

Maria Wirska-Parachoniak

Z historii wiążących materiałów budowlanych

Ochrona Zabytków 21/4 (83), 17-23

1968

Artykuł został zdigitalizowany i opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej bazhum.muzhp.pl, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

Z HISTORII WIĄŻĄCYCH MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH

Od najdawniejszych czasów aż po dzień dzisiejszy tworzywa wiążące¹ służyły w architekturze do łączenia elementów budowlanych, izolacji, wypraw i wykładzin ściennych a w sztuki karterii do odlewów.

Pod względem zachowania się w środowisku wodnym, materiały wiążące podzielić można na dwie charakterystyczne grupy, a mianowicie wiążące powietrznie i hydraulicznie. Powietrzne materiały wiążące zarabia się wprawdzie wodą, ale swe dalsze zadanie spełniać mogą tylko w atmosferze powietrza. Przeniesione po wstępnym twardnieniu w środowisko wodne, tracą wytrzymałość i własności wiążące. Hydrauliczne materiały wiążące mogą wiązać i twardnieć tak na powietrzu jak i pod wodą, przy czym dla niektórych z nich, stworzenie atmosfery wilgoci w pierwszej fazie wiązania i twardnienia, jest nawet wskazane.

Z punktu widzenia jakości surowców wyjściowych, materiały wiążące dzielimy na: 1. wapniowe, czyli produkowane z surowców, których głównym składnikiem jest węglan wapnia (CaCO_3), 2. gipsowe, produkowane z surowców, których głównym składnikiem jest siarczan wapnia (CaSO_4 -anhydryt, lub $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ -gips), 3. magnezjowe, produkowane z surowców, których głównym składnikiem jest węglan magnezu (MgCO_3 -magnez, lub $\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$ -dolomit)². Materiały wiążące gipsowe i magnezjowe należą do powietrznych materiałów wiążących, do których zalicza się również wapno palone o wysokiej zawartości tlenu wapnia. Pozostałe materiały wiążące, produkowane z surowców wapniowych i ich pochod-

nych, należą do materiałów wiążących hydraulicznie.

Rodzaj materiału wiążącego, jaki z danego surowca wapniowego można wyprodukować, uzależniony jest od stosunku zawartego w nim węgla wapnia do naturalnych lub sztucznie dodawanych domieszek ilastych. Dla łatwiejszej klasyfikacji surowców wapniowych i produkowanych z nich materiałów wiążących, stworzono pojęcie modułu hydraulicznego, jako stosunku procentowej zawartości tlenu wapnia³ do sumy procentowej zawartości tlenków krzemu, glinu i żelaza. Przyjętą praktycznie granicą hydrauliczności materiału wiążącego jest wartość liczbowa modułu równa 9,0, co odpowiada zawartości ok. 94% CaCO_3 w surowcu. Materiały posiadające wartość modułu niższą od 9,0, należą do wiążących hydraulicznie, przy czym moduł wahający się w granicach 4,5—9,0 charakteryzuje materiał słabo hydrauliczny, natomiast w granicach 1,7—4,5 silnie hydrauliczny. Materiał wiążący wykazujący moduł hydrauliczny niższy od wartości 1,7, jest tzw. cementem romańskim. Wymienione materiały wiążące produkowane są przez wypalenie surowców w temperaturach nie dopuszczających do spiekania, czyli częściowego stopienia materiału.

Odrębne miejsce w grupie materiałów wiążących zajmują tzw. cementy portlandzkie⁴, wypalane z surowców o module hydraulicznym wahającym się w granicach 1,7—2,3, przy czym zasadnicza różnica leży w ich procesie technologicznym. Cementy portlandzkie wypala się bowiem w temperaturach znacznie wyższych,

¹ Tworzywem wiążącym określa się materiał z którego po zarobieniu wodą powstaje plastyczne ciasto dające się łatwo układać lub formować, a posiadające własności stopniowej utraty plastyczności aż do zupełnego skamienienia. Terminem tym określamy również pewne substancje termo- lub chemoutwardzalne jak np. kazeinę, żywice, bitumy, smoły i in., ale w budownictwie jedynie nieliczne z nich znajdują wąski zakres zastosowania.

² J. Grzymek, *Ogólne wiadomości o historii i rodzajach budowlanych materiałów wiążących*, „Cement, Wapno, Gips” Warszawa X—XIX (1954), nr 5, s. 90.

³ Przyjęcie do obliczenia tlenu zamiast węgla wapnia jest korzystniejsze ze względu na jednakową wartość liczbową modułu hydraulicznego dla danego surowca i wyprodukowanego zeń materiału wiążącego.

