



Διερεύνηση πρακτικών δόμησης
στις **ΧΩΜΑΤΙΝΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ**

Σπουδάστριες: Παναγιώτα Σπυροπούλου, Ειρήνη Τσακαλάκη
Επιβλέπουσα: Ελένη Αλεξάνδρου
Τομέας IV: Συνθέσεων Τεχνολογικής Αιχμής
Ιούλιος 2013

Ευχαριστούμε πολύ την καθηγήτρια μας Ελένη Αλεξάνδρου για την βοήθειά της και τη συμβολή της στην πραγματοποίηση αυτής της εργασίας, καθώς και τις Pamela Jerome και Ελευθερία Τσακανίκα, οι οποίες μας έδωσαν πολύτιμες πληροφορίες για την έρευνά μας

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

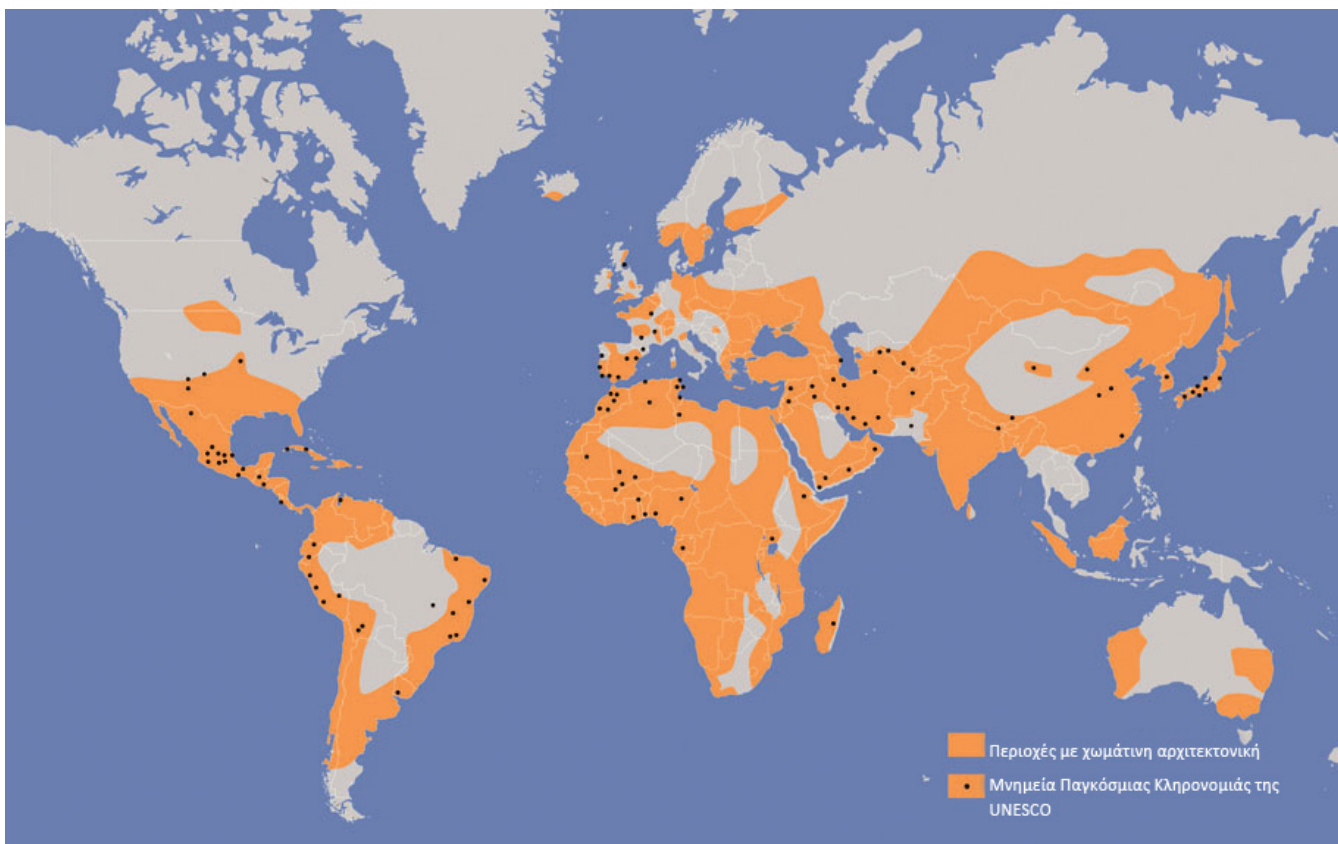
ΣΤΟΧΟΣ ΔΙΑΛΕΞΗΣ	σελ.5
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	σελ.7
2. ΤΟ ΧΩΜΑ ΩΣ ΥΛΙΚΟ ΔΟΜΗΣΗΣ	σελ.13
2.1 Το χώμα	σελ.13
2.2 Σταθεροποίηση	σελ.18
3. ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ	σελ.23
3.1 Λάξευση του εδάφους	σελ.25
3.2 Δόμηση με πλίνθους	σελ.28
3.2.1 Κοπή δόμων	σελ.28
3.2.2 Σχηματισμός πλίνθων με τα χέρια	σελ.30
3.2.3 Σχηματισμός πλίνθων με τη χρήση καλουπιών	σελ.33
3.2.4 Συμπιεσμένοι ωμόπλινθοι	σελ.37
3.3 Δημιουργία φερόντων τοίχων με τη χρήση ξυλοτύπου	σελ.38
3.3.1. Rammed earth	σελ.38
3.3.2 Ρευστό χώμα	σελ.42
3.4 Στοιβαγμένο χώμα - Cob	σελ.44
3.5 Πλάσιμο λεπτών τοίχων με τα χέρια	σελ.46
3.6 Εξώθηση πηλού	σελ.49
3.7 Χώμα ως υλικό πλήρωσης	σελ.51
3.7.1 Γέμισμα αντικειμένων με χώμα	σελ.51
3.7.2. Αχυρο με πηλό	σελ.56
3.7.3 Πλήρωση ξύλινου φέροντος σκελετού	σελ.58
3.8 Χώμα ως υλικό κάλυψης	σελ.61
4. ΔΟΜΗΣΗ	σελ.63
4.1 Πλεονεκτήματα της δόμησης με χώμα - Βιοκλιματική συμπεριφορά	σελ.63
4.2 Μειονεκτήματα της δόμησης με χώμα - Ευπαθή σημεία	σελ.66
4.3 Συντήρηση χωμάτινων κτιρίων	σελ.69
5. ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΧΩΜΑΤΙΝΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ	σελ.73
5.1 Γενικές αρχές αποκαταστάσεων	σελ.73
5.2 Αποκατάσταση χωμάτινων κατασκευών	σελ.74
5.3 Παραδείγματα αποκαταστάσεων	σελ.79
5.3.1 Qasr al-'Ishshah, Tarim, Υεμένη	σελ.79
5.3.2 Κτίριο “Εν Ελλάδι”, Χάρμαινα, Αμφισσα	σελ.87

6. ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ	σελ.91
6.1 Σχολείο στο Rudrapur, Bangladesh, 2005, αρχιτέκτονες: Anna Heringer, Eike Roswag	σελ.91
6.2 Το Παρεκκλήσι της Συμφιλίωσης, Βερολίνο, 2000, Martin Rauch	σελ.95
6.3 Κατοικία Rauch, Schlins, Αυστρία, 2008	σελ.99
6.4 Χρήση χωμάτινων στοιχείων στην κατασκευή για βελτίωση της βιοκλιματικής συμπεριφοράς των κτιρίων - Caracol Architectures	σελ.102
7. Η ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	σελ.105
8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	σελ.111
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	σελ.113
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	σελ.114
ΠΗΓΕΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	σελ.118

ΣΤΟΧΟΣ ΔΙΑΛΕΞΗΣ

Η διαχρονικότητα των χωμάτων κατασκευών και η περιβαλλοντική σημασία που εμπεριέχουν αποτέλεσαν το κίνητρο για την διερεύνηση των δυνατοτήτων του χώματος ως δομικό υλικό. Στόχος μας είναι να εξετάσουμε τις διάφορες τεχνικές δόμησης, να ερευνήσουμε τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του υλικού και να διαπιστώσουμε αν τελικά μπορεί να αποτελέσει ένα υλικό δόμησης με σύγχρονη έκφραση, ικανό να ανταποκριθεί στις λειτουργικές, αισθητικές, κατασκευαστικές και περιβαλλοντικές απαιτήσεις της σύγχρονης εποχής. Η έρευνά μας ξεκινάει με την ανάλυση του υλικού και της σύστασής του και τη διερεύνηση των κατασκευαστικών δυνατοτήτων του. Στη συνέχεια, προσπαθούμε να αναλύσουμε τη μεγάλη ποικιλία των κατασκευαστικών τεχνικών, παραδοσιακών και σύγχρονων, που χρησιμοποιήθηκαν σε όλο τον κόσμο, περιλαμβανομένων ακόμα και πειραματικών εφαρμογών. Τέλος, επιχειρούμε να προσεγγίσουμε τη χρήση του χώματος στη σύγχρονη δομική πραγματικότητα, σε αποκαταστάσεις υφισταμένων κτιρίων αλλά και νέες κατασκευές,, μέσα από την εξέταση επιλεγμένων παραδειγμάτων, με σκοπό να εξάγουμε συμπεράσματα σχετικά με τις χωματινές κατασκευές στη σύγχρονη εποχή.

Κατά τη διάρκεια της έρευνάς μας γύρω από το θέμα των επισκευών και αποκαταστάσεων των χωματινών κατασκευών αλλά και της ένταξής τους στη σύγχρονη ελληνική πραγματικότητα, είχαμε την ευκαιρία να συνομιλήσουμε με ειδικούς στους παραπάνω τομείς, όπως την πολιτικό μηχανικό Ελευθερία Τσακανίκα (Λέκτορας του ΕΜΠ στο τμήμα Πολιτικών Μηχανικών), η οποία ασχολείται και επαγγελματικά με αντίστοιχες κατασκευές, και με την αρχιτέκτονα μηχανικό Pamela Jerome (Επίκουρη Καθηγήτρια στη Σχολή Αρχιτεκτόνων του Πανεπιστημίου της Columbia και αντιπρόεδρος του ICOMOS ISCEAH - Διεθνής Επιστημονική Επιτροπή για τη Χωματινή Αρχιτεκτονική Κληρονομιά), που μεταξύ άλλων ήταν υπεύθυνη των έργων αποκατάστασης των χωματινών κτιρίων της Υεμένης, και μας έδωσε πολύτιμες πληροφορίες πάνω σε θέματα επισκευών και αποκαταστάσεων χωματινών κατασκευών, αλλά και για τη σύνθεση του υλικού προς δόμηση.



εικ.1: Χάρτης περιοχών όπου συναντάμε αρχιτεκτονική από χώμα.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το χώμα είναι ένα από τα πιο διαδεδομένα υλικά κατασκευής στον κόσμο και χρησιμοποιείται από τον άνθρωπο από τότε που άρχισε να χτίζει σπίτια και πόλεις, περίπου 10.000 χρόνια πριν. Είναι διαθέσιμο στις περισσότερες περιοχές της γης και συνήθως προέρχεται απ' ευθείας από τον τόπο που γίνεται η κατασκευή. Δεν υπάρχει κατοικούμενη ήπειρος, ίσως ούτε και χώρα, που να μην έχει αρχιτεκτονική κληρονομιά από ωμή γη. Ακόμη και σήμερα, το 1/3 του παγκόσμιου πληθυσμού ζει σε σπίτια κατασκευασμένα από χώμα, ενώ στις αναπτυσσόμενες χώρες το ποσοστό αυτό ξεπερνά το ½.¹ Το χώμα χρησιμοποιήθηκε σε τόπους με διαφορετικές κουλτούρες, όπου τα κτίρια προσαρμόστηκαν στο φυσικό τους περιβάλλον και διαμορφώθηκαν σύμφωνα με τις ιδιότητες και τη συμπεριφορά του χώματος, αλλά και τις επικρατούσες πολιτισμικές συνθήκες και συνήθειες των κατοίκων, με αποτέλεσμα να αναπτυχθούν πολλές κατασκευαστικές μέθοδοι με διαφορετικές αρχιτεκτονικές εκφράσεις.

Επιπλέον, το χώμα έχει χρησιμοποιηθεί από την αρχαιότητα μέχρι και σήμερα σε όλη τη διάρκεια της παγκόσμιας ιστορίας και σε όλες τις περιοχές. Στο Καζακστάν έχουν ανακαλυφθεί σπίτια από ωμόπλινθους που χρονολογούνται από το 8000 – 6000 π.Χ., ενώ στο Βόρειο Ιράκ θεμέλια από συμπιεσμένο χώμα που χρονολογούνται από το 5000 π.Χ.² Χωμάτινες κατοικίες διαφόρων εποχών έχουν ανακαλυφθεί και σε πολλές περιοχές του ελλαδικού χώρου. Κατά τη Νεολιθική εποχή, στη Θεσσαλία (Αργισσα, Αχίλλειο, Νέα Νικομήδεια, Σέσκλο κ.α.), ήταν αρχικά κατασκευασμένες από πασσάλους βυθισμένους στο έδαφος με τοιχοποιίες από πλεγμένα κλαδιά και πηλό ενώ στη συνέχεια από τούβλα στεγνωμένα στον ήλιο. Στον Πρόδρομο της Δυτικής Θεσσαλίας και στο Δισπηλιό, οι κατοικίες ήταν πασσαλόπηκτες πάνω στο νερό, με τοιχοποιία από πλεγμένα καλάμια και πηλό, ενώ στο Αιγαίο, κυρίως στο ανατολικό και νότιο, επικρατούσε η πλινθοδομή.³ Κατά τη Μυκηναϊκή εποχή (Υστεροελλαδική περίοδος, 1580 – 1100 π.Χ.) οι τοίχοι στα ανώτερα μέρη ανακτόρων και σπιτιών χτίζονταν από ωμά τούβλα με

1. Gernot Minke, *Building with earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*, Βερολίνο 2009, σελ. 11

2. Gernot Minke, *Building with earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*, Βερολίνο 2009, σελ. 11 - 12

3. <http://www.fhw.gr/chronos/projects/neolithic/gr/b/domisi.html>

ισόδομο σύστημα και συνδυάζονταν με ξυλοδεσιές για μεγαλύτερη αντοχή.⁴ Την ύστερη Εποχή του Χαλκού (1600 – 1100 π.Χ.), στα παλάτια της Κνωσού, της Φαιστού, της Ζάκρου και των Μαλίων στην Κρήτη χρησιμοποιούσαν υλικά όπως σχιστόλιθο, μάρμαρο, ξύλο αλλά και ωμές πλίνθους στις οποίες πολλές φορές είχαν προσθέσει άχυρα ή φύκια για να αυξήσουν την αντοχή τους.⁵ Στο Ακρωτήρι της Θήρας, κατά τη μέση Μινωική περίοδο (2100 – 1800 π.Χ.), τα σπίτια είχαν ένα ή δύο πατώματα με ξύλινο σκελετό γεμισμένα με πηλό ή τούβλα ψημένα στον ήλιο.

Το χώμα όμως χρησιμοποιήθηκε όχι μόνο στις κατοικίες, αλλά και για την κατασκευή θρησκευτικών κτιρίων και οχυρώσεων. Στην Κίνα, το 4000 ετών Σινικό Τείχος ήταν αρχικά χτισμένο από συμπιεσμένο χώμα και μετέπειτα καλύφθηκε από πέτρες και τούβλα δίνοντάς του τη σημερινή όψη⁶, ενώ στον ελλαδικό χώρο κατά τον 5ο π.Χ. αιώνα ωμόπλινθοι χρησιμοποιούνταν στο πάνω μέρος των τειχών των πόλεων. Οικοδομικές επιγραφές αναφέρουν ότι και τα Αθηναϊκά τείχη ήταν από ωμά τούβλα και ξυλοδεσιές.⁷



εικ.2: Πασσαλόπηκτη κατοικία από καλάμια και πηλό από την αναπαράσταση του προϊστορικού οικισμού στο Δισπηλιό του Ν. Καστοριάς
εικ.3: Αναπαράσταση νεολιθικής κατοικίας από ωμόπλινθους (Σέσκλο Β') **εικ.4,5:** Τμήμα του Σινικού Τείχους ανατολικά της περιοχής Shandan κατασκευασμένο από rammed earth **εικ.6:** Σχεδιαστική αναπαράσταση νεολιθικής κατοικίας από ωμόπλινθους (Σέσκλο Β')

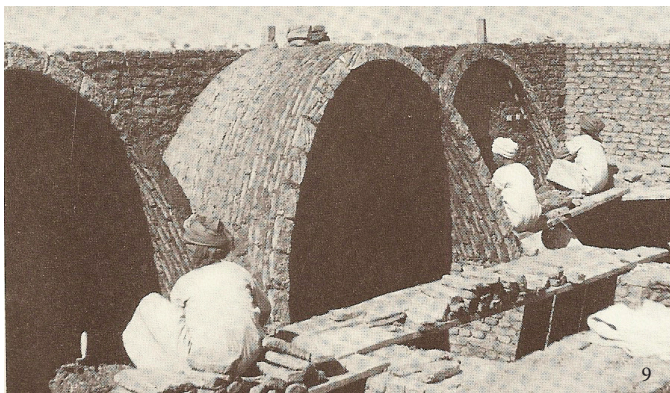
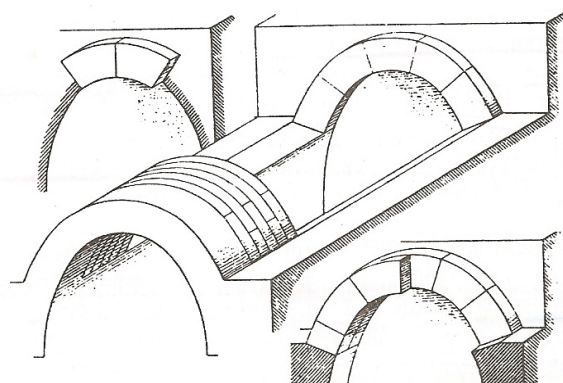
4. Σε ένα σπίτι των Μυκηνών, γνωστό με το όνομα Citadel House, λόγω της πυρκαγιάς που το κατέστρεψε, σώθηκαν ψημένα πλέον τα τούβλα και τα ίχνη των ξυλοδεσιών πάνω σε αυτά. Χαράλαμπος Θ. Μπούρας, *Μαθήματα Ιστορίας της Αρχιτεκτονικής*, τόμος 1, Αθήνα 1999, σελ. 109

5. Χαράλαμπος Θ. Μπούρας, *Μαθήματα Ιστορίας της Αρχιτεκτονικής*, τόμος 1, Αθήνα 1999, σελ. 86

6. Gernot Minke, *Building with earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*, Βερολίνο 2009, σελ. 12

7. Χαράλαμπος Θ. Μπούρας, *Μαθήματα Ιστορίας της Αρχιτεκτονικής*, τόμος 1, Αθήνα 1999, σελ. 179

Από την αρχαιότητα μέχρι και πριν από δύο περίπου αιώνες, η δόμηση βασίστηκε εξ' ολοκλήρου σε υλικά της γης, όπως η πέτρα, το ξύλο, το χώμα. Μάλιστα, η επιλογή και η επικράτηση του υλικού δόμησης σχετιζόταν άμεσα με τις ιδιότητές του, αλλά και με τη διαθεσιμότητά του σε έναν τόπο. Ετσι, σε ξηρές κλιματικές ζώνες, όπου η ξυλεία είναι σπάνια, αναπτύχθηκαν κατασκευαστικές τεχνικές κυλινδρικών ή σφαιρικών θόλων από ωμόπλινθους χωρίς τη χρήση ξυλότυπου ή άλλης υποστήριξης κατά την κατασκευή τους. Ενα τέτοιο παράδειγμα σώζεται στην Αίγυπτο, στο Ραμσείον (Ναό του Ραμσή Β'), κατασκευασμένο περίπου το 1.300 π.Χ., όπου οι κυλινδρικοί θόλοι των αποθηκών ήταν κατασκευασμένοι με αυτό το σύστημα.⁸



εικ.7: Αποθήκες του Ραμσείου στεγασμένες με κυλινδρικούς θόλους **εικ.8:** Σχέδιαστική αναπαράσταση κατασκευής κυλινδρικών θόλων με ωμές πλίνθους στην αρχαία Αίγυπτο **εικ.9:** Κατασκευή θόλων για εκπαίδευση τεχνητών με πρωτοβουλία του Hassan Fathy **εικ.10:** Θολωτές κατασκευές από ωμόπλινθους στο χωριό New Baris σχεδιασμένο από τον Hassan Fathy

8. Στην περιοχή Νουβιάτης Αιγύπτου, η συγκεκριμένη τεχνική διατηρήθηκε. Τη δεκαετία του 1940, ο Αιγύπτιος αρχιτέκτονας Hassan Fathy επισκέφθηκε την περιοχή με σκοπό να μάθει από ντόπιους την τεχνική και να την εφαρμόσει και σε άλλες περιοχές όπου η ξυλεία ήταν σπάνια και επομένως ακριβή. Μετά την επίσκεψή του, συνεργάστηκε με δύο τεχνίτες από το Aswan, διέδωσε την τεχνική εκπαιδύοντας κατοίκους άλλων περιοχών και την εφάρμοσε και στο χωριό που είχε αναλάβει να σχεδιάσει και κατασκευάσει από την αρχή, τη New Gourna. Hassan Fathy, *Architecture for the Poor, An Experiment in Rural Egypt*, Chicago 1973, σελ. 6-9

Κατά τον 11ο μ.Χ. αιώνα, την περίοδο του Ισλάμ, έχουμε κάστρα και τεμένη χτισμένα από χώμα (π.χ. τα τεμένη Djenné και Μορτί στο Μάλι), ενώ την περίοδο του μεσαίωνα (13ος -17ος αι.) το χώμα χρησιμοποιήθηκε στην Ευρώπη σαν υλικό πλήρωσης σε κτίρια με ξύλινο σκελετό, αλλά και για να καλύψει στέγες από άχυρο, ώστε να τις κάνει ανθεκτικές στη φωτιά. Στην Υεμένη, το ιστορικό κέντρο της πόλης Shibam του 16ου αιώνα αποτελείται εξ' ολοκλήρου από πλίνθινα κτήρια 8 με 10 ορόφων συνολικού ύψους περίπου 30 μέτρων, προσδίνοντας της το χαρακτηρισμό «Manhattan της ερήμου».⁹ Από τον 15ο μέχρι τον 19ο αιώνα, εξαπλώθηκε στη Γαλλία η τεχνική του πεπιεσμένου χώματος (terre pisé), η οποία αργότερα έφτασε και στη Γερμανία. Κοντά στη Lyon υπάρχουν χωμάτινα κτίρια πάνω από 300 ετών που κατοικούνται ακόμη.¹⁰



εικ.11: Τέμενος Μορτί στο Μάλι **εικ.12:** Τέμενος Djenné στο Μάλι **εικ.13:** Το ψηλότερο κτίριο από πεπιεσμένο χώμα (rammed earth) της Γερμανίας κτισμένο το 1828 **εικ.14:** Η οχυρωμένη πόλη Shibam στην Υεμένη με πολυώροφα κτίρια από ωμόπλινθους

Από τα τέλη όμως του 19ου αιώνα, οι παραδοσιακές κατασκευαστικές τεχνικές σε πολλά μέρη του κόσμου σταδιακά χάθηκαν και μέχρι τα μέσα του 20ου αιώνα το χτίσιμο με χώμα συνδέθηκε με ευτελείς κατασκευές και

9. Pamela Jerome, "Flash Floods: Protecting the World Heritage Site Of Shibam, Yemen", Research and Heritage, Research Papers on Architectural Heritage, Riyadh 2011, σελ. 131

10. Gernot Minke, *Building with earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*, Βερολίνο 2009, σελ. 13

περιορίστηκε σημαντικά. Την εποχή εκείνη, η ανάπτυξη των αστικών κέντρων δημιούργησε την ανάγκη μαζικής παραγωγής δομικών υλικών, ενώ ταυτόχρονα με την ανάπτυξη της βιομηχανίας εμφανίστηκαν υλικά όπως ο χάλυβας και το τσιμέντο, τα οποία ανταποκρίθηκαν στις απαιτήσεις της εποχής, οπότε και η χρήση του πηλού εγκαταλείφθηκε σε μεγάλο μέρος του πλανήτη. Συγκεκριμένα στην Ελλάδα, η χρήση του πηλού σταμάτησε στα μέσα της δεκαετίας του 1950.¹¹ Για την αναγέννηση των χωμάτινων κατασκευών από τα μέσα του 20ου αιώνα και έπειτα, οφείλουμε πολλά στον αιγύπτιο αρχιτέκτονα Hassan Fathy, ο οποίος επανέφερε την χρήση των ωμοπλίνθων στον τόπο του, προώθησε τον παραδοσιακό τρόπο κατασκευής με χώμα χρησιμοποιώντας παλιές τεχνικές που είχαν ξεχαστεί και εκπαίδευσε ντόπιους στις κατασκευαστικές μεθόδους, ενθαρρύνοντάς τους να χτίζουν μόνοι τους τα σπίτια τους.



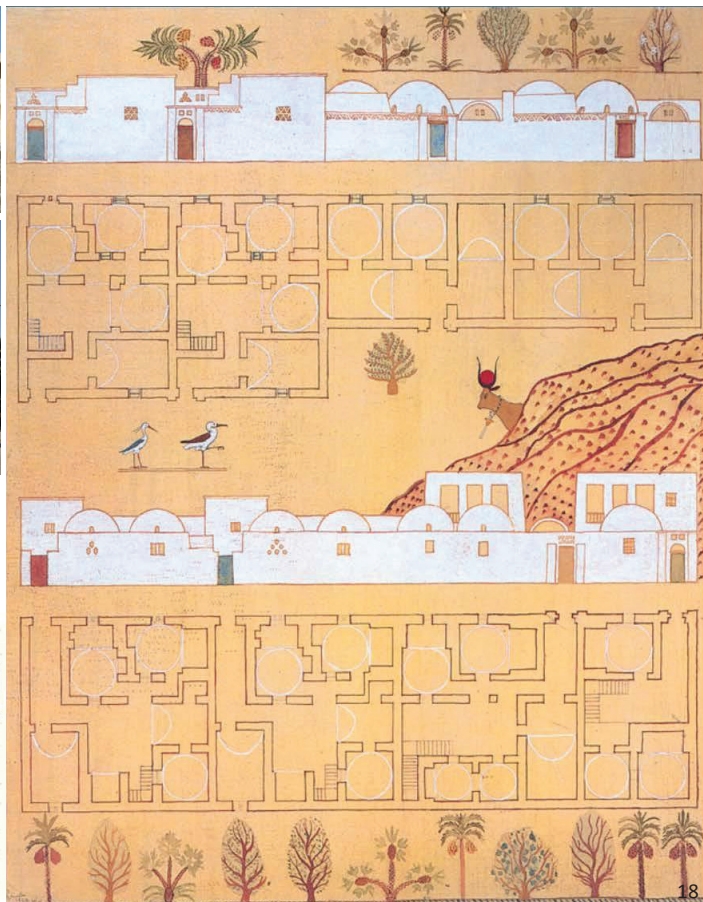
15



16



17



18

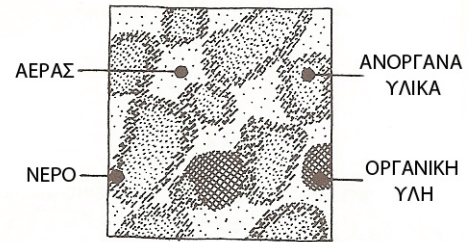
εικ.15: Δρόμος από την πόλη New Gourna, σχεδιασμένη από τον Hassan Fathy **εικ.16:** Το τζαμί της New Gourna **εικ.17:** Σχέδιο της πόλης New Gourna **εικ.18:** Δοκιμαστικό σχέδιο του Hassan Fathy με ζώα και φυτά, τα οποία σχεδίασε με απλές γραμμές όπως στα αρχαία αιγυπτιακά σχέδια. Πίστευε ότι με τον τρόπο αυτό θα φαινόταν καλύτερα κατά πόσο το κτίριο ανταποκρίνεται με ελκρινεία στο τοπίο που το περιβάλλει

11. Γεωργία Ε. Μπέη, Διδακτορική Διατριβή, «Τοιχοποιία από πηλό: Πειραματική διερεύνηση μηχανικών και φυσικών χαρακτηριστικών δομικών μονάδων και τοίχων από Συμπιεσμένες Ωμοπλίνθους», Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη 2004, σελ. 2

Από τη δεκαετία του 1950 και μετά αρχίζει και η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών δόμησης με χώμα, όπως η τεχνολογία των συμπιεσμένων ωμόπλινθων (CSEB - Compressed stabilized earth blocks). Εδώ και λίγες δεκαετίες, με την παγκόσμια ευαισθητοποίηση για βιώσιμη ανάπτυξη, η χωμάτινη αρχιτεκτονική αρχίζει σιγά - σιγά να επανεκτιμάται και να επαναπροσδιορίζεται με τη συμβολή επιστημονικών ερευνών. Σήμερα, ευρεία επιστημονική και πρακτική γνώση παρέχεται από την ομάδα CRATerre/EAG (Διεθνές Κέντρο για την Κατασκευή από Χώμα), που έχει την έδρα της στο Πανεπιστήμιο της Grenoble στη Γαλλία και είναι ο μεγαλύτερος οργανισμός για την ανάπτυξη της χωμάτινης αρχιτεκτονικής. Από το 1998 είναι υπεύθυνη για την έδρα της UNESCO «Χωμάτινη Αρχιτεκτονική – κατασκευαστικές κουλτούρες και βιώσιμη ανάπτυξη» (“Earthen Architecture – construction cultures and sustainable development”).¹² Ταυτόχρονα, έχει δημιουργηθεί ειδική επιτροπή του ICOMOS που ασχολείται με την προστασία και διατήρηση της χωμάτινης αρχιτεκτονικής κληρονομιάς. Επίσης, έχουν ιδρυθεί ανά τον κόσμο πολλοί οργανισμοί (εθνικοί ή διεθνείς) και οικο – κοινότητες (Auroville/Ινδία, Tamera/Πορτογαλία, κ.α.), πειραματικές ομάδες εργασίας και κέντρα περιβαλλοντικής εκπαίδευσης που ασχολούνται με τις κατασκευές από χώμα. Τέλος, τα τελευταία χρόνια έχει ξεκινήσει συστηματική καταγραφή και επιστημονική διερεύνηση των χωμάτινων κατασκευών από διάφορα ερευνητικά ινστιτούτα και πανεπιστήμια (π.χ. Getty Institute/California, E.N.T.P.E./Vaulx-en-Valin Γαλλία, BASIN/Γερμανία, EBANZ/Νέα Ζηλανδία κ.α.). Παράλληλα, γίνεται διεθνώς προσπάθεια θέσπισης κανονισμών δόμησης σχετικών με το χώμα. Σε αρκετές χώρες έχουν δημιουργηθεί οδηγίες δόμησης με χώμα που ποικίλουν μεταξύ τους, ορισμένες από τις οποίες έχουν εγκριθεί σε τοπικό επίπεδο. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι το Περού, το οποίο έχει εντάξει στην τεχνική του νομοθεσία κανονισμό για πλινθόκτιστα κτήρια, και η Νέα Ζηλανδία στην οποία ισχύουν τρεις κανονισμοί που αναφέρονται σε κτίρια από ωμόπλινθους, συμπιεσμένες ωμόπλινθους, ρευστή γη και πεπιεσμένο χώμα.¹³

12. www.earth-auroville.com/world_techniques_introduction_en.php

13. www.ecodesign.co.nz/mudBrickStandards.html



εικ.19: Η σύνθεση του χώματος

2. ΤΟ ΧΩΜΑ ΩΣ ΥΛΙΚΟ ΔΟΜΗΣΗΣ

2.1 Το χώμα

Το χώμα είναι αποτέλεσμα μετασχηματισμών ενός αρχικού πετρώματος υπό την επίδραση μιας σειράς φυσικών, χημικών και βιολογικών διαδικασιών που συσχετίζονται τόσο με βιολογικές και κλιματικές συνθήκες, όσο και με τη ζωή των ζώων και των φυτών. Αποτελείται από αέρια, υγρά (κυρίως νερό) και στερεές ουσίες (ανόργανα και οργανικά υλικά). Αυτά τα συστατικά του είναι σχεδόν ομοιόμορφα κατανεμημένα και συνδεδεμένα στη μάζα του και ο τρόπος σύνδεσης των στερεών συστατικών του σε οποιαδήποτε δεδομένη στιγμή καθορίζει τη δομή του χώματος και επηρεάζει την κυκλοφορία των άλλων δύο συστατικών, του νερού και του αέρα, αλλά και άλλες φυσικές του ιδιότητες.

Ο **αέρας** δεν συνεισφέρει στη στερεότητα του χώματος και στην περίπτωση των κατασκευών θα έπρεπε να μειώνεται όσο το δυνατόν περισσότερο. Ο αέρας που περιέχεται στο νερό μάλιστα, παγιδεύει διάφορους μικροοργανισμούς όπως βακτήρια και μούχλα, που μπορεί να οδηγήσουν σε καταστροφή των οργανικών συστατικών των υλικών της κατασκευής. Οι θύλακες αέρα δημιουργούν κανάλια τα οποία επιτρέπουν τη διείσδυση νερού με τη μορφή υδρατμών.

Το **νερό** που περιέχεται στο χώμα και διεισδύει σε αυτό εμπίπτει σε διάφορες κατηγορίες (π.χ. νερό που συσσωρεύεται στους πόρους στην επιφάνεια των κόκκων και δεν απορροφάται, νερό που συγκρατείται στους πολύ λεπτούς πόρους, νερό που συγκρατείται γύρω από τους κόκκους στην επιφάνειά τους από πολικές και ηλεκτροστατικές δυνάμεις κ.α.), οι οποίες παίζουν σημαντικό ρόλο στον προσδιορισμό των ιδιοτήτων του.

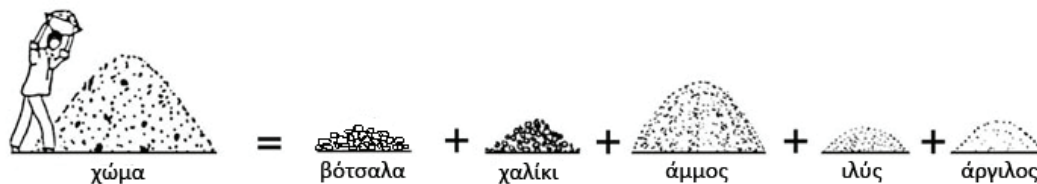
Οι **οργανικές ύλες** συνήθως είναι συγκεντρωμένες στην ανώτερη στρώση του εδάφους, σε βάθος μεταξύ 5 και 35cm περίπου. Μερικές φορές μπορεί να περιέχει ορατά συστατικά φυτών. Η οργανική ύλη έχει πολύ χαμηλή μηχανική αντοχή και η περιεκτικότητά της σε υγρασία μπορεί να είναι πολύ υψηλή (από 100 έως 500%) εξαλείφοντας όλη τη μηχανική σταθερότητα του χώματος. Η οξύτητα των οργανικών συστατικών τείνει να προκαλεί αντιδράσεις οξέος με το νερό στο χώμα, πράγμα που μπορεί να οδηγήσει σε διάβρωση των υλικών

με τα οποία έρχεται σε επαφή. Η συγκέντρωση και το είδος της οργανικής ύλης έχει σημαντικές επιδράσεις στα χαρακτηριστικά ενός φυσικού εδάφους όταν υπερβαίνει το 2-4%.

Τα **ανόργανα συστατικά** αντιπροσωπεύουν συνήθως το κατά πολύ μεγαλύτερο μέρος του χώματος. Διακρίνονται σε δύο ομάδες: αυτά που είναι πανομοιότυπα στη σύνθεση με το αρχικό πέτρωμα από το οποίο προήλθαν και αυτά που είναι αποτέλεσμα της χημικής διάβρωσης των μετάλλων του αρχικού πετρώματος. Τα πρώτα είναι βότσαλα, χαλίκια, άμμος, γενικά τα αμμώδη στοιχεία. Τα δεύτερα έχουν χαρακτηριστικά μικρό μέγεθος (λιγότερο από 2μ.) κι εξαιτίας αυτού οι κόκκοι τους έχουν την εμφάνιση μιας κολλώδους πάστας όταν βρέχονται και ονομάζονται κολλοειδή από το γαλλικό colle (=κόλλα). Τους έχει δοθεί αυτή η ονομασία γιατί αποτελούν το συνδετικό υλικό του χώματος.

Με βάση το μέγεθος των κόκκων τα ανόργανα συστατικά του χώματος χωρίζονται ως εξής:

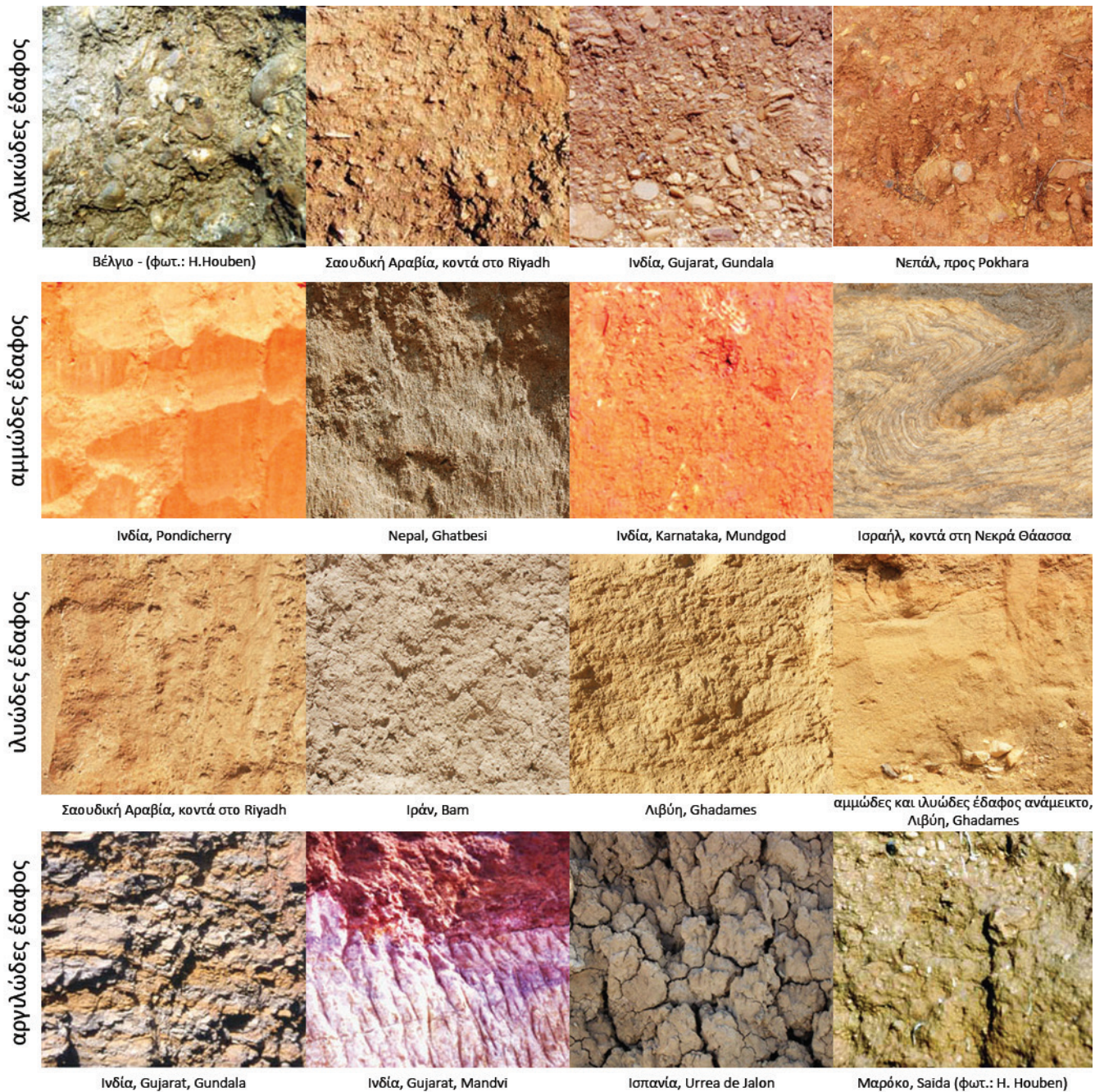
- Βότσαλα 20 - 200mm
- Χαλίκι 2 - 20mm
- Άμμος 0,06 – 2mm
- Ιλύς 0,002(2μ)- 0,06mm
- Αργίλος < 2μ



εικ.20: Τα ανόργανα συστατικά του χώματος

Ανάλογα με το ποσοστό αυτών, το χώμα χαρακτηρίζεται ως χαλικώδες, αμμώδες, ιλυώδες ή αργιλώδες, από το συστατικό που επηρεάζει περισσότερο τη συμπεριφορά του. Σε ένα αμμώδες έδαφος π.χ. η αναλογία της άμμου επηρεάζει περισσότερο τη συμπεριφορά του χώματος. Η ποιότητα των συνδετικών συστατικών ιλύς και αργίλου επηρεάζει επίσης σε μεγάλο βαθμό τη συμπεριφορά του χώματος.¹⁴ Στη συνέχεια παρουσιάζονται ορισμένα παραδείγματα από τις διάφορες κατηγορίες εδαφών (Πίνακας 1).

14. Hugo Houben and Hubert Guillaud, *Earth Construction – A comprehensive guide*, Λονδίνο 1994, σελ. 18-25



εικ.21: Παραδείγματα διαφόρων ειδών εδαφών

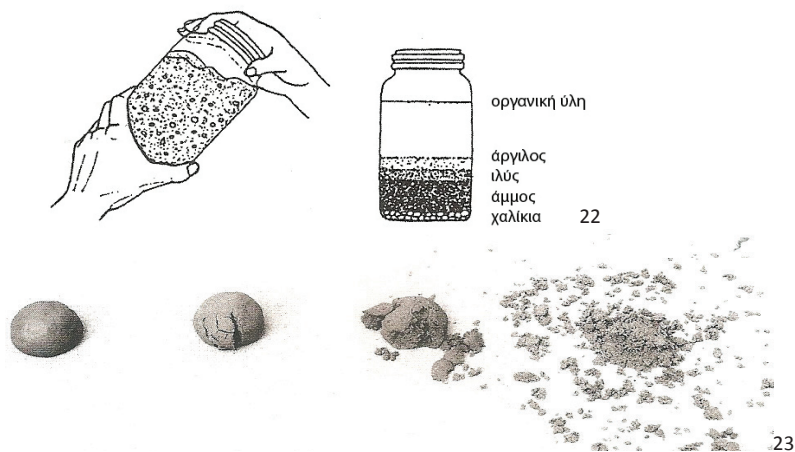
Ο προσδιορισμός της ποιότητας ενός χώματος είναι πολύ σημαντικός, καθώς δεν είναι όλα τα είδη του κατάλληλα για χρήση σε κατασκευές. Το επιφανειακό χώμα που περιέχει οργανικές ύλες δεν συνιστάται για αυτή τη χρήση, ενώ στα περισσότερα είδη κατασκευών δεν χρησιμοποιούνται συστατικά με μέγεθος κόκκων μεγαλύτερο της άμμου, δηλαδή μεγαλύτερα των 2mm, εκτός από ορισμένες περιπτώσεις όπου στο μίγμα περιλαμβάνονται και χαλίκια.

Για να προσδιορίσουμε την καταλληλότητα του χώματος για μια συγκεκριμένη εφαρμογή, είναι αναγκαίο να γνωρίζουμε τη σύνθεσή του. Για το σκοπό αυτό έχουν αναπτυχθεί ορισμένα εργαστηριακά αλλά και απλά εμπειρικά τεστ που μπορούν να γίνουν στο χώρο του εργοταξίου. Τα τελευταία δεν είναι εντελώς ακριβή, αλλά μπορούν να διεξαχθούν εύκολα και γρήγορα και να μας δώσουν μια σαφή εικόνα για την καταλληλότητα ή μη ενός συγκεκριμένου χώματος για μια συγκεκριμένη κατασκευή. Χαρακτηριστικά αναφέρουμε ορισμένα από αυτά:

1. **Κόψιμο μπάλας:** Διαμορφώνουμε μια μπάλα παίρνοντας ένα υγρό δείγμα χώματος και την κόβουμε με ένα μαχαίρι. Εάν η επιφάνεια που κόψαμε είναι γυαλιστερή, αυτό σημαίνει ότι το μίγμα έχει υψηλή περιεκτικότητα σε άργιλο, εάν είναι θαμπή, αυτό υποδηλώνει μεγάλη περιεκτικότητα σε ιλύς.

2. **Τεστ καθίζησης:** Σε ένα βάζο με αρκετό νερό τοποθετούμε δείγμα του χώματος και το ανακατεύουμε πολύ καλά κι έπειτα αφήνουμε το μίγμα να καθίσει για αρκετή ώρα. Τα μεγαλύτερα σωματίδια θα καθίσουν στο κάτω μέρος και τα μικρότερα στο πάνω. Αυτή η διαστρωμάτωση μας επιτρέπει να υπολογίσουμε περίπου την αναλογία των συστατικών του χώματος.

3. **Ρίψη μπάλας:** Παίρνουμε δείγμα χώματος, όσο πιο στεγνό γίνεται, αλλά ταυτόχρονα με την ελάχιστη υγρασία, ώστε να μπορούμε να διαμορφώσουμε μια μπάλα διαμέτρου 4cm. Αφήνουμε την μπάλα να πέσει από ύψος 1,5m σε επίπεδη επιφάνεια. Εάν η μπάλα εμφανίσει λίγες ή καθόλου ρωγμές μετά την πτώση, τότε το μίγμα έχει υψηλή δεσμευτική ικανότητα λόγω υψηλής περιεκτικότητας σε άργιλο και πρέπει να προστεθεί σε αυτό άμμος. Εάν η μπάλα διαλυθεί εντελώς, τότε έχει πολύ μικρή συνδετική ικανότητα και δεν είναι κατάλληλο για τη χρήση σε κατασκευές.¹⁵



εικ.22,23: Τεστ καθίζησης και ρίψης μπάλας αντίστοιχα

Όπως το τσιμέντο στο σκυρόδεμα, έτσι και η άργιλος στο χώμα, δρα ως συνδετικό στοιχείο για όλα τα μεγαλύτερα συστατικά του. Υπάρχουν τέσσερις βασικές κατηγορίες αργίλων, στις οποίες εντάσσονται περίπου τριάντα διαφορετικοί τύποι «καθαρών» αργίλων, αλλά οι περισσότερες που συναντούμε στη φύση είναι μίγματα αυτών των διαφορετικών τύπων, μαζί με άλλα ανόργανα συστατικά.¹⁶ Η κάθε κατηγορία αργίλων παρουσιάζει διαφορετικές ιδιότητες και επηρεάζει διαφορετικά τη συμπεριφορά του υλικού όταν αυτό χρησιμοποιείται στις κατασκευές. Αυτές οι κατηγορίες είναι οι:

- **Καολίνιτες:** Η ονομασία τους προέρχεται από την κινέζικη λέξη kao-ling που σημαίνει ψηλή ράχη, από την ονομασία του βουνού κοντά στο Jaucha Fa, Jianchi της Κίνας όπου βρέθηκε. Αποτελεί καθαρή μορφή αργίλου και περιέχει ξένες ουσίες ή προσμίξεις σε πολύ μικρή πυκνότητα. Το χρώμα του είναι γενικά λευκό, ή συχνά υποκίτρινο, κοκκινωπό ή καστανωπό λόγω προσμίξεων. Αντέχει σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες, γίνεται πλαστικός όταν υγρανθεί και παρουσιάζει πολύ μικρή διαστολή όταν έρχεται σε επαφή με το νερό, γεγονός που το καθιστά ιδανικό για τις κατασκευές. Χρησιμοποιείται κυρίως στην κατασκευή πορσελάνης, δύστηκτων υλικών, χαρτιού, χρωμάτων, λάστιχων, πλαστικών και κεραμικών.

- **Ιλλίτες:** Απορροφούν γενικά μικρή ποσότητα νερού και η διόγκωσή τους είναι μικρή. Παρουσιάζεται στα προϊόντα αποσάθρωσης πετρωμάτων πλούσιων σε μαρμαρυγίες, είναι πολύ διαδεδομένο στη φύση και αφθονεί στα πετρώματα που συναντούμε στην Ελλάδα.

- **Χλωρίτες:** Η ονομασία τους προέρχεται από την ελληνική λέξη «χλωρός», που σημαίνει πρασινωπός, ανοιχτοπράσινος λόγω του επικρατούντος πράσινου και σε διάφορες αποχρώσεις χρώματός τους. Είναι πολύ διαδεδομένοι στη φύση και αποτελούν την πράσινη χρωστική ύλη πολλών πετρωμάτων.

- **Σμεκτίτες:** Πρόκειται για μια ομάδα αργίλων, πιο γνωστή από τους οποίους είναι ο μοντμοριγιονίτης. Η ονομασία του προέρχεται από το γαλλικό βουνό Montmorillon. Αποτελεί το κύριο συστατικό του μπεντονίτη, ο οποίος προκύπτει από την εξαλλοίωση ηφαιστιογενών πετρωμάτων. Χαρακτηριστική του ιδιότητα αποτελεί ο πολλαπλασιασμός του όγκου του όταν απορροφήσει νερό, γεγονός που τον καθιστά και τον λιγότερο κατάλληλο για χρήση στο κυρίως σώμα των κατασκευών, αλλά αντίθετα ιδιαίτερα ευνοϊκό για χρήση στην επιφάνεια των δωματίων, όπου χρειαζόμαστε άργιλο που φουσκώνει όταν βρέχει για να κλείνει τους πόρους και να μην επιτρέπει στο νερό να διεισδύσει βαθύτερα στην κατασκευή.¹⁷

16. www.wikipedia.org

17. Ηλεκτρονικές σημειώσεις Τεχνικής Γεωλογίας - Εργαστηρίου Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών (http://www.metal.ntua.gr/uploads/2610/1_DIALEXI.pdf)

17. Ηλεκτρονικές σημειώσεις Ορυκτολογίας, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (<http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo106y/>)

17. Συζήτηση με Pamela Jerome

2.2 Σταθεροποίηση¹⁸

Η δόμηση με χώμα προκύπτει από την επιλογή μεταξύ τριών περιπτώσεων:

1. Τη χρήση του χώματος που είναι διαθέσιμο στο οικόπεδο και προσαρμογή της κατασκευής όσο είναι δυνατόν στις ιδιότητες αυτού
2. Τη χρήση ενός άλλου χώματος πιο κατάλληλου στις απαιτήσεις της κατασκευής που επιθυμούμε, πράγμα που απαιτεί τη μεταφορά του νέου χώματος στο οικόπεδο
3. Την τροποποίηση του χώματος που είναι διαθέσιμο στο σημείο κατασκευής, ώστε να είναι πιο ταιριαστό στις απαιτήσεις της κατασκευής.

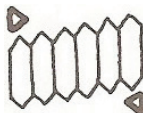




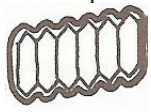
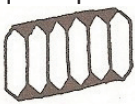
Αυτή η τρίτη επιλογή αναφέρεται ως σταθεροποίηση (stabilization) του εδάφους και περιλαμβάνει ένα σύνολο τεχνικών που επιτρέπουν τη βελτίωση των ιδιοτήτων του εκάστοτε διαθέσιμου υλικού, ενός συστήματος χώμα - νερό - αέρας, ώστε να αποκτήσει μόνιμες ιδιότητες, οι οποίες είναι συμβατές με μια συγκεκριμένη εφαρμογή. Η σταθεροποίηση είναι ένα πολύπλοκο πρόβλημα και δεν υπάρχει μια συγκεκριμένη λύση η οποία θα μπορούσε να εφαρμοστεί σε κάθε περίπτωση. Ένας μεγάλος αριθμός παραμέτρων εμπλέκεται σε αυτή τη διαδικασία: οι ιδιότητες του ήδη υπάρχοντος χώματος, οι επιθυμητές βελτιώσεις, οι επιλεγμένες τεχνικές κατασκευής, ο οικονομικός προϋπολογισμός της κατασκευής, το κόστος συντήρησης της κάθε επιλογής, οι χρονικές καθυστερήσεις που συνεπάγεται η σταθεροποίηση κ.ά. Γενικά μπορούμε να πούμε ότι η σταθεροποίηση θα είναι επιτυχής εάν η διαδικασία που θα επιλεγεί τελικά, είναι συμβατή με τις επιταγές του προγράμματος, συγκεκριμένα το κόστος και τις καθυστερήσεις της κατασκευής και το κόστος συντήρησης.

Η σταθεροποίηση όταν περιλαμβάνει προσθήκη υλικών (σταθεροποιητών) στο μίγμα αργίλου, αυξάνει την ανθεκτικότητα στο νερό καλύπτοντας τα μέταλλα του μίγματος. Πολλοί σταθεροποιητές μπορούν να χρησιμοποιηθούν και η φύση τους εξαρτάται από την ποιότητα του χώματος και το είδος της τεχνικής που χρησιμοποιείται κάθε φορά. Ινες (φυσικές ή συνθετικές), φυσικά προϊόντα (άχυρο, τρίχωμα ζώων, χυμοί φυτών κλπ) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τεχνικές που απαιτούν πολύ νερό (πλίνθοι, τσατμάς, cob, κλπ.) Για συμπιεσμένες ωμόπλινθους και πεπιεσμένο χώμα σε ξυλότυπο (rammed earth), οι πιο κοινοί σταθεροποιητές είναι τσιμέντο και ασβέστης. Άλλοι σταθεροποιητές όπως χημικά και ρητίνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν επίσης. Το τσιμέντο προτιμάται για αμμώδη χώματα και για να επιτύχει γρηγορότερη και υψηλότερη αντοχή. Η ασβέστος προτιμάται για αργιλώδη χώματα, αλλά απαιτεί περισσότερο χρόνο για αποκτήσει την τελική του σκληρότητα.

Υπάρχουν τρεις διαδικασίες σταθεροποίησης του χώματος όπως φαίνεται στον πίνακα¹⁹:

18. Hugo Houben and Hubert Guillaud, *Earth Construction – A comprehensive guide*, Λονδίνο 1994, σελ. 74-77

19. Βασισμένος στον πίνακα του βιβλίου «*Earth Construction – A comprehensive guide*» των Hugo Houben and Hubert Guillaud, Λονδίνο 1994, σελ.75 και της ιστοσελίδας www.earth-auroville.com/raw_material_introduction_en.php, όπου στα σχήματα, με εξαγωγικό σχήμα συμβολίζονται τα μόρια αργίλου και παρουσιάζεται συμβολικά ο τρόπος με τον οποίο αυτά συνδέονται μεταξύ τους σε κάθε διαδικασία σταθεροποίησης

	Αρχή	Μέθοδος	Σταθεροποιητής	Παράδειγμα
Μηχανική σταθεροποίηση	το χώμα συμπυκνώνεται	Συμπύκνωση αύξηση πυκνότητας- μείωση πόρων 	χωρίς σταθεροποιητή	- συμπίεση - προσθήκη αδρανών - ανάμιξη διαφορετικών χωμάτων
Φυσική σταθεροποίηση	η υφή του χώματος διορθώνεται προσθέτοντας ή αφαιρώντας αδρανή ή προσθέτοντας ίνες	Ενίσχυση δημιουργία ενός ανισότροπου δικτύου περιορίζοντας την κίνηση 	αδρανή	
		Ενίσχυση δημιουργία ενός ανισότροπου δικτύου περιορίζοντας την κίνηση 	ίνες	- άχυρο - τρίχες - συνθετικές ίνες
Χημική σταθεροποίηση	επεξεργασμένα ενεργά προϊόντα (π.χ. χημικά) προστίθενται στο χώμα	Συγκόλληση δημιουργία ενός αδρανούς καλουπιού που αντιτίθεται στην 	συνδετικά	- τσιμέντο - στάχτη
		Σύνδεση Δημιουργία σταθερών χημικών δεσμών μεταξύ αργίλου και άμμου 		- ασβέστης
		Μη διαπερατότητα κάθε κόκκος χώματος περιβάλλεται με έναν στεγανό υμένα 	στεγανοποιητές	- πίσσα - ρητίνες - διάφορα χημικά
		Στεγάνωση Αποφυγή απορρόφησης νερού από την επιφάνεια 		- μπογιές, κονιάματα

πίνακας 1: Διαδικασίες σταθεροποίησης

Συμπύκνωση: Υπάρχουν δύο τρόποι για να αυξηθεί η πυκνότητα: **α.** μηχανικά, αφαιρώντας όσο το δυνατόν περισσότερο αέρα από τη μάζα του χώματος με ζύμωμα και συμπίεση. Η κοκκομετρική διαβάθμισή του μίγματος δεν επηρεάζεται αλλά η δομή του αλλάζει καθώς τα σωματίδια ανακατατάσσονται. Το χώμα αρχικά αλέθεται για να γίνει πιο ομοιόμορφο και έπειτα συμπιέζεται. **β.** γεμίζοντας τα κενά όσο το δυνατόν με άλλα αδρανή. Σε αυτή την περίπτωση η κοκκομετρική διαβάθμιση πρέπει να είναι η ιδανική και το κενό μεταξύ δυο ομάδων αδρανών γεμίζεται με μια άλλη ομάδα.

Ενίσχυση: Εάν υπάρχουν λόγοι να μην επέμβουμε στην κοκκομετρική διαβάθμιση του χώματος ή αν αυτό δεν είναι αρκετό εξαιτίας διαφόρων τάσεων, επίδρασης νερού κλπ. τότε επιλέγουμε να προσθέσουμε σπλισμό στη μάζα του χώματος, πράγμα που γίνεται με την προσθήκη μιας μεγάλης ποικιλίας από ίνες (ζωικές, φυτικές, ανόργανες ή συνθετικές). Αυτές δρουν σε μακροσκοπικό επίπεδο, δηλαδή στο σύνολο των κόκκων και όχι μεμονωμένα στον κάθε κόκκο χωριστά.

Συγκόλληση: Είναι μια σταθεροποιητική διαδικασία κατά την οποία μια τρισδιάστατη, ισχυρή και αδρανής μήτρα εισάγεται στο χώμα και αντιτίθεται σε όλες τις κινήσεις του. Τα κενά γεμίζονται με ένα αδιάλυτο συνδετικό, το οποίο καλύπτει τα αδρανή και τα συγκρατεί σε μια αδρανή μήτρα. Ο κύριος σταθεροποιητής που δρα με αυτό το μηχανισμό είναι το τσιμέντο Portland. Παρόμοια αποτελέσματα μπορούν να επιτευχθούν και με τη χρήση ηλεκτρολυτικών διαλυμάτων αλάτων πυριτικού νατρίου ή με ορισμένες ρητίνες και κόλλες. Ως χημική αντίδραση αυτός ο μηχανισμός σταθεροποίησης έχει το χαρακτηριστικό ότι ο σχηματισμός αυτής της αδρανούς μήτρας είναι σχετικά ανεξάρτητος από την άργιλο. Οι κύριες σταθεροποιητικές αντιδράσεις γίνονται στον ίδιο το σταθεροποιητή και μεταξύ σταθεροποιητή και του αμμώδους τμήματος του χώματος. Η ποσότητα και η ποιότητα της αργίλου επηρεάζει την αποτελεσματικότητα της σταθεροποιητικής διαδικασίας και μπορεί να αλλάζει τη μηχανική συμπεριφορά του υλικού.

Σύνδεση: Σε αυτή την περίπτωση η αδρανής μήτρα που εισάγεται στο χώμα περιλαμβάνει την άργιλο. Υπάρχουν δύο μηχανισμοί με το ίδιο αποτέλεσμα. **α.** Γίνεται χρήση των αρνητικών και θετικών φορτίσεων των μορίων αργίλου ή της χημικής τους σύνθεσης ώστε να ενωθούν μέσω ενός σταθεροποιητή, που παίζει το ρόλο συνδετικού ή καταλύτη σε αυτό το δεσμό. Ορισμένοι χημικοί σταθεροποιητές δρουν με αυτό τον τρόπο, όπως π.χ. ορισμένα οξέα, πολυμερή, κροκιδωτικά κλπ. **β.** Ενας σταθεροποιητής αντιδρά με την άργιλο και σχηματίζει ένα νέο αδρανές και αδιάλυτο υλικό που είναι ένα είδος τσιμέντου. Αυτή είναι μια ποζολανική αντίδραση και παράγεται κυρίως με ασβέστη. Η αντίδραση προχωρά αργά και εξαρτάται κυρίως από την ποσότητα και ποιότητα της αργίλου.

Μη διαπερατότητα: Αυτή η μέθοδος σταθεροποίησης βοηθά να μειωθεί η διάβρωση από το νερό, το φούσκωμα και η συρρίκνωση όταν το υλικό υπόκειται σε συνεχείς κύκλους ύγρανσης και ξήρανσης. Υπάρχουν δύο πιθανές μέθοδοι αδιαβροχοποίησης. **α.** Όλα τα κενά, πόροι και ρωγμές γεμίζονται με ένα υλικό που δεν επηρεάζεται από το νερό. Η πίσσα είναι ένα από τα καλύτερα παραδείγματα υλικών που δρουν με αυτό τον τρόπο. **β.** Ενα υλικό που εξαπλώνεται με την παραμικρή επαφή του με το νερό διασκορπίζεται μέσα στο χώμα και εμποδίζει το φιλτράρισμα των πόρων. Ενα τέτοιο υλικό είναι ο μπεντονίτης.

Στεγάνωση: Σε αυτή τη διαδικασία το αντικείμενο είναι η κίνηση του νερού και των υδρατμών του μέσα στο χώμα. Αυτό επιτυγχάνεται είτε αλλάζοντας τη φύση του νερού αυτού, είτε μειώνοντας την ευαισθησία των μορίων αργίλου στο νερό. Χρησιμοποιούνται τρεις μέθοδοι: **α.** Τροποποίηση της κατάστασης του νερού των πόρων, ξηραίνοντας το χώμα με την εισαγωγή χλωριούχου ασβεστίου σε αυτό. Αυτό αυξάνει την επιφανειακή

τάση, μειώνει την πίεση των υδρατμών του νερού και το ποσοστό εξάτμισης και τέλος μειώνει την διακύμανση στην περιεκτικότητα σε υγρασία. **β.** Ανταλλαγή ιόντων: ιόντα αντικαθίστανται από άλλα μέχρι να είναι πολύ καλά στερεωμένα στα μόρια αργίλου και το νερό να μην μπορεί πια να τα διαλύσει. Ορισμένα οξέα μπορούν να ενισχύσουν αυτό το φαινόμενο. **γ.** Μόρια σταθεροποιητών στερεώνονται σε ένα από τα άκρα των πλακών αργίλου στο εξωτερικό των συμπαγών αδρανών. Το άλλο άκρο αυτών των μορίων των σταθεροποιητών είναι αδιάβροχο και λειτουργεί ως αδιάβροχο κάλυμμα της αργίλου. Ορισμένες τεταρτοταγείς αμίνες²⁰ και ρητίνες λειτουργούν με αυτό τον τρόπο.



εικ.24,25: σταθεροποίηση μίγματος πηλού με την προσθήκη άχυρου (εικ.24) και τριχών γίδας (εικ.25)

20. Οι αμίνες είναι οι αζωτούχες οργανικές ενώσεις με μία τουλάχιστον αμινομάδα, δηλαδή $-NH_2$ ή $-NH-$ ή $>N-$, ως κύρια χαρακτηριστική ομάδα. Η αμινομάδα μπορεί να θεωρηθεί ότι προέρχονται από την αντικατάσταση ενός τουλάχιστον ατόμου υδρογόνου αμμωνίας από ένα τουλάχιστον υδροκαρβύλιο. Ανάλογα με τον αριθμό των υδρογόνων της αμμωνίας που έχουν αντικατασταθεί από υδροκαρβύλια οι αμίνες διακρίνονται σε πρωτοταγείς, δευτεροταγείς, τριτοταγείς κλπ. (www.wikipedia.org)

3. ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ

Οι άνθρωποι ανά τον κόσμο προσάρμοσαν τις κατασκευές τους στα εκάστοτε διαθέσιμα υλικά και στις ιδιότητες και συμπεριφορές του χώματος που είχαν στη διάθεσή τους. Έτσι δημιουργήθηκαν διάφορες τεχνικές χρησιμοποίησής του στην κατασκευή, τις οποίες διακρίνουμε σε 8 γενικές κατηγορίες.

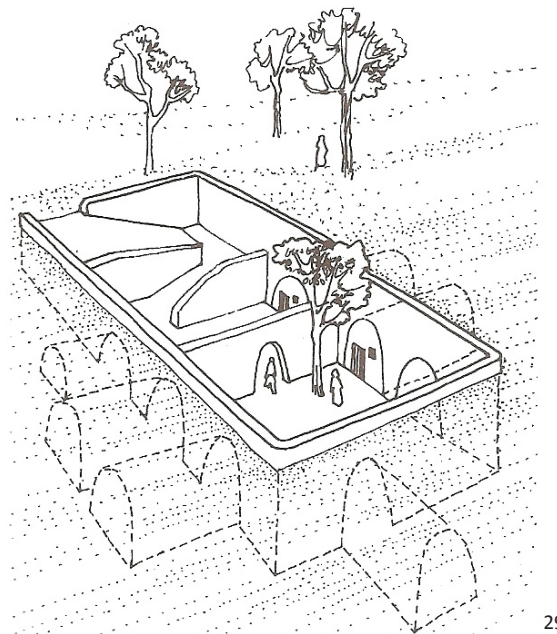
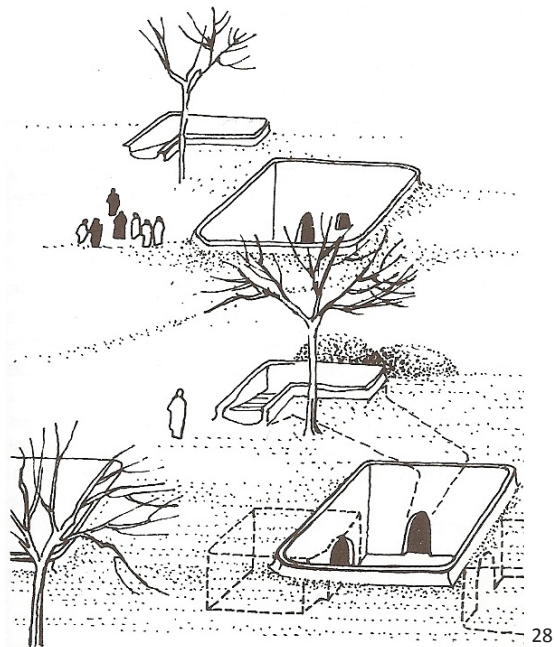
εικ.26(αριστερά): Διαγραμματική κατηγοριοποίηση των διαφόρων τεχνικών δόμησης με χώμα, ανάλογα με τον τρόπο χρήσης του και την διαδικασία εφαρμογής του στην κατασκευή. Περιλαμβάνεται ένα μεγάλο πλήθος τεχνικών (παλαιών, σύγχρονων και πειραματικών) και παραλλαγών αυτών. Στην πραγματικότητα συναντάμε συχνά συνδυασμούς αυτών των τεχνικών και άλλες παραλλαγές τους που πιθανόν να μην έχουν περιληφθεί στην παρούσα ανάλυση.



εικ.27: Υπόγειες κατοικίες στην περιοχή Tungkwan (Hohnan) της Κίνας οργανωμένες γύρω από αίθρια, επιφάνειας περίπου όσο ένα γήπεδο του τένις και ύψους 7-9m, λαξευμένα κατακόρυφα στο έδαφος. Κλίμακες σχήματος L οδηγούν υπόγεια από το επίπεδο του εδάφους στο υποβαθμισμένο επίπεδο του αιθρίου και των κατοικιών.

3.1 Λάξευση του εδάφους

Συνήθως αυτή η τεχνική εμφανίζεται σε περιοχές με απαλό χώμα, ηφαιστειακή γη, ασβεστώδη λάσπη, με ξηρό και ζεστό κλίμα. Μια τέτοια κατοικία προσφέρει πολύ καλή εξισορρόπηση της εσωτερικής θερμοκρασίας με την εξωτερική, λόγω της καλής θερμομόνωσης που προσφέρει το χώμα ως υλικό. Επίσης αμυντικοί λόγοι και πιθανή έλλειψη υλικών κατασκευής οδήγησαν στην ανάπτυξη αυτής της υπόγειας μορφής κατοίκησης. Διακρίνονται δύο κατηγορίες: η κατακόρυφη και η οριζόντια λάξευση του εδάφους.



εικ.28,29: Υπόγειες κατοικίες γύρω από αίθριο, διαμορφωμένο από κατακόρυφη λάξευση του εδάφους

Σε επίπεδες περιοχές όπως οροπέδια ή πεδιάδες, υπόγειες κατοικίες σκάβονται κατακόρυφα. Μια ράμπα ή σκάλα ομαλής κλίσης οδηγεί από την επιφάνεια του εδάφους στο υποβαθμισμένο επίπεδο μιας «βυθισμένης» αυλής. Γύρω από το χώρο αυτό, λαξεύονται οι επιμέρους υπόγειοι χώροι της κατοικίας με θολωτές οροφές. Τέτοιας μορφής κατοικίες μπορούμε να δούμε χαρακτηριστικά σε περιοχές με κίτρινη ασβεστώδη λάσπη (loess) των προαστίων της κεντρικής Κίνας. Η αρχαία αυτή τεχνική εκμεταλλεύεται το υψηλό πορώδες (περίπου 45%) της ιλύς που μεταφέρεται από τον αέρα και μπορεί εύκολα να λαξευτεί και ταυτόχρονα λύνει αποτελεσματικά το πρόβλημα του εξαιρετικά ξηρού και θυελλώδους κλίματος. Η στέγη χρησιμοποιείται για να στεγνώνεται το σιτάρι από την ήλιο και με ένα ειδικό σύστημα από τρύπες στις οροφές οδηγείται έπειτα απευθείας στις αποθήκες.²¹

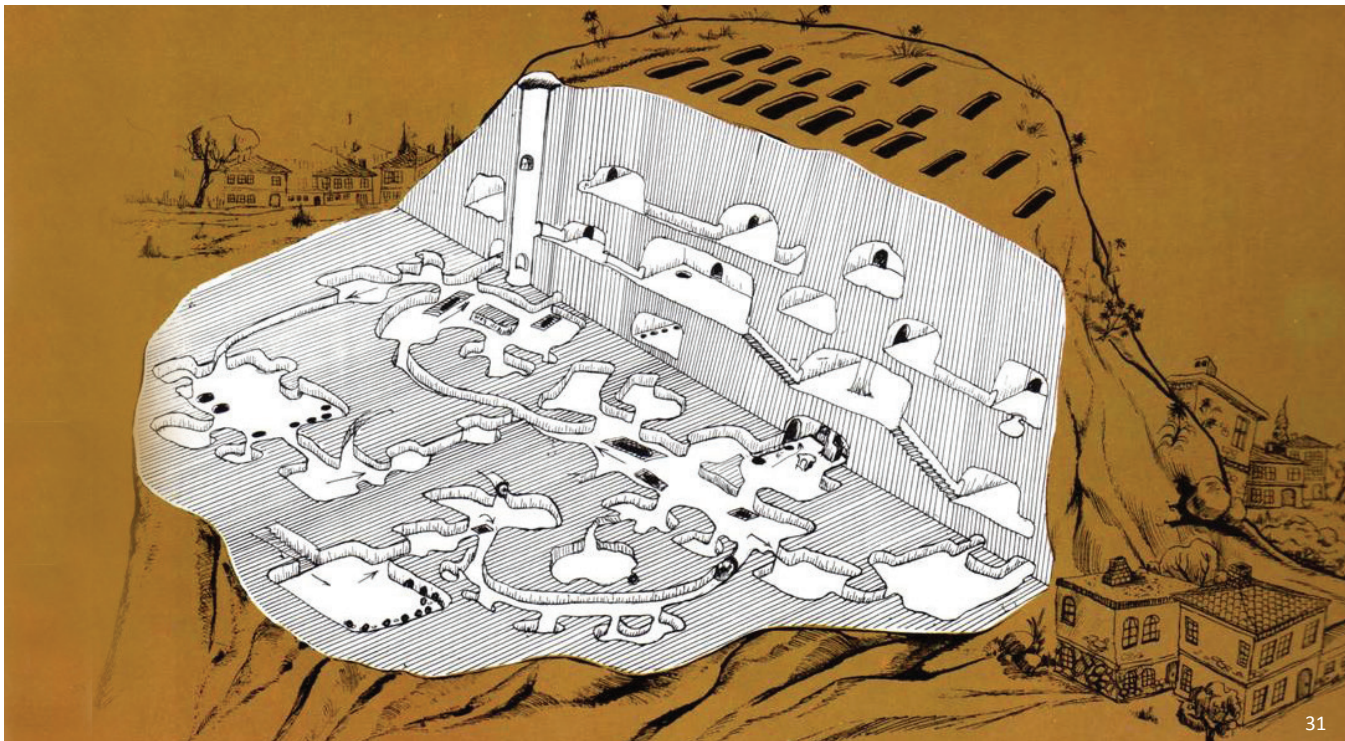
21. Bernard Rudofsky, *Architecture without Architects: a short introduction to non-pedigreed architecture*, Λονδίνο 1964, κεφ. Troglodytism, και www.chinaculture.org/gb/en_curiosity/2006-02/14/content_79287.htm (Ivana, "Ancient underground courtyards sinking out of sight")



εικ.30: Αίθριο κατοικίας λαξευμένο κατακόρυφα μέσα στο έδαφος στην περιοχή Matmata της Τυνησίας

Στις γνωστές κατοικίες της περιοχής Matmata στην Τυνησία συναντάμε αντίστοιχη μορφή υπόγειας κατοίκησης που οργανώνεται γύρω από μια κεντρική αυλή και προκύπτει από την κατακόρυφη λάξευση του εδάφους.

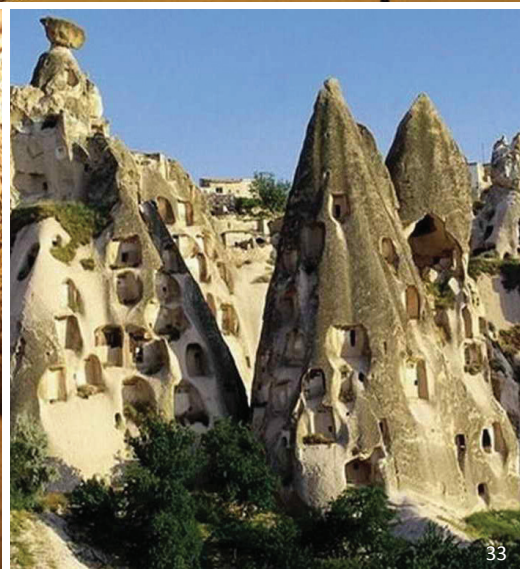
Ενα άλλο παράδειγμα αυτού του είδους αρχιτεκτονικής, όπου συνδυάζεται η οριζόντια και η κατακόρυφη λάξευση του εδάφους, αποτελούν οι υπόγειες πόλεις της Καππαδοκίας. Οι πρώτοι κάτοικοι της περιοχής εκμεταλλεύτηκαν το ηφαιστιογενές χώμα που εύκολα μπορούσε να λαξευτεί για να προφυλαχθούν από επιθέσεις άγριων ζώων και τις άσχημες καιρικές συνθήκες. Με τον καιρό μεγάλωσαν τους υπόγειους χώρους σύμφωνα με τις καθημερινές τους ανάγκες και εξελίχθηκαν σε υπόγειες πόλεις με αρκετά επίπεδα που συνδέονταν μεταξύ τους με τούνελ. Αργότερα, αυτές οι υπόγειες πόλεις χρησιμοποιήθηκαν από τους πρώτους χριστιανούς σαν καταφύγια για να προστατευθούν από τις διώξεις των Ρωμαίων και μεγεθύνθηκαν ώστε να μπορεί σε περίπτωση ανάγκης να ζήσει σε αυτές ολόκληρη η πόλη και καθένα από τα υπέργεια σπίτια εκείνης της περιόδου συνδεόταν με την υπόγεια πόλη μέσω τούνελ. Οι υπόγειες πόλεις στην Καππαδοκία είναι πάρα πολλές και διαθέτουν εκπληκτικά συστήματα εξαερισμού και ύδρευσης.



31



32



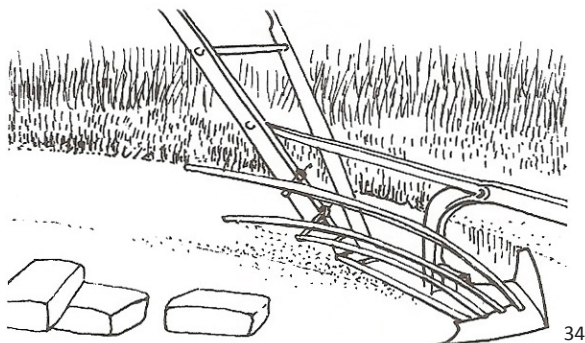
33

εικ.31: Αξονομετρική τομή της υπόγειας πόλης στο Καγμακλί της Καππαδοκίας εικ.32: Διάδρομος της υπόγειας πόλης στο Καγμακλί της Καππαδοκίας
 εικ.33: Οριζόντια λάξευση του εδάφους στην περιοχή της Καππαδοκίας

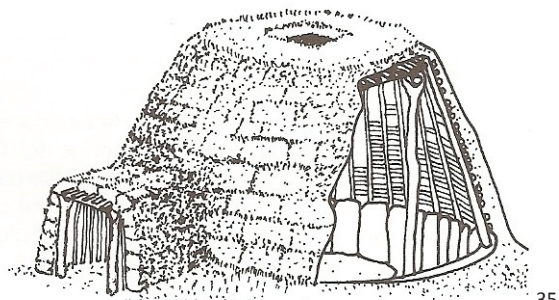
3.2 Δόμηση με πλίνθους

3.2.1 Κοπή δόμων

Σε ορισμένες περιοχές όπου το χώμα περιέχει οργανικές ύλες και φυτικά υλικά, είναι συνεκτικό λόγω της ύπαρξης ριζών στη μάζα του, δίνεται η δυνατότητα της κοπής του σε δόμους (τα λεγόμενα sods) με απλά εργαλεία. Αυτή η μέθοδος έχει χρησιμοποιηθεί ιδιαίτερα στην Αγγλία και τη Σκανδιναβία. Στην Αμερική οι ευρωπαίοι άποικοι που εγκαταστάθηκαν στο Missouri και τη Nebraska είχαν έλλειψη από ξυλεία και πέτρα κι εμπνεύστηκαν από τις κατοικίες των ντόπιων Ινδιάνων (τις χαρακτηριστικές στρογγυλές καλύβες των φυλών Omaha και Pawnee) απ' όπου πήραν την πρακτική της κοπής αυτών των «τούβλων» χώματος. Ήταν δύσκολο να ληφθούν κομμάτια ομοιόμορφου σχήματος με τη χρήση φτυαριού κι έτσι ανέπτυξαν με τον καιρό ένα ειδικά προσαρμοσμένο άροτρο που ονομάζεται “grasshopper”, το οποίο είχε μια γωνιακή λεπίδα που μπορούσε να κόψει κομμάτια ομοιόμορφα σε σχήμα χωρίς να τα σπάσει.



34



35



36



37

εικ.34: Απεικόνιση εργαλείου “grasshopper” για κοπή δόμων ομοιόμορφου σχήματος **εικ.35:** Σκίτσο κατοικίας ιθαγενών από την οποία επηρεάστηκαν οι ευρωπαίοι άποικοι για τη δημιουργία κατασκευών από sods **εικ.36:** κοπή sod στην Ουρουγουάη **εικ.37:** κατοικία από sods στο Montevideo της Ουρουγουάης

Σε άλλες περιοχές, το χώμα είναι φυσικά συνεκτικό και σκληρό, άσχετα με την ύπαρξη συνεκτικών φυτικών υλικών στη μάζα του, καθώς περιέχει ανθρακικά άλατα (ένα φυσικό χημικό που αυξάνει τη συνεκτικότητα). Αυτό δίνει τη δυνατότητα να κόβεται σε κομμάτια χωρίς καθόλου προετοιμασία, τα οποία στην συνέχεια χρησιμοποιούνται ως πλίνθοι στις κατασκευές. Αυτά τα εδάφη μπορεί να είναι είτε μαλακά που σκληραίνουν όταν εκτίθενται στον αέρα λόγω χημικής αντίδρασης, όπως στις δυτικές ακτές της Ινδίας από την Kerala μέχρι τη Goa, είτε εδάφη που κάποτε ήταν μαλακά και με το πέρασμα των χρόνων σκλήρυναν, όπως στο Burkina Faso της Αφρικής και την Orissa της ανατολικής Ινδίας.²²



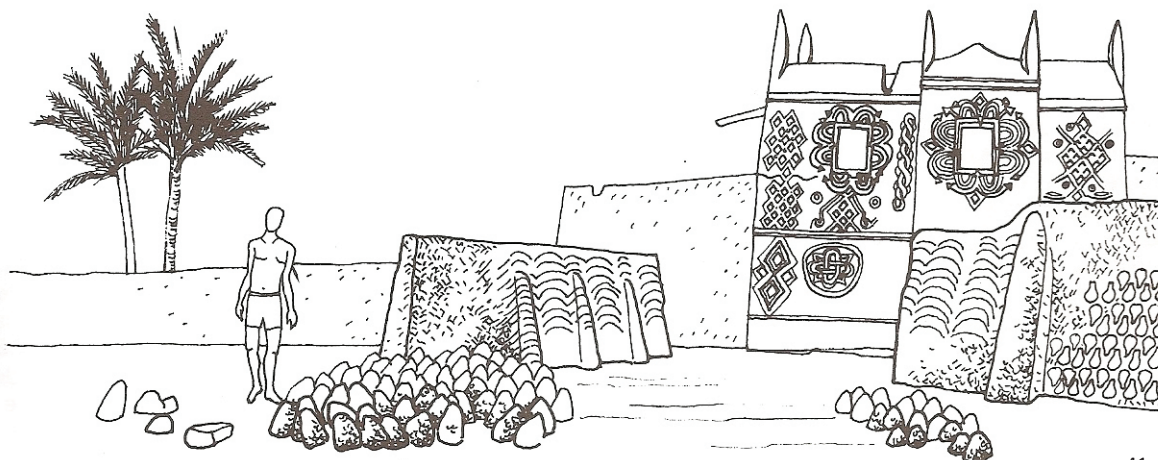
εικ.38: Λατομείο κοπής πλίνθων στη Burkina Faso **εικ.39,40:** Κοπή πλίνθων από φυσικά σκληρό χώμα στην Orissa της Ινδίας

22. Hugo Houben and Hubert Guillaud, *Earth Construction – A comprehensive guide*, Λονδίνο 1994, σελ. 172-173

3.2.2 Σχηματισμός πλίνθων με τα χέρια

Οι ωμόπλινθοι μπορούν να σχηματιστούν με διάφορους τρόπους. Ενας από αυτούς, ο οποίος είναι ιστορικά και ο πιο παλιός, είναι ο σχηματισμός τους με τα χέρια. Παράγονται με τη χρήση χοντρής, εύπλαστης λάσπης, πολλές φορές με την προσθήκη κομμένου άχυρου, τριχών κατσίκας ή άλλων ινών για ενίσχυση, πλάθονται σε διάφορα σχήματα και στη συνέχεια αφήνονται να στεγνώσουν στον ήλιο.

Οι αρχαιότεροι γνωστοί ωμόπλινθοι ήταν κωνικοί (ανακαλύφθηκαν στο Περού) και κυλινδρικοί. Στο Togo και τη βόρεια Νιγηρία, κωνικοί και πυραμοειδείς πλίνθοι πλασμένοι με τα χέρια χρησιμοποιούνται ακόμη και είναι γνωστοί ως “tubali”.

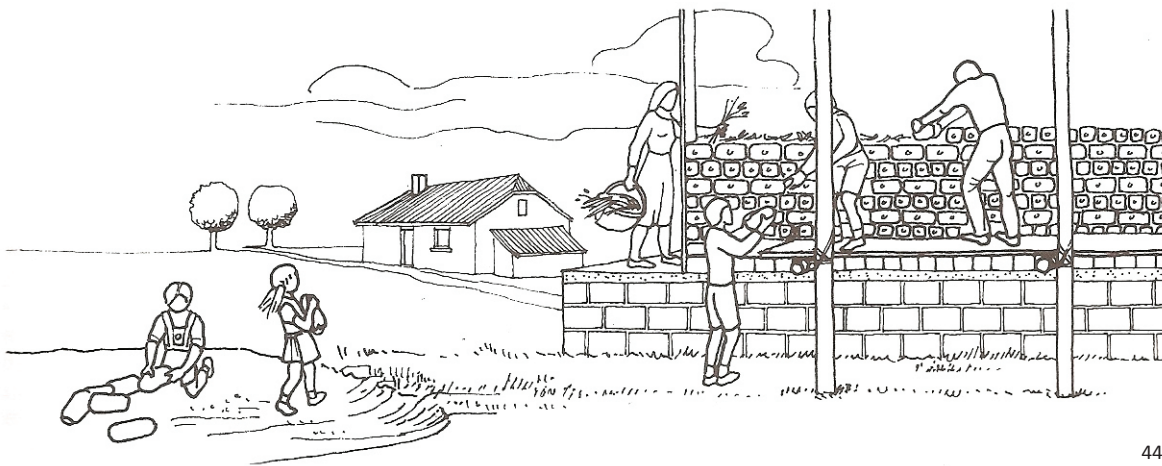


41



εικ.41: Σχεδιαστική αναπαράσταση κατασκευής tubali και χρήση τους στην κατασκευή εικ.42: Κατασκευή tubali εικ.43: Οψη τοίχου από tubali

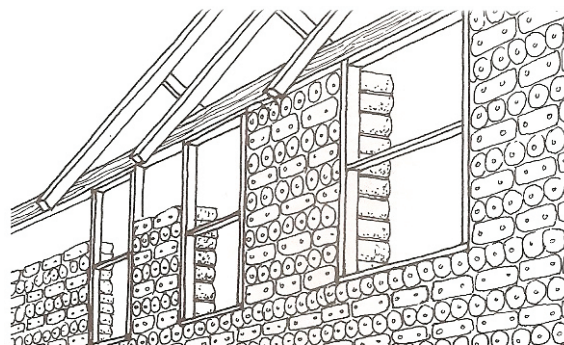
Κυλινδρικοί ωμόπλινθοι (με τη μορφή καρβελιών) σχηματισμένοι με τα χέρια χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή σπιτιών στη Γερμανία μετά τον Α΄ Παγκόσμιο Πόλεμο. Αυτή την τεχνική εισήγαγε ένας Γερμανός μισθοφόρος, που έχοντας περάσει μεγάλο μέρος της ζωής του στην κεντρική Αφρική και επηρεασμένος από τις εκεί τεχνικές, δημιούργησε αυτή τη νέα, που πήρε το όνομά της από το γερμανικό χωριό Dünne όπου πρωτοεφαρμόστηκε. Σε αυτή την περίπτωση, τα κυλινδρικά τούβλα στοιβάζονται στην τοιχοποιία χωρίς κονίαμα και σε καθένα από αυτά γίνεται μια χαρακτηριστική κωνική τρύπα στην εξωτερική πλευρά χρησιμοποιώντας το δάχτυλο, για καλύτερη πρόσφυση του επιχρίσματος που εφαρμόζεται αργότερα, γεγονός που αποτελεί και το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό γνώρισμα αυτής της τεχνικής.²³



44



45



46

εικ.44,46: Σκίτσο αναπαράστασης της κατασκευής με την τεχνική Dünne **εικ.45:** Κτίριο με ανεπίχριστη τοιχοποιία στο Dünne της Γερμανίας

23. Hugo Houben and Hubert Guillaud, *Earth Construction – A comprehensive guide*, Λονδίνο 1994, σελ. 180



εικ.47: Παραγωγή πλίνθων στην Αίγυπτο

3.2.3 Σχηματισμός πλίνθων με τη χρήση καλουπιών

Μία από τις πιο συνήθεις και γνωστές πρακτικές χρήσης του χώματος στις κατασκευές είναι ο σχηματισμός τούβλων από ωμή άργιλο μέσα σε καλούπια, τα οποία έπειτα στεγνώνονται στον ήλιο. Συνήθως αναφέρονται με την ισπανική λέξη “adobe” που προέρχεται από την αραβική “ottob”, η οποία με τη σειρά της σχετίζεται με τον αιγυπτιακό όρο “thobe” που χρησιμοποιείται για τα τούβλα στεγνωμένα στον ήλιο.²⁴ Τοιχογραφίες σε τάφους της αρχαίας Αιγύπτου αναπαριστούν την διαδικασία παραγωγής πλίνθων από ωμή άργιλο, πράγμα που αποδεικνύει τις ρίζες της τεχνικής αυτής στα βάθη της ιστορίας.

Οι πλίνθοι που παράγονται συνήθως έχουν παραλληλεπίπεδο σχήμα, με διαστάσεις και βάρος που ποικίλουν και δημιουργούνται γεμίζοντας ξύλινα ή μεταλλικά καλούπια με μίγμα πηλού. Ενα άτομο μπορεί να παράγει σε μια μέρα περίπου 300-500 πλίνθους ανάλογα με το αν το καλούπι που χρησιμοποιείται είναι μονό ή διπλό.



εικ.48: Η πόλη Shibam στην Υεμένη

Η οχυρωμένη πόλη Shibam στην Υεμένη, μια σφιχτή οργανική συγκέντρωση υψηλών κτιρίων, αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα δόμησης με πλίνθους. Τα κτίρια που φθάνουν σε ύψος τους δέκα ορόφους έχουν συνήθως τετράγωνη κάτοψη και περιλαμβάνουν ένα με τρία δωμάτια και ένα μπάνιο ανά όροφο. Στα περίχωρα της πόλης, εκτός των τειχών, όπου υπάρχει αρκετός χώρος για το άπλωμα και στέγνωμα στον ήλιο, γίνεται παραδοσιακά η παραγωγή των πλίνθων.

Σύμφωνα με έμπειρους μάστορες της περιοχής, το καλύτερο χώμα σκάβεται από βάθος ενός μέτρου, καθώς το επιφανειακό περιέχει άλατα από γεωργικά λιπάσματα. Το χώμα παραδοσιακά συλλέγεται γύρω από το φοινικόδασος του ποταμού που διατρέχει την περιοχή, μετά την περίοδο των πλημμύρων. Στρώνεται στο

24. Hugo Houben and Hubert Guillaud, *Earth Construction – A comprehensive guide*, Λονδίνο 1994, σελ. 180

έδαφος και του προστίθεται νερό και κομμένα σιτάρια είτε από την περιοχή, είτε προερχόμενα από το Ιράκ, ως ένα είδος οπλισμού και για αντιστάθμιση της συρρίκνωσης. Η αναλογία σιταριού και χώματος διαφέρει ανάλογα με την εμπειρία του μάστορα και ρυθμίζεται εμπειρικά με το μάτι και την αφή. Εξι με είκοσι σακιά άχυρου μπορούν να αναμειχθούν με χώμα ίσο με το φορτίο ενός φορτηγού, ανάλογα με το είδος του άχυρου, το είδος του χώματος και το μάστορα. Οι πλίνθοι κατασκευάζονται με ξύλινα καλούπια που διαφέρουν σε μέγεθος ανάλογα με τη χρήση. Για τις πλίνθους των δύο πρώτων ορόφων χρησιμοποιούνται διπλά καλούπια και έχουν διαστάσεις περίπου 7*32*46cm, 7*25*43cm για τον τρίτο και 7*20*43cm για τον πέμπτο. Καθώς υψώνεται το κτίριο, μειώνεται το πάχος του τοίχου, καθώς επίσης και το ύψος του ορόφου.



εικ.49: Η πυκνοδομημένη πόλη Shibam από ψηλά **εικ.50:** Στρώσιμο πλίνθων στην κατασκευή, με χρήση πηλοκονιάματος που διαμορφώνει αρμούς ύψους ίσου με το ύψος των πλίνθων. Παλαιότερα οι αρμοί κατασκευάζονταν πιο στενοί. (Υεμένη)

Αρχικά τα καλούπια βρέχονται και στη συνέχεια τοποθετείται το μίγμα σε αυτά. Συνήθως προηγουμένως έχει διασκορπιστεί λίγη άμμος στο έδαφος για να μην κολλήσουν κάτω οι πλίνθοι. Η επιφάνεια εξομαλύνεται με τα χέρια και στη συνέχεια το καλούπι αφαιρείται σηκώνοντάς το από το σκονί που υπάρχει στη μία του άκρη. Αφαιρούνται υπολείμματα λάσπης από το καλούπι και όποτε χρειάζεται αυτό, ξαναβρέχεται. Οι πλίνθοι αφήνονται να στεγνώσουν για μια εβδομάδα κι έπειτα στοιβάζονται κατακόρυφα και είναι έτοιμοι για χρήση. Πάνω σε θεμέλια από λαξευτό ασβεστόλιθο, που δρα ως προστασία της τοιχοποιίας από το νερό και την υγρασία,

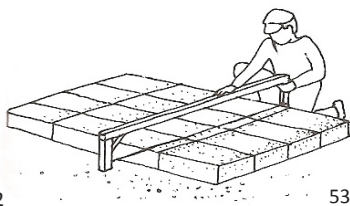
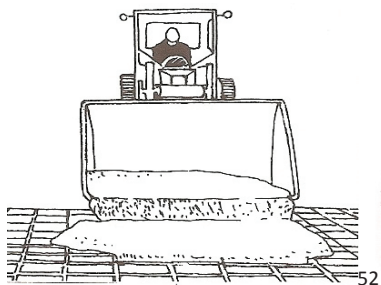
χτίζεται ο φέρων δρομικός τοίχος από ωμόπλινθους. Το συνδετικό κονίαμα που χρησιμοποιείται προέρχεται από το ίδιο χώμα με τις πλίνθους με διαφορετικό είδος ινών (ένα άγριο χορτάρι από τα βουνά κομμένο σε μακρύτερα στελέχη) και διαμορφώνονται αρμοί σχεδόν ίσου πάχους με τις πλίνθους, παρότι παλαιότερα ήταν πιο μικροί. Χτίζονται στρώσεις ύψους περίπου ενός μέτρου και σοβατίζονται απευθείας με πηλοκονίαμα, το οποίο πάλι προέρχεται από το ίδιο χώμα με λεπτότερες κομμένες ίνες και σε μεγαλύτερη αναλογία απ' ότι στις πλίνθους (4:1 αναλογία λάσπη:άχυρο κατ' όγκο). Τέλος δεν χτίζεται πάνω από ένας όροφος το χρόνο καθώς κάθε στρώση αφήνεται να στεγνώσει και να κάτσει για δύο μήνες τουλάχιστον προτού προστεθούν σε αυτόν επιπλέον φορτία από την επόμενη στρώση.²⁵



εικ.51: Πλίνθοι που έχουν αφεθεί στον ήλιο να στεγνώσουν στην κοιλάδα Draa του Μαρόκου

25. Pamela Jerome, Giacomo Chiari and Caterina Borelli, "The Architecture of Mud: Construction and Repair Technology in the Hadhramaut Region of Yemen", *APT Bulletin The Journal of Preservation Technology*, Volume XXX, No. 2-3, 1999, σελ. 39-48, και συζήτηση με Pamela Jerome

Υπάρχει η δυνατότητα παραγωγής πλίνθων για μικρής κλίμακας κατασκευές με τη χρήση καλουπιών μεγάλων διαστάσεων, όπου χώμα σε μορφή υγρής λάσπης που περιέχει αρκετά αμμώδη αδρανή, μεταφέρεται και ρίχνεται σε ένα μεγάλο καλούπι (π.χ. 3*3m) το οποίο είτε είναι ήδη διαχωρισμένο σε μικρότερα τμήματα για το σχηματισμό των πλίνθων, είτε στην αντίθετη περίπτωση, μετά την αφαίρεση του καλουπιού, κόβεται σε μικρότερα τμήματα με σύρμα ή με ειδικά μηχανήματα. Αυτή η τεχνική χρησιμοποιείται αρκετά στις βορειοδυτικές ΗΠΑ και για την εφαρμογή της είναι απαραίτητη η καλή γνώση της συνοχής του υλικού, καθώς κατά την αφαίρεση των καλουπιών τούβλα με μεγάλη περιεκτικότητα σε νερό καταρρέουν και αυτά με μικρή περιεκτικότητα σε υγρά καταστρέφονται καθώς τμήματά τους κολλούν στο καλούπι.



εικ.52: Μεταφορά μίγματος πηλού σε καλούπι μεγάλων διαστάσεων **εικ.53:** Σκίσιμο κοπής πλίνθων που προέρχονται από ένα μεγάλο καλούπι, με τη χρήση πριονιού **εικ.54:** Παραγωγή πλίνθων ρίχνοντας υγρό χώμα σε μεγάλα καλούπια (New Mexico των ΗΠΑ)

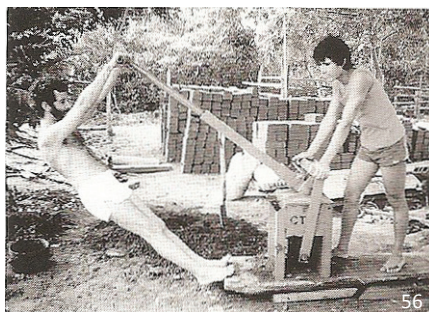
3.2.4 Συμπιεσμένες ωμόπλινθοι

Η συμπίεση του χώματος μειώνει το πορώδες του, ελαττώνοντας τα κενά αέρα που αυτό περιέχει, κάνοντας το με αυτό τον τρόπο λιγότερο ευάλωτο στο νερό που διεισδύει σε αυτά τα κενά. Η δυναμική συμπίεση μέσω σύγκρουσης, κατά την οποία ένα αντικείμενο πέφτει στη επιφάνεια του εδάφους, με αποτέλεσμα να παράγεται ένα κύμα και μια πίεση στην μάζα αυτού, θέτει τα σωματίδιά του σε κίνηση και ανακατάταξη αποβάλλοντας μέρος του αέρα και είναι κατάλληλη για την κατασκευή πεπιεσμένων ωμόπλινθων είτε σε καλούπια είτε με τη χρήση μηχανικών ή υδραυλικών πρεσών.

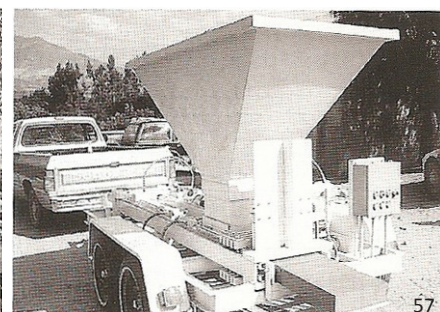
Η χειρονακτική παραγωγή ωμόπλινθων συμπιέζοντας χώμα μέσα σε ξύλινα ή μεταλλικά καλούπια με τη χρήση διάφορων εργαλείων συμπίεσης, είναι αρκετά παλιά τεχνική που πλέον σπάνια χρησιμοποιείται λόγω του ότι αποτελεί μια επίπονη και χρονοβόρα εργασία και παρουσιάζει το μειονέκτημα της δυσκολίας να ελέγξει κανείς το τελικό πάχος και την πυκνότητα τις παραγόμενης πλίνθου. Στα τέλη του 18ου αιώνα, ξεκίνησαν οι πρώτες προσπάθειες για την παραγωγή συμπιεσμένων ωμόπλινθων με τη χρήση πρεσών, για επίτευξη πιο ομοιόμορφου και ελέγξιμου αποτελέσματος. Το 1789, Γάλλος αρχιτέκτονας Francois Coindreux δημιούργησε μια χειροκίνητη πρέσα παραγωγής ωμόπλινθων και έκτοτε έχουν επινοηθεί αρκετές χειροκίνητες πρέσες, οι οποίες απαιτούν τρία με πέντε άτομα για τον καλύτερο χειρισμό τους, με αποτέλεσμα η ημερήσια παραγωγή ανά άτομο να είναι αρκετά μικρότερη από την παραδοσιακή μέθοδο κατασκευής πλίνθων με καλούπια. Οι συμπιεσμένοι ωμόπλινθοι συνήθως σταθεροποιούνται με την προσθήκη τσιμέντου σε ποσοστό 4-8% στο μίγμα, ώστε να αυξηθεί η αντοχή τους σε θλίψη και η αντοχή τους στο νερό. Εκτός αυτών, έχουν αναπτυχθεί και εντελώς αυτοματοποιημένες μηχανές παραγωγής συμπιεσμένων ωμόπλινθων, οι οποίες μπορούν να παράγουν 1500-4000 ωμόπλινθους την ημέρα, έχουν όμως πολύ μεγάλο κόστος και είναι δύσκολο να συντηρηθούν.²⁶



55



56



57

εικ.55: Χειρονακτική παραγωγή συμπιεσμένων ωμόπλινθων εικ.56: Παραγωγή συμπιεσμένων ωμοπλίνθων με τη χρήση χειροκίνητης πρέσας (Paraguay)
εικ.57: Μηχάνημα αυτόματης παραγωγής συμπιεσμένων ωμοπλίνθων (Pcific Adobe, ΗΠΑ)

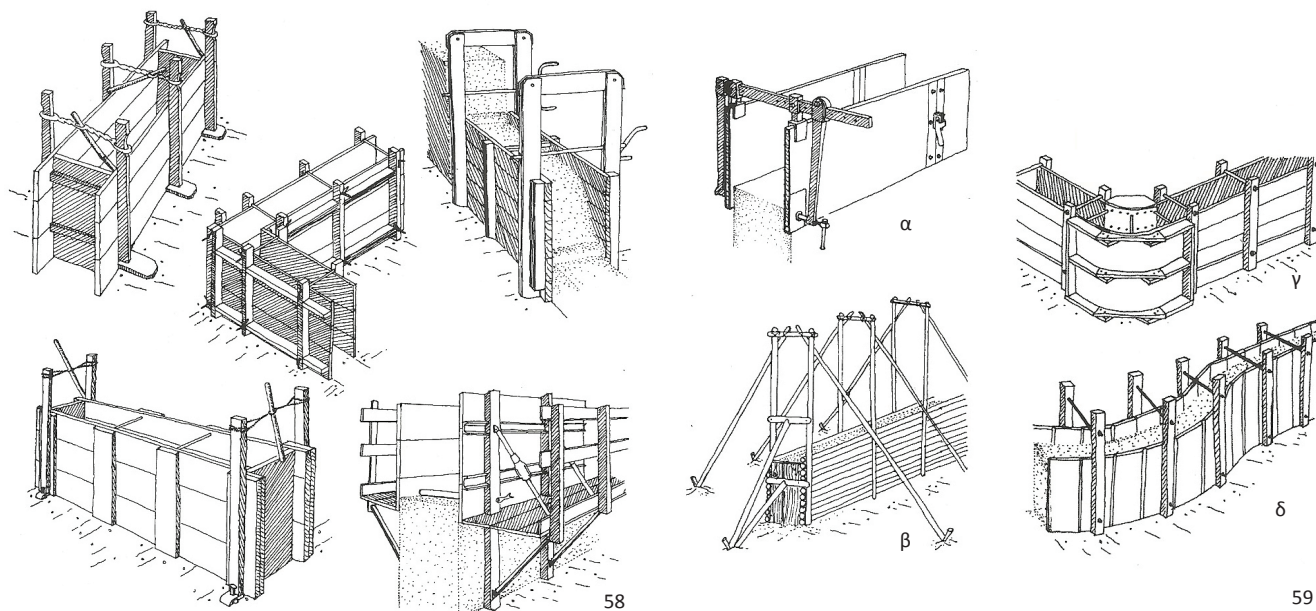
26. Hugo Houben and Hubert Guillaud, *Earth Construction – A comprehensive guide*, Λονδίνο 1994, σελ. 63-64

3.3 Δημιουργία φερόντων τοίχων με τη χρήση ξυλοτύπου

3.3.1 Rammed earth

Στην τεχνική του rammed earth ή pisé de terre στα γαλλικά ή απλά pisé χρησιμοποιείται χώμα που περιέχει στη μάζα του και χαλίκια, δηλαδή συστατικά με μεγαλύτερο μέγεθος κόκκων, αναμιγμένο με νερό ώστε να γίνει ένα ομοιογενές, νωπό μίγμα, το οποίο στη συνέχεια χύνεται σε ένα ξυλότυπο σε στρώσεις και συμπιέζεται ώστε να αυξηθεί η πυκνότητά του.

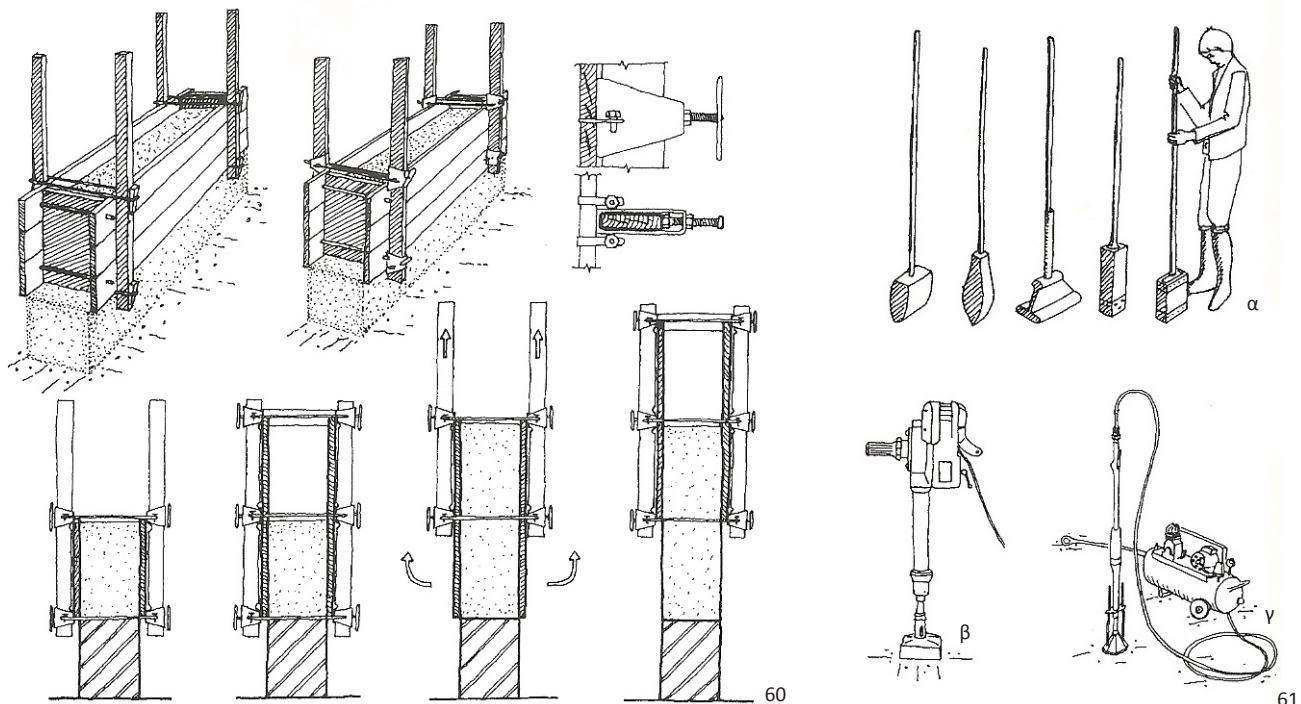
Η αύξηση της πυκνότητας του χώματος μέσω συμπίεσης, μειώνει το πορώδες του αυξάνοντας την αντοχή του στο νερό αλλά και την αντοχή σε θλίψη. Η συμπίεση παραδοσιακά γινόταν χειροκίνητα με τη χρήση εμβόλων (rammers). Τις τελευταίες δεκαετίες, γίνεται και μηχανικά με τη χρήση ειδικών μηχανημάτων. Η παγκόσμια παράδοση κτιρίων κατασκευασμένων με αυτή την τεχνική έχει αποδείξει ότι είναι ικανή να παράγει μοναδικά κτίρια μονώροφα αλλά και πολυώροφα που αντέχουν στο χρόνο. Παραδείγματα τέτοιας κληρονομιάς υπάρχουν σε χώρες όπως η Γαλλία, η Ισπανία, το Μαρόκο, η Κίνα, αλλά και στην περιοχή των Ιμαλαίων. Επιπλέον, τα τελευταία χρόνια είναι πολύ διαδεδομένη η χρήση του σε νέες κατασκευές και από διεθνούς φήμης αρχιτέκτονες.



εικ.58: Σκίτσο διαφόρων τύπων ξυλοτύπου για rammed earth κατασκευές **εικ.59:** **α.** Παραλλαγή ξυλοτύπου χωρίς ενδιάμεσους αποστάτες **β.** Τύπος παραδοσιακού ξυλοτύπου με αντιστήριξη που χρησιμοποιείται στην Κίνα **γ,δ.** Ξυλότυπος για κατασκευή καμπύλων τοίχων

Προετοιμασία του μίγματος: Για τις κατασκευές με την τεχνική του rammed earth προτιμάται το αμμώδες ή χαλικιώδες και όχι το αργιλώδες χώμα, οπότε προσοχή πρέπει να δίνεται στην περιεκτικότητα σε άργιλο του μίγματος. Μετά την εκσκαφή αυτό κοσκινίζεται προσεκτικά, διαλύονται οι σβώλοι που περιέχει και αφαιρούνται οι αρκετά μεγάλες πέτρες. Εάν το φυσικό χώμα είναι πολύ στεγνό πρέπει να υγρανθεί και να ανακατευτεί ώστε να αποκτήσει τη μορφή ενός ομοιογενούς νωπού μίγματος.

Ξυλότυπος: Στη συνέχεια, το χώμα χύνεται σε ξυλότυπο σε στρώσεις ύψους 15cm περίπου και συμπιέζεται (ramming). Ο ξυλότυπος αποτελείται συνήθως από δύο παράλληλα μεταξύ τους επίπεδα που διαχωρίζονται και αλληλοσυνδέονται με κάθετα στοιχεία τα οποία διαπερνούν τον τοίχο, δημιουργώντας ανοίγματα που πρέπει να γεμίσουν μετά την αφαίρεσή του. Έχουν αναπτυχθεί συστήματα με πολύ λεπτά διαχωριστικά (spacers) αλλά και χωρίς διαχωριστικά για να εξαλειφθεί τελείως αυτό το μειονέκτημα. Συνήθως χρησιμοποιούνται ξύλινα πανέλα πάχους 19mm τα οποία γίνονται άκαμπτα με κάθετα στοιχεία περίπου ανά διαστήματα 75cm, διαφορετικά κατά τη συμπίεση θα λυγίσουν κατά έξω. Σε περίπτωση που χρησιμοποιούνται σανίδες μεγαλύτερου πάχους μπορεί να αυξηθεί και το διάστημα μεταξύ των κάθετων στοιχείων. Γενικά, όλα τα ξύλα του ξυλότυπου θα πρέπει να είναι ελαφριά για ευκολία στη μετακίνηση και να είναι εύκολο να συναρμολογηθούν.



εικ.60: Σύστημα ξυλότυπου που συγκρατείται από λεπτούς αποστάτες (4*6 mm) που διαπερνούν τον τοίχο και μπορεί να μετακινείται κατακόρυφα προς τα πάνω. (Gernot Minke, Building Research Laboratory του Πανεπιστημίου Kassel της Γερμανίας, 1984) **εικ.61:** α. Εργαλεία που χρησιμοποιούνται για χειρονακτική συμπίεση β. Ηλεκτρικό μηχανήμα συμπίεσης (Wacker) γ. Πνευματικό έμβολο συμπίεσης (Αυστραλία)

Εργαλεία: Αρχικά το χώμα συμπιεζόταν χειροκίνητα με κωνικά, σφηνοειδή ή επίπεδα έμβολα (rams). Με τα δύο πρώτα είναι πιο αποτελεσματική η ανάμειξη των διαφόρων στρώσεων χώματος, ενώ με τα επίπεδα οι τοίχοι τελικά έχουν μικρότερη αντοχή σε διατμητικές τάσεις. Η βάση του εμβόλου δεν πρέπει να είναι αιχμηρή για να μην καταστρέφει τον ξυλότυπο. Ηλεκτρικά έμβολα άρχισαν να χρησιμοποιούνται ήδη από το δεύτερο τέταρτο του 20ου αι. σε Γερμανία, Γαλλία και Αυστραλία, με τα οποία επιτυγχάνεται πολύ αποτελεσματικότερη συμπίεση, με μόνο μειονέκτημα τη δυσκολία χειρισμού της μηχανής και το μεγάλο της βάρος.

Διαδικασία κατασκευής: Το χώμα συμπιέζεται και κάθε φορά δημιουργούνται στρώσεις 50-80cm ύψους προτού ο ξυλότυπος αφαιρεθεί και ξαναστηθεί πιο ψηλά για την συνέχιση της κατασκευής. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να δημιουργηθεί το επιθυμητό ύψος τοίχου. Αμέσως μόλις ολοκληρώνεται η συμπίεση ο ξυλότυπος μπορεί να αφαιρεθεί. Τότε το υλικό είναι ακόμη νωπό και μπορεί εύκολα να ξυστεί, κοπεί κλπ. Έτσι σε αυτή τη φάση μπορούν να δημιουργηθούν εύκολα μέχρι και ανοίγματα, με ένα μαχαίρι ή σύρμα χρησιμοποιούμενο ως πριόνι.



εικ.62: Οψη του Nk'Mip Desert Interpretive Centre στο Osoyoos του Καναδά, διαμορφωμένη από τοίχο rammed earth ύψους 6m με διακριτές ζώνες συμπίεσης, κάνοντας χρήση χώματος διαφορετικών αποχρώσεων.

Οι θερμομονωτικές ικανότητες του συμπαγούς τοίχου από rammed earth χρησιμοποιώντας απλό χώμα δεν είναι αρκετές για να παρέχουν τα επίπεδα θερμομόνωσης που απαιτούνται σε περιοχές με κρύα κλίματα. Το U-value ενός rammed earth τοίχου πάχους 30cm είναι περίπου 1,9-2,0 W/m²K. Για να επιτευχθεί το 0,5 W/m²K, ένα μέσο U-value που απαιτείται σε αρκετές χώρες τις Ευρώπης, χρειάζεται ένα πάχος 1,6-1,8m. Επομένως, στα κρύα κλίματα, απαιτείται η προσθήκη συμβατικής θερμομόνωσης στο πάχος του τοίχου.²⁷

Παράδειγμα αυτής της κατασκευαστικής τεχνικής αποτελούν τα λεγόμενα κτίρια Tulou, χτισμένα από τους Hakka στην Κίνα. Τα Tulou είναι κυκλικά κτίσματα από πεπλεγμένη άργιλο με πάχος αρκετών μέτρων. Τα κτίρια υπάρχουν από τον 17ο αιώνα αναδεικνύοντας την στιβαρότητα των κατασκευών από rammed earth. Οι τοιχοποιίες είναι θεμελιωμένες με πέτρα και συνδετικό υλικό τον ασβέστη. Το χώμα για τους τοίχους αναμιγνύεται με κολλώδες ρύζι και ενισχύεται με ξυλάκια μπαμπού και οι τοίχοι συγκλίνουν στο κέντρο για να τους συγκρατεί η βαρύτητα. Αυτά τα σπίτια προοριζόταν τυπικά για 800 άτομα και θεωρούνται μνημείο παγκόσμιας κληρονομιάς από την UNESCO.



εικ.63: Διαδικασία συμπίεσης rammed earth στην περιοχή του Βόρειου Ατλαντα στο Μαρόκο **εικ.64:** Κτίριο Tulou του 17ου αιώνα στην Κίνα
εικ.65: Κατασκευή rammed earth τοίχου στην Κίνα

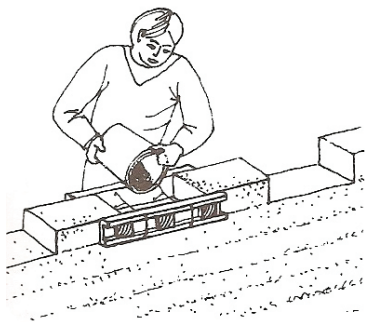
27. Gernot Minke, *Building with earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*, Βερολίνο 2009, σελ. 60

3.3.2 Ρευστή γη

Χώμα στη μορφή υγρής λάσπης που περιέχει αρκετά αμμώδη αδρανή, χύνεται μέσα σε ξυλότυπο και χρησιμοποιείται σαν ένα είδος σκυροδέματος. Αυτή η τεχνική προσφέρει εύκολη προετοιμασία με ελάχιστη απαίτηση σε ενέργεια, ευκολία στη χρήση και ποικιλία εφαρμογών, από την προκατασκευή μονάδων, μέχρι κατασκευή μονολιθικών τοίχων και δαπέδων. Παρόλα αυτά, δεν χρησιμοποιείται συχνά καθώς η υψηλή περιεκτικότητα του υλικού σε νερό προκαλεί εκτεταμένη ριγμάτωση και συρρίκνωση κατά το στέγνωμα. Επομένως, είναι απαραίτητη η σταθεροποίηση του υλικού πριν τη χρήση, η διαίρεση των επιφανειών σε μικρότερα τμήματα και η φροντίδα των ρωγμών μετά το στέγνωμα. Τελευταία έχει γίνει δημοφιλής τεχνική κατασκευής σε Αμερική και Αυστραλία.

Τοίχοι μπορούν να κατασκευαστούν με δύο τρόπους:

- Τμηματικά, με την παραγωγή «τούβλων» επιτόπου πάνω στη μάζα του τοίχου. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται μικρά ελαφρά είδη καλουπιών-ξυλοτύπων που μπορούν να συναρμολογηθούν και να αποσυναρμολογηθούν γρήγορα και εύκολα. Το χώμα χύνεται απλά είτε με αντλία, ακριβώς όπως το σκυρόδεμα, σε ένα μικρό κάθε φορά τμήμα του τοίχου.



66



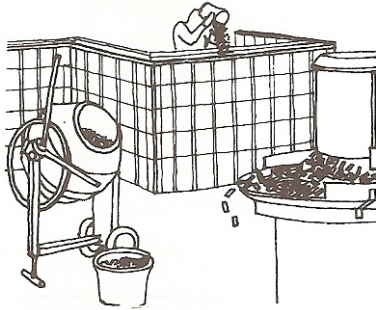
67



68

εικ.66,67,68: Κατασκευή δόμων κατευθείαν πάνω στον τοίχο με ρευστή γη μέσα σε καλούπια - ξυλότυπους

- Μονολιθικά με τη χρήση απλού ξυλότυπου σαν αυτό του σκυροδέματος, ο οποίος γεμίζεται με υγρό μίγμα άμμου, αργίλου και χαλικιών, το οποίο σταθεροποιείται συνήθως με τη χρήση ασβέστη, τσιμέντου ή ασφάλτου. Τέτοιου είδους τοίχοι μπορούν να ενισχυθούν και με οπλισμό από σίδερα ή μπαμπού. Όταν το υλικό στεγνώσει το καλούπι αφαιρείται αφήνοντας ένα πολύ σταθερό τοίχο.²⁸



εικ.69: Σχεδιαστική αναπαράσταση της δημιουργίας μονολιθικών τοίχων με ρευστή γη

28. Hugo Houben and Hubert Guillaud, *Earth Construction – A comprehensive guide*, Λονδίνο 1994, σελ. 184-185

3.4 Στοιβαγμένο χώμα - cob

Σε αυτή την κατασκευαστική τεχνική, χοντροί μονολιθικοί τοίχοι πάχους 40-60cm συνήθως, κατασκευάζονται στοιβάζοντας ή πετώντας με δύναμη μεγάλες μπάλες χώματος τη μία πάνω στην άλλη. Σε αργιλώδες χώμα στη μορφή μιας απαλής πάστας συνήθως προσθέτονται ίνες για βελτίωση της συνοχής του (τις περισσότερες φορές άχυρο), το υλικό ζυμώνεται παραδοσιακά με τα πόδια είτε με τη χρήση ζώων ή στη σύγχρονη εποχή και με κατάλληλα μηχανήματα ανάμειξης κι έπειτα διαμορφώνεται σε μπάλες απ' όπου προέρχεται και η ονομασία της τεχνικής (cob = σβώλος). Το πάχος των τοίχων μειώνεται συνήθως όσο ανεβαίνουμε σε ύψος. Αυτό που χαρακτηρίζει αυτή την τεχνική είναι η ευκολία κατασκευής και η ελευθερία στο σχεδιασμό, καθώς δεν απαιτούνται καλούπια ή ξυλότυπος και το ίδιο το υλικό οδηγεί σε οργανικά σχήματα: καμπύλους τοίχους, θόλους, αψίδες. Η διαδικασία χτισίματος με αυτή την τεχνική, αποτελεί εμπειρία παρόμοια με την αγγειοπλαστική καθώς το ανθρώπινο χέρι είναι το βασικό εργαλείο μορφοποίησης των τοίχων.



εικ.70: Σχηματίζοντας μπάλες από χώμα για κατασκευή από cob, σε εισαγωγικό εργαστήριο για τη φυσική δόμηση διοργανωμένο από την ομάδα "cob"

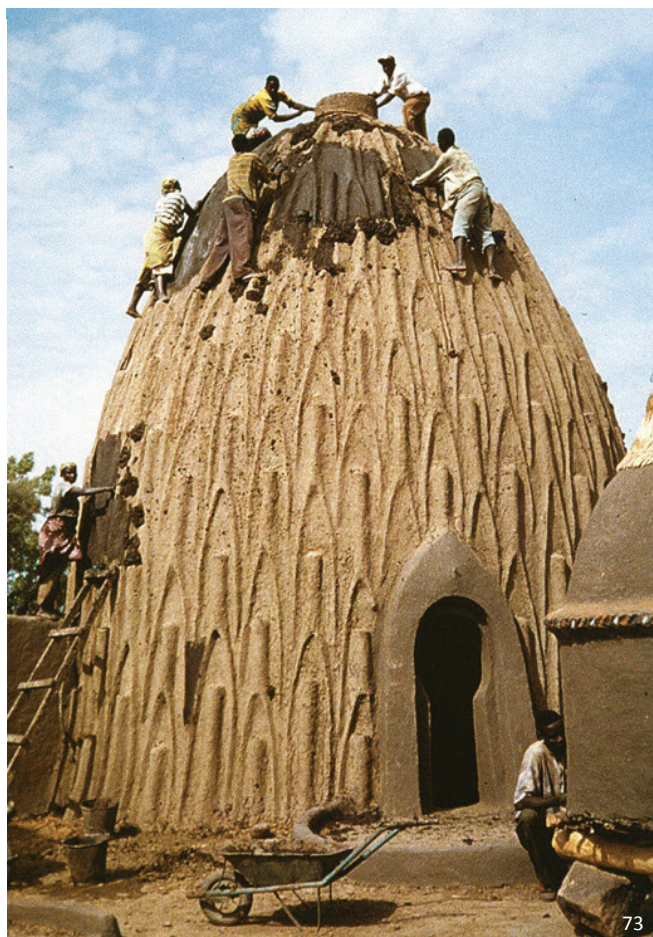
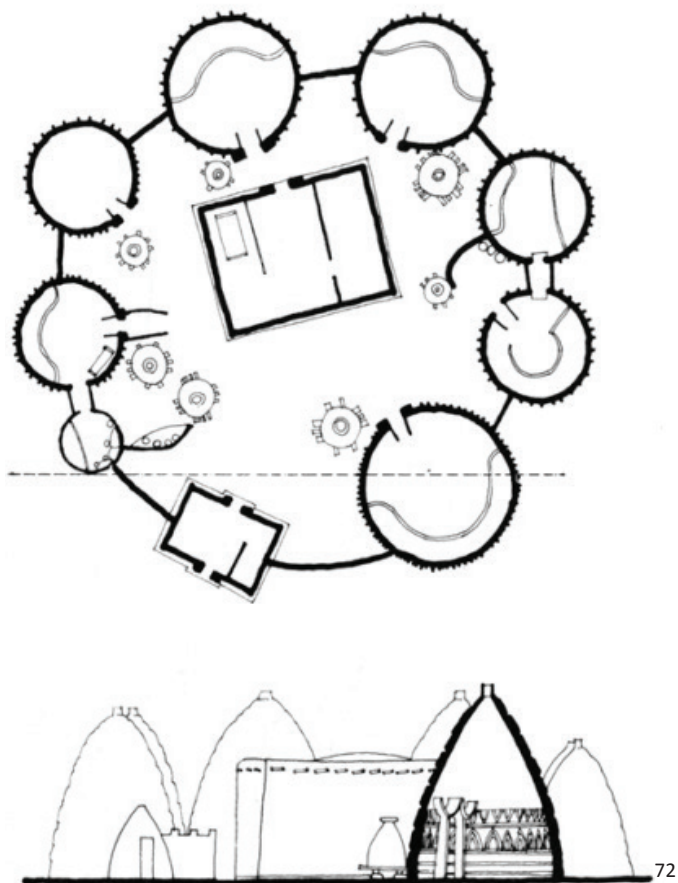
εικ.71: Κατασκευή πάγκου από cob πάνω σε πέτρινο θεμέλιο, πιέζοντας μπάλες από μίγμα πηλού σταθεροποιημένου με άχυρο

Το cob χρησιμοποιήθηκε στην αγγλική επαρχία για εκατοντάδες χρόνια, αποδεδειγμένα ήδη από τον 13ο αι. Αναπτύχθηκε σε περιοχές με έλλειψη πέτρας καλής ποιότητας ή περιορισμένη ξυλεία. Η χρήση του ήταν κυρίαρχη στις νοτιοδυτικές επαρχίες και περιοχές του Hampshire. Κατά τη διάρκεια του 19ου αι. υπήρξε μια μεγάλη στροφή στην κατασκευή από cob καθώς η φορολογία δεν επέτρεπε στις χαμηλότερες τάξεις να κτίσουν με οπτόπλινθους. Επειτα όταν οι φόροι καταργήθηκαν τέτοιου είδους κατασκευές περιορίστηκαν. Σήμερα έχει αναβιώσει η χρήση του cob στην Αμερική αλλά και τον υπόλοιπο κόσμο, λόγω της πολύ καλής βιοκλιματικής συμπεριφοράς του υλικού αλλά και του χαμηλού κόστους παραγωγής του και του γεγονότος ότι μπορεί εύκολα κανείς να επιχειρήσει να κατασκευάσει ο ίδιος το κτίριο που επιθυμεί.²⁹

29. "Historic Buildings, Chalk & Clay Cob", New Forest District Council, 2003 και www.cob.gr

3.5 Πλάσιμο λεπτών τοίχων με τα χέρια

Λεπτοί τοίχοι σχηματίζονται απευθείας από υγρό πηλό, χωρίς καλούπια ή ξυλότυπο, με βασικό εργαλείο το ανθρώπινο χέρι που δίνει σχήμα στο χώμα την ώρα της κατασκευής, πράγμα που δικαιολογεί τη μεγάλη αρχιτεκτονική ποικιλία που αυτή η κατηγορία παρουσιάζει. Παρόλα αυτά, παρουσιάζει σοβαρά προβλήματα μηχανικής αντοχής και αδυναμία ελέγχου των ρωγμών συρρίκνωσης του υλικού. Ξεχωρίζουμε τρεις βασικές υποκατηγορίες αυτής της τεχνικής.



εικ.72: Κάτοψη και τομή συγκροτήματος από cases-obus στο Mousgoun του βόρειου Καμερούν

εικ.73: Συντήρηση εξωτερικού επιχρίσματος σε κατοικία

- Στην πρώτη, το χώμα που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί προετοιμάζεται κατάλληλα μέσω ενυδάτωσης, ζύμωσης και στεγνώματος, ώστε να αποκτήσει την επιθυμητή πλαστικότητα. Κάποιες φορές ενισχύεται με φυτικές ή ζωικές ουσίες και στη συνέχεια πλάθεται σε ρολά-λουκάνικα τα οποία τοποθετούνται στον τοίχο και συνυφαίνονται λοξά με τα γειτονικά τους και έπειτα λειαίνονται από το χέρι του κτίστη με κινήσεις αγγειοπλάστη, σχηματίζοντας τοίχους πάχους 5-7cm και λίγο περισσότερο στη βάση της κατασκευής. Οι γνωστές cases-obus στο Mousgoun του βόρειου Καμερούν χρησιμοποιούν αυτή την τεχνική.



εικ.74: Κατασκευή αποθήκης με λεπτό πάχος τοίχων από πηλό (Matakam, Καμερούν) **εικ.75:** Κατασκευή αποθήκης σιτηρών πλάθοντας λεπτούς τοίχους με τα χέρια (Jos, Νιγηρία) **εικ.76:** Σκίτσο τομής σε τοίχο κατασκευασμένο από στρώσεις χώματος όπου οι ανώτερες καλύπτουν εν μέρει τη στρώση που βρίσκεται κάθε φορά από κάτω τους **εικ.77:** σπίτι-φρούριο στη Somba (βόρειο Μπενίν)

- Στη δεύτερη περίπτωση, μεγάλες μπάλες από χώμα τοποθετούνται σε στρώσεις μεγαλύτερου αυτή τη φορά πάχους παίρνοντας διάφορες μορφές με μόνο εργαλείο το χέρι του κτίστη. Για καλύτερη σταθεροποίηση η κάθε στρώση επικαλύπτει εν μέρει την προηγούμενη και εξέχει από αυτήν. Κάθε στρώση αφήνεται να στεγνώσει πριν τοποθετηθεί η επόμενη, ενώ ο τελικός τοίχος δεν μπορεί να φέρει πολύ βάρος γι' αυτό δημιουργούνται σημεία μεγαλύτερου πάχους για να στηριχθεί η κατασκευή της οροφής. Παραδείγματα αυτής της τεχνικής είναι οι φάρμες του Lobi στη βόρεια Γκάνα και τα σπίτια-φρούρια της Somba στο βόρειο Μπενίν.
- Την τρίτη περίπτωση χαρακτηρίζουν οι φυτικές ίνες που χρησιμοποιούνται. Δεμάτια από μακριά άχυρα επικαλύπτονται με λάσπη και τοποθετούνται στην κατασκευή σχηματίζοντας σπείρες διαμορφώνοντας λεπτούς τοίχους.³⁰



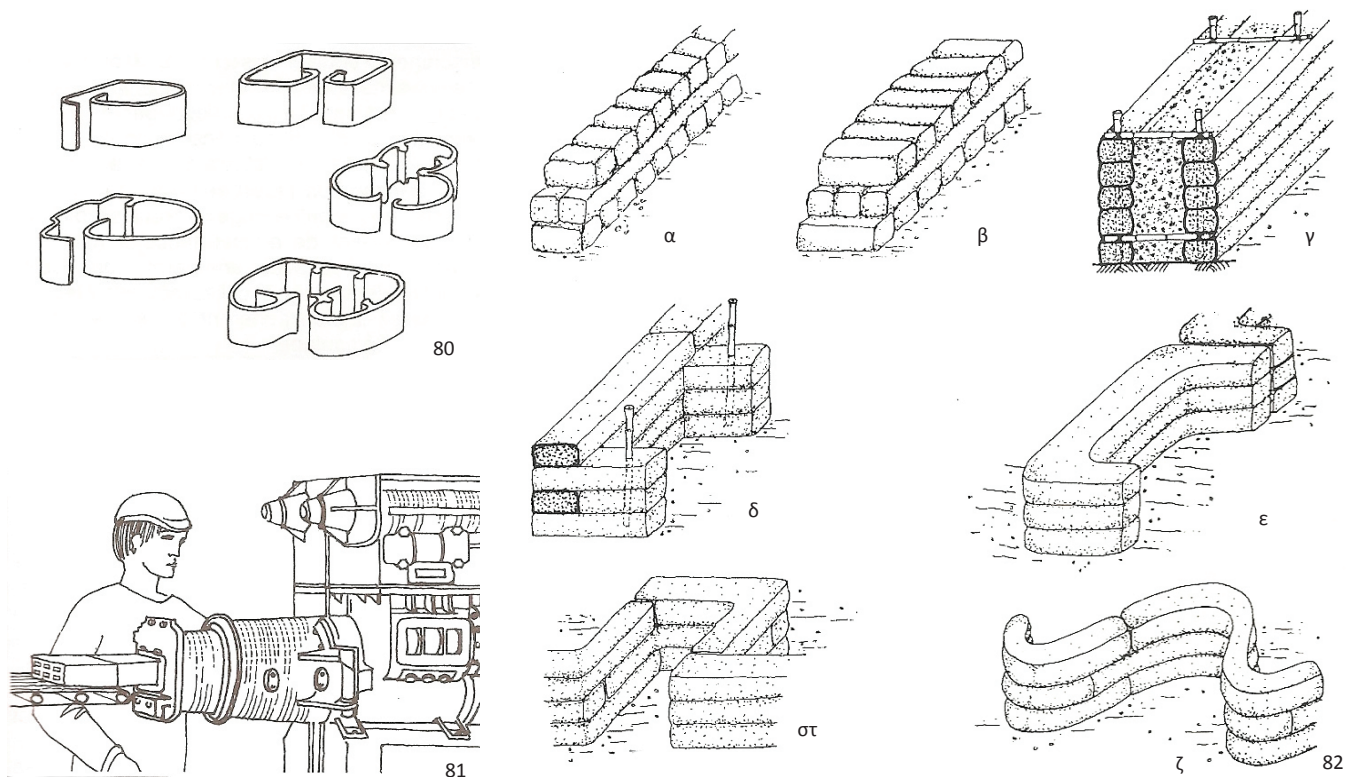
εικ.78: Σκίσο κατασκευής από φυτικές ίνες που τοποθετούνται σε σπείρες και καλύπτονται από πηλό **εικ.79:** Σιταποθήκη στο Τόγκο

30. Hugo Houben and Hubert Guillaud, *Earth Construction – A comprehensive guide*, Λονδίνο 1994, σελ. 176-177

3.6 Εξώθηση πηλού

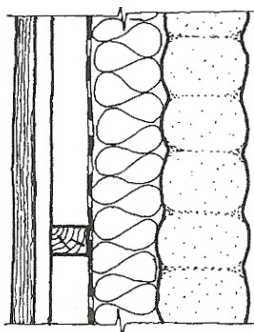
Σε αυτή την τεχνική χρησιμοποιείται αργιλώδες χώμα χωρίς μεγάλα αδρανή. Με τη βοήθεια μιας μηχανής «τροφοδότη» ανακατεύονται τα υλικά ώστε να αποκτήσει το μίγμα μια ημιστέρεη μορφή κι έπειτα οδηγείται σε ένα μηχανήμα που δημιουργεί αρκετή πίεση, ώστε να αναγκάσει το υλικό να βγει από ένα στόμιο σταθερής διατομής, σε συνεχόμενο ρολό πάνω σε μια κινούμενη ζώνη. Εκεί, στη συνέχεια, κόβεται από σύρμα σε σταθερά μήκη. Αυτά αποτελούν τα δομικά στοιχεία της κατασκευής τα οποία μπορούν να συνδυαστούν με πολλούς τρόπους για να αποδώσουν το επιθυμητό κάθε φορά αποτέλεσμα.

- Η τεχνική της εξώθησης χρησιμοποιείται ήδη στη βιομηχανία παραγωγής ψημένων τούβλων και μπορεί να προσαρμοστεί στη διαδικασία παραγωγής πλίνθων από σταθεροποιημένο μίγμα αργίλου, που στη συνέχεια στεγνώνουν στον ήλιο. Η διαδικασία διευκολύνει, καθώς παράγεται ακριβώς η επιθυμητή διατομή πλίνθου, δίνεται η δυνατότητα παραγωγής κοίλων τούβλων και κόβονται με ευκολία στο επιθυμητό μήκος. Εδώ το μίγμα αργίλου πρέπει να είναι περισσότερο αμμώδες, επομένως και πιο τραχύ, πράγμα που φθείρει τα μηχανήματα με πιο γρήγορο ρυθμό.

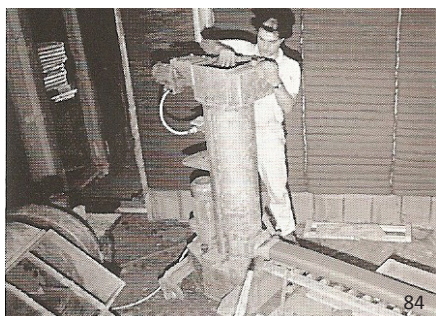


εικ.80: Προφίλ διαφόρων διατομών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εξώθηση πηλού με τη χρήση μηχανημάτων **εικ.81:** Παραγωγή κοίλων τούβλων μέσω εξώθησης **εικ.82:** Ποικιλία εφαρμογών της εξώθησης στην κατασκευή εσωτερικών και εξωτερικών τοίχων. Η περίπτωση γ προορίζεται μόνο για εξωτερικό τοίχο και στο κέντρο του τοποθετούνται ελαφριά υλικά όπως φελλός, διογκωμένη άργιλος κ.ά. για αύξηση της θερμομόνωσης. Εάν και στις άλλες περιπτώσεις χρειάζεται η προσθήκη θερμομόνωσης, μια κοινή λύση φαίνεται στο σκίτσο της εικόνας 83

- Το 1982 στο BRL (Building Research Laboratory) του πανεπιστημίου Kassel της Γερμανίας αναπτύχθηκε η τεχνική παραγωγής ρολών χρώματος μέσω εξώθησης για την κατασκευή τοίχων και θόλων, που ονομάστηκε “stranglehm” (=χωμάτινο νήμα). Δημιουργήθηκε μια μηχανή εξώθησης υγρού πηλού που παρήγαγε προφίλ διατομής 8*16cm. Στο πρώτο πειραματικό κτίριο που πραγματοποιήθηκε στο πανεπιστήμιο, προφίλ μήκους 2m μεταφέρονταν πάνω σε σανίδες και αναποδογυρίζονταν στη συνέχεια πάνω στον τοίχο. Οι ενώσεις τελειοποιούνταν πιέζοντας με τα χέρια ή χρησιμοποιώντας κόλλα μοντελισμού. Καθώς το βάρος των πάνω επιπέδων δεν έπρεπε να πιέζει το υλικό της κατώτερης στάθμης, μόνο 3-5 επίπεδα ήταν δυνατόν να στρωθούν την ημέρα. Σε αυτή την περίπτωση παρουσιάστηκε συρρίκνωση 3% και ρωγμές που έπρεπε να ξαναγεμιστούν. Στην επόμενη εφαρμογή αυτής της τεχνικής σε μια κατοικία στο Kassel το 1984, χρησιμοποιήθηκαν μικρότερα προφίλ μήκους 70cm κι έτσι δεν υπήρξε συρρίκνωση. Οι τοίχοι ήταν πλαισιωμένοι από ξύλινα πανέλα και λειτουργούσαν σαν αρμοί, οι οποίοι μετά το στέγνωμα γεμίζονταν με ένα μίγμα ασβέστη, γύψου, άμμου και πηλού. Οι τελικές επιφάνειες λειαίνονται εύκολα με ένα σφουγγάρι.



83



84



85



86

εικ.83: Μια κοινή λύση θερμομόνωσης τοίχων με δομικά στοιχεία από εξωθημένο πηλό **εικ.84,85:** Παραγωγή και μεταφορά, αντίστοιχα, εξωθούμενων ρολών για τη κατασκευή κατοικίας στο Kassel (1984) **εικ.86:** Τοίχος κατασκευασμένος με την τεχνική “stranglehm” σε κατοικία στην Uchte της Γερμανίας (1986)

3.7. Χώμα ως υλικό πλήρωσης

3.7.1 Γέμισμα αντικειμένων με χώμα

Μια μεγάλη ποικιλία έτοιμων υλικών γεμίζονται με στεγνό χώμα και αυτά στη συνέχεια αποτελούν τα πραγματικά δομικά στοιχεία μιας κατασκευής. Όταν αυτά τα υλικά είναι ελαφριά και όχι στερεά από μόνα τους, το γέμισμά τους με χώμα τους δίνει βάρος και σταθερότητα σε όγκο. Όταν είναι εξ αρχής σταθερά, η προσθήκη χώματος ενισχύει τη θερμομόνωση και την ηχομόνωση. Η τεχνική αυτή είναι γνωστή για την εφαρμογή της στην κατασκευή κατοικιών έκτακτης ανάγκης για θύματα καταστροφών, δηλαδή για προσωρινές κατοικίες, καθώς είναι γρήγορη στην εκτέλεση, έχει χαμηλό κόστος και δεν χρησιμοποιούνται εξεζητημένα υλικά. Τέτοια υλικά είναι:

- **σάκοι** οι οποίοι γεμίζονται με στεγνό χώμα και στοιβάζονται ο ένας πάνω στον άλλο με εναλλαγή των αρμών, όπως σε μια συμβατική τοιχοποιία. Οριζόντιοι και κατακόρυφοι στύλοι χρησιμοποιούνται για την ενδυνάμωση της τοιχοποιίας και τοξοειδή ανοίγματα ενισχύονται με σιδερένιες μπάρες. Από πολύ παλιά σάκοι με άμμο χρησιμοποιούνται από το στρατό για τη δημιουργία οχυρωματικών έργων ή για τον έλεγχο των νερών των ποταμών. Τέτοιου είδους τοίχοι είναι συμπαγείς και γεροί, αντέχοντας όλων των ειδών τις καταπονήσεις από άσχημες καιρικές συνθήκες μέχρι σφαίρες και βόμβες.³¹



87



88

εικ.87: Σκίτσο κατασκευής από σάκους γεμισμένους με χώμα **εικ.88:** Κατασκευή κτιρίου από υφασμάτικους σωλήνες γεμισμένους με άμμο (Γουατεμάλα, 1978)

- **υφασμάτινοι σωλήνες** γεμίζονται με άμμο, μουλιάζονται σε ασβέστη και τοποθετούνται ο ένας πάνω στον άλλο ανάμεσα από μια ενισχυτική κατασκευή από μπαμπού. Οι δυο πλευρές του τοίχου ασβεστώνονται ώστε να προστατεύεται το ύφασμα και ο τοίχος να αναπνέει. Ενα τέτοιο κτίριο 55m² πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια έρευνας από πανεπιστήμιο της Γουατεμάλας το 1978. Χρησιμοποιήθηκαν βαμβακεροί υφασμάτινοι σωλήνες διαμέτρου περίπου 10cm που γεμίστηκαν με ελαφριά άμμο και χαλίκι και στη συνέχεια, αφού βυθίζονταν σε ασβέστη για προστασία του υφάσματος από τη σήψη, στοιβάζονταν απευθείας πάνω στο πέτρινο θεμέλιο, ύψους

31. www.cob.gr

περίπου 1m και πλάτους 10cm, και πιέζονταν, έτσι ώστε οι αρχικοί κυκλικής διατομής σωλήνες έπαιρναν μορφή σχεδόν ορθογώνιας διατομής με στρογγυλεμένες γωνίες. Από τις δυο πλευρές των σωλήνων είχαν τοποθετηθεί κάθετα μπαμπού ανά 45cm, που συνδέονταν με τα θεμέλια και μεταξύ τους με σύρμα και δένονταν στο πάνω μέρος με περιμετρικό δοκάρι, εξασφαλίζοντας την απαιτούμενη σταθερότητα των σωλήνων.³² Αντίστοιχη τεχνική αναπτύχθηκε από τον Ιρανό αρχιτέκτονα Nader Khalili, ως απάντηση στο κάλεσμα της NASA για κατασκευαστικές τεχνικές στον Αρη και τη σελήνη, ο οποίος ανέπτυξε το 1984 ένα αρχικά θεωρητικό σύστημα κατασκευής από γαιόσακους που ονόμασε “superadobe”, το οποίο έπειτα χρησιμοποιήθηκε για κατασκευές εκτάκτου ανάγκης. Ο Khalili παρατήρησε ότι οι γαιόσακοι γεμισμένοι με χώμα ήταν κατάλληλοι για κατασκευή θολωτών κατασκευών με εκφορικό σύστημα, σε κυκλικής κάτοψης κτίρια. Μεταξύ των στρώσεων τοποθετούσε σύρμα ώστε να εμποδίζεται η μετατόπιση των σωλήνων και να αυξάνεται η αντοχή στους σεισμούς. Ο ίδιος ίδρυσε έναν οργανισμό, τον Cal-Earth (The California Institute of Earth Art and Architecture), ο οποίος συνεχίζει το έργο του κάνοντας χρήση της τεχνικής αυτής για την ενημέρωση, την εκπαίδευση, το σχεδιασμό και την υλοποίηση κατοικιών φιλικών προς το περιβάλλον, ιδιαίτερα σε περιοχές όπου υπάρχει άμεση ανάγκη για στέγαση.³³



89



90



91



92

εικ.89,90: Κατασκευή από “superadobe”, Nader Khalili, California, ΗΠΑ **εικ.91:** Γέμισμα σωλήνα αραϊκής ύφανσης με χώμα που στη συνέχεια συμπιέζεται δημιουργώντας ένα συμπαγή και σταθερό τείχος (**εικ.92**)

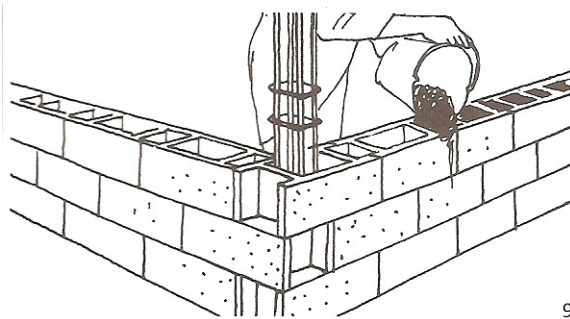
32. www.earthbagbuilding.com/articles/pumice.htm

33. www.wikipedia.org, www.calearth.org

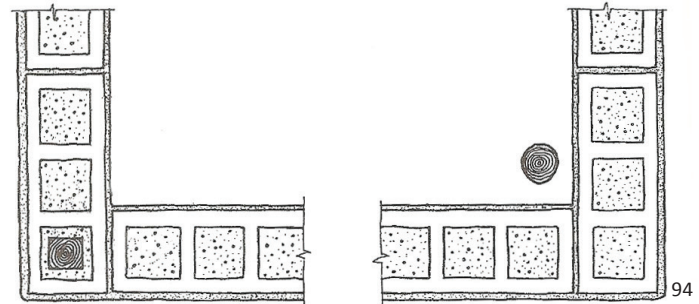
- μεγάλα **κοίλα τούβλα τσιμέντου** μπορούν να γεμιστούν με χώμα και να τοποθετηθούν στην κατασκευή. Αυτά χρησιμοποιούνται ως υλικό πλήρωσης τοίχων και δεν έχουν φέρουσα ικανότητα, γι' αυτό επιλέγεται στα γωνιακά τούβλα η προσθήκη οπλισμένου σκυροδέματος είτε ξύλινου σκελετού, ενσωματώνοντας με αυτό τον τρόπο τα φέροντα στοιχεία στον τοίχο. Μια άλλη περίπτωση θα ήταν η τοποθέτηση της φέρουσας κατασκευής εκτός του διαμορφωμένου από κοίλα τούβλα τοίχου. Δοκιμάστηκε για πρώτη φορά στη κατασκευή ενός αγροτικού χωριού στην Αλγερία, το Abaolla το 1975.

- **κοίλα τούβλα από φελλό** μπορούν να γεμιστούν με χώμα συνδυάζοντας μάζα και θερμομόνωση για μη φέρουσα κατασκευή. Στις κοιλότητες αυτών, μπορεί να τοποθετηθεί σκελετός από οπλισμένο σκυρόδεμα, με οριζόντια και κατακόρυφα στοιχεία ώστε να αποκτήσει η κατασκευή φέρουσα ικανότητα. Η τεχνική αυτή βρίσκεται σε πειραματικό στάδιο και επινοήθηκε από μια ομάδα μελέτης στην Κορσική το 1981.

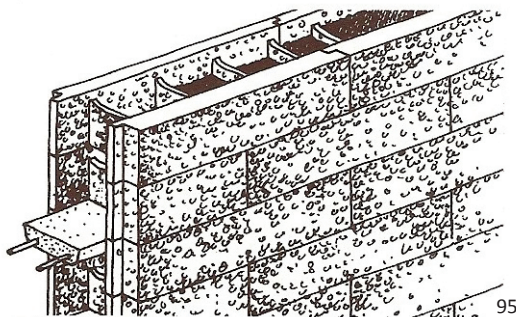
- **αναδιπλούμενα κουτιά από κερωμένο χαρτόνι** γεμισμένα με χώμα ήταν το δομικό στοιχείο που εφεύρε η NASA το 1971 ως μια ιδέα για την κατασκευή τοίχων στη σελήνη. Το έξυπνο σύστημα αναδίπλωσης χωρίζει το κουτί σε τέσσερα τμήματα και έχει ως αποτέλεσμα όταν αυτό διπλωθεί, να εξέχουν τα πτερύγιά του από την πάνω επίπεδη επιφάνεια και πάνω σε αυτά να έρχεται και να κλειδώνει στη θέση του το επόμενο κουτί.³⁴



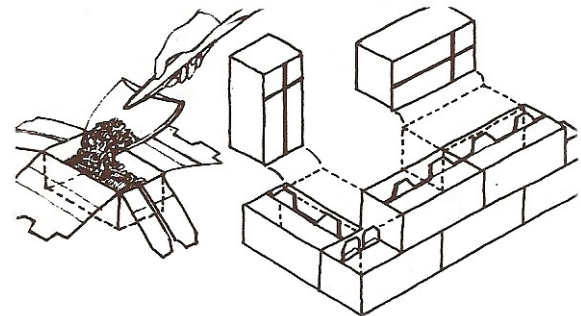
93



94



95



96

εικ.93,94: Κατασκευή τοίχου από κοίλα τούβλα τσιμέντου γεμισμένα με χώμα, όπου προστίθεται φέροντας οργανισμός είτε στα γωνιακά τούβλα, είτε εσωτερικά του τοίχου **εικ.95:** Τοίχος από κοίλα τούβλα φελλού γεμισμένα με χώμα **εικ.96:** Αναδιπλούμενα κουτιά από κερωμένο χαρτόνι γεμισμένα με χώμα και ο τρόπος ένωσης τους για την δημιουργία τοίχου

34. Hugo Houben and Hubert Guillaud, *Earth Construction – A comprehensive guide*, Λονδίνο 1994, σελ. 171

• **ανακυκλωμένα υλικά** όπως βαρέλια, μπουκάλια κ.ά. μπορούν να χρησιμεύσουν ως δομικές μονάδες για ιδιοκατασκευές. Ρόδες αυτοκινήτων γεμισμένες με χώμα, το οποίο στη συνέχεια συμπιέζεται καλά, και στοιβαγμένες η μία πάνω στην άλλη, είναι ένας τρόπος για δημιουργία βαριών και μονωμένων τοίχων. Αυτές με τελική επιχρισμένη επιφάνεια εσωτερικά και εξωτερικά μπορούν να δώσουν έξυπνες κατασκευαστικές λύσεις, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται απλά ως θεμέλια μιας κατασκευής. Το 2008 ξεκίνησε στη Γουατεμάλα ένα εθελοντικό πρόγραμμα για την κατασκευή ενός σχολείου από ανακυκλωμένα υλικά. Η μια πτέρυγά του που περιελάμβανε τρεις αίθουσες, κατασκευάστηκε από ρόδες αυτοκινήτων με στέγη από μπετόν. Επίσης ρόδες γεμισμένες με συμπιεσμένο χώμα χρησιμοποιήθηκαν για τη διαμόρφωση τοίχων αντιστήριξης του οικοπέδου και σε ορισμένα τμήματα αποτέλεσαν τη βάση-θεμέλιο κατασκευών φτιαγμένων από άλλα ανακυκλώσιμα υλικά, όπως μπουκάλια.³⁵



εικ.97: Κατασκευή κατοικίας από ρόδες γεμισμένες με χώμα στο Bhideva της Ρουμανίας εικ.98,99,100: Χρήση ανακυκλωμένων ροδών γεμισμένων με χώμα στην κατασκευή σχολείου στη Γουατεμάλα (2008)

35. <http://www.globalgiving.org/projects/build-a-school-from-recycled-materials-for-50-maya/>

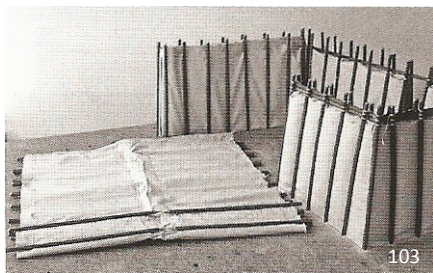
- **πανιά από καμβά**, κρεμασμένα από ξύλινο σκελετό που φθάνει ως το έδαφος, γεμίζονται με χώμα, δίνοντας τη δυνατότητα να παραχθούν μονάδες μέχρι και 10m μήκους μέσα σε πολύ λίγο χρόνο. Το τεντωμένο πανί διογκώνεται στη βάση του, αποκτώντας μεγαλύτερο πάχος ο τοίχος στο κάτω μέρος σε σχέση με το επάνω, πράγμα που κάνει τη κατασκευή πολύ ανθεκτική στους σεισμούς. Η τεχνική αυτή τελειοποιήθηκε στο πανεπιστήμιο GHK Kassel στη Γερμανία στα πλαίσια ενός ερευνητικού προγράμματος για τη χρήση υφασμάτινων στοιχείων γεμισμένων με χώμα. Η έρευνα έδειξε ότι τέτοιου είδους στοιχεία από πανιά δεμένα με το σκελετό τους, χωρίς να είναι γεμισμένα από χώμα, μπορούν να προκατασκευάζονται σε μήκη μέχρι και 10m και να διπλώνονται ή να τυλίγονται σε ρολά για ευκολία μεταφοράς τους στο χώρο της κατασκευής.³⁶



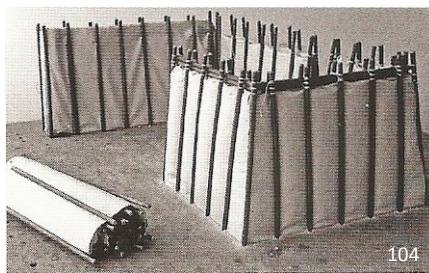
101



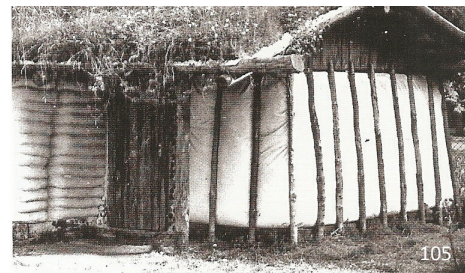
102



103



104



105

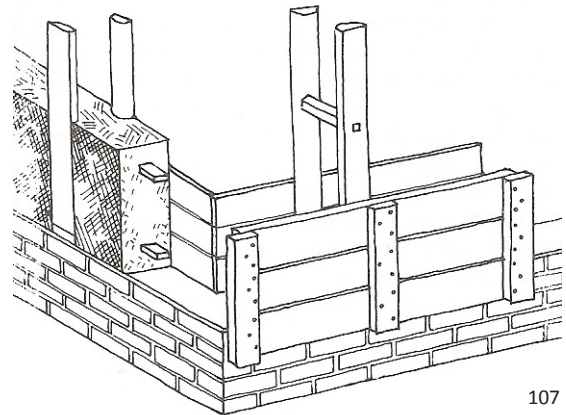
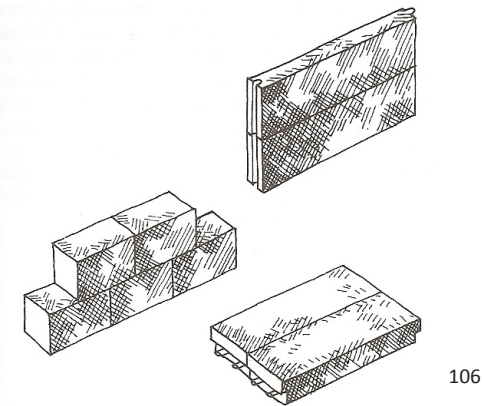
εικ.101: Σκίτσο κατασκευής από πανιά κρεμασμένα από ξύλινο σκελετό που γεμίζονται με χώμα **εικ.102,105:** Πειραματικό κτίριο κατασκευασμένο από πανιά γεμισμένα με χώμα στο Πανεπιστήμιο GHK Kassel στη Γερμανία (1978) **εικ.103,104:** Προκατασκευασμένα στοιχεία από καμβά και μπαμπού που διπλώνονται και μεταφέρονται με ευκολία

36. Gernot Minke, *Building with earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*, Βερολίνο 2009,σελ.147

3.7.2 Άχυρο με πηλό³⁷

Σε αυτή την τεχνική, γνωστή ως staw-clay, αρκετά αργιλώδες χώμα σε υγρή μορφή, από το οποίο έχουν αφαιρεθεί τα μεγάλα αδρανή, χύνεται σε άχυρο που έχει κοπεί στο επιθυμητό μέγεθος. Σε αυτή τη μέθοδο, η λειτουργία του χώματος είναι να δένει τις φυτικές ίνες μεταξύ τους. Το βέλτιστο μήκος για το άχυρο είναι 15-40cm. Στη συνέχεια, το μίγμα άχυρου και χώματος βρέχεται και αναμιγνύεται μέχρι να παραχθεί ένας πολτός. Οι τοίχοι που κατασκευάζονται με αυτή την τεχνική δεν είναι φέροντες, είναι γενικά ελαφριοί, με μεγάλη θερμομονωτική ικανότητα και κτίζονται ως γέμισμα σε έναν σκελετό, συνήθως ξύλινο. Χρησιμοποιείται στην κατασκευή προκατασκευασμένων δομικών στοιχείων, τοίχων αλλά και πατωμάτων.

- Η τεχνική αυτή προσαρμόζεται στην προκατασκευή κάθε είδους δομικού στοιχείου, από τούβλα μέχρι πανέλα και πλάκες δαπέδων. Τα προκατασκευασμένα δομικά στοιχεία είναι ουσιαστικά ελαφριά τούβλα που στρώνονται στην κατασκευή με τη χρήση κονιάματος.



εικ.106: Σκίτσο προκατασκευασμένων δομικών στοιχείων που μπορούν να παραχθούν με straw clay **εικ.107:** Πλήρωση ξύλινου σκελετού με staw-clay
εικ.108: Τούβλα από straw clay **εικ.109:** Κατασκευή τοίχου από staw clay με τη χρήση μεταλλικού σκελετού και ξυλοτύπου

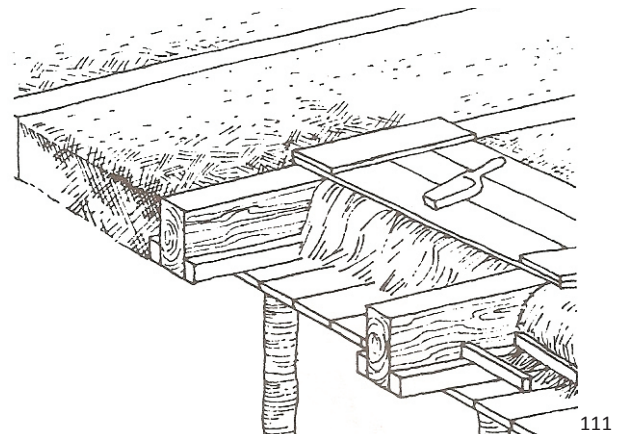
37. Hugo Houben and Hubert Guillaud, *Earth Construction – A comprehensive guide*, Λονδίνο 1994, σελ. 186-187

- Οι εξωτερικοί τοίχοι που κατασκευάζονται με αυτό το υλικό είναι συνήθως πάχους 20-30cm, ενώ οι εσωτερικοί περίπου 12cm. Ανάλογα με το φορτίο της στέγης, τοποθετούνται κατακόρυφα στύλοι με απόσταση 1-2m μεταξύ τους, με σκοπό να συγκρατούν τον ξυλότυπο, μέσα στον οποίο ρίχνεται το υλικό σε στρώσεις ύψους 10-20cm και συμπιέζεται ελαφρά με κατάλληλα εργαλεία. Οριζόντια δοκαράκια καρφωμένα στο σκελετό γεφυρώνουν το άνοιγμα που γεμίζεται με straw-clay. Οι τοίχοι χρειάζονται αρκετούς μήνες για να στεγνώσουν τελείως προτού επιχριστούν και η υφή που έχουν τελικά, βοηθά στην πρόσφυση του επιχρίσματος. Πρέπει να τονίσουμε ότι σε αυτού του είδους τους τοίχους, υπάρχει η πιθανότητα όταν αυτός έχει μεγάλο πάχος (μεγαλύτερο από 25cm) ή έχει συμπιεστεί υπερβολικά, το υλικό εσωτερικά να αρχίσει να σαπίζει, παρότι εξωτερικά ο τοίχος να φαίνεται ότι έχει στεγνώσει εντελώς, δημιουργώντας την ανάπτυξη μικροοργανισμών βλαβερών για την υγεία.³⁸

- Μπορούν να κατασκευαστούν και πατώματα με αυτό το υλικό, με την ίδια λογική όπως οι τοίχοι. Το υλικό απλώνεται ως γέμισμα πάνω σε ένα σύστημα στήριξης που αποτελείται από πηχάκια σφηνωμένα μεταξύ δοκών. Δεν χρειάζεται ξύλινη τελική επιφάνεια καθώς ένα πάτωμα αυτής της τεχνικής μπορεί να φέρει πάνω από 500kg/m².



εικ.110: Τοίχος από straw clay πάνω σε βάση από τσιμεντόλιθους σε ξενώνα εξοχικής κατοικίας (ΗΠΑ)



εικ.111: Σκίτσο χρήσης του straw clay στην κατασκευή πατωμάτων

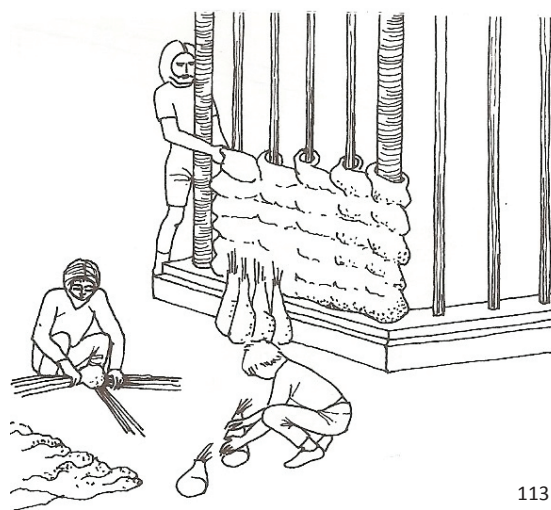
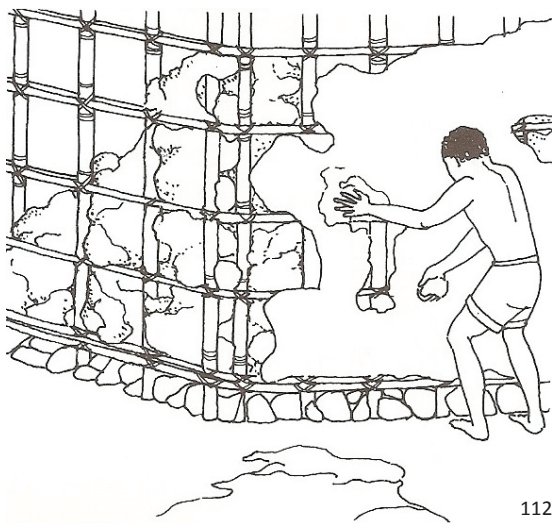
38. Gernot Minke, *Building with earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*, Βερολίνο 2009, σελ. 83-84

3.7.3 Πλήρωση ξύλινου φέροντος σκελετού

Σε αυτή την τεχνική αργιλώδες χώμα αναμειγμένο με ίνες, εφαρμόζεται σε λεπτή στρώση για να συμπληρώσει μια φέρουσα δομή, γενικά ξύλινη. Το χώμα που χρησιμοποιείται είναι αρκετά αργιλώδες ανακατεμένο με άχυρο ή άλλες φυτικές ίνες.

- **“Cob σε στύλους”**³⁹: Είναι η πιο διαδεδομένη τεχνική στις τροπικές χώρες. Σε αυτή ένας φέρων σκελετός και τα πάνελ που τον γεμίζουν φτιάχνονται εξολοκλήρου από φυτικά υλικά (ξύλο, μπαμπού, φοίνικες, ζαχαροκάλαμα, αναρριχητικά φυτά κ.ά.). Αυτά γεμίζονται με χώμα μέσα σε λίγες μέρες κατά τη διάρκεια της ξηρής περιόδου. Το πάχος αυτών των τοίχων κυμαίνεται από 15-20cm και μια καλή προστασία τους εξασφαλίζει την επιβίωσή τους για περισσότερο από 50 χρόνια.

- **“Μπουκάλια από άχυρο”**: Σε αυτή την παραδοσιακή γερμανική τεχνική, εκτός από το βασικό σκελετό, υπάρχει ένα δευτερεύων σύστημα από κατακόρυφα ξύλινα στοιχεία με απόσταση 15-20cm μεταξύ τους. Το μίγμα αργίλου διαμορφώνεται σε «μπουκάλια» παίρνοντας ποσότητες περίπου 1,5 λίτρου κάθε φορά, το οποίο τοποθετείται στο κέντρο ενός σταυρού αποτελούμενου από δύο δεσμίδες άχυρων. Στη συνέχεια σηκώνονται και ενώνονται τα άκρα των δεσμίδων, παίρνοντας το σχήμα μπουκαλιού το οποίο καλύπτεται εξωτερικά ξανά από μίγμα αργίλου. Αυτό τοποθετείται στην ξύλινη κατασκευή με το στόμιο του «μπουκαλιού» να πλέκεται γύρω από τα κατακόρυφα ξύλινα στοιχεία και το υπόλοιπο πιέζεται για να ενωθεί με το στόμιο του προηγούμενου «μπουκαλιού» που έχει τοποθετηθεί στην κατασκευή. Το υλικό θυμίζει αυτό του straw clay που αναφέραμε πιο πάνω καθώς χρησιμοποιείται μεγάλη ποσότητα άχυρου, πράγμα που έχει και ως αποτέλεσμα η κατασκευή που προκύπτει να έχει αυξημένη θερμομονωτική ικανότητα.



εικ.112: Σκίτσο αναπαράστασης της δόμησης με “cob σε στύλους” εικ.113: Σκίτσο δόμησης με “μπουκάλια από άχυρο”

39. Εντός εισαγωγικών ονομασίες με βάση το Hugo Houben and Hubert Guillaud, *Earth Construction – A comprehensive guide*, Λονδίνο 1994, σελ.. 188-189

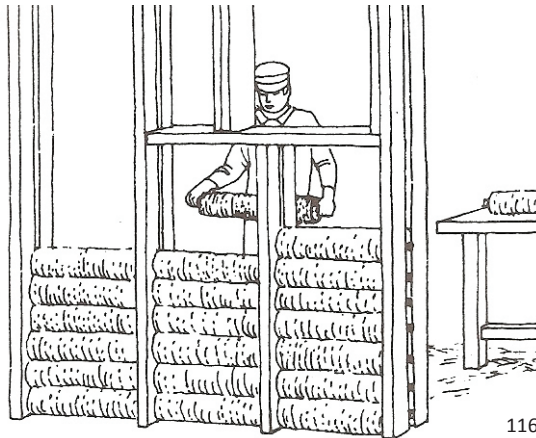
- **“Ρολά από χώμα”**: Σε αυτή την τεχνική που χρησιμοποιήθηκε σε παραδοσιακές κατοικίες με ξύλινο φέροντα σκελετό στη Γαλλία και Γερμανία, μακριά στελέχη άχυρου καλυμμένα με χώμα τυλίγονται γύρω από ξύλινους πήχεις παράγοντας ρολά. Αυτά στη συνέχεια αποθηκεύονται μέχρι να στεγνώσουν λίγο και μετά εφαρμόζονται οριζόντια σε ένα ξύλινο φέροντα σκελετό αποτελώντας το υλικό πλήρωσής του. Αυτή η τεχνική δεν είναι ιδιαίτερα απαιτητική σε ανθρώπινο δυναμικό κι έχει το πλεονέκτημα ότι μετά την ξήρανση του υλικού, δεν εμφανίζονται σχεδόν καθόλου ρωγμές συρρίκνωσης στην επιφάνειά του. Παρότι προσφέρει αρκετά καλή θερμομόνωση και είναι εύκολη στην κατασκευή, αυτή η τεχνική σπάνια πια χρησιμοποιείται.



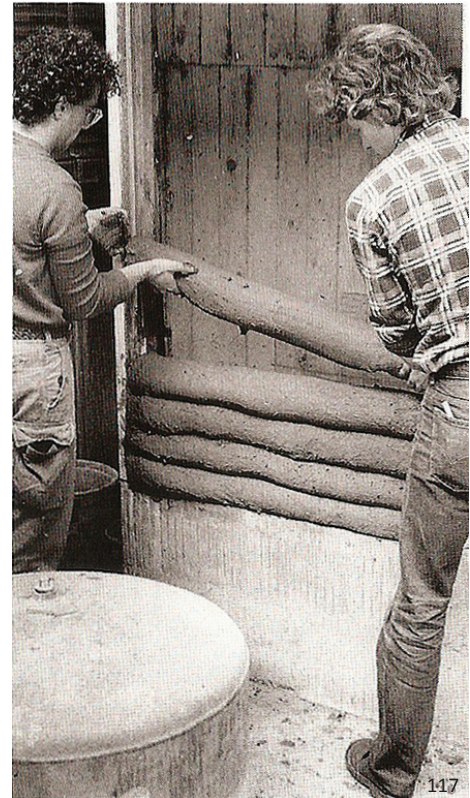
114



115



116



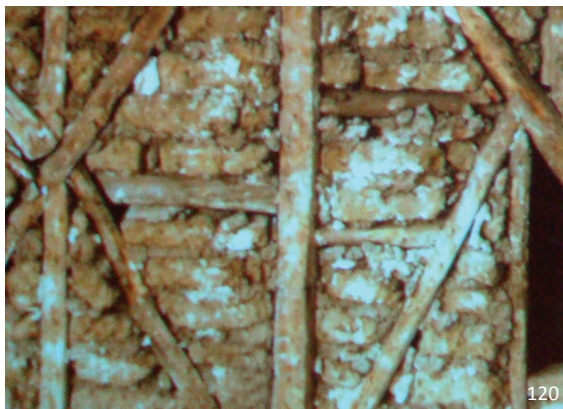
117

εικ.114,115: Κατασκευή “ρολών από χώμα” στο Building Research Laboratory του Πανεπιστημίου Kassel στη Γερμανία **εικ.116,117:** Πλήρωση ξύλινου σκελετού με “ρολά από χώμα”

• **Τσατμάς:** Από τις αρχαιότερες κατασκευαστικές τεχνικές, που ήταν ήδη σε εφαρμογή στη νεολιθική εποχή στον ελλαδικό χώρο, είναι ο τσατμάς. Υπάρχουν δύο είδη τσατμά που διαμορφώνονται με τη χρήση χώματος.

Η πρώτη αποτελείται από ξύλινο σκελετό, χωρισμένο με χιαστί αντηρίδες και πληρώνεται με πλίνθους. Σε αυτή την περίπτωση οι πλίνθοι είναι διατεταγμένοι είτε οριζόντια, είτε λοξά, ακολουθώντας κάθε φορά την κατεύθυνση που ορίζει το ξύλο πάνω στο οποίο εδράζονται. Ο τσατμάς σε ορισμένες περιπτώσεις επιχρίεται εξωτερικά και σε άλλες η πλινθοδομή παραμένει φανερή (π.χ. στη Σιάτιστα και στα Μουδανιά).

Στη δεύτερη κατηγορία τσατμά, ο ξύλινος φέρων οργανισμός συμπληρώνεται από έναν δευτερεύοντα, πάνω στον οποίο πλέκονται καλάμια ή εύκαμπτα κλαδιά. Στη συνέχεια, εφαρμόζεται μίγμα αργίλου, στο οποίο συνήθως έχει προστεθεί άχυρο ή άλλου είδους ίνες και πιέζεται πάνω στο πλέγμα από ξύλινα στοιχεία σε δύο φάσεις, μία εσωτερικά και μία εξωτερικά, ώστε να καλύψει όλα τα μέρη του κατά τουλάχιστον 2cm.⁴⁰ Εάν η στρώση από μίγμα αργίλου που θα τοποθετηθεί δεν έχει επαρκές πάχος ή οι ρωγμές που θα εμφανιστούν δεν επιδιορθωθούν καλά, ο τοίχος θα καταστραφεί πολύ γρήγορα, αντίθετα αν προστατεύεται καλά και με την προσθήκη τελικού προστατευτικού επιχρίσματος, ο τσατμάς μπορεί να επιζήσει μέχρι και για εκατοντάδες χρόνια.⁴¹



εικ.118,119: Κατασκευή τσατμά με πλεγμένα καλάμια και κάλυψη του με μίγμα πηλού και άχυρου **εικ.120:** Τσατμάς με πλήρωση από πλίνθους

40. Gernot Minke, *Building with earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*, Βερολίνο 2009, σελ. 80

41. Γιάννης Κίζης, *Πηλιορείτικη Οικοδομία*, Αθήνα 1994, σελ. 231-236

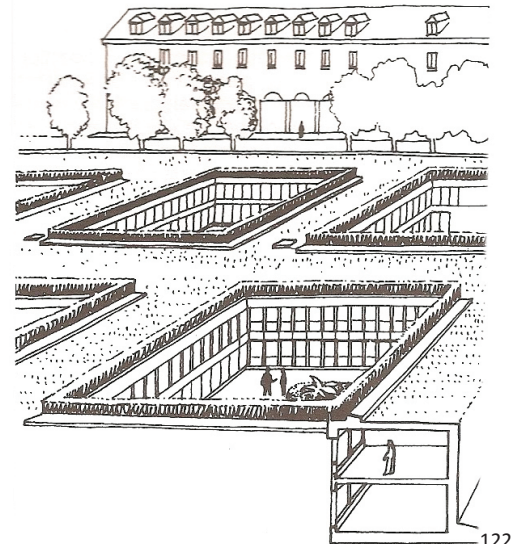
3.8. Χώμα ως υλικό κάλυψης

Κτίσματα κατασκευασμένα με οποιοδήποτε υλικό μπορούν να καλυφθούν από παχιά στρώση χώματος, που λειτουργεί ως φράγμα στην ανεπιθύμητη εισροή ή απώλεια θερμότητας, ανάλογα με την εποχή. Μια τέτοια λύση προσφέρει εξοικονόμηση στην απαιτούμενη ενέργεια για τη λειτουργία του κτιρίου. Υπάρχουν δυο κατηγορίες τέτοιων κατασκευών:

- Στις υπόγειες κατασκευές γίνεται η εκσκαφή, τοποθετείται η κατασκευή από διάφορα υλικά εκτός του χώματος και στη συνέχεια καλύπτεται με χώμα, επομένως το δώμα της συμπίπτει με το αρχικό επίπεδο του εδάφους. Το χώμα σε αυτή την περίπτωση δεν αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της κατασκευής, αλλά χρησιμοποιείται μόνο για να την καλύψει. Παράδειγμα υπόγειου κτιρίου καλυμμένου με χώμα αποτελούν τα κεντρικά γραφεία της UNESCO στο Παρίσι που κατασκευάστηκαν το 1958, σχεδιασμένα από τρεις συνεργαζόμενους αρχιτέκτονες από διαφορετικές χώρες, τον Αμερικάνο Marcel Breuer, τον Ιταλό Pier Luigi Nervi και τον Γάλλο Bernard Zehrfuss. Μια πτέρυγιά τους είναι υπόγεια τοποθετημένη και οργανώνεται γύρω από μεγάλα ορθογώνια αίθρια, με τα δώματά τους να είναι καλυμμένα με χώμα και φυτεμένα με γρασίδι.



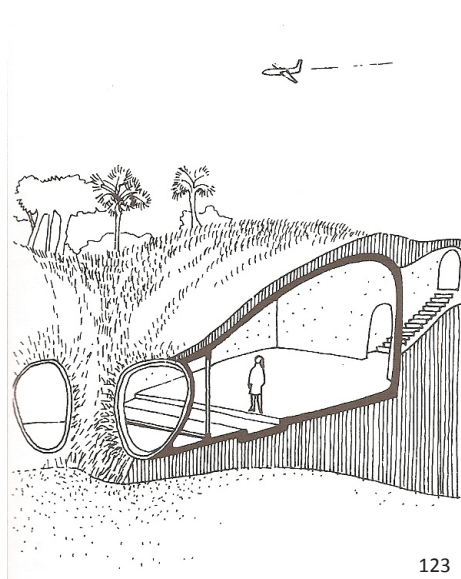
121



122

εικ.121,122: Κεντρικά γραφεία της UNESCO στο Παρίσι (Breuer, Nervi, Zehrfuss, 1958)

- Οι προστατευμένες με χώμα κατασκευές κτίζονται στο επίπεδο του εδάφους και στη συνέχεια καλύπτονται, είτε ολόκληρες είτε τμήματά τους, με χώμα. Αυτή είναι μια αρχαία τεχνική που χρησιμοποιούνταν λόγω των πλεονεκτημάτων του χώματος για την προστασία από διαφορετικές καιρικές συνθήκες και συνεχίζει να χρησιμοποιείται και στις μέρες μας σε σύγχρονες αρχιτεκτονικές εκφράσεις. Το χώμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μονωτικό για να προστατεύσει είτε ολόκληρη την κατασκευή, είτε μόνο την οροφή, εξίσου σε περιοχές με ζεστό αλλά και κρύο κλίμα. Οι γνωστές πράσινες, φυτεμένες στέγες ή δώματα προσδίδουν πολλές θετικές ιδιότητες στο κτίριο. Αποφεύγεται η υπερθέρμανση των οριζόντιων επιφανειών το καλοκαίρι, προσφέρουν καλύτερη θερμομόνωση και βελτιώνουν το μικροκλίμα γύρω από το κτίριο. Εκτός των θερμομονωτικών τους ιδιοτήτων, αυξάνουν σημαντικά το πράσινο, ιδιαίτερα στις πόλεις, γεγονός που τα τελευταία χρόνια έχει κινήσει το ενδιαφέρον για την παρουσία τέτοιων χώρων στις μεγαλουπόλεις. Η εξοχική κατοικία Dune House στην παραλία της Florida είναι καλυμμένη σχεδόν εξ' ολοκλήρου με χώμα φυτεμένο με γρασίδι και μόνο τα δύο μεγάλα ανοίγματα στη μια όψη και η είσοδος με τα σκαλιά στην άλλη ξεχωρίζουν, κάνοντας εμφανές ότι αυτός ο λόφος δημιουργήθηκε για να καλύψει την κατοικία και να την ενσωματώσει όσο καλύτερα γίνεται στο φυσικό περιβάλλον που αποτελείται από αμμόλοφους. Πρόκειται για δύο όμοιες κατοικίες, 69,7m² η καθεμία, που κατασκευάστηκαν από τον αρχιτέκτονα William Morgan το 1975 και λόγω της κάλυψής τους, υπάρχει ελάχιστη ανάγκη για κλιματισμό και θέρμανση στο εσωτερικό τους.



εικ.123,124: Εξοχική κατοικία Dune (Florida, 1975)

Σε κάθε περίπτωση, οι καλυμμένες με χώμα κατασκευές πρέπει να είναι καλά στεγανωμένες με τη χρήση ειδικών μεμβρανών και κατάλληλων αποστραγγίσεων και ειδικά σχεδιασμένες ώστε να αντέχουν τις φορτίσεις από το βάρος του χώματος.

4. ΔΟΜΗΣΗ

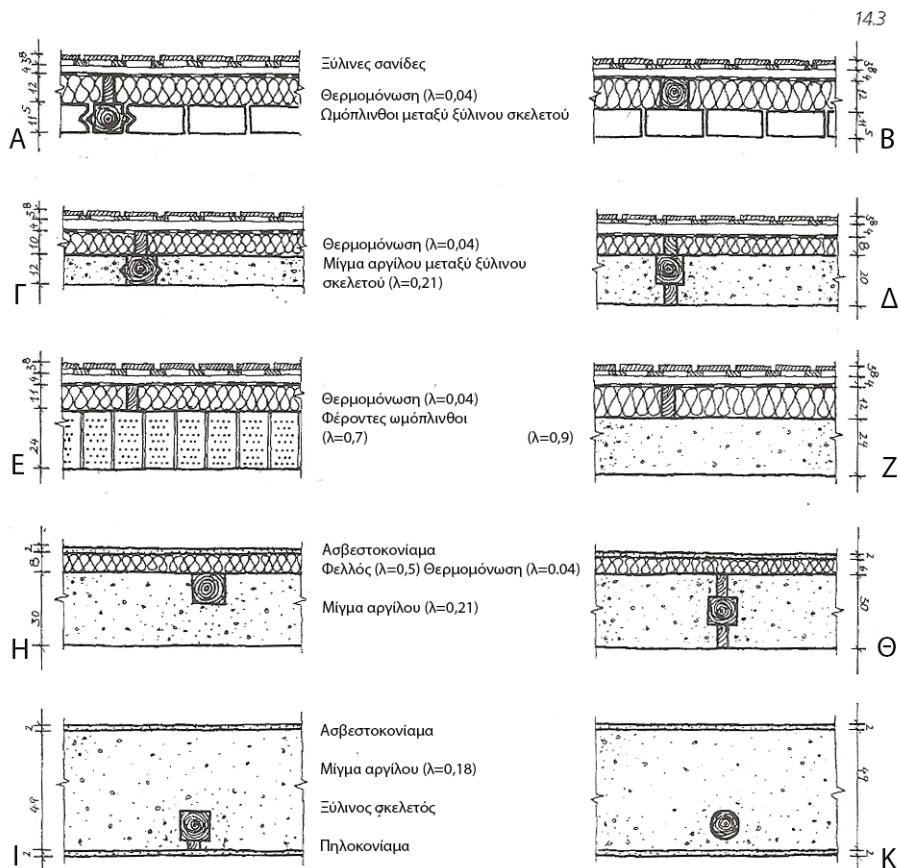
4.1 Πλεονεκτήματα της δόμησης με χώμα - Βιοκλιματική συμπεριφορά

Το χώμα ως δομικό υλικό παρουσιάζει ορισμένα ιδιαίτερα πλεονεκτήματα, με πιο σημαντικό την ικανότητά του να εξισορροπεί την υγρασία του αέρα και το κλίμα των εσωτερικών χώρων, όπως κανένα άλλο δομικό υλικό. Ως πορώδες υλικό, έχει την ικανότητα να απορροφά υγρασία από τον περιβάλλοντα αέρα και να την επανεκκλύει σε αυτόν πετυχαίνοντας την κατάλληλη ισορροπία. Πειράματα έδειξαν ότι σε δωμάτιο κάτοψης 3*4 m και ύψος 3 m, με συνολική επιφάνεια τοίχων 30 m² (αφού αφαιρεθούν οι πόρτες και τα παράθυρα) όταν η σχετική υγρασία αυξάνεται ξαφνικά από 50 σε 80%, οι μη επιχρισμένοι τοίχοι από ωμόπλινθους έχουν την ικανότητα να απορροφήσουν σε διάστημα δύο ημερών περίπου 9 λίτρα νερού. Οι ίδιοι τοίχοι κατασκευασμένοι από συμπαγείς οπτόπλινθους θα απορροφούσαν μόνο 0,9 λίτρα στο ίδιο διάστημα. Σε περίπτωση που η υγρασία μειωνόταν από 80 σε 50% η ίδια ποσότητα νερού θα εκλυόταν στον αέρα του δωματίου. Ακόμη και σε δωμάτιο με 95% υγρασία για διάστημα έξι μηνών, οι δομημένοι ωμόπλινθοι δεν γίνονται υγροί ούτε χάνουν τη σταθερότητά τους, επομένως αποτελούν ένα ιδανικό υλικό δόμησης για την εξισορρόπηση της υγρασίας στο εσωτερικό των κτιρίων.⁴²

Επιπλέον, το χώμα ως υλικό δόμησης παρουσιάζει εξαιρετική συμπεριφορά στη ρύθμιση της ροής θερμότητας μέσω της μάζας του τοίχου. Μια τοιχοποιία από ωμόπλινθους είναι ικανή να απορροφήσει θερμότητα κατά τη διάρκεια της ημέρας, διατηρώντας το εσωτερικό μιας κατοικίας δροσερό κι έπειτα κατά τη διάρκεια της νύχτας, όταν η θερμοκρασία πέφτει να την απελευθερώσει. Αυτό οφείλεται στην υψηλή θερμοχωρητικότητα του υλικού και τη χαμηλή θερμική του αγωγιμότητα, ιδιότητες που του προσδίδουν καλύτερη θερμική συμπεριφορά από άλλα σύγχρονα, όπως το μπετόν. Ερευνητές έχουν δείξει ότι παραδοσιακά κτίρια από ωμόπλινθους παρέχουν καλύτερες εσωτερικές συνθήκες στο χρήστη σε σχέση με σύγχρονα κτίρια κατασκευασμένα με άλλα υλικά. Στα παραδοσιακά πλινθόκτιστα σπίτια, το καλοκαίρι δεν απαιτείται η χρήση κλιματιστικών για την επίτευξη θερμικής

42. Gernot Minke, *Building with earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*, Βερολίνο 2009, σελ. 17

άνεσης, ενώ το χειμώνα παρότι δεν μπορεί να επιτευχθεί ικανοποιητική θερμική άνεση, παρέχονται καλύτερες συνθήκες στο εσωτερικό των κατοικιών, καθώς το κέλυφος έχει τη δυνατότητα να μειώνει τη ροή της θερμότητας προς το εξωτερικό περιβάλλον, καθώς και τις έντονες θερμοκρασιακές μεταβολές.⁴³



εικ.125: Οριζόντιες τομές σε τοίχους κατασκευασμένους από χώμα με διάφορες τεχνικές, οι οποίοι έχουν τιμή U-value $0,3W/m^2K$

43. J.D. Revuelta-Acosta, A. Garcia-Diaz, G.M. Soto-Zarazua and E.Rico-Garcia, "Adobe as a sustainable Material: A Thermal Performance", *Journal of Applied Sciences* 10, 2010 και Quindi Li, Ruoyu You, Chun Chen, Xudong Yang, "A field investigation and comparative study of indoor environmental quality in heritage Chinese rural buildings with rammed earth wall", *Energy and Buildings*, 2010

Η απώλεια της θερμότητας μέσω ενός δομικού στοιχείου υπολογίζεται με τον συντελεστή θερμοπερατότητας U-value, το οποίο εκφράζεται σε W/m^2K .⁴⁴ Όσο μεγαλύτερος ο συντελεστής, τόσο χειρότερη η θερμική συμπεριφορά του κτιρίου, ενώ αντίθετα, οι χαμηλές τιμές του υποδεικνύουν καλές θερμομονωτικές ιδιότητες των στοιχείων που προσμετρώνται. Η κάθε χώρα ορίζει με κανονισμούς τις επιθυμητές τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας U-value των διαφόρων κατασκευαστικών στοιχείων (βλ. πίνακα 1 παραρτήματος). Οι τοίχοι από άργιλο έχουν πολύ καλή θερμική συμπεριφορά. Τα παραδείγματα που φαίνονται στη συνέχεια, δείχνουν οριζόντιες τομές τοίχων με μικρή θερμοπερατότητα (U-value 0,3 W/m^2K), που έχουν επιπλέον έχουν ικανοποιητική θερμική μάζα για την εξισορρόπηση της θερμοκρασίας του εσωτερικού αέρα, αρκετή άργιλο για την εξισορρόπηση της εσωτερικής υγρασίας του αέρα και τέλος ικανοποιητική ηχομόνωση. Μόνο τα σχήματα E και Z αναφέρονται σε φέροντες τοίχους. Η εξωτερική θερμομόνωση των σχημάτων H και Θ μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σαν ένα είδος ξυλοτύπου για την χύτευση του μίγματος αργίλου, αλλά και ως βάση για το εξωτερικό ασβεστοκονίαμα. Οι απλούστερες και καλύτερες αποδοτικά λύσεις είναι οι I και K, που σχηματίζονται από μονολιθικούς, χαμηλής πυκνότητας τοίχους από μίγμα αργίλου. Σε περιοχές με πολλές βροχοπτώσεις προτιμώνται οι λύσεις A έως Z, γιατί έχουν εξωτερική επιφάνεια σε απόσταση, που δρα σαν προστατευτικό από τα καιρικά φαινόμενα.⁴⁵

Οι κτιριακές κατασκευές αποτελούν τον πιο απαιτητικό ενεργειακό τομέα της ανθρώπινης δραστηριότητας. Ένας από τους βασικούς στόχους του βιώσιμου σχεδιασμού και ανάπτυξης της κατασκευής, είναι η μείωση της χρήσης μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την παραγωγή και λειτουργία των κτιρίων, καθώς και η μείωση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης από τον ίδιο τομέα. Η περιβαλλοντική επίδραση ενός κτιρίου εξαρτάται από τις επιλογές που γίνονται στις διάφορες φάσεις κατά τη διάρκεια της ζωής του. Η πιο βασική είναι φυσικά η επιλογή των υλικών κατασκευής. Ο πηλός αποτελεί ένα υλικό με χαμηλού κόστους κύκλο ζωής (Low Life-Cycle Cost – LCC) και υψηλών τεχνικών αποδόσεων, επομένως μειώνει σε μεγάλο βαθμό τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της κατασκευής. Αυτό κάνει το χώμα ένα ιδιαίτερα ανταγωνιστικό υλικό ως προς τα σύγχρονα πιο διαδεδομένα υλικά, που για την παραγωγή τους και μόνο απαιτούν κατανάλωση πολύ μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας.

Το χώμα όμως παρουσιάζει και άλλα πολλά πλεονεκτήματα ως κατασκευαστικό υλικό, όπως για παράδειγμα το ότι είναι ένα υλικό που ανακυκλώνεται εξ ολοκλήρου και είναι εύκολα επισκευάσιμο, συνήθως βρίσκεται στο χώρο της κατασκευής μειώνοντας τους επιβαρυντικούς παράγοντες και τα κόστη μεταφοράς, είναι ιδανικό για κατασκευές do-it-yourself, παράγει μηδενικούς ρύπους σε όλο τον κύκλο ζωής του και επιπλέον απορροφά ρύπους της ατμόσφαιρας, προσφέροντας ένα υγιές περιβάλλον διαβίωσης, διατηρεί τα ξύλινα στοιχεία που έρχονται σε επαφή μαζί του ξηρά, επομένως δεν αναπτύσσονται μύκητες σε αυτά και τέλος, για την κατασκευή αυτών των κτιρίων απαιτούνται πολύ μικρές ποσότητες ενέργειας και η καλή θερμική συμπεριφορά τους μειώνει τα λειτουργικά κόστη και την ενεργειακή κατανάλωση.

44. Το U-value δείχνει την απώλεια θερμότητας σε Watt ανά m^2 υλικού, όταν η θερμοκρασία (K) εξωτερικά είναι τουλάχιστον 1ο χαμηλότερη από την εσωτερική (<http://www.kingspandirect.com/>) Για τον υπολογισμό του λαμβάνονται υπόψη η διαδοχή των υλικών που αποτελούν το εξεταζόμενο κατασκευαστικό τμήμα (π.χ. οροφή, τοίχος, πάτωμα) και το πάχος του κάθε υλικού και ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ του καθενός από αυτά. (www.architecture.com/SustainabilityHub/Designstrategies/Earth)

45. Gernot Minke, *Building with earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*, Βερολίνο 2009, σελ. 108

4.2 Μειονεκτήματα της δόμησης με χώμα - Ευπαθή σημεία

Το χώμα δεν είναι τυποποιημένο δομικό υλικό, πράγμα που σημαίνει ότι σε κάθε περίπτωση και ανά περιοχές διαφέρει η σύνθεσή του. Επομένως, πριν τη χρήση του στην κατασκευή απαιτείται η ακριβής ανάλυση της σύνθεσής του και η κατανόηση των εκάστοτε ιδιοτήτων του, ώστε η χρησιμοποίησή του να είναι συμβατή με την κατασκευή και να αποδίδει τα καλύτερα αποτελέσματα.

Τα μίγματα αργίλου συρρικνώνονται όταν στεγνώσουν, με αποτέλεσμα να σχηματίζονται στην επιφάνεια τους ρωγμές συρρίκνωσης. Αν δεν υπάρξει ο κατάλληλος σχεδιασμός εκ των προτέρων προς αποφυγή τους ή η κατάλληλη φροντίδα για κάλυψή τους εκ των υστέρων, μπορούν να βλάψουν σοβαρά την κατασκευή και εν τέλει να οδηγήσουν σε αστοχία.



εικ.126: Παγκάκι από χώμα στο οποίο εμφανίστηκαν μεγάλες ρωγμές συρρίκνωσης μετά το στέγνωμα του υλικού της κατασκευής τοίχων από χώμα αποτελεί το γεγονός ότι έντομα και τρωκτικά μπορούν να φωλιάσουν στη μάζα τους, δημιουργώντας κοιλότητες και καταστρέφοντας το υλικό. Κτίσμα από ωμόπλινθους στο οποίο έχουν φωλιάσει σφήκες (N. Κοζάνης)



εικ.127: Ενα από τα μειονεκτήματα

Το πιο σημαντικό μειονέκτημα της αργίλου ως δομικό υλικό είναι η μεγάλη ευαισθησία που παρουσιάζει στο νερό, που προκαλεί τη διάβρωσή του. Αυτό καθιστά απαραίτητη τη λήψη μιας σειράς μέτρων για προστασία των κατασκευών αυτών από τη βροχή και τον πάγο. Για να επιδράσει το νερό στην κατασκευή πρέπει να ισχύουν τρεις συνθήκες: να υπάρχει νερό στην επιφάνεια του κτιρίου, να υπάρχει ένα άνοιγμα σε αυτή (όπως ρωγμή, παράθυρο) που να επιτρέπει στο νερό να μπει και τέλος να υπάρχει μια δύναμη – πίεση, βαρύτητα– που να διευκολύνει την είσοδο του νερού στο άνοιγμα.

Η προσεκτική μελέτη των παραδοσιακών χωμάτινων κτιρίων μπορεί να μας δώσει πολλές πληροφορίες για την επίλυση σοβαρών προβλημάτων που σχετίζονται με τη διατήρηση της αντοχής των κατασκευών που είναι εκτεθειμένες στο νερό. Για παράδειγμα, η επικίνδυνη δράση του μπορεί να ελαττωθεί χτίζοντας καλά θεμέλια, προστατεύοντας την κορυφή των τοίχων και μειώνοντας την ευαισθησία τους στη συμπίκνωση υδρατμών. Πιθανές ρωγμές για τη διείσδυση νερού μπορούν να αποφευχθούν με συχνή συντήρηση του εξωτερικού στρώματος του

κτιρίου, αν και σε ένα σύγχρονο πλαίσιο οι τεχνικές προστασίας που απαιτούν συχνή συντήρηση δεν προτιμώνται. Σε καμία περίπτωση όμως δεν πρέπει η επιφάνεια των χωμάτινων τοίχων να γίνεται αδιαπέραστη, καθώς πρέπει να μπορεί να αναπνέει και να επιτρέπει την κίνηση των υδρατμών μέσω της μάζας τους. Η πιο αποτελεσματική λογική είναι να κρατήσουμε το νερό μακριά από τα ευαίσθητα τμήματα του κτιρίου. Πάνω σε αυτή τη λογική βασίζεται και το παλιό ρητό από το Devon της Αγγλίας που αναφέρεται σε κτίρια cob αλλά μπορεί να γενικευτεί σε όλες τις κατασκευαστικές τεχνικές από χώμα: “All cob wants is a good hat and a good pair of shoes”, δηλαδή το μόνο που χρειάζεται μια χωμάτινη κατασκευή είναι μια καλή στέγαση και μια καλή βάση.



εικ.128: Διάβρωση των τοίχων από τη μακροχρόνια επίδραση του καιρού, λόγω έλλειψης συντήρησης (New Gourna, Fathy)

Παρουσιάζουμε παρακάτω ορισμένα από τα πιο ευάλωτα σημεία των χωμάτινων κατασκευών και τις αιτίες που τα καθιστούν ως τέτοια.

Θεμέλια: Η τριχοειδής άνοδος υγρασίας που μπορεί να εμφανίζεται στη βάση των τοίχων, μπορεί να προέρχεται από εποχιακές αλλαγές του υδροφόρου ορίζοντα, συγκράτηση νερού από κοντινές ρίζες θάμνων, ελαττωματικό αποχετευτικό δίκτυο, στάσιμο νερό στα θεμέλια του τοίχου κ.ά. Η επίμονη υγρασία μπορεί να φέρει αποδυνάμωση της βάσης του τοίχου, οδηγώντας το υλικό από τη στερεή στην πλαστική κατάσταση, με αποτέλεσμα οι τοίχοι να μην μπορούν πια να φέρουν φορτία (το ίδιο βάρος τους), αυξάνοντας την πιθανότητα κατάρρευσης. Η υγρασία ευνοεί την ανάπτυξη αλάτων όπως NaCl , CaSO_4 και NaSO_4 , που επιτίθενται στο υλικό,

προκαλώντας το σχηματισμό κοιλοτήτων.⁴⁶ Εντομα και τρωκτικά που έλκονται από την υγρασία μπορεί να προκαλέσουν επιπλέον αλλοίωση στον τοίχο.

Τμήμα βάσης: Πάνω από το επίπεδο του εδάφους η βάση του τοίχου μπορεί να φθείρεται από οποιονδήποτε από τους παρακάτω λόγους: πιπίλισμα νερού που αναπηδά από τη βροχή, νερό που πετάγεται από διερχόμενα οχήματα, πλύσιμο των πατωμάτων εσωτερικά, συμπύκνωση στην επιφάνεια του τοίχου (πρωινή δροσιά), απορροή στο κάτω μέρος του τοίχου λόγω υδρορροών πολύ κοντά στον τοίχο, αδιαπέραστη επιφάνεια που εμποδίζει την εξάτμιση και βοηθά στη συμπύκνωση μεταξύ του χωμάτινου τοίχου και της αδιάβροχης τελικής επιφάνειας, ανάπτυξη παρασιτικής χλωρίδας (βρύα) κ.ά.



εικ.129: Στο χωριό New Gourna τα θεμέλια των κτιρίων κατασκέφρονται από το σχηματισμό αλάτων

46. Στο χωριό New Gourna της Αιγύπτου, που σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε από τον Hassan Fathy τη δεκαετία του 1940 για να στεγάσει τους κατοίκους που η κυβέρνηση μετέφερε από την Παλιά Gourna του Λούξορ, χρησιμοποιήθηκε ως βασικό υλικό κατασκευής των κτιρίων το χώμα και δημιουργήθηκαν κατοικίες με πολύ καλή μόνωση και αερισμό, που παρείχαν ένα υγιές και καθαρό περιβάλλον διαβίωσης. Ο σχεδιασμός αυτός αποτέλεσε την αρχή αυτού που σήμερα αποκαλούμε βιοκλιματική αρχιτεκτονική και αειφόρο ανάπτυξη. Παρότι η κατασκευή του χωριού δεν ολοκληρώθηκε, το τμήμα που παραμένει μέχρι σήμερα αντιμετωπίζει σοβαρά προβλήματα όχι μόνο λόγω της εγκατάλειψης αρκετών κτιρίων, αλλά και σε αυτά που συνεχίζουν να κατοικούνται εμφανίζονται προβλήματα στα θεμέλια τους. Τα θεμέλια των κτιρίων είναι κατασκευασμένα από ασβεστόλιθους με υψηλή περιεκτικότητα σε άλατα, τα οποία διαλύονται με την ύπαρξη υγρασίας ή νερού. Σύμφωνα με μαρτυρίες των ίδιων των κατοίκων, το πρόβλημα είναι τόσο σοβαρό, ώστε αναγκάζονται αρκετές φορές το χρόνο να επισκευάζουν τα θεμέλια των κατοικιών τους, διαδικασία επίπονη και ιδιαίτερα ακριβή. Παρότι οι τοίχοι είναι γεροί, τα θεμέλια αποτελούν το αδύναμο κομμάτι της κατασκευής, θέτοντας σε κίνδυνο ολόκληρο το κτίριο. (βίντεο “Hassan Fathy’s New Gourna: Past-Present-Future”)

Τοίχοι: Το νερό διεισδύει μέσω δομικών κατασκευαστικών ρωγμών και ρωγμών συρρίκνωσης, ασυμπλήρωτων οπών από τους σφικτήρες του ξυλοτύπου κι από ελαττωματικούς αρμούς κονιάματος.

Κάσες: ένα σημείο που χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή κατά την κατασκευή είναι το σημείο ένωσης μεταξύ της κάσας και των χωμάτινων τοίχων (ανώφλι και ποδιά) όπου σε περίπτωση τοπική φθοράς ή ελαττωματικής ένωσης το νερό μπορεί να τρέχει μεταξύ της κάσας και του τοίχου προκαλώντας σοβαρή ζημιά στο υλικό κατασκευής.⁴⁷

4.3 Συντήρηση χωμάτινων κτιρίων

Η συντήρηση είναι μία απαραίτητη δραστηριότητα κατά τη διάρκεια της ζωής όλων των κτιρίων. Οσον αφορά τις κατασκευές από χώμα, αυτή η διαδικασία δεν είναι απαραίτητα πιο δύσκολη από τη συντήρηση οποιουδήποτε άλλου παραδοσιακού κτιρίου. Ωστόσο, η απουσία τακτικής συντήρησης μπορεί να είναι περισσότερο καταστροφική σε αυτές τις κατασκευές από ότι σε άλλους τύπους κατασκευών. Για το λόγο αυτό, είναι σημαντική η ύπαρξη ενός κατάλληλου προγράμματος συντήρησης, ούτως ώστε να γίνεται και πρόληψη με τον τρόπο αυτό.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, το νερό είναι ο σημαντικότερος παράγοντας διάβρωσης και αποσύνθεσης των χωμάτινων δομικών στοιχείων. Επομένως, οποιαδήποτε διαδικασία συντήρησης θα πρέπει αρχικά να περιλαμβάνει μέτρα σχετικά με την αντιμετώπιση των προβλημάτων που δημιουργεί το νερό. Τέτοια μέτρα είναι ο καθαρισμός και ο έλεγχος υδρορροών και σωλήνων, οι οποίοι θα πρέπει να αντικαθίστανται αμέσως σε περίπτωση που διαπιστωθεί κάποιο ελάττωμα σε αυτούς, ο έλεγχος της ακεραιότητας της στέγης και η ανανέωση των εξωτερικών επικαλύψεων των τοίχων.

Η τελική εξωτερική επιφάνεια των χωμάτινων τοίχων αποτελείται από μια στρώση προστατευτικής επικάλυψης, η οποία διαφέρει ως προς το υλικό και τη σύνθεσή της ανάλογα με την εκάστοτε κατασκευή και το κλίμα της περιοχής στην οποία αυτή βρίσκεται. Η ανανέωση αυτών των επικαλύψεων θα πρέπει να γίνεται ανά διαστήματα που κυμαίνονται από ένα έως δέκα χρόνια (τα χρονικά αυτά διαστήματα εξαρτώνται από το κλίμα και τη μορφή της κατασκευής). Πιο συχνά θα πρέπει να εξετάζονται το ανώτατο τμήμα των τοίχων, τα στηθαία και τα σημεία κοντά στο επίπεδο του εδάφους.⁴⁸

Στα **ξηρά κλίματα**, όπου οι βροχοπτώσεις είναι λίγες, το υλικό των επικαλύψεων των τοίχων είναι κυρίως το χώμα. Για την ανανέωση αυτών των επικαλύψεων δημιουργείται μίγμα παρόμοιας σύνθεσης με το αρχικό σε μορφή πολτού (δηλαδή αρκετά πλούσιο σε νερό). Πριν την εφαρμογή του η αρχική επιφάνεια βρέχεται. Επειτα, το μίγμα εφαρμόζεται και δουλεύεται καλά πάνω στην επιφάνεια. Η γρήγορη απορρόφηση μέρους του νερού που περιέχεται στο μίγμα τείνει να δένει το νέο με το παλιό υλικό. Σε αυτές τις περιπτώσεις ανανέωσης των επικαλύψεων, ουσιαστικό κομμάτι της διαδικασίας είναι το χέρι που δουλεύει το μίγμα, ενώ σημαντικό ρόλο παίζει και η πλαστικότητα του υλικού. Επομένως, σημαντική είναι η κατάλληλη επιλογή του χώματος που χρησιμοποιείται καθώς και η εισαγωγή υλικών όπως η κοπριά που βοηθούν τη ρευστότητα. Η εισαγωγή άχυρου ή άλλου ινώδους υλικού είναι πλεονέκτημα για τη διαδικασία ξήρανσης αλλά μπορεί να μετατραπεί σε μειονέκτημα

47. Hugo Houben and Hubert Guillaud, *Earth Construction – A comprehensive guide*, Λονδίνο 1994, σελ. 246-247

48. V. Maniatis, P. Walker, *A Review of Rammed Earth Construction*, University of Bath 2003, σελ. 69-73

καθώς μπορεί να υποστεί σήψη και να αποτελέσει τροφή για έντομα. Σαν εναλλακτική, έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία κομμένες ίνες πολυπροπυλενίου, το οποίο είναι πολύ πιο ανθεκτικό στην αποσύνθεση. Γενικά, η ζωή των επικαλύψεων από χώμα μπορεί να επεκταθεί με τη χρήση τέτοιων ανθεκτικών συνθετικών υλικών, μερικά από τα οποία μπορούν να βρεθούν ως υπολείμματα άλλων υλικών (π.χ. οι ίνες πολυπροπυλενίου αποτελούν τα ψιλοκομμένα κατάλοιπα τσουβαλιών). Σε μερικές περιοχές, οι παραδοσιακές μέθοδοι περιλαμβάνουν λάδια (π.χ. λάδι λιναρόσπορου) ή λίπη ζώων (π.χ. ξύγκι) στο αρχικό μίγμα. Η χρήση λαδιού έχει ως αποτέλεσμα τη σκλήρυνση. Τα ζωικά λίπη λειτουργούν ως αναστολείς στη διείσδυση νερού, αλλά δεν κρατάνε πολύ λόγω βακτηρίων.⁴⁹



εικ.130: Εφαρμογή ασβεστοχρώματος στην εξωτερική επιφάνεια των τοίχων στην Υεμένη

49. J. Warren, *Earthen Architecture: The conservation of brick and earth structures*, 1993, σελ. 81-83

Τα δώματα θα πρέπει να συντηρούνται αρκετά πιο συχνά, ενώ μετά από σημαντικές βροχοπτώσεις οι επιφάνειες θα πρέπει να σταθεροποιούνται. Στα ξηρά κλίματα, πολλά ιστορικά ή δομημένα με παραδοσιακούς τρόπους κτίρια, για τον αποκλεισμό του νερού στο δώμα τους βασιζόνταν μόνο σε μια στρώση συμπιεσμένου χώματος πλούσιου σε άργιλο. Τα δώματα κατασκευάζονταν είτε με φορείς από ξύλινα δοκάρια είτε με θολωτές κατασκευές. Στα επίπεδα δώματα, συχνά τοποθετούνταν μικρά βουναλάκια από χώμα ούτως ώστε μετά από βροχή αυτά να μαλακώνουν και να απλώνονται για να καλύπτουν τις τυχόν ρηγματώσεις που έχουν δημιουργηθεί. Η επιφάνεια εξομαλυνόταν όσο ήταν ακόμα υγρή με τη χρήση διαφόρων εργαλείων, όπως π.χ. πέτρινων κυλίνδρων. Αναπόφευκτα, μετά από κάθε κύκλο βροχών υπάρχει απώλεια υλικού. Γι' αυτό, και στις δύο περιπτώσεις δωματίων, οι επικαλύψεις ανανεώνονται χρησιμοποιώντας υλικά πλουσιότερα σε άργιλο απ' ό,τι το αρχικό χώμα, τα οποία περιέχουν επίσης κοπριά ή χυμό από φυτά. Επίσης προστίθεται ένα ινώδες υλικό, για να αποφευχθούν οι ρωγμές που εμφανίζονται συχνά σε χώματα πλούσια σε άργιλο.⁵⁰

Στα πιο **υγρά κλίματα**, για τις επικαλύψεις των χωμάτινων τοίχων χρησιμοποιούνται υλικά διαφορετικά του χώματος. Το πιο συνηθισμένο είναι το ασβεστόχρωμα, το οποίο όταν ξηρανθεί μετατρέπεται σε μία σταθερή, στιλπνή επιδερμίδα η οποία είναι πορώδης και διαπνέει επιτρέποντας στην υγρασία να εξατμιστεί, ενώ ταυτόχρονα απορρίπτει το νερό της βροχής από την επιφάνειά του. Σιγά-σιγά όμως, εξαιτίας των διαφόρων καιρικών συνθηκών και κυρίως της βροχής, η επιφάνεια αυτή σταδιακά διαβρώνεται οπότε και το ασβεστόχρωμα θα πρέπει να ανανεώνεται ανά τακτά διαστήματα. Το χρονικό αυτό διάστημα εξαρτάται από το πόσο εκτεθειμένος είναι ο τοίχος στα καιρικά φαινόμενα. Στη χειρότερη περίπτωση εφαρμόζεται ετήσια ανανέωση. Σταδιακά, με τις πολλές ανανεώσεις, δημιουργείται ένα πυκνό στρώμα στεγάνωσης. Σε άλλες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται υλικά επικαλύψεων με βάση το τσιμέντο, των οποίων όμως η συνοχή με τους χωμάτινους τοίχους δεν είναι ικανοποιητική οπότε και δημιουργούνται ρωγμές. Μια άλλη περίπτωση είναι η εφαρμογή επικαλύψεων από πίσσα. Αυτές οι επικαλύψεις μπορούν να διατηρήσουν την ελαστικότητά τους για αρκετό διάστημα ενώ οι διαλύτες που χρησιμοποιούνται στην εφαρμογή των επόμενων στρωμάτων (κατά την ανανέωση δηλαδή) μπορούν να διεισδύσουν στις αρχικές επιφάνειες μαλακώνοντάς τις και επομένως επεκτείνοντας τη ζωή τους. Ωστόσο, με τη χρήση πίσσας στην τελική επιφάνεια δεν μπορεί να γίνει εξάτμιση προς τα έξω. Υπάρχει λοιπόν ο κίνδυνος οι υδρατμοί μέσα στον τοίχο να ψυχρανθούν κάτω από το σημείο υγροποίησης, οπότε και να μετατραπούν σε νερό το οποίο παγιδεύεται αμέσως κάτω από την επιφάνεια της πίσσας, με αποτέλεσμα την αστοχία του χωμάτινου υποστρώματος.⁵¹

Είναι λοιπόν φανερό ότι η τακτική συντήρηση παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στη διάρκεια ζωής ενός χωμάτινου κτιρίου. Παρόλα αυτά, αν και υπάρχουν δημοσιεύσεις σχετικά με τη συντήρηση και την αποκατάσταση ιστορικών κτηρίων, οι πληροφορίες σχετικά με τη συντήρηση των νέων κτισμάτων από χώμα είναι λίγες. Ένα από τα λίγα παραδείγματα είναι οι πληροφορίες σε μορφή καθοδήγησης για απλά μονώροφα ή διώροφα κτήρια που παρέχονται στο αυστραλιανό εγχειρίδιο χωμάτινων κτιρίων (*Australian earth building handbook, Standards Australia, 2002*).⁵²

50. J. Warren, *Earthen Architecture: The conservation of brick and earth structures*, 1993, σελ. 81

51. J. Warren, *Earthen Architecture: The conservation of brick and earth structures*, 1993, σελ. 83-86

52. V. Maniatidis, P. Walker, *A Review of Rammed Earth Construction*, University of Bath 2003, σελ. 69-70

5. ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΧΩΜΑΤΙΝΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

5.1 Γενικές αρχές αποκαταστάσεων⁵³

Για την αποκατάσταση των ιστορικών κτιρίων οι πολιτικές που εφαρμόζονται εξαρτώνται από την αιτία, τη φύση και το είδος των προβλημάτων που παρουσιάζονται καθώς και την μετέπειτα χρήση του κτιρίου και τέλος καθορίζονται από θεσμικούς περιορισμούς. Όμως για την απόφαση οποιασδήποτε ενέργειας απαραίτητη είναι η εφαρμογή ορισμένων αρχών. Αρχικά, είναι πολύ σημαντικό πριν από τον καθορισμό των επεμβάσεων να γίνει η σωστή ανάλυση του δομικού συστήματος και αναγνώριση των αρχιτεκτονικών τους στοιχείων ούτως ώστε η οποιαδήποτε επέμβαση να είναι συμβατή με την φυσιογνωμία του κτιρίου και να αναδεικνύει τις ποιότητές του. Επίσης, σημαντική είναι η αρχή της ελάχιστης παρέμβασης μαζί με την αρχή της αντιστρεψιμότητας. Δηλαδή, η ιδανική λύση θα ήταν να γίνουν όσο το δυνατόν λιγότερες επεμβάσεις, και οποιαδήποτε παρέμβαση να μπορεί εύκολα να αφαιρεθεί αφήνοντας το κτίριο όπως ήταν. Μια εξίσου σημαντική αρχή είναι η χρησιμοποίηση των κατάλληλων υλικών ώστε να είναι συμβατά με την αρχική κατασκευή. Ο πιο κατάλληλος τρόπος είναι η επαναχρησιμοποίηση των αρχικών υλικών όπου αυτό είναι δυνατό ή η χρήση υλικών ίδιων με αυτά. Επιπλέον, οι επεμβάσεις θα πρέπει να είναι τέτοιες ώστε να μην αλλοιώνεται το ύψος και ο χαρακτήρας του αρχικού κτιρίου. Θα πρέπει επίσης να μπορεί να φανεί μέσα από ανάλυση η φύση και η χρονολόγηση οποιασδήποτε παρέμβασης ώστε να διευκολύνονται επόμενοι συντηρητές.

Επομένως, όσον αφορά τα ιστορικά κτίρια υπάρχουν διάφορες επιλογές που μπορεί να προκύψουν σχετικά με τη διατήρησή τους. Μία τέτοια επιλογή είναι η διατήρηση μιας κατασκευής στην κατάσταση που βρίσκεται μια δεδομένη χρονική στιγμή, χωρίς δηλαδή να γίνουν επεμβάσεις για την αποκατάστασή της, αλλά ούτε και να επιτραπεί η περαιτέρω διάβρωσή της. Άλλες επιλογές είναι η αποκατάσταση του κτιρίου στην αρχική του μορφή (οπότε και οι διάφορες επεμβάσεις που πιθανόν να είχαν γίνει στο παρελθόν ίσως να αλλάξουν ή να αφαιρεθούν), η αντικατάσταση ουσιαστικών μερών της αρχικής κατασκευής, η μετατροπή δευτερευόντων

53. J. Warren, *Earthen Architecture: The conservation of brick and earth structures*, 1993, σελ. 1-20

στοιχείων του κτιρίου ώστε να προσαρμοσθεί σε νέες λειτουργίες κ.α. Άλλες φορές δεν είναι υποχρεωτικό να διατηρήσεις μια κατασκευή, οπότε μια επιλογή θα μπορούσε να είναι η αποσύνθεσή της, ελεγχόμενη ή μη, ή, σε περιπτώσεις αρχαιολογικών ανασκαφών, η προσεχτική αποκάλυψη, καταγραφή και εκ νέου κάλυψή της. Η πιο επιθυμητή όμως επιλογή είναι η αποκατάσταση και διατήρηση της χρήσης μιας κατασκευής. Προϋποθέτει ότι μπορεί να υπάρξει μια συνεχής λειτουργία συμβατή με την αρχική χρήση της κατασκευής.

Πριν επιχειρηθεί όμως οποιαδήποτε ενέργεια αποκατάστασης, είναι απαραίτητη η προσεκτική ανάλυση και καταγραφή της αρχικής κατάστασης του κτιρίου, η ιστορική έρευνα, ο προσδιορισμός και η αντιμετώπιση των προβλημάτων και της αιτίας τους, η απόφαση για τη δυνατότητα εύκολης προσαρμογής του σε επερχόμενες αλλαγές που υπαγορεύονται από νέες ανάγκες, η δημιουργία προγράμματος διαχείρισης κλπ.

5.2 Αποκατάσταση χωμάτων κατασκευών

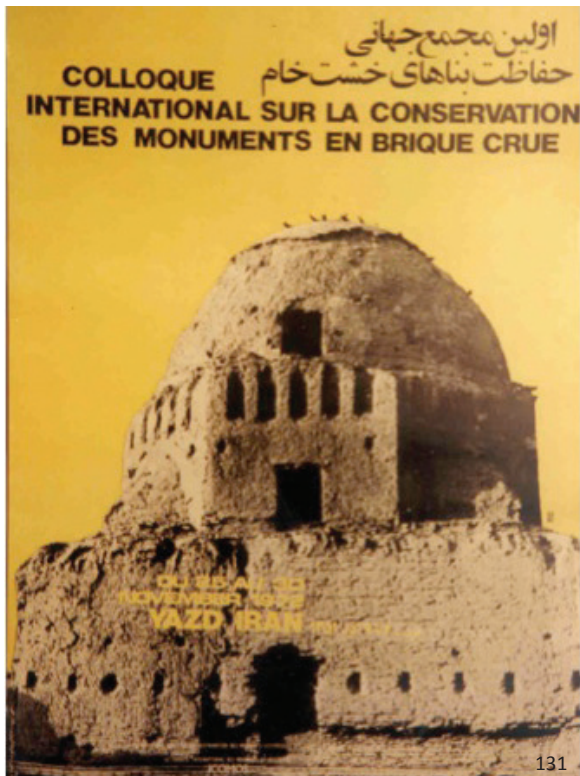
Το ενδιαφέρον για την ανάγκη διατήρησης της παγκόσμιας χωματίνης αρχιτεκτονικής κληρονομιάς άρχισε να εκδηλώνεται για πρώτη φορά γύρω στο 1970. Συγκεκριμένα, το 1972 πραγματοποιήθηκε στην πόλη Yazd στο Ιράν (μια πόλη κατασκευασμένη από χώμα), ένα συνέδριο με τίτλο «First Colloquium on the Conservation of Adobe» (Πρώτο Συνέδριο για τη Συντήρηση των ωμοπλίνθων) από ενδιαφερόμενους ειδικούς και με την υποστήριξη του ICOMOS. Στα χρόνια που ακολούθησαν έγιναν άλλες τρεις συναντήσεις σχετικές με τις κατασκευές από ωμόπλινθους και την ανάγκη διατήρησής τους, ώσπου το 1987 δημιουργήθηκε μια ειδική επιστημονική επιτροπή του ICOMOS με το όνομα Διεθνής Επιτροπή για τη Μελέτη και Διατήρηση της Χωματίνης Αρχιτεκτονικής, που μετά από το 2004 μετονομάστηκε σε Διεθνής Επιστημονική Επιτροπή για τη Χωματίνη Αρχιτεκτονική Κληρονομιά (International Scientific Committee on Earthen Architectural Heritage - ISCEAH). Στόχος της επιτροπής είναι η εκπόνηση μελετών και έρευνας σχετικά με την προστασία και διατήρηση της χωματίνης αρχιτεκτονικής και αρχαιολογικής κληρονομιάς, του υλικού και των παραδοσιακών τεχνικών.⁵⁴

Σήμερα, γίνονται αρκετές προσπάθειες για την προώθηση του χώματος ως υλικού δόμησης με σύγχρονες και παραδοσιακές κατασκευαστικές μεθόδους, καθώς και για την κατανόησή των δυνατοτήτων του. Σε αυτό το πλαίσιο γίνονται και πολλές προσπάθειες αποκατάστασης χωματινών κτιρίων, όχι μόνο από το ICOMOS, αλλά και από άλλους οργανισμούς, μελετητές, αρχιτέκτονες κ.ά. Επομένως, όσον αφορά τις αρχές και τις μεθόδους αποκαταστάσεων των χωματινών κατασκευών, εκτός από τις γενικές αρχές που ισχύουν για όλα τα ιστορικά κτίρια και αναλύσαμε παραπάνω, μπορούμε να αντλήσουμε κάποια στοιχεία από σχετικές δημοσιεύσεις και εφαρμογές των οργανισμών που δραστηριοποιούνται σε αυτό τον τομέα.

Σχετικά με την αντιμετώπιση των δομικών προβλημάτων μιας κατασκευής, μπορούν να οριστούν δύο κατηγορίες αποκαταστάσεων - επεμβάσεων, οι δραστικές και οι ήπιες. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τη σκόπιμη αύξηση αντοχής και ακαμψίας ενός τμήματος του κτιρίου συχνά με την τοποθέτηση ξύλου ή μεταλλικών στοιχείων και θα πρέπει να εφαρμόζονται όταν δεν είναι δυνατό να προσδιοριστεί η αιτία του προβλήματος. Η

54. "The ICOMOS International Scientific Committee on Earthen Architectural Heritage (ISCEAH): History, Aims and Objectives", Terra em Seminario 2010

δεύτερη κατηγορία επεμβάσεων στοχεύει στην αντικατάσταση του υλικού της κατασκευής με τη χρήση όμοιων υλικών και θα πρέπει να εφαρμόζεται όταν έχει αντιμετωπισθεί η αιτία του δομικού προβλήματος.⁵⁵



ICOMOS - ISCEAH

International Scientific Committee
on Earthen Architectural Heritage

International Council on
Monuments and Sites

132



εικ.131: Αφίσα από το Πρώτο Συνέδριο για τη Συντήρηση των ωμοπλίνθων που πραγματοποιήθηκε στην πόλη Yazd το 1972 **εικ.132:** Λογότυπο της Διεθνούς Επιστημονικής Επιτροπής για τη Χωμάτινη Αρχιτεκτονική Κληρονομιά **εικ.133:** Μεσαιωνικό κτίριο από rammed earth στο χωριό Ambel της βορειοανατολικής Ισπανίας, όπου ενφάνιζονται σοβαρά δομικά προβλήματα και επιχειρήθηκε η δραστηκή επέμβαση μέσω τοποθέτησης μεταλλικών ελκυστήρων για τη συγκράτηση του βόρειου τοίχου (τοίχος στα δεξιά στη φωτογραφία)

Το γεγονός ότι οι χωμάτινες κατασκευές είναι ευάλωτες στο νερό σημαίνει ότι υπάρχει μία αλληλεπίδραση μεταξύ των δομικών προβλημάτων που μπορεί να προκύψουν και των προβλημάτων που σχετίζονται με το νερό. Δηλαδή, τα προβλήματα που προκαλούνται από το νερό μπορεί να γίνουν δομικά προβλήματα (αν δεν υπάρξει κατάλληλη και έγκαιρη αντιμετώπιση), ενώ δομικά προβλήματα μπορεί να επιτρέψουν τη διείσδυση νερού στην κατασκευή προκαλώντας μεγαλύτερη καταστροφή. Επομένως και οι στρατηγικές αποκατάστασης θα πρέπει να στοχεύουν στην αντιμετώπιση και των δύο κατηγοριών προβλημάτων, εξασφαλίζοντας ταυτόχρονα ότι δεν θα

55. P.A. Jaquin, C.M. Gerrard, C.E. Augarde and J. Canivell, "Damage in Historic Rammed earth structures: A case study at Ambel, Zaragoza, Spain", Portugal 2010, σελ. 5

προκύψει μελλοντική ζημιά στην κατασκευή.⁵⁶ Αποκατάσταση σε τοίχους που έχουν καταστραφεί από νερό θα πρέπει να επιχειρείται όταν έχει εντοπιστεί και διορθωθεί η αιτία της διείδυσης. Η κύρια στρατηγική είναι η αποκατάσταση της κορυφής του τοίχου και της στέγης. Η αποκατάσταση της όψης των τοίχων του κτιρίου θα πρέπει να περιλαμβάνει το πεσμένο υλικό ή παρόμοιο ώστε να έχει τις ίδιες ιδιότητες με τον υπόλοιπο τοίχο.

Όταν οι χωμάτινες κατασκευές έχουν καταστραφεί σε τέτοιο βαθμό ώστε παρατηρηθεί απώλεια ολόκληρων τμημάτων του τοίχου ή του κτιρίου, τότε απαιτείται η εισαγωγή νέου υλικού. Υλικά που δεν είναι συμβατά με αυτά της αρχικής κατασκευής θα πρέπει να αποφεύγονται. Πολλές φορές έχουν χρησιμοποιηθεί ως υλικά αποκατάστασης χωμάτινων κατασκευών η πέτρα και το ψημένο τούβλο. Τις περισσότερες φορές αυτό είχε σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία σοβαρών δομικών προβλημάτων και μερικές φορές ακόμα και την κατάρρευση του κτιρίου. Τα άκαμπτα αυτά υλικά δεν είναι συμβατά με το χώμα και εμποδίζουν την εξάτμιση των υδρατμών προς τα έξω με αποτέλεσμα να συγκεντρώνεται υπερβολική υγρασία στο σημείο της σύνδεσης των δύο υλικών και να προκαλούνται ρωγμές. Έτσι χάνεται η συνέχεια και μειώνεται η αντοχή της κατασκευής. Το ξύλο είναι πιθανότατα το μόνο δομικό υλικό που μπορεί να θεωρηθεί συμβατό με το χώμα και πολλές φορές η χρήση του είναι απαραίτητη στις αποκαταστάσεις αυτών των κτιρίων, ειδικά σε περιπτώσεις που η κατασκευή χρειάζεται επιπλέον στήριξη. Προφανώς, ο πιο κατάλληλος τρόπος για τις αποκαταστάσεις των χωμάτινων κτιρίων είναι η χρήση του αρχικού υλικού ή χώματος ίδιας σύνθεσης με την αρχική κατασκευή.⁵⁷ Η μεγαλύτερη δυσκολία που πρέπει να αντιμετωπιστεί κατά την εισαγωγή του νέου μίγματος αργίλου είναι η συρρίκνωση. Γενικά, το νέο υλικό εισάγεται σε πλαστική κατάσταση και καθώς στεγνώνει στη θέση του η συρρίκνωσή του είναι περίπου της τάξης του 10 – 14% στις επιμήκειες διαστάσεις του. Επειτα, προστίθεται επιπλέον υλικό το οποίο επίσης με τη σειρά του θα συρρικνωθεί. Με τον τρόπο όμως αυτό το πρόβλημα δεν λύνεται ουσιαστικά αφού δεν υπάρχει δεσμός μεταξύ παλιού και νέου υλικού. Υποθέτοντας ότι η υπάρχουσα κατασκευή έχει περιεκτικότητα σε νερό μεγαλύτερη από την θεωρητικά ελάχιστη, τότε μία άλλη λύση που μπορεί να θεωρηθεί επιτυχής είναι η εξής : Φτιάχνεται μίγμα ίδιας σύνθεσης με αυτό της αρχικής κατασκευής και διαμορφώνονται από αυτό κομμάτια με τέτοιο τρόπο ώστε να μοιάζουν όσο το δυνατό περισσότερο στα κομμάτια που λείπουν από την κατασκευή. Αν το υπάρχον υλικό είναι από rammed earth ή για κάποιο λόγο ασυνήθιστα πυκνό, τότε αυτά τα κομμάτια συμπιέζονται μηχανικά. Επειτα, αφήνονται να στεγνώσουν μέχρι το σημείο που δεν θα επιδέχονται περαιτέρω συρρίκνωση και διαμορφώνονται στις άκρες ώστε να ταιριάζουν στα κενά που θα γεμίσουν. Τοποθετούνται στη θέση τους στον τοίχο, ενώ οι άκρες τους διαμορφώνονται με υγρό κονίαμα λάσπης της ίδιας σύνθεσης. Η σχετικά μικρή ποσότητα νερού του κονιάματος απορροφάται από τον αρχικό τοίχο και τα νέα τμήματά του με αποτέλεσμα παλιό και νέο υλικό να αποκτούν την ίδια περιεκτικότητα σε υγρασία. Σε αυτή την περίπτωση η μόνη συρρίκνωση που παρατηρείται είναι στους αρμούς που είχε τοποθετηθεί το κονίαμα, η οποία όμως είναι ασήμαντη.⁵⁸

Τέλος, σε περίπτωση που διαπιστωθούν ελαττώματα στις επικαλύψεις των τοίχων, όπως ρωγμές, φούσκωμα, έλλειψη συνοχής κ.α., τότε η επικάλυψη πρέπει να επισκευαστεί είτε τοπικά είτε ολόκληρη. Διαφορετικοί τύποι

56. P.A. Jaquin, C.M. Gerrard, C.E. Augarde and J. Canivell, "Damage in Historic Rammed earth structures: A case study at Ambel, Zaragoza, Spain", Portugal 2010, σελ. 9

57. Larry Keefe, "The Cob Buildings of Devon 2: Repair and Maintenance", 1993, σελ. 3

58. J. Warren, *Earthen Architecture: The conservation of brick and earth structures*, 1993, σελ. 86-88

επικαλύψεων απαιτούν και διαφορετικές τεχνικές. Γενικά, όμως, η επιφάνεια θα πρέπει να βρέχεται πριν την εφαρμογή της νέας επικάλυψης και το υλικό που θα χρησιμοποιηθεί να είναι συμβατό με τη σύνθεση του τοίχου. Οσον αφορά τις ρωγμές συρρίκνωσης, αυτές μπορούν να επισκευαστούν γεμίζοντάς τες με βρεγμένο χώμα ίδιας σύστασης με το αρχικό.⁵⁹

59. V. Maniatidis, P. Walker, *A Review of Rammed Earth Construction*, University of Bath 2003, σελ. 72



εικ.134: Αρχοντικό Qasr al-'Ishshah στο Tarim της Υεμένης, όπως είναι σήμερα αποκατεστημένο

5.3 Παραδείγματα αποκαταστάσεων

5.3.1 Qasr Al-'Ishshah, Tarim, Υεμένη

Η Wadi Hadhramaut είναι η δεύτερη μεγαλύτερη κοιλάδα της αραβικής χερσονήσου, μήκους περίπου 575km που τρέχει παράλληλα στον Ινδικό Ωκεανό, σε απόσταση περίπου 160km από την ακτή. Το τοπίο της χαρακτηρίζουν οι ύψους περίπου 300m βράχοι από ασβεστόλιθο και ψαμμίτη που αποτελούν τα τοιχώματά της, στις πλαγιές των οποίων απλώνονται κατά μήκος πόλεις κατασκευασμένες από ωμόπλινθους που δύσκολα ξεχωρίζουν από το φυσικό τοπίο, ενώ στο επίπεδο της κοιλάδας απλώνονται φοινικοδάση και καλλιεργήσιμες εκτάσεις. Αυτός ο διαχωρισμός επιτρέπει από τη μία την μέγιστη εκμετάλλευση και καλλιέργεια του γόνιμου εδάφους της κοιλάδας και ταυτόχρονα προστατεύει τις πόλεις από τις περιστασιακές πλημμύρες, ενώ μέχρι πρόσφατα χρησίμευε και για αμυντικούς λόγους. Σε αναγνώριση της μοναδικής αρχιτεκτονικής αλλά και του τοπίου της η Wadi Hadhramaut ανακηρύχτηκε μαζί με την τοιχισμένη πόλη του Shibam Μνημείο Παγκόσμιας Κληρονομιάς το 1982. Κατά μήκος της υπάρχουν τρία πολύ σημαντικά κέντρα, οι πόλεις Seyoun, Shibam και Tarim.

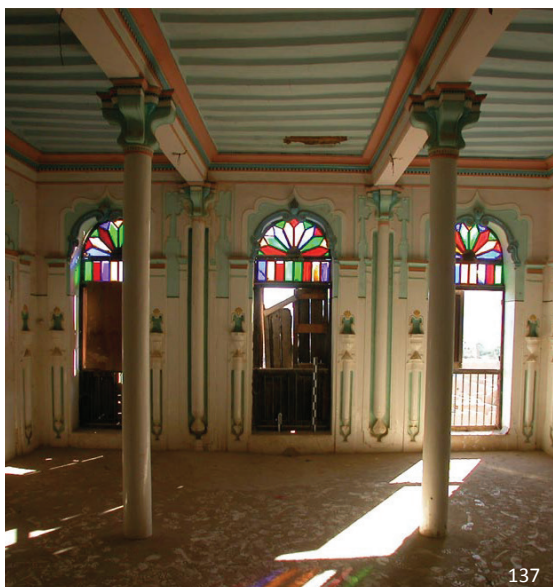
Κατά τη διάρκεια του τέλους του 19ου και αρχές 20ου αιώνα, εμπορικές οικογένειες καταγόμενες από την κοιλάδα Hadhramaut της Υεμένης πλούτισαν από το εμπόριο στον Ινδικό Ωκεανό και τις επενδύσεις τους στο εξωτερικό. Τα παλάτια και τα δημόσια κτίρια που έκτισαν οι εύπορες αυτές οικογένειες στην περιοχή, ήταν κατασκευασμένα και διακοσμημένα με αρχιτεκτονικά στυλ που συνάντησαν αυτοί στα ταξίδια τους στη Βρετανική Ινδία και Νοτιοανατολική Ασία. Με αυτό τον τρόπο, ξένα στυλ και διακοσμητικά στοιχεία ενσωματώθηκαν στις τοπικές ευέλικτες τεχνικές κατασκευής δίνοντας στην Υεμενική αρχιτεκτονική μια ιδιαίτερη υβριδική φυσιογνωμία.



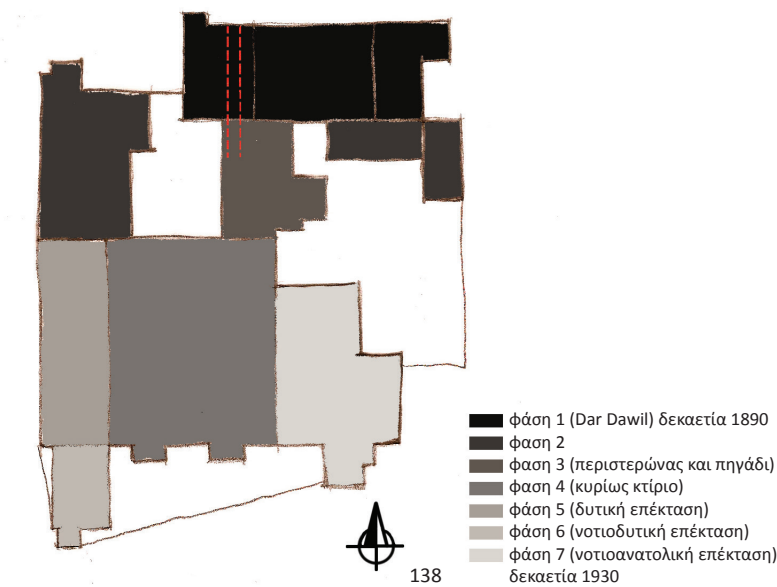
εικ.135: Θέση της πόλης Tarim στο χάρτη εικ.136: Νότια όψη του αρχοντικού Qasr al-'Ishshah πριν την αποκατάστασή του (2003)

Η πόλη Tarim αποτελεί το πνευματικό κέντρο της κοιλάδας και χαρακτηρίζεται από τα εκλεκτικιστικά χωμάτινα παλάτια της, περίπου 30 στο σύνολο κατασκευασμένα μεταξύ 1870 και 1930 από επιφανείς οικογένειες. Μια από τις πιο σημαντικές οικογένειες εμπόρων της πόλης Tarim ήταν η οικογένεια al-Kaf. Το συγκρότημα κατοικιών του 'Umar bin Shaikh al-Kaf, το Qasr al-'Ishshah χτίστηκε με την περιουσία που απέκτησε από το εμπόριο στη Νότια Ασία και την πολύ επιτυχημένη ξενοδοχειακή επένδυση της οικογένειας στη Σιγκαπούρη. Πρόκειται για ένα συγκρότημα αρκετών κτιρίων κατασκευασμένων διαδοχικά σε μια περίοδο διάρκειας 40 χρόνων περίπου. Το όνομά του προέρχεται από αραβική ρίζα που σημαίνει ριζώνω, εγκαθίσταμαι, φωλιάζω. Αυτό αναφερόταν στην αρχική κατοικία που ήταν «σαν μια φωλιά πουλιού» μέσα στο φοινικόδασος, σύμφωνα με τα λεγόμενα ντόπιων και μελών της οικογένειας. Το παλαιότερο από τα κτίσματα με την ονομασία Dar Dawil, κατασκευάστηκε κατά τη δεκαετία του 1890. Τελικά ο 'Umar bin Shaikh παντρεύτηκε τέσσερις γυναίκες και καθώς μεγάλωνε η οικογένεια, έτσι αναπτυσσόταν και το συγκρότημα κατοικιών, φθάνοντας στην τελική του μορφή να έχει πάνω από τριακόσια δωμάτια.

Από το 1970 έως το 1991, το παλάτι Ishshah περιήλθε στην κυβέρνηση, όπως και τα περισσότερα από τα κτίρια της πόλης κατά την εικοσαετία διακυβέρνησης του μαρξιστικού καθεστώτος της Νότιας Υεμένης, και χωρίστηκε σε κατοικίες πολλών οικογενειών. Αργότερα επέστρεψε πάλι στην οικογένεια al-Kaf, σε απογόνους του Shaikh al-Kaf, σε άσχημη κατάσταση, καθώς στη διάρκεια αυτής της περιόδου δεν πραγματοποιούνταν η απαραίτητη συντήρηση του συγκροτήματος. Το 1997, η Historical Society for Preservation of Tarim ενοίκιασε το μισό από το



εικ.137: Εσωτερικό δωματίου με διακοσμητικά malas



εικ.138: Σκίτσο κάτοψης συγκροτήματος Qasr al-'Ishshah (με κόκκινη εστιασμένη γραμμή σημειώνεται η θέση της ράμπας για την καμήλα και περνούσε πάνω από την ισόγεια κουζίνα του Dar Dawil για την άντληση νερού από το πηγάδι)

συγκρότημα με σκοπό να το παρουσιάσει στο κοινό ως κατοικία-μουσείο, μοναδικό στο είδος του στην κοιλάδα. Η διακόσμηση των όψεων του Qasr al-'Ishshah έχει τις ρίζες της στην μογγολική βασιλική αρχιτεκτονική και στις αποικιακές φόρμες της Εγγύς Ανατολής, της Νότιας και Νοτιανατολικής Ασίας.

Εσωτερικά, το συγκρότημα παρουσιάζει ορισμένα από τα πιο αξιόλογα δείγματα διακόσμησης με ένα είδος γυαλισμένου ασβεστοκονιάματος, σε όλη την περιοχή, γνωστά ως *malas*⁶⁰. Οι εσωτερικές διακοσμήσεις διαφέρουν από δωμάτιο σε δωμάτιο, περιλαμβάνοντας στοιχεία Art Nouveau, Rococo, νεοκλασικιστικά και συνδυασμό των τριών.

Το 2000 άρχισε μια μελέτη υποστηριζόμενη από το Samuel H.Kress Foundation of New York City με επικεφαλής τις Pamela Jerome και Dr. Selma Al-Radi, για την αναγνώριση της σημασίας, της υφιστάμενης κατάστασης, την αποσαφήνιση των καθεστώτων ιδιοκτησίας και την ιεράρχηση των αναγκών επισκευών των σημαντικών αρχοντικών κτιρίων της πόλης. Μέσα από την μελέτη αυτή, προτάθηκε η έναρξη ενός εκπαιδευτικού προγράμματος τεκμηρίωσης για το σύνολο των πλινθόκτιστων παλατιών της πόλης του Tarim, με τίτλο Tarimi Mansions Preservation Project (TMPP), που είχε ως μακροπρόθεσμο στόχο την καταγραφή και αποτύπωση αυτών, με την ελπίδα της μελλοντικής αποκατάστασής τους και επανάχρησής τους. Στα πλαίσια του project προτάθηκε με επιτυχία η συμπερίληψη αυτών των κτιρίων στη λίστα των 100 παγκόσμιων μνημείων που διατρέχουν το μεγαλύτερο κίνδυνο (World Monuments Fund's 100 Most Endangered Sites ή WMF Watch List) για δύο συνεχόμενα έτη (2000-01 και 2002-03). Επιπλέον, ξεκίνησε ένα πιλοτικό πρόγραμμα αποκατάστασης για δύο από αυτά, ένα εκ των οποίων



εικ.139: Δυτική όψη που κατέρρευσε το 2000



εικ.140: Κατάρρευση πατωμάτων και στέγης στο εσωτερικό της κουζίνας της βορειοανατολικής πτέρυγας

60. Πρόκειται για μια τεχνική τελικής επίστρωσης που αποτελείται από νερό και ασβεστοπολτό, κρεμιέται για να στραγγίξει κι έπειτα εφαρμόζεται με προσοχή και σε πολλές στρώσεις πάνω στην υγρή στρώση ασβεστοκονιάματος που έχει περαστεί προηγουμένως στην επιφάνεια του τοίχου. Στη συνέχεια εφαρμόζεται σαπούνη με νερό και γυαλίζεται με πέτρες για να καλυφθούν οι ρωγμές. Μερικές φορές η επιφάνεια χαράσσεται σε ένα κάρναβο και δημιουργούνται αρμοί που μιμούνται πλακάκια και διακοσμείται με διάφορους τρόπους.

ήταν και το Qasr al-'Ishshah. Στο έργο αυτό συνεισέφεραν επαγγελματίες αρχιτέκτονες, φοιτητές προγραμμάτων αρχιτεκτονικών αποκαταστάσεων από το πανεπιστήμιο Columbia, προσωπικό του Μουσείου του Hadhramaut και του General Organization of Antiquities and Monuments της Υεμένης, καθώς και φοιτητές αρχιτεκτονικής από το πανεπιστήμιο Mukalla της Υεμένης. Εγινε πλήρης αποτύπωση του συγκροτήματος καθώς και λήψη ορισμένων δειγμάτων από την πλινθοδομή και το ασβεστοκονίαμα για μελέτη και ανάλυση στην Αμερική.

Στο μεταξύ, το κτίριο αντιμετώπιζε σημαντικά δομικά προβλήματα που χρειάζονταν άμεση επέμβαση. Το 2000 κατέρρευσε ένα μεγάλο μέρος του κεντρικού τμήματος της δυτικής όψης του συγκροτήματος. Με την κατάρρευση των φερόντων τοίχων της όψης, παρασύρθηκε μεγάλο τμήμα των εσωτερικών δωματίων αυτής της πλευράς του κτιρίου κι επιπλέον προκλήθηκαν εκτεταμένες δομικές ρωγμές και καταστροφές διακοσμητικών επιφανειών σε δωμάτια που γειτνιάζαν με την συγκεκριμένη όψη, λόγω μετακίνησης του κτιρίου. Το 2001, κατέρρευσαν η στέγη και τα πατώματα της βορειοδυτικής πτέρυγας της κουζίνας, ενώ παλαιότερα είχαν καταρρεύσει και τμήματα της ανατολικής και δυτικής πτέρυγας του Dar Dawil. Στο ισόγειο αυτού του παλαιότερου κτίσματος τους συγκροτήματος, υπήρχε μια κουζίνα πάνω από την οποία περνούσε μια ράμπα που επέτρεπε σε μια καμήλα να αντλήσει νερό από το πηγάδι που βρισκόταν στο κέντρο του συγκροτήματος μαζί με τον περιστερεώνα. Αυτή είχε εν μέρει καταστραφεί και τμήμα του φέροντος τοίχου που την στήριζε παρουσίαζε μεγάλη υποχώρηση και απόκλιση από την κατακόρυφο. Εκτός από τις καταρρεύσεις τμημάτων, σοβαρές ζημιές παρουσίαζε και η πλειοψηφία των επιφανειών όλου του συγκροτήματος. Το ασβεστοκονίαμα που χρησιμοποιείται ως τελική επιφάνεια της τοιχοποιίας, λειτουργεί όχι μόνο ως διακοσμητικό στοιχείο αλλά και ως μια εξωτερική προστατευτική στρώση που εκτίθεται στις καιρικές συνθήκες προκειμένου να προστατεύσει τον υποκείμενο φέροντα πλινθόκτιστο τοίχο και γι' αυτό χρειάζεται περιοδική ανανέωση. Καθώς λοιπόν, η συντήρηση του



141



142

εικ.141: απόκόλληση τοίχους στήριξης της ράμπας για την καμήλα **εικ.142:** έντονη ριγμάτωση λόγω μετακίνησης του κτιρίου από την κατάρρευση της όψης

εξωτερικού προστατευτικού επιχρίσματος είχε παραμεληθεί για δεκαετίες, ξεκινώντας από την περίοδο της απαλλοτρίωσης του συγκροτήματος από το μαρξιστικό καθεστώς, η φέρουσα πλινθοδομή ήταν πλέον εκτεθειμένη στον καιρό προκαλώντας σοβαρή φθορά και κίνδυνο αστοχίας του υλικού.

Το 2003 ξεκίνησε η αποκατάσταση του τμήματος της δυτικής όψης που είχε καταρρεύσει, μέσω του προγράμματος Tarimi Mansions Preservation Project που ήταν και η πιο επείγουσα επέμβαση και ολοκληρώθηκε τον Ιανουάριο του 2004. Συμπληρώθηκαν τμήματα τοίχων που είχαν παρασυρθεί από την κατάρρευση της όψης και επισκευάστηκαν οροφές και πατώματα που είχαν καταστραφεί. Ακόμη, επιχρίστηκε με ασβεστοκονίαμα το δώμα του κυρίως κτιρίου και στο τέλος του 2003 αφαιρέθηκε το συγκρότημα από τη λίστα των Παγκόσμιων 100 Μνημείων σε μεγαλύτερο κίνδυνο και απονεμήθηκε στο μέχρι τότε έργο αποκατάστασης Βραβείο Εξαιρετικού Επιτεύγματος (Certificate of Exceptional Achievement). Την περίοδο 2004-2005 με χρηματοδότηση του μη κυβερνητικού οργανισμού Social Fund for Development (SFD) της Υεμένης και ειδικής επιχορήγησης για Διατήρηση της Πολιτιστικής Κληρονομιάς από τον Πρέσβη των ΗΠΑ στην Υεμένη, πραγματοποιήθηκε η κατασκευή του τμήματος της βορειοδυτικής πτέρυγας της κουζίνας, όπου είχαν καταρρεύσει τρεις όροφοι, και ξανακτίστηκαν το βορειοανατολικό και βορειοδυτικό τμήμα του Dar Dawil, καθώς επίσης ξανακατασκευάστηκαν η ράμπα για την καμήλα και ο φέρων τοίχος στήριξής της που παρουσίαζε πρόβλημα υποχώρησης.

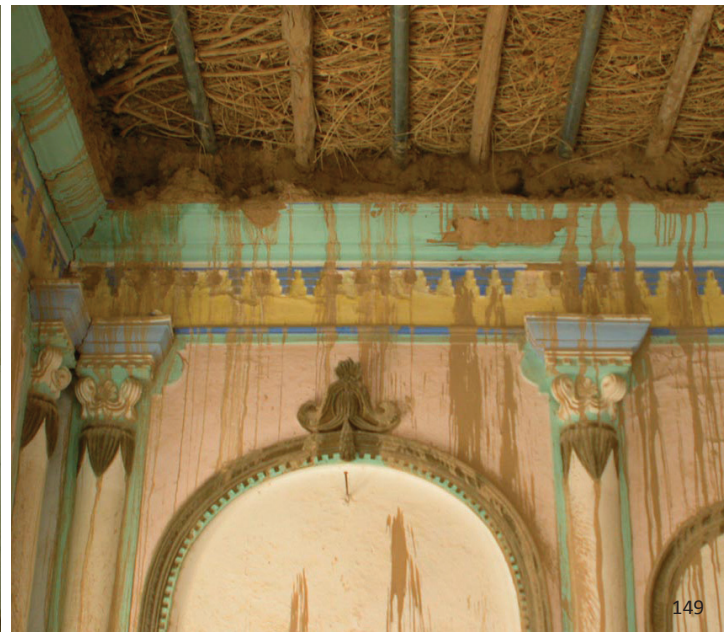
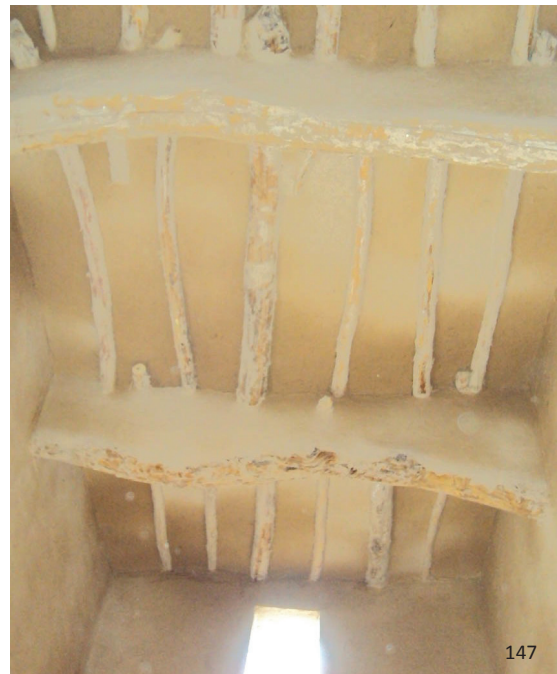


εικ.143: Βόρεια όψη (στο κέντρο φαίνεται η ράμπα για την καμήλα που περνά πάνω από την ισόγεια κουζίνα του Dar Dawil και τμήμα της έχει καταρρεύσει)

Όλες οι εργασίες αποκατάστασης ακολούθησαν την παραδοσιακή τεχνική και βασίστηκαν στην εμπειρία των μαστόρων της περιοχής για την επιλογή των κατάλληλων υλικών και της σύνθεσης του μίγματος. Βασική αρχή της αποκατάστασης αποτέλεσε ο αποκλεισμός σε κάθε περίπτωση της χρήσης τσιμέντου, ενός μη συμβατού με την άργιλο υλικού, γεγονός που επαληθεύθηκε αργότερα όταν από αμέλεια επίβλεψης προστέθηκε τσιμέντο στα θεμέλια της βόρειας πλευράς της νοτιοανατολικής επέκτασης. Παρότι η αστοχία δεν εμφανίστηκε αμέσως, ύστερα από διάστημα 2-3 χρόνων εμφανίστηκαν άλατα στην τοιχοποιία και χρειάστηκε να ξαναχτισθούν τα θεμέλια από την αρχή και επιπλέον για εξασφάλιση της σταθερότητας του κτιρίου πληρώθηκε η μικρή στοά που βρισκόταν στο ισόγειο πάνω από τα συγκεκριμένο τμήμα θεμελίων. Η κατασκευή των κτιρίων από ωμόπλινθους στην Υεμένη γίνεται παραδοσιακά μόνο κατά τη διάρκεια του χειμώνα, καθώς τα καλοκαίρια είναι πολύ ζεστά, με αποτέλεσμα να προκαλούνται εκτεταμένες ριγματώσεις και συρρίκνωση του υλικού, καθώς επίσης δεν χτίζεται και πάνω από ένας όροφος το χρόνο για να υπάρχει χρόνος το υλικό να στεγνώσει καλά και να κάτσει προτού προστεθεί από πάνω του επιπλέον φορτίο. Κατά τη διάρκεια μιας αποκατάστασης όμως, η επισκευή τμήματος μιας τοιχοποιίας γίνεται σε μια δόση κι έτσι το νέο υλικό αφού στεγνώσει συρρικνώνεται και υποχωρεί ανομοιόμορφα, προκαλώντας αστοχία. Αυτό συνέβη αρχικά και στη συγκεκριμένη αποκατάσταση, καθιστώντας αναγκαία την επανάληψη του κτισίματος της κατασκευής στα συγκεκριμένα σημεία, αυτή τη φορά



εικ.144: Εργασίες αποκατάστασης των εξωτερικών επιφανειών των τοίχων εικ.145: Κατασκευή δώματος από μίγμα πηλού και άχυρου (Dar Dawil)



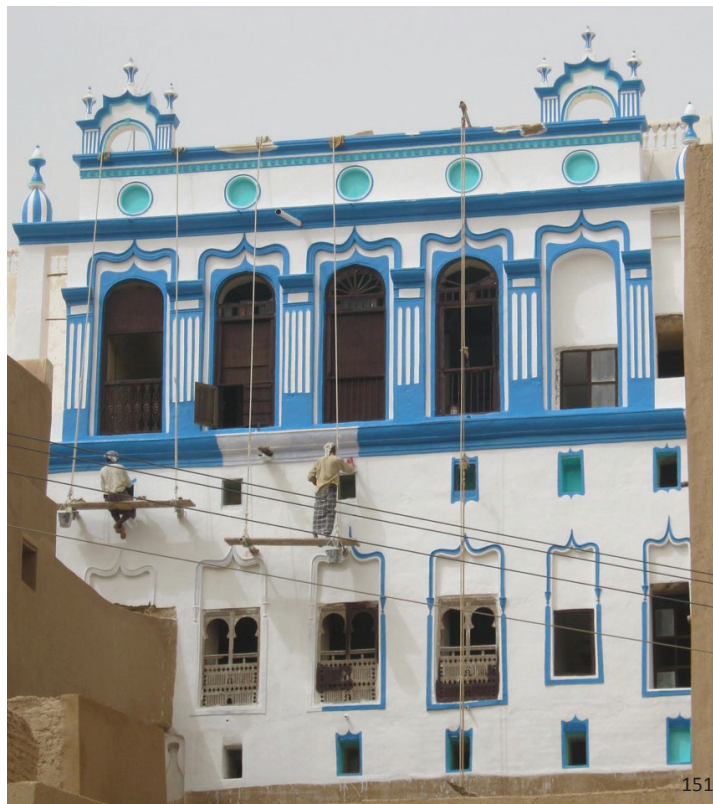
εικ.146: Αποκατάσταση τμήματος του στηθαίου με την προσθήκη νέου υλικού και δημιουργία συρραφής μεταξύ νέου και παλιού υλικού **εικ.147:** Αποκατεστημένη οροφή στο Dar Dawil **εικ.148:** Συμπλήρωση τμήματος τοίχου που είχε καταρρεύσει **εικ.149:** Αποκατάσταση οροφής μπάνιου στο κυρίως κτίριο με την προσθήκη και σωλήνων αντί για ξύλινα δοκάρια λόγω οικονομίας

δημιουργώντας συρραφές του νέου με το παλιό υλικό με τη χρήση ξύλινων κομματιών. Γενικά, έγινε προσπάθεια τα νέα υλικά που τοποθετούνταν στην κατασκευή να είναι αντίστοιχα των κατεστραμμένων που αντικαθιστούσαν κάθε φορά. Σε ορισμένες περιπτώσεις όμως, όπου αυτό δεν επηρέαζε το τελικό αποτέλεσμα και για λόγους οικονομίας, χρησιμοποιήθηκαν άλλου είδους υλικά, όπως για παράδειγμα στο μπάνιο του πρώτου ορόφου της νοτιοανατολικής επέκτασης, όπου είχε καταρρεύσει τμήμα από το περίτεχνα διακοσμημένο ταβάνι και η αντικατάσταση των ξύλινων δοκαριών που είχαν καταστραφεί, έγινε εν μέρει με την τοποθέτηση γαλβανισμένων σωλήνων, αντί για ξύλο που ήταν πιο ακριβό, πράγμα που δεν επηρέασε καθόλου την τελική εμφάνιση του ταβανιού, αφού στη συνέχεια επιχρίστηκαν όπως ήταν και στην αρχική τους μορφή.

Το Tarim εκλέχθηκε ως Παγκόσμια Πολιτιστική Πρωτεύουσα για το 2010, γεγονός που εξασφάλισε τα χρήματα για την ολοκλήρωση της αποκατάστασης του al-'Ishshah το 2011 αλλά και αρκετών άλλων αξιόλογων αρχοντικών κτιρίων της πόλης.⁶¹



150



151

εικ.150: Εμφάνιση συρρίκνωσης και υποχώρισης στο νέο υλικό που προστέθηκε το λάδι πάνω από την τελική στρώση του ασβεστοκονιάματος **εικ.151:** Διακόσμηση εξωτερικής επιφάνειας τοίχων με μοτιές με βάση

61. Συζήτηση με Pamela Jerome

5.3.2 Κτίριο «Εν Ελλάδι», Χάρμαινα, Αμφισσα

Στο βορειοδυτικό τμήμα της πόλης της Αμφισσας βρίσκεται η συνοικία Χάρμαινα, στην οποία ήταν συγκεντρωμένα εργαστήρια που ασχολούνταν με την κατεργασία δέρματος, τα ταμπάκια. Στον οικισμό αυτό τα κτίρια είναι μικρής κλίμακας, συνήθως διώροφα, ενώ σαράντα περίπου από αυτά είναι δομημένα από ωμόπλινθους.⁶²

Από το 1989 σαράντα δύο κτίρια της Χάρμαινας (παλιά βυρσοδεψεία - ταμπάκια) έχουν χαρακτηριστεί διατηρητέα. Από αυτά, τέσσερα ανήκουν στο δήμο της Αμφισσας (σήμερα δήμος Δελφών) ενώ τα υπόλοιπα ανήκουν σε ιδιώτες και κυρίως σε παλιούς βυρσοδέψες. Το 1995 ξεκίνησε μια πρώτη προσπάθεια καταγραφής του οικισμού με τη βοήθεια του ΤΕΕ και του ΕΜΠ και ολοκληρώθηκε το 2002. Τότε πραγματοποιήθηκε συστηματική καταγραφή του οικισμού, τυπολογική και μορφολογική ανάλυση του δομικού συστήματος, προσδιορισμός της παθολογίας του και αποτύπωση κάποιων χαρακτηριστικών κτιρίων. Την περίοδο 2004 – 2007, αφού ολοκληρώθηκαν οι μελέτες, ο Δήμος της Αμφισσας προχώρησε στην υλοποίηση έργου ανάπλασης της συνοικίας της Χάρμαινας με τίτλο «Γενικός Σχεδιασμός Ελεύθερων Χώρων και Πιλοτική Εφαρμογή Επανάχρησης Τεσσάρων Κτιρίων Ιδιοκτησίας Δήμου Αμφισσας».⁶³



εικ.152: Δρόμος από τον οικισμό της Χάρμαινας **εικ.153:** Χαρακτηριστικό δείγμα κατοικίας που κατασκευάστηκε όταν ο οικισμός άρχισε να επεκτείνεται λόγω της μετατροπής των ήδη υπαρχόντων κτιρίων που συνδύαζαν κατοικία με εργαστήριο, σε αποκλειστικά χώρο εργαστηρίου **εικ.154:** Το ίδιο κτίριο μετά την αποκατάσταση. Σήμερα λειτουργεί ως χώρος παρουσίασης τυπικής παραδοσιακής κατοικίας της περιοχής

62. Τσεκούρα Παναγιώτα, «Μελέτη ολοκλήρωσης ανάπλασης των ελεύθερων χώρων του ιστορικού κέντρου της Χάρμαινας» (<http://www.harmaina.gr/index.php/2011-04-03-19-04-55>)

63. <http://www.harmaina.gr/index.php/2011-03-28-18-20-24>

Παράλληλα, την περίοδο αυτή, υλοποιήθηκαν με ιδιωτική πρωτοβουλία τέσσερις ακόμα αποκαταστάσεις ιδιόκτητων κτιρίων (παλιά ταμπάκικα). Ενα από αυτά, κτίριο ηλικίας πάνω από 300 χρόνων, είναι ιδιοκτησίας της αρχιτέκτονος μηχανικού Τσεκούρα Παναγιώτας, η οποία για λόγους αναβίωσης του οικισμού το αγόρασε και το αποκατέστησε. Στο κτίριο αυτό, με το όνομα «Εν Ελλάδι», χρησιμοποιήθηκαν όλα τα συμπεράσματα σε επίπεδο έρευνας και γνώσης από την αποκατάσταση των προηγούμενων κτιρίων. Για την αποκατάστασή του, επαναχρησιμοποιήθηκαν τα υλικά τις υπάρχουσας κατασκευής (χωρίς ανακύκλωση), όπως λίθοι, ωμόπλινθοι και κεραμίδια. Για την προστασία της ωμόπλινθου χρησιμοποιήθηκε ως εξωτερική επικάλυψη ειδικό διάφανο υλικό, άχρωμο, ματ υφής που επιτρέπει τη διαπνοή και απομακρύνει το νερό. Για την ενίσχυση του δομικού συστήματος κατασκευάστηκαν ξυλοδεσιές και ξύλινος αυτοφερόμενος εσωτερικός σκελετός ο οποίος φέρει το πάτωμα και τη στέγη και συνδέεται με τις τοιχοποιίες. Στο εσωτερικό του κτιρίου υπήρχε πηγάδι, καθώς από όλα τα κτίρια του οικισμού περνούσε το νερό, το οποίο έχει διατηρηθεί προσαρμοσμένο στη νέα χρήση (λειτουργεί ως σιντριβάνι σκεπαστό με θόλο). Επιπλέον, διατηρήθηκε και το σπηλαίομα, κατασκευή με χειροποίητα τούβλα, όπου φρόντιζαν το δέρμα να παραμένει υγρό για να μπορούν να το δουλέψουν. Σήμερα, το «Εν Ελλάδι» λειτουργεί ως τεχνχώρος, εκθετήριο δέρματος και παραδοσιακό καφενείο.⁶⁴



εικ.155: Το κτίριο “Εν Ελλάδι” πριν την αποκατάσταση **εικ.156:** Το ίδιο κτίριο μετά την αποκατάστασή του

64. Τσεκούρα Παναγιώτα, «Μελέτη ολοκλήρωσης ανάπλασης των ελεύθερων χώρων του ιστορικού κέντρου της Χάρμαινας» (<http://www.harmaina.gr/index.php/2011-04-03-19-04-55>)



εικ.157: House in Flims, κατοικία από rammed earth, Ελβετία, 2011, Lehm Ton Erde **εικ.158:** Vineyard Residence, κατοικία από rammed earth, Αυστραλία, John Wardle Architects

6. ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

6.1 Σχολείο στο Rudrapur, Bangladesh, 2005, Anna Heringer, Eike Roswag

Στο χωριό Rudrapur του βορειοδυτικού Bangladesh κατασκευάστηκε στα τέλη του 2005, μέσα σε διάστημα τεσσάρων μηνών, ένα διώροφο σχολικό κτίριο με τη συμμετοχή εθελοντών από την Αυστρία και τη Γερμανία, σε συνεργασία με τεχνίτες, κτίστες, δασκάλους, γονείς και μαθητές της περιοχής. Ο σκοπός του έργου ήταν να καλυφθεί η ανάγκη του σχολικού κτιρίου αξιοποιώντας υλικά και ανθρώπινο δυναμικό της περιοχής. Χρησιμοποιήθηκαν ως βασικά υλικά το χώμα και το μπαμπού καθώς αποτελούν τα παραδοσιακά υλικά κατασκευής των κτιρίων της περιοχής και παρουσιάζουν πλεονεκτήματα από οικονομική και οικολογική άποψη.



εικ.159: Οψη σχολείου στο Rudrapur του Μπαγκλαντές

Στον πάνω όροφο του κτιρίου, υπάρχουν δύο αίθουσες πολλαπλών χρήσεων με τη δυνατότητα χωρισμού της μεγαλύτερης από αυτές για τη δημιουργία τριών διαφορετικών χώρων. Στο ισόγειο, υπάρχουν τρεις πιο εσωστρεφείς αίθουσες, η καθεμία από τις οποίες επικοινωνεί μέσα από τρύπες στην επιφάνεια του τοίχου με τις εντοιχισμένες κοιλότητες- σπηλιές, που αποτελούν πρωτότυπους χώρους για δραστηριότητες που απαιτούν συγκέντρωση, όπως η μελέτη, είτε για παιχνίδι και χαλάρωση. Η πιο σημαντική τεχνική βελτίωση στην παραδοσιακή τεχνική κατασκευής της περιοχής που εφαρμόστηκε στο συγκεκριμένο κτίριο, ήταν η τοποθέτηση θεμελίων από ψημένα τούβλα που στη συνέχεια επιχρίστηκαν, πράγμα που πρόσφερε στην κατασκευή μια καλά στεγανοποιημένη θεμελίωση για τον κίνδυνο από το νερό της βροχής και μια συμπαγή βάση που δεν κινδυνεύει από ποντίκια τα οποία φωλιάζουν σε τυχόν κοιλότητες στη μάζα του τοίχου.

Ο κάτω όροφος είναι κατασκευασμένος με τη χρήση τοπικής κατασκευαστικής τεχνικής με νωπό πηλό, που



160



161



162

εικ.160: Αποψη του σχολείου, όπου φαίνεται η ισόγεια κατασκευή από χώμα και η κατασκευή του ορόφου από μπαμπού **εικ.161:** Εφαρμογή της τεχνικής “Wellerbau” **εικ.162:** Ανάμιξη μίγματος πηλού με τη βοήθεια ζώων κατά τη διάρκεια κατασκευής του σχολείου

είναι γενικά γνωστή ως “Wellerbau” (παρόμοια με την τεχνική του cob), στην οποία χρησιμοποιούν μίγμα αργίλου με υψηλή περιεκτικότητα σε άχυρο και ρύζι, για ενίσχυση της συνεκτικότητας. Το μίγμα διαμορφώνεται σε μπάλες, στρώνεται στον τοίχο και συμπιέζεται με τα πόδια ή με έμβολα σε επίπεδα ύψους περίπου 60cm. Μετά από δυο περίπου ημέρες, αφού έχει στεγνώσει μερικώς, με τη χρήση ενός κοφτερού φτυαριού κόβεται στα άκρα λειαίνοντας τις επιφάνειες του τοίχου, αφήνοντας εμφανή στην τελική επιφάνεια τα στελέχη άχυρου που περιείχονταν στη μάζα του τοίχου. Επειτα από μια δεύτερη περίοδο στεγνώματος, προστίθεται σε ύψος η επόμενη στρώση. Οι αρχιτέκτονες αποφάσισαν να αφήσουν ανεπίχριστη την εξωτερική επιφάνεια του τοίχου, ενώ εσωτερικά οι τοίχοι επιχρίστηκαν με πηλοκονίαμα και στη συνέχεια ασβεστώθηκαν. Το πάτωμα του πρώτου ορόφου αποτελείται από πυκνά στρωμένα μπαμπού πάνω στα οποία έχει μπει στρώση από μίγμα χώματος και άχυρου.



εικ.163: Εσωτερικό ορόφου του σχολείου **εικ.164:** Κοιλότητες στο πάχος του χωμάτινου τοίχου του ισόγειου που χρησιμοποιούνται για παιχνίδι, χαλάρωση και μελέτη

Η όψη του πάνω ορόφου αποτελείται από διαδοχικά περιμετρικά δίφυλλα παράθυρα με ξύλινη κάσα και γέμισμα από τμήματα μπαμπού. Αυτά επιτρέπουν τη ρύθμιση και μεγιστοποίηση του φυσικού φωτός που εισέρχεται στο χώρο, καθώς το χωριό έχει περιορισμένη πρόσβαση στο ηλεκτρικό ρεύμα, και τη μεγιστοποίηση της κυκλοφορίας του αέρα με παράλληλο σκιασμό της αίθουσας, πράγμα απαραίτητο τους ιδιαίτερα ζεστούς μήνες στο Μπαγκλαντές.

Η στέγη είναι μια πλαισιωτή κατασκευή από μπαμπού που στηρίζεται στα προεξέχοντα δοκάρια του πατώματος του πρώτου ορόφου. Οι δοκοί της αποτελούνται από τέσσερις στρώσεις μπαμπού δεμένα μεταξύ τους το ένα πάνω στο άλλο και πάνω από τα οποία στρώνονται φύλλα κυματοειδούς γαλβανισμένου σιδήρου.

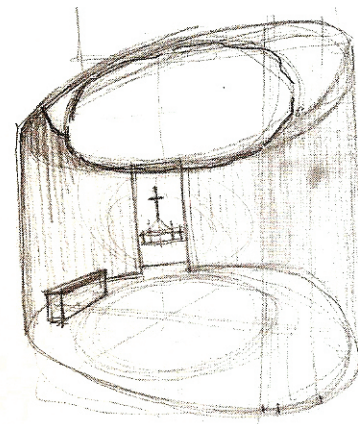
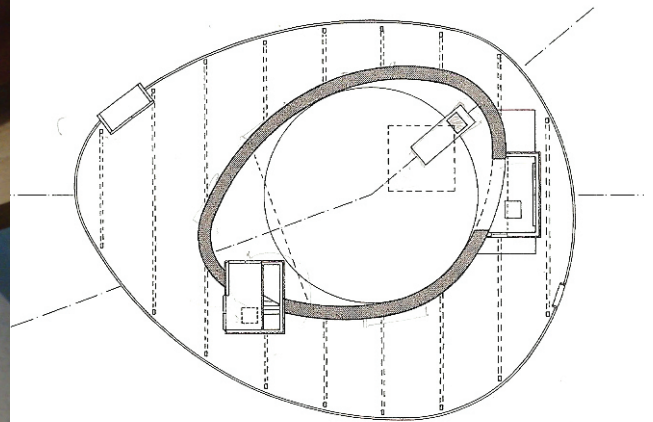
Η πραγματοποίηση της κατασκευής αποτέλεσε συνδυασμό των παραδοσιακών τεχνικών κατασκευής με δυτική τεχνογνωσία, η οποία μεταφέρθηκε στους κτίστες της περιοχής και την χρησιμοποίησαν στη συνέχεια στην κατασκευή των κατοικιών τους. Μέσα από την κατασκευή αυτή αναδείχθηκαν οι δυνατότητες του μπαμπού στην κατασκευή, το οποίο αποτελεί ιδανική λύση για την περιοχή με την ικανότητά του να παραλαμβάνει τις καμπτικές φορτίσεις και να αντιστέκεται στον αέρα και το σεισμό.⁶⁵

65. Gernot Minke, *Building with earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*, Βερολίνο 2009, σελ. 180-181 και “*Hand-made school, Rudrapur Bangladesh*” (www.akdn.org/architecture/pdf/3392_Ban.pdf) και www.archdaily.com/51664/handmade-school-anna-heringer-eike-roschwag/



6.2 Το Παρεκκλήσι της Συμφιλίωσης, Βερολίνο, 2000, Martin Rauch

Το Παρεκκλήσι της Συμφιλίωσης βρίσκεται σήμερα στο σημείο όπου βρισκόταν παλαιότερα η Νεογοθτική Εκκλησία της Συμφιλίωσης του 1894, στη Bernauer Strasse στο Βερολίνο. Όταν το Βερολίνο χωρίστηκε σε δύο ζώνες κατοχής το 1945, η ενορία διαιρέθηκε – η εκκλησία βρισκόταν στο Σοβιετικό τμήμα ενώ οι περισσότεροι κάτοικοι της κοινότητας ζούσαν στο γειτονικό Γαλλικό τμήμα κι έπειτα όταν χτίστηκε το τείχος του Βερολίνου το 1961, πέρασε ακριβώς μπροστά από την εκκλησία. Συνεπώς, η εκκλησία δεν ήταν πια προσβάσιμη και το 1985 κατεδαφίστηκε. Το τείχος του Βερολίνου έπεσε λιγότερο από πέντε χρόνια μετά και η ενορία αποφάσισε να χτίσει ένα παρεκκλήσι στα θεμέλια της παλιάς εκκλησίας.



εικ.165 (αριστερά): Το Παρεκκλήσι της Συμφιλίωσης εικ.166: Εσωτερικός χώρος από το Παρεκκλήσι της Συμφιλίωσης με τοίχους και την Αγία Τράπεζα διαμορφωμένους από rammed earth εικ.167: Σκίτσα κάτοψης και προοπτικό της εκκλησίας



εικ.168: Πλατφόρμα από μπετόν για έδραση του κτιρίου **εικ.169:** Καμπύλος ξυλότυπος για rammed earth **εικ.170:** Συμπίεση του χώματος με ηλεκτρικό έμβολο **εικ.171:** Αεροφωτογραφία κατά τη διάρκεια κατασκευής του τοίχου από rammed earth

Επιλέχτηκε το σχέδιο των Γερμανών αρχιτεκτόνων Rudolf Reitermann και Peter Sassenroth που αποτελούνται από δύο ομόκεντρες οβάλ χαράξεις με μη παράλληλους άξονες. Αρχικά κατασκευάστηκαν τα θεμέλια και μια πλατφόρμα έδρασης του κτιρίου από μπετόν. Το εξωτερικό κέλυφος διαμορφώθηκε από ξύλινες περσίδες και ακολουθεί την ευθυγράμμιση της πρώην Εκκλησίας της Συμφιλίωσης και το εσωτερικό κέλυφος από μίγμα αργίλου είναι ευθυγραμμισμένο στον άξονα Ανατολής-Δύσης και κατασκευάστηκε υπό τη διεύθυνση του Αυστριακού Martin Rauch. Για το εσωτερικό κέλυφος ύψους 7,2m και πάχους 60cm, χρησιμοποιήθηκε η τεχνική του rammed earth, όπου νωπός άργιλος χύθηκε μέσα σε ένα ξυλότυπο– σε πυκνά στρώματα 30cm τα οποία συμπιέστηκαν σε 8cm περίπου. Μέσα στο μίγμα αργίλου περιέχονται μεγάλα κομμάτια από σπασμένα τούβλα από την προϋπάρχουσα εκκλησία, καθώς επίσης και χαλίκια, τα οποία μαζί αποτελούν το 55% της συνολικής μάζας του υλικού, ενώ η περιεκτικότητα σε άργιλο είναι μόνο 4%. Αυτό το χονδρόκοκκο μίγμα με πολύ μικρή περιεκτικότητα σε υγρασία (8,1%), μειώνει τη συρρίκνωση του υλικού σε μόλις 0,15%. Η συνεχώς διαφορετική ακτίνα της καμπύλης του οβάλ τοίχου έκανε απαραίτητη τη χρήση ενός ειδικού πολύπλοκου ξυλότυπου που διαμορφωνόταν επιτόπου με τη χρήση κάθετων δοκαριών, τα οποία τοποθετούνταν σε μικρές μεταξύ τους αποστάσεις ακολουθώντας την σχεδιασμένη καμπύλη κι έπειτα επάνω τους τοποθετούνταν το πέτωμα από ξύλινες τάβλες πολύ λεπτής διατομής.⁶⁶



172



173

εικ.172,173: Κατασκευή τοίχου από rammed earth

66. Gernot Minke, *Building with earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*, Βερολίνο 2009, σελ. 200-201 και www.kapelle-versoehnung.de



6.3 Κατοικία Rauch, Schlins, Αυστρία, 2008

Η συγκεκριμένη κατοικία κατασκευάστηκε το 2008 στο χωριό Schlins της Αυστρίας από τον Martin Rauch σε συνεργασία με τον αρχιτέκτονα Roger Boltshauser. Για την κατασκευή του τριώροφου αυτού κτιρίου επιλέχθηκε η τεχνική του rammed earth και χρησιμοποιήθηκε το υλικό από την εκσκαφή σε συνδιασμό με άλλα τοπικά υλικά. Το χώμα της εκσκαφής αρχικά διαχωρίστηκε και έπειτα αναμίχθηκε ξανά με τις κατάλληλες αναλογίες για να παραχθούν τα μίγματα για τις διάφορες εφαρμογές (π.χ. διαφορετικό μίγμα για τα επιχρίσματα, διαφορετικό για τους τοίχους κ.λπ.).

Οι φέροντες εξωτερικοί τοίχοι έχουν πάχος 45cm (χωρίς τη μόνωση) και η εξωτερική τους επιφάνεια είναι ανεπίχριστη. Ανάμεσα σε κάθε οριζόντια στρώση χώματος που συμπιέζεται κατά τη διάρκεια της κατασκευής των εξωτερικών τοίχων, παρεμβάλλεται μια ζώνη από ψημένα τούβλα πάχους 3 cm, τα οποία δεν καταλαμβάνουν όλο το πάχος του τοίχου. Αυτά λειτουργούν ενισχυτικά στους φέροντες τοίχους και ταυτόχρονα τους προστατεύουν από το νερό της βροχής καθώς εξέχουν ελαφρώς από την επιφάνειά τους. Όλοι οι τοίχοι που έρχονται σε επαφή με το έδαφος έχουν μονωθεί με μια στρώση από πλάκα αφρώδους γυαλιού και ασφαλτόπανο.

Οι περισσότερες οροφές αποτελούνται από ξύλινα δοκάρια και από ένα μίγμα από χώμα, ασβέστη, κομμάτια φελλού και ηφαιστιακή τέφρα. Τα δοκάρια στηρίζονται σε ένα ενισχυμένο περιμετρικό δοκάρι από κονίαμα ασβέστη και ηφαιστιακής τέφρας και το οποίο είναι ενσωματωμένο στον τοίχο. Αντίθετα, οι οροφές δύο χώρων του ισόγειου σχηματίζονται από λεπτά μεταλλικά δοκάρια σχήματος T (6x6 cm) πάνω στα οποία στερεώνονται εκατέρωθεν ψημένα τούβλα υπό κλίση. Όσον αφορά το δώμα, έχει εξωτερική επικάλυψη από ψημένα τούβλα για να προστατεύεται από το νερό της βροχής.



175



176

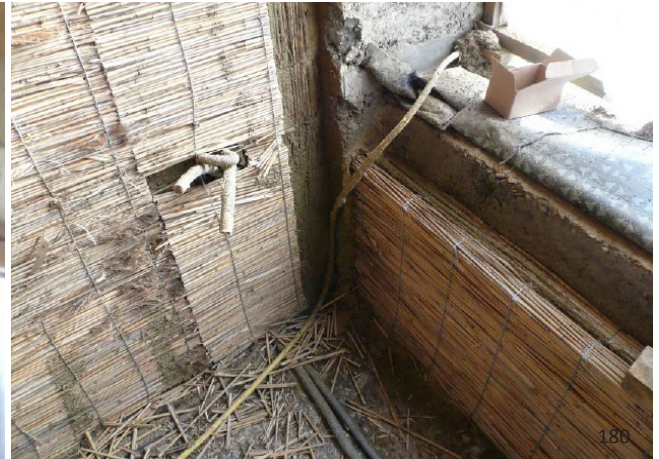
εικ.174 (αριστερά), **175**: Κατοικία Rauch στην Αυστρία **εικ.176**: Οροφή που διαμορφώνεται από μεταλλικά δοκάρια και ψημένα τούβλα υπό κλίση

Στους εσωτερικούς χώρους, όλες σχεδόν οι επιφάνειες έχουν επίχρισμα πάχους 3 cm που αποτελείται από λευκή άργιλο και άμμο, εκτός από το χώρο του κλιμακοστασίου όπου παραμένουν ανεπίχριστες. Τα πατώματα σαν τελική επιφάνεια έχουν επικάλυψη από κερί ή από κεραμικά πλακάκια (π.χ. στο μπάνιο). Οσον αφορά το κλιμακοστάσιο, τα σκαλιά πάχους 9 cm που στηρίζονται στον τοίχο είναι κατασκευασμένα από συμπιεσμένο χώμα και ενισχυμένα με χαλύβδινο σύρμα.



εικ.177,178: Εσωτερικοί χώροι του κτιρίου

Το 100% της ενέργειας που χρειάζεται το κτίριο για θέρμανση και ζεστό νερό προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Συγκεκριμένα, παρέχεται από ηλιακούς συλλέκτες που καταλαμβάνουν 14 m² του δώματος, από το φούρνο που βρίσκεται στην κουζίνα και τροφοδοτείται από καυσόξυλα, και από ένα μικρό κεντρικό σύστημα θέρμανσης, με pellets ως καύσιμο υλικό, που βρίσκεται στο ισόγειο. Οι τοίχοι εσωτερικά έχουν για μόνωση μια στρώση από καλάμια πάχους 10 cm πάνω στην οποία είναι τοποθετημένα πηνία θέρμανσης τα οποία διανέμουν τη θερμότητα στο χώρο. Για το ζεστό νερό υπάρχει στο δεύτερο όροφο μία δεξαμενή αποθήκευσής του με ενσωματωμένο βραστήρα.⁶⁷



εικ.179, 180, 181: Εικόνες από τη διαδικασία κατασκευής της κατοικίας

67. Ulrich Dangel, *Sustainable Architecture in Vorarlberg: Energy Concepts and Construction Systems*, 2009, σελ. 83-87

6.4 Χρήση χωμάτινων στοιχείων στην κατασκευή για βελτίωση της βιοκλιματικής συμπεριφοράς των κτιρίων - Caracol Architectures

Θέλοντας να επισημάνουμε την περιβαλλοντική σημασία του χώματος παρουσιάζουμε στη συνέχεια παραδείγματα όπου αυτό χρησιμοποιείται στις κατασκευές για βελτίωση της βιοκλιματικής συμπεριφοράς των κτιρίων. Το αρχιτεκτονικό γραφείο Caracol που δραστηριοποιείται κυρίως στη Γαλλία, έχει ως βασική αρχή σχεδιασμού νέων κτιρίων, τη χρήση φυσικών υλικών, τη βιοκλιματική συμπεριφορά, ενεργειακή αποδοτικότητα και εξοικονόμηση ενέργειας των κτιρίων. Στα πλαίσια αυτής της φιλοσοφίας, χρησιμοποιούν στοιχεία από χώμα, τα οποία μπορούν να προσφέρουν μια σειρά από σημαντικά πλεονεκτήματα προς αυτή την κατεύθυνση. Συμπαγείς τοίχοι από χώμα (rammed earth - ωμόπλινθους) χρησιμοποιούνται ως στοιχεία αποθήκευσης θερμότητας, όντας ταυτόχρονα φέροντα στοιχεία της κατασκευής. Μπορούν να τοποθετηθούν δίπλα σε μια σόμπα ή σε άμεση επαφή με τον ήλιο και το χειμώνα να συνεισφέρουν αποδοτικά στη θέρμανση ενός δωματίου. Επιπλέον, λειτουργούν ως ρυθμιστές της υγρασίας του εσωτερικού αέρα. Τα επιχρίσματα εσωτερικά είναι κατά πλειοψηφία από πηλοκονιάματα, πάνω σε διαφόρων ειδών υλικά (αχυρόμπαλες, τούβλα κλπ.), πετυχαίνοντας έτσι διαπνοή των τοίχων και αποφυγή συμπύκνωσης υδρατμών στη μάζα τους.

Τα αγροτικό κτίριο για εταιρία κηπευτικών στο Sassenage, στα περίχωρα της Grenoble, αποτελεί μια μικρής κλίμακας κατασκευή, χαμηλού κόστους, με μικρή επίδραση στο περιβάλλον. Αποτελείται από ξύλινο σκελετό με πλήρωση από αχυρόμπαλες και στη νότια όψη του έχει τοποθετηθεί συμπαγής τοίχος από χώμα (12m³) για αποθήκευση της ηλιακής ενέργειας και τον έλεγχο της υγρασίας εσωτερικά του κτιρίου. Οι αχυρόμπαλες εσωτερικά έχουν επιχριστεί με πηλοκονίαμα, προσφέροντας πυροπροστασία, ρύθμιση της υγρασίας, διαπνοή του τοίχου και αποτελώντας αισθητική επιλογή.



εικ.182: Εξωτερική άποψη του κτιρίου στο Sassenage εικ.183: Πλήρωση ξύλινου σκελετού από αχυρόματα εικ.184,185: Νότιος τοίχος από χύμα

Η κατοικία στο Corbel στην οροσειρά Chartreuse ανταποκρίνεται στις κλιματικές απαιτήσεις του βουνού. Είναι μια κατοικία 130m² κατασκευασμένη από ξύλο, άχυρο και χώμα, λόγω των βιοκλιματικών πλεονεκτημάτων τους και του χαμηλού κόστους. Εσωτερικά, δίπλα σε μια σόμπα έχει τοποθετηθεί ένας τοίχος rammed earth (2m³) για αποθήκευση και απόδοση της θερμότητας που αυτή παράγει. Οι αχυρόμπαλες που έχουν τοποθετηθεί στη βόρεια όψη παρέχουν ενισχυμένη μόνωση κι έχουν επικαλυφθεί με πηλοκονίαμα για έλεγχο της υγρασίας και τη διαπνοή του τοίχου όπως αναφέραμε παραπάνω.⁶⁸



εικ.186: Κατοικία στο Corbel της Γαλλίας **εικ.187:** Εφαρμογή εκτοξευόμενου πηλοκονιάματος στην επιφάνεια των τοίχων από αχυρόμπαλες
εικ.188: Τοίχος από rammed earth τοποθετημένος δίπλα σε ξυλόσομπα για αποθήκευση της θερμότητας

68. www.eco-caracol.com

7. Η ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Σήμερα στην Ελλάδα υπάρχουν ελάχιστες σύγχρονες χωμάτινες κατασκευές. Ο κύριος λόγος είναι η έλλειψη κανονισμών δόμησης που να επιτρέπουν την κατασκευή κτιρίων αποκλειστικά από χώμα, επομένως αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο ως στοιχείο πλήρωσης σε συνδυασμό με άλλα υλικά, κυρίως σε ξύλινο σκελετό. Εκτός όμως από το γεγονός ότι αυτή τη στιγμή οι ευρωκώδικες δεν καλύπτουν τέτοιες κατασκευές, δεν υπάρχει και η έρευνα πάνω στο συγκεκριμένο τομέα για τα δεδομένα της Ελλάδας (αντισεισμική τεχνολογία, κατασκευαστικές πρακτικές, κλπ.), επομένως δεν υπάρχουν και στοιχεία για τη συμπεριφορά του χώματος ως κατασκευαστικό υλικό. Για παράδειγμα, σήμερα δεν υπάρχουν στοιχεία ούτε για τη στατική ούτε για τη θερμική συμπεριφορά των ωμοπλίνθων, παρά το γεγονός ότι υπάρχουν πάρα πολλά παραδείγματα παραδοσιακής χωμάτινης αρχιτεκτονικής στη χώρα μας. Τα κτίρια αυτά είναι στην πλειονότητά τους κατασκευασμένα από ωμόπλινθους συνδυαζόμενα πάντα με ξυλοδεσιές και μέσα από την πορεία τους στο χρόνο γνωρίζουμε ότι η συμπεριφορά τους είναι πολύ καλή.



189



190

εικ.189,190: Πλινθόκτιστα κτίρια στο Ν.Φθιώτιδας και το Ν. Τρικάλων αντίστοιχα

Επιπλέον, το γεγονός ότι το χώμα είναι ένα υλικό το οποίο δεν είναι τυποποιημένο, έχει σαν αποτέλεσμα πολλές φορές να υπερτιμάται ή να υποτιμάται από τους μηχανικούς και τους κατασκευαστές, είτε στατικά είτε ενεργειακά, με αποτέλεσμα να οδηγούμαστε σε λύσεις υπερβολικές ή λανθασμένες. Από την άλλη, ο οποιοσδήποτε ενδιαφερόμενος επιθυμεί να χρησιμοποιήσει το χώμα στις κατασκευές προφανώς δεν μπορεί να διαθέτει τα οικονομικά μέσα για την πραγματοποίηση απαραίτητων ελέγχων τόσο για τη σύνθεση του χώματος όσο και για τη συμπεριφορά και τις αντοχές του ανάλογα με την κατασκευαστική τεχνική.

Γενικά, στην Ελλάδα υπάρχουν κανονισμοί που δεν έχουν μελετηθεί σωστά με αποτέλεσμα να οδηγούμαστε σε λανθασμένες αποφάσεις και πολλές φορές εις βάρος των κατασκευών από χώμα. Το χώμα ως υλικό έχει αρκετές ιδιαιτερότητες που δεν καλύπτονται από τους ισχύοντες ευρείς κανονισμούς⁶⁹ με αποτέλεσμα το υλικό αυτό τελικά να υποτιμάται. Για παράδειγμα, όσον αφορά τη θερμική συμπεριφορά των κτιρίων, καθώς δεν υπάρχουν πληροφορίες και για τις ωμοπλίνθους και ο ΚΕΝΑΚ (Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων) δίνει ένα μεγάλο εύρος τιμών, τελικά συνήθως επιλέγονται οι δυσμενέστερες συνθήκες κατά τους υπολογισμούς, λόγω έλλειψης της απαραίτητης γνώσης και ως συνέπεια αυτού, τα αποτελέσματα που προκύπτουν δεν ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα. Για παράδειγμα, σε κτίριο από ωμόπλινθους, τοίχος πάχους 50cm με επιπλέον επίχρισμα από χώμα δεν θεωρήθηκε θερμικά επαρκής και τελικά υποχρεωτικά κατασκευάστηκαν δύο δρομικοί τοίχοι με θερμομόνωση εσωτερικά.⁷⁰

Ενα άλλο μεγάλο κομμάτι της κριτικής θεώρησης των χωμάτινων κατασκευών είναι η αντισεισμική τους συμπεριφορά, η οποία εξαρτάται από το δομικό σύστημα που θα επιλεγεί. Σε περίπτωση που τα φέροντα στοιχεία της κατασκευής αποτελούνται μόνο από πηλό είναι σαφές ότι πρέπει να υπάρχουν και ενισχυτικά στοιχεία, όπως περιμετρικό δέσιμο (με ξυλοδεσιές) και ενίσχυση στις γωνίες, αλλά και χαμηλό ύψος. Μια καλή αντισεισμική κατασκευή με χώμα θα έπρεπε πιθανώς να ενσωματώνει και ξύλινο φέροντα σκελετό.

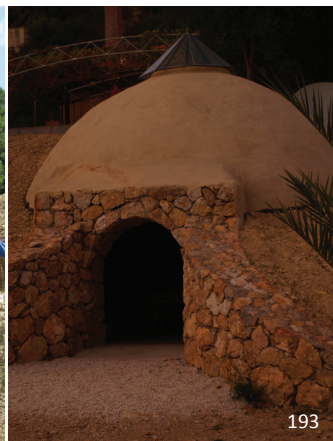
Στην Ελλάδα, οι προσπάθειες που έχουν γίνει για την αναβίωση της δόμησης με χώμα είναι λίγες και όχι ιδιαίτερα οργανωμένες. Τα τελευταία χρόνια έχουν δημιουργηθεί διάφορες ομάδες, κοινότητες και οργανώσεις που στη δράση τους έχουν συμπεριλάβει και τη δόμηση με φυσικά υλικά οργανώνοντας εκδηλώσεις, σεμινάρια και εργαστήρια. Μερικές τέτοιες ομάδες είναι οι «Μηχανικοί της Γης», το «Δέντρο», το «Σαλιγκάρι» κ.α. Κυρίως όμως τρεις είναι οι ομάδες που δραστηριοποιούνται στον τομέα της δόμησης με πηλό, η ομάδα «πηλΟίκο», η ομάδα «Cob» και η «Ανέλιξη».

69. Για παράδειγμα, στην ενεργειακή μελέτη, όπως έχει οριστεί από τον ΚΕΝΑΚ, δεν λαμβάνονται υπόψη ιδιότητες όπως η μικρή ενσωματωμένη ενέργεια που έχουν οι χωμάτινες κατασκευές σε σχέση με κατασκευές από άλλα δομικά υλικά (π.χ. με τους οπτόπλινθους για την παραγωγή των οποίων απαιτούνται υψηλές θερμοκρασίες), ή το μικρό περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα (καθώς δεν απαιτείται πολλή ενέργεια για την εξόρυξη του χώματος και με την κατεδάφιση του κτιρίου δεν επιβαρύνει το περιβάλλον) κ.α. Ελευθερία Αλεξανδρή, "Δόμηση με πηλό και Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ)", Σεμινάριο "Δόμηση με Χώμα", Βόλος 2012

70. Συζήτηση με Ελευθερία Τσακανίκα

ΠηλοΟίκο

Η ομάδα πηλοΟίκο δημιουργήθηκε το 2008 από άτομα που δραστηριοποιούνται στον τομέα της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής και της δόμησης με φυσικά υλικά. Είναι μία ομάδα μη κερδοσκοπικού χαρακτήρα που έχει ως στόχο την επαναφορά παλαιών τεχνικών, την αναζήτηση νέων μεθόδων δόμησης με φυσικά και ανακυκλώσιμα υλικά και τη διάδοσή τους στο ευρύτερο κοινό. Δραστηριοποιούνται μέσα από ενημερωτικές εκθέσεις, εκδηλώσεις και ομιλίες, σεμινάρια εκμάθησης τεχνικών δόμησης σε συνεργασία με ειδικούς. Επιπλέον, επιχειρούν την καταγραφή και αρχειοθέτηση της ελληνικής παραδοσιακής αρχιτεκτονικής με πηλό μέσα από επισκέψεις και ταξίδια και στοχεύουν στη δημιουργία ενός κόμβου ανταλλαγής πληροφοριών σε διεθνές επίπεδο.⁷¹



εικ.191-195: Εικόνες από το 3ο Κατασκευαστικό Σεμινάριο με θέμα την “κατασκευή θόλου με πλίνθους”, στην Παλαιόχωρα της Κρήτης, με τον καθηγητή Gernot Minke του Πανεπιστημίου Kassel της Γερμανίας, οργανωμένο από την ομάδα ΠηλοΟίκο, Ιούλιος 2011

71. www.piliko.gr/index.html

Cob

Ο Κώστας Κοντομάνος, οικονομολόγος στην Περιφέρεια Θεσσαλίας, και ο Στέλιος Γκαγκάρας ξεκίνησαν πριν από επτά περίπου χρόνια την ενασχόλησή τους με τη φυσική δόμηση. Μετά από έρευνα και μελέτη βιβλιογραφίας σχετικά με τη χρήση του χώματος ως δομικό υλικό, κατασκεύασαν, ως μια πρώτη απόπειρα, ένα μικρό σπίτι από cob στον Νέσσωνα. Το 2007 δημιούργησαν την ομάδα Cob και έκτοτε ασχολούνται με την προώθηση της φυσικής δόμησης μέσα από τη διοργάνωση σεμιναρίων και βιωματικών εργαστηρίων, πολλές φορές σε συνεργασία με εκπαιδευτικούς φορείς. Επίσης, έχουν ξεκινήσει μια προσπάθεια δημιουργίας δικτύου μηχανικών και ειδικών επιστημόνων καθώς και ανθρώπων που προσφέρουν ή ζητούν εθελοντική εργασία στη φυσική δόμηση.⁷² Μέσα από τα εκπαιδευτικά σεμινάρια που οργανώνουν έχουν δημιουργηθεί κάποιες ενδιαφέρουσες κατασκευές. Μία από αυτές αποτελεί ένα μικρό κτίσμα στη Λέσβο, το οποίο φτιάχτηκε το 2009 με τη βοήθεια εθελοντών και σε συνεργασία με το δήμο του Μανταμάδο της Λέσβου. Για την κατασκευή του οργανώθηκε δεκαήμερο εργαστήριο και όλα τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν συλλέχθηκαν από τη γύρω περιοχή. Εγινε με την τεχνική του cob και χρησιμοποιείται από το δήμο ως μουσείο πηλού.⁷³



εικ.196: Το Μουσείο Πηλού στη Λέσβο **εικ.197-201:** Φωτογραφίες από το “Εισαγωγικό εργαστήριο για τη φυσική δόμηση” στην Σαρακατσάνα Περίας στο οποίο συμμετείχαμε, διοργανωμένο από την ομάδα “cob”, Ιούλιος 2012

72. www.drosostalida.com/centers3.asp?id=572&cat_root=14

73. www.cob.gr

Ανέλιξη

Η Ανέλιξη είναι μη κερδοσκοπικός οργανισμός που ιδρύθηκε το 1994 για να προωθήσει τη διάδοση του βιοκλιματικού σχεδιασμού και των καθαρών τεχνολογιών δόμησης, καθώς επίσης και την εξάπλωση των εφαρμογών τους. Είναι ένα δίκτυο αρχιτεκτόνων, μηχανικών, άλλων επιστημόνων και πολιτών. Το 2006 ανασυγκροτήθηκε με τη μορφή πανελληνίας οργάνωσης.⁷⁴ Στον τομέα της δόμησης με άργιλο, δραστηριοποιείται μέσα από επιστημονικές έρευνες για την προέλευση και τη σύσταση του χύματος που χρησιμοποιείται στη δόμηση, καθώς και τη διερεύνηση των φυσικών και περιβαλλοντικών ιδιοτήτων του. Επίσης, ασχολείται με την επιστημονική και πειραματική έρευνα διαφόρων τεχνικών δόμησης με χύμα και την έρευνα των μηχανικών του αντοχών και της συμπεριφοράς του στο σεισμό. Τέλος, επιχειρεί την επί τόπου έρευνα των παραδοσιακών κτισμάτων αυτού του είδους στην Ελλάδα.⁷⁵

Το Goethe-Institut Θεσσαλονίκη σε συνεργασία με την «Ανέλιξη»
(στην εταιρεία έρευνας, προώθησης και διάδοσης εφαρμογών ΑΠΕ και οικολογικής αρχιτεκτονικής)

διοργανώνουν την εκδήλωση

Χτίζοντας με πηλό

Ανάδειξη της σημασίας του πηλού ως δομικό υλικό
Αναζήτηση δρόμων συνεργασίας μεταξύ ομάδων και επιστημόνων οι οποίοι ασχολούνται με αυτόν τον τομέα
Αναγκαιότητα κατάρτισης σχετικών προδιαγραφών για τη δόμηση με πηλό στην Ελλάδα

**Πέμπτη 13 Ιουνίου 2013,
ώρα 9:30 – 19:30**

**Ομάδες από την Ελλάδα παρουσιάζουν
εφαρμογές δόμησης με πηλό**

**Παρασκευή 14 Ιουνίου 2013,
ώρα 9:00 – 16:30**

**Επιστημονική ημερίδα
για τη δόμηση με πηλό**

Στην εκδήλωση φιλοξενείται και συμμετέχει ο Αρχιτέκτονας Gernot Minke.

Goethe-Institut
Βασ. Όλγας 68
Αίθουσα εκδηλώσεων
Είσοδος ελεύθερη



εικ.202: Αφίσα διημερίδας με θέμα “Χτίζοντας με πηλό” στην οποία παρεβρεθήκαμε, οργανωμένη από την ομάδα “Ανέλιξη” στη Θεσσαλονίκη, Ιούνιος 2013

74. www.ellinikospiti.gr

75. www.anelixi.org

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μέσα από τη συγκεκριμένη εργασία, μας δόθηκε η ευκαιρία να μελετήσουμε τις δυνατότητες που προσφέρει το χώμα ως υλικό δόμησης. Παρουσιάσαμε μια μεγάλη ποικιλία από κατασκευαστικές τεχνικές, στις οποίες το χώμα, άλλοτε μόνο του κι άλλοτε σε συνδυασμό με άλλα υλικά, διαμορφώνει κατασκευαστικά στοιχεία και παράγει χώρο. Αναλύοντας τις τεχνικές αυτές, εξοικειωθήκαμε με το υλικό, τις ιδιότητες και τις απαιτήσεις του, οι οποίες είναι αυτές που κάθε φορά επηρεάζουν την επιλογή και το αποτέλεσμα της κατασκευαστικής διαδικασίας. Είδαμε ότι οι δυνατότητες του χώματος για τη χρήση του στις κατασκευές δεν σταματούν στις παραδοσιακές μεθόδους, αλλά συνεχώς δημιουργούνται παραλλαγές των ήδη υπαρχόντων και νέες πειραματικές μέθοδοι, που άλλοτε βρίσκουν εκτενή εφαρμογή σε κτίρια μιας περιοχής κι άλλοτε απλά παραμένουν ως απόδειξη του μεγάλου πλήθους των δυνατοτήτων του υλικού.

Μέσα από τη μελέτη και ανάλυση συγκεκριμένων παραδειγμάτων νέων κατασκευών από χώμα, θέλαμε να κάνουμε εμφανή τη δυνατότητα χρήσης αυτού του υλικού στη σύγχρονη εποχή. Από τη μία, όπως είδαμε, μπορεί να αποτελέσει συνέχεια μιας παράδοσης σε περιοχές όπου η χρήση του ως κατασκευαστικό υλικό δεν έπαψε ποτέ και να βρει μια σύγχρονη έκφραση, με τη χρήση τεχνογνωσίας, ώστε να βελτιώσει τυχόν προβλήματα και αστοχίες των παραδοσιακών κατασκευών, παράγοντας αρχιτεκτονικά αξιόλογα αποτελέσματα. Από την άλλη, σε περιοχές όπου άλλα, πιο σύγχρονα υλικά έχουν επικρατήσει για τις νέες κατασκευές, μπορεί να αποτελέσει ένα υλικό δόμησης υψηλής αισθητικής, με πολλές δυνατότητες, τόσο μορφολογικές όσο και χρηστικές. Επιπλέον, η χρήση του ως μέσο βελτίωσης της βιοκλιματικής συμπεριφοράς των κτιρίων, μέσα από την τοποθέτηση χωμάτινων στοιχείων στο εσωτερικό των κτιρίων, ενισχύει τη σημασία και το ρόλο του ως φυσικό υλικό, δίνοντας μια νέα προοπτική στην χρήση του χώματος στις κατασκευές. Μιλάμε πια για μια εποχή όπου τα κτίρια καλούνται να έχουν όσο το δυνατόν λιγότερες επιβαρύνσεις στο περιβάλλον και όσο το δυνατόν λιγότερες απαιτήσεις σε κατανάλωση ενέργειας και το χώμα έρχεται να δώσει μια εναλλακτική λύση σε αυτή την αναγκαιότητα.

Τα τελευταία χρόνια, τόσο στο εξωτερικό όσο και στην Ελλάδα, έχει αρχίσει μια επανεκτίμηση του δομικού αυτού υλικού και μια ευαισθητοποίηση για τη συντήρηση και αποκατάσταση κτιρίων από χώμα, με τη δημιουργία

ειδικών προγραμμάτων εκπαίδευσης και ενημέρωσης, προγραμμάτων αποκατάστασης και επανάχρησης, συλλόγων και οργανώσεων που προωθούν ζητήματα σχετικά με την βιώσιμη ανάπτυξη και τα περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα φυσικών υλικών δόμησης.

Όπως όμως είδαμε, για να μπορέσει να χρησιμοποιηθεί το χώμα εκτενέστερα ως κατασκευαστικό υλικό, να αξιοποιηθούν οι ευεργετικές ενεργειακές του δυνατότητες και να γίνει ένα υλικό δόμησης που να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις της εποχής μας, είναι αναγκαία η εκπόνηση εκτενών ερευνών και μελετών για τον προσδιορισμό των ιδιαιτεροτήτων του, την αναγνώριση των αντοχών και τη συμπεριφοράς του, με απώτερο σκοπό τη μετέπειτα διατύπωση αναλυτικών κανονισμών δόμησης. Ήδη σε κάποιες χώρες έχουν δημιουργηθεί ειδικοί κανονισμοί που αφορούν χωμάτινες κατασκευές. Συγκεκριμένα, στη Νέα Ζηλανδία ισχύουν από το 1999 τρεις κανονισμοί που καλύπτουν τις κατασκευαστικές τεχνικές με ωμόπλινθους, rammed earth, ρευστή γη και συμπιεσμένες ωμόπλινθους, οι οποίες έχουν ερευνηθεί πολύ καλά και έχουν χρησιμοποιηθεί τα τελευταία 30 χρόνια στη Νέα Ζηλανδία. Αυτές οι κατασκευαστικές τεχνικές έχουν προσαρμοσθεί κατάλληλα μέσα από τους κανονισμούς στις καιρικές συνθήκες, κυρίως τις σχετικά πολλές βροχοπτώσεις, και τη σοβαρή σεισμική δραστηριότητα της περιοχής. Από τους τρεις αυτούς κανονισμούς, ένας αναφέρεται σε μηχανικούς και τους παρέχει τα στοιχεία που είναι απαραίτητα για την εκπόνηση της μελέτης. Ο δεύτερος επιτρέπει το σχεδιασμό σχετικά απλών κτιρίων χωρίς να απαιτείται μελέτη μηχανικού. Για το λόγο αυτό, ο συγκεκριμένος κανονισμός δίνει λεπτομερείς οδηγίες (π.χ. μέγιστο άνοιγμα, αποστάσεις ανοιγμάτων από τις γωνίες κ.α.) και σαφείς περιορισμούς για το σχεδιασμό και την κατασκευή. Ο τρίτος κανονισμός, ο οποίος συμπληρώνει και αναφέρεται στους δύο προηγούμενους, αναφέρει τις απαιτήσεις των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν και δίνει περιγραφές διαφόρων ελέγχων – τεστ (είτε απλών αλλά αξιόπιστων, που μπορούν να πραγματοποιηθούν από οποιονδήποτε, είτε πιο εξειδικευμένων) για τη διαπίστωση της αντοχής και των χαρακτηριστικών του υλικού.

Η ιστορία και η παραδοσιακή αρχιτεκτονική έχουν αποδείξει ότι το χώμα είναι ένα υλικό με ασύγκριτα πλεονεκτήματα και δυνατότητες. Απομένει λοιπόν η τεκμηρίωση αυτών και η αποσαφήνιση των περιορισμών που αυτό θέτει, ώστε να μπορέσει να αποτελέσει μέρος της σύγχρονης κατασκευαστικής πραγματικότητας.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακας 1:

ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ U-value (σε W/ m²K) ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

ΠΟΛΗ	ΧΩΡΑ	ΤΟΙΧΟΣ		ΣΤΕΓΗ		ΠΑΤΩΜΑ	
		low	high	low	high	low	high
ΤΙΡΑΝΑ	ΑΛΒΑΝΙΑ	0,53	0,53	0,38	0,38	0,59	0,59
ΒΙΕΝΝΗ	ΑΥΣΤΡΙΑ	0,35	0,50	0,20	0,25	0,35	0,40
ΒΡΥΞΕΛΛΕΣ	ΒΕΛΓΙΟ	0,60	0,60	0,40	0,40	0,90	1,20
ΣΟΦΙΑ	ΒΟΥΛΓΑΡΙΑ	0,50	0,50	0,30	0,30	0,50	0,50
ΠΑΡΙΣΙ	ΓΑΛΛΙΑ	0,36	0,36	0,20	0,20	0,27	0,27
ΒΕΡΟΛΙΝΟ	ΓΕΡΜΑΝΙΑ	0,30	0,30	0,20	0,20	0,40	0,40
ΚΟΠΕΓΧΑΓΗ	ΔΑΝΙΑ	0,20	0,40	0,15	0,25	0,12	0,30
ΖΥΡΙΧΗ	ΕΛΒΕΤΙΑ	0,20	0,30	0,20	0,30	0,20	0,30
ΑΘΗΝΑ	ΕΛΛΑΔΑ	0,70	0,70	0,50	0,50	0,90	0,90
ΛΟΝΔΙΝΟ	ΗΝΩΜΕΝΟ ΒΑΣΙΛΕΙΟ	0,25	0,35	0,13	0,20	0,20	0,25
ΔΟΥΒΛΙΝΟ	ΙΡΛΑΝΔΙΑ	0,27	0,37	0,16	0,25	0,25	0,37
ΜΑΔΡΙΤΗ	ΙΣΠΑΝΙΑ	0,66	0,66	0,38	0,38	0,66	0,66
ΡΩΜΗ	ΙΤΑΛΙΑ	0,50	0,50	0,46	0,46	0,46	0,46
ΟΣΛΟ	ΝΟΡΒΗΓΙΑ	0,18	0,22	0,13	0,18	0,15	0,18
ΑΜΣΤΕΡΝΤΑΜ	ΟΛΛΑΝΔΙΑ	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37
ΒΑΡΣΟΒΙΑ	ΠΟΛΩΝΙΑ	0,30	0,50	0,30	0,30	0,60	0,60
ΛΙΣΑΒΟΝΑ	ΠΟΡΤΟΓΑΛΙΑ	0,50	0,70	0,40	0,50	-	-
ΜΠΡΑΤΙΣΛΑΒΑ	ΣΛΟΒΑΚΙΑ	0,32	0,46	0,20	0,30	0,25	0,35
ΣΤΟΚΧΟΛΜΗ	ΣΟΥΗΔΙΑ	0,18	0,18	0,13	0,13	0,15	0,15
ΠΡΑΓΑ	ΤΣΕΧΙΑ	0,30	0,38	0,24	0,30	0,30	0,45
ΕΛΣΙΝΚΙ	ΦΙΝΛΑΝΔΙΑ	0,25	0,25	0,16	0,16	0,25	0,25

Η λίστα δίνει τις ακριβείς πληροφορίες κατά τον Απρίλιο του 2007 και έκτοτε οι τιμές ενδέχεται να έχουν αλλάξει.
(πηγή: <http://www.eurima.org/u-values-in-europe/>)

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Συζήτηση με Pamela Jerome και Ελευθερία Τσακανίκα

“Εισαγωγικό εργαστήριο για τη φυσική δόμηση” στην Σαρακατσάνα Πιερίας, διοργανωμένο από την ομάδα “cob”, Ιούλιος 2012

Διμερίδα με θέμα “Χτίζοντας με πηλό”, διοργανωμένη από την ομάδα “Ανέλιξη” στη Θασσαλονίκη, Ιούνιος 2013

Βίντεο: “Hassan Fathy’s New Gournā Past-Present-Future”, World Monuments Fund και Community Consortium

Εντυπη βιβλιογραφία

Dangel, Ulrich, *Sustainable Architecture in Vorarlberg: Energy Concepts and Construction Systems*, Birkhauser Verlag AG, 2009

Fathy, Hassan, *Architecture for the Poor: An Experiment in Rural Egypt*, The University of Chicago Press, Chicago 1973

Guidoni, Enrico, *Primitive Architecture*, Harry N. Abrams Publishers, New York 1978

Houben, Hugo and Guillaud, Hubert, *Earth Construction – A comprehensive guide*, ITDG Publishing, London 1994

Maniatidis, V., Walker, P., *A Review of Rammed Earth Construction*, University of Bath, 2003

Minke, Gernot, *Building with earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*, Birkhäuser – Publishers for Architecture, 2009

Rudofsky, Bernard, *Architecture without architects: a short introduction to non-pedigreed architecture*, University of Mexico Press, 1987

Warren, J., *Earthen Architecture: The conservation of brick and earth structures*, ICOMOS, 1993

Μπούρας, Χαράλαμπος Θ., *Μαθήματα Ιστορίας της Αρχιτεκτονικής*, Τόμος 1, ΣΥΜΜΕΤΡΙΑ, Αθήνα 1999

Άρθρα - Επιστημονικές μελέτες

Conlon, James and Jerome, Pamela, “Documenting and Representing the Historic City of Tarim, Yemen”, Terra 2008: The 10th International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architectural Heritage, Getty Publications, 2011, σελ. 55-62

Conlon, James, Jerome, Pamela and Al-Radi, Selma, “Documentation of the Tarimi Palaces, 2002-2003: Qasr al-‘Ishshah”, Yemen Update, *Bulletin of the American Institute for Yemeni Studies*, Number 45, 2003, σελ. 9-22

Jaquin, P.A., Gerrard, C.M., Augarde, C.E. and Canivell, J., “Damage in Historic Rammed earth structures: A case study at Ambel, Zaragoza, Spain”, Συνέδριο SIACOT IX, Coimbra, Portugal (20-23 February 2010)

Jaquin, P.A., “Study of historic rammed earth structures in Spain and India”, *The Structural Engineer*, Volume 86 (2008), Issue 2

Jerome, Pamela, Chiari, Giacomo and Borelli, Caterina, “The Architecture of Mud Construction and Repair Technology in the Hadhramaut Region of Yemen”, *APT Bulletin The Journal of Preservation Technology*, Volume XXX, No. 2-3, Association for Preservation Technology International, 1999

Jerome, Pamela, “Flash Floods: Protecting the World Heritage Site of Shibam, Yemen”, Research & Heritage: Research papers on Architectural Heritage, The Saudi Commission for Tourism and Antiquities, Riyadh 2011, σελ.130-143

Jerome, Pamela, “Community Building and Continuity of Tradition: The Decoration of Mud-Brick Surfaces in the Hadhramaut Region of Yemen”, The Conservation of Decorated Surfaces on Earthen Architecture, Getty Publications, Mesa Verde Traditional Park, Colorado, USA, September 22-25, 2004, σελ. 144-151

Keefe, Larry, “The Cob Buildings of Devon 2, Repair and Maintenance”, Devon Historic Buildings Trust 1993

Li, Quindi, You, Ruoyu, Chen, Chun, Yang, Xudong, “A field investigation and comparative study of indoor environmental quality in heritage Chinese rural buildings with rammed earth wall”, *Energy and Buildings*, 2010 (<http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.enbuild.2013.02.057>)

Revuelta-Acosta, J.D., Garcia-Diaz, A., Soto-Zarazua, G.M. and Rico-Garcia, E., “Adobe as a sustainable Material: A Thermal Performance”, *Journal of Applied Sciences*, τεύχος 10, Mexico 2010

“The ICOMOS International Scientific Committee on Earthen Architectural Heritage (ISCEAH): History, Aims and Objectives”, TERRA EM SEMINARIO 2010, 6o Seminario Arquitectura de Terra em Portugal, 9o Seminario Ibero-Americano de Arquitectura e Construcao com Terra

“Historic Buildings, Chalk & Clay Cob”, New Forest district Council, (<http://www.newforest.gov.uk/media/adobe/chalkandclaycob.pdf>)

Αλεξανδρή, Ελευθερία, «Δόμηση με πηλό και Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ)», Σεμινάριο «Δόμηση με χώμα», ΤΕΕ Μαγνησίας, Μ. Ε. Επαγγελματικών Θεμάτων – Νέων Μηχανικών και Επιμόρφωσης, Μηχανικοί της Γης, Βόλος (10/05/2012)

Μουσουράκης, Απόστολος, «Επανεκτίμηση της παραδοσιακής αρχιτεκτονικής, περιβαλλοντική θεώρηση στο σχεδιασμό κτιρίων», Συνέδριο ΠΑΝΔΟΙΚΟ «Οι Δημόσιοι Ελεύθεροι Χώροι ως Κοινωνικό Αγαθό και η Βιοκλιματική Αρχιτεκτονική στον δομημένο χώρο», Χανιά 2010

Μουτσόπουλος, Νίκος, «Η αρχιτεκτονική της λάσπης και η αποθέωσή της σε μνημεία και σε σπίτια του Ιράν», περιοδικό *Ζυγός*, τεύχος 38, σελ. 70 – 80, 1979, βιβλιοθήκη ΤΕΕ Αθηνών

Μπέη, Γεωργία Ε., «Σχεδιασμός κατασκευής από ωμοπλινθοδομή και αντισεισμική συμπεριφοράς της», *Τεχνικά Χρονικά*, Νοέμβριος – Δεκέμβριος 2010

Τσεκούρα, Παναγιώτα, «Μελέτη Ολοκλήρωσης Ανάπλασης των ελεύθερων χώρων του ιστορικού κέντρου της Χάρμαινας» (<http://www.harmaina.gr/index.php/2011-04-03-19-04-55>)

Τσεκούρα, Παναγιώτα, «Αποκατάσταση και επανάχρηση κτιρίου από ωμόπλιθο στη Χάρμαινα», *Επιπέλον*, σελ. 134 – 138

Διαλέξεις - Διπλωματικές - Διδακτορικές διατριβές

Μπέη, Γεωργία Ε., «Τοιχοποιία από πηλό: Πειραματική διερεύνηση μηχανικών και φυσικών χαρακτηριστικών δομικών μονάδων και τοίχων από Συμπιεσμένες Ωμόπλινθους», διδακτορική διατριβή Α.Π.Θ., Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής, Τομέας Επιστήμης και Τεχνολογίας των Κατασκευών, Θεσσαλονίκη 2004

Πριμικήρη, Αγγελική, «Η αρχιτεκτονική της ωμής αργίλου ως συνιστώσα του βιοκλιματικού σχεδιασμού και της οικολογικής δόμησης και διερεύνηση εφαρμογής της σε περιοχές του θεσσαλικού κάμπου», διπλωματική εργασία 2008/10, ΕΜΠ, Κατεύθυνση Σχεδιασμός-Χώρος-Πολιτισμός

Ρίζου, Αθανασία, «Κατασκευές από Χώμα», διάλεξη 20009/2, βιβλιοθήκη ΕΜΠ

Ηλεκτρονική βιβλιογραφία

www.eco-caracol.com/ecoconstruction.php#

www.dur.ac.uk/

www.earth-auroville.com

www.lehmtonerde.at/en/martin-rauch/

www.wmf.org

www.craterre.org/

www.cob.gr

www.formblock.com.au/

www.earthhome.blogspot.gr

www.learn.columbia.edu/tarim

www.texnisenelladi.gr/

www.harmaina.gr/

www.piliko.gr/

www.axs.gr/

www.anelixi.org/pdf/

www.engoe.gr/

www.buildingconservation.com/articles/earth/earth_buildings.htm

arquitecturasdeterra.blogspot.gr/

www.historicrammedearth.co.uk/index.htm

www.meti-school.de

www.designboom.com/architecture/earth-architecture-handmade-school-bangladesh

www.eartharchitecture.org

www.kapelle-versoehnung.de

www.earthbagbuilding.com

www.globalgiving.org/projects/build-a-school-from-recycled-materials-for-50-maya

www.smallhousebliss.com/2012/08/10/the-dune-house-by-william-morgan/

www.chinaculture.org/gb/en_curiosity/2006-02/14/content_79287.htm

www.calearth.org

www.ecodesign.co.nz/mudBrickStandards.html

www.earthbuilding.org.nz/standards.php

www.architonic.com/aisht/rammed-earth-house-rauch-family-home-boltshauser-architekten/5100620

www.sbd2050.org/project/haus-rauch-39/

www.detail-online.com/inspiration/residence-in-schlins-103405.html

www.drosostalida.com/centers3.asp?id=572&cat_root=14

www.fhw.gr/chronos/projects/neolithic/gr/b/domisi.html

www.ft.com/intl/cms/s/2/791620e6-13c2-11e2-9ac6-00144feabdc0.html#axzz2Un6o5DFZ

www.ellinikospiti.gr/provoli.asp?themeID=86&magID=50

www.wikipedia.org

ΠΗΓΕΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

- Εικ.1: http://www.earth-auroville.com/world_techniques_introduction_en.php
- Εικ.2: http://valtadoreioenvironmental.blogspot.gr/2010_05_01_archive.html
- Εικ.3: αρχείο Π. Σπυροπούλου, από ενημερωτική πινακίδα του αρχαιολογικού χώρου του Σέσκλου
- Εικ.4, 5: <http://www.greatwallforum.com/forum/shandan/399-shandan-great-wall.html>
- Εικ.6: <http://www.studyblue.com/notes/note/n/art-history-quiz-1/deck/78991> , σχέδιο Μανώλη Κορρέ
- Εικ.7: <http://louxoren21jours.blogspot.gr/2012/01/ramesseum-le-temple-de-ramses-ii.html>
- Εικ.8: Χαράλαμπος Θ. Μπούρας, *Μαθήματα Ιστορίας της Αρχιτεκτονικής*, Τόμος 1, Αθήνα 1999, σελ. 31
- Εικ.9: Hassan Fathy, *Architecture for the Poor, An Experiment in Rural Egypt*, Chicago 1973, The University of Chicago Press, εκ.18
- Εικ.10: <http://arquitecturasdeterra.blogspot.gr/2008/10/save-heritage-of-hassan-fathy.html>
- Εικ.11: <http://architectureofdoom.tumblr.com/post/38166573708/mosque-of-mopti-mali>
- Εικ.12: <http://sacredsites.com/africa/mali/djenne.html>
- Εικ.13: <http://www.historicrammedearth.co.uk/germany.htm>
- Εικ.14: <http://www.asia-trip.info/shibam-wadi-hadhramaut-yemen.html>
- Εικ.15: <http://whc.unesco.org/en/activities/637/>
- Εικ.16: <http://www.wmf.org/project/new-gourna-village>
- Εικ.17: http://www.webpages.uidaho.edu/arch499/nonwest/Hasson_Fathy/Time%20Line.htm
- Εικ.18: http://www.akdn.org/architecture/chairmans_award.asp?tri=1980
- Εικ.19: Hugo Houben and Hubert Guillaud, *Earth Construction – A comprehensive guide*, London 1994, ITDG Publishing, σελ.20 (σχέδιο επεξεργασμένο από Π. Σπυροπούλου και Ε. Τσακαλάκη)
- Εικ.20: http://www.earth-auroville.com/maintenance/uploaded_pics/01-soil-composition.jpg (σχέδιο επεξεργασμένο από Π. Σπυροπούλου και Ε. Τσακαλάκη)
- Εικ.21: Διαμόρφωση από Π. Σπυροπούλου και Ε. Τσακαλάκη, εικόνες προερχόμενες από http://www.earth-auroville.com/views_of_earth_en.php
- Εικ.22,23: Gernot Minke, *Building with earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*, 2009, Birkhäuser – Publishers for Architecture, σελ.22,23 αντίστοιχα
- Εικ.24,25: Αρχείο Π. Σπυροπούλου
- Εικ.26: Hugo Houben and Hubert Guillaud, *Earth Construction – A comprehensive guide*, London 1994, ITDG Publishing, σελ.5
- Εικ.27: Bernard Rudofsky, *Architecture without architects: a short introduction to non-pedigreed architecture*, 1987, University of Mexico Press, κεφ. Troglodytism, εκ.16
- Εικ.28,29: Hugo Houben and Hubert Guillaud, *Earth Construction – A comprehensive guide*, London 1994, ITDG Publishing, σελ.167
- Εικ.30: <http://www.greenprophet.com/wp-content/uploads/2013/01/matmata-caves-tunisia.jpg>
- Εικ.31: <http://oi46.tinypic.com/wlewza.jpg>
- Εικ.32: http://1.bp.blogspot.com/-exB6hlyuU10/UAozg9irnEI/AAAAAAADQw/ITmD1mKHGGA/s640/cappadocia_kaymakli_underground_city_000771.jpg
- Εικ.33: https://encrypted-tbn3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTcPdFQ29Ctg2GltgYciTUabtely_8GMyF94WZmD9sSHL97XHtXeg
- Εικ.34,35: Hugo Houben and Hubert Guillaud, *Earth Construction – A comprehensive guide*, London 1994, ITDG Publishing, σελ.172
- Εικ.36: http://www.earth-auroville.com/maintenance/uploaded_pics/12-uruguay-cutting-sod.jpg
- Εικ.37: http://www.earth-auroville.com/maintenance/uploaded_pics/13-uruguay-house.jpg
- Εικ.38: http://www.earth-auroville.com/maintenance/uploaded_pics/1-burkina-faso-quarry.jpg
- Εικ.39: http://www.earth-auroville.com/maintenance/uploaded_pics/6-orissa-machine.jpg
- Εικ.40: http://www.earth-auroville.com/maintenance/uploaded_pics/7-orissa-cutting.jpg
- Εικ.41,44: Hugo Houben and Hubert Guillaud, *Earth Construction – A comprehensive guide*, London 1994, ITDG Publishing, σελ.181
- Εικ.42: <https://encrypted-tbn1.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTQz4Hir8YnONF6eQEKQX5bkY0gkZvbx15mGzSXXO7T3Hm9iHf>
- Εικ.43: http://www.earth-auroville.com/maintenance/uploaded_pics/30-niger-tambo-tubali.jpg
- Εικ.45: Gernot Minke, *Building with earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*, 2009, Birkhäuser – Publishers for Architecture, σελ.75
- Εικ.46: Hugo Houben and Hubert Guillaud, *Earth Construction – A comprehensive guide*, London 1994, ITDG Publishing, σελ.183
- Εικ.47: Αρχείο Ε. Αλεξάνδρου
- Εικ.48: <http://lh5.ggpht.com/-2Z3feylCOu4/STRpIPKERNl/AAAAAAAATU/sigIPQXrA8l/IGV1675.jpg>
- Εικ.49: https://encrypted-tbn3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRxcV2tsH_9dPncXhM8W0Q5JUs0TDo_feZ1C_OTLNg5p79uKpcZ
- Εικ.50: Pamela Jerome, Giacomo Chiari, Caterina Borelli, “The Architecture of Mud Construction and Repair Technology in the Hadhramaut Region of Yemen”, *APT Bulletin The Journal of Preservation Technology*, Volume XXX, No. 2-3, σελ.43 εκ.7 (φωτογραφία: Pamela Jerome)
- Εικ.51: Αρχείο Π. Σπυροπούλου
- Εικ.52,53: Hugo Houben and Hubert Guillaud, *Earth Construction – A comprehensive guide*, London 1994, ITDG Publishing, σελ.185

Εικ.54: http://www.earth-auroville.com/maintenance/uploaded_pics/16-new-mexico.jpg

Εικ.55: http://www.earth-auroville.com/maintenance/uploaded_pics/10-tibet.jpg

Εικ.56,57: Gernot Minke, *Building with earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*, 2009, Birkhäuser – Publishers for Architecture, σελ.64

Εικ.58: Gernot Minke, *Building with earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*, 2009, Birkhäuser – Publishers for Architecture, σελ. 52

Εικ.59,60: Gernot Minke, *Building with earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*, 2009, Birkhäuser – Publishers for Architecture, σελ.53

Εικ.61: Gernot Minke, *Building with earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*, 2009, Birkhäuser – Publishers for Architecture, σελ.54

Εικ.62: <http://lh4.ggpht.com/-CXOFtzNHf0/Sx07xU3BrVl/AAAAAAAAADxw/jap5Z18j7El/DSC08840%252520rammed%252520earth.jpg>

Εικ.63: http://www.earth-auroville.com/photos/6morocco_ramming.jpg

Εικ.64: <http://www.absolutechinatours.com/UploadFiles/ImageBase/toulou5.jpg>

Εικ.65: http://www.earth-auroville.com/photos/4china_vertical.jpg

Εικ.66,69: Hugo Houben and Hubert Guillaud, *Earth Construction – A comprehensive guide*, London 1994, ITDG Publishing, σελ.185

Εικ.67: http://www.earth-auroville.com/maintenance/uploaded_pics/04-new-zealand-poured.jpg

Εικ.68: http://www.earth-auroville.com/maintenance/uploaded_pics/02-new-zealand-poured.jpg (φωτογραφία: Milles Allen)

Εικ.70,71: Αρχείο Π. Σπυροπούλου

Εικ.72: http://architectureindevelopment.org/images/projects/68/615/f1/Mousgoum_dw_1.jpg

Εικ.73: <http://3dearthworkshopisticteuil.files.wordpress.com/2013/02/musgum10.jpg?w=545&h=736>

Εικ.74: Enrico Guidoni, *Primitive Architecture*, New York 1978, Harry N. Abrams Publishers, εκ.371

Εικ.75: http://www.earth-auroville.com/maintenance/uploaded_pics/1nigeria.jpg

Εικ.76,78: Hugo Houben and Hubert Guillaud, *Earth Construction – A comprehensive guide*, London 1994, ITDG Publishing, σελ.176

Εικ.77: http://farm5.static.flickr.com/4025/4304743152_21c3e21934.jpg (φωτογραφία: Raphael Bick)

Εικ.79: http://www.earth-auroville.com/maintenance/uploaded_pics/9togo.jpg

Εικ.80,81: Hugo Houben and Hubert Guillaud, *Earth Construction – A comprehensive guide*, London 1994, ITDG Publishing, σελ.183

Εικ.82,83: Gernot Minke, *Building with earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*, 2009, Birkhäuser – Publishers for Architecture, σελ.79

Εικ.84,85: Gernot Minke, *Building with earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*, 2009, Birkhäuser – Publishers for Architecture, σελ. 77

Εικ.86: Gernot Minke, *Building with earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*, 2009, Birkhäuser – Publishers for Architecture, σελ. 78

Εικ.87,93,95: Hugo Houben and Hubert Guillaud, *Earth Construction – A comprehensive guide*, London 1994, ITDG Publishing, σελ.170

Εικ.88: <http://www.earthbagbuilding.com/images/minke2.jpg>

Εικ.89: http://www.earth-auroville.com/maintenance/uploaded_pics/3filled_in_khalili.jpg

Εικ.90: http://www.akdn.org/images/programmes/akaa/zoom_akaa9_sandbag_1.jpg

Εικ.91,92: Αρχείο Π. Σπυροπούλου

Εικ.94: Gernot Minke, *Building with earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*, 2009, Birkhäuser – Publishers for Architecture, σελ.88

Εικ.96,101: Hugo Houben and Hubert Guillaud, *Earth Construction – A comprehensive guide*, London 1994, ITDG Publishing, σελ.171

Εικ.97: <http://bhudeva.org/wp-content/uploads/2012/04/earthship-tires.jpg>

Εικ.98: https://dpqe0zkrjo0ak.cloudfront.net/pfil/2402/New_retaining_wall_Feb2009_Grid7.jpg

Εικ.99: https://dpqe0zkrjo0ak.cloudfront.net/pfil/2402/ph_grid7_2402_14440.jpg

Εικ.100: https://dpqe0zkrjo0ak.cloudfront.net/pfil/2402/Art_Lab_Grid7.JPG

Εικ.102: http://www.earth-auroville.com/maintenance/uploaded_pics/1filled_in_germany.jpg

Εικ.103,104,105: Gernot Minke, *Building with earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*, 2009, Birkhäuser – Publishers for Architecture, σελ.147

Εικ.106,107,111: Hugo Houben and Hubert Guillaud, *Earth Construction – A comprehensive guide*, London 1994, ITDG Publishing, σελ.187

Εικ.108: http://www.earth-auroville.com/maintenance/uploaded_pics/02-germany-strawclay.jpg (φωτογραφία: H. Houben)

Εικ.109: http://www.earth-auroville.com/maintenance/uploaded_pics/01-belgium-filling-strawclay.jpg (φωτογραφία: F. Volhard)

Εικ.110: <http://www.paleotechnics.com/cottage%20pics/finished%20clay%20straw%20wall.jpg>

Εικ.112,113: Hugo Houben and Hubert Guillaud, *Earth Construction – A comprehensive guide*, London 1994, ITDG Publishing, σελ.188

Εικ.114,115,117: Gernot Minke, *Building with earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*, 2009, Birkhäuser – Publishers for Architecture, σελ. 82

Εικ.116: Hugo Houben and Hubert Guillaud, *Earth Construction – A comprehensive guide*, London 1994, ITDG Publishing, σελ. 189

Εικ.118,119: Αρχείο Π. Σπυροπούλου

Εικ.120: Ημερίδα «Χτιζοντας με πηλό», Παρουσίαση Γεωργίας Ζαχαροπούλου

Εικ.121: http://fc08.deviantart.net/fs70/i/2010/166/8/e/UNESCO_Globe_PARIS_by_ZINDOM.jpg

Εικ.122,123: Hugo Houben and Hubert Guillaud, *Earth Construction – A comprehensive guide*, London 1994, ITDG Publishing, σελ.168,169 αντίστοιχα

Εικ.124: http://www.lifo.gr/iframe/790/529/1/441646_The_Dune_House_by_William_Morgan_%E2%80%93Atlantic_Beach,_Florida.jpeg

Εικ.125: Gernot Minke, *Building with earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*, 2009, Birkhäuser – Publishers for Architecture, σελ. 108

Εικ.126: Gernot Minke, *Building with earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*, 2009, Birkhäuser – Publishers for Architecture, σελ. 72

Εικ.127: Αρχείο Π. Σπυροπούλου
Εικ.128: <http://architextsassociation.files.wordpress.com/2013/01/hassan-fathys-new-gourna.jpg?w=640>
Εικ.129: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/44/WMF_New_Gourna.ogv/800px-WMF_New_Gourna.ogv.jpg (Στιγμιότυπο από βίντεο Hassan Fathy's New Gourna Past-Present-Future, World Monuments Fund και Community Consortium)
Εικ.130: <http://www.earthstructures.co.uk/images/yemen.jpg> (Tim Dirven/Panos)
Εικ.131: <http://isceah.icomos.org/images/stories/history/1972.jpg>
Εικ.132: <http://www.esg.pt/versus/images/logos/isceah.png>
Εικ.133: <http://www.historicrammedearth.co.uk/ambel.jpg>
Εικ.134: http://farm5.staticflickr.com/4069/4533006140_4f28c24023_o.jpg (φωτογραφία: Omar al-Kaff)
Εικ.135: Google Earth επεξεργασμένο από Π. Σπυροπούλου και Ε. Τσακαλάκη
Εικ.136: <http://www.mcah.columbia.edu/tarimdb/mediafiles/ishshah/large/DSCN4020.jpg>
Εικ.137: <http://www.mcah.columbia.edu/tarimdb/mediafiles/ishshah/medium/DSCN5049.jpg>
Εικ.138: Σκίτσο Π. Σπυροπούλου βασισμένο σε αντίστοιχο σχεδιάγραμμα από <http://www.learn.columbia.edu/tarim/flash/main.htm>
Εικ.139: <http://www.mcah.columbia.edu/tarimdb/mediafiles/ishshah/large/DSCN3813.jpg>
Εικ.140: <http://www.mcah.columbia.edu/tarimdb/mediafiles/ishshah/large/DSCN3967.jpg>
Εικ.141: http://www.mcah.columbia.edu/tarimdb/mediafiles/ishshah_04/large/DSCN6006.jpg
Εικ.142: http://www.mcah.columbia.edu/tarimdb/mediafiles/ishshah_04/large/DSCN6661.jpg
Εικ.143: <http://www.mcah.columbia.edu/tarimdb/mediafiles/ishshah/large/DSCN3824.jpg>
Εικ.144,145,146,147,151: Αρχείο Yaqub Msaad
Εικ.148: http://www.mcah.columbia.edu/tarimdb/mediafiles/ishshah_04/large/DSCN6655.jpg
Εικ.149: <http://www.mcah.columbia.edu/tarimdb/mediafiles/ishshah/large/DSCN4213.jpg>
Εικ.150: http://www.mcah.columbia.edu/tarimdb/mediafiles/ishshah_04/large/DSCN6600.jpg
Εικ.152, 153, 154: Τσεκούρα Παναγιώτα, «Μελέτη ολοκλήρωσης ανάπλασης των ελεύθερων χώρων του ιστορικού κέντρου της Χάρμαινας», (<http://www.harmaina.gr/index.php/2011-04-03-19-04-55>)
Εικ.155, 156: <http://www.texnisenelladi.gr/index.php/enelladi.html>
Εικ.157: http://www.lehmtonerde.at/uploads/pictures-w300/treppenhaus_unten_netz.jpg
Εικ.158: http://www.johnwardlearchitects.com/resized-images/project-listing//projects/0107-x-Vineyard-House/1420_04_vineyard_house.jpg
Εικ.159: <http://ad009cdnb.archdaily.net/wp-content/uploads/2010/03/1267632044-metischool-001-kurt-hoerbst.jpg>
Εικ.160: <http://josegenao.files.wordpress.com/2006/12/school3aa.jpg?w=383&h=602>
Εικ.161: <http://www.designboom.com/cms/images/fiona02/earth013.jpg>
Εικ.162: <http://arch5541.files.wordpress.com/2012/09/1267632108-metischool-005-kurt-hoerbst-528x351.jpg?w=470&h=312>
Εικ.163: <http://www.rosenbaum.com.br/wp-content/uploads/2011/07/METI-Handmade-School-Rudrapur-Design-Interior-1-800x532.jpg>
Εικ.164: http://www.architektur.hoerbst.com/bangladesh/metischool/content/bin/images/large/Kurt.Hoerbst__052.jpg (φωτο: Kurt Hoerbst)
Εικ.165,166: Αρχείο Π. Σπυροπούλου
Εικ.167: Building with earth σελ.200
Εικ.168: <http://www.kapelle-versoehnung.de/bin/deutsch/dokumentation/1999.August.1/dia04.jpg>
Εικ.169: <http://www.kapelle-versoehnung.de/bin/deutsch/dokumentation/1999.August.4/dia01.jpg>
Εικ.170: <http://www.kapelle-versoehnung.de/bin/deutsch/dokumentation/1999.September.1/dia07.jpg>
Εικ.171: <http://www.kapelle-versoehnung.de/bin/deutsch/dokumentation/1999.September.2/dia13.jpg>
Εικ.172: <http://www.kapelle-versoehnung.de/bin/deutsch/dokumentation/1999.September.1/dia01.jpg>
Εικ.173: <http://www.kapelle-versoehnung.de/bin/deutsch/dokumentation/1999.Oktober.1/dia04.jpg>
Εικ.174, 175: <http://www.lehmtonerde.at/en/projects/project.php?pid=7> (φωτογραφίες: Beat Bühler, Martin Rauch)
Εικ.176: Dominique Gauzin - Müller, "House Rauch Ecological manifesto out of rammed earth", Σεμινάριο Lowtech – Hightech (Πανεπιστήμιο Στουτγάρδης 02/07/2012)
Εικ.177: <http://www.lehmtonerde.at/en/projects/project.php?pid=7> (φωτογραφία: Beat Bühler)
Εικ.178: <http://es.phaidon.com/agenda/architecture/articles/2012/october/31/martins-rauchs-mud-house/> (φωτογραφία: Beat Bühler)
Εικ.179, 180, 181: "Energy in Buildings 2012:Energy Efficiency of Rammed Earth", Διεθνές Συνέδριο – ASHRAE (Αθήνα 13/10/2012) http://www.ashrae.gr/Hellenic_Chapter-TEE_Energy_in_Buildings_2012-M_Rauch.pdf
Εικ.182: http://www.eco-caracol.com/_images/eco/_projets/01-moget-1.jpg
Εικ.183: http://www.eco-caracol.com/_images/eco/_projets/01-moget-7.JPG
Εικ.184: http://www.eco-caracol.com/_images/eco/_projets/01-moget-3.JPG
Εικ.185: http://www.eco-caracol.com/_images/eco/_projets/01-moget-2.JPG
Εικ.186: http://www.eco-caracol.com/_images/eco/_projets/01-riom-1.jpg
Εικ.187: http://www.eco-caracol.com/_images/eco/_projets/01-riom-3.JPG

Εικ.188: http://www.eco-caracol.com/_images/eco/_projets/01-riom-7.JPG
Εικ.189: http://agiosgeorgios-domokou.blogspot.gr/2011_02_01_archive.html
Εικ.190: <http://www.fatsimare.gr/kserete-oti/2012/05/27/ta-plinthoktista-spitia-ton-trikalon>
Εικ.191, 192, 193, 194, 195: http://www.piliko.gr/2011_palaiochora_tholos.html
Εικ.196: http://www.cob.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=110%3Aclay-museum-in-lesvos&catid=35%3Aprojects&Itemid=113&lang=el
Εικ.197, 198, 199, 200, 201: αρχείο Π. Σπυροπούλου
Εικ.202: <http://www.engoe.gr/wp-content/uploads/2013/06/Poster-Minke.pdf>