

**Dr eng. Satish Chandra**

Chandra Byggref AB, Goteborg, Sweden

## **Budowlane materiały wiążące w Indiach wczoraj i dziś**

### **Binders yesterday and today in India**

Materiały kamienne i cegła były głównymi materiałami budowlanymi w czasach starożytnych i stosowano spoiwa w celu ich złączenia. W pewnym okresie stosowano je także do tynkowania ścian. Są różnego rodzaju spoiwa i zachowują się bardzo różnie. Dowolne spoiwo nie jest dobre do wszystkich zastosowań. Trzeba je wybierać po starannej ocenie warunków środowiskowych, w których będą one stosowane. Poza ich charakterystycznymi właściwościami jest także wpływ zmian w architekturze pod wpływem zaleceń rządowych, co pociąga za sobą zmiany rodzajów spoiw. Trwałość budowli zależy od rodzaju spoiw i od techniki ich przygotowania oraz zastosowania. Są one ze sobą ściśle związane: nie można ich rozdzielić. Brak zgodności jednego z tych czynników jest przyczyną nieprzewidzianego zniszczenia konstrukcji.

Tynki, zaprawy i betony składają się głównie ze spoiwa, kruszywa i wody. Spoiwa stosowane w czasach starożytnych to muł, gips i wapno. Dodawano do nich niektóre materiały pucolanowe i organiczne. Cement pojawił się znacznie później. Spoiwa wytwarzano przez prażenie surowców w wysokich temperaturach. Ich właściwości zmieniały się w zależności od stosowanych surowców. Natomiast zachowanie spoiwa zależy od metody wytwarzania i techniki zastosowania, które są współzależne. Zmiana jednego z nich może szkodliwie wpływać na trwałość budowli. To powoduje konieczność poznania ich technologii i funkcjonalności. W tym świetle opisano technologię wytwarzania spoiw i zakres ich stosowania w oparciu o literaturę, przede wszystkim indyjskie dzieła mitologiczne, a także włączono do tego opisu wyniki badań próbek, z niektórych zabytków i wykopalisk.

#### **Glina**

Glina jest najstarszym materiałem stosowanym przez człowieka do wykonywania budowli, a pierwsze jej wykorzystanie przypada na okres indyjskiej cywilizacji rozwijającej się w dolinach; w okresie Harrappan datowanego na 5000 rok przed narodzeniem Chrystusa. W rzeczywistości nie jest to minerał, lecz zbiór minerałów i substancji koloidalnych. Ich właściwości zależą od składu chemicznego i mineralnego i ich struktury krystalicznej, to jest jak poszczególne składniki są zbudowane. Gliny są bardzo różnicowane, jednak nie wszystkie mogą znaleźć zastosowanie

Stones and bricks were the chief building materials in the ancient period Binders were used to join the bricks and stones. At times these were used for plastering the walls. Binders are of different kinds and thereby behave in different ways. Every binder is not good for every job. These are chosen after careful considering the environmental conditions where these are to be used. Apart from their own characteristic properties there was also influence of the ruling Government, as the architecture changed so as the binders. The durability of the building thus depends upon the binders, their preparation and application technique. These are very closely interrelated and can not be divorced from each other, discrepancy in one result is the unpredicted deterioration of the structure.

Plasters, mortars and concrete constitute chiefly of a binder, aggregate and water. The binders used in the ancient period were mud, gypsum and lime. To these some pozzolanic materials and organics were added. Cement appeared at quite later stage Binders are produced by burning the raw materials at high temperature. Their properties varies according to the raw materials used. Performance of the binder depends upon the method of their preparation and the technique of application. These are interconnected. Change in one of them can be detrimental to the durability of the building. This makes it necessary to know their technology. and functionability. With this consideration, technology of the binders, their applications as is mentioned in the literature; Indian mythological books, results of samples from some monuments and the excavations are described.

#### **Clay**

Clay is the oldest substance utilized by man in building construction the earliest record of it use is in the buildings constructed during Indus valley civilization; Harrappan period dating ca 5000 BC. It is in fact not a mineral but an aggregate of minerals and colloidal substances. Their properties depend upon their chemical and mineralogical composition and their crystal structure i.e. how the individual elements are placed. There is variety of clays but every clay is not appropriate for use in the building industry. Amongst them laterite clay was mostly used. However, the buildings having clay as binders did not give promising results. They absorb water and

w przemyśle budowlanym. Spośród nich najczęściej były stosowane gliny laterytowe. Jednak budowle, w których zastosowano glinę jako spoiwo nie dawały obiecujących wyników. Pochłaniają one wodę i kurczą się w procesie suszenia. Powoduje to powstawanie pęknięć; struktura traci wytrzymałość i jest podatna na dalszą penetrację wody prowadzącą do zniszczenia. Starożytni budowniczowie byli zaznajomieni z tymi problemami. Poddawali oni glinę stabilizacji, którą wykonywano prymitywnymi metodami, jednak dawało to bardzo dobre wyniki. Starożytni budowniczowie posiadali wiedzę praktyczną, którą zdobyli metodą prób i błędów, bez podstaw naukowych. Z tego względu nie mogli oni wytłumaczyć mechanizmu lub mechanizmów występujących w ich metodach stabilizacji, a w rzeczywistości posiadała ona naukowe podstawy. Glinę stabilizowano czterema sposobami; samą glinę, glinę z dodatkami organicznymi, glinę z piaskiem, glinę z piaskiem i dodatkami organicznymi.

### **Sama glina**

Glinę stabilizowano za pomocą obróbki mechanicznej, chemicznej lub obróbki chemicznej wspomaganą mechanicznie. W przypadku obróbki mechanicznej glinę mieszano z wodą ubijając pałkami lub wyrabiając nogami i pozostawiano na pewien okres w celu dojrzewania. W tym procesie elektrostatyczne ładunki na cząstkach gliny zmniejszyły się i cząstki ulegały zagęszczeniu. Odległość pomiędzy cząstkami ulegała zmniejszeniu, a woda uwięziona pomiędzy cząstkami została uwolniona. Zapewniało to taką samą urabialność przy zmniejszonym dodatku wody, w konsekwencji malał skurcz, wzrastała wytrzymałość etc... Równocześnie duże cząstki ulegały rozdrobnieniu co zwiększało plastyczność.

### **Glina z liśćmi**

Zaprawy wykonane tylko ze stabilizowanej gliny wykazywały pęknięcia w budowlach. W celu wyeliminowania powstawania pęknięć mieszano z gliną i wodą liście drzew. Mieszaninę pozostawiano aż do czasu, gdy liście ulegały zgniciu i dalej mieszano. Liście zawierają różne składniki, które pozostają w naturalnej równowadze. Na powierzchni jest to wosk, a dalej naturalne włókna, węglowodan i chlorofil. Wykazują one różne funkcje; liście ulegając zgniciu zwiększają plastyczność gliny, włókna zwiększają odporność na powstawanie pęknięć, wosk zwiększa odporność na sorpcję wody. W efekcie daje to zagęszczoną glinę, która ma większą gęstość i jest mniej przepuszczalna. Wynikiem tych zmian będzie zwiększenie wytrzymałości i poprawa trwałości.

### **Wapno**

Wapno i gips były innymi spoiwami stosowanymi w budownictwie. Najstarsze stosowanie wapnia w pracach budowlanych polegało na sporządzaniu tynków i stiuków (tynków szlachetnych) [Flinders 1909]. Niektóre z nich są datowane na 2300 rok przed Chrystusem i są dotychczas w dobrym stanie. Właściwości tynku zależą od rodzaju surowców, techniki wypalania stosowanej w produkcji wapna, gaszenia wapna i metod stosowania. Indie leżą w obszarze

swell, they shrink while drying. This produces cracks; the structure loses strength and is prone for further penetration of water, leading to deterioration. The ancient builders were acquainted with these problems. They stabilized the clay. The stabilization was done in a very primitive way, but it worked very well. The ancient builders had empirical knowledge, which they have earned by trial and error method, without any scientific background. Therefore they could not explain the mechanism or mechanisms involved in their method of stabilization but it had very high scientific explanation. Clay was stabilized in 4 ways; Clay alone, clay with organics, clay with sand, Clay with sand and organics.

### **Clay alone**

Clay was stabilized by mechanical treatment, chemical treatment or chemical treatment aided by mechanical treatment. In mechanical treatment, the soil and water are mixed by beating with clubs or kneaded by feet, and left for some time for maturity. In this process the electrostatic charge over the clay particles lessens and the particles become compressed. The distance between the particles decreases. Water which was entrapped between the particles is thus released. It allows to have the same workability with less amount of water addition, consequently decreasing shrinkage, increasing strength etc. And the bigger particles are broken into smaller fraction, which increases the plasticity.

### **Clay with leaves**

The mortar made only with stabilized clay has shown cracks in the buildings. To eliminate the crack formation leaves from the trees were mixed to the clay and water. The mixture was left till the leaves became rotten with continual mixing. The leaves have different ingredients which are in natural balance. On the surface there is wax, natural fibers, carbohydrate chlorophyll. These have different functions, The leaves when rotten, gives plasticity to the clay, fibers increases resistance against crack formation, wax increases resistance to water absorption. This will produce well compacted clay, which will be dense and less permeable. Consequently, it will produce higher strength and will enhance the durability.

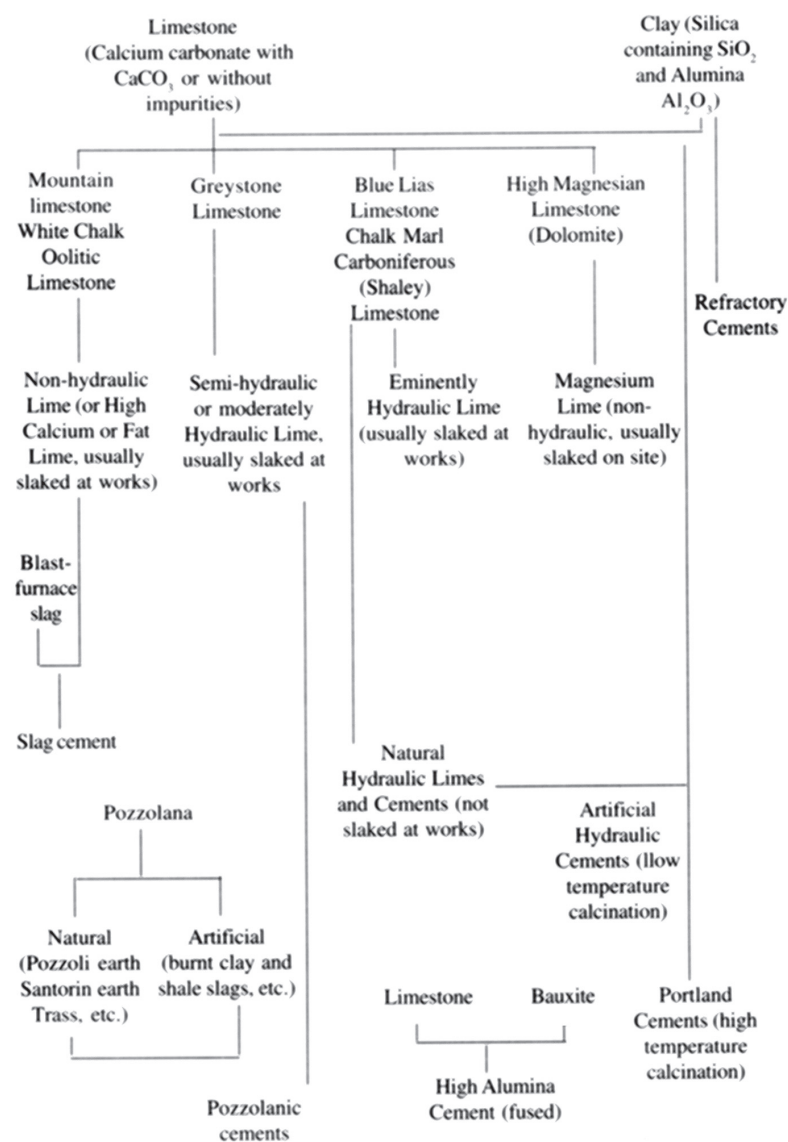
### **Lime**

Lime and gypsum were the other binders used in the construction. The earliest use of lime in construction work was in making plasters and stuccos [Flinders 1909]. Some of them dates back to 2300 BC and are still in good shape. The properties of plaster depend upon the type of raw materials and burning technique used for producing lime, slaking of lime and the application method. Indian subcontinent covers a vast area varying in geography and environment, thereby there are different raw materials for making lime. For example; in Bihar and Uttar Pradesh limestone rocks are found. In other places like those near the sea side plenty of oyster shells and conch are available. These are used for producing lime. Production of building lime and cements from different raw materials is shown in the Table I. Lime can be hydraulic or

o zmiennej geografii i środowisku, a więc stąd do produkcji wapna stosowane są różne surowce. Na przykład w regionie Bihar i Dolnym Pradeszu znajdują się złoża skał wapiennych. W innych regionach, jak na przykład leżących bliżej morza występuje dostatek skorupki ostryg i muszli. Są one stosowane do produkcji wapna. Rodzaje stosowanych surowców do produkcji wapna budowlanego i cementów pokazano w tablicy 1. Rozróżniamy wapno hydrauliczne i powietrzne. Wapno powietrzne wytwarza się z czystych wapieni, podczas gdy wapno hydrauliczne jest produkowane ze skał wapiennych o różnej zawartości minerałów ilastych. W Indiach jest stosowane wapno szybko gaszące się, wapno Kakukar oraz Surkhi (wapno czerwone).