⁴ Istnieje szereg odmian cementu portlandzkiego, jak np. białe, szybkostrawne, bezskurczowe i inne.

umożliwiających częściowe stopienie materiału. Podstawę do produkcji hydraulicznych materiałów wiążących stanowi również klinkier portlandzki⁵, zmielony łącznie z hydraulicznymi dodatkami naturalnego pochodzenia. Spośród naturalnych dodatków hydraulicznych wykorzystywanych już w starożytności, wymienić można tufy wulkaniczne z wysp Morza Śródziemnego, znane pod nazwą pucolanów i santorino, oraz nadreńskie tufy wulkaniczne zwane trasem. Produkowane w niektórych krajach cementy hydrauliczne z ich dodatkiem, noszą nazwę cementów pucolanowych i znane są z dużej wytrzymałości.

Okresu wynalezienia wiążących materiałów budowlanych nie potrafimy dziś ściśle określić, przemysł ten sięga bowiem w swych początkach bardzo odległych czasów prehistorycznych. Już w okresie neolitu, surowa glina — ze względu na swą urabialność i niekonieczną obróbkę termiczną — znalazła zastosowanie w budowie prymitywnych jam mieszkalnych, a nieco później w Egipcie, jako pierwsze spoiwo łączące mniejsze elementy budowlane, jak suszone na słońcu cegły, czy ociosane gazy kamienne. Niekiedy schudzano też glinę przeznaczoną na zaprawę wiążącą, piaskiem, sierścią lub siewką słomy ryżowej. Odkrycie wiążących właściwości pewnych surowców mineralnych mogło mieć miejsce — jak można przypuszczać — już w czasach gdy człowiek nauczył się posługiwać ogniem. Wystarczyło bowiem rozniecić ognisko w jamie wydrążonej w skale gipsowej lub wapiennej, by ta pod wpływem żaru rozpadła się w proszek a następnie zroszona deszczem, związała ponownie w twardą masę. Celowe odtworzenie tego zjawiska dało w efekcie pierwszą zaprawę.

Do epoki grecko-rzymskiej stosowane były w Egipcie dwojakiego rodzaju zaprawy, w zależności od charakteru budowli, do wykładzin i łączenia suszonych cegieł używano przeważnie łu nilowego, który zmieszany z wodą dawał masę o odpowiedniej konsystencji i znacznej po wysuszeniu wytrzymałości. Z czasem, oprócz łu wprowadzono też spoiwa gipsowe, sporządzane przez wypalenie i gaszenie anhydrytu. Najstarszym przykładem zastosowania w budownictwie zaprawy jest częściowo zachowana tzw. piramida schodkowa w Sakkarze, wzniesiona w r. 2950 pne z dopasowanych gładów wapiennych. Statyczność budowli zależała przede wszystkim od właściwego ułożenia elementów kamiennych, a użycie szlamu łuowego miało na celu raczej, usprawnienie transportu i układanie na sobie bloków, oraz ochronę ich krawędzi przed uszkodzeniem, niż ich związanie. Według Lucasa⁶ w 7 przebadanych prób-

kach spoiwa z tego okresu, zawartość składników ilastych wahała się w granicach od 30 do 55%, natomiast analiza zaprawy gipsowej⁷ z Wielkiej Piramidy w Egipcie wykazała 81,5% siarczanu oraz 8,5% węgla wapniowego. Obecność węgla wapniowego w zaprawach staroegipskich przyczyniła się do błędnego niekiedy mniemania egiptologów, że w okresie tym stosowane były również spoiwa wapienne. Nieporozumienie wynikało stąd, że anhydryt wydobywany w kamieniołomach posiadał zwykle dość znaczną zawartość węgla wapniowego w stanie naturalnym, który wykazywany był z kolei w trakcie analiz wspomnianego spoiwa. Do czasów Ptolomeusza I (323—285 pne) nie znane są w zasadzie w budownictwie egipskim przypadki zastosowania zapraw wapiennych. Wprowadzone zostały one na tym terenie, dopiero po opanowaniu Egiptu przez Rzymian. Przyczyna priorytetu użycia gipsu w miejsce wapieni do produkcji zapraw, kryła się przede wszystkim w samej technologii surowca, wapienie bowiem wymagały raczej wysokiej temperatury wypalania (ponad 800°) i tym samym zużycia większej ilości paliwa, podczas gdy gips w postaci rozdrobnionego anhydrytu mógł być wypalany w granicach dość niskich temperatur (ok. 200°). Ciasto gipsowe nie groziło również poparzeniem i można je było mieszać nawet rękami, bez użycia specjalnych łopat. Zaprawy gipsowe posiadały jednak tę zasadniczą wadę że po zarobieniu wodą bardzo szybko wiązały i wymagały natychmiastowego zużycia; przy układaniu murów z mniejszych elementów budowlanych np. cegieł, stanowiło to znaczne utrudnienie.

Asyryjczycy i Babilończycy — oprócz zapraw gipsowych i łuowych — używali też spoiw bitumicznych do łączenia cegieł lub przyklejania alabastrowych płyt ściennych, ale sposób ten choć bardzo skuteczny, ograniczony był do terenów objętych bliskim zasięgiem występowania złóż pochodzenia organicznego. W budownictwie asyryjskim znane są też nieliczne przypadki budowli wzniesionych na bazie zapraw wapiennych.

Starożytni Fenicjanie znali również — jak wskazują wykopaliska — produkcję zapraw, nawet hydraulicznych (świątynia na Cyprze, cysterny i akwedukty w Jeruzalem), ale na szerszą skalę wapien kalcynowany wprowadzony został do zapraw dopiero w latach rozkwitu Grecji, a przede wszystkim Rzymu.

Najstarsze budownictwo greckie nie знаło zapraw. Ogromne, dopasowane lub częściowo ociosane bloki ustawiano na sucho⁸, klinując jedynie niekiedy mniejszymi fragmentami skal-

⁵ Surowiec po wypaleniu spieczony w bryły.

⁶ A. Lucas, *Ancient Egyptian Materials and Industries*, London 1948.

⁷ M. Miedziński, *Chemia Materiałów Budowlanych*, 1952 Poznań, s. 7.

⁸ Tzw. mury cyklopowe — końcowa epoka brązu.

nymi. W okresie cywilizacji egejskiej i kreteńsko-mykeńskiej (XX—XII w. pne), wapno i gips używane były przede wszystkim do produkcji takich elementów budowlanych jak wykładziny ścienne, stiuki i fryzy, np. w budowlach w Fajstos i Knossos. W Tirynsie (Argolida południowa część Grecji) w budowlach z XV w. pne znaleziono fragmenty ścian upiękuszonych subtelnym fryzem z wypalonego gipsu, pokrytego błękitną farbą.

Istnieje pogląd, że sposób produkcji zapraw wapiennych przyjęli Grecy od starożytnych Persów, gdyż Egipcjanie nie znali wapna w postaci zaprawy. Sporządzano je — jak obecnie — przez gaszenie wypalonego wapna, i następnie zmieszanie go z piaskiem. Dla odporności na działanie wód, dodawano, niekiedy drobno zmielony tuf wulkaniczny z wyspy Thera (dzisiejsza Santorina). Tam też przypuszczalnie odkryto hydrauliczne własności tufów, kiedy w sproszkowanej formie zastąpiono nimi piasek do schudzenia wapiennego ciasta w produkcji zbiorników na wodę. Zachowane w Pireusie resztki portowych murów wykazały również, że obecna w nich zaprawa wapienna uległa w ciągu setek lat mniejszemu procesowi korozji pod wpływem wody morskiej, niż łączone nią elementy kamienne. O dużym kunszcie murarskim dawnych Greków świadczyć może także dziś jeszcze, zbudowana w roku 460 pne, na południowo-zachodnim wybrzeżu Italii, świątynia Posejdona, której poszczególne elementy kolumn, łączył wspólny rdzeń wzmacniający, powstały przez zalanie kanałów płynną zaprawą wapienną⁹. W. Wallace¹⁰ podaje analizę dwóch wapiennych zapraw greckich. Jedna z nich, podlegająca wielowiekowym wpływom atmosferycznym, pobrana została z ruin trybuny z V w. pne znajdujących się na miejscu dawnych zgromadzeń ludowych na wzgórzu Pnyks w Atenach, druga z wewnętrznej sztukaterii starej świątyni na wzgórzu Pentelik. Pierwsza zaprawa, barwy szarobiałej, charakteryzowała się bardzo znaczną twardością, a jej skład chemiczny przedstawiał się następująco: CaCO₃ (łącznie z MgCO₃) — 83,7%, tlenki i wodorotlenki — 3,5%, piasek i części nierozpuszczalne 12,06%; zaprawa druga, barwy kremowej, dość krucha, mimo iż posiadała więcej wapna (CaCO₃) — 89,07%, oraz 4,87% tlenków i wodorotlenków, 3,9% piasku i krzemionki z dodatkiem anhydrytu. Wapno i krzemionka były w pierwszym przypadku całkowicie rekrystalizowane (skarbonizowane), w drugim jedynie w 95 procentach.

⁹ Stwierdzone zostało również sporadyczne zastosowanie roztopionego ołowiu oraz żywicy drzew, do łączenia kamiennych elementów kolumn.

¹⁰ W. Wallace, *On Ancient Mortars*, Londyn 1954, s. 389.

¹¹ Marcus Pontius Starszy, *O rolnictwie*, cyt. za U. L. Znaczk o - Jaworski, *Oczerki historii wiaźujuszczycch wieszczestw*, Moskwa-Leningrad 1963, s. 103.

Nie posiadamy dziś bliższych danych o sposobie mielenia i wypalania wapna (grec. Halix) w Grecji. Prawdopodobnie przygotowywano je rozdrabniając na żarnach kamiennych i — podobnie jak w Rzymie — wypalając w piecach o konstrukcji zbliżonej do pieców ceramicznych. Konsul rzymski Marcus Pontius Starszy (234—149 pne) następująco opisał¹¹ budowę pieca i proces wypalania wapna: *Piec winien być szeroki na 10, wysoki na 20 stóp, a ku górze wężał się do ok. trzech stóp. Od spodu znajduje się krata (ruszt) na dwukomorowym palenisku. Gdy trzeba usunąć popiół z jednej komory, w drugiej może płonąć ogień. Kiedy będziesz budował taki piec, zrób palenisko dość głębokie i osłonięte od wiatru. Jeśli miejsce pod piec jest płytkie, należy dla jego pogłębienia zbudować podbudowę z gliny.*

W Italii, pierwszym narodem posługującym się zaprawami byli Etruskowie (VIII—VI w. pne), którzy we współczesnym im świecie cywilizacji, reprezentowali bardzo wysoki poziom kultury materialnej. Wznosili oni budowle z drewna, suszonych cegieł i ociosanych kamieni, układając je bądź na sucho, bądź używając zapraw glinianych. Rzymianie, którzy wzorując się na Etruskach stosowali początkowo jako spoiwo rozrzedzoną glinę, z czasem przejęli od Greków sztukę wypalania wapna (calx), i znacznie ją ulepszyli. Niezwykła trwałość budowli rzymskich zrodziła nawet pogląd jakoby byli oni w posiadaniu nieznannej do dziś, wyspecjalizowanej metody produkcji spoiw, podczas gdy porównanie wyników szczegółowych analiz próbek, oraz receptur podawanych przez starożytnych pisarzy¹², nie dało żadnych podstaw do tego rodzaju przypuszczeń. Okazało się bowiem, że wysoka jakość ówczesnych spoiw była przede wszystkim wynikiem stosowania dobrego i właściwie przygotowanego (wypalonego) surowca, skrupulatnego mieszania składników, oraz — w razie konieczności — dokładnego ubijania na budowie świeżej masy¹³.

Wiele uwagi przywiązywali Rzymianie do wyboru surowca przeznaczonego dla otrzymywania wapna. Katon sugerował użytkowanie wapieni pochodzenia organicznego, zawierających gliniaste domieszki, podobnie jak i Pliniusz, który uważał że wapienie z odkrywek w kopalniach są bardziej odpowiednie, niż wapienie znad brzegów rzek¹⁴. Najczęściej użytkowany był jako surowiec lokalny wapień nadtybrzański tzw. trawertyn, który po wypaleniu zarbiano wodą z dodatkiem piasku lub niekiedy

¹² Pliniusz Starszy, *Naturalis Historia* ks. 37; Witruwiusz, *O Architekturne Książ Dziesięć*, ks. 2 rozdz. 4 i 5.

¹³ Wewnątrz murów rzymskich znajdowano często wapno nie związane z CO₂, co wskazywało na dużą szczelność układanej masy.

¹⁴ U. L. Znaczk o - Jaworski, o.c., s. 104.

grubszego kruszywa (rzyms. arenatum czyli calx et arena — tzn. wapno i piasek). Dla otrzymania zapraw wykładzinowych, wypalone i zmielone grudki wapna gasili Rzymianie wodą tzw. sposobem suchym. W tym celu zanurzali je w wodzie a następnie rozsypywali na powietrzu, lub układali warstwami skrapiając wodą i przykrywając piaskiem, dla zatrzymania ciepła wydzielonego w trakcie procesu gaszenia. Sposób ten nie zapewniał jednak dokładnego ugaszenia pozostawiając w wapnie nie rozlasowane grudki. Dlatego też dla prac sztukateryjnych zalewano wapno nadmiarem wody na dłuższy okres przed użyciem i przetrzymywano do pełnego ugaszenia. Tak przygotowane ciasto krajano siekierami i mieszano przy pomocy specjalnych łopatek (il. 1). Witruwiusz słusznie zauważył, że niedokładnie rozlasowane wapno powoduje powierzchniowe spękania i szczeliny w sztukaterii i wykładzinach. Podobnie Pliniusz stwierdził, że stare tradycje budowlane nie pozwalają używania do budowy twierdz wapna, które nie przeleżało się w ziemi co najmniej 3 lata. Frontius (40—103 n.e.) pisze¹⁵, że roboty wymagające zastosowania wapna, prowadzone były od 1 kwietnia do 1 listopada, ale wstrzymywano je w okresie silnej suszy. Przestrzeganie tych prawideł pilnowali chociaż nie zawsze z dobrym skutkiem, specjaliści urzędnicy. *Ruinarum urbis ea maxime causa, quod furto calcis sine ferumi ne suo ceamenta componuntur.* (Zasadniczą przyczyną walenia się budowli, jest ta, że na skutek wietrzenia wapieni, kamienie układają się luźno nie związane zaprawą). W dziele swym pt. „Architektura”



1. Legionista rzymski mieszający zaprawę, płaskorzeźba z kolumny Trajana (wg Daremberga—Sargio)

1. Légionnaire romain mélangeant le mortier, bas-relief de la colonne de Traian (selon Daremberg—Sargio)

zaleca Witruwiusz w zaprawie wapienno-piaskowej stosunek 1 : 3 przy użyciu piasku z kamieniołomów, oraz 1 : 2 przy piasku rzeczonym lub morskim. To zróżnicowanie w składzie zapraw tłumaczy się odmiennym zachowaniem obu gatunków piasku w masie. Ostrokrawędzisty piasek gruntowy pozostawia bowiem mniejsze przestrzenie międzyporowe w masie, niż okrągłoziaisty piasek rzeczny. Dla polepszenia siły wiążącej zaprawy zaleca Witruwiusz dodatek mielonych dachówek, cegieł lub naczyń ceramicznych. Pisze on: *O ile do piasku rzeczego lub morskiego doda się mielonej, wypalanej i przesianej glinki w proporcji 1 : 3, otrzymuje się zaprawę lepiej twardniejącą...*¹⁶ Szczególnie twardy rodzaj zaprawy — jak pisze Pliniusz — sporządza się z wapna gaszonego w winie z dodatkiem winogron i wieprzowego sadła. Zaprawa o grubości 10 do 12 cm naniesiona na gładką powierzchnię daje się dobrze polerować oraz pozwala uzyskać różne odcienie barw. Twardość tego typu zaprawy tłumaczy się powstawaniem nierozpuszczalnych mydeł wapiennych i związków białkowych.

Rzymianie prowadząc bardzo różnorakie prace budowlane, prowadzili poszukiwania zapraw o możliwie dużej wytrzymałości i nieprzepuszczalnych dla cieczy. Między innymi wykorzystywali jako cenny, naturalny materiał wiążący tufy wulkaniczne, które po rozdrobieniu i zmieszaniu z wodą oraz piaskiem lub grubszym kruszywem dawały plastyczną z czasem twardniejącą masę, którą wrzucano między szalowania z desek. Stanowiła ona załazek dzisiejszego betonu. Taki rodzaj budowy zwali Rzymianie „cementowym”, chociaż nie jak by się zdawało od spoiwa, lecz zawartych w masie kamyków (łac. caementa — kamień). Ulepszoną natomiast zaprawę, o wysokich własnościach hydraulicznych, zbliżonych do współcześnie produkowanych cementów, sporządzano z wapna palonego, wody i popiołu wulkanicznego o ciemnoszarej barwie, zwanego od miejscowości Pozzuoli położonej w pobliżu Wezuwiusza, „pozzolana”. Na szeroką skalę eksploatowane były również złoża wygasłego wulkanu Latioli, na lewym brzegu Tybru. Witruwiusz pisze: *Istnieje pewien gatunek pyłu, który dzięki przyrodzonym właściwościom wytwarza rzeczy godne podziwu. Występuje on w okolicy Bajów i na gruntach municypiów leżących wokół Wezuwiusza. Proszek ten zmieszany z wapnem i łamanym kamieniem nie tylko zapewnia trwałość wszystkich budowli, lecz nawet użyty przy budowie grobli w morzu twardnieje pod*

¹⁵ Opis i cytaty za U. L. Znaczkó-Jaworskim, o.c., s. 105.

¹⁶ Analiza zaprawy — wodociągów rzymskich z terenów Bułgarii (Carevec) — wykonana przez autorkę — wykazała proporcję 2 : 3 (wapno i skł. nierozp.), przy czym materiał wypełniający stanowiła w zasadzie przepalona żelazista glina garncarska.

woda¹⁷. „Cementy” zawierające tzw. dziś pucolan stosowali Rzymianie na szeroką skalę w budownictwie licznych obiektów użyteczności publicznej, jak np. amfiteatry, termy, słynne akwedukty i mosty rzymskie, wspaniałe świątynie¹⁸, oraz bogato wyposażone domy prywatne. Rzymskie budownictwo ceglano-cementowe, pociągnęło za sobą znaczne i daleko sięgające konsekwencje, przy czym do najważniejszych zaliczyć należy nowe możliwości zasklepienia budowli nie tylko prostą belką, ale dowolną konstrukcją opartą na łukowo wygiętych żebrach. Ostateczne więc zwycięstwo nad przestrzenią odniosła nie cegła a cement. Zamiast bowiem wznoszenia obok siebie wielu łuków, można było uzyskać przewidziany z góry kształt sklepienia, montując jedynie drewniane rusztowanie, i narzucając na nie masę cementową.

Rzymianie stosowali też betony, które powleczone substancjami organicznymi jak oleje czy lepiszczą asfaltowe, nie przepuszczały wody, która zamarzając wewnątrz mogła powodować pęknięcie i rozsadzanie ścian.

Wysoki poziom techniki budowlanej daje się zauważyć również na ogromnych obszarach objętych zasięgiem wpływów kulturowych Imperium Rzymskiego, a szczególnie na terenach byłych obozowisk rzymskich legionów. Pucolan stosowano w „betonach” wszędzie tam, gdzie mógł on być łatwo dostarczony, lub też zastępowano go surowcami występującymi lokalnie jak np. trasy nadreńskie¹⁹, czy tufy trachitowe²⁰.

Tabela przedstawia skład chemiczny²¹, stosowanych w starożytności, hydraulicznych dodatków pochodzenia wulkanicznego:

Materiał	Straty parzenia	Skład chemiczny				
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO + MgO	R ₂ O
Santoryjska ziemia	—	65,1	11,0	6,5	6,5	11,0
Pucolana okolic Bacoli	4,9	58,9	16,4	9,4	4,0	11,9
Pucolana rzymska okolic Viterbo	6,8	45,0	18,5	9,5	14,5	6,1
Pucolana okolic Wezuwiusza	—	59,1	21,3	4,8	1,9	11,6
Tras reński	9,8	58,0	15,0	3,0	3,4	9,3

¹⁷ Witruwiusz, *O Architekturze Ksiąg Dziesięć*, ks. 2, rozdz. 6.

¹⁸ Panteon posiada ściany o grubości 6 m. a kopułę średnicy 37,2 m. odlane jednolicie w szalowaniu z półpłynnego betonu pucolanowego z dodatkiem naturalnego pumeksu.

¹⁹ Okolice Andernach oraz rejon wygasłych wulkanów Lachersee.

²⁰ Eksploatowane w Komarnie i Peszcie do budowy term, akweduktów i in.

²¹ U. L. Znaczkó-Jaworski, o.c., s. 112.

Budowle rzymskie — mimo niszczącego oddziaływania atmosfery lub przepływających wód — przetrwały wieki, a niektóre z nich służą nawet po dzień dzisiejszy. Znaczną rolę w kulturze rzymskiej odgrywał również gips, ale stosowano go przede wszystkim w postaci ściennej wyprawy i w sztukaterii, oraz do odlewania form i figur brązowych i terakotowych statuetek.

Po okresie rzymskim następuje zdecydowany spadek jakości spoiw stosowanych w budownictwie²² i stan ten utrzymuje się aż do początków XII w.²³ Badania licznych, zabytkowych obiektów Francji i Niemiec pozwoliły stwierdzić, że sztuka wypalania wapna w wieku IX, X, i XI poszła niemalże zupełnie w zapomnienie. Budowle np. normandzkie i saksońskie wykazują zaprawy z wapna niedokładnie na ogół wypalonego²⁴ źle wymieszanego (liczne grudy), przeważnie bez dodatku składników hydraulicznych. Z końcem VIII w. „odkryto” jedynie raz jeszcze wiążące właściwości gipsu i w połączeniu z wapnem i mączką ceramiczną zaczęto stosować go w sztukaterii oraz w wykładzinach ścian i sufitów sakralnych i obronnych budowli Europy zachodniej. Począwszy od XII w. jakość zapraw znów się poprawia. Wapno jest wypalone dobrze, piasek czysty, przeważnie odsiewany, nierzadko zmieszany z ceramiczną stłuczką lub węglem drzewnym. W oddzielonych zaprawach stosowany jest również gips, dość powszechnie z węglanowym wypełniaczem (tłuczniem). Podnosi się też znacznie poziom prac tynkarskich i sztukateryjnych, osiągając w XIV w. — zwłaszcza w przygotowaniu podkładów pod ścienne malowidła gotyckie — wysoki rozwój. Tynki pod malowidłami były przeważnie dwu lub niekiedy trójwarstwowe, przy czym warstwę nośną (arriciato) nakładaną bezpośrednio na lico muru, stanowiła przeważnie gruboziarnista hydrauliczna zaprawa wapienno-piaskowa, na którą następnie наносzono zaprawę (intonaco), sporządzoną z wysokogatunkowego wapna i drobnego, marmurowego kruszywa (il. 2). Na podstawie dawnych komunik wiadomo nam dziś także, że produkowane były w średniowieczu specjalne zaprawy i tynki z dodatkiem pewnych substancji organicznych, przyspieszających proces tężenia zapraw: były to bądź roztwory cukru, piwa lub miodu, bądź koloidalne roztwory mleka z biał-

²² W tym okresie rozwija się raczej budownictwo drewniane.

²³ Odrębny rozwój budownictwa charakteryzuje architekturę bizantyjską, a typowe dla niej zaprawy zawierają różne domieszki organiczne, jak np. wióry, sieczkę trzcinową i słomianą, sierść itd. Technika ta nie znalazła w zasadzie naśladownictwa w budownictwie Zachodu, jedynie w zniekształconej formie w glinianym budownictwie wiejskim.

²⁴ Duży procent wapna przy niskiej wytrzymałości zaprawy.

kiem jajek²⁵. Hydrauliczny charakter zapraw uzyskiwano natomiast w średniowieczu, sposobami podobnymi do tych, które stosowali Rzymianie. Wapno wypalano więc poniżej granicznej temperatury wypału, oraz mieszano je z naturalnymi dodatkami hydraulicznymi²⁶, lub drobną ceramiczną słuczką. Włoski pucolan i nadreński tras stają się znów bardzo poszukiwanymi i cenionymi w budownictwie surowcami.

Renesans uzupełnia technologię zapraw stosowaniem na szeroką skalę węgla drzewnego i niekiedy grafitu, a barok wzbogaca ją produkcją pięknie polerowanych wapienno-gipsowych tynków, zbliżonych fakturą do marmurów.

Nową erę w historii materiałów wiążących otwiera wiek XVIII, wiek początków wielkich odkryć i doświadczeń szczególnie w dziedzinie fizyki i chemii²⁷. W ich świetle, żywo dyskutowany chemizm materiałów wiążących — którego pierwszą próbą wytłumaczenia starał się przedstawić jeszcze Witruwiusz²⁸ — skierowuje produkcję materiałów wiążących na nowe tory. Zwłaszcza badania J. Smeatona (1756 r.)²⁹, kończą okres starożytnych autorytetów w dziedzinie budownictwa, reprezentowanych przez Pliniusza, Witruwiusza i św. Augustyna. Zasługą jego było oprócz trafnego zaobserwowania warunków powstawania cementu hydraulicznego, również wprowadzenie kryterium hydrauliczności materiału wiążącego³⁰.



2 Średniowieczny młyn do mielenia kruszywa (drzeworyt z dzieła G. Agricoli „De re metalica”)

2. Moulin à vent médiéval, servant à moudre le granulats (gravure extraite de l'oeuvre de G. Agricola „De re metalica”)

Zaczątkiem przemysłu cementowego było odkrycie pewnych minerałów, które po wypaleniu dawały produkt wysoce hydrauliczny, jednak przejście od naturalnych surowców do sztucznych mieszanek w produkcji materiałów wiążących, dokonywało się w sposób tak ewolucyjny, że trudno dziś ustalić komu przypisać prawo pierwszeństwa. Isaac Charles Johnson uważany przez większość badaczy za twórcę cementu portlandzkiego³¹ zaobserwował że znalezione w piecu szybowym przepalone gruzy, dają w stanie zmielonym produkt lepszy, mimo że wiążący wolniej. Wyprodukowany wówczas szarozielony pył cementowy, który na skutek rozwoju chemii i fizyki, dał początek szeregu jego zróżnicowanych gatunków, posiada przede wszystkim tę własność, że proces twardnienia, rozpoczynający się już po 2 godzinach od chwili zarobienia wodą, występuje w coraz silniejszym stopniu jeszcze po kilku latach. Szybki rozwój przemysłu cementowego był wynikiem zastosowania tego materiału wiążącego na ogromną skalę. Szary, skromny proszek opanował świat i stał się fundamentem budownictwa przemysłowego, komunikacyjnego i mieszkalnego. Dominujące znaczenie odżyła także produkcja betonu, którego produkcję pchnął na szerokie tory wynalazek żelazo-betonu³² i późniejszych jego modyfikacji np. struno-, kablo-, czy siatkobetonu. Możemy śmiało powiedzieć że żelbet otacza nas dziś zewsząd; fundamenty, słupy, ściany, stropy, dachy, wykonane są właśnie z żelbetu. Spotykamy go na ulicy w

²⁵ Powstały w wyniku reakcji nierozpuszczalny kazeinian wapna, można oznaczyć po dłuższym okresie czasu.

²⁶ Bardzo poszukiwane jako składnik hydrauliczny były gliny z dużą zawartością tzw. ilów bentonitowych.

²⁷ Avogadro, Dalton, Lavoisier, Lomonosow, Priestley, i in.

²⁸ Twierdził on że przy wypalaniu wapna ułatnia się z kamieni powietrze i woda, a pozostaje „ukryte ciepło”. Woda którą zarabiamy wypalony materiał zapełnia z powrotem pory i powoduje przywrócenie pierwotnego stanu materiału.

²⁹ J. Smeaton podobnie jak J. Parker stwierdzili, że wapno otrzymane z czystego wapienia nie posiada własności hydraulicznych, w przeciwieństwie do wapienia wypalonego z materiału zanieczyszczonego, lub zmieszanego z gliną.

³⁰ Otrzymałszy zadanie wybudowania latarni morskiej, oceniał zaprawę sporządzając z niej kulki i umieszczając pod wodą (M. Miedziński s. 6).

³¹ Angielski murarz J. Aspiolin również zgłosił patent na produkcję cementu portlandzkiego dnia 21.X.1824 r. Jemu też przypisuje się nazwę „portland stone”. W Rosji jeszcze wcześniej publikowano metody otrzymywania materiałów podobnych — surowiec był tutaj spiekany przed zmieleniem.

³² Jako datę powstania żelbetu przyjmuje się rok 1867, kiedy to ogrodnik francuski Monier pragnąc zapobiec pękaniu donic betonowych wtopił w nie metalową siatkę, a następnie opublikował jako patent żelbetową płytę.

postaci słupów oświetleniowych, ogrodzeń, pieszych traktów czy też fragmentów tzw. małej architektury i plastycznego detalu. Żelbet jest materiałem chętnie stosowanym przez architektów, gdyż daje możliwość dużej dowolności w projektowaniu form przestrzennych.

Ostatnią rewelacją w dziedzinie nowoczesnej technologii budowlanej jest metoda wznoszenia kopuł żelbetowych za pomocą nadmuchiwania ich sprężonym powietrzem. Po stwardnieniu konstrukcji, nadciśnienie wewnątrz kopuły likwiduje się, po czym zdejmuje się powłokę podtrzymującą (tkanina uszczelniana tworzy-

wem sztucznym), którą użyć można jeszcze kilkakrotnie. Metoda ta opracowana została przez dr Dante Bini z Bolonii i nosi firmową nazwę „Binishell”³³.

Jak z powyższych rozważań wynika materiały wiążące mają za sobą długą i bogatą historię nierozzerwalnie związaną z dziejami architektury.

dr inż. Maria Wirska-Parachoniak
Katedra Historii Techniki
i Nauk Technicznych AGH
Kraków

³³ „Horyzonty Techniki” 1967 r. nr 10 s. 16, krótka informacja bez autora.

SUR L'HISTOIRE DES LIANTS DANS LES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION

Les liants sont appliqués dans l'architecture, depuis l'époque la plus reculée jusqu'à nos jours, pour lier les éléments de la construction, du revêtement et de l'ornementation et aussi comme matériau d'isolation contre l'action de l'eau. En principe, les liants se répartissent en deux groupes: adhésifs qui durcissent à l'air et notamment tous ceux dont les principaux composants sont: le plâtre, le carbonate de magnésium, la chaux cuite à teneur en oxyde de calcium au-dessus de 94%; hydrauliques qui durcissent aussi bien dans l'eau qu'à l'air, produits à partir de matières brutes calcaires et de leurs dérivés. Leur teneur en oxyde de calcium est inférieure à 94%.

Dépendamment des difficultés technologiques dans le processus de leur production certains de ces matériaux ont pu être appliqués déjà dans l'antiquité, tandis que d'autres — exigeant un traitement plus soigné ou une haute température de production n'ont pu être employés que beaucoup plus tard. L'argile par exemple et le limon, ainsi que le plâtre furent largement employés déjà dans l'ancienne Egypte et dans la Petite Asie ancienne. Les premiers exemples connus d'emploi du limon apparaissent dans l'ancienne Egypte aux environs de l'an 3000 av. J. Chr. Dans l'architecture assyrienne l'on rencontre parfois, quoique très rarement, des exemples de mortier de chaux et chez les Phéniciens — des mortiers hydrauliques. Les anciens Grecs employaient déjà sur une vaste échelle les mortiers de chaux adhésifs et hydrauliques — ces derniers obtenus grâce à une addition de tufs volcaniques broyés. Leurs connaissances dans ce domaine furent

ensuite reprises par les Romains dont l'architecture démontre une grande durabilité qui fait naître l'opinion qu'ils possédaient une méthode de production des mortiers particulière, inconnue jusqu'ici. Cependant les analyses démontrent que cette durabilité des anciens liants était due au soin que l'on apportait alors dans le choix des matériaux bruts et dans les processus de production du mortier. Pour fabriquer les mortiers hydrauliques on utilisait fréquemment alors les cendres volcaniques. Les Romains se servaient du plâtre surtout pour le revêtement des murs et pour les décorations en stuc. A l'époque du haut Moyen-Âge la production des liants subit un déclin et ce n'est qu'au XIIe siècle qu'elle marque une amélioration sensible dans ce domaine. Ce résultat est du, bien moins à une nouvelle technique employée qu'au renouveau des soins apportés à leur production. On applique dès lors aussi dans une plus large mesure des additions organiques dans leur composé, qui accélèrent le processus de leur durcissement.

Une nouvelle époque s'ouvre dans la production des liants au XVIIIe siècle lorsque les recherches scientifiques dans ce domaine sont entreprises à une plus vaste échelle. Le premier quart du XIXe siècle amène la découverte du ciment portlandais. Peu à peu, le béton dans sa forme originale connue déjà par les Romains, s'établit et joue le premier rôle dans l'architecture nouvelle, au début, en tant que béton armé et ensuite sous forme de ses nombreuses et nouvelles variétés.