęcone cementom naturalnym przeznaczonym do renowacji zabytków architektonicznych. Jednym z efektów tych prac były udane próby wytwarzania cementów naturalnych z surowców marglistych pochodzących z Austrii (A) i Polski (PL). W tabeli 4 przedstawiono składy tlenkowe surowców i uzyskanych z nich cementów.

Próby wytwarzania cementu naturalnego przeprowadzono w piecach obrotowych w Zakładzie Doświadczalnym ICiMB w Krakowie. Wypalano surowiec kawałkowy oraz granulaty, prowadząc proces w relatywnie niskiej temperaturze wynoszącej około 900°C. Otrzymane cementy zawierały większość faz wymienionych wyżej jako składniki CNP. Nie występował w nich jednak ani C₃S, ani C₄A₃S̄, stwierdzono natomiast obecność gehlenitu C₂AS i kwarcu. Struktury faz glinianowych i glikozelazianowych, a także krzemianu dwuwapniowego były bardzo silnie zdefektowane. W cementach dominowała faza semiamorficzna oraz C₂S. Wiązanie zaczynów przygotowanych z cementu naturalnego PL następowało bardzo szybko. Wprowadzenie do nich niewielkich domieszek kwasu cytrynowego lub cytrynianu potasu powodowało, iż początek wiązania zaznaczał się po około 8 min, zaś koniec po około 13 min. Znaczący wpływ na narastanie wytrzymałości zaczynów i zapraw miały warunki, w jakich prowadzono wypalanie materiału. W cytowanej powyżej publikacji Szeląga i współautorów podano następujące wartości wytrzymałości zapraw z cementów naturalnych na ściskanie: po 4 h – 1,5-3,5 MPa, 7 dni – 2,5-5 MPa, 28 dni – 5-19 MPa, 90 dni – 15-28 MPa, 180 dni – 25-35 MPa, 360 dni – 30-35 MPa. Otrzymane cementy wykorzystano między innymi do renowacji fasad

Tabela 3. Wyniki analiz chemicznych 22 wybranych cementów naturalnych wyprodukowanych w USA w XIX wieku*

Składnik	Zawartość, % m/m		
	mediana	min.	max.
Strata prażenia	6,78	3,57	26,17
Części nierozpuszczalne	9,61	3,24	18,96
SiO ₂	16,40	5,78	24,43
Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	9,18	4,92	17,50
CaO	37,91	29,38	49,80
MgO	14,55	2,86	29,73
SO ₃	1,39	0,69	2,59
Na ₂ O + K ₂ O	1,80	1,25	2,51

*/ na podstawie A.S. Rush, D.F. Laefer – „Physical and chemical properties of pre-regulated American cements”. Structural Analysis of Historical Constructions - Modena, Lourenço & Roca (eds). Taylor & Francis Group, London, 2005

Tabela 4. Skład chemiczny surowców i wytworzonych z nich cementów naturalnych*

Składnik	Zawartość, % m/m			
	Surowce		Cementy naturalne	
	A	PL	A	PL
Strata prażenia	29,85	29,97	4,10	11,0
SiO ₂	22,89	25,78	31,30	29,5
Al ₂ O ₃	6,90	5,34	9,44	6,87
Fe ₂ O ₃	2,83	1,68	3,86	2,33
CaO	33,07	34,62	45,20	46,0
MgO	2,15	1,18	2,92	1,72
SO ₃	0,06	0,12	0,09	0,60
Na ₂ O	0,45	0,11	0,61	0,25
K ₂ O	1,54	1,05	2,11	0,97

*/ na podstawie H. Szeląga, A. Garbaciak, P. Pichniarczyk, T. Baran – „Współczesny cement romański i jego właściwości” Budownictwo, 2-B/2009, 9(106), 337-345

szeregu budynków w Krakowie, pochodzących z przełomu XIX i XX stulecia.

Podsumowanie

Cementy naturalne są uznawane dość powszechnie za spoiwa, których podstawowym i niemal jedynym przeznaczeniem są prace renowacyjne budowli powstałych w XIX i na początku XX wieku. Na ten wartościowy materiał wiążący można spojrzeć jednak także inaczej, zwłaszcza w czasie szybko drożących paliw i restrykcyjnego ustawodawstwa obejmującego zagadnienia związane z ochroną środowiska naturalnego, a zwłaszcza z emisją CO₂. Cementy naturalne są wytwarzane z jednego, niewymagającego korekcji składu surowca. Wypalane są w formie kawałkowej w znacznie niższej temperaturze niż klinkier portlandzki i zawierają mniej węglanu wapnia. Produkt nie jest spieczony i łatwo się miele. Zaletami cementu naturalnego jest duża trwałość stwardniałych zapraw oraz niewielki skurcz. Czas wiązania cementów naturalnych jest bardzo krótki, ale można go wydłużyć poprzez odpowiednie domieszki. Ujemną cechą jest zbyt wolne narastanie wytrzymałości. Cementy naturalne nie mogą z oczywistych względów zastąpić cementów portlandzkich, ale mogą być użyte tam, gdzie o przydatności spoiwa decyduje nie tyle szybki przyrost wytrzymałości, ale krótki czas wiązania i twardnienia oraz trwałość wyrobu. Mogą być wartościowym składnikiem cementów murarskich. Można je bez ograniczeń mieszać z wapnem.

Marek Gawlicki
Cementownia WARTA SA