Tablica 1 / Table 1

PRODUCTION OF BUILDING LIME AND CEMENTS



**Wapno szybko gaszące się**

To wapno było produkowane przez prażenie wapieni z zastosowaniem jako paliwa węgla, drzewa, granul z odchodów bydłowych, ułożonych w warstwach o grubości 3 cali (7,5 cm), na przemian z warstwami wapienia o grubości 9 cali (22,5 cm). Drzewo i od-

non-hydraulic. Non-hydraulic lime is produced with pure CaCO<sub>3</sub>, whereas hydraulic lime is produced by burning limestone rocks having contamination of clay

In India Quick lime, *Kakukar* Lime and *Surkhi* (Red lime) are used.

**Quick lime**

The lime was produced by burning limestone with fuel which was coal, wood, cakes from cow dung placed in layers, 3 inches (7.5 cm) fuel and 9 inches (22,5 cm) stones. Wood and cow dung contains a lot of organic materials together with high amounts of alkalis, which work like flux. This lowers down the sintering temperature, gives homogeneous heating and produces ash. The burning was stopped when 3/4<sup>th</sup> lime was burnt. Thus the lime produced was a mixture of well burnt, semi burnt and non burnt limestone. Non burnt limestone worked like fine aggregates and the ash which is highly reactive and is pozzolanic material the lime thus produced had hydraulic properties. It was used in construction. Now the question is if pure lime was used in ancient period? If so how was it produced?

**Kankar lime**

There is another type of lime used in India. known as “Kankar” lime. It is produced from unfertile clay, rich in iron, Big pieces were dug, broken into small pieces approx 1.5 inches (3.75 cm) and burnt with wood, coal and cow dung cakes as fuel. The burning time was 7 days. After 7 days the burnt Kankar was withdrawn from the bottom and the fresh Kankar and cinder were fed from the top. Thus, it was a continuous process. The lime produced was hydraulic lime. The material obtained after burning was a mixture of unburnt limestone, semi burnt limestone, burnt limestone, clay minerals and the ashes from the fuel, which were highly reactive pozzolanic material. It will not be exaggeration to say that these were highly hydraulic material and worked like pozzolanic cements

**Chunam or (Surkhi)**

It is very special type of lime used in India. And is made by pulverizing the red bricks, being of red color, it is also known as “Red lime”. It posse’s pozzolanic properties. It is used as one of the constituents of the cementing material. The other constituents varied depending upon whether the mixture was to be used solely for joining the bricks together or for coarse plastering over the walls or for the roof and floors.

**Slaking of lime**

Lime thus produced can not be used in building construction. It has to be slaked. It means it is to be converted to calcium hydroxide.

chody bydlące zawierają szereg substancji organicznych oraz mają dużą zawartość alkaliów, które odgrywają rolę topników. Obniża to temperaturę prażenia, zapewnia jednorodne ogrzewanie i daje popiół. Prażenie przerywano gdy 3/4 wapna uległo wypaleniu. W związku z tym, otrzymane wapno było mieszaniną wapna dobrze wypalonego, wypalonego częściowo oraz niezdekarbonatyzowanego. Nie wypalone wapno odgrywało rolę drobnego kruszywa, natomiast popiół, który był bardzo reaktywny, stanowił materiał pucolanowy, który powodował, że wapno miało właściwości hydrauliczne. Było ono stosowane w budownictwie. Nasuwa się pytanie czy czyste wapno było stosowane w czasach starożytnych? A jeżeli tak, to jak je produkowano?

## Wapno Kankar

Jest to inny rodzaj wapna, stosowanego w Indiach: znanego jako wapno „Kankar”. Jest ono wytwarzane z nieurodzajnej gliny\*, bogatej w żelazo. Duże kawałki były urabiane, kruszone na mniejsze o wymiarach około 1,5 cala (3,75 cm) i wypalane drzewem, węglem lub odchodami bydlęcymi. Wypał trwał 7 dni Po 7 dniach wypalone wapno Kankar wydobywano z dolnej części pieca i napelniano go świeżym surowcem od góry. Był to więc proces o działaniu ciągłym, wytwarzane wapno miało właściwości hydrauliczne. Produkt powstały w wyniku prażenia był mieszaniną niewypalonego wapienia, częściowo rozłożonego wapienia, minerałów ilastych i popiołu z paliwa i stanowił materiał o dobrych właściwościach pucolanowych. Nie będzie przesadą stwierdzić, że był to materiał o właściwościach hydraulicznych i stanowił rodzaj cementu pucolanowego.

## Wapno Chunan lub Surkhi

Jest to bardzo specyficzny rodzaj wapna stosowanego w Indiach. Jest ono wytwarzane przez rozdrobnienie czerwonych „cegieł” i z tego względu nazywa się ono „czerwonym wapnem”. Ma właściwości hydrauliczne. Stanowi ono jeden ze składników materiałów wiążących. Inne składniki zmieniają się w zależności od tego, czy mieszanina jest stosowana jedynie do łączenia cegieł lub do grubych tynków na ścianach lub na dachach oraz podłogach.

## Gaszenie wapna

Wapno palone nie może być stosowane w przemyśle budowlanym. Musi być zgaszone, to znaczy powinno być przekształcone w wodorotlenek wapnia. Gaszenie wapna odbywa się przez dodanie wody w wyniku czego uzyskuje się wapno hydratyzowane złożone z wodorotlenku wapnia. Jakość wapna hydratyzowanego zależy od ilości dodanej wody i okresu gaszenia. Mały dodatek wody da wapno budowlane, a duża ilość wytworzy zaczyn znany jako szpachlówka wapienna. Duża ilość wody powoduje powstanie grubych cząstek, a mały dodatek daje drobne cząstki. Przedłużony czas gaszenia zwiększa plastyczność i zwartość i zapewnia trwałą strukturę krystaliczną wodorotlenku wapnia. Ponadto wapień, który nie został wypalony, w tym samym stopniu ulega takiej samej

Slaking is done by adding water to the quick lime. This produces hydrated lime; calcium hydroxide. The quality of hydrated lime depends upon the amount of water added, and period of slaking. Small amount of water will produce building lime and large amount of water will produce a paste known as lime putty. Large amount of water produces coarse particle, and small amount of water produces fine particles. Prolong slaking time results in better plasticity, compactness and ensures stable crystal structure of calcium hydroxide. Moreover the limestone which was not burnt to the same degree gets hydrated to the same degree. For most of the purposes fine particle size with restricted particle size distribution is preferred.

Short slaking time results in some unslaked lumps, which are removed. In the ancient time the lime slurry was slowly passed through the steps. By so doing the big particles, which were not hydrated stay behind on the steps while the fine slurry flows down. Now days it is sieved through a 0.5 mm sieve

Slaking time or the maturity is the prime factor influencing upon the property of building lime. The time of slaking was controlled by the masons. There is an anecdote behind the slaking time. It is in connection with the construction of “Char Minar”, a monument in Hyderabad. Lime was slaked with sand in a pit; more than 20900 laborers were engaged by the Quly Qutub Shahi king to begin the construction and production of lime mortar. But at the time of use, the chief architect found the lime not well matured, thereby not good for use. But he was scared to tell to the king of Golconda, as it could delay the whole plan, at the same time, being responsible for the quality of construction, he knowingly could not allow the use of unmatured lime. The monument was planned to be constructed much before the foundation was laid for Hyderabad itself. He was in a dilemma, seeing no solution, he went underground. A massive hunt was launched and announcements were made through out the Golconda Kingdom for tracing him, after a long period of time, he appeared before the king and explained, that he was absconding for the period needed for the lime to get matured, but could not dare to tell. To the surprise of the court, the king despite of being angry at him for delaying the construction, asked him to begin the work, and subsequently, the monument was completed within two years, high workability, water retentivity, plasticity, more adhesive power and a few other qualities seem to have encouraged the Qutub Shahi kings to make extensive use of lime mortar in almost all the monuments and palaces by them. The high quality of lime mortar used by the Qutub Shahi architects can be gauged by the fact that these monuments constructed by them is still intact while the south west minaret which fell into pieces in 1707 due to the lightning and was rebuilt by the Moghul architects, is not so strong.

## Slaking with leaves

The mortar made from the lime produced cracks. So the leaves from the tree were mixed with the quick lime and water and were

hydratacji. Dla większości zastosowań preferowany jest drobny skład ziarnowy, o wąskim przedziale uziarnienia.

Krótki czas gaszenia powoduje występowanie niezgaszonych brył, które muszą być usuwane. W starożytnych czasach szlam wapienny był powoli przepuszczany przez stopnie. Ten proces powodował, że duże cząstki, które nie uległy hydratacji pozostają przed stopniami, a drobny szlam spływał w dół. Obecnie przesiewa się wapno przez sito 0,5 mm.

Czas gaszenia lub dojrzewania jest głównym czynnikiem wpływającym na właściwości wapna budowlanego. Czas gaszenia był kontrolowany przez kamieniarzy. Jest anegdota na temat czasu gaszenia. Wiąże się ona z budową „Char Minar”, pomnika w Hyderabad. Wapno z piaskiem gaszono w dołach; ponad 20900 robotników było zatrudnionych przez króla Quly Qutub Shaki w celu podjęcia budowy i do produkcji zaprawy wapiennej. Jednak gdy nadszedł czas rozpoczęcia jego stosowania główny architekt stwierdził, że wapno nie było dostatecznie dojrzałe, a więc nie nadawało się do stosowania. Jednak bał się powiedzieć królowi Golcondy, gdyż mogło to opóźnić realizację całego planu, a równocześnie jako odpowiedzialny za jakość budowli, wiedział że nie można dopuścić do stosowania niedostatecznie dojrzałego wapna. Planowano budowę świątyni znacznie przed położeniem fundamentów dla samego Hyderabadu. Będąc w kłopotach i nie widząc rozwiązania zniknął. Zarządzono wielkie poszukiwania i ogłoszono nawet poza królestwem Golconda o jego poszukiwaniach, gdyż mogło to opóźnić realizację całego planu. Po długim okresie pojawił się przed królem i wyjaśnił, że on się ukrył na okres potrzebny do osiągnięcia przez wapno należytej dojrzałości, gdyż nie ośmielił się o tym powiedzieć. Ku zaskoczeniu dworu król, mimo że był na niego zły za opóźnienie budowy, zażądał od niego rozpoczęcia prac i budowa została zrealizowana w ciągu dwóch lat. Duża urabialność, zdolność do zatrzymywania wody, plastyczność, dobra przyczepność oraz inne zalety skłoniły króla Qutub Shahi do zwiększenia wykorzystania zaprawy wapiennej do budowy niemal wszystkich obiektów. O dobrej jakości zaprawy wapiennej stosowanej przez architektów Qutub Shahi świadczy dobra trwałość zbudowanych przez nich obiektów do obecnych czasów, podczas gdy południowo-zachodni minaret, który rozpadł się w roku 1707 w wyniku pożaru i został odbudowany przez architektów z Moghulu, nie wykazuje takiej trwałości.

## Gaszenie wapna zawierającego liście

Zaprawy wapienne wykazywały pęknięcia. W związku z tym, mieszano wapno palone z wodą i z liśćmi drzew, aż te ostatnie uległy zniszczeniu w wyniku długotrwałego mieszania. Liście wpływały na zaprawę w ten sposób, jak to opisano w przypadku gliny.

## Gaszenie z piaskiem

W czasach starożytnych wapno gaszono z piaskiem w dołach, które następnie wykorzystywano jako tynki i zaprawy. Osiągały one znacznie lepsze wytrzymałości od zapraw gaszonych bez piasku, a przyczyna była następująca:

left till they became rotten with continual mixing. The leaves interact in the same way as is explained earlier with clay.

## Slaking with sand

In ancient time, the lime was slaked in pits with sand which was later used as plaster and mortar. It produced much better strength than the mortar slaked without sand, the reason behind is expected to be as follows:

In the first stage water interacts with burnt lime and produces calcium hydroxide, and some sodium and potassium hydroxide which may come from the impurities in limestone used for lime production. The surface of silica immersed in water show a weak acid character, in the high alkali environment sodium and potassium diffuse to maintain the electrical balance. They attract water and forms gelatinous alkali silica gel. It later interacts with calcium and produces calcium silicate hydrate, which is a binder.

## Hardening process

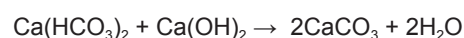
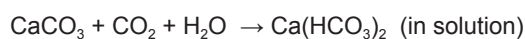
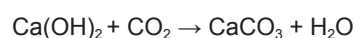
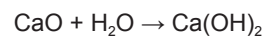
Here two cases are discussed; 1) when only lime is used as a binder and in the second case, 2) when lime-pozzolanic or lime pozzolana and clay are used as binder.

Slaked lime hardens when come in contact with carbon dioxide from the air, which converts it to calcium carbonate, and also when the CH gel is dried.

The carbonation process of lime mortar takes place in two stages:

1. Calcium hydroxide changes to calcium carbonate (in the presence of moisture and carbon dioxide).
2. Water rich carbon dioxide dissolves part of calcium carbonate formed in the first stage to form soluble calcium bicarbonate. This newly formed calcium bicarbonate reacts with calcium hydroxide and forms  $\text{CaCO}_3$ . This recrystallizes with a lowering of moisture or rise in the temperature.

Carbonation in two stages gives greater strength and tightness to the lime mortar than a single process. Frequent rapidly repeated changes in moisture will facilitate the dissolving process, which is contrary to the cement base mortar.



It is seen that the cycle is complete (Figure 1) of the desired shape. Which is found in nature and thereby is stable in wide range of environmental conditions. Apart from this the alkalis form calcium silicate gel, which gives strength.

Pozzolana is the materials which have latent hydraulic properties and are capable of hardening as a consequence of their reaction

W początkowym okresie woda reaguje z wapnem palonym z utworzeniem wodorotlenku wapniowego oraz wodorotlenku potasu, który mógł pochodzić z zanieczyszczeń w wapieniu stosowanego do produkcji wapna. Powierzchnia krzemionki zanurzonej w wodzie wykazuje słabo kwaśny odczyn, natomiast w środowisku alkalicznym sód i potas dyfundują w celu zrównoważenia ładunku. Adsorbują one wodę tworząc koloidalny żel z krzemionką. Następnie zachodzi reakcja z wapnem z utworzeniem uwodnionego krzemianu wapniowego, który ma właściwości wiążące.

## Proces twardnienia

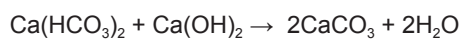
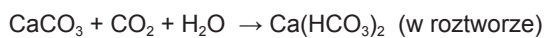
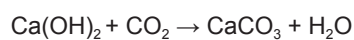
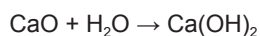
Zostaną przedyskutowane dwa przypadki: 1) kiedy tylko wapno jest stosowane jako spoiwo 2) i drugi gdy wapno z pewnymi właściwościami pucolanowymi lub z dodatkiem pucolany pochodzącej z gliny są stosowane jako spoiwo.

Wapno gaszone pod wpływem dwutlenku węgla z powietrza ulega przemianie w węglan wapniowy, co zachodzi także w trakcie suszenia żelu CH.

Proces karbonatyzacji zaprawy wapiennej przebiega w dwóch stadiach:

1. Wodorotlenek wapniowy przechodzi w węglan wapniowy (w obecności wilgoci i CO<sub>2</sub>).
2. Zawarty w wodzie bezwodnik kwasu węglowego rozpuszcza część węglanu wapniowego utworzonego w pierwszym stadium i tworzy wodorowęglan wapniowy. Powstały wodorowęglan reaguje z wodorotlenkiem wapnia tworząc CaCO<sub>3</sub>. Ten ostatni ulega rekrystalizacji przy spadku wilgoci lub wzroście temperatury.

Karbonatyzacja przebiegająca w dwóch stadiach zapewnia większą wytrzymałość i szczelność zaprawom wapiennym niż proces w jednym stadium. Częste, szybko powtarzające się zmiany w dostępie wody, ułatwiają proces rozpuszczania, czym zaprawy wapienne różnią się od cementowych.



Ze schematu pokazanego na rysunku 1 wynika, że proces przebiega w dobrym kierunku, co zresztą zachodzi w przyrodzie i w związku z tym daje trwały układ w dużym zakresie zmian środowiska. Niezależnie od tego procesu sód i potas powodują powstawanie żelu uwodnionego krzemianu wapniowego, który zapewnia wytrzymałość.

Pucolany są materiałami, które mają ukryte właściwości hydrauliczne i są zdolne do twardnienia w wyniku reakcji z wodorotlenkiem wapniowym, w wodzie. Ta grupa materiałów obejmuje tak naturalne surowce

with calcium hydroxide and water. The family comprises of both natural materials used in the ancient period, thousands of years ago, ash from the fuel, pulverized burnt clay "Surkhi" and the artificial materials such as fly ash, silica fume, burnt clay etc. In India burnt clay- and pulverized red bricks "surkhi" are used as the pozzolanic materials. They contribute significantly in the production of blended cements. It is estimated that 65% production of cements consisted of blended cements [Narang and Ahluvalia 1982]

In addition to the hardening process of lime pozzolana is due to the carbonation and the chemical interactions between the ingredients of pozzolanic material and Ca(OH)<sub>2</sub>, and alkalis present in the hydrated lime. The binding properties are due to the production of calcium silicate hydrates (C-S-H gel), which are colloidal formation and have varying composition. Their composition differs from that of the Portland cements hydration products, due to the presence of very high amount of amphoteric oxides (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), acidic oxides (SiO<sub>2</sub>) and the oxide of alkaline metals sodium and potassium. The hydration process of lime and lime-pozzolana is shown in the Figures 1 and 2. It means that the end products are the same as were used in the beginning, which are found in nature and thereby are stable in wide range of environmental conditions.

The durability and strength of the ancient mortars are due to the calcium silico-alumino hydrates, and that one structure formation component is the amorphous crypto crystalline zeolite, sodium – potassium analcine. And not the carbonation of lime. Recarbonation of lime takes place very slowly, over several months and years, but the formation of analcine can occur in a few hours., therefore the recarbonated lime appears to act as an inert filler when combined with analcine matrix.

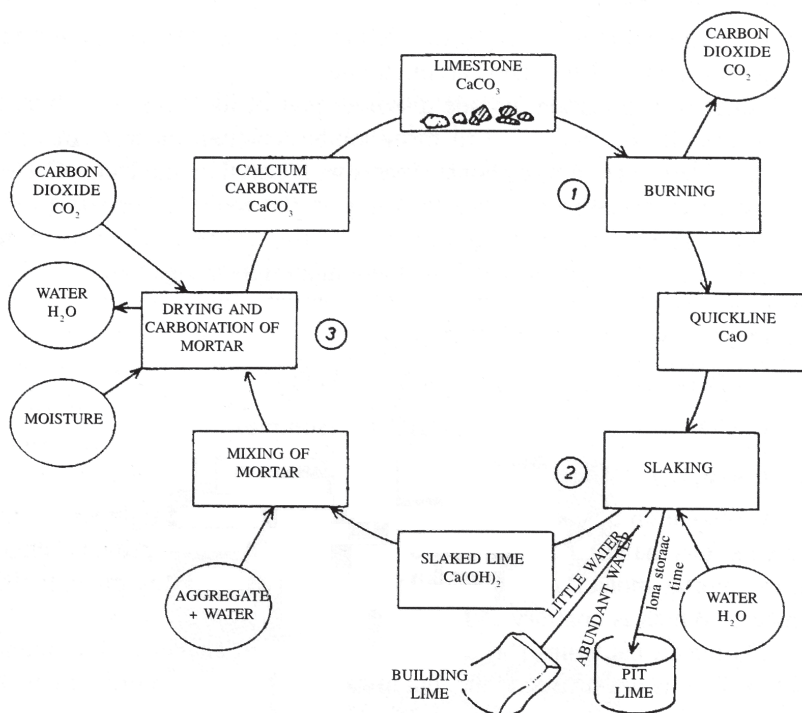


Fig. 1. Lime cycle

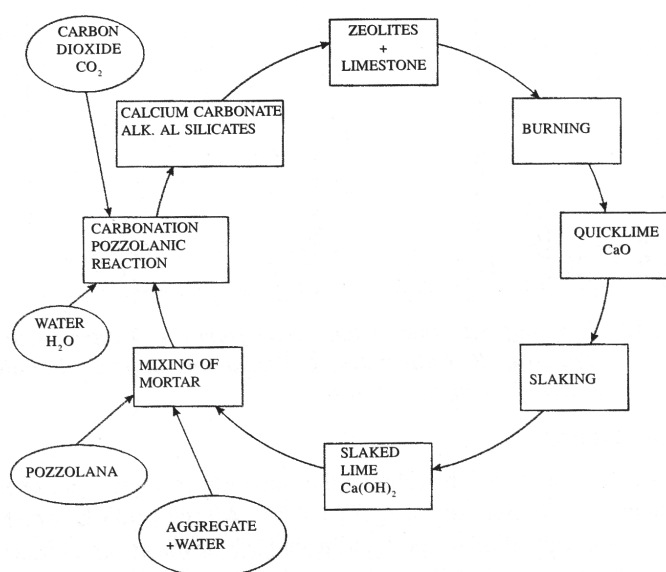


Fig. 2. Lime pozzolana cycle

stosowane w czasach starożytnych tysiące lat wcześniej, popiół z paliwa, prażoną glinę itd. W Indiach prażona glina i rozdrobniona czerwona cegła „surkhi” są stosowane jako materiały pucolanowe. Mają one duży udział w produkcji cementów wieloskładnikowych. Ocenia się, że 65% produkowanych cementów należy do tej grupy (Narang i Ahluvalia 1982).

Ponadto proces twerdnienia wapienno-pucolanowych spoiw jest spowodowany karbonatyzacją i innymi reakcjami chemicznymi związanymi ze składnikami tego spoiwa z  $\text{Ca(OH)}_2$  oraz alkaliami zawartymi w gazonym wapie. Proces wiązania jest spowodowany powstawaniem żelu C-S-H, który ma zmienny skład. Jego skład różni się od produktów hydratacji cementu portlandzkiego w związku z dużą zawartością tlenków amfoterycznych ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), tlenków kwaśnych ( $\text{SiO}_2$ ) oraz metali alkalicznych: sodu i potasu. Proces hydratacji wapna i spoiwa wapienno-pucolanowego pokazano schematycznie na rysunkach 1 i 2. Wynika z niego, że produkty końcowe są takie same jak stosowane na początku procesu i występujące w naturze, a więc są trwałe w szerokim zakresie zmian środowiska.

Trwałość i wytrzymałość starożytnych zapraw jest spowodowana obecnością uwodnionych krzemiano-glinianów wapniowych oraz dodatkowym składnikiem, którym jest bezpostaciowy, skrytokrystaliczny zeolit sodowo-potasowy, analcym. Nie wynika ona z karbonatyzacji wapna. Rekarbonatyzacja wapna zachodzi bardzo powoli, szereg miesięcy i lat, podczas gdy powstawanie analcymu może zająć w ciągu kilku godzin, w związku z czym wapno, które uległo wtórnej karbonatyzacji spełnia rolę wypełniacza w matrycy analcymowej.

## Tynki i zaprawy

Właściwości budowlane związane są z rodzajem spoiwa, metodą jego produkcji i sposobem jego zastosowania, a więc zależą nie tylko od spoiwa. Metoda otrzymywania może zmodyfikować w znacznym

## Plasters and mortars

The performance of building is related to the type of the binder, method of its preparation and the way it is applied., and not only on the binder. Method of preparation can change significantly its properties, and the place of use can change the application technique. There is varied composition for different applications. Preparation of some of the plasters and mortar for particular use is described;

### Preparation of mud plaster

It is prepared from a soil or clay whose main constituents are silica and is free from vegetable roots, stone gravel, Kankar, coarse harmful efflorescent salts. It is broken up to fine powder and mixed up with water. After 12 hours, the mortar is trodden with mans feet or spades, turning over and over and over again to make it homogeneous mass of working consistency. It is matured for at least two days. To increase the tensile strength of the mortar fibrous material like straw, hemp, rice husks or animal hairs or cow dung is to be added

### Preparation of lime mortar

It is prepared by mixing and grinding lime putty, and *surkhi* in specific proportions usually 1:2 [1 lime:2 sand *surkhi*, etc] measured in boxes of suitable sizes on a water tight platform or troughs or grounded in masonry lined mortar mill driven by animal. The track of the mill shall be sloped outward and kept well consolidated and watered. No dust or mud is allowed to fall into the mortar being grounded. In case of small work, where the use of mortar mill or mechanical mixer is not feasible, the mortar may be hand mixed. The mortar should be used on the day it is made.

### Preparation of lime cement mortar or Compo mortar

Compo mortar is a mixture of lime, cement and sand. It is usual to mix lime as explained earlier and then gauge the mixture with the necessary proportion of cement immediately before the mortar is required for use. The amount of cement increases the hydraulicity of the mortar, besides the strength, the rate of hardening is accelerated. The general ratio is 1:1:6 [1 cement:1 lime:6 sand] or 1:1:10 or 1:1:12.

### Preparation of cement mortars

It is stronger than the other mortars mentioned and is therefore used in the construction work where more strength is required. The usual composition is 1 part cement to 3 parts of sand. The unit of measurement shall be a bag of cement weighing 50 kg and this shall be taken as  $0.035 \text{ m}^3$ . Sand in the specified proportion shall be measured in the boxes of suitable size (35x25x40 cm) The mixing shall be done either in a mechanical mixer or by hand as explained earlier in the case of lime mortar.

stopniu jego właściwości, a miejsce zastosowania może zmienić technikę stosowania. Jest różny skład do różnych zastosowań. Sporządzanie tynków i zapraw do szczególnych zastosowań opisano poniżej.

### Przepracowanie tynków z mułu

Wykonywało się je z ilitu lub gliny, których głównym składnikiem jest krzemionka i nie powinny one zawierać korzeni roślin, żwiru, Kankaru i szkodliwych soli powodujących wykwity. Kruszyło się te surowce na proszek i mieszało z wodą. Po 12 godzinach zaprawę udeptywali robotnicy lub stosowali do tego ubijaki, przesypując materiał szereg razy, aż do powstania jednorodnej masy o roboczej konsystencji. Następnie zaprawa dojrzewała co najmniej dwa dni. W celu zwiększenia wytrzymałości zaprawy na rozciąganie stosowano dodatki włókniste takie jak słoma, łuski ryżowe, konopie, sierść zwierzęca, lub krowie łajno.

### Przepracowanie zaprawy wapiennej

Przepracowano tę zaprawę mieszając i mieląc gęstwą wapienną i surkhi w specjalnych proporcjach, zwykle 1:2 [1 wapno: 2 piasek surkhi] odmierzanych w pojemnikach o odpowiednich wymiarach, na nie przepuszczających wody platformach lub korytach, względnie mielono w młynie z wykładziną kamienną, napędzanym przez zwierzęta. Wylot z młyna był nachylony na zewnątrz, odpowiednio umocniony i zasilany wodą. Ani pył ani muł nie powinny wpadać do młyna w trakcie mielenia. W trakcie drobnych prac, w których nie opłacało się stosować młyna lub mieszania mechanicznego, zaprawę mieszano ręcznie. Zaprawę powinno się używać w dniu jej przepracowania.

### Przepracowanie zapraw wapienno-cementowych zwanych Compo

Zaprawa Compo jest mieszaniną wapna, cementu i piasku. Mieszanie wapna, jak to wyjaśniono wcześniej jest przyjętym postępowaniem, a następnie miesza się z odpowiednim dodatkiem cementu, bezpośrednio przed użyciem zaprawy. Dodatek cementu zwiększa hydrauliczność zaprawy, a oprócz wytrzymałości także tempo twardnienia jest zwiększone. Ogólny udział wynosi 1:1:6 [1 cement, 1 wapno, 6 piasek] lub 1:1:10, względnie 1:1:12.

### Przepracowanie zapraw cementowych

Ma ona większą wytrzymałość od omówionych zapraw i z tego względu jest stosowana do prac budowlanych w przypadkach wymagających takiej wytrzymałości. Przeciętny skład wynosi 1 część cementu i 3 części piasku. Jako jednostkę przy dozowaniu można przyjąć worek cementu ważący 50 kg, co odpowiada 0,035 m<sup>3</sup>. Porcję piasku, w celu zachowania podanych proporcji, można odmierzać w skrzynkach o odpowiednim wymiarze (35 x 25 x 40 cm). Proces mieszania można przeprowadzać w mechanicznej mieszalce lub ręcznie, jak to opisano w przypadku zaprawy wapiennej.

### Unit of measurement

The unit of measurement for cement is a bag of cement weighing 50 kg, and this shall be taken as 0.035 m<sup>3</sup>, and the lime shall be measured in quintal, 4.51 q of slaked lime being equal to 0.58 m<sup>3</sup> or 0.7125 m<sup>3</sup> of lime putty.

### For the repair of marble work, the mortar used consisted of following ingredients;

White lime or marble= 500 g

Marble dust=400g

Burnt zinc powder=300g

Gum=100g

*Dal urad*=100g

*Patacha* 100 g

*Mataagi* 50g

*Tukhm + belanga* 50 g

Gum is first soaked in water and other ingredients are grounded in the gum + water in form of a thick paste, when ready it is kept in earthen pots, well soaked in water and taken out as required. The mortar will remain fresh for a week or ten days. Nowadays, epoxy resin is being used in place of above stated mortar for inlay work and cement mortar in the ratio of 1:3 is used for marble work, the pointing of which is done with 1:2 (1 white cement:2 marble dust) mixed with colouring pigments to match the colour of stone used.

### Plasters and mortars from Indian Mythological books

Special plasters and mortars have been developed and used for joining the bricks and for plastering the temples walls. These are known as *Vajralep* (Stonehard plaster), and have reference in the Indian Mythological books (*Shilpratna*, *Mansouullas*; and *Abhilash Chintamani*, *Vishnu Dharmottra Puran*), (Chapter 40). And dates back to 2<sup>nd</sup> BC. These was made by mixing the organics in the mud and mud-lime mixture together with sand, small crushed pieces of the burnt clay and stones. There are four types of *Vajralep*:

1. Kalk samanyalep (ordinary plaster)
2. *Vajralep samanya*
3. *Vajralep* for floor
4. *Vajralep* with metal

For making *Vajralep* first of all a solution is prepared by boiling some substances in water. This is mixed in the mud or mud lime in place of water to make the plaster. The substances used and the method of preparation is described here:

1. *Samanyalep*; This is use to be the basic solution. In a pint of water dry fruits of *tendu* and *kaitha*, flowers of *semaul*, seeds of *salai*, skin of *Dhanvaj* and *vach* tree are mixed and cooked over fire. When one eight part of the solution is left, gum from



## Jednostki pomiarowe

Jednostką pomiarową w przypadku cementu jest worek 50 kg i przyjmuje się, że to 0,035 m<sup>3</sup>, a wapno przyjmuje się jako 4,51 *kwintala* wapna gaszonego, co odpowiada 0,58 m<sup>3</sup> lub 0,7125 m<sup>3</sup> *wapna szpachlowego*.

W celu napraw elementów z marmuru stosuje się następujący udział składników:

białe wapno – 500 g

pył marmurowy – 400 g

prażony pył cynkowy – 300 g

guma – 100 g

Dal urad – 100 g

Patacha – 100 g

Mataagi – 50 g

Tukhm + belanga – 50 g

Gumę najpierw nasycy się wodą i inne składniki mieli się w mieszaninie gumy z wodą, w celu otrzymania gęstego zaczynu i umieszcza w garnkach glinianych, a po dobrym nasyceniu wodą wyjmuje się do stosowania. Zaprawa jest przydatna do użycia przez 7-10 dni. Obecnie do napraw marmuru stosuje się żywice epoksydowe zamiast opisanej wyżej zaprawy oraz zaprawy cementowe w stosunku 1:3, przy czym cement biały jest zmieszany z pyłem marmurowym w stosunku 1:2 i dodatkowo z pigmentami barwiącymi w celu oddania koloru kamienia.

## Tynki i zaprawy z indyjskich ksiąg mitologicznych

Opracowano specjalne tynki i zaprawy do łączenia cegły i nakładania tynków na ścianach świątyń. Znane są one jako *Vajralep* (tynk o twardości kamienia) i są opisane w indyjskich dziełach mitologicznych [Shilpratna, Mansouullas; Abhilash Chintamani, Vishnu Dharmottra Puran – rozdział 40]. Datowane są na drugi wiek przed Chrystusem. Wykonywano je przez zmieszanie dodatków organicznych z mułem lub z mieszaniną wapna z mułem i z piaskiem, małymi cząstkami pokruszonej gliny prażonej lub surowców skalnych. Są cztery rodzaje *Vajralep*:

1. Kalk *samanyalep* (zwykły tynk)
2. *Vajralep samanya*
3. *Vajralep do podłóg*
4. *Vajralep z metalem*

W celu sporządzenia *Vajralep* najpierw przyrządza się roztwór przez gotowanie pewnych substancji w wodzie. Następnie miesza się go z mułem lub z mułem i wapnem w miejsce wody w celu sporządzenia tynku. W metodzie tej stosuje się następujące substancje:

1. *Samanyalep*; jest to roztwór zasadowy w pincie (0,57 l) wody, suche owoce *tendu* i *kaitha*, kwiaty *semaul*, pestki *salai*, skórka *Dhanvaj* i drzewo *vach* miesza się i gotuje na ogniu. Gdy 1/8

*sara* tree, *gugul*, *bhilawa*, deodar tree gum are added. Linseed were crushed, made into a paste, and mixed with the water cooked solution. The amount of these materials depended upon the service conditions to which the plaster was exposed and was decided by the wise mason.

2. The solution made here is by the same procedure as is mentioned in 1. Only a few other types of substances are used. These are; *lac*, *Nagbala*, *Mahua* flowers and *sarj*, *Majeed ral* and *Sarj*.
3. In the solution prepared by the procedure mentioned earlier; powder of cattle and goat horns, hairs of donkey, glue obtained by boiling the cattle skin, cow dung, seeds of *neem* are mixed
4. In the ground plaster mentioned in 1, some metals are mixed additionally. According to *Vishnudharmotra Puran* eight part of tin or glass, two parts of "kansa" and on part pf riti (rust of iron) was mixed. In another Book (*Vraha Sangrihta*) eight part of glass and two parts of lead "kansa" and one part of brass is mentioned.

Besides the inorganic materials, organics were also mixed in making *Vajralep*. These products divided in 3 groups according to their composition and characteristic properties;

1. material containing fruit pulp which gets hard when dried (for hardness),
2. material producing gum (for adhesion),
3. Fibrous material (for reinforcement).

The details of these products are given some where else.

According to *Vhatsangrita*, *Vajralep* prepared in this way is to be used over burnt brick and stones. By so doing the building attains high strength. It is seen that most of the mortars and plasters described are based upon mud. It is due to its easy access, good workability, and high performance, and on top of it is cheap. These characteristic properties have made them popular and became traditional so much so that even today it is customary to use straw, cotton flowers, *curd ki aadl*, raw sugar, and other materials which impart smoothness, high strength and good adhesion. These natural materials are used in the plasters over the mud wall and in the material for making the roofs over the houses.

## Plasters in different periods

Plasters of different styles were used in different periods. Some important styles of plasters, which represent an entire gamut of the development in the area of plasters from the earliest *Vinay Pitak* and *Bukshas*, are given here. *Vinay Pitak* has 4 sections:

a) *Patimokha*, b) *Sutta vibhanga*, c) *Kandahakas*, and *Privara*. It is subdivided into *Mahavaga* and *Chullavaga*. Plasters are described in *Chullavaga*, which deals with the residence of the *Bhikshus*

The compositions, which are given here, contain comprehensive information about the construction, such as support, type of plaster, ingredients of plaster, wall sections, relief work, floors etc.

roztworu zostanie odparowana dodaje się żywicę z drzewa *saral*, guggul, *bhilawa*, i żywicę z drzewa deodar. Siemię lniane kruszy się, zarabie zaczyn i miesza z zagotowanym roztworem wodnym. Ilość tych materiałów zależy od warunków pracy tynku i decyzję podejmuje rozsądny kamieniarz.

2. Stosuje się ten sam roztwór, co w punkcie 1. Używa się tylko kilku innych rodzajów substancji. Są to *lac*, *Nagbala*, kwiaty *Mahua* i *sarj*, *Majeed ral* i *Sarj*.
3. Do roztworu sporządzonego metodą opisaną wcześniej, dodaje się proszek z rogów bydlęcy i kozła, skóry osła, klej otrzymany przez gotowanie skóry bydlęcej, łajno krowie, ziarenka *neem* i miesza.
4. Do zmielonego tynku opisanego w 1 dodaje się pewne metale. Według *Vishnudharmotra Pura*n osiem części cyny lub szkła, dwie części *kansa* i jedną część rdzy żelaznej i miesza. Inne dzieło (*Vraha Sangrihta*) podaje osiem części szkła i dwie części ołowiu *kansa* oraz jedną część mosiądzu.

Poza nieorganicznymi, także materiały organiczne dodaje się sporządzając *Vajralep*. Te substancje można podzielić na trzy grupy według ich składu i właściwości;

1. dodatek zawierający pulpę z owoców, która twardnieje po wysuszeniu (w celu zwiększenia twardości),
2. materiał wytwarzający gumę (adhezja),
3. materiał włóknisty (zbrojenie).

Szczegóły tych materiałów można znaleźć także w różnych dziełach. Według *Vhatsangrita Vajralep* przygotowany tą metodą można stosować do cegły palonej i materiałów kamiennych. Jego stosowanie zapewnia budowli dużą wytrzymałość. Wynika z tych opisów, że muł jest zasadniczym składnikiem tych tynków i zapraw. Wynika to z łatwego dostępu, dobrej jego urabialności i właściwości, a także głównie z niskiej ceny. Te czynniki uczyniły go popularnym i jest to tradycja ważna, gdyż nawet dzisiaj stosuje się słomę, kwiaty bawełniane, *curd ki aadl*, surowy cukier i inne materiały, które nadają gładkość, dużą wytrzymałość i dobrą przyczepność tynkom i

Ingredients mentioned here is both organic and inorganic origin. Organic materials used were to enhance the durability properties (Chandra. 2003).

## Analyses of plasters from some monuments

In recent years interest has been developed to determine why ancient concrete are so much durable [Davidovitz] than the concrete today. Ancient concrete in Roman structure has remained unaffected by severely corrosive conditions, such as flowing water and salt laden air in a period of more than 200 years, whereas modern concrete has suffered extensive damages in the same conditions in a period of ten years. One example which can be cited is the rehabilitation of the roman baths in Tiberia where Portland cement concrete has been used. The restored structure has been dramatically damaged. [Malinowski].

## Excavations by archaeological survey of India

The Indus civilization of the Bronze Age is amongst the four worlds known civilization. It has variously been called the "harrappan civilization". The civilization arose from the people around 5000 BC, who have migrated from Baluchistan to the river valley of Indus and *Saraswati*. The remains of these great civilization were first discovered in 1921-22 when *Harrappa* was excavated and a year later *Mohen-jo-daro*, since then more than 1400 sites have been discovered and more than 2 dozens have been excavated by ASI. Excavations done by the Archaeological Survey of India has revealed interesting facts. Plasters from some of the monuments; *Mohenjo-jo-daro*, *Harrappa*, *Char Minar*, *Fatehpur Sikri* were analyzed by Sane Ullah (1965) The results are presented.

## Mohen-jo-daro and Harrappa

*Mohen-jo-daro and Harrappa*, are two cities of Indus Valley Civilization developed in the 3<sup>rd</sup> and 2<sup>nd</sup> millennium BC these were built

Tablica 2 / Table 2

	<i>Vinay Pitak (I)</i>	<i>Vinay Pitak (II)</i>	<i>Vinay Pitak (III)</i>	<i>Vishnu Dharmottar</i>	<i>Ajanta Style</i>	<i>Bagh style</i>	<i>Samanga Sutradhara</i>
Period	3 <sup>rd</sup> BC	3 <sup>rd</sup> BC	3 <sup>rd</sup> BC	4 <sup>th</sup> -5 <sup>th</sup> A.D	2 <sup>nd</sup> century BC-6 <sup>th</sup> Century A.D	7 <sup>th</sup> century A.D	10 <sup>th</sup> century A.D
Edited By	Majumdar R.C	Majumdar R.C	Majumdar R.C	Khemraj Shri krisnadas			King Bhoj
Support	Bricks	Bricks	Bricks	Stones	Volcanic trap rock or basalt	Stones	Stones
Plaster	Mud plaster	Mud plaster	Mud plaster	Brick powder, mud	Mud plaster	Lime plaster	Mud plaster
Ingred lents	Clay, cow dung and ash	Mustard cake, clay, bee-wax and oil	Clay, rice husk	Brick powder, clay, guggul., bee-wax, mahua flowers, cast iron powder, belgiri fruit pulp, bark of neem	Clay, cow dung, rice husk, stone powder, lime, kidney beans, jaggery	Lime. Surkhi, gravel, hemp fibres	Sand, clay, juice of cactus, surname extract, milk of cow, fruits of neem, belgiri fruit pulp

Tablica 3 / Table 3

	<i>Apparajita Preccha</i>	<i>Abhilasitaha Chintamani</i>	<i>Shilpratna</i>	<i>Jaipur style</i>	<i>Chamba style</i>	Traditional Mud plaster
Period	11 <sup>th</sup> century A.D.	12 <sup>th</sup> century A.D.	16 <sup>th</sup> century A.D.	16 <sup>th</sup> century A.D.	Late 16 <sup>th</sup> century A.D.	20 <sup>th</sup> century A.D.
Edited by			Shri Kumara			
Support	Stones	Stones	Stones	Stone	a)stone rubble and mud enclosed in battens, b) thin bricks	Bamboo and grass
Plaster	Mud plaster	Lime plaster	Lime plaster	Lime and marble chip plaster	Mud plaster	Mud plaster
Ingredients	Chalk, red ochra, yellow ochra, linseed, barley flour, bark of ficus, milk of cow, jaggery, oil	Chalk, powder of conch shell, gur and glue	Lime from conch, shell, ripe banana, sand, cashew nut milk, kidney beans, jaggery	Lime, marble chips, fine marble powder, milk, guggule, curd, jaggery	Clay lime, sand and natural fibers	Mud straw, cow dung

zaprawom. Te materiały są stosowane do tynków do pokrycia ścian z mułu i do materiałów na dachy do domów.

### Tynki w różnych okresach

Tynki o zmiennej fakturze stosowano w różnych okresach. Pewne ważne style, które obejmują całą gamę rozwoju w zakresie tynków od najwcześniejszych *Vinay Pitak* i *Bukshas* można znaleźć w dziełach: *Vinay Pitak*, ma ono cztery działy: a) *Patimokha*, b) *Sutta vibhanga*, c) *Kandahakas* i *Privara*. Ten ostatni dzieli się na *Mahavaga* i *Chullavaga*. Tynki są opisane w *Chullavaga*, który dotyczy rezydencji *Bhikshus*.

Składy, które są tam podane zawierają wyczerpujące informacje o budowli, a mianowicie podpory, rodzaj tynku, jego skład, ściany, płaskorzeźby, podłogi i inne. Składniki tam stosowane są pochodzenia organicznego jak i nieorganicznego. Substancje organiczne miały na celu zwiększyć trwałość (Chandra 2003).

### Analiza tynków z kilku budowli zabytkowych

W ostatnich latach zainteresowano się przyczynami trwałości starożytnych betonów (Davidovitz), znacznie większej niż betony obecne. Starożytne budowle rzymskie pozostały nienaruszone pomimo ostrych warunków wywołujących korozję, takich jak przepływająca woda i zawierająca różne sole wilgoć, przez dwieście lat, podczas gdy nowoczesne betony ulegają uszkodzeniom w tych samych warunkach w ciągu dziesięciu lat. Jednym z przykładów może być odnowienie łaźni rzymskich nad Tybrem, gdzie zastosowano cement portlandzki. Odnowiona budowla została bardzo zniszczona (Malinowski).

### Wykopaliska archeologiczne w Indiach

Cywilizacja w dolinie Indusu należy do czterech znanych światowych cywilizacji z okresu brązu. Jest ona różnie nazywana na przy-

with kiln fired bricks and mortars. The mortars used were mainly consisted of mud. In the later period gypsum cement of light color was employed for painting the walls of certain buildings at *Mohen-jo-daro*. Lime mortar free from gypsum was not discovered in the walls at *Mohen-jo-daro*, whereas the mortar found in the earthenware vat at this site consist of lime and sand. The high proportion of clay and sand in these samples is noteworthy. Therefore it appears highly probable that the lime used was made by burning *Kankar* or the calcareous nodules, which are widely found in the upper India. This even today is an important source of lime production [Agarwal 1953]. *Kankar* lime contains high amount of amphoteric oxides ( $Fe_2O_3$  and  $Al_2O_3$ ), the analyses have shown high amounts of alkali salts, which might have come from the ashes formed from burning the lime. These interact chemically and forms alkaline silico-alumino hydrates and that one of the structural formation components in these is amorphous cryptocrystalline zeolite, sodium-potassium analcine, which are responsible for high strength and longer durability.

### Sanchi

In the ruins of a Brahmanic temple around Sanchi traces of lime mortar were detected. Together with zeolites (alkali aluminium silicates). It is an evidence of the early use of lime -pozzolanic cement. It was built in the 2<sup>nd</sup> millennium BC. It is situated in south-west of Vidisha in Madhya Pradesh, India. It has unique assemblage of diverse monuments, from 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> millennium BC.

### Mortar from Kausumbi

Further studies on the mortars from Kausumbi (Satya Prakash and Rawat 1965) have revealed interesting facts. The mortars date back to 600 B.C to 100 A.D. It is seen from the table that a number of mortars constituted only of mud. It appears that the sand was added in slightly higher proportions than in the plasters. The average ratio of sand to lime in the case of plaster as found



Fig. 3. Map of India, showing the monuments

kład cywilizacja *harrappan*. Ta cywilizacja została utworzona około pięć tysięcy lat przed Chrystusem przez ludzi, którzy wyemigrowali z Baluchistanu do doliny Indusu i *Saraswati*. Pozostałości tej wielkiej cywilizacji zostały odkryte w latach 1921-22 gdy odkopano *Harrappę* i rok później *Mohen-jo-daro*, a następnie odkryto ponad 1400 stanowisk i więcej niż dwa tuziny obejmują wykopaliska ASI (Archeologiczne Badania Indii). Dzięki wykopaliskom przeprowadzonym przez tę organizację wykryto tynki z niektórych budowli. Analizy tynków z następujących budowli zabytkowych: *Mohen-jo-daro*, *Harrappa*, *Char Minar*, *Fatehpur Sikri* zostały przeprowadzone przez Sane Ullaha (1965). Omówimy ich wyniki.

### Mohen-jo-daro i Harrappa

*Mohen-jo-daro* i *Harrappa* są miastami związanymi z cywilizacją doliny Indusu i powstały w trzecim i drugim tysiącleciu p.n.e., a zostały zbudowane z wypalanych w piecach cegieł i zapraw. Stosowane tam zaprawy składały się głównie z mułu. W późniejszym okresie zastosowano także spoiwo gipsowe o jasnej barwie w celu malowania ścian budynków w *Mohen-jo-daro*. Zapraw wapiennych pozbawionych gipsu nie odkryto w ścianach budowli w *Mohen-jo-daro*, podczas gdy zaprawy znalezione w ziemnych kadziach w tych stanowiskach archeologicznych składają się z wapna i piasku. Warto podkreślić duży udział gliny i piasku w tych próbkach. Wydaje się więc bardzo prawdopodobne, że stosowane wapno zostało otrzymane z wypalonego *Kankaru* lub z wapiennych bryłek, które są pospolite w Dolnych Indiach. Jest to nawet dzisiaj ważny

was 1:1 whereas in the case of mortar the average ratio was 2:1. For mortars probably 2 parts of sand was mixed with one part of slaked lime. Thus it can be concluded that at *Mohen-jo-daro* apart from mud mortars, gypsum mortars were generally in use whereas at *Harrappa* a number of lime mortars have been used.

### Mortars from Fatehpur Sikri

Akbar after coming back from his pictorial campaign of Deccan, South peninsula of India, has made his capital at Fatehpur Sikri; He has produced magnificent wonders after Taj Mahal in Fatehpur Sikri. Of these the marble mausoleum of Sheikh Christi is remarkable; here a lime mortar of special composition was used.

Composition:

1 part lime, 2 parts marble dust

1/16 *Rumi mastagi*, 1/16 parts *black gram* (linser), and 1/16 part *batasa* (sugar)

### Mortars from Char Minar

Qutub Shah, the fifth ruler of Qutub Shahi Dynasty of Golconda, south peninsula of India, constructed it during the years 1591-93. The Char Minar was the first monument in the world constructed using lime mortar and granite [The Times of India, 2001 slept]. It was only after construction that the architects through out the world recognized the strength of lime mortar in raising huge structures, though the Qutub Shahi architects were not fully aware of the chemistry involved in its preparation, they seemed to have adopted certain procedures that produced high quality lime mortar for the monuments construction by trail and error. After the product was successfully used in Char Minar, it was studied by the European scientists who later defined it as soft, porous and changes little in volume during temperature fluctuations, thus making it a good choice for the construction of historical buildings.



Fig. 4. The Bhojeshwar temple at Bhojpur



Fig. 5. Char Minar, Hyderabad

surowiec do produkcji wapna (Agarwal 1953). Wapno *Kankar* ma dużą zawartość tlenków amfoterycznych ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  i  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), a analizy wykazały dużą ilość alkaliów, które mogą pochodzić z popiołu powstałego podczas wypalania wapna. Te składniki przereagowały tworząc zasadowe uwodnione glinokrzemiany, a ponadto następnym składnikiem jest bezpostaciowy zeolit sodowo-potasowy analcym i to właśnie te fazy przyczyniają się do dużej wytrzymałości i trwałości zapraw.

## Sanchi

W ruinach świątyni Brahmy w pobliżu Sanchi odkryto zaprawę wapienną. Są dowody na wczesne stosowanie spoiwa wapienno-pucolanowego. Świątynia została zbudowana w drugim tysiącleciu p.n.e. Jest ona usytuowana na południowy zachód od Vidisha w Madhya Pradesh w Indiach. Obejmuje ona unikalne skupienie różnych budowli starożytnych od pierwszego do drugiego tysiąclecia p.n.e.

## Zaprawy z Kausumbi

Dalsze badania zapraw z Kausumbi (Satya Prakash i Rawat 1965) doprowadziły do interesujących odkryć. Zaprawy pochodzą z okresu 600 p.n.e. do 100 n.e., a szereg z nich składało się tylko z mułu. Piasek był dodawany w nieco większej ilości niż do zapraw gipsowych. Średni stosunek piasku do wapna w przypadku tynków wnosił 1:1 podczas gdy w przypadku zapraw był on 2:1. W zaprawach prawdopodobnie dwie części piasku mieszano z jedną częścią gaszonego

The analyses have shown that the mortars were made with hydraulic lime, calcined gypsum, and marble dust. The lime was not burnt 100% as is shown by the lumps of lime, a characteristic feature of ancient lime mortars. The pozzolanic material was pulverized bricks, *surkhi* and ash. The aggregates were crushed bricks, burnt clay lumps and limestone

## Cement

### *Earliest cement production in India*

Here Cement means Ordinary Portland cement, invented by Aspdin. The first cement manufacturing plant was set up in Calcutta in 1889. At that time, the cement used to manufacture from Argeliceous minerals. In 1901, the first organized set up to manufacture cement was commercialized in Madras, which was named South India Industries Ltd. Again in 1914 another cement plant was set up in Porbandar, Gujrat but it was licensed. There was tremendous demand of cement, but only after a few years the industry faced a serious downfall. To overcome from this worsening situation, Concrete Association of India was founded in 1927. The organization has two goals, one was to create consciousness about the utility of cement and another was encouraging cement utilization.

Portland cement is man made and is produced by calcining a mixture of clay and limestone at a very high temperature  $1450^\circ\text{C}$ . The mineralogical constituents of the clinker are  $\text{C}_2\text{S}$ ,  $\text{C}_3\text{S}$ ,  $\text{C}_3\text{A}$  and  $\text{C}_4\text{AF}$ . It hydrates in contact with water. The hydration products are, calcium silicate hydrate, calcium aluminium hydrate, calcium hydroxide and calcium aluminium calcium sulphate hydrate (ettringite) in reaction with gypsum. The hydration process is shown in the Figure 8.



Fig.6. Taj Mahal

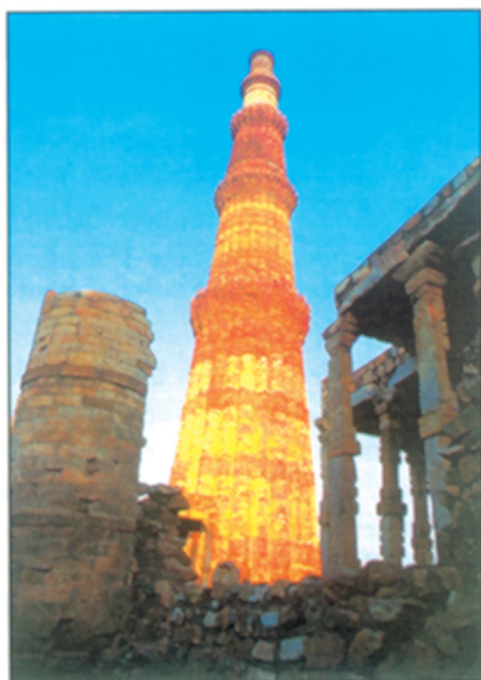


Fig. 7. Kutub Minar

wapna. Można więc podsumować, że w *Mohen-jo-daro* oprócz zapraw z mułu, stosowano głównie zaprawy gipsowe, natomiast w *Harrappa* szereg zapraw wapiennych zostało użytych.

### Zaprawy z Fatehpur Sikri

Akbar po powrocie ze swojej zwycięskiej kampanii w Deccanie na południowym półwyspie indyjskim, ustanowił swoją stolicę w Fatehpur Sikri. Popierał on powstanie wspaniałych budowli, po Taj Mahal i Fatehpur Sikri. Spośród nich wyróżnia się marmurowe mauzoleum w Sheikh Christi, w którym zastosowano zaprawę wapienną o specjalnym składzie. Był on następujący:

1 część wapna, 2 części marmurowego proszku,  
1/16 część Rumi mastagi, 1/16 część black gram (len) i 1/16 części batasa (cukier).

### Zaprawy z Char Minar

Qutub Shah piąty władca z dynastii Qutub Shahi z Golcondy na południowym półwyspie indyjskim, zbudował Char Minar w okresie 1591-93. Char Minar był pierwszą zabytkową budowlą na świecie skonstruowaną przy zastosowaniu zaprawy wapiennej i bloków granitowych (The Times of India 2001). Dopiero po wzniesieniu tej zabytkowej budowli architekci na świecie poznali zalety zaprawy wapiennej o dużej wytrzymałości przy wykonywaniu dużych budowli, aczkolwiek architekci z Qutub Shahi nie mieli pełnych informacji o składzie stosowanym do jego wytwarzania, zastosowali więc oni metodę prób i błędów, która dawała zaprawę wapienną o bardzo dobrej jakości, stosowaną do wykonywania monumentalnych budowli. Po jej zastosowaniu z pełnym powodzeniem w Char Minar europejscy specjaliści ustalili później w wyniku badań, że była ona stosunkowo miękka, porowata i wykazywała

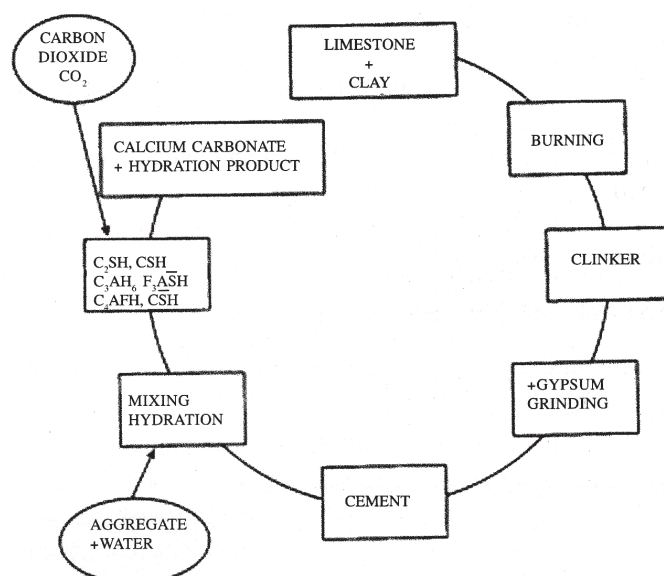


Fig. 8. Cement cycle.

It is seen here that unlike the lime base binders, where the final products after hardening are the starting minerals which were used for making lime, Portland cement does not produce the final products which are the starting minerals. Moreover these products are also not found in nature and thus they are not stable. The cycle is not complete, though it possesses the hydraulic properties and produces high early strength when mixed with water. This is the main reason of long durability of structures made using lime base material compare to those made using Portland cement. The main advantage of using Portland cement is the early high strength.

### Preparation of cement mortars

It is stronger than the other mortars mentioned and is therefore used in the construction of work where more strength is required. The usual composition is 1 part cement to 3 parts of sand, The unit of measurement shall be a bag of cement weighing 50 kg and this shall be taken as .035 m<sup>3</sup>. Sand in the specified proportion shall be measured in the boxes of suitable size (35x25x40 cm) The mixing shall be done either in a mechanical mixer or by hand as explained earlier in the case of lime mortar.

### Unit of measurement

The unit of measurement for cement is a bag of cement weighing 50 kg, and this shall be taken as 0,035 m<sup>3</sup>, and shall be measured in cubic meter, and the lime shall be measured in quintal, 4.51 Q of slaked lime being equal to 0.58 m<sup>3</sup> or 0.7125 m<sup>3</sup> of lime putty.

### Drawback of using Portland cement

1. The final hydration products of Portland cement are not the starting minerals used for cement manufacture. (Fig.8). It shows the cycle is not complete. The substances thus produced are not stable and are not found in nature. This is one of the main reasons of its instability. Whereas in the case of lime and lime-pozzolanic material the cycle is complete (Figs.1 and 2)

małe zmiany objętości w funkcji wahań temperatury, co stanowiło zaletę w zabytkowych budowach.

Analizy wykazały, że zaprawy te zostały wykonane z wapna hydraulicznego, prażonego gipsu i proszku marmurowego. Wapno nie było całkowicie rozłożone, jak to wynikało z występowania brył, co stanowiło charakterystyczną cechę starożytnych zapraw wapiennych. Materiałem pucolanowym były rozdrobnione cegły, surkhi i popiół. Kruszywo stanowiły pokruszone cegły, wypalone bryły z gliny i wapien.

## Cement

### *Dawna produkcja cementu w Indiach*

Pod terminem cement rozumiemy tutaj cement portlandzki, wynaleziony przez Aspdina. Pierwsza fabryka cementu została wybudowana w Kalkucie w roku 1889. W tym okresie cement był wytwarzany z marglistych surowców. W 1901 roku utworzono organizację zajmującą się produkcją cementu w Madras, a została ona nazwana South India Industries Ltd. Następną cementownię wybudowano w 1914 roku w Porbandar, Gujrat, na podstawie koncesji. Było ogromne zapotrzebowanie na cement, jednak już po kilku latach przemysł stanął w obliczu spadku sprzedaży. W celu opanowania tej niekorzystnej sytuacji powstało Indyjskie Stowarzyszenie Producentów Betonów w roku 1927. To Stowarzyszenie miało dwa cele: jeden polegał na ugruntowaniu przekonania o użyteczności cementu, a drugi na wspieraniu jego stosowania.

Cement portlandzki był wytwarzany z mieszaniny wapienia i gliny w wysokich temperaturach 1450°C. Fazami występującymi w klinkierze są: C<sub>3</sub>S, C<sub>2</sub>S, C<sub>3</sub>A i C<sub>4</sub>AF. Ulega on hydratacji w wodzie. Produktami hydratacji są: uwodniony krzemian wapniowy, uwodniony glinian wapniowy, wodorotlenek wapnia i uwodniony siarczano-glinian wapnia (ettringit), powstający w reakcji z gipsem. Proces hydratacji pokazano na rysunku 8.

Jak wynika z tego rysunku, inaczej niż w przypadku spoiw opartych na wapnie, które po zakończeniu twardnienia przekształcają się w minerały wyjściowe, które służyły do ich wytwarzania, w przypadku cementu portlandzkiego końcowy produkt twardnienia nie składa się z wyjściowych materiałów. Ponadto te produkty nie występują w przyrodzie (lub niezwykle rzadko) gdyż nie są one trwałe. Cykl przemian w przypadku cementu portlandzkiego nie jest więc zamknięty. Cement ma właściwości hydrauliczne i daje po zarobieniu wodą duże wczesne wytrzymałości. Jest to jeden z powodów dużej trwałości budowli wykonanych z materiałów opartych na wapnie w porównaniu z tymi wytworzonymi z cementu portlandzkiego. Główną zaletą cementu portlandzkiego jest jego duża wczesna wytrzymałość.

### *Wytwarzanie zapraw cementowych*

Mają one większą wytrzymałość niż inne opisane zaprawy i z tego powodu są one stosowane w budownictwie, wszędzie gdzie ta wytrzymałość jest wymagana. Zwykle składają się z 1 części cementu i 3 części piasku. Jednostkę miary stanowi worek cementu

as one gets back the minerals used for producing them, which are stable and thereby durable.

2. The hydration products are calcium hydroxide (CH), calcium aluminum hydrate C<sub>3</sub>AH<sub>13</sub>, ettringite etc... These react chemically with the gasses found in the pollutant and marine environment and forms soluble and expansive salts, Soluble salts like calcium chlorides, leaches away, creating more opening for further penetration, expansive salts like gypsum and ettringite produce expansion and thereby cracks. Thereby decreasing the strength and making the structure more porous.
3. Higher amount of cements produces more of these substances and are more deleterious, contrary to what one understands and is logical

“Use more cement, the concrete will be more durable”

Lime mortars do not have these deleterious hydration products, consequently are resistant in the aggressive environmental conditions.

4. Cement mortars shrinks while setting, drying and later. This develops cracks,
5. Cement mortar surface is smooth and have low permeability, this hinders water transportation., consequently water accumulates inside and develops hydrostatic pressure and when it exceeds the tensile strength concrete the whole block comes out.

Lime base mortars are slow hardening, and have rough and porous surface. This allows the moisture transportation, concrete can “breathe”,

6. Cement base mortars have high early strength. “Seven days strength is equal to 80% of the final strength. Consequently it is brittle and has lower tolerance to movement. Due to this, when expansive salts are formed, being unable to accommodate as it is already hard, thus creates cracks

Lime base mortars are slow hardening, thereby are moiré flexible and can accommodate expansive slats without formation of cracks

7. Heat of hydration, and thermal conductivity is high, produces cold joints
8. Its color is grey which is aesthetically not well suited to the environments. We do not want to built grey concrete gardens.

These fallacies are overcome to some extent by the development of alternative binders, which are discussed later.

India is producing 11 different types of cements.

### *Clinker cement*

Ordinary Portland cement OPC

Portland blast furnace slag cement PBFSC

Portland pozzolana cement PPC

Rapid hardening cement

Oilwell cement

White cement WC

o masie 50 kg, którego objętość wynosi około 0,035 m<sup>3</sup>. Piasek można odmierzać stosując skrzynki o odpowiednich wymiarach. Mieszanie może być mechaniczne w mieszarkach lub odbywać się ręcznie, jak to opisano w przypadku zapraw wapiennych.

Jednostką miary, jak już podano, będzie worek cementu, co odpowiada objętości około 0,035 m<sup>3</sup> i trzeba ją podawać w metrach sześciennych, a wapno w kwintalach, przy czym 4,51 kwintala gaszonego wapna odpowiada 0,58 m<sup>3</sup> lub 0,7125 m<sup>3</sup> szpachłówki wapiennej.

### **Wady związane ze stosowaniem cementu portlandzkiego**

1. Końcowe produkty hydratacji cementu portlandzkiego nie są wyjściowymi surowcami stosowanymi do jego produkcji (rysunek 8). Tak więc cykl przemian nie jest zamknięty. Oznacza to, że otrzymane hydraty nie są trwałe i nie występują w przyrodzie. Jest to główny powód braku ich trwałości. Natomiast w przypadku wapna i pucolanowo-wapiennych materiałów cykl jest pełny (rysunki 1 i 2) i powstają minerały, które były stosowane do ich produkcji, które wykazują długą trwałość.
2. Produktami hydratacji są: wodorotlenek wapnia, glinian wapienowy C<sub>4</sub>AH<sub>13</sub>, ettringit. Reagują one z gazami występującymi w szkodliwym lub nadmorskim środowisku i tworzą rozpuszczalne lub ekspansywne sole. Rozpuszczalne sole takie jak chlorek wapienowy ulegają wymyciu pozostawiając pory, którymi mogą migrować inne sole ekspansywne. Są to na przykład gips i ettringit, które powodują ekspansję i powstawanie mikrospękań. Zmniejszają one wytrzymałość i powodują powstawanie mikrostruktury o większej porowatości.
3. Im większa zawartość cementu, tym większa ilość tych substancji powstaje i tym większą korozję wywołuje otoczenie, odwrotnie do oczekiwań, które wydają się logiczne:  
„Stosuj więcej cementu, a beton będzie trwalszy”  
Zaprawy wapienne nie zawierają tych niszczących produktów hydratacji i w związku z tym są odporne na środowisko agresywne.
4. Zaprawy cementowe wykazują skurcz w trakcie wiązania, przy suszeniu i później. Wywołuje to powstawanie rys.
5. Powierzchnia zapraw cementowych jest gładka i ma małą przepuszczalność, co utrudnia transport wody, w związku z tym woda gromadzi się wewnątrz i wywołuje ciśnienie hydrostatyczne i gdy przekroczy ono wytrzymałość na rozciąganie betonu powstają spękania.  
Zaprawy wapienne twardnieją wolno i mają chropowatą oraz porowatą powierzchnię. Umożliwia to transport wilgoci i zaprawa może „oddychać”.
6. Zaprawy cementowe mają dużą wczesną wytrzymałość. Wytrzymałość po siedmiu dniach stanowi 80% wytrzymałości końcowej. W związku z tym, jest ona krucha i ma mniejszą tolerancję na odkształcenia. Powoduje to powstanie spękań w przypadku powstawania ekspansywnych soli, gdyż nie ma możliwości kompensacji tych odkształceń. Zaprawy oparte

Sulphate resistance Portland cement

Amongst these OPC, PPC and BFSC are more popular.

OPC is manufactured in two different grades Grade 43 grade 53. These are manufacture by burning the silicious material and limestone at 1450°C. Grade 43 comply with ISO 8112, and Grade 53 comply with ISO 12269.

### **BFSC**

In recent years there is significant growth in the production of BFSC. It has given a boost to the cement industry. It is hydraulic and is manufactured in blast furnace used for producing iron from iron ore. The molten slag is drenched in water and ground to the fine powder. This fine powder produced is named as BFSC. Production of BFSC requires 75% less energy compare to the OPC and release significantly less CO<sub>2</sub>. This makes it cheaper and more environmental friendly material. Apart from this its color is light grey. There are comparatively less amount of the deleterious hydration products which makes it more resistant to the chemical attack by the SO<sub>2</sub> and Cl etc gasses, there dilution effect.

### **PPC**

There are manufactured by blending pozzolana to the OPC clinker and grinded together with gypsum, or mixed separately. The pozzolanic material used is: Fly ash, Silica fume, Volcanic ashes, Calcined clay.

Portland Pozzolana cement is resistant to the harsh water flow attack and prevents the formation of CH at time of cement setting and hydration; it withstands aggressive gasses, and does not produce thermal cracks. It complies with the ISO 3812 for F/A and (ISO 1344-1981 for calcined clay. One of the Indian top brands is "Sudh Cement" (clean cement.)

Amongst the different types of cement produced in India., Portland pozzolana cement, ordinary Portland cement and Portland blast furnace slag cements are most important, because this account for around 96% of the total cement produce in India

Statistics of cement demand in India and the world is given [Indian concrete Journal, 2008, vol.2. no.7]

Today India is the world's second largest producer of cement after China, with cement companies adding nearly eight million tons capacity in April 2009, taking the total installed capacity to 219 mt. With the boost given by the government to various infrastructure projects, road network growth in cement consumption is anticipated in the coming years could rise to 236 in the year 2011 and 262 mt in the year 2012

### **Revival of ancient plaster and mortars**

The binders used in the ancient period for fabrication of buildings were easily accessible, cheap and easy to work with. These were environmentally friendly. The buildings produced with these bin-



na wapnie twardnieją wolno i z tego względu mają większą łatwość dostosowania się do ekspansywnego działania soli, bez powstawania spękań.

7. Ciepło twardnienia i przewodnictwo cieplne jest znaczne, co powoduje powstawanie zimnych mostków.
8. Mają szary kolor w związku z czym nie komponują się dobrze z otoczeniem. Nie mamy ochoty budować szarych ogrodów z betonu.

Te wady mogą być rozwiązane w pewnym stopniu w związku z wprowadzeniem innych spoiw, które zostaną dalej opisane.

W Indiach produkuje się 11 różnych rodzajów cementu:

Cement klinkierowy

Klasyczny cement portlandzki

Żuźłowy cement portlandzki

Pucolanowy cement portlandzki

Cement szybkotwardniejący

Cement wiertniczy

Cement biały

Cement portlandzki odporny na siarczany

Najbardziej popularne są: klasyczny cement portlandzki, pucolanowy cement portlandzki i żuźłowy cement portlandzki. Klasyczny cement portlandzki jest produkowany w dwóch klasach 43 i 53. Są one wytwarzane przez wypalanie materiałów krzemionkowych wapienia w 1450°C. Klasa 43 odpowiada cementowi ISO 8112, a klasa 53 ISO 12269.

## Żuźłowy cement portlandzki

W ostatnich latach zaznacza się znaczny wzrost produkcji żuźłowego cementu portlandzkiego. Dał on pozytywny impuls przemysłowi cementowemu. Żuźel ma właściwości hydrauliczne, a otrzymuje się go w wielkich piecach wytwarzających surówkę z rudy żelaznej. Stopiony żuźel jest gwałtownie chłodzony wodą i zmielony na drobny proszek. Ten drobny proszek jest nazywany wielkopieczowym żuźłowym cementem portlandzkim. Jego produkcja wymaga 75% mniej energii w porównaniu z klasycznym cementem portlandzkim, a emisja CO<sub>2</sub> jest także znacznie mniejsza. Czyni go to znacznie tańszym i przyjaznym dla środowiska materiałem. Ponadto ma on barwę jasno szarą. Jest znacznie mniej niekorzystnych produktów hydratacji które powodują, że cement jest odporniejszy na korozję chemiczną przez SO<sub>2</sub> i Cl<sub>2</sub> oraz gazy.

## Pucolanowy cement portlandzki

Jest wytwarzany przez zmieszanie klinkieru portlandzkiego z pucolaną przez wspólne zmielenie lub zmieszanie po rozdrobieniu. Stosowane materiały pucolanowe są następujące: popiół lotny, pył krzemionkowy, popioły wulkaniczne, prażona glina.

Zapotrzebowanie na cement w Indiach, w latach

India, Cement Supply

	1997	2002	2007	2012	2014
Cement razem Cement demand Rodzaje/By type	74.1	110.1	154.0	233.0	340
Portland	43.2	57.3	71.4	98.0	134
Z dodatkami Blended	29.2	49.6	78.0	128.0	196
Inne/Other	2.1	3.2	4.6	7.0	10.0

Światowe zapotrzebowanie na cement

World cement demand

Cement razem Cement demand Tony/Mill. metric ton	2002	2007	2012	% Wzrostu rocznego Annual Growth	
				2002-2007	2007-2012
	1836	2767	3750	8.5	5.3
Ameryka Północna North America	149.9	162.1	184.6	1.6	2.6
Europa Zachodnia West Europe	199.2	225.0	248	2.5	2.0
Azja Asia pacific	1123	1829	2445	10.2	6.0
Inne regiony Other regions	363	545.9	693	8.4	4.9

ders have shown high performance so much so that some of the structures are in acceptable shape today. This has made them traditional and some of the organics used in the binders became traditional and even used today.

The cement stucco used with the intention of getting high strength has shown deterioration much before the calculated time. The reason behind it first of all that higher strength has made them brittle and less resistance to the chemical attack as the hydration products unlike lime or mud base binders the general understanding "higher amount of cement produce higher strength" is correct, but that is not high performance in several cases specially when the concrete is exposed to the aggressive environment. The draw back for using the lime and mud base binders is the slow strength development, but this can be improved by using a binder system, stabilization with the addition of pozzolanic materials.

It is shown that the durability and strength of the ancient mortars are due to the formation of CSH gel, which are colloidal precipitates and have varying composition, which differs from the Portland cements due to the presence of very high amount of amphoteric oxides (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), acidic oxides (SiO<sub>2</sub>) and oxides of alkaline metals sodium and potassium these interact and forms alkaline silico-alumino hydrates. One structure formation component is the amorphous crypto crystalline zeolite, sodium-potassium analcine. And not the carbonation of lime.

Pucolanowe cementy portlandzkie są odporne na intensywne oddziaływanie płynącej wody i zapobiegają powstawaniu CH w czasie wiązania i hydratacji cementu. Nie ulegają korozji w wyniku oddziaływania agresywnych gazów i nie tworzą rys wywołanych gradientem termicznym. Odpowiadają one normie ISO 3812 w przypadku popiołu a ISO 1344-1981 w przypadku palonej gliny. Jednym z wyróżniających się cementów indyjskich jest „sudh cement” co znaczy „czysty” cement.

Z pośród różnych rodzajów cementów wytwarzanych w Indiach, pucolanowy cement portlandzki, klasyczny cement portlandzki i żuźlowy cement portlandzki mają największe znaczenie, i stanowią około 96% całej produkcji cementów.

Statystyki dotyczące zapotrzebowania na cement w Indiach i na świecie można znaleźć w czasopiśmie Indian Concrete Journal 2008, tom 2, nr 7.

Dzisiaj Indie są drugim największym producentem cementu po Chinach, a koncerny cementowe zwiększyły swoją moc produkcyjną o osiem milionów ton w kwietniu 2009, zwiększając całkowitą zainstalowaną moc produkcyjną do 219 milionów ton. Wobec nadania przez Rząd priorytetu różnym projektom z zakresu infrastruktury przewiduje się, że wzrost sieci dróg zwiększy zużycie cementu w nadchodzących latach do 236 milionów w roku 2011 i do 262 milionów w roku 2012.

## Powrót do starożytnych tynków i zapraw

Spoiwa używane w czasach starożytnych do wznoszenia budynków były łatwo dostępne, tanie i łatwe w stosowaniu. Były one także przyjazne dla środowiska. Budynki wzniesione z ich zastosowaniem wykazały dobre właściwości do tego stopnia, że niektóre z nich są jeszcze w zupełnie dobrym stanie do dzisiaj. To przyczyniło się do zachowania tej tradycji i niektóre z dodatków organicznych do spoiw są nawet używane dzisiaj.

Cementowe tynki szlachetne używane w celu nadania im dużej wytrzymałości wykazały zniszczenia znacznie przed przewidywanym czasem. Wiązało się to przede wszystkim z dużą wytrzymałością, która spowodowała ich kruchość i mniejszą odporność na korozję chemiczną, z uwagi na produkty hydratacji, przeciwnie jak w przypadku wapna lub mułu. Ogólny pogląd, że „większa ilość cementu zapewnia większą wytrzymałość” jest słuszny, jednak w szeregu przypadkach, nie oznacza to dobrych właściwości, szczególnie jeżeli beton znajdzie się w agresywnym środowisku. Niedogodnością w stosowaniu spoiw opartych na wapnie lub mule jest powolny przyrost wytrzymałości, jednak może on być zwiększony przez stosowanie spoiwa złożonego, z dodatkami materiałów pucolanowych.

Wykazano, że trwałość i wytrzymałość starożytne zaprawy zawdzięczają powstawaniu żelu C-S-H, który strąca się w formie koloidalnej i ma zmienny skład, który różni się od składu spotykającego w cementach portlandzkich. W związku z obecnością dużej ilości tlenków amfoterycznych ( $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ) i kwaśnych ( $SiO_2$ ) oraz

Recarbonation of lime takes place very slowly, over several days and months, but the formation of analcine can occur in a few hours., therefore the recarbonated lime appears to act as an inert filler when combined with analcine matrix. Apart from this cement production requires higher energy and produces high amount of  $CO_2$  which makes it not environmentally friendly. The energy consumption of the pozzolanic cements is 65% lower which makes it attractive alternative. What is remarkable that these recipes are documented in the mythological books written before the Christian era...? This shows their competence and confidence. The question is from where they got it. Only by trial and error method? It is not only the composition of one binder, there is whole gamut of the binders for different applications. It requires very long time.

It deals with chemical admixtures, the organics, the mineral admixtures, pozzolanic materials used in the ancient period. Then what is new? This is the real meaning of research, which means we are looking for something which exists once again. So we are actually going back to the ancient binders, by using supplementary binders, but it will take long time to come to the same standard as the ancient binder system. Nevertheless there positive signs and the future are bright as they produce green buildings. These structures meet human needs while assisting in the healing of the planet will become more common while many challenges being ahead, it is still a hopeful and exciting to be a part to create a sustainable human culture.

## Literatura / References

1. BISHT. R.S. 1999, Dholavira and Banawali: two different paradigms of the Harappan Urbis Forma, Archaeological survey of India, Janpath, New Delhi. Report.
2. Chandra S, 2003, History of Architecture and Ancient Building Materials in India, Published by, Tech books International, 4/12 Kalkaji Extension, New Delhi, India.
3. Davey Norman, 1961, A history of building materials; phoenix house, London.
4. Davidowitz, J, 1987, Ancient and modern concrete, what is the real difference between them, Concrete International, December 1987, pp 23-28.
5. Flinders Petrie, 1909, Arts and Crafts of Ancient Egypt, Edinburg and London.
6. Majumdar, R.C, 1953, Vinay pitak, The history and culture of Indian people. The age of Imperial unity, Bhartiya Vidya Bhawan, pp 396-397.
7. Malinowski, R. Slatkine, A. and Ben yair. M. 1961, Durability of Roman mortars and concrete for hydraulic structures at Caesarea and Tiberia; RILEM International Symposium on Durability of Concrete, Prague.
8. Mansoullas, Abhilash Chintamani, 1966, Gaekvad series, nr. 28 and 84, Oriental institute, Baroda India.
9. Narang, R.C., and Ahluwalia, S.C, 1982, Industrial Waste for cement manufacture-potential and Prospects; Chemical age of India, 33, 1-8.
10. Plasterwork, Wikipedia, the free encyclopedia.
11. Samarangan Sutradhara, 1966, Chapter 73, Gaekvad series, no 25, Oriental institute, Baroda, India.

tlenków, które występują w formie uwodnionych glinokrzemianów. Jednym ze składników jest bezpostaciowy krypto-kryształiczny zeolit sodowo-potasowy analcym. Natomiast karbonatyzacja wapna nie ma większego znaczenia.

Wtórna karbonatyzacja wapna zachodzi bardzo powoli przez szeregi dni i miesięcy natomiast powstawanie analcymu może zajść w ciągu kilku godzin i z tego względu wapno, które uległo wtórnej karbonatyzacji odgrywa rolę obojętnego wypełniacza w porównaniu z matrycą utworzoną przez analcym. Ponadto produkcja cementu wymaga zużycia większej energii i jest związana z wysoką emisją CO<sub>2</sub>, które powoduje, że nie jest ona przyjazna dla środowiska. Zużycie energii związanej z cementami pucolanowymi jest niższe o 65%, co powoduje że stanowią one atrakcyjną alternatywę. Jest zdumiewające, że te wskazówki są udokumentowane w mitologiach napisanych przed narodzinami Chrystusa! Stanowi to dowód na znajomość tematu i pełne przekonanie. Głównym pytaniem jakie się nasuwa jest: gdzie uzyskano te wiadomości? Tylko metodą prób i błędów? Nie jest to przecież skład tylko jednego spoiwa, to jest cała gama spoiw do różnych zastosowań. Zdobycie takiego doświadczenia wymaga długiego czasu.

Obejmują te spoiwa domieszki chemiczne, organiczne, dodatki mineralne, materiały pucolanowe stosowane w starożytności. A co jest nowe? Jest to rzeczywisty wynik badań; oznacza to, że obserwujemy coś, co występuje znowu jeszcze raz. Wracamy więc do starożytnych spoiw, stosując dodatkowe spoiwa. Jednak minie dużo czasu nim wrócimy do takich składów jak starożytne zestawy wiążące. Niemniej jednak stanowią one dobrą zapowiedź na przyszłość, gdyż zapewniają ekologiczne budownictwo. Te budowle pokrywają się z ludzkimi potrzebami, a poprawiając warunki na naszej planecie stają się nam bliższe, podczas gdy wiele wyzwań jest przed nami, więc stwarza to nadzieję na stworzenie ludzkiej kultury przyjaznej dla środowiska.

12. Statistics of cement demand in India and the world is given [Indian concrete Journal, 2008, vol.2. no.7.

13. Times of India, Sheikh Ahmed Ali., TNN3, September 21, Hyderabad, India.