



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΟΜΗΣΗ ΜΕ ΦΥΣΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΣΤΗ ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Επιβλέπων Καθηγητής: Δημήτρης Τσακαλάκης
Επιμέλεια: Δημήτρης Κουδουνάκης



Χανιά, Μάρτιος 2021

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

A. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

B. ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΔΟΜΗΣΗΣ ΜΕ ΦΥΣΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

1. ΔΟΜΗΣΗ ΜΕ ΦΥΣΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

- a. Οικολογική Αρχιτεκτονική
- b. Βιωσιμότητα (Sustainability)
- c. Υλικά & Εφαρμογές

2. ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΔΟΜΗΣΗΣ ΜΕ ΦΥΣΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

- a. Πλιθιά (Adobe)
- b. Cob
- c. Κατασκευή με καυσόξυλα (Cordwood)
- d. Δομημένη- συμπιεσμένη γη (Pisé ή rammed earth ή χώμα σε καλούπια)
- e. Αχυρόσπιτα
- f. Άχυρο με πηλό (Vertical clay)
- g. Μέθοδοι Δόμησης με γαιόσακους (Earthbag)- Superadobe & Hyperadobe
- h. Ρευστή γη (Poured earth)

Γ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΔΟΜΗΣΗΣ ΜΕ ΦΥΣΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΣΕ ΣΧΟΛΕΙΟ ΣΤΗ ΔΥΤΙΚΗ ΑΦΡΙΚΗ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

- a. Ιστορικό υπόβαθρο
- b. Κλίμα
- c. Αρχιτεκτονικός χαρακτήρας της περιοχής
- d. Μορφές και υλικά
- e. Τοπογραφία

3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

- a. Δεδομένα σχεδίου
- b. Ανάπτυξη κεντρικής ιδέας
- c. Δομή, Υλικά, Τεχνολογία

4. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

- a. Χρονοδιάγραμμα κατασκευής και κόστος
- b. Τεχνική αξιολόγηση
- c. Χρήστες

Δ. ΣΥΓΚΡΙΣΗ - ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΦΥΣΙΚΗΣ ΔΟΜΗΣΗΣ

1. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

- a. Κριτήρια αξιολόγησης
- b. Αξιολόγηση Φυσικής Δόμησης

2. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΦΥΣΙΚΗΣ ΔΟΜΗΣΗΣ

Ε. ΕΠΙΛΟΓΟΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

ΣΤ. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

3. ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

4. ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

5. ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

Ζ. ΠΗΓΕΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

A. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα ερευνητική εργασία στοχεύει στην παρουσίαση και αξιολόγηση κατάλληλων, μη συμβατικών μεθόδων δόμησης που στοχεύουν σε μία ισορροπημένη σχέση μεταξύ του ανθρώπου, των αναγκών του και του πλανήτη. Μπορεί όμως ένας αρχιτέκτονας να παράξει σύγχρονη αρχιτεκτονική κάνοντας χρήση αυτών των μεθόδων; Την απάντηση θα την βρούμε μέσα από την παρουσίαση ενός χαρακτηριστικού παραδείγματος στο χωριό Γκάντο της Αφρικής από τον αρχιτέκτονα Diébédo Francis Kéré. Οι φυσικοί πόροι που μας παρέχονται είναι σημαντικό να χρησιμοποιούνται με σωστό τρόπο, ώστε να συμβάλλουν στην εξέλιξη τόσο των ανθρώπων όσο και των υπόλοιπων μορφών ζωής πάνω στη γη. Σκοπός και αναγκαιότητα είναι η αρμονική συμβίωση του ανθρώπου με το υπόλοιπο οικοσύστημα.

Η ανθρώπινη δραστηριότητα στις μέρες μας ασχολείται σε μεγάλο βαθμό με τη δόμηση και δυστυχώς επιβαρύνει αρκετά το φυσικό περιβάλλον. Αν σκεφτεί κανείς ότι πάνω από το 50% του πληθυσμού παγκοσμίως ζει κοντά σε αγροτικές περιοχές, καθώς επίσης και σε κτίρια με χαμηλό ύψος, είναι ιδιαίτερα εφικτή η χρήση φυσικών υλικών. Αν η δόμηση στραφεί στη χρήση υλικών με υψηλή μηχανική αλλά χαμηλής τεχνολογίας θα βελτιωθεί η ποιότητα ζωής των ανθρώπων και η ποιοτική τους σχέση με το περιβάλλον.

Η οικολογική δόμηση δεν είναι μία αυστηρά προκαθορισμένη αντίληψη. Είναι μία έννοια υπό συνεχή αλλαγή και επαναπροσδιορισμό. Στην ενεργειακή κρίση της δεκαετίας του 1970, η μηδενική κατανάλωση ενέργειας των κτιρίων ήταν η απάντηση. Όταν το πρόβλημα, αργότερα, διατυπώθηκε ως μία ριζοσπαστική κριτική στην αναπτυξιακή πολιτική της κοινωνίας, η απάντηση ήρθε από την βάση των κοινωνικών στρωμάτων με την μορφή των «eco-villages» και πειραματισμών με την τεχνολογία και την κοινωνική οργάνωση. Οι αρχές άρχισαν να ενδιαφέρονται για την αστική οικολογία, μόνο όταν άρχισαν να υπάρχουν επιχορηγήσεις από διάφορους φορείς είτε ιδιωτικούς, είτε δημόσιους.¹

¹ El Feky, Usama Mohamed Ahmed, (2006), *Toward applicable green architecture, an approach to colonize the desert in Egypt*, Eindhoven: Universiteitsdrukkerij, Technische Universiteit Eindhoven

B. ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΔΟΜΗΣΗΣ ΜΕ ΦΥΣΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

1. ΔΟΜΗΣΗ ΜΕ ΦΥΣΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Η Φυσική Δόμηση είναι ένας αρκετά νέος όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει μια δομική προσέγγιση προσανατολισμένη στη χρήση τοπικών, προσεκτικά επιλεγμένων και ανακυκλωμένων υλικών, απλών εργαλείων και τεχνικών. Αφορά οποιοδήποτε κατασκευαστικό σύστημα κτιρίων και άλλων δομών, το οποίο συμβάλλει στην κοινωνική και περιβαλλοντική βιωσιμότητα, στην αειφορία και στην αυτάρκεια, με απαραίτητη προϋπόθεση να πραγματοποιείται με φυσικά υλικά κατασκευής. Οι μέθοδοι και τεχνικές κατασκευής μπορεί να είναι παραδοσιακές, οι οποίες χρησιμοποιούνται εδώ και χιλιάδες χρόνια, είτε μπορεί να αποτελούν συνδυασμό παραδοσιακών και σύγχρονων ιδεών και τεχνολογιών.

Στη Φυσική Δόμηση χρησιμοποιούμε τοπικά φυσικά υλικά, ανθεκτικά, επαναχρησιμοποιούμενα και ανακυκλώσιμα. Αυτά, κατά κύριο λόγο, έχουν υποστεί ελάχιστη ή καθόλου βιομηχανική επεξεργασία και υπάρχουν σε πληθώρα στο γύρω περιβάλλον. Το χώμα αποτελεί το πιο σημαντικό υλικό δόμησης. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί με πολλές διαφορετικές τεχνικές και να αποκτήσει την αντίστοιχη σύσταση που απαιτείται. Ένα μεγάλο πλεονέκτημα του υλικού αυτού, είναι η αφθονία του στο περιβάλλον. Παράλληλα, οι πολλοί και διαφορετικοί τύποι χώματος μπορούν να εφαρμοστούν σε διαφορετικές τεχνικές Φυσικής Δόμησης.²

Κάθε τόπος έχει τα δικά του δομικά υλικά. Αυτά χρειάζονται ελάχιστη επεξεργασία και μεταφορά, με αποτέλεσμα το οικονομικό και περιβαλλοντικό κόστος να μην είναι αυξημένο. Κάποια υλικά, όπως το άχυρο και τα δέντρα είναι ανανεώσιμα. Παράλληλα, μερικά άλλα βρίσκονται σε αφθονία, όπως το χώμα και οι πέτρες. Επιπλέον, ένα εξίσου σημαντικό πλεονέκτημα στο να χτίζει κανείς

² Σακελλάρης Γ., (2017), *Τεχνικές Φυσικής Δόμησης*, ό.π.

<http://www.diktuo.org/wp/2017/12/28/%cf%84%ce%b5%cf%87%ce%bd%ce%b9%ce%ba%ce%ad%cf%82-%cf%86%cf%85%cf%83%ce%b9%ce%ba%ce%ae%cf%82-%ce%b4%cf%8c%ce%bc%ce%b7%cf%83%ce%b7%cf%82/>

με τοπικά φυσικά υλικά, είναι ότι το κτίριο εντάσσεται πλήρως με το περιβάλλον. Αυτή η αρμονία οφείλεται στο γεγονός ότι η Φυσική Δόμηση βασίζεται στην ανθρώπινη εργασία και λιγότερο στην τεχνολογία. Η φυσική δόμηση στηρίζεται στο κλίμα του τόπου, στη γεωμορφολογία και στην τοπική οικολογία, καθώς επίσης προσαρμόζεται στο εκάστοτε οικόπεδο και στους ανθρώπους που το κατασκευάζουν.³



Εικ.1: εφαρμογή φυσικής δόμησης, kindergarten

Κατά τη φάση της κατασκευής είναι σημαντικό να εξοικονομούνται πόροι και ενέργεια, καθώς επίσης και να διατηρούνται σταθερές οι συνθήκες διαβίωσης. Σε αυτό συμβάλλει η φυσική δόμηση σε συνδυασμό με τη βιοκλιματική αρχιτεκτονική, καθώς επιφέρουν τεράστια περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη. Τα φυσικά υλικά

³ <http://elsito.gr/index.php/environment/item/516-fisiki-domisi>

έχουν υποστεί μικρή ή καθόλου επεξεργασία σε αντίθεση με τα οικολογικά βιομηχανικά υλικά.⁴

Οι μέθοδοι που στηρίζονται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και στην εξοικονόμηση φυσικών πόρων, συμβάλλουν στο να επιτευχθεί η απαραίτητη θέρμανση και ψύξη του εκάστοτε κτιρίου. Συνηθίζεται επίσης να χρησιμοποιούνται ανακυκλώσιμα υλικά.

Απόρροια της Φυσικής Δόμησης, είναι η κατασκευή βιώσιμων – βιοκλιματικών κτιρίων, τα οποία χρειάζονται την ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας, τους ελάχιστους φυσικούς πόρους και τα λιγότερα χρήματα τόσο κατά τη φάση της κατασκευής όσο και μετέπειτα στη χρήση τους. Αντίθετα, με τις συμβατικές κατασκευές η χρήση του μπετού είναι ιδιαιτέρως αυξημένη. Το μπετόν ως υλικό επιδρά αρνητικά στο περιβάλλον κατά την παραγωγή του. Συνεπώς, με τη μείωση ή ακόμα καλύτερα και με την ελαχιστοποίηση της χρήσης του, αντιμετωπίζεται σε μεγάλο βαθμό το περιβαλλοντικό πρόβλημα.

Αντίστοιχο πρόβλημα αντιμετωπίζεται και με την εκτεταμένη χρήση του ξύλου. Μεγάλες εκτάσεις δασών αποψιλώνονται καθημερινά με το μεγαλύτερο ποσοστό να καταναλώνεται στις κατασκευές σπιτιών. Με τη Φυσική Δόμηση περιορίζεται το πρόβλημα αυτό, καθώς δεν είναι εκτεταμένη η χρήση του ξύλου.

⁴ Ρίζου Σ., (2017), *Βιοκλιματική και ενεργειακή διαχείριση κτιρίων*, Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης



Εικ.2: χρήση της μεθόδου cob σε ελληνικό σπίτι

Επιπρόσθετα, η δαπάνη σε ενέργεια είναι μικρότερη σε ένα σπίτι με Φυσική Δόμηση από ότι σε ένα συμβατικό. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η Φυσική Δόμηση βασίζεται στα φυσικά φαινόμενα, όπως στον ήλιο, στον άνεμο, αξιοποιώντας τα στο έπακρο, προκειμένου να επιτευχθούν υγιεινές συνθήκες διαβίωσης. Άλλωστε δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι τα φυσικά υλικά διαχειρίζονται με τον καλύτερο τρόπο τη θερμότητα. Ακολουθώντας αυτή τη φιλοσοφία εξοικονομούνται χρήματα. Η ποσότητα των απαιτούμενων υλικών είναι μικρή και ο μόνος περιοριστικός παράγοντας παραμένει ο αριθμός των εργατικών χεριών.⁵

Επομένως, ένας φτωχός μπορεί με τους δικούς του ανθρώπους, να κατασκευάσει την κατοικία του, σε σύντομο χρονικό διάστημα και με μικρό κόστος. Δυστυχώς τα τελευταία χρόνια οι πόλεμοι, ο υπερπληθυσμός, η παγκόσμια οικονομική κρίση έχουν αφήσει εκατομμύρια ανθρώπους άστεγους. Αν αυτοί μπορούσαν να αποκτήσουν

⁵ Σακελλάρης Γ., (2017), *Τεχνικές Φυσικής Δόμησης*, ό.π.

<http://www.diktuo.org/wp/2017/12/28/%cf%84%ce%b5%cf%87%ce%bd%ce%b9%ce%ba%ce%ad%cf%82-%cf%86%cf%85%cf%83%ce%b9%ce%ba%ce%ae%cf%82-%ce%b4%cf%8c%ce%bc%ce%b7%cf%83%ce%b7%cf%82/>

μια στοιχειώδη εκπαίδευση σχετικά με τη Φυσική Δόμηση και τους παρέχονταν μια μικρή οικονομική βοήθεια, θα ήταν εφικτό να κατασκευάσουν άμεσα και εύκολα το δικό τους σπίτι. Άλλωστε, εφαρμόζονται απλές κατασκευαστικές μέθοδοι που μπορούν να εφαρμοστούν από τον καθένα, χωρίς να απαιτείται κάποια εξειδίκευση.

Η εποχή που ζούμε χαρακτηρίζεται από την εξειδίκευση, με αποτέλεσμα να φοβόμαστε και να αμφιβάλλουμε αν μπορούμε να υλοποιήσουμε οτιδήποτε πέραν της ειδικότητάς μας. Ο άνθρωπος όμως έχει αποδείξει από τα πρώτα χρόνια της ύπαρξής του ότι είναι πολυπράγμων. Πραγματοποιούσε πάντα μόνος του ό,τι χρειαζόταν, χωρίς τη βοήθεια κάποιου ειδικού. Πιο συγκεκριμένα, συνηθιζόταν πριν από αρκετά χρόνια, να μαζεύονται πολλά άτομα από μία γειτονιά, προκειμένου να χτίσουν ένα σπίτι όλοι μαζί. Τότε βασίζονταν μόνο στην παράδοση και στην κοινή λογική για να πραγματοποιήσουν το οτιδήποτε. Πλέον στις μέρες μας, έχουμε αφθονία πληροφοριών και γνώσεων στις οποίες μπορούμε να βασιστούμε για να καλύψουμε τις ανάγκες μας, όπως να χτίσουμε μόνοι μας, το δικό μας ασφαλές και βιώσιμο σπίτι.

Η βασική ιδεολογία της φυσικής δόμησης σχετίζεται με την ελαχιστοποίηση των αρνητικών επιδράσεων που επιφέρουν τα συμβατικά κτίρια στο περιβάλλον, χωρίς να μειώνεται η υγιεινή, η άνεση και η αισθητική τους. Σύμφωνα με το Worldwatch Institute οι οικοδομικές κατασκευές καταναλώνουν το 40% της άμμου και των αδρανών υλικών που εξορύσσονται ετησίως, καθώς επίσης και το 25% του ξύλου που υλοτομείται το αντίστοιχο χρονικό διάστημα. Παράλληλα, οι κατασκευές αυτές απορροφούν το 40% της ενέργειας που παράγεται κάθε χρόνο και το 16% του υδάτινου αποθέματος.⁶

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση για παράδειγμα, η κατασκευή κτιρίων είναι υπεύθυνη για το 40% της κατανάλωσης ενέργειας και ολόκληρος ο κατασκευαστικός τομέας για το 40% των αποβλήτων που παράγονται.⁷ Αυτά βέβαια τα ποσοστά είναι διαφορετικά για κάθε χώρα.

⁶ Σαργέντης, Φοίβος Γ, (2005), *Δομικά υλικά και οικολογία*, Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

⁷ Γιαννακοπούλου, Τρισεύγενη, *Εισαγωγή στις βιώσιμες κατασκευές*, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, n.d.

Συγκεκριμένα στη χώρα μας, εκτιμάται ότι παράγονται ετησίως στα εργοτάξια πάνω από 200 εκατομμύρια τόνοι αποβλήτων. Από αυτά δυστυχώς μόνο το 25% μπορούν να ανακυκλωθούν.⁸

Από την άλλη πλευρά, τα ανανεώσιμα φυσικά υλικά αν δε διαταραχθεί η οικολογική ισορροπία, αναπαράγονται ακατάπαυστα με φυσικούς τρόπους. Είναι σημαντικό να υπολογίζεται η συχνότητα συγκομιδής τους και καλλιέργειάς τους, ώστε να μην ξεπερνά την ταχύτητα φυσιολογικής αναπαραγωγής τους. Επιπρόσθετα, τα υλικά που δεν είναι ανανεώσιμα αλλά ταυτόχρονα είναι και φυσικά, καθίσταται επιτακτική ανάγκη να χρησιμοποιούνται προσεκτικά προκειμένου να συνεχίσουν να υπάρχουν. Ακόμα, οι φυσικοί πόροι, παρόλου που για την ανθρώπινη κλίμακα φαίνονται ανεξάντλητοι, είναι προφανώς περιορισμένοι.⁹

Παράλληλα, με την εφαρμογή της φυσικής δόμησης, δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό, μέσα από την εκμετάλλευση του τοπικού κλίματος, του προσανατολισμού του κτιρίου, του φυσικού φωτισμού και αερισμού και επιδιώκεται η ελαχιστοποίηση των λειτουργικών δαπανών. Επιπλέον, η παραγόμενη ενέργεια είναι σημαντικό να διαχειρίζεται επί τόπου, όπως και η συλλογή και επαναχρησιμοποίηση του νερού και η επεξεργασία των λυμάτων. Απόρροια όλων αυτών είναι το μικρότερο οικολογικό αποτύπωμα στην περιοχή.¹⁰

⁸ Αδαμοπούλου, Ελένη, (2013), *Επίδραση του συνδυασμού τιμών των κυριότερων παραμέτρων του κτιριακού κελύφους στις συνθήκες θερμικής άνεσης κατά τους χειμερινούς μήνες*, Αθήνα: ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

⁹ Δημουδή Α., (2006), *Οικολογικά δομικά υλικά*, Ξάνθη: Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος

¹⁰ Ρίζου Σ., (2017), *Βιοκλιματική και ενεργειακή διαχείριση κτιρίων*, Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης



Εικ.3: σπίτι από πηλό στη Λάρισα

α. Οικολογική Αρχιτεκτονική

Οι πρακτικές οικολογικής αρχιτεκτονικής μειώνουν την χρήση των πόρων και της ρύπανσης, ενώ αυξάνουν την απόδοση του κάθε πόρου που χρησιμοποιείται. Η οικολογική δόμηση προστατεύει την υγεία του τόπου, αποκαθιστά ή βελτιώνει τα υποβαθμισμένα τοπία σε συνεργασία με φυσικές διεργασίες, και συμβάλλει στην περιφερειακή διατήρηση των βιοτόπων. Με αυτές τις παραμέτρους, οι οικολογικές κατασκευές τονώνουν μία σταθερή και διαφοροποιημένη τοπική οικονομία, βελτιώνουν την τοπική ποιότητα ζωής και δεν επιβαρύνουν την υγεία του ανθρώπου.¹¹

¹¹ El Feky, Usama Mohamed Ahmed, (2006), *Toward applicable green architecture, an approach to colonize the desert in Egypt*, Eindhoven: Universiteitsdrukkerij,

Σε αυτό το σημείο πρέπει να επισημάνουμε ότι στη δόμηση δεν είναι εφικτή η εφαρμογή περιβαλλοντολογικής προτεραιότητας εξ αρχής. Αρκεί όμως να ξεκινήσουν να εφαρμόζονται κάποιες οικολογικές λύσεις όπου αυτό είναι δυνατό. Για να εφαρμοστεί η περιβαλλοντολογική προτεραιότητα πρέπει να πληρούνται τρία κριτήρια. Πρώτον, η κοινωνική αντίληψη. Σύμφωνα με την άποψη που επικρατεί στις μέρες μας ένα δομημένο περιβάλλον οφείλει να παρέχει τις καλύτερες δυνατές ανέσεις, μακριά από το οικοσύστημα. Το δεύτερο κριτήριο αφορά την οικονομική αντίληψη. Αυτή, οραματίζεται την κατασκευή με εύκολο τρόπο και ταυτόχρονα με το μικρότερο δυνατό κόστος που χρειάζεται για να καλύψει τις ανάγκες της σύγχρονης κοινωνίας. Το τρίτο και τελευταίο κριτήριο σχετίζεται με την οικολογική αντίληψη. Αυτή στρέφεται γύρω από τη Βιώσιμη και την ομαλή διατήρηση της λειτουργίας της. Είναι όμως πιθανό να επιφέρει μεγάλα κόστη και να μη συνάδει με τις κοινωνικές αντιλήψεις.¹²

b. Βιωσιμότητα (Sustainability)

Η ιδέα της βιωσιμότητας στην κατασκευή, μαζί με άλλα περιβαλλοντικά κινήματα, έγινε γνωστή στις αρχές της δεκαετίας του '70. Ο πιο ευρέως αποδεκτός ορισμός της βιωσιμότητας φαίνεται να είναι αυτός που διατυπώθηκε το 1987 από την Παγκόσμια Επιτροπή για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη: «ικανοποιεί τις ανάγκες του παρόντος χωρίς να θέτει σε κίνδυνο τις ανάγκες των μελλοντικών γενεών να καλύψουν τις δικές τους ανάγκες».¹³

Technische Universiteit Eindhoven

¹² Σαργέντης, Φοίβος Γ, (2005), *Δομικά υλικά και οικολογία*, Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

¹³ El Feky, Usama Mohamed Ahmed, (2006), *Toward applicable green architecture, an approach to colonize the desert in Egypt*, Eindhoven: Universiteitsdrukkerij, Technische Universiteit Eindhoven

Η έννοια των Βιώσιμων Κατασκευών (Sustainable Construction) διαφέρει από χώρα σε χώρα ανάλογα με την ανάπτυξη της οικονομίας τους. Όσον αφορά τις πιο ανεπτυγμένες χώρες επιδιώκουν την αναβάθμιση των κατασκευών εφαρμόζοντας και αναπτύσσοντας νέες τεχνολογίες. Από την άλλη πλευρά, οι όχι και τόσο ανεπτυγμένες χώρες στρέφονται κυρίως στην βιωσιμότητα της οικονομίας και στην κοινωνική ισοκατανομή.

Παλαιότερα, στην κατασκευή προκειμένου να επιτευχθεί η βιωσιμότητα δινόταν έμφαση σε τεχνικά ζητήματα, όπως τα υλικά, η εξοικονόμηση ενέργειας, η μείωση των αρνητικών επιδράσεων στο περιβάλλον. Στις μέρες μας, αυτή επιδιώκεται μέσα από ζητήματα που δεν είναι τεχνικά, αλλά σχετίζονται με κοινωνικά και πολιτιστικά προβλήματα.¹⁴

Συμπεραίνουμε λοιπόν, ότι το κοινό στοιχείο ανάμεσα στην οικολογική αρχιτεκτονική και τη βιωσιμότητα αφορά σε θέματα σχετικά με την αναβάθμιση της ανθρώπινης άνεσης στο δομημένο περιβάλλον, με το ελάχιστο περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Η διαφορά τους έγκειται στη διαφορετική οικονομική πολιτική που ακολουθούν.

Από την μία πλευρά, η οικολογική αρχιτεκτονική χρησιμοποιεί πληθώρα πρακτικών, που στηρίζονται σε τεχνολογίες υψηλής αποδοτικότητας. Επειδή όμως δεν υπάρχουν ιδανικά υλικά, οι πρακτικές αυτές ενσωματώνουν μεγάλα ποσοστά ενέργειας κατά τη διάρκεια της παραγωγής τους, αυξάνοντας έτσι πολύ το κόστος της κατασκευής. Αυτό σημαίνει ότι είναι αναγκαία η ύπαρξη ενός μεγάλου αρχικού κεφαλαίου, πράγμα που στις μέρες μας είναι ιδιαίτερα δύσκολο.

Η βιωσιμότητα, από την άλλη πλευρά, υιοθετεί πιο εξειδικευμένες διαδικασίες με σκοπό να πετύχει ισορροπία σε όλα τα στάδια ζωής ενός κτιρίου, σε οικονομική, περιβαλλοντική και

¹⁴ Γιαννακοπούλου, Τρισεύγενη, *Εισαγωγή στις βιώσιμες κατασκευές*, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, n.d.

κοινωνική διάσταση. Αυτό καθιστά δύσκολη την επίτευξη της, καθώς εμπλέκονται πολλοί παράγοντες και πολλά διαφορετικά συμφέροντα.¹⁵



Εικ.4: Νεολιθικός οικισμός στο Δισπηλιό

γ. Υλικά & Εφαρμογές

Για να γίνει εφικτή μία οικολογική δόμηση, είναι αναγκαία η χρήση πρώτων υλών που θα βασίζονται σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ή πλούσια αποθέματα, με προϊόντα που είναι εύκολο να ανακυκλωθούν και οικονομικά στην εύρεσή τους, στην επεξεργασία και στην κατασκευή τους. Οι τοπικές πρώτες ύλες είναι μια ιδανική λύση για κάθε τόπο.

Ακόμα, πρέπει να δοθεί προτεραιότητα σε τεχνικές παραγωγής που καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια και πιο βιώσιμα υλικά, με

¹⁵ Ιγγλεζάκης Γ., Ασημάκης Ν., (2013), "Plethro" ένα νέο δομικό σύστημα από χώμα, Χανιά: Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών

μικρές αποστάσεις μεταφοράς. Επίσης, θα πρέπει να αποφευχθούν οι ρυπογόνες βιομηχανικές διαδικασίες και να μειωθούν στο ελάχιστο αυτές που βασίζονται σε ορυκτά καύσιμα.

Σημαντικά χαρακτηριστικά των πρώτων υλών που χρησιμοποιούνται είναι ότι συλλέγονται από τον χώρο της οικοδομής ή από κοντινή απόσταση και δεν χρειάζονται μεγάλη επεξεργασία. Επίσης, η παραγωγή των δομικών υλικών γίνεται στον χώρο της οικοδομής με χειροκίνητες ή μηχανοκίνητες διαδικασίες χαμηλής ενέργειας και το τελικό αποτέλεσμα είναι πλήρως ανακυκλώσιμο.

Ακόμα και στις μέρες μας, το μπαμπού αποτελεί το οικοδομικό υλικό με τη μεγαλύτερη διάδοση σε ολόκληρο τον κόσμο, με δεύτερο να έρχεται το χώμα. Μάλιστα πάνω από το 30% του πληθυσμού παγκοσμίως ζει σε κατοικίες από χώμα.¹⁶

Περίπου το 50% του πληθυσμού των αναπτυσσόμενων χωρών, συμπεριλαμβανομένων της πλειοψηφίας του αγροτικού πληθυσμού και τουλάχιστον το 20% του αστικού, ζουν σε χωμάτινες κατοικίες. Σε γενικές γραμμές, αυτού του τύπου οι κατασκευές έχουν χρησιμοποιηθεί κυρίως από αγροτικούς πληθυσμούς χαμηλού εισοδήματος.¹⁷

Τα πιο σημαντικά περιβαλλοντικά επιχειρήματα σχετικά με τη δόμηση με χώμα είναι ότι βασίζεται σε έναν άφθονο πόρο σχεδόν σε όλο το κόσμο, ο οποίος μπορεί μάλιστα να ανασκαφεί από το ίδιο το οικόπεδο. Ακόμα, απαιτείται λιγότερη ενέργεια από ότι σε κτίρια που κατασκευάζονται από σκυρόδεμα ή οπτόπλινθους. Χαρακτηρίζεται από μεγάλη διάρκεια ζωής αν εφαρμοστεί σωστά και βασίζεται σε απλές μεθόδους που επιτρέπουν τις "Do It Yourself" κατασκευές. Παράλληλα, παρέχει καλό κλίμα εσωτερικού χώρου, λόγω της ιδιότητάς του να ρυθμίζει τη θερμοκρασία και τα επίπεδα υγρασίας. Τέλος, τα άψητα κυρίως υλικά του χώματος, έχουν τη δυνατότητα να επιστραφούν εύκολα στη φύση.

¹⁶ Berge, Bjorn, (2009), *The ecology of building materials*, Translated by Chris Butters and Filip Henley, Italy: Architectural press

¹⁷ Blondet, Marcial, Gladys Villa Garcia, Svetlana Brzen, (2003), *Earthquake-resistant construction of adobe buildings: A tutorial*, Oakland: EERI/IAEE World Housing Encyclopedia



Εικ.5: κατοικία από cob

Το χώμα που χρησιμοποιείται για δόμηση πρέπει να περιέχει όσο το δυνατόν λιγότερη οργανική ύλη. Κάτω από βάθος 60 εκ. δεν εμφανίζεται οργανική ύλη. Ακόμα, θα πρέπει να έχει καλή συνοχή, καλή θλιπτική αντοχή και χαμηλή διάχυση της υγρασίας. Η πλέον κατάλληλη γη βρίσκεται σε παραθαλάσσιες περιοχές, όπου το μέγεθος του κόκκου είναι κατάλληλο και η αναλογία του αργίλου στη γη είναι εντός των ορίων των 10-50%.¹⁸

¹⁸ Berge, Bjorn, (2009), *The ecology of building materials*, Translated by Chris Butters and Filip Henley, Italy: Architectural press

Ιδιαίτερα προσεκτικός πρέπει να είναι ο σχεδιασμός των κατασκευών από χώμα, όσον αφορά το νερό, προκειμένου να αποφευχθούν προβλήματα υγρασίας, όπως της ανερχόμενης υγρασίας. Συνήθως το νερό δεν διαπερνά ένα οριζόντιο στρώμα γης που υπερβαίνει τα 50εκ. βάθος, καθώς επίσης το χώμα που περιέχει μεγάλη ποσότητα αργίλου είναι αδιάβροχο ακόμα και σε λεπτότερα στρώματα. Επιπλέον, οι κατασκευές από χώμα έχουν ενδιαφέρουσες κλιματολογικές πτυχές, όσον αφορά ιδίως την εξισορρόπηση της θερμοκρασίας και της υγρασίας του εσωτερικού και του εξωτερικού περιβάλλοντος. Αυτή η ιδιότητα επιτρέπει συνθήκες άνεσης κρατώντας την υγρασία του χώρου σταθερή.¹⁹

Η θερμομονωτική ικανότητα του χώματος δεν είναι ιδανική. Αν προστεθούν σε αυτό οργανικές ίνες ή διογκωμένος πηλός βελτιώνεται η θερμομόνωση. Ακόμα, αυτό επιτυγχάνεται με τη προσθήκη κάποιας πορώδους ουσίας, όπως διογκωμένος περλίτης, ελαφρόπετρα, πριονίδια, φελλός και άχυρα. Το ίδιο ισχύει, όπως και με τα περισσότερα υλικά, αν δημιουργηθεί ένα αρκετά παχύ στρώμα.

Ένα ακόμα βασικό χαρακτηριστικό του χώματος ως δομικό υλικό, είναι η ηχομονωτική του συμπεριφορά. Αν τοποθετηθεί ανάμεσα στα δοκάρια του πατώματος ή της στέγης, παρέχει ηχομόνωση στον εσωτερικό χώρο. Ακόμα, όλα τα υλικά που περιέχουν χώμα, είναι πυράντοχα.²⁰

Σχετικά με τα μηχανικά χαρακτηριστικά του χώματος, η αντισεισμική του συμπεριφορά μπορεί να βελτιωθεί αρκετά με την προσθήκη κάθετων και οριζόντιων οπλισμών, συνήθως από ξύλινα στοιχεία. Δυστυχώς όμως, έχει αρκετά χαμηλή αντοχή σε θλίψη και αυτό περιορίζει την κατασκευή. Η αύξηση του πάχους των τοίχων αντισταθμίζει ως ένα βαθμό αυτό το πρόβλημα.²¹

¹⁹ Minke, Gernot, (2006), *Building with earth: Design and technology of a sustainable architecture*, Basel: Birkhäuser

²⁰ Ιγγλεζάκης Γ., Ασημάκης Ν., (2013), "Plethro" ένα νέο δομικό σύστημα από χώμα, Χανιά: Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών

²¹ Guillaud, Hubert, Thierry Joffroy, Pascal Odul, CRATerre-EAG, (1995), *Compressed earth blocks: manual of design and construction*, Eschborn: Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien - GATE

Κατά τη διάρκεια της κατασκευής, είναι επίσης σημαντικό, ότι δεν επιβαρύνεται σε μεγάλο βαθμό το περιβάλλον, καθώς δεν υπάρχουν διαδικασίες καύσης και χημικές επεξεργασίες. Σε περίπτωση που η παραγωγή των πλίνθων δεν γίνεται στην τοποθεσία της κατασκευής του κτιρίου, τότε αυξάνεται αρκετά το κόστος μεταφοράς, λόγω του μεγάλου βάρους του χώματος. Ένας τρόπος για να μειωθεί το βάρος των πλίνθων, είναι η δημιουργία οπών ή η πρόσμιξη με άχυρο. Ακόμα, όλα τα υλικά δόμησης από χώμα, από την εξόρυξη μέχρι την απόρριψη, θεωρούνται οικολογικά και ανακυκλώσιμα. Τέλος, η κατασκευή αυτή απαιτεί υψηλής έντασης εργασία και είναι αρκετά χρονοβόρα. Στις ανεπτυγμένες χώρες η χειρωνακτική εργασία είναι ακριβή, με αποτέλεσμα η δόμηση με χώμα να έχει γίνει οικονομικά ασύμφορη.²²

Κάποια ακόμα συνηθισμένα υλικά στις μεθόδους φυσικής δόμησης είναι ο πηλός και η άμμος. Αυτά μπορούν να αναμειχθούν με νερό και ίνες, συνήθως άχυρο, ώστε να προκύψει ένα μείγμα που μπορεί να πάρει τη μορφή μπάλας ή πλιθιού. Επιπλέον υλικά που συνηθίζουν να τα χρησιμοποιούν σε κατασκευαστικές τεχνικές είναι η πέτρα στη λιθοδομή, στην τεχνική cordwood ξεροί κορμοί ή βιομηχανικό ξύλο και άχυρο στις αντίστοιχες κατασκευές. Όσον αφορά υλικά που χρησιμοποιούνται ξανά ή ανακυκλώνονται και συνηθίζεται η εφαρμογή τους στη φυσική δόμηση, είναι κομμάτια σκυροδέματος, πεταμένα μπουκάλια, λάστιχα, ανακυκλωμένο γυαλί, χαρτί από συσκευασίες. Κάποιες φορές χρησιμοποιούνται και άλλα υλικά σε μικρές ποσότητες, στα πλαίσια πάντα της αειφορίας, όπως ο ασβέστης, η ελαφρόπετρα, η καζεΐνη, η γλουτένη, ο περλίτης, η ποζολάνη, ο πολτός από φύλλα θάμνων, η σκωρία, τα μαλλιά κατσικιών, κ.α.

Πολλοί επαγγελματίες που ακολουθούν την οικοδόμηση με φυσικά υλικά δεν χρησιμοποιούν πλέον αρκετά υλικά, λόγω των αρνητικών επιπτώσεων που αυτά επιφέρουν στο περιβάλλον και στην υγεία τους. Αυτά περιλαμβάνουν τη βιομηχανική ξυλεία, όπως το mdf, το νοβοπάν, τις μοριοσανίδες. Ακόμα, το τσιμέντο Portland, τα τοξικά συντηρητικά ξύλου, ορισμένα πλαστικά, το

²² Berge, Bjorn, (2009), *The ecology of building materials*, Translated by Chris Butters and Filip Henley, Italy: Architectural press

πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC ή «βινύλιο»), τα χρώματα και επιχρίσματα που αποτελούνται από ρητίνες με πτητικές οργανικές ενώσεις και τέλος αυτά που περιέχουν επιβλαβείς πλαστικοποιητές ή ορμονικής δράσης σκευάσματα.²³



Εικ. 6: κατοικία στη Λάρισα από πηλό

²³ Σακελλάρης Γ., (2017), *Τεχνικές Φυσικής Δόμησης*, ό.π.

<http://www.diktuo.org/wp/2017/12/28/%cf%84%ce%b5%cf%87%ce%bd%ce%b9%ce%ba%ce%ad%cf%82-%cf%86%cf%85%cf%83%ce%b9%ce%ba%ce%ae%cf%82-%ce%b4%cf%8c%ce%bc%ce%b7%cf%83%ce%b7%cf%82/>

2. ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΔΟΜΗΣΗΣ ΜΕ ΦΥΣΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Κάποιες παραδοσιακές μέθοδοι της φυσικής δόμησης, όπως επίσης τεχνικές και υλικά, αναβιώνουν στις μέρες μας. Η προτίμηση και η εφαρμογή τους όμως διαφέρει από χώρα σε χώρα.

Η δόμηση με χώμα πιθανολογείται πως χρησιμοποιείται για πάνω από 10.000 χρόνια. Οι παλαιότερες πλιθιές που βρέθηκαν, αποξηραμένες στον ήλιο, προέρχονται από μια περιοχή που βρίσκεται στην άνω λεκάνη του Τίγρη, και χρονολογούνται από το 7500πχ. Σε τάφο στη Γκίζα της Αιγύπτου υπάρχουν ίχνη ωμόπλινθων ηλικίας 5000 ετών. Η δόμηση με χώμα, στην κεντρική Ευρώπη, άκμασε από το τέλος του δέκατου όγδοου αιώνα και συνεχίστηκε μέχρι τα τέλη του δέκατου ένατου αιώνα.²⁴

a. Πλιθιά (Adobe)

Το πλιθί ή Adobe, αποτελεί μία από τις πιο παλιές μεθόδους δόμησης κτιρίων. Πρόκειται για ένα μείγμα αργιλοχώματος, άμμου και νερού. Κάποιες φορές όταν χρειάζεται μεγαλύτερη ενίσχυση προστίθεται κομμένο άχυρο, άλλες ίνες ή κασικότριχα. Αφού αναμιχθεί μπαίνει σε καλούπια, τα οποία στεγνώνουν από τον ήλιο ή συμπιέζονται σε χειροκίνητη ή υδραυλική πρέσα. Τα καλούπια που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι ξύλινα ή μεταλλικά. Η χρήση των μεταλλικών είναι πιο σωστή, καθώς ξεκαλουπώνονται ευκολότερα. Συνηθίζεται να παίρνει τη μορφή παραλληλεπίπεδων τούβλων, τα οποία τοποθετούνται σε παλέτες και στη συνέχεια χτίζονται όπως τα ψημένα τούβλα, με διαστάσεις που δεν ξεπερνούν συνήθως τα 40x20x10εκ. Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι μπορεί να επιταχύνει τη διάρκεια της κατασκευής. Οι πλίνθοι μπορούν να παραχθούν οποιαδήποτε στιγμή και να αποθηκευτούν μέχρι να ξεκινήσει η κατασκευή. Η κατασκευή είναι καλό να γίνεται κατά τη διάρκεια της άνοιξης ή του καλοκαιριού, προκειμένου να έχουν στεγνώσει οι αρμοί πριν την εφαρμογή της εξωτερικής επίστρωσης.

²⁴ Ιγγλεζάκης Γ., Ασημάκης Ν., (2013), "Plethro" ένα νέο δομικό σύστημα από χώμα, Χανιά: Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών

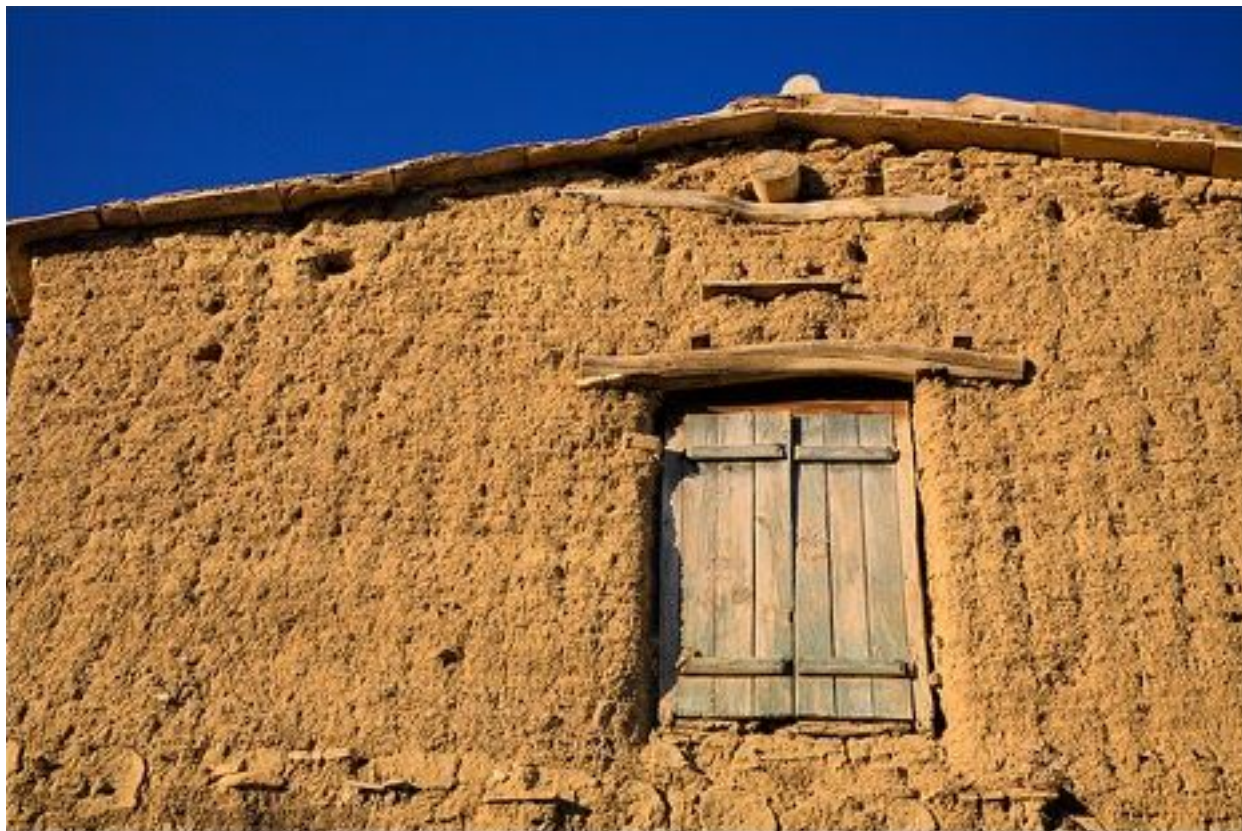


Εικ.7,8: κατασκευή με τη μέθοδο adobe, Σάντα Φε, Νέο Μεξικό

Όσον αφορά τις ιδανικές αναλογίες χώματος και άμμου, ποικίλλουν. Το χώμα που θα χρησιμοποιηθεί στα πλιθιά καλό είναι να περιέχει πηλό σε ποσοστό 20-30%, ώστε να δέσει καλά. Το υπόλοιπο αποτελείται κυρίως από άμμο και μικρά χαλίκια. Αν προστεθεί περισσότερος πηλός, τότε το μείγμα θα συρρικνωθεί υπερβολικά με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν ρωγμές. Αντίθετα, αν η ποσότητα είναι λιγότερη από αυτή που πρέπει, θα είναι σαθρό καθώς θα υπάρχει τριβή. Προκειμένου να σταθεροποιηθεί καλύτερα το χώμα, προστίθεται συχνά λίγο τσιμέντο ή σκόνη ασβέστη σε ποσοστό 5-10%. Στη συνέχεια για να αντέχει περισσότερο στις καιρικές μεταβολές, είναι δυνατόν να τοποθετηθεί ασφαλικό γαλάκτωμα ή κόπρανα από ζώα. Τα πλιθιά μπορούν επίσης να σχηματίσουν ανθεκτικό και όμορφο πάτωμα αν χρωματιστούν ή γυαλιστούν με φυσικό λάδι και στη συνέχεια να διαμορφωθούν σε πλάκες.

Προκειμένου να προστατευτούν οι τοιχοποιίες και να μειωθεί η ανάγκη συντήρησής τους, προστίθεται στα πλινθόκτιστα κτίσματα ένα μεγάλο γείσο κάτω από τη σκεπή, το οποίο προεξέχει από την τοιχοποιία. Επίσης, δημιουργούνται λιθόκτιστες βάσεις σε ύψος 25-30 εκ πάνω από το έδαφος. Οι τοίχοι από πλιθιά γίνεται να επιχριστούν με φυσικό χωμάτινο σοβά, με απλό ασβεστοκονίαμα ή με χώμα που έχει σταθεροποιηθεί με ασβέστη. Στο ασβεστοκονίαμα, το οποίο συμβάλλει τόσο αισθητικά όσο και για προστασία, η δοσολογία άμμου και ασβέστη είναι 3 προς 1 ή 4 προς 1. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι πλινθόκτιστοι τοίχοι έχουν μεγάλη θερμική μάζα, με αποτέλεσμα να μεταδίδουν αργά τη ζέστη και το κρύο. Από την άλλη πλευρά όμως, δεν αποτελούν ιδιαίτερα καλό μονωτικό υλικό και επομένως απαιτείται η προσθήκη μόνωσης στην εξωτερική πλευρά ή αλλιώς το χτίσιμο ενός διπλού τοίχου με κενό ή μόνωση στη μέση. Οι παραδοσιακές κατοικίες που κατασκευάστηκαν από πλιθιά και έχουν πλατιά τοιχοποιία χωρίς κάποιο είδος μόνωσης, αποδίδουν καλύτερα σε μέρη όπου δεν έχουν έντονους χειμώνες ή σε μέρη όπου η ηλιοφάνεια είναι καθημερινή τους ψυχρούς μήνες. Όταν έχουν σωστά επιχρίσματα τα πλιθιά κτίρια, τότε χρειάζονται λιγότερη συντήρηση από ότι τα εκτεθειμένα. Κάποια παλιά πλιθιά κτίσματα, προκειμένου να προστατευθούν, επικαλύφθηκαν εξωτερικά με τσιμέντο. Το τσιμέντο όμως, εμποδίζει τη διαπνοή, με αποτέλεσμα να μην αφήνει το νερό της βροχής να εξατμιστεί εύκολα

αν διαπεράσει από κάποια σχισμή του. Έτσι λοιπόν, η μέθοδος αυτή έχει αποτύχει εντελώς, αφού σαν αποτέλεσμα έχει το σκάσιμο του σοβά.²⁵



Εικ.9: κατασκευή με πλιθιά

Οι συμπιεσμένοι πλίνθοι (Compressed earth blocks) έχουν ως χαρακτηριστικό τη μικρή συρρίκνωση και την εύκολη παραγωγή τους που γίνεται με χειροκίνητες ή μηχανοκίνητες πρέσες, με πιο γρήγορο ρυθμό από άλλες τεχνικές. Γι' αυτούς τους λόγους αποτελεί μία μέθοδο που επιλέγεται εύκολα και πλεονεκτεί σε σχέση με τη Δομημένη-Συμπιεσμένη γη (Pise) που θα αναλυθεί στη συνέχεια. Η περιεκτικότητα του μείγματος σε νερό είναι σε τέτοιο

²⁵ Σακελλάρης Γ., (2017), *Τεχνικές Φυσικής Δόμησης*, ό.π.

<http://www.diktuo.org/wp/2017/12/28/%cf%84%ce%b5%cf%87%ce%bd%ce%b9%ce%ba%ce%ad%cf%82-%cf%86%cf%85%cf%83%ce%b9%ce%ba%ce%ae%cf%82-%ce%b4%cf%8c%ce%bc%ce%b7%cf%83%ce%b7%cf%82/>

βαθμό, ώστε η συρρίκνωση μετά την ξήρανση να είναι σε επιθυμητά επίπεδα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, η εξωτερική τους επιφάνεια να είναι πιο λεία από τις πλιθιές. Οι διαστάσεις τους είναι συνήθως 30x15x9 και έχουν αυξημένο βάρος σε σχέση με τις πλιθιές.²⁶



Εικ.10: καλούπια για το σχηματισμό συμπιεσμένων πλίνθων

Οι συμπιεσμένοι πλίνθοι είναι μία τεχνική που έχει αναπτυχθεί πρόσφατα και δεν είναι τόσο διαδεδομένη. Είναι η πιο τυποποιημένη τεχνική που υπάρχει μέχρι στιγμής, καθώς η κατασκευή της εξαρτάται από μηχανή.

²⁶ Guillaud, Hubert, Thierry Joffroy, Pascal Odul, CRATerre-EAG, (1995), *Compressed earth blocks: manual of design and construction*, Eschborn: Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien - GATE

b. Cob

Ο όρος cob περιγράφει ένα σύστημα δόμησης που χαρακτηρίζεται από μονολιθικότητα. Αποτελεί μείγμα από πηλό, άμμο και άχυρο. Έχει τις ρίζες της από μία παλαιά αγγλική λέξη που σήμαινε σβώλος. Στο σύστημα αυτό, δεν χρησιμοποιείται κάποιος ξύλινος σκελετός ή διαμορφωμένα τούβλα, αλλά χτίζεται πάνω σε ένα απλό θεμέλιο.



Εικ.11: παράδειγμα δόμησης με cob

Σε πολλά μέρη του κόσμου εδώ και αιώνες έχουν εφαρμοστεί πολλές μορφές και σχήματα "λάσπης" και τους έχουν αποδοθεί διάφορες ονομασίες, καθώς αποτελεί έναν από τους πιο παλιούς τρόπους δόμησης με γήινα υλικά. Στην τεχνική αυτή χρησιμοποιείται το ανθρώπινο σώμα, χέρια και πόδια, ώστε να δημιουργηθεί το επιθυμητό σχήμα. Οι μάζες που σχηματίζονται τοποθετούνται η μία πάνω στην άλλη με αποτέλεσμα τη δημιουργία μονολιθικής κατασκευής με μεγάλη σταθερότητα.²⁷

²⁷ Σακελλάρης Γ., (2017), *Τεχνικές Φυσικής Δόμησης*, ό.π.

<http://www.diktuo.org/wp/2017/12/28/%cf%84%ce%b5%cf%87%ce%bd%ce%b9%ce%ba%ce%ad%cf%82-%cf%86%cf%85%cf%83%ce%b9%ce%ba%ce%ae%cf%82-%ce%b4%cf%8c%ce%bc%ce%b7%cf%83%ce%b7%cf%82/>



Εικ.12,13: διαδικασία χτισίματος με τη βοήθεια του ανθρώπινου σώματος



Εικ.14: δημιουργία μείγματος από πηλό, άμμο και άχυρο

Πιο συγκεκριμένα, το διαμορφωμένο μείγμα όσο είναι ακόμα υγρό, τοποθετείται με τα χέρια στα πέτρινα θεμέλια, χωρίς τη βοήθεια κάποιου εργαλείου ή καλουπιού. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέχρι να σχηματιστεί μία ενιαία στρώση και έπειτα είναι σημαντικό να μείνει άθικτο μέχρι να γίνει στεγνό και στερεό. Έτσι, θα μπορεί να δεχθεί την επόμενη στρώση. Το ίδιο γίνεται διαδοχικά ως το τέλος της επιθυμητής τοιχοποιίας. Το πάχος τους κυμαίνεται από 40 έως 60 εκ. Μια συνταγή σχετικά γενική, περιλαμβάνει 1-2 μέρη χώμα, 3 μέρη άμμο οικοδομής ή ποταμίσια και αρκετό άχυρο ή κατσικότριχα. Η αναλογία σε χώμα και άμμο είναι περίπου 1:3, αλλά η αναλογία αυτή μεταβάλλεται σύμφωνα με τη σύσταση που έχει το χώμα σε άμμο και άργιλο. Η σύσταση αυτή του χώματος καθορίζεται με συγκεκριμένα τεστ. Το χώμα που θα τοποθετηθεί σε μείγματα cob επιβάλλεται να αποτελείται από 25-45% πηλό, προκειμένου να είναι κατάλληλο.²⁸



Εικ.15: διαμόρφωση μαζών με τα χέρια, χωρίς τη χρήση εργαλείων

²⁸ Ρίζου Σ., (2017), *Βιοκλιματική και ενεργειακή διαχείριση κτιρίων*, Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Εδώ και χιλιάδες χρόνια χρησιμοποιείται το cob ακόμα και στις δύσκολες κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στην Αγγλία. Συγκεκριμένα, από το 13ο αιώνα κατοικούνταν πολλές άνετες και γραφικές κατοικίες της Αγγλίας αποκτώντας μεγάλη εμπορική αξία. Στις μέρες μας έχουν αρχίσει να αναβιώνουν ξανά. Τα πλεονεκτήματα της κατασκευής με Cob είναι το γεγονός ότι αποτελεί μία από τις πιο απλές και λιγότερο ακριβές τεχνικές κατασκευής. Παράλληλα, παρέχει μεγάλη πλαστικότητα και ευελιξία στις μορφές, καθώς μπορεί πολύ εύκολα να μεταποιηθεί. Αρνητικό στοιχείο της κατασκευής με Cob είναι η αυξημένη εργασία που απαιτείται. Τα μείγματα αυτά μπορούν ακόμα να χρησιμοποιηθούν σαν επίχρισμα πλήρωσης ή εξομάλυνσης σε άλλες τεχνικές φυσικής δόμησης, όπως το cordwood, το Adobe, οι γαιόσακοι και οι αχυρόμπαλες. Το κύριο χαρακτηριστικό του cob και η βασική του διαφορά σε σχέση με το κτίσιμο με πλίνθους, είναι η ευκολία και η ελευθερία του σχεδιασμού και της κατασκευής. Το υλικό οδηγεί στη δημιουργία οργανικών σχημάτων, όπως καμπύλες, θόλοι, αψίδες, αφού δεν απαιτούνται ίσιες φόρμες και καλούπια. Τέλος, το Cob πλεονεκτεί στη συνοχή και στη στιβαρότητα σε σχέση με τα πλιθιά, αφού συμπεριφέρεται μονολιθικά. Μειονεκτεί όμως στην ταχύτητα κατασκευής.²⁹



Εικ.16: ευκολία και ελευθερία στην κατασκευή

²⁹ <http://elsito.gr/index.php/environment/item/516-fisiki-domisi>

Η εμπειρία της γλυπτικής με πηλό μοιάζει αρκετά με το χτίσιμο με Cob. Τα σπίτια που ακολουθούν αυτή τη μέθοδο φυσικής δόμησης, παραμένουν το καλοκαίρι δροσερά και το χειμώνα ζεστά. Παρουσιάζουν μεγάλη ανθεκτικότητα σε ποικιλία περιβαλλοντικών συνθηκών, η οποία τα καθιστά άνετα και βιώσιμα ακόμα και στα πιο κρύα περιβάλλοντα, καθώς επίσης και σε θερμές συνθήκες που παρουσιάζονται σε ερήμους. Οι τοιχοποιίες λόγω του μεγάλου πάχους τους, 40-60 εκ, έχουν μεγάλη θερμική μάζα και επαρκή μόνωση. Η μόνωση που παρέχουν είναι κατάλληλη για παθητικά συστήματα θέρμανσης. Κατά κύριο λόγο, χρειάζεται λίγη επιπλέον θέρμανση κατά τους χειμερινούς μήνες και καθόλου ψύξη τις θερμές καλοκαιρινές ημέρες.³⁰



Εικ. 17: απλή και οικονομική τεχνική δόμησης

³⁰ Σακελλάρης Γ., (2017), *Τεχνικές Φυσικής Δόμησης*, ό.π.

<http://www.diktuo.org/wp/2017/12/28/%cf%84%ce%b5%cf%87%ce%bd%ce%b9%ce%ba%ce%ad%cf%82-%cf%86%cf%85%cf%83%ce%b9%ce%ba%ce%ae%cf%82-%ce%b4%cf%8c%ce%bc%ce%b7%cf%83%ce%b7%cf%82/>

Η χρήση του cob εμφανίστηκε ξανά στην Αμερική και η δημοσιότητά του αυξάνεται συνεχώς. Σε αυτό οφείλονται τα πολλά πλεονεκτήματα που έχει, τα μικρά οικονομικά φορτία που επιφέρει στον ιδιοκτήτη και στον κατασκευαστή, όπως επίσης και η αποφυγή δεσμεύσεων που επιφέρει η αγορά μιας κατοικίας.



Εικ.18, 19: φάσεις κατασκευής κτίσματος από cob



Εικ.20: Τελική μορφή κτίσματος

Το Cob όπως έχει ήδη αναφερθεί, χαρακτηρίζεται από ποικίλα θετικά στοιχεία που το καθιστούν ένα από τα πιο σημαντικά συστήματα φυσικής δόμησης. Πιο αναλυτικά, παρουσιάζει τη μεγαλύτερη διαπνοή από ότι τα υπόλοιπα υλικά δόμησης. Απόρροια αυτού είναι η μείωση της υγρασίας μέσα στα κτίσματα. Ακόμα, η αυξημένη θερμική μάζα και μόνωση, συμβάλλει στο να αποθηκεύεται η θερμότητα και να αποδίδεται σιγά σιγά. Ιδιαίτερα σημαντικό είναι το γεγονός ότι εξισορροπείται η θερμοκρασία, προκειμένου τα σπίτια να παραμένουν ζεστά το χειμώνα και δροσερά το καλοκαίρι. Είναι ιδανικό στη βιοκλιματική αρχιτεκτονική, στα παθητικά σπίτια και στις τεχνικές εξοικονόμησης ενέργειας. ³¹

³¹ Ρίζου Σ., (2017), *Βιοκλιματική και ενεργειακή διαχείριση κτιρίων*, Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης



Εικ.21: ανθεκτικές κατασκευές φυσικής δόμησης

Ακόμα, είναι ιδιαίτερα σημαντικό το γεγονός ότι δεν προκαλεί μόλυνση, ούτε επιβαρύνει διαφορετικά το περιβάλλον. Χαρακτηριστικό είναι ότι απαιτείται ελάχιστη ενέργεια για να χτιστεί. Η ενέργεια αντιστοιχεί μόλις στο 1-2% αυτής που χρειάζεται για την παραγωγή, τη μεταφορά και την εφαρμογή των τούβλων ή του σκυροδέματος μιας συμβατικής κατοικίας. Αποτελεί ανακυκλώσιμο υλικό, συμβατό απόλυτα με τη φύση, καθώς τα υλικά από τα οποία αποτελείται βρίσκονται σε αφθονία και υπάρχουν στη γύρω περιοχή του κτίσματος. Επιπρόσθετα, είναι ιδανικό για ιδιοκατασκευή και συλλογική εργασία. Τέλος, οι κατασκευές που δημιουργούνται είναι ιδιαίτερα ανθεκτικές για τεχνική κατασκευής με χώμα. Είναι μονολιθικές και αυτό επιφέρει θετική συμπεριφορά σε σεισμικές δονήσεις.³²

³² Σακελλάρης Γ., (2017), *Τεχνικές Φυσικής Δόμησης*, ό.π.

<http://www.diktuo.org/wp/2017/12/28/%cf%84%ce%b5%cf%87%ce%bd%ce%b9%ce%ba%ce%ad%cf%82-%cf%86%cf%85%cf%83%ce%b9%ce%ba%ce%ae%cf%82-%ce%b4%cf%8c%ce%bc%ce%b7%cf%83%ce%b7%cf%82/>



Εικ. 22,23: κατοικία από cob

Η σύσταση του αργιλοχώματος διαφέρει από περιοχή σε περιοχή. Η περιεκτικότητα δηλαδή, του χώματος σε άργιλο (πηλό), ιλύ, άμμο και πέτρες δεν είναι τυποποιημένη. Για να επιτευχθεί το σωστό μείγμα, πρέπει κάθε φορά να ελέγχεται και να προστίθεται ανάλογα ό,τι χρειάζεται.

Στην Ελλάδα, σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία, για να εκδοθεί οικοδομική άδεια, είναι απαραίτητο να υπάρχει φέρων οργανισμός (π.χ. Ξύλινος σκελετός). Οι τοιχοποιίες από Cob δεν επιτρέπεται να φέρουν φορτία, επομένως μπορούν να λειτουργούν μόνο ως υλικό πλήρωσης. Ακόμα, καθίσταται ιδιαίτερα σημαντική η προστασία από το νερό. Με την κατασκευή κατάλληλων θεμελίων, στέγης και σοβά, ελαχιστοποιείται η απαιτούμενη συντήρηση.



Εικ. 24: τεχνική φυσικής δόμησης από cob

γ. Κατασκευή με καυσόξυλα (Cordwood)

Μία ακόμα τεχνική φυσικής δόμησης είναι η κατασκευή με καυσόξυλα. Σε αυτή τοποθετούνται αποφλοιωμένα κομμάτια από δέντρα με διάμετρο 30-50εκ, τα οποία τοποθετούνται σταυρωτά με ασβεστοκονιάματα ή με τη χρήση μείγματος cob. Πιο συγκεκριμένα, συνηθίζεται να τοποθετείται ένα ξύλινο πλαίσιο. Αυτό στη συνέχεια θα πληρωθεί με τα κομμάτια από τα δέντρα. Το συνδετικό κονίαμα τοποθετείται σε δύο παράλληλες γραμμές τόσο εξωτερικά όσο και εσωτερικά της τοιχοποιίας. Στη συνέχεια, το ενδιαμέσο τμήμα που διαμορφώνεται, συμπληρώνεται με μονωτικό υλικό, το οποίο μπορεί να είναι είτε περλίτης είτε λεπτό τεμαχισμένο άχυρο.³³



Εικ. 25: φυσική δόμηση με cordwood

³³ Ρίζου Σ., (2017), *Βιοκλιματική και ενεργειακή διαχείριση κτιρίων*, Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Η τοιχοποιία με καυσόξυλα συνδυάζεται και με άλλες τεχνικές φυσικής δόμησης, όπως το rammed earth, το cob ή το vertical clay, προκειμένου να δημιουργηθεί ένα όμορφο αισθητικά αποτέλεσμα. Παρέχεται μέσα από αυτή τη μέθοδο μια σχετικά υψηλή θερμική μάζα, που συμβάλλει στη μείωση των αλλαγών της θερμοκρασίας.



Εικ. 26, 27: φάσεις κατασκευής με καυσόξυλα

Παράλληλα, αποτελεί γρήγορη μέθοδο κατασκευής με όμορφο αισθητικά αποτέλεσμα. Από την άλλη πλευρά, έχει μεγάλο κόστος κατασκευής, λόγω της μεγάλης ποσότητας σε ξύλο και εργαλεία που χρειάζονται. Επίσης, απαιτείται αρκετό πάχος για να έχει την απαραίτητη στιβαρότητα. Είναι εύκολο να παρουσιάσει ρηγματώσεις, λόγω των συστολών και διαστολών των ξύλων. Επιπλέον, είναι αναγκαίος ο στατικός σκελετός και κυρίως σε κατασκευές μεγάλης επιφάνειας. Συνήθως προτιμάται η εφαρμογή του κοντά σε δάση που επιτρέπεται η υλοτομία και αυτό επιφέρει δυσμενείς επιπτώσεις.³⁴



Εικ. 28: εσωτερική άποψη της φυσικής μεθόδου κατασκευής με cordwood

³⁴ Ρίζου Σ., (2017), *Βιοκλιματική και ενεργειακή διαχείριση κτιρίων*, Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης



Εικ. 29, 30: παράδειγμα κατασκευής με cordwood

δ. Δομημένη- συμπιεσμένη γη (Pisé ή rammed earth ή χώμα σε καλούπια)

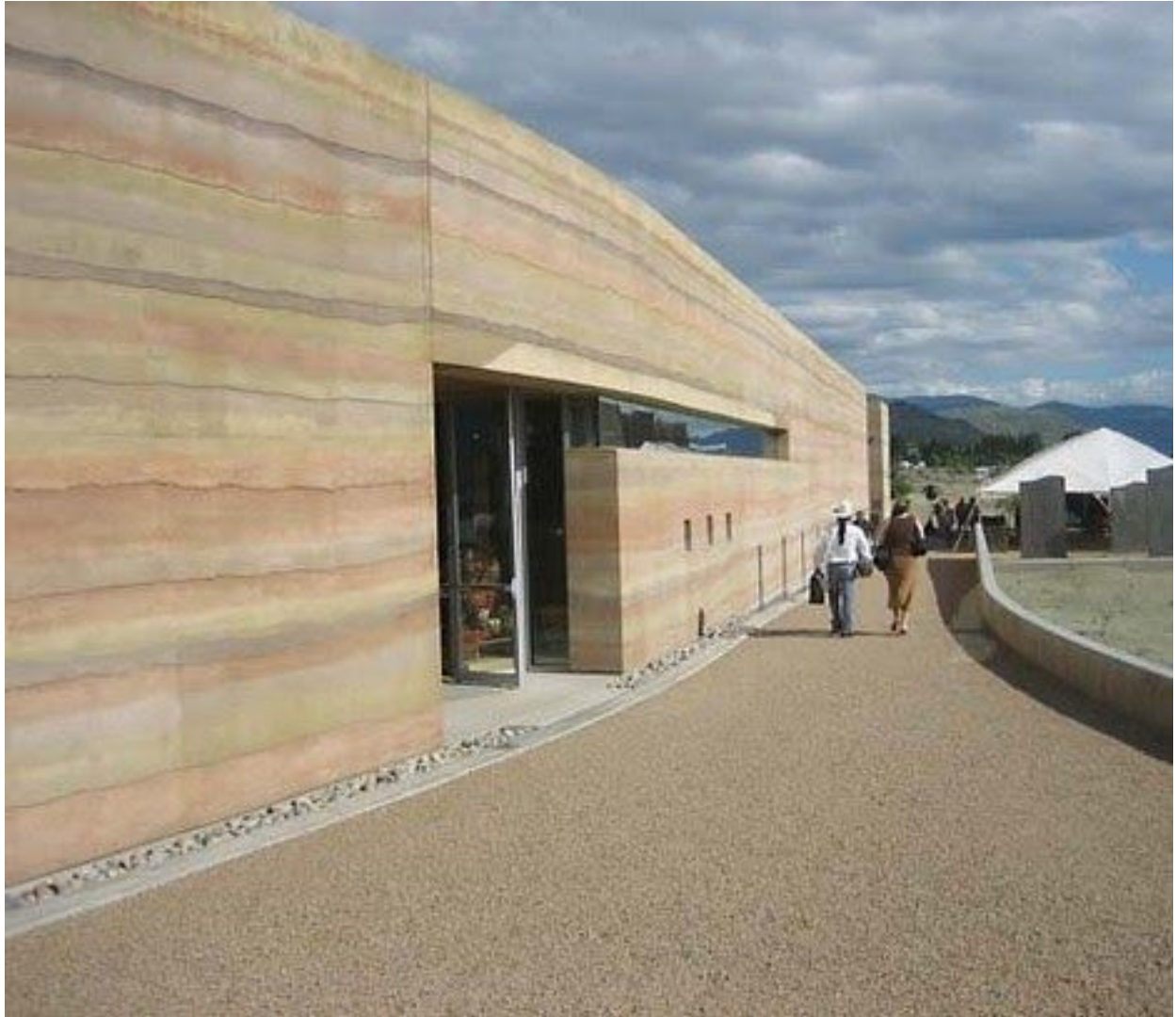
Η δομημένη - συμπιεσμένη γη αποτελεί μία από τις παλαιότερες τεχνικές φυσικής δόμησης και μοιάζει με το Adobe και το Cob, καθώς το μείγμα της αποτελείται από άμμο και πηλό. Η διαφορά τους έγκειται στο γεγονός ότι το υλικό είναι ελάχιστα υγρό, αφού αποτελείται από απλό χώμα, το οποίο εξορύσσεται από το υπέδαφος, και συμπιέζεται σε καλούπια. Έτσι, προκύπτουν συμπαγείς επίπεδες και κάθετες επιφάνειες. Έπειτα από τη συμπίεση, αποσυναρμολογείται το καλούπι και μετατοπίζεται στην επόμενη θέση, είτε για την επέκταση του κτιρίου καθ' ύψος, είτε κατά μήκος.³⁵



Εικ. 31: εφαρμογή δομημένης - συμπιεσμένης γης

³⁵ Σακελλάρης Γ., (2017), *Τεχνικές Φυσικής Δόμησης*, ό.π.
<http://www.diktuo.org/wp/2017/12/28/%cf%84%ce%b5%cf%87%ce%bd%ce%b9%ce%ba%ce%ad%cf%82-%cf%86%cf%85%cf%83%ce%b9%ce%ba%ce%ae%cf%82-%ce%b4%cf%8c%ce%bc%ce%b7%cf%83%ce%b7%cf%82/>

Ο ξυλότυπος πρέπει να είναι εύκολος στο χειρισμό και σταθερός. Η συμπίεση μπορεί να γίνει είτε με το χέρι είτε με μηχανήματα, τα οποία όμως είναι βαριά. Η μηχανική συμπίεση είναι πιο αποτελεσματική και μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση ηλεκτρικών εμβόλων.³⁶



Εικ. 32: μέθοδος Pisé ή rammed earth

³⁶ Berge, Bjorn, (2009), *The ecology of building materials*, Translated by Chris Butters and Filip Henley, Italy: Architectural press



Εικ. 33, 34: διαδικασία κατασκευής με καλούπια

Οι τοίχοι που διαμορφώνονται έχουν φάρδος τουλάχιστον 35εκ, προκειμένου να είναι σταθεροί με ικανοποιητική θερμική μάζα. Είναι αναγκαίο να έχουν μία βάση και μία στέψη, καθώς επίσης δεν είναι καλό να έρχονται σε επαφή με το έδαφος. Η θεμελίωση γίνεται από πέτρα ή από χώμα αναμεμειγμένο με τσιμέντο ή σκυρόδεμα. Η θεμελίωση πρέπει να φτάνει τα 40εκ πάνω από το έδαφος, ώστε να αποτρέπεται να φτάσει η βροχή και πρέπει να έχει τουλάχιστον το πάχος του τοίχου. Είναι σημαντικό να μην υπάρχουν σημάδια ανερχόμενης υγρασίας, καθώς οι χωμάτινες κατασκευές είναι πιο ευαίσθητες στην υγρασία ακόμα και από το ξύλο.³⁷



Εικ. 35: τοιχοποιία κατασκευασμένη από χώμα σε καλούπια

Ακόμα, μία ζώνη στεγάνωσης χρειάζεται στη βάση του τοίχου. Αυτό γίνεται συχνά με ασφαλτό ή ένα στρώμα ισχυρού σκυροδέματος, που λειτουργεί και ως πρέκι, ενισχύοντας την κατασκευή. Η εξωτερική πλευρά της τοιχοποιίας είναι καλό να μονώνεται, ώστε να διατηρείται η εσωτερική θερμοκρασία σταθερή. Το χώμα, συχνά βρίσκεται σε μείγμα 10% με τσιμέντο ή με σκόνη ασβέστη. Το

³⁷ Berge, Bjorn, (2009), *The ecology of building materials*, Translated by Chris Butters and Filip Henley, Italy: Architectural press

μείγμα αυτό έχει υγρή μορφή και συμπιέζεται σε στρώσεις 10-25εκ. πάχους μέσα στα καλούπια, με τη χρήση ειδικών δονητών. Το πιο κατάλληλο χώμα έχει μηχανική σύσταση που αποτελείται 70% από άμμο και μικρά χαλίκια και από 30% πηλό. Κατά τη διάρκεια του στεγνώματος, οι τοίχοι πρέπει να διατηρούνται υγροί και δεν θα πρέπει να στεγνώνουν γρήγορα. Μετά την κατασκευαστική διαδικασία, ο τοίχος μπορεί να αποκτήσει σκληρότητα αντίστοιχη με της κιμωλίας ή του ψαμμίτη. Όταν αφαιρεθούν τα καλούπια, η κατασκευή μπορεί να κρατήσει ακόμα και 1000 χρόνια.³⁸



Εικ. 36: παράδειγμα κατοικίας από reammed earth

³⁸ Ιγγλεζάκης Γ., Ασημάκης Ν., (2013), "Plethro" ένα νέο δομικό σύστημα από χώμα, Χανιά: Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών

Τα σπίτια που φτιάχνονται με χώμα σε καλούπια παρέχουν μία σταθερή αίσθηση. Σε αντίθεση με τις υπόλοιπες μεθόδους φυσικής δόμησης, αυτή απαιτεί επεξεργασία με μηχανικό εξοπλισμό, γεγονός που τη φέρνει σε μειονεκτικότερη θέση, αφού έτσι ανεβαίνει αρκετά το κόστος. Από την άλλη πλευρά όμως, αυξάνεται η ταχύτητα κατασκευής.

Ένα σημαντικό μειονέκτημα του χώματος ως υλικό δόμησης είναι το γεγονός ότι δύσκολα μπορεί να τυποποιηθεί εξ αρχής, καθώς η σύσταση του χώματος και οι δυνατότητές του διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή. Οι περισσότερες μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί βασίζονται στους νόμους της εδαφομηχανικής, η οποία δεν ασχολείται με τον κτιριοδομικό τομέα. Παράλληλα, στην Ευρώπη, δεν υπάρχει κάποιο νομοθετικό πλαίσιο που να κατοχυρώνει το χώμα ως φέρον δομικό υλικό. Επομένως, ο Ευρωκώδικας 6 δεν αναφέρει πουθενά για τις φέρουσες τοιχοποιίες από ωμόπλινθους. Το γεγονός ότι δεν υπάρχει προτυποποίηση σημαίνει ότι δεν μπορεί να δοθεί πιστοποίηση από τις βιομηχανίες. Έτσι, εμποδίζεται η ανάπτυξη του χώματος ως δομικό υλικό.³⁹

Σε όλο τον κόσμο υπάρχουν κτίρια πολλών χιλιάδων ετών, κατασκευασμένα από χώμα και κάποια από αυτά αποδεικνύουν τις καλές αντοχές του υλικού αυτού στο χρόνο. Ακόμα, υπάρχουν κτίρια στη Γερμανία από συμπίεσμένη γη, τα οποία είναι έξι ορόφων, και επιβεβαιώνουν τις κατασκευαστικές δυνατότητες του χώματος.⁴⁰

³⁹ Ιγγλεζάκης Γ., Ασημάκης Ν., (2013), "Plethro" ένα νέο δομικό σύστημα από χώμα, Χανιά: Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών

⁴⁰ Berge, Bjorn, (2009), *The ecology of building materials*, Translated by Chris Butters and Filip Henley, Italy: Architectural press



Εικ.37, 38: εσωτερική και εξωτερική άποψη κατοικίας από rammed earth

ε. Αχυρόσπιτα

Από τα προϊστορικά κιόλας χρόνια, τα χόρτα και τα άχυρα χρησιμοποιούνται στις οικοδομές σε πολλά μέρη του κόσμου. Η ανακάλυψη της μηχανικής που κατασκευάζει μπάλες από άχυρο συνετέλεσε στο να χρησιμοποιούνται ως δομικό στοιχείο στις κατασκευές. Στις μέρες μας, τα σπίτια που κατασκευάζονται από μπάλες από άχυρο είναι πολύ δημοφιλή στο Ηνωμένο Βασίλειο και στις νοτιοδυτικές Ηνωμένες Πολιτείες, ενώ αποκτούν συνεχώς αυξανόμενη δημοτικότητα και στην Ελλάδα.



Εικ.39: χαρακτηριστικό παράδειγμα αχυρόσπιτου

Πιο συγκεκριμένα, τα αχυρόσπιτα αποτελούνται από μπάλες από άχυρο, τοποθετημένες σε σειρές, η μία πάνω στην άλλη. Όλη αυτή η κατασκευή βρίσκεται πάνω σε μία υπερυψωμένη βάση και οι μπάλες αυτές, δένονται πάνω σε κάποιο ξύλινο σκελετό ή δένονται με

πλέγματα στις πλαϊνές επιφάνειες. Τα αχυρόσπιτα λοιπόν, κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες. Στην πρώτη ανήκουν αυτά στα οποία το βάρος της οροφής το δέχονται οι τοίχοι και στη δεύτερη, αυτά που έχουν ξύλινο σκελετό. Σε επόμενο στάδιο, οι τοίχοι σοβαντίζονται με τσιμεντοκονίαμα ή με φυσικό σοβά, αποτελούμενο από χώμα, άμμο και πηλό.



Εικ.40,41: φάσεις κατασκευής αχυρόσπιτου

Η κατασκευή αχυρόσπιτων είναι πολύ γρήγορη σαν διαδικασία, αν και το κόστος είναι σχετικά υψηλότερο από άλλες μεθόδους φυσικής δόμησης. Η μοναδική απαίτηση στη μέθοδο κατασκευής, έγκειται στην εξειδικευμένη εργασία του φέροντος οργανισμού. Το άχυρο, ως υλικό, έχει καλύτερες μονωτικές δυνατότητες από οποιαδήποτε άλλο υλικό και αποτελεί ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Από την άλλη πλευρά όμως, οι τοίχοι από άχυρο δεν έχουν θερμοχωρητικότητα. Γι' αυτό και δεν μπορούν να εφαρμοστούν σε παθητικά κτίρια.⁴¹



Εικ.42: μπάλες από άχυρο για την κατασκευή

⁴¹ Ρίζου Σ., (2017), *Βιοκλιματική και ενεργειακή διαχείριση κτιρίων*, Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης



Εικ.43: επιχρίσματα εξωτερικά των τοιχοποιιών από άχυρο

Ιδιαίτερα σημαντική καθίσταται η προσοχή στο άχυρο, ώστε να κρατηθεί στεγνό, γιατί αλλιώς θα σαπίσει. Για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο, πρέπει οι τοίχοι από άχυρο να αναπνέουν, καθώς επίσης να αποφευχθεί η οποιαδήποτε διαρροή υγρασίας που μπορεί να οδηγήσει στην αλλοίωσή του. Τέλος, τα έντομα και τα τρωκτικά καταστρέφουν το υλικό και γι' αυτό είναι σημαντικό οι σοβάδες να είναι ανθεκτικοί.⁴²

⁴² <http://elsito.gr/index.php/environment/item/516-fisiki-domisi>



Εικ.44,45: εξωτερική και εσωτερική άποψη αχυρόσπιτου

f. Άχυρο με πηλό (Vertical clay)

Σε τοιχοποιίες που δεν φέρουν φορτία χρησιμοποιείται το άχυρο με πηλό. Αναλυτικότερα, αποτελείται από άχυρα, συνήθως με μακριά ίνα, τα οποία αναμιγνύονται με πηλό. Ο πηλός, ο οποίος άλλωστε αναλαμβάνει και το συνδετικό ρόλο, είναι διαλυμένος σε νερό. Συμπιέζεται σε καλούπια μέγιστου ύψους 50εκ και όταν το υλικό στεγνώσει, προχωράει το χτίσιμο.



Εικ. 46: εφαρμογή άχυρου με πηλό στην κατασκευή



Εικ. 47,48: παραδείγματα vertical clay



Τα θετικά στοιχεία της τεχνικής αυτής, είναι η ταχύτητα στην κατασκευή και η μεγάλη θερμομονωτική ικανότητα. Από την άλλη πλευρά, έχει υψηλό κόστος κατασκευής, λόγω της ανάγκης για χρήση σκελετού. Συμπερασματικά λοιπόν, αποτελεί ιδανική μέθοδο για ταχύτητα στην κατασκευή εσωτερικών τοιχοποιιών και άλλων εσωτερικών στοιχείων στο σπίτι.⁴³

Εικ.49,50: vertical clay



⁴³ Σακελλάρης Γ., (2017), Τεχνικές Φυσικής Δόμησης, ό.π.
<http://www.diktuo.org/wp/2017/12/28/%cf%84%ce%b5%cf%87%ce%bd%ce%b9%ce%ba%ce%ad%cf%82-%cf%86%cf%85%cf%83%ce%b9%ce%ba%ce%ae%cf%82-%ce%b4%cf%8c%ce%bc%ce%b7%cf%83%ce%b7%cf%82/>

γ. Μέθοδοι Δόμησης με γαιόσακους (Earthbag) – Superadobe & Hyperadobe

Η κατασκευή κτιρίων με γαιόσακους (earthbags) μοιάζει με οχυρωματικά έργα του στρατού. Οι σάκοι με άμμο έχουν χρησιμοποιηθεί κατά καιρούς στη δημιουργία προστατευτικών φραγμάτων για τον έλεγχο των πλημμυρών, σε κτίρια προστασίας προσωπικού και εξοπλισμού, καθώς και στην αντιστήριξη πρανών σε δρόμους. Στην περίπτωση που στους σάκους χρησιμοποιηθεί αντί για άμμος, αργιλόχωμα, αυτό συμπιέζεται είτε με χειρονακτικό τρόπο είτε με μηχανικό. Έτσι, προκύπτει η μέθοδος των γαιοσάκων.⁴⁴



Εικ. 51: μέθοδος δόμησης με γαιόσακους

⁴⁴ Σακελλάρης Γ., (2017), *Τεχνικές Φυσικής Δόμησης*, ό.π.

<http://www.diktuo.org/wp/2017/12/28/%cf%84%ce%b5%cf%87%ce%bd%ce%b9%ce%ba%ce%ad%cf%82-%cf%86%cf%85%cf%83%ce%b9%ce%ba%ce%ae%cf%82-%ce%b4%cf%8c%ce%bc%ce%b7%cf%83%ce%b7%cf%82/>

Στις μέρες μας, χρησιμοποιούνται σάκοι από πολυπροπυλένιο που έχουν πυκνή ύφανση. Ακόμα, παρουσιάζουν μεγαλύτερη αντοχή και διάρκεια, με την προϋπόθεση όμως ότι η υπεριώδης ακτινοβολία του ήλιου, δεν θα αποδομήσει το υλικό κατασκευής. Για να υπάρχει μόνιμη προστασία στους σάκους, θα πρέπει να επικαλύπτονται με κάποιας μορφής επίχρισμα.

Οι τοιχοποιίες που δημιουργούνται με αυτή την τεχνική, είναι σταθερές, με αρκετό πλάτος και είναι ανθεκτικές σε αντίξοες συνθήκες, όπως οι κακές καιρικές συνθήκες, οι σεισμοί, η υγρασία, η φωτιά. Επίσης, το χτίσιμό τους είναι απλό και γρήγορο, με υλικά που βρίσκονται εύκολα σε κάθε περιοχή.

Η βελτιωμένη μέθοδος των γαιοσάκων, που λέγεται Superadobe, όπως και η ίδια η αρχική μέθοδος, αναπτύχθηκε από τον αρχιτέκτονα Nader Khalili, του ινστιτούτου Cal-Earth, της Καλιφόρνιας. Πιο συγκεκριμένα, δημιούργησε νέες τεχνικές για κατασκευές με earthbags και πειραματίστηκε με σάκους που περιείχαν άμμο, χώμα, τσιμέντο και σκόνη ασβέστη.

Αυτές οι ιδέες του Khalili, που χρησιμοποιούσαν όμως και άλλες μεθόδους φυσικής δόμησης, οδήγησαν στη δημιουργία κτιρίων με υψηλή αντοχή και πλαστικότητα μορφής, καθώς επίσης παρείχαν εξαιρετικές συνθήκες ανθρώπινης διαβίωσης με χαμηλό κόστος κατασκευής.⁴⁵

⁴⁵ Σακελλάρης Γ., (2017), *Τεχνικές Φυσικής Δόμησης*, ό.π.
<http://www.diktuo.org/wp/2017/12/28/%cf%84%ce%b5%cf%87%ce%bd%ce%b9%ce%ba%ce%ad%cf%82-%cf%86%cf%85%cf%83%ce%b9%ce%ba%ce%ae%cf%82-%ce%b4%cf%8c%ce%bc%ce%b7%cf%83%ce%b7%cf%82/>



Εικ. 52: εσωτερική άποψη δόμησης με γαιόσακους

Σημαντικό στοιχείο είναι ότι τα κτίρια που ακολουθούν αυτή τη μέθοδο κατασκευής, δεν χρειάζονται στατικό σκελετό. Ο τρόπος με τον οποίο τοποθετούνται οι σάκοι, οι προεκτάσεις των τοίχων στις γωνίες, καθώς και οι αποστάσεις των ανοιγμάτων, σχηματίζουν μια αντισεισμική κατασκευή. Αυτή η κατασκευή μπορεί να αντέξει το φορτίο της στέγης ή της οροφής. Συγκεκριμένα, στην έρημο της Καλιφόρνιας, έχουν κατασκευαστεί πιλοτικά κτίρια, τα οποία έχουν αντέξει σε δοκιμές αντισεισμικότητας μέχρι και 9,6 βαθμούς της κλίμακας Ρίχτερ.

Όσον αφορά τον τρόπο κατασκευής, δημιουργείται ένα κανάλι πλάτους 60εκ και βάθους 40εκ, στο οποίο βάζουν σάκους με χοντρό χαλίκι ή σταθεροποιημένη γη και λίγες φορές τοποθετείται και οπλισμένο σκυρόδεμα. Ακόμα, οι ηλεκτρικές και υδραυλικές εγκαταστάσεις εγκαθίστανται στους στοιβαγμένους σάκους, αφού σκαφτούν και πριν τοποθετηθεί η πρώτη στρώση από σοβά. Παράλληλα, τα ηλεκτρομηχανολογικά δίκτυα διατρέχουν το δάπεδο.⁴⁶

⁴⁶ Ρίζου Σ., (2017), *Βιοκλιματική και ενεργειακή διαχείριση κτιρίων*, Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης



Εικ.53: διαδικασία κατασκευής με γαιόσακους

Ακόμα, ο Khalili χρησιμοποίησε αντί για τσουβάλια, δικτυωτούς σωλήνες από πολυπροπυλένιο πυκνής ύφανσης ως δομικό στοιχείο και έτσι κατασκεύασε τρούλους, καμάρες, θόλους. Στο σύστημα αυτό τοποθέτησε αγκαθωτό σύρμα ανάμεσα στις ζώνες των γαιοσάκων που λειτούργησε ως συνδετικό δομικό υλικό. Ακόμα, οι σωλήνες κοβόταν σε κατάλληλα μεγέθη ανάλογα με το στρώμα που επρόκειτο να τοποθετηθεί. Για την καλύτερη πρόσφυση ανάμεσα στα στρώματα εναποθέτονται δύο ή και τρεις σειρές από αγκαθωτό σύρμα. Παράλληλα, για τη βέλτιστη πρόσφυση του επιχρίσματος πραγματοποιείται καύση του πλαστικού σάκου, προκειμένου να εμφανιστεί το συμπαγές υλικό πλήρωσης.

Στη συνέχεια εμφανίστηκε και μία βελτίωση της μεθόδου Superadobe που λέγεται Hyperadobe (υπερ-πλιθί στα ελληνικά). Ο πολιτικός μηχανικός Fernando Soneghet Pacheco μελέτησε και

εφάρμοσε την τεχνική αυτή στη Βραζιλία. Αποτελεί την πιο ευέλικτη μέθοδο φυσικής δόμησης. Σε αυτήν, χρησιμοποιήθηκε ένας αραιός δικτυωτός σωλήνας, από πολυπροπυλένιο υψηλής πυκνότητας. Έχει 20% μικρότερο πλάτος, καθώς φτάνει τα 35-40εκ. και το πλέγμα του μοιάζει με δίχτυ σκίασης. Αυτό το υλικό χρησιμοποιείται και σε συσκευασίες φρούτων. Απόρροια όλων αυτών, είναι η ευκολία στην κατασκευή και το μικρότερο κόστος, σε σχέση με τις προηγούμενες μεθόδους φυσικής δόμησης.⁴⁷



Εικ.54: διαδοχικά στρώματα γαιόσακων

Η μέθοδος αυτή έχει πολλά θετικά στοιχεία, όπως το ότι έχει αντιμετωπιστεί η ελάχιστη πρόσφυση ανάμεσα στα διαδοχικά εδαφικά στρώματα. Ακόμα, η πρόσφυση του σοβά έχει βελτιωθεί και έχει

⁴⁷ Σακελλάρης Γ., (2017), *Τεχνικές Φυσικής Δόμησης*, ό.π.

<http://www.diktuo.org/wp/2017/12/28/%cf%84%ce%b5%cf%87%ce%bd%ce%b9%ce%ba%ce%ad%cf%82-%cf%86%cf%85%cf%83%ce%b9%ce%ba%ce%ae%cf%82-%ce%b4%cf%8c%ce%bc%ce%b7%cf%83%ce%b7%cf%82/>

μειωθεί το απαιτούμενο χώμα προκειμένου να γεμίσουν οι σωλήνες. Όλα αυτά συμβάλλουν στην αύξηση της ταχύτητας κατασκευής, στην απλούστερη εργασία και εν τέλει στην ελαχιστοποίηση του κόστους και στην αύξηση της αντοχής.

Η μέθοδος Hyperadobe επικεντρώνεται στο κομμάτι της αποτελεσματικότητας, στη μείωση του κόστους κατασκευής και στην απλότητα. Η διαμόρφωση των στρωμάτων γίνεται επί τόπου στο κτίριο και τοποθετούνται το ένα πάνω στο άλλο. Δημιουργούνται έτσι, τοίχοι με σταθερότητα, χωρίς να απαιτείται εξειδικευμένο προσωπικό και εργαλεία.⁴⁸



Εικ.55: η μέθοδος Hyperadobe

Αφού ολοκληρωθεί η κατασκευή, αποκαλύπτεται το συμπαγές υλικό πλήρωσης, το οποίο επιτρέπει καλή πρόσφυση στο κονίαμα του σοβά. Το μείγμα βγαίνει σιγά σιγά προς τα έξω, βρίσκοντας

⁴⁸ Ρίζου Σ., (2017), *Βιοκλιματική και ενεργειακή διαχείριση κτιρίων*, Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

διαφυγή μέσα από τις οπές που έχει ο δικτυωτός σωλήνας. Έτσι, επιτυγχάνεται καλύτερη πρόσφυση και μονολιθικότητα μεταξύ των στρωμάτων, ακόμα και χωρίς το αγκαθωτό σύρμα, που είναι ακριβό και δύσκολο στην τοποθέτηση. Το χαρακτηριστικό αυτό της εύκολης πρόσφυσης του κονιάματος του σοβά πάνω στον τοίχο, αποτελεί το σημαντικότερο στοιχείο της μεθόδου αυτής.



Εικ.56, 57: κατασκευαστικές φάσεις με τη μέθοδο Hyperadobe

Οι πρώτες ύλες που καταναλώνονται σε αυτή τη μέθοδο είναι περίπου 20% λιγότερες, λόγω του μικρότερου πλάτους του δικτυωτού σωλήνα. Έτσι, περιορίζονται οι απαιτήσεις εργασίας, εξοικονομείται χρόνος στην κατασκευή, χωρίς όμως να μειώνεται η θερμομόνωση του κτιρίου. Το πάχος του τοίχου, μετά την αποσυμπίεση, φτάνει τα 35-45εκ, εξασφαλίζοντας θερμική άνεση μέσα στο κτίριο. Στη συνέχεια, αφού τοποθετηθεί σοβάς, τόσο εσωτερικά όσο και εξωτερικά, το πλάτος της τοιχοποιίας που προκύπτει κυμαίνεται μεταξύ 45-55εκ. Πλέον, παράγονται δικτυωτοί σωλήνες με ποικίλα πλάτη και αυτό συμβάλλει στη δημιουργία τοιχοποιιών, ακόμα και εσωτερικών, με πιο μικρά πάχη ή και πιο μεγάλα.

Ο ρυθμός εργασίας είναι γρήγορος και γι' αυτό είναι σημαντικό να υπάρχει ένα σύστημα που θα επιτρέπεται τη γρήγορη και ασφαλή πρόσβαση στα ανώτερα επίπεδα. Συνεπώς, μία σειρά από σκαλωσιές περιμετρικά του κτιρίου θα συμβάλλει σημαντικά στο χτίσιμο από τη βάση μέχρι την κορυφή, τόσο περιμετρικά όσο και στα εσωτερικά χωρίσματα.

Η διαδικασία της τοποθέτησης χώματος μέσα στο δικτυωτό σωλήνα, γίνεται με τη βοήθεια ενός χωνιού, το οποίο κρατάει ένας εργάτης, καθώς κινείται πάνω στον τοίχο. Στο ένα άκρο του σωλήνα είναι περασμένο το χωνί, ενώ το άλλο άκρο είναι δεμένο και ακουμπάει στο τελευταίο τοποθετημένο στρώμα. Το χώμα μεταφέρεται με κουβάδες και εισέρχεται μέσα από το χωνί, στο σωλήνα. Μικρή ποσότητα χώματος βγαίνει έξω από το σωλήνα, μέσα από τις οπές που έχει το δίχτυ και αυτό αποτελεί το συνδετικό υλικό των διαδοχικών στρωμάτων. Προχωρώντας τη διαδικασία, αυτός που χειρίζεται το χωνί φτάνει ψηλότερα από τους υπόλοιπους που βρίσκονται στο έδαφος και γι' αυτό απαιτούνται ικριώματα και σκαλωσιές κατά μήκος του τοίχου, ώστε να ανεβάζουν τους κουβάδες με το χώμα και να βοηθάνε το χειριστή του χωνιού. Επομένως, πάνω στη σκαλωσιά καλό είναι να βρίσκονται μόνο δύο εργάτες για ασφάλεια.⁴⁹

⁴⁹ Σακελλάρης Γ., (2017), *Τεχνικές Φυσικής Δόμησης*, ό.π.

<http://www.diktuo.org/wp/2017/12/28/%cf%84%ce%b5%cf%87%ce%bd%ce%b9%ce%ba%ce%ad%cf%82-%cf%86%cf%85%cf%83%ce%b9%ce%ba%ce%ae%cf%82-%ce%b4%cf%8c%ce%bc%ce%b7%cf%83%ce%b7%cf%82/>



Εικ. 58: διαδικασία τοποθέτησης χώματος στο δικτυωτό σωλήνα

Είναι σημαντικό το χώμα να έχει υγρή μορφή, χωρίς όμως να είναι σε υπερβολικό βαθμό. Αν συμβαίνει κάτι τέτοιο, τότε αυτό μπορεί με ευκολία να βγει από τις οπές του δικτυωτού σωλήνα. Πρέπει να γίνεται συμπίεση των κάθετων επιφανειών και προς τις δύο κατευθύνσεις, τόσο εσωτερικά όσο και εξωτερικά. Όσον αφορά την οριζόντια συμπίεση, καλό είναι να πραγματοποιείται στα στρώματα όσο είναι ακόμα υγρά και αφού έχουν ευθυγραμμιστεί μεταξύ τους.

Επιπλέον, είναι σημαντικό να υπάρχει ένας εργαζόμενος, ο οποίος θα ασχολείται μόνο με την ευθυγράμμιση των στρωμάτων που έχουν τοποθετηθεί από το χειριστή του χωνιού. Αυτός, δεν είναι σε θέση να αφήσει απόλυτα ευθυγραμμισμένα τα στρώματα την ώρα της τοποθέτησής τους. Αυτή η ρύθμιση πρέπει να γίνεται πριν τη συμπίεση και είναι καθοριστικής σημασίας για τη σωστή ευθυγράμμιση του τοίχου.



Εικ. 59: Γέμισμα και ευθυγράμμιση των στρωμάτων

Σχετικά με τις πόρτες και τα παράθυρα, αυτά πρέπει να έχουν σχεδιαστεί εξ αρχής και να έχουν καθοριστεί ακριβώς πάνω στους τοίχους. Οι κάσες στις πόρτες και στα παράθυρα έχουν ήδη τοποθετηθεί και ευθυγραμμιστεί στην τελική τους μορφή. Καλό είναι να τοποθετηθεί προσωρινή υποστήριξη για να αποφευχθεί πιθανή πλευρική συμπίεση και αποκλίσεις. Ακόμα, είναι δυνατή η προσωρινή χρησιμοποίηση κάποιων φορμών και καλουπιών προκειμένου να σχηματιστούν τα τόξα. Αυτές θα αφαιρεθούν αφού συμπιεστεί και

αποξηρανθεί το χώμα. Τέλος, η διαδικασία τοποθέτησης των παραθύρων είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα, και γι' αυτό καλό είναι να έχει σταματήσει το έργο.



Εικ.60: εξ αρχής τοποθέτηση πορτών και παραθύρων

Η πλάκα είναι σημαντικό να κατασκευαστεί σύμφωνα με τα συμβατικά πρότυπα. Το τελευταίο στρώμα του χώματος είναι αναγκαίο να ρυθμιστεί με την προσθήκη κατάλληλου υλικού. Έτσι, το τελικό στρώμα θα προσαρμοστεί στο επιθυμητό επίπεδο, ανάλογα με τα διαφορετικά επίπεδα του εδάφους κατά μήκος όλου του τοίχου. Η παρατυπία αυτή προκύπτει από το γεγονός ότι δεν έχουν υποστεί ομοιόμορφη συμπίεση όλα τα στρώματα του τοίχου. Σχετικά με τη στέγη, δεν χρειάζεται κάποια ιδιαίτερη προσοχή. Η οροφή με τη μέθοδο Hyperadobe, έχει τον ίδιο τρόπο κατασκευής με μία συμβατική κατασκευή.⁵⁰

⁵⁰ Σακελλάρης Γ., (2017), *Τεχνικές Φυσικής Δόμησης*, ό.π.

<http://www.diktuo.org/wp/2017/12/28/%cf%84%ce%b5%cf%87%ce%bd%ce%b9%ce%ba%ce%ad%cf%82-%cf%86%cf%85%cf%83%ce%b9%ce%ba%ce%ae%cf%82-%ce%b4%cf%8c%ce%bc%ce%b7%cf%83%ce%b7%cf%82/>



Εικ.61: δόμηση με γαιόσακους - earthbags

Η εφαρμογή της Hyperadobe σε θόλους, αποτελεί μία από τις πιο παραδοσιακές χρήσεις της. Χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στην ακρίβεια των ακτίνων του θόλου, καθώς το πλάτος της σακούλας της Hyperadobe είναι μικρότερο. Επίσης, η επιφάνεια επαφής μεταξύ των στρώσεων, καθώς και το κενό που αφήνει το ένα στρώμα με το άλλο, είναι μικρότερα. Απόρροια αυτού είναι η δημιουργία θόλων με μεγάλο ύψος. Ακόμα, οι τρούλοι μπορούν να πραγματοποιηθούν μόνο όταν η βάση έχει κυκλικό σχήμα. Οι τοιχοποιίες είναι σημαντικό να έχουν ευθύγραμμο σχήμα, το πολύ μέχρι 1,60μ και στη συνέχεια μετατοπίζονται ανάλογα με το κέντρο. Αν δεν τηρηθούν οι απαραίτητες διαστάσεις, μπορεί να επηρεαστεί η στατικότητα του τοίχου.⁵¹

⁵¹ Σακελλάρης Γ., (2017), *Τεχνικές Φυσικής Δόμησης*, ό.π.

<http://www.diktuo.org/wp/2017/12/28/%cf%84%ce%b5%cf%87%ce%bd%ce%b9%ce%ba%ce%ad%cf%82-%cf%86%cf%85%cf%83%ce%b9%ce%ba%ce%ae%cf%82-%ce%b4%cf%8c%ce%bc%ce%b7%cf%83%ce%b7%cf%82/>

Συμπερασματικά, η Hyperadobe επιτρέπει την κατασκευή τοίχων με καλή στατικότητα. Αν και μοιάζει με αγροτικό οικισμό, υπάρχει η δυνατότητα τα στρώματα να γίνουν με προσοχή και φροντίδα, ώστε να έχουν ορθές γωνίες, καμπύλες, καλοφτιαγμένους και ευθύγραμμους τοίχους με μεγάλη ακρίβεια. Η δυσκολία έγκειται στην προσαρμογή των επιμέρους στρωμάτων, αν και οι πιθανές αποκλίσεις είναι δυνατόν να επιδιορθωθούν τόσο στην κατασκευή όσο και στη λήξη του έργου, με το σοβά. Είναι απαραίτητο η ευθυγράμμιση κάθε στρώματος με τα χέρια να καθορίζεται με μεγάλη ακρίβεια, καθώς επίσης και η συμπίεση να γίνεται με αλφάδι και βαρίδι. Στη διαδικασία αυτή της συμπίεσης είναι σημαντικό ο τοίχος να είναι ακόμα υγρός, ώστε αν προκύψει κάποια ατέλεια, να μπορεί να διορθωθεί με το σοβά και να εξασφαλιστεί τέλειο φινίρισμα της επιφάνειας.

Επομένως, η μέθοδος δόμησης με Hyperadobe είναι μία διαδικασία συνεχής μάθησης. Διαδραματίζει καθοριστικό παράγοντα το ανθρώπινο δυναμικό, καθώς αποτελεί μία πολύ γρήγορη και εντατική τεχνική. Κάθε ομάδα πρέπει να διαμορφώνεται και να προσαρμόζεται ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες, το πλήθος των ατόμων, τη διαθεσιμότητά τους, τα ταλέντα τους, την ποιότητα των εργαλείων και των πρώτων υλών. Ακόμα, καθοριστικός είναι ο συντονισμός των ατόμων. Μέσα από τη διαφορετικότητα κάθε έργου μπορούν να αναπτυχθούν νέες μέθοδοι, εργαλεία και τρόποι διαχείρισης των πόρων. Τέλος, η Hyperadobe χαρακτηρίζεται από τον απλό τρόπο υλοποίησης, την ταχύτητα στην εκτέλεση, τον εύκολο τρόπο προσαρμογής, το μειωμένο κόστος, την αντοχή και την άνεση που δημιουργεί.⁵²

⁵² Σακελλάρης Γ., (2017), *Τεχνικές Φυσικής Δόμησης*, ό.π.
<http://www.diktuo.org/wp/2017/12/28/%cf%84%ce%b5%cf%87%ce%bd%ce%b9%ce%ba%ce%ad%cf%82-%cf%86%cf%85%cf%83%ce%b9%ce%ba%ce%ae%cf%82-%ce%b4%cf%8c%ce%bc%ce%b7%cf%83%ce%b7%cf%82/>

h. Ρευστή γη (Poured earth)

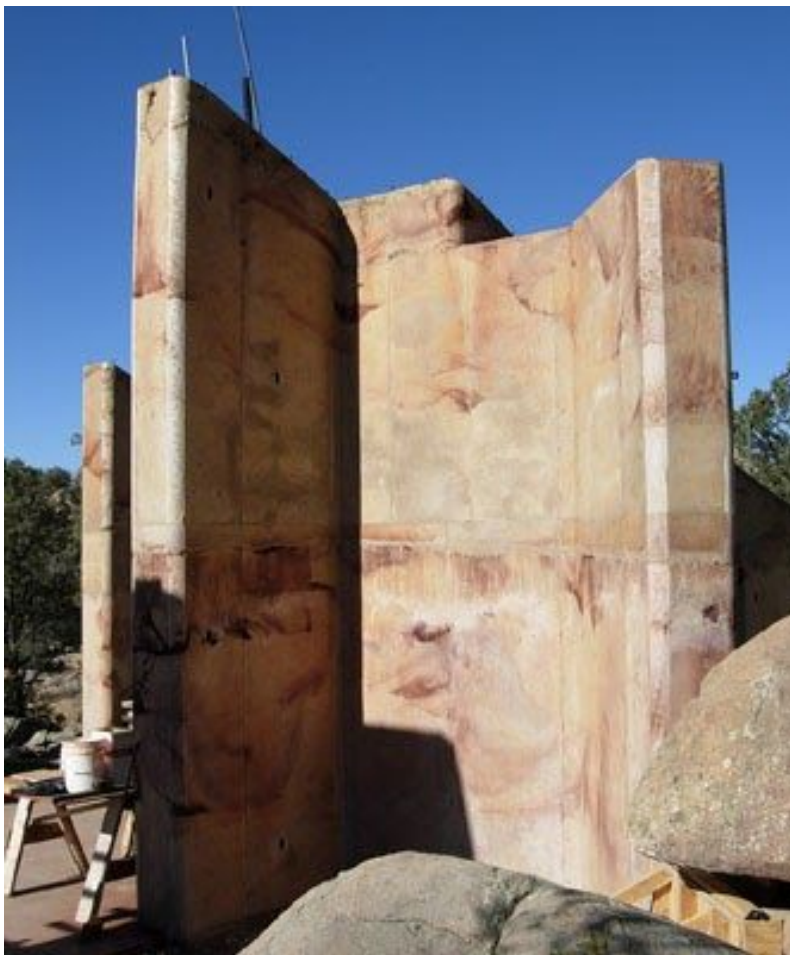
Η ρευστή γη μοιάζει με το κοινό μπετόν, καθώς και στις δύο περιπτώσεις, τα υλικά αναμιγνύονται με τον ίδιο τρόπο χρησιμοποιώντας τσιμέντο για συνεκτικό υλικό. Από τη μία πλευρά, στο μπετόν χρησιμοποιείται άμμος και χαλίκια, ενώ από τη άλλη πλευρά, στη ρευστή γη χρησιμοποιείται κοινό χώμα με κάποιες συγκεκριμένες ιδιότητες, και λιγότερο τσιμέντο.



Εικ.62: παράδειγμα ρευστής γης

Η συντήρηση που απαιτείται δεν είναι μεγάλη, καθώς οι τοίχοι έχουν αυξημένη αντίσταση στον ήλιο και στη βροχή. Όσον αφορά το ιδανικό χώμα, πρέπει να έχει μεγάλη περιεκτικότητα σε πηλό. Καλό είναι να πραγματοποιούνται οι κατάλληλοι έλεγχοι, ώστε να διασφαλιστεί ότι το μείγμα δεν συρρικνώνεται ή συρρικνώνεται ελάχιστα και έχει συμπιεστική δύναμη 800-1200 psi. Το χώμα που βρίσκεται στο πεδίο μπορεί να αναμιχθεί με άλλο, προκειμένου να βελτιωθεί η συμπεριφορά του και να χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή. Τέλος, η χρήση ασβέστη, ιπτάμενης τέφρας και οξειδίου του μαγνησίου μπορεί να μειώσει το χρησιμοποιούμενο τσιμέντο έως και 50%.⁵³

⁵³ <http://www.cob.gr/>



Εικ.63, 64: εφαρμογές ρευστής γης

Γ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΔΟΜΗΣΗΣ ΜΕ ΦΥΣΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλύσουμε ένα σχολείο που βρίσκεται σε έναν απομακρυσμένο οικισμό στο νότιο τμήμα της Μπουρκίνα Φάσο (χώρα της δυτικής Αφρικής). Το σχολείο αυτό, αποτελεί τη δέσμευση ενός ανθρώπου, για βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης στο χωριό του, καθώς επίσης εκφράζει τη συμμετοχική διαδικασία μιας ολόκληρης κοινότητας στην κατασκευή του. Ο άνθρωπος αυτός είναι και ο σχεδιαστής του, ο οποίος σπούδαζε αρχιτεκτονική στο Βερολίνο, μετά την απόφασή του, ασχολήθηκε με τη συγκέντρωση κεφαλαίων στη Γερμανία.



Εικ. 65: σχολείο της Μπουρκίνα Φάσο

Παράλληλα, στην πατρίδα του Μπουρκίνα Φάσο, κινητοποιήθηκε ο τοπικός πληθυσμός και έτσι εξασφάλισε την υποστήριξη ενός κυβερνητικού θεσμού που θα μπορούσε να εκπαιδεύσει τους ανθρώπους στη χρήση βελτιωμένων τεχνικών για την κατασκευή με τοπικά υλικά. Το τελικό κτίριο συνδυάζει την παθητική ηλιακή σχεδίαση και τον διαμπερή αερισμό με τη χρήση της γης ως βασικού κατασκευαστικού υλικού. Η χρήση του σκυροδέματος ελαχιστοποιείται και δεν χρησιμοποιείται καθόλου ξύλο. Η στέγη είναι μια ελαφριά μεταλλική κατασκευή, μια έξυπνη λύση που απαιτούσε λίγη δεξιότητα και απλά εργαλεία για να εκτελεστεί. Το σχολείο αποτελεί αντικείμενο υπερηφάνειας για την τοπική κοινότητα. Σήμερα εξυπηρετεί παιδιά όχι μόνο από το χωριό Gando αλλά και από τη γύρω περιοχή.⁵⁴



Εικ. 66: βελτίωση συνθηκών για τα παιδιά

⁵⁴ Diébédo Francis Kéré, (2001), *Primary School, Gando, Burkina Faso*, Berlin: The Aga Khan Award for Architecture
<https://www.kerearchitecture.com/work/building/gando-primary-school-extension>

2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

α. Ιστορικό υπόβαθρο

Το Gando, με πληθυσμό 3.000 κατοίκων, βρίσκεται στις νότιες πεδιάδες της Μπουρκίνα Φάσο, περίπου 20 χιλιόμετρα δυτικά του Tenkodogo και περίπου 200 χιλιόμετρα από την πρωτεύουσα Ουαγκαντούγκου. Πριν από τη γαλλική κατάκτηση τον δέκατο ένατο αιώνα, το Tenkodogo ήταν έδρα ενός τοπικού ηγεμόνα του οποίου η εξουσία αναγνωρίστηκε από τις παλαιότερες δυναστείες του Mossi. Την επικράτεια διέσχισε μία από τις σημαντικότερες εμπορικές οδούς που συγκλίνουν στο Τζενέ (Djénne) στο Μάλι. Σήμερα, το Tenkodogo είναι επαρχιακή πρωτεύουσα με πληθυσμό περίπου 40.000 κατοίκων, στο δρόμο προς τη Λομέ του Τόγκο. Το 1990 ήταν μία από τις πόλεις που συμπεριλήφθηκαν στο Πρόγραμμα Ανάπτυξης Δευτερογενών Πόλεων (PDVM) της κυβέρνησης της Μπουρκίνα Φάσο, με στόχο τη δημιουργία τοπικών οικονομικών κέντρων προκειμένου να μειωθεί η μεταναστευτική ροή στις δύο μεγάλες πόλεις της χώρας, την Ουαγκαντούγκου και Μπόμπο-Ντιούλασο. Εκείνη την εποχή, στο πλαίσιο κυβερνητικών αναπτυξιακών μέτρων, το Gando είχε ένα δημοτικό σχολείο, ένα μικρό κτίριο που κατασκευάστηκε με τσιμεντόλιθους και σκεπάστηκε με κυματοειδή λαμαρίνα και παρά την πολιτιστική επιτυχία της πρωτοβουλίας – ενώ αρχικά προσεγγίστηκε με δυσπιστία, το σχολείο τελικά έγινε «σύμβολο ελπίδας» για το χωριό. Η χαμηλή ποιότητα του κτιρίου, σε συνδυασμό με την έλλειψη κυβερνητικής χρηματοδότησης για τη συντήρησή του, έφεραν σύντομα μια προχωρημένη κατάσταση υποβάθμισης. Χωρίς εκτεταμένες εργασίες επισκευής θα έπρεπε να εγκαταλειφθεί πράγμα που θα σήμαινε το τέλος ενός σχολείου στο χωριό.

ασχολείται με την προώθηση των τοπικών δομικών υλικών, προκειμένου να εκπαιδεύσει τεχνίτες στην κατασκευή τούβλων, μέσω της τεχνικής της συμπιεσμένης ρευστής γης. Η κατασκευή ξεκίνησε τον Οκτώβριο του 2000. Υπήρξε μεγάλη βοήθεια από τον τοπικό πληθυσμό - άνδρες, γυναίκες και παιδιά - που όλοι προσέφεραν εργασία στο μέγιστο των δυνατοτήτων τους. Το κτίριο ήταν έτοιμο τον Ιούλιο του 2001 και η λειτουργία του άρχισε τον Οκτώβριο του ίδιου έτους. Μετά την ολοκλήρωση του σχολείου, ξεκίνησε η κατασκευή των κτιρίων όπου θα στεγάζονταν οι δάσκαλοι της περιοχής. Στα εν λόγω κτίρια εφαρμόστηκαν παρόμοιες τεχνικές, αλλά λίγο πιο εξελιγμένες, όπως η δημιουργία θολωτών οροφών από τούβλα.



Εικ. 68: τοπικό δομικό υλικό

b. Κλίμα

Η Μπουρκίνα Φάσο είναι μια επίπεδη χώρα και το Gando βρίσκεται σε μια από τις πιο επίπεδες περιοχές της, με υψόμετρο 200 μέτρων κατά μέσο όρο. Η περιοχή αυτή περιλαμβάνεται στη ζώνη του Σουδανο-σαχελιανού (Σουδάν-Σαχέλ) κλίματος, η οποία αντιπροσωπεύει περίπου το ήμισυ της επιφάνειας της χώρας και χαρακτηρίζεται από την εναλλαγή ξηρής και βροχερής περιόδου. Η περίοδος βροχοπτώσεων εδώ διαρκεί τέσσερις ή πέντε μήνες μεταξύ Απριλίου και Οκτωβρίου, με μέση ετήσια βροχόπτωση μεταξύ 60 και 100 εκατοστών, καθώς επίσης δυνατές μπόρες και ανατολικούς ανέμους, ειδικά στην αρχή και στο τέλος της σεζόν. Η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι 25°C. Η χαμηλότερη καταγραφείσα θερμοκρασία είναι 15°C τον Ιανουάριο του 1975, και η υψηλότερη θερμοκρασία 41°C τον Απρίλιο του 1983. Οι άνεμοι είναι σχετικά ήπιοι, εκτός από την αρχή και το τέλος της βροχερής περιόδου που μπορούν να φτάσουν ταχύτητες μέχρι 120 χιλιόμετρα την ώρα.



Εικ. 69: μορφολογία περιοχής

Η βλάστηση είναι ως επί το πλείστον δασική και μετατρέπεται σε θαμνώδη σαβάνα ή στέπα στην περιοχή γύρω από το Gando. Η χώρα υφίσταται κλιματική κρίση, εκφραζόμενη ως «απερήμωση» ή «ξηρασία» και χαρακτηρίζεται από σημαντική μείωση των βροχοπτώσεων και αύξηση των ακραίων θερμοκρασιών. Αν και αυτό αποτελεί μέρος ενός παγκόσμιου πλαισίου, οι τοπικές συνθήκες επιδεινώνονται από την μεγάλης κλίμακας καταστροφή του πρασίνου, την υπερ - εκμετάλλευση της γης, την υπερβόσκηση και τις επανειλημμένες και ανεξέλεγκτες πυρκαγιές.

c. Αρχιτεκτονικός χαρακτήρας της περιοχής

Οι αγροτικές κατοικίες αυτής της περιοχής, όπως και αλλού στην κεντρική Μπουρκίνα Φάσο, αποτελούνται από στρογγυλούς όγκους περικλειστούς από τοίχους. Κυκλικά και τετράπλευρα κτίρια ενός δωματίου είναι χτισμένα μέσα σε κάθε συγκρότημα και εκτονώνονται στον υπαίθριο αύλειο χώρο. Ο κεντρικός αύλειος χώρος υποδιαιρείται σε αυλές, προαύλια σπιτιών και σοκάκια. Η ογκοπλασία και οι χωρικές σχέσεις είναι μερικές φορές πιο πολύπλοκες από έναν ολόκληρο οικισμό. Το κάθε συγκρότημα επεκτείνεται ανάλογα με τις ανάγκες που προκύπτουν σε κάθε οικογένεια.

Σε κάθε συγκρότημα υπάρχουν σταύλοι που φυλάσσονται τα ζώα μετά την δύση του ήλιου. Πρόσθετες σιταποθήκες μπορεί να υπάρχουν και έξω από τα συγκροτήματα, δίπλα στην κύρια είσοδο. Στο ίδιο σημείο υπάρχει επίσης και μια κληματαριά (γνωστή ως Zandi), η οποία αποτελείται από ξύλινους στύλους που υποστηρίζουν ένα σκίαστρο. Αυτός χαρακτηρίζεται ως χώρος των ανδρών, όπου και συναναστρέφεται με τους άνδρες καλεσμένους του. Ο ρόλος αυτός, παρεμπιπτόντως, στοιχειοθετείται από ένα μεγάλο δέντρο, που συχνά χαρακτηρίζεται ως «Το φλύαρο δέντρο», κάτω από την σκιά του οποίου οι άνδρες συναντώνται για να συζητήσουν θέματα κοινού ενδιαφέροντος ή απλά για κουβέντα. Το εσωτερικό της κατοικίας αποτελεί το χώρο των γυναικών. Χωριά και οικισμοί περιλαμβάνουν αρκετά συγκροτήματα αυτού του τύπου, όμοια μεταξύ τους και διάσπαρτα, καλυμμένα από δέντρα με αποτέλεσμα να είναι

δύσκολο να αναγνωριστούν. Υπάρχει συνήθως ένας χώρος συνάθροισης και μία αγορά, που βρίσκονται σε κάποια απόσταση από τον πυρήνα του οικισμού.

d. Μορφές και υλικά

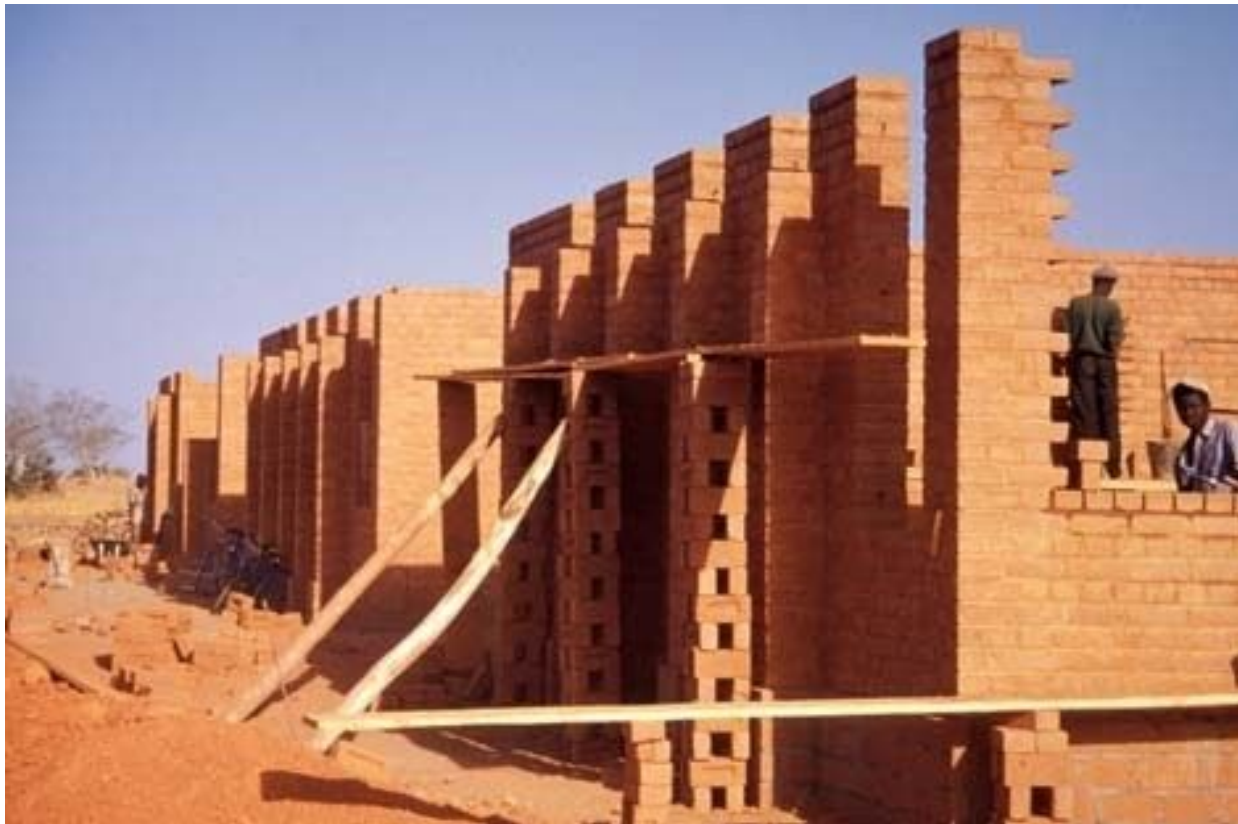
Η τοιχοποιία κατασκευάζεται με τούβλα από λάσπη, αποξηραμένα στον ήλιο (Banco), αλλά συχνά συναντάμε και τσιμεντόπλιθους στις τετράπλευρικές κατασκευές. Οι τελευταίες ήταν παραδοσιακά καλυμμένες με επίπεδες οροφές από χώμα - λάσπη, οι οποίες στηρίζονται σε ξύλινες κατασκευές, αλλά οι μονόριχτες τσίγκινες στέγες μικρής κλίσης συναντώνται πλέον τόσο στα κτίρια από λάσπη όσο και από τσιμεντόλιθους.



Εικ. 70: διαδικασία κατασκευής τοιχοποιίας με τούβλα από λάσπη

Τα στρογγυλά δωμάτια έχουν κωνικές στέγες από άχυρο, όπως και οι σιταποθήκες γενικά, αλλά αυτά τα συναντάμε και σαν οβάλ μορφές κατασκευασμένα εξ ολοκλήρου από άχυρο. Οι σιταποθήκες υψώνονται πάνω από το έδαφος για την προστασία από την υγρασία και τα παράσιτα. Οι κατασκευές από cob, ειδικά στις υποτυπώδεις κατασκευές που έχουμε σε αυτή την περίπτωση, φαίνεται να είναι ευάλωτες στη διάβρωση από τη βροχή, ιδιαίτερα λόγω των ισχυρών ανατολικών ανέμων που χτυπάει τους τοίχους σχεδόν οριζόντια. Ορισμένες τεχνικές στεγάνωσης έχουν την χρήση βουτύρου καριτέ (το βούτυρο Shea είναι ένα λίπος που εξάγεται από το καρύδι του αφρικανικού shea tree) στο εξωτερικό layer του τοίχου ή παρεμβάλλεται ένα στρώμα πίσσας ανάμεσα στο εξωτερικό κέλυφος και τα τούβλα στα ανατολικά τοιχώματα, τεχνική που δεν είναι όμως ιδιαίτερα διαδεδομένη. Αυτός είναι συνήθως ένας από τους λόγους που όταν το επιτρέπει ο προϋπολογισμός, γίνεται χρήση τσιμεντοπλινθων, παρά το υψηλότερο κόστος τους και τις φτωχότερες κλιματικές επιδόσεις. Το σκυρόδεμα χρησιμοποιήθηκε ευρέως για αποικιακά κτίρια και αυτό έθεσε μερικά στερεότυπα, ιδιαίτερα όσον αφορά την άφθονη χρήση επιφανειών με προκατασκευασμένα διάτρητα τούβλα ή γρίλιες. Στην Tenkodogo, την κύρια πόλη της περιοχής, η χρήση σκυροδέματος είναι πλέον πανταχού παρούσα και προφανώς ένας από τους λόγους είναι η εγγύτητα στα σύνορα με το Τόγκο και η εύκολη προσβασιμότητα στο σκυρόδεμα που εισάγεται από εκεί.⁵⁵

⁵⁵ Diébédo Francis Kéré, (2001), *Primary School, Gando, Burkina Faso*, Berlin: The Aga Khan Award for Architecture
<https://www.archdaily.com/785955/primary-school-in-gando-kere-architecture>

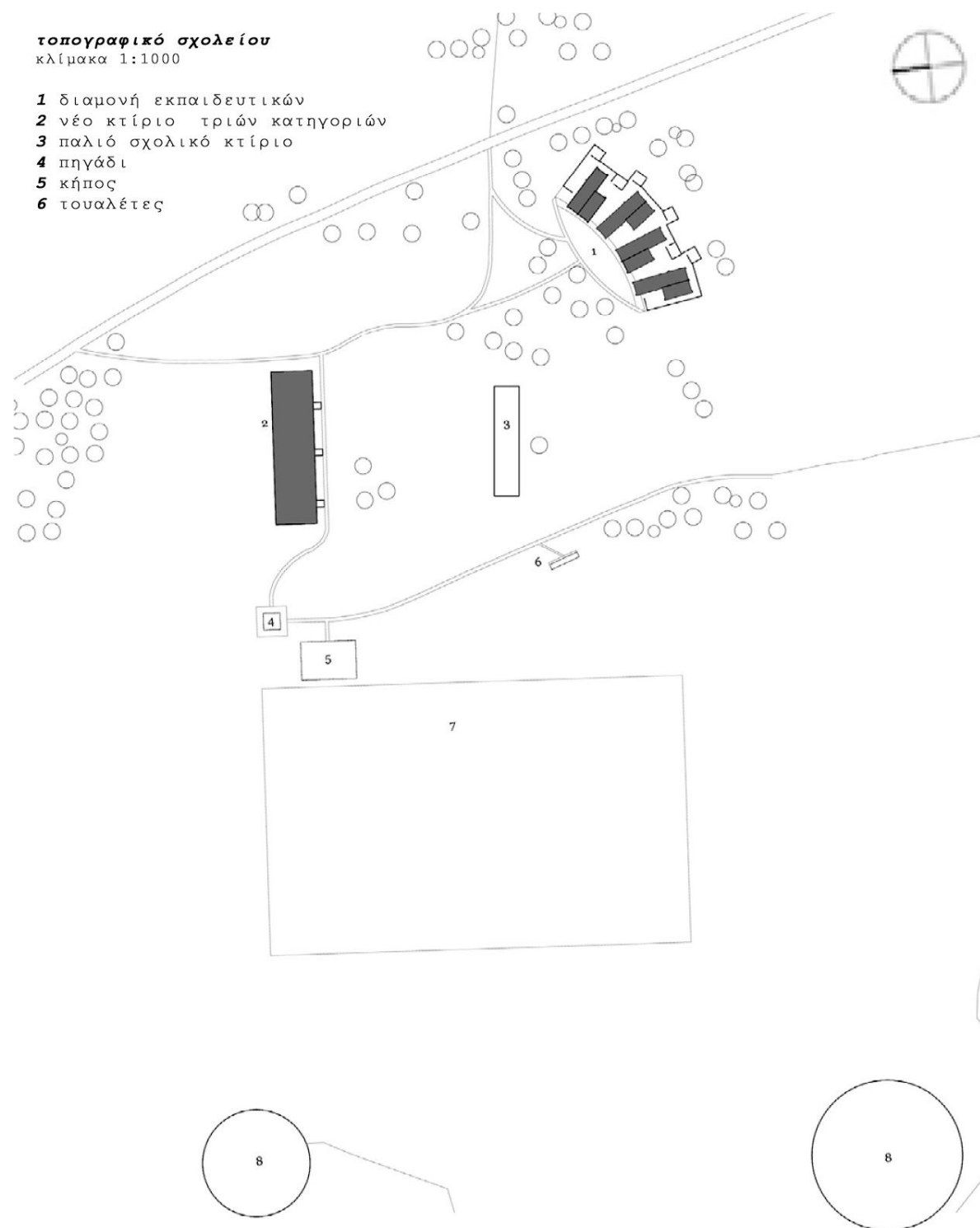


Εικ. 71: φάση κατασκευής

ε. Τοπογραφία

Το Gando ακολουθεί πιστά το τυπικό μοτίβο οικισμών που περιγράφηκε παραπάνω. Το χωριό αποτελείται από περίπου σαράντα κτιριακά συγκροτήματα απλωμένα σε μια έκταση περίπου 150 εκταρίων, μια έκταση θαμνώδους σαβάνας με μπαλώματα ανεπαρκώς αναπτυγμένης γεωργικής γης και χορτάδια δένδρων που συχνά έχουν πληγεί από τερμίτες. Υπάρχουν δύο βραχώδεις εκτάσεις που σηματοδοτούν το χωριό. Η μία στην ανατολική άκρη, ορίζοντας ένα (κατ'όνομα) φυσικό φράγμα και η άλλη, μικρότερη, στο βόρειο άκρο. Το μεγαλύτερο μέρος του οικισμού – συμπεριλαμβανομένου του συγκροτήματος του επικεφαλής και του «δέντρου συνδιάσκεψης», που σηματοδοτεί τον πυρήνα του χωριού – βρίσκεται στους πρόποδες του βόρειου αναχώματος. Το νότιο άκρο του χωριού περιλαμβάνει μερικές διασκορπισμένες ενώσεις και το σχολείο. Το τζαμί και η αγορά βρίσκονται στα μισά του δρόμου μεταξύ του σχολείου και του πυρήνα του χωριού και σηματοδοτούν το γεωμετρικό κέντρο χωριού.

Ένας ίσιος χωματόδρομος συνδέει όλα αυτά τα τμήματα και στη συνέχεια συνδέεται στον ασφάλτινο δρόμο, λίγα χιλιόμετρα προς τα νότια.



Εικ.72: τοπογραφικό περιοχής του παλαιού και νέου σχολείου

3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

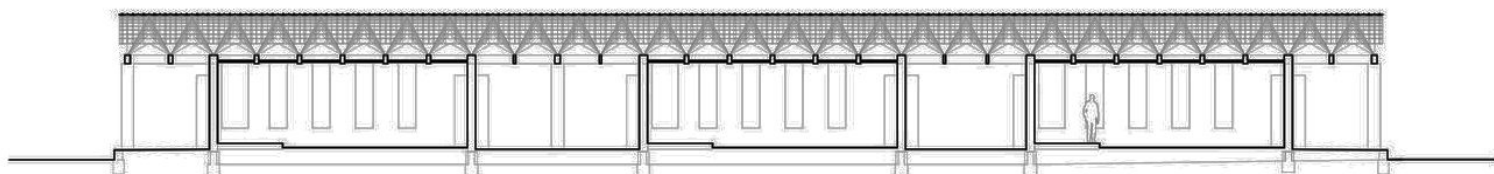
Το πρόγραμμα ακολούθησε τις αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού και το χαμηλό κόστος κατασκευής, αξιοποίησε στο μέγιστο τα τοπικά υλικά και το εργατικό δυναμικό της τοπικής κοινότητας, καθώς και την απλή προσαρμογή των εργαλείων από τον βιομηχανικό κόσμο. Συμπερασματικά το έργο περιείχε ένα ισχυρό διδακτικό στοιχείο: σχεδιάστηκε ως παράδειγμα – πρότυπο που θα βοηθούσε την τοπική κοινότητα να εκτιμήσει την αξία των παραδοσιακών υλικών και να την ενημερώσει για τις απλές τεχνικές που θα χρειαστούν λίγες νέες δεξιότητες.



Εικ.73: άποψη του καινούριου σχολείου

Το λειτουργικό πρόγραμμα αφορούσε ένα σχολικό συγκρότημα για 360 μαθητές, με βοηθητικά κτίρια, τουαλέτες και κουζίνα, κήπο λαχανικών, αθλητικό χώρο και στέγαση για έξι εκπαιδευτικούς και τις οικογένειές τους. Αυτό έπρεπε να υλοποιηθεί σταδιακά. Το πρώτο στάδιο περιείχε την κατασκευή ενός σχολικού κτιρίου για 120 μαθητές (αν και το 2003-2004 εξυπηρετούσε στην πραγματικότητα 182 μαθητές). Το δεύτερο στάδιο, ήταν η κατασκευή των κατοικιών (ξενώνων) των εκπαιδευτικών. Μεταξύ του σχολείου και των ξενώνων, βρίσκονται τα βοηθητικά κτίρια, ένα μπλοκ με τις τουαλέτες, το οποίο ήταν κατασκευασμένο από σκυρόδεμα από την DANIDA (Δανική Υπηρεσία Αναπτυξιακής Βοήθειας), μια κουζίνα

όπου εκεί έγινε και η δοκιμή για την κατασκευή αργότερα των θολωτών δωματίων στους ξενώνες, ένα πηγάδι με μερική χορηγία από την DANIDA, η περίφραξη του λαχανόκηπου ανάμεσα στο σχολείο και ένα γήπεδο.



Εικ.74: Τομή σχολείου

α. Δεδομένα σχεδίου

Η έκταση που διατέθηκε για το σχολείο και οποιαδήποτε μελλοντική επέκταση ήταν 30.000 τετραγωνικά μέτρα, συμπεριλαμβανομένου του γηπέδου και του κήπου. Το σχολικό κτίριο καταλαμβάνει 526 τετραγωνικά μέτρα. Είναι ένας μακρύς ορθογώνιος όγκος, τοποθετημένος σε μία πλατφόρμα που υψώνεται 50 εκατοστά από το έδαφος και προσανατολίζεται κατά μήκος ενός ανατολικό-δυτικού άξονα, γεγονός που σημαίνει ότι τα ανοίγματα είναι προς το Βορρά και το Νότο. Η προεξοχή της στέγης παρέχει την απαραίτητη σκιά, που χρειάζεται ιδιαίτερα στη νότια πλευρά. Οι τοίχοι είναι χτισμένοι με πλιθιά (συμπιεσμένη ρευστή γη) και ενισχύονται από τετράγωνες κολώνες, επίσης από πλιθιά, για καλύτερη στατικότητα και προστασία από τον ήλιο κατά τις ώρες της Ανατολής και της Δύσης. Στο εσωτερικό, αυτές δημιουργούν κόγχες στους εξωτερικούς τοίχους των τάξεων. Οι κόγχες έχουν μετατραπεί σε ντουλάπια ανακυκλώνοντας τον ξύλινο ξυλότυπο που χρησιμοποιείται κατά την σκυροδέτηση.



Εικ. 75,76: προεξέχουσα στέγη

Το μικροκλίμα εξασφαλίζεται από τον προσανατολισμό του κτιρίου, από τη φύση των υλικών των τοίχων και από ένα σχέδιο που επιτρέπει την απρόσκοπτη ροή αέρα ανάμεσα στο χωροδικτύωμα της στέγης και της οροφής από διάτρητα τούβλα. Ο διαμπερής αερισμός ενισχύεται περαιτέρω από την άφθονη χρήση των ανοιγμάτων στο βόρειο και νότιο τοίχο.

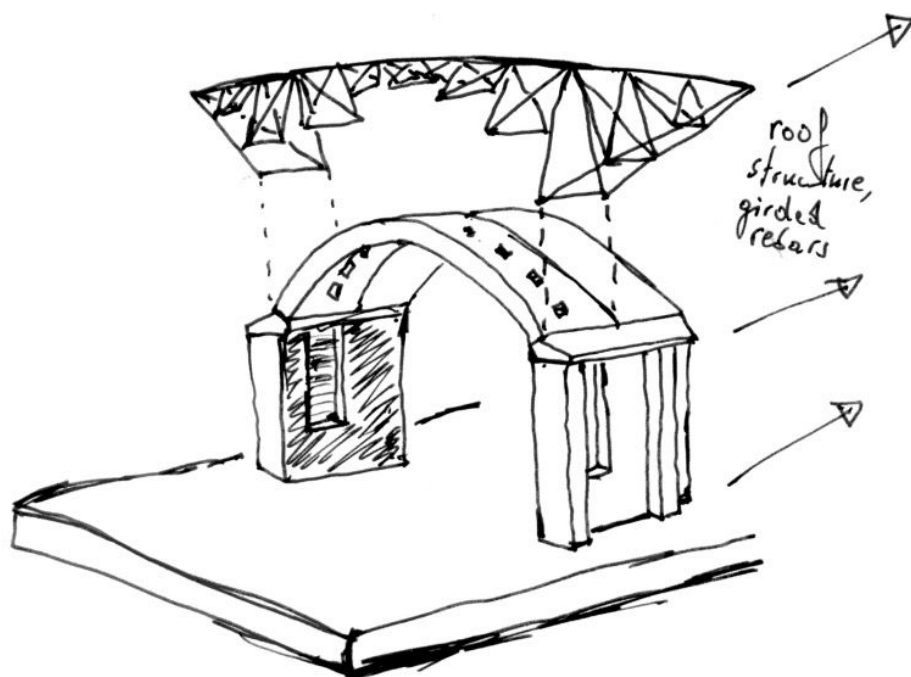
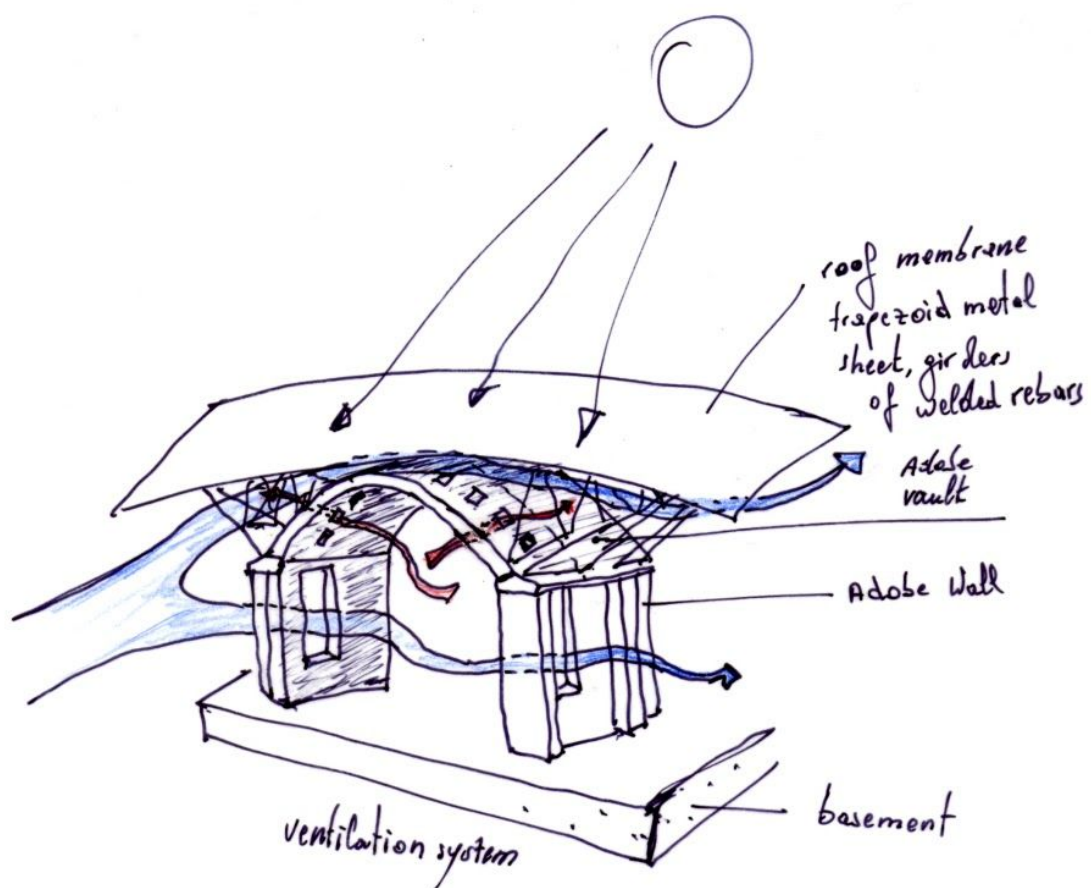


Εικ.77: άποψη της στέγης

Τα σπίτια των δασκάλων είναι διατεταγμένα σε ένα ευρύ τμήμα τόξου το οποίο μάλιστα σηματοδοτεί τα νότια όρια του σχολικού χώρου. Έχουν χτιστεί έξι μονάδες, συνολικής έκτασης 300 τετραγωνικών μέτρων.



Εικ.78: χώροι διαμονής εκπαιδευτικών



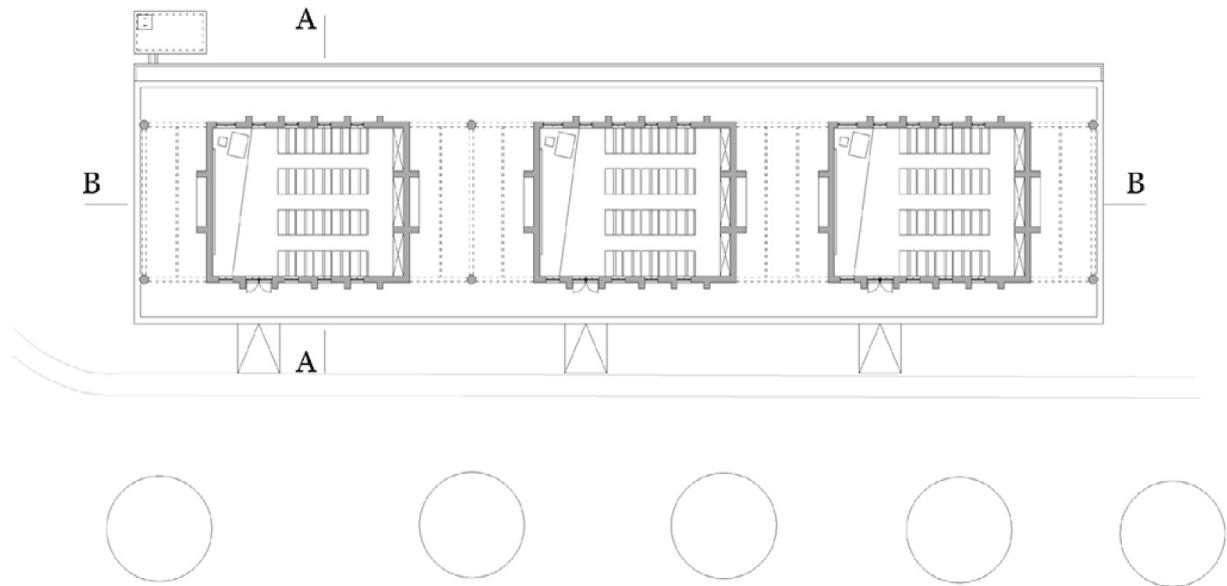
Εικ.79,80: σκίτσα του αρχιτέκτονα για τη στέγη

β. Ανάπτυξη της κεντρικής ιδέας

Σύμφωνα με τον ίδιο τον αρχιτέκτονα, το σχέδιο προορίζεται να «προσαρμοστεί στις ανάγκες και την οικονομική κατάσταση των κατοίκων της περιοχής και να ανταποκριθεί στις επικρατούσες κλιματικές συνθήκες, έτσι ώστε να είναι ικανό να επιτύχει τη βιωσιμότητα». Προσθέτει, ότι αυτό συνεπάγεται «αφενός την ενημέρωση της κοινότητας του χωριού και την ευαισθητοποίησή τους για τα πλεονεκτήματα των ντόπιων δομικών υλικών και αφετέρου την φιλοσοφία ενός σχεδιασμού που βασίζεται σε εποικοδομητικές αρχιτεκτονικές λύσεις, χρησιμοποιώντας τα δομικά υλικά του τόπου σε συνδυασμό με τις δεξιότητες των κατοίκων της τοπικής κοινότητας». Το σχολείο σχεδιάστηκε ως κτίριο τριών όγκων διαστάσεων 7 x 9 μέτρων παρατεταγμένων σε σειