

ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΣ ΠΡΩΤΟΠΟΡΙΑΚΗ Η ΑΡΧΑΙΑ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ ΟΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΣΤΑ ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΡΓΑ

1. Αρχαίο ελληνικό τσιμέντο
2. Αρχαίο ελληνικό μπετόν 3000 χρόνων
3. Βυζαντινά κεραμοκονιάματα και κεραμομπετόν
και εφαρμογές τους στην κατασκευή
«υποθερμαινόμενων δαπέδων»

ΕΥΣΤΑΘΙΟΣ ΕΥΣΤΑΘΙΑΔΗΣ

Χημικός Μηχανικός Ε.Μ.Π., απόφοιτος έτους 1945

τ. Επιμελητής Ε.Μ.Π.

Επίτιμος Γενικός Διευθυντής Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε



Φωτ. 1: Ε. Ευσταθιάδη: Αυτούσιο δείγμα αρχαίου ελληνικού μπετόν.
Από την υδατοδεξαμενή της πόλης της αρχαίας Καμείρου της νήσου Ρόδου

Το περιεχόμενο της εργασίας αφορά και στοχεύει ουσιαστικά στην ανάδειξη- παρουσίαση και υπογράμμιση της υψηλής στάθμης της εξειδικευμένης «αρχαίας ελληνικής τεχνολογίας υλικών κατασκευών».

Η εξειδικευμένη «αρχαία ελληνική τεχνολογία υλικών κατασκευών» ξεκινά από τους αρχαίους Έλληνες μηχανικούς της αρχαϊκής και κλασσικής περιόδου, με την παγκοσμίως πρωτοποριακή παραγωγή ελληνικού δυαδικού υδραυλικού τσιμέντου και μπετόν και συνεχίζοντας την εξελικτική πορεία της ανά τους αιώνες, φθάνει κληρονομούμενη από γενεάς εις γενεά, στους Έλληνες μηχανικούς της Βυζαντινής περιόδου.

Αυτοί, όπως οι πρόγονοί τους συμβάλλουν υποδειγματικά, συνεισφέροντας νέες ανάλογες επινοήσεις στον τομέα αυτό, με την παραγωγή δυαδικού υδραυλικού κεραμοκονιόματος (κουρασάνι) και κεραμομπετόν για υποθερμαινόμενα δάπεδα (υπόκαυστα) κ.λπ.

Τα αξιόλογα αυτά πρωτότυπα θέματα που ανήκουν στην ιστορία της ελληνικής τεχνολογίας, υπήρξαν αντικείμενα εργαστηριακών και ερευνητικών μου τεχνολογιών κατά τη διάρκεια της μακρόχρονης ακαδημαϊκής και επαγγελματικής σταδιοδρομίας μου αμέσως μετά τη λήξη του Β΄ Παγκοσμίου πολέμου, όπως:

I. –Η άγνωστη, διεθνώς μέχρι το 1978, γενομένη αποκάλυψή μου, της μεθοδολογίας-Τεχνολογίας, που χρησιμοποιήθηκε από τους αρχαίους Έλληνες μηχανικούς της αρχαϊκής και κλασσικής αρχαιότητας για την παραγωγή «ελληνικού τσιμέντου» σε «δυαδική μορφή», παραγόμενο όμως με άλλη εντελώς διαφορετική τεχνολογία, προσαρμοσμένη στα τότε τεχνολογικά δεδομένα και τις τότε ανάγκες. Σήμερα, η τεχνολογία, αντιθέτως, χρησιμοποιεί βαριές ογκώδεις εγκαταστάσεις, μη αναγκαίες εκείνη την εποχή, προσαρμοσμένη στα διεθνή τεχνολογικά δεδομένα και στις σημερινές πολύ μεγάλες ποσοτικές κυρίως ανάγκες και ταχύτητες προωθήσεως για περαίωση των έργων.

Κοινό γνώρισμα ιδιοτήτων των δύο ως άνω τσιμέντων (αρχαίου ελληνικού δυαδικής μορφής και σημερινού με την ονομασία «τσιμέντο Πόρτλαντ») είναι ότι με την προσθήκη νερού σχηματίζουν και τα δύο τις ίδιες «υδραυλικές χημικές ενώσεις» δηλαδή τα «ένυδρα πυριτικά ασβέστια».

Αναλυτικότερα, σε ό,τι αφορά συγκεκριμένες τεχνολογικές διαφορές μεταξύ τους για την παραγωγή των δύο ως άνω τσιμέντων, διακρίνουμε:

- α. Για την παραγωγή του σημερινού τσιμέντου Πόρτλαντ χρησιμοποιούνται διεθνώς από τις τσιμεντοβιομηχανίες δύο βασικές πρώτες ύλες, ο ασβεστόλιθος και η άργιλος σε αναλογία βαρών 75% προς 25% αντίστοιχα. Οι δύο αυτές πρώτες ύλες αλέθονται σε ειδικούς «σφαιροφόρους μύλους» και το μίγμα τους σε λεπτή σκόνη, επειδή μοιάζει με αλεύρι ονομάζεται «φαρίνα». Η φαρίνα αυτή διοχετεύεται από μία μεγάλη χοάνη στον αργά περιστρεφόμενο και με κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο κυλινδρικό μεταλλικό μεγάλου μήκους φούρνο (κάμινο). Η κάμινος αυτή εσωτερικά έχει επένδυση από ειδικά πυρότουβλα και έτσι η φαρίνα αυτή ρέει προς το άλλο χαμηλότερο άκρο της καμίνου. Στη συνέχεια ψήνεται καθ' όλη τη διαδρομή της από τα θερμότατα καυσαέρια, που προέρχονται από την καύση του καυσίμου- υγρού ή κονιοποιημένου στερεού- μέσω ενός ακροφυσίου (μπέκ) που ευρίσκεται στο κάτω άκρο της καμίνου. Εκεί, αναπτύσσονται υψηλές θερμοκρασίες, μέχρι 1450 °C και τελικά από το κάτω άκρο το χαμηλότερο της καμίνου ρέει και εξέρχεται ψημένο υλικό, με τις πυροχημικές ενώσεις του, στον ελεύθερο αέρα υπό μορφή ερυθρόπυρων βόλων μεγέθους μέχρι πορτοκάλι. Όταν κρυώσει, μεταφέρεται στους «σφαιρόμυλους» όπου αλέθεται σε λεπτότατη σκόνη και αυτή είναι το γνωστό μας σήμερα «τσιμέντο Πόρτλαντ».
- Από την απλοποιημένη αυτή περιγραφή της σημερινής τεχνολογίας για την παραγωγή του σύγχρονου «τσιμέντου Πόρτλαντ» ως συγκρατήσουμε για σύγκρισή της, την εντελώς διαφορετική τεχνολογία που χρησιμοποιείτο στην αρχαιότητα για την παραγωγή του «αρχαίου ελληνικού δυαδικού τσιμέντου». Βασικές λεπτομέρειες δεν υπήρχαν τότε και ήταν 100% περιττές στην επινοηθείσα από εκείνους τους πρωτοπόρους αρχαίους Έλληνες, τεχνολογία τους.
- β. Για την παραγωγή του σημερινού τσιμέντου χρησιμοποιείται μόνο μία (1) κάμινος, η περιστρεφόμενη. Αντίθετα για την παραγωγή του αρχαίου ελληνικού δυαδικού τσιμέντου χρησιμοποιούντο δύο (2) κάμινοι και δη πρώτον το ηφαιστειο, που είναι μία άριστη φυσική και αδάπανη κάμινος, και δεύτερον το ασβεστοκάμινο. Σε καθεμία από τις δύο αυτές κάμινους παραγόταν χωριστά το κάθε ένα από τα δύο χωριστά βασικά συστατικά του δυαδικού τσιμέντου τους και δεν χρειαζόταν περιστρεφόμενη κάμινος.
- γ. Για την προετοιμασία των δύο (2) πρώτων υλών (ασβεστόλιθος-και άργιλος) πριν ει-

σαχθούν στην περιστρεφόμενη κάμινο για να ψηθούν σαν μίγμα (φαρίνα) προηγείται πρώτον ξήρανση της αργίλου για να ακολουθήσει η κονιοποίησή της στους σφαιρόμυλους και άλεση επίσης του ασβεστόλιθου στους σφαιρόμυλους.

Ομοίως το τελικό ψημένο υλικό –το κλίνκερ- πρέπει και αυτό να κονιοποιηθεί στους σφαιροφόρους μύλους. Όλα αυτά τα στάδια των εργασιών και των δαπανηρών εγκαταστάσεων δεν χρειάζονταν στο αρχαίο ελληνικό τσιμέντο, δηλαδή ούτε ξηραντήριο ούτε σφαιρόμυλοι.

δ. Το σημερινό τσιμέντο Πόρτλαντ απαιτεί για τη συσκευασία του στεγανούς σάκους για να μη καταστραφεί από την υγρασία του αέρος κατά την αποθήκευσή τους.

Αντίθετα, κανένα από τα δύο χωριστά συστατικά του αρχαίου ελληνικού τσιμέντου δεν υπόκειται σε καταστροφή όταν βραχεί και για το λόγο αυτό δεν χρειαζόταν τότε στεγανή συσκευασία.

Ας δούμε τώρα την εντελώς διαφορετική τεχνολογία παραγωγής τσιμέντου στην αρχαία Ελλάδα και ειδικότερα στη νήσο Θήρα (Σαντορίνη), καθώς επίσης και τις διαφορές της από τη σημερινή τεχνολογία. Για την παραγωγή του δυαδικού τους τσιμέντου, οι Έλληνες τεχνικοί χρησιμοποιούσαν δύο επίσης πρώτες ύλες, τις οποίες υπέβαλαν προηγουμένως σε ενδεδειγμένη επεξεργασία και συγκεκριμένα:

1. Τη φυσική Θηραϊκή γη, η οποία εκτινασσόταν από το ηφαιστειό της και κάλυπτε, με την επενέργεια του ανέμου, ολόκληρη την επιφάνεια της νήσου Θήρας. Το υλικό αυτό ήταν ήδη ψημένο μέσα στα έγκατα της γης. Προερχόταν από φυσικά γαιώδη συστατικά, που είχαν ήδη υποστεί υψηλή θερμική κατεργασία, με σχηματισμό νέων «πυροχημικών ενώσεων» πριν εκτιναχθούν από τα βάθη του ηφαιστείου στον ελεύθερο αέρα. Η κοκκομετρική σύσταση της φυσικής αυτής ηφαιστειακής Θηραϊκής γης περιέχει, 20% κατά βάρος περίπου, ιδιαίτερα λεπτότατο συστατικό- που είναι και το σπουδαιότερο.- Το υπόλοιπο αποτελείται από κόκκους διαφόρων μεγεθών ελαφρόπετρας (κισσήρεως), αλλά και κόκκους διαφόρων μεγεθών πυκνών βαρέων ηφαιστειακών πετρωμάτων. Από προγενέστερες προφανώς τεχνικές εργασίες τους και από τη μακρά εμπειρία τους οι αρχαίοι Έλληνες μηχανικοί είχαν επισημάνει ότι: το λεπτότατο αυτό φυσικό συστατικό της Θηραϊκής γης, όταν το αναμίγνυαν με ασβέστη, ο οποίος τους

ήταν ήδη από παλαιότερα γνωστός, έδινε μετά την πήξη και σκλήρυνσή του μία μάζα η οποία παρουσίαζε καλύτερες ιδιότητες, φυσικές και μηχανικές (τριβής, σκληρότητας κ.λπ.) έναντι άλλων μιγμάτων που περιείχαν όλα τα είδη των συνυπαρχόντων κόκκων βαρέων πετρωμάτων και ελαφρόπετρας στη Θηραϊκή γη.

Έτσι, οδηγήθηκαν στην αναζήτηση μίας ενδεδειγμένης ευφυούς μεθοδολογίας διαχωρισμού του σπουδαιότατου λεπτότατου συστατικού της Θηραϊκής γης από τις υπόλοιπες συμπαρομαρτούσες κοκκώδεις ελαφρότερες ή και βαρύτερες ύλες, ακόμη και από υπολείμματα φυτικά. Τέλος, κατέληξαν να χρησιμοποιήσουν και εδώ μία γνωστή τους ήδη μεθοδολογία που εφαρμόζαν και στη μεταλλουργία για τον καθαρισμό της πρώτης ύλης (των μεταλλευμάτων), αλλά επίσης και για την παραγωγή των λεπτότατων γαιωδών φυσικών τους χρωστικών πρώτων υλών, ξεχωρίζοντάς τη με τη μέθοδο του υδαταιωρήματος από ακατέργαστες γαιώδεις ποικίλου μεγέθους κόκκων πρώτες ύλες, που τους ήταν απαραίτητες για τη βαφή και ζωγραφική των υπέροχων κεραμικών βάζων και αγγείων τους. Η υπέροχη αυτή μεθοδολογία του «υδαταιωρήματος» που εφαρμόζαν στην πράξη για τη λήψη του λεπτότατου συστατικού από τη χονδρόκοκκη Θηραϊκή γη ήταν η εξής:

1. Σε μεγάλα δοχεία ή σε κτιστές στο έδαφος δεξαμενές γεμάτες με θαλασσινό νερό προσέθεταν ποσότητα Θηραϊκής γης και την αναμίγνυαν έντονα, ώστε να προκύψει ένα αιώρημα με διαχωρισμένα όλα τα μεγέθη των κόκκων.
2. Απομάκρυναν τα επιπλέοντα στο νερό συστατικά, δηλαδή την ελαφρόπετρα και τα φυτικά υπολείμματα.
3. Ακολουθούσε αμέσως μετάγγιση του θολού αιωρήματος που περιείχε το λεπτότατο μόνο συστατικό της Θηραϊκής γης σε άλλα δοχεία, ή σε χαμηλότερα κειμένη δεξαμενή. Η μετάγγιση αυτή γινόταν χωρίς να παίρνουν το ανεπιθύμητο βαρύτερο κοκκώδες υλικό που είχε καθιζήσει στον πυθμένα του δοχείου ή της πρώτης υψηλότερα κειμένης δεξαμενής, το οποίο όμως το χρησιμοποιούσαν για άλλες τεχνικές τους εργασίες.
4. Άφηναν σε ηρεμία το θολό υδαταιώρημα επί 24/ωρο. Ακολουθούσε η προσεκτική μετάγγιση και απομάκρυνση μόνο του καθαρού πλέον θαλάσσιου ύδατος, μετά την καθίζηση που είχε μεσολαβήσει του πολύτιμου λεπτότατου συστατικού του αιωρήματος στον πυθμένα της δεξαμενής. Εν συνεχεία, το συνέλεξαν προς φύλαξη, για να

χρησιμοποιηθεί ως έχει, ως ένα από τα δύο συστατικά του δυαδικού τσιμέντου τους. Το πολύτιμο αυτό «λεπτότατο συστατικό της Θηραϊκής γης» είναι πλούσιο σε «άμορφο πυριτικό οξύ», ή αλλιώς όπως λέγεται σε «δραστικό ή ενεργό πυριτικό οξύ». Αυτό σημαίνει ότι, όταν τούτο αναμιχθεί στο έργο με ένα άλλο και σε κατάλληλη αναλογία υλικό (ο γνωστός τους από παλαιότερες ακόμη εποχές « ασβέστης») και προστεθεί στο μίγμα το αναγκαίο νερό, τότε σχηματίζονται στη μάζα του δυαδικού αυτού μίγματος κατά τη διάρκεια της πήξης και της συνεχιζόμενης με το χρόνο σκλήρυνσής του, νέες σπουδαιότερες χημικές – υδραυλικές όπως ονομάζονται αλλιώς – ενώσεις «ένυδρου πυριτικού μονασβεστίου» $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Είναι δε ακριβώς ίδιες σαν κι αυτές που σχηματίζονται με την προσθήκη νερού στο σημερινό από τις τσιμεντοβιομηχανίες παραγόμενο «τσιμέντο Πόρτλαντ».

Μερικές ακόμη επεξηγήσεις εδώ για το σπουδαιότερο αυτό πρώτο συστατικό του αρχαίου ελληνικού δυαδικού τσιμέντου είναι:

- Ότι το πρώτο αυτό συστατικό είναι ψημένο ήδη μέσα στο ηφαίστειο υλικό, όπου λόγω «πυροχημικών δράσεων» σχηματίστηκε από τα γαιώδη συστατικά του, με τη δράση υψηλών θερμοκρασιών το «ελεύθερο άμορφο πυριτικό ή αλλιώς καλούμενο δραστικό πυριτικό οξύ» και το οποίο επομένως δεν χρειάζεται κανένα δεύτερο ψήσιμο μέσα σε περιστρεφόμενες τεράστιες καμίνους των σημερινών ανά την υφήλιο τσιμεντοβιομηχανιών.
- Το λεπτότατο αυτό συστατικό που ελαμβάνετο με τη «μέθοδο του υδαταιωρήματος», ήταν τόσο λεπτό, ώστε ήταν περιττή η πρόσθετη άλεσή του, όπως συμβαίνει με τους σημερινούς δαπανηρότατους λόγω φθορών και μεγάλης ποσότητας απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας, για τη λειτουργία τους, «σφαιροφόρους μύλους» των τσιμεντοβιομηχανιών.
- Σε αντίθεση με το σημερινό τσιμέντο Πόρτλαντ, το οποίο κατά την αποθήκευσή του κ.λπ. πρέπει να προφυλάσσεται αεροστεγώς από τη δράση όχι μόνο του νερού, αλλά ακόμη και από την υγρασία του αέρα, διότι αλλιώς θα καταστραφεί πριν καν χρησιμοποιηθεί, το λεπτότατο συστατικό του αρχαίου ελληνικού τσιμέντου, δεν υφίσταται καμία απολύτως δυσμενή ποιοτική μεταβολή, ακόμη και αν κορεστεί με νερό και για

αυτό το λόγο δεν χρειαζόταν κατά την αρχαία εκείνη εποχή καμία απολύτως στεγανή συσκευασία.

Όπως προαναφέραμε, το δεύτερο συστατικό του αρχαίου δυαδικού ελληνικού τσιμέντου ήταν ο γνωστός τους «ασβέστης» τον οποίο παρήγαγαν με πύρωση του « ασβεστόλιθου» σε απλό καμίνι και τον οποίο με προσεκτική, ολίγο κατ' ολίγο με νερό διαβροχή, τον μετέτρεπαν στο έργο, λίγο πριν τη χρησιμοποίησή του, αυτόματα με τον τρόπο αυτό σε «σβησμένη κονιοποιημένη άσβεστο» χωρίς δηλαδή την ανάγκη άλεσής του με σφαιρόμυλους ή ακόμη με την προσθήκη λίγο περισσότερο νερού τον μετέτρεπαν σε πολύ άσβεστο, που και αυτός δεν χρειάζεται άλεση.

Με την ανάμιξη τώρα στο έργο των δύο χωριστών αυτών βασικών συστατικών του δυαδικού τσιμέντου τους και στην ενδεδειγμένη μεταξύ τους αναλογία, που ήταν απόρροια της εμπειρίας του μηχανικού, ή ακόμη απόρροια πειραματικών προ της εκτέλεσης του έργου προδοκιμών, παρήγαγαν επί τόπου το «δυναμική μορφής ή συστάσεως τσιμέντο τους». Από το τσιμέντο αυτό, στη συνέχεια με προσθήκη και άμμου (φυσικής, θαλάσσης ή ποταμού) παρήγαγαν τσιμεντοκονίαμα, ή ακόμη με την προσθήκη επί πλέον και χαλίκων (θαλάσσης ή ποταμού) παρήγαγαν και μπετόν. Η «τεχνολογία του μπετόν» είχε φθάσει σε αξιοθαύμαστα υψηλά επίπεδα με την κατασκευή μεγάλου όγκου στεγανών δεξαμενών, όπως π.χ. αυτή της αρχαίας Κάμειρου.

II. Η αποκάλυψη:

- α. Της ύπαρξης αρχαίου ελληνικού έργου από μπετόν και συγκεκριμένα μίας μεγάλης από μπετόν υδατοδεξαμενής στα ερείπια της αρχαίας πόλεως Κάμειρος στη νήσο Ρόδο και για την οποία δεν είχε αναφερθεί μέχρι το 1978- οπότε δημοσιεύτηκε η ερευνητική εργαστηριακή εργασία μου με τίτλο «ελληνικό μπετόν τριών χιλιοτηρίδων»- ότι το υλικό κατασκευής της είναι ένα τεχνολογικά θαυμάσιο, υψηλής ποιότητας καλά μελετημένο στεγανό μπετόν, και
- β. Της αξιοθαύμαστης, υψηλής στάθμης τεχνολογίας σκυροδέματος, την οποία είχαν αναπτύξει και προωθήσει οι αρχαίοι Έλληνες μηχανικοί, όταν κατασκεύαζαν στην αρχαία Κάμειρο τη στεγανή από μπετόν υδατοδεξαμενή τους, χωρητικότητας 600 κυβικών μέτρων και η οποία, αποτελεί μοναδικό μνημείο, σύμβολο της υψηλής στάθμης

τεχνολογίας των υλικών κατά την αρχαία ελληνική περίοδο.

Για το λόγο αυτό είναι απόλυτα αναγκαίο να συντηρηθεί το ταχύτερο με ιδιαίτερα μεγάλη προσοχή και επιμέλεια για να αποφευχθεί η επερχόμενη καταστροφή της από την επιβλαβή δράση των εντονότατων πλέον διαβρωτικών παραγόντων του περιβάλλοντος και να επιζήσει απαραίτητα εκεί στη θέση της για τις επερχόμενες γενεές σαν το τελευταίο υπαρκτό δείγμα του «υπέροχου τεχνικού πνεύματος των άξιων προγόνων μας». Τη λεπτομερή περιγραφή της τεχνολογίας του μπετόν που επινόησαν, δημιούργησαν, ανέπτυξαν και εφάρμοσαν στα έργα οι πρωτοπόροι επί γης από την αρχαιότητα Έλληνες μηχανικοί και η οποία εμφανίζεται ζωντανά στο έργο της υδατοδεξαμενής αυτής στην αρχαία Κάμειρο της νήσου Ρόδου, την έχω διατυπώσει σε μικρό εγχειρίδιό μου το 1978 με μέριμνα του ΚΕΔΕ (Κεντρικό Εργαστήριο Δημοσίων Έργων) του τ. Υπουργείου Δημοσίων Έργων, ύστερα από την πρωτοδημοσίευσή της στο τριμηνιαίο περιοδικό του εργαστηρίου τούτου. Ανάλογες δε περιληπτικές δημοσιεύσεις ακολούθησαν επίσης στα περιοδικά «ΑΕΡΟΠΟΣ τεύχος Ιανουαρίου 1999» και στο περιοδικό «ΔΑΥΛΟΣ» τεύχος 226, Οκτώβριος 2000, τεύχος 233, Μάιος 2001 και τεύχος 253, Ιανουάριος 2003 και 256, Απρίλιος 2003.



Φωτ. 2: Υδατοδεξαμενή από μπετόν στην αρχαία Κάμειρο της νήσου Ρόδου, με τη λιθοδομή που κτίστηκε αργότερα, κατά τον 3^ο π.Χ. αιώνα σαν βάση «Δωρικής Στοάς» πάχους 1.60 μέτρων, μήκους 200 μέτρων και έτσι αχρηστεύθηκε τότε η υδατοδεξαμενή

Έργα από αρχαίο ελληνικό μπετόν στον Ιλισσό και στην Πάλαιρο Ακαρνανίας.

Μία απλή υπόμνηση μόνο θα κάνω στο σημείο αυτό και θα αναφερθώ σε ένα υπέροχο ακόμη αρχαίο ελληνικό τεχνικό έργο από μπετόν, που υπήρχε μέχρι το τέλος του 18ου αιώνα μ. Χ., στο κέντρο των Αθηνών, πίσω από τους στύλους του Ολυμπίου Διός και συγκεκριμένα, σε μία ωραιότατη γέφυρα στον ποταμό Ιλισσό, χτισμένη με επί μέρους προκατασκευασμένα κανονικής γεωμετρικής μορφής δομικά στοιχεία, το υλικό των οποίων ήταν ένα αρίστης ποιότητας στεγανό και σημαντικών μηχανικών αντοχών «μπετόν» ανάλογο με εκείνο της μεγάλης και διασωζόμενης μέχρι σήμερα υδατοδεξαμενής από «μπετόν» της αρχαίας Καμείρου στη νήσο Ρόδο.

Το μπετόν της γέφυρας αυτής πρέπει να ήταν αρίστης ποιότητας αλλιώς δεν θα είχε διασωθεί τόσους αιώνες υπερνικώντας τη φθοροποιό δράση του χρόνου και θα συνέχιζε την ύπαρξή της και στο μακρινό μέλλον ακόμη, αν δεν επενέβαινε ατυχώς το ανθρώπινο χέρι να την αποκαθλώσει για λόγους αναμόρφωσης εκείνης της περιοχής.

Πληροφοριακά σημειώνω εδώ ότι στην αρχαία αυτή γέφυρα του Ιλισσού ποταμού έχει αναφερθεί ο αείμνηστος καθηγητής Ε.Μ.Π., Χημικός Μηχανικός, Πρόεδρος της Ακαδημίας Αθηνών Αλέξανδρος Βουρνάζος στη « Συνεδρία της 14ης Απριλίου 1927 της Ακαδημίας Αθηνών » όπου κάτω από το μεστό περιεχομένου τίτλο « Εφηρμοσμένη Χημεία » είπε:

«Η οικοδομική τέχνη μετεχειρίσθη την θηραϊκή γην προς σκευασίαν κονιαμάτων από εποχής παλαιότατης, και κατά την παράδοσιν η παρά των αρχαίων Ελλήνων ποιηθείσα επί του Ιλισσού γέφυρα εδομήθη δια χαλίκων και κονιάματος θηραϊκής γης, του οποίου η μεταχρόνιος σκληρότης υπήρξε τουλάχιστον ίση προς την των χαλίκων. Φαίνεται όθεν ότι αι αξιόλογοι ιδιότητες της ηφαιστείου γης διεγνώσθησαν από των χρόνων εκείνων

Πρόσθετο, σήμερα στοιχείο της σημαντικότητας εκείνης διατυπώσεως του καθηγητή και δη «κατά την παράδοσιν...» είναι ότι ο «ΔΑΥΛΟΣ» πρωτοποριακά προέβη στη δημοσίευση καταπληκτικής πρωτότυπης εικόνας της γέφυρας αυτής, στο τεύχος 256 (Απρίλιος 2003) και η οποία αποτελεί μεγάλη αρχαιολογική αποκάλυψη για την αξία του απεικονιζόμενου αρχαιοελληνικού τεχνικού έργου από μπετόν εντός της πόλεως των Αθηνών.

Μελετώντας κανείς την εικόνα της αρχαιοελληνικής αυτής γέφυρας του Ιλισσού ποταμού και τις Αθηναίες με τα καλαμένα πανέρια τους να πλένουν στα νερά του τα υφασμά-

τινα είδη του νοικοκυριού τους, μπορεί να επεκτείνει τη σκέψη του και να διαβλέψει ότι λίγο μακρύτερα απ' τη γέφυρα αυτή, προς τα κατάντη, θα είχαν κατασκευάσει και μικρού ύψους φράγμα από καλής ποιότητας μπετόν επίσης, για τη δημιουργία του αναγκαίου εκεί ταμιευτήρος ύδατος κατά την περίοδο των βροχών, για τη μερική κάλυψη των αναγκών τους σε νερό. Οι εμφανείς κυβόλιθοι των βάθρων των κατακόρυφων επιφανειών του καταστρώματος και των θόλων της γέφυρας ήσαν προκατασκευασμένοι από καλής ποιότητας μπετόν και χρησιμοποιούντο κατά τη δόμησή τους ως ξυλότυπος, ακολουθούσε δε, παράλληλα και σταδιακά, η πλήρωση των βάθρων, των θόλων και του οριζώντιου τμήματος του καταστρώματος της γέφυρας με επίσης καλής ποιότητας μπετόν, με βάση το θηραϊκό τσιμέντο, δηλαδή το «αρχαίο ελληνικό δυαδικής συστάσεως τσιμέντο». Άλλο ένα ακόμη αξιοσημείωτο παράδειγμα της υψηλής στάθμης της τεχνολογίας στην παραγωγή των αρχαίων ελληνικών τσιμεντοκονιαμάτων και του αρχαίου ελληνικού μπετόν είναι τα δείγματα που προσκόμισε ο κ. Π.Λ. Κουβαλάκης από την αρχαία υδατοδεξαμενή στην πόλη της αρχαίας Παλαίρου (έναντι της νήσου Λευκάδος), την οποία θα ζήλευαν και σήμερα να την είχαν στα καθημερινά έργα τους οι τεχνικοί της πράξεως, παράλληλα με την αξιοθαύμαστη διάρκεια ζωής των προϊόντων, που μετριέται σε χιλιετίες.

III. Η πραγματοποίηση εργαστηριακής ερευνητικής εργασίας μου που αφορά στο θαυμάσιο για την εποχή του βυζαντινό κεραμοκονίαμα και κεραμομπετόν, το «Κουρασάνι» δηλαδή των Βυζαντινών μηχανικών, την οποία είχα εκτελέσει στα εργαστήρια του Ε.Μ.Π. (κατά τα έτη 1946-1947-1948).

Μετά την ολοκλήρωση της εργαστηριακής αυτής έρευνας προχωρήσαμε με τη συνεργασία του αείμνηστου καθηγητή Περικλή Παρασκευόπουλου στην εφαρμογή της με την κατασκευή σε φυσική κλίμακα του «Υπόκαυστου» των Βυζαντινών μηχανικών, δηλαδή «υποθερμαινόμενου δαπέδου» σε δωμάτιο των τότε αποθηκών του Υπουργείου Ανοικοδομήσεως.

Η έρευνά μου αυτή αλλά και η περιγραφή κατασκευής υποθερμαινόμενου δαπέδου αναφέρεται σε συνέντευξή μου στο περιοδικό «ΔΑΥΛΟΣ» τεύχος 253, Ιανουάριος 2003.

Πρέπει να σημειώσουμε εδώ ότι τόσο η τεχνολογία παραγωγής του κεραμοκονιάματος

και του κεραμοπετόν - «κουρασάνι» - όσο και η εφαρμογή της στην πράξη για την κατασκευή «υποθερμαινόμενων δαπέδων» κ.λπ. είναι και αποτελούν αξιοθαύμαστα προϊόντα επινοήσεως- ιδίως για την εποχή εκείνη- των Βυζαντινών μηχανικών.

Σε γενικές γραμμές οι οδηγίες για μία τέτοια κατασκευή μπορούν συνοπτικά να δοθούν ως εξής :

1. Σε ισόγειο δωμάτιο (χωρίς δάπεδο) θα πρέπει να επιλεγούν οι θέσεις στο μέσο δύο απέναντι παράλληλων τοίχων, όπου στη μια πλευρά θα κτισθεί χαμηλά, σε επαφή με το έδαφος, μια πολύ απλή εστία καύσεως με πυρότουβλα οριζόντια και κατακόρυφα, και σε σχήμα « L » σε επαφή με την τοιχοποιία. Η εστία αυτή δεν θα φέρει άνωθεν της καπνοδόχο.
2. Η καπνοδόχος θα κατασκευαστεί στο μέσο της απέναντι πλευράς του δωματίου, ώστε τα καυσαέρια να διέρχονται υποχρεωτικά κάτω από το κατάλληλα υπερυψωμένο γι' αυτό δάπεδο που θα κατασκευασθεί και επί του οποίου πρέπει να προβλεφθεί ανοιγόμενο κάλυμμα τόσο για την τροφοδοσία της εστίας, όσο και για την απομάκρυνση της τέφρας.
3. Επάνω στο έδαφος και σε επαφή και με τις τέσσερις εσωτερικές πλευρές της τοιχοποιίας θα κτισθεί δρομική οπτοπλινθοδομή από συμπαγείς (χωρίς οπές – για λόγους μεγαλύτερης αντοχής στη φωτιά και διάρκειας ζωής) οπτόπλινθους σε ύψος περί τα 30 εκ. Ως κονίαμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί αργιλλοπηλός.
4. Θα κτισθούν παράλληλες δρομικές σειρές οπτοπλινθοδομών όπως η προηγούμενη περιμετρική, με τα ίδια υλικά και το ίδιο ύψος, που θα έχουν κατεύθυνση από τον τοίχο της εστίας προς τον τοίχο όπου είναι η καπνοδόχος. Τα άκρα των σειρών αυτών δεν θα φθάνουν στις τοιχοποιίες, αλλά θα αφήνουν και στις δύο πλευρές καπναγωγό κενό. Η απόσταση μεταξύ των παράλληλων αυτών σειρών θα είναι κατά 5 περίπου εκατοστά μικρότερη του μήκους των συμπαγών τούβλων, για το λόγο ότι, όταν τοποθετηθούν τα τούβλα αυτά εγκάρσια επάνω στις δομημένες δρομικές σειρές σαν καπάκια, για να σχηματιστούν από κάτω οι παράλληλοι καπναγωγοί, να δύνανται να εδράζονται κατά 2,5 περίπου εκατοστά επάνω στις δρομικές σειρές.
5. Επάνω στην όλη αυτή, έστω και επιφανειακά ανώμαλη κατασκευή, θα επιστρωθεί κερα-

μοπετόν πάχους 12 εκ., για την κατασκευή του οποίου θα χρησιμοποιηθούν αμιγή κεραμικά αδρανή. Καλό θα είναι να ενισχυθεί το όλο μίγμα κατά την παρασκευή του και με λίγο τσιμέντο, για ταχύτερη ανάπτυξη αντοχών, εφ' όσον τούτο είναι επιθυμητό.

6. Μετά την ανάπτυξη των αντοχών η επιφάνεια δύναται να λειανθεί με μηχανικά μέσα όπως τα μωσαϊκά και να σιλιβωθεί.

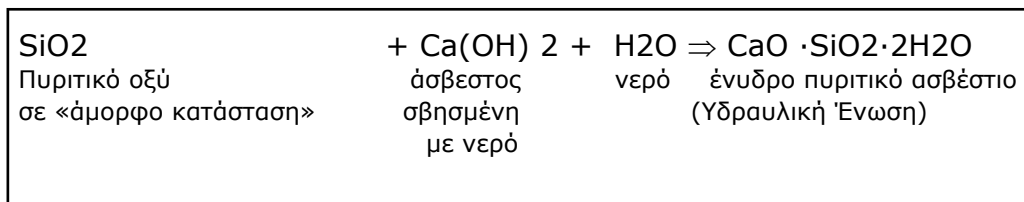


Φωτ. 3: *Ε. Ευσταθιάδη: Κοκκομετρημένο αδρανές υλικό από το αρχαίο ελληνικό μπετόν της υδατοδεξαμενής της πόλης Κάμειρος της νήσου Ρόδου.)*

Η εφαρμογή του κεραμοκονιάματος - κουρασάνι - είχε επεκταθεί κατά τη Βυζαντινή περίοδο και σε άλλες ακόμη δομικές εργασίες και ας ληφθεί υπόψη ότι αποτελούσε συγχρόνως «υδραυλικών ιδιοτήτων κονίαμα» όταν δεν υπήρχε ακόμη τότε το σχετικά

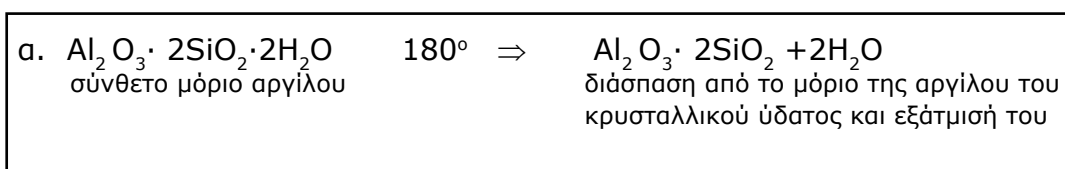
πρόσφατα βιομηχανικό προϊόν - το τσιμέντο Πόρτλαντ. Για το λόγο αυτό το συναντά κανείς και σε κατασκευές επιχρισμάτων, κονιαμάτων δομήσεως τοιχοποιιών, ακόμη και στην κατασκευή φούρνων αρτοποιίας και ιδιαίτερα στην κατασκευή εσωτερικού δαπέδου του θερμαινόμενου θαλάμου των φούρνων αρτοποιίας κ.λπ. Πρέπει να σημειώσουμε ότι το κεραμοκονίαμα και το κεραμομπετόν είναι υδραυλικών ιδιοτήτων υλικά, τα οποία αποτελούνται από κεραμικής συστάσεως αδρανή (κεραμική σκόνη, κεραμική άμμο, κεραμικά σκύρα) τα οποία με την προσθήκη ασβέστου και της αναγκαίας ποσότητας νερού σχηματίζουν στη μάζα τους, κατά τη διάρκεια της πήξεως και σκληρύνσεως σημαντικές «υδραυλικές ενώσεις» από «ένυδρα πυριτικά μονασβέστια», δηλαδή ενώσεις σαν κι αυτές του τσιμέντου Πόρτλαντ, η δημιουργία δε τούτων οφείλεται στην ύπαρξη άμορφου-δραστικού-πυριτικού οξέος που ενυπάρχει στα κεραμικής συστάσεως αδρανή και της χημικής δράσεως επ' αυτού της ασβέστου που προσθέτουμε για να παραχθεί το κονίαμα.

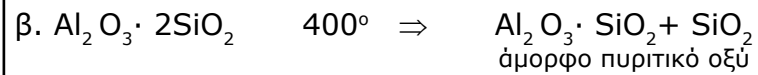
Τη χημική αυτή δράση μπορούμε να την παραστήσουμε ως εξής:



Η ύπαρξη του άμορφου πυριτικού οξέος στη μάζα της κεραμοκόνεως, οφείλεται στην «πυροχημική δράση» που λαμβάνει χώρα κατά τη διάρκεια της «οπτήσεως» (ψησίματος) των κεραμουργικών προϊόντων (τούβλα, κεραμίδια), όταν ψήνονται μέσα στην κάμινο, οπότε στη θερμοκρασία περίπου των 400 °C διασπάται από το σύνθετο μόριο της αργίλου - που είναι η πρώτη ύλη των κεραμουργικών προϊόντων - ένα ελεύθερο μόριο πυριτικού οξέος, το οποίο όμως ευρίσκεται σε «άμορφο κατάσταση».

Την πυροχημική αυτή δράση μπορούμε να την παραστήσουμε ως εξής:





Θα σημειώσουμε ακόμη εδώ ότι το κεραμοκονίαμα και το κεραμομπετόν, όπως επίσης και τα αυτούσια κεραμοουργικά προϊόντα (τούβλα, κεραμίδια) έχουν πρόσθετα και μία άλλη ακόμη ιδιότητα και συγκεκριμένα ικανοποιητική «θερμοχωρητικότητα», πράγμα το οποίο σημαίνει ότι, όταν θερμαίνονται αποταμιεύουν στη μάζα τους θερμότητα, την οποία αποδίδουν στην ατμόσφαιρα, όταν παύσει η λειτουργία της θερμαντικής πηγής.

Την ιδιότητα αυτή την εκμεταλλεύτηκαν ευφυώς οι Βυζαντινοί μηχανικοί, με την κατασκευή των υπερθερμαινόμενων δαπέδων τους, που λειτουργούσαν τότε σαν τους θερμικούς ηλεκτρικούς θερμοσυσσωρευτές των τελευταίων δεκαετιών.

Από τα προεκτεθέντα αναδεικνύεται η πρωτοποριακή σε παγκόσμια κλίμακα ανάπτυξη της εξειδικευμένης «τεχνολογίας των υλικών» για την κατασκευή έργων από τα βάθη ήδη των χιλιετιών στην αρχαία Ελλάδα. Έτσι επισφραγίζεται η εικόνα της υψηλής στάθμης τόσο της «τεχνολογίας» όσο και της «τεχνικής», παράλληλα με όλες τις άλλες λαμπρές δραστηριότητες του αρχαιοελληνικού πνεύματος, που είναι πασίγνωστες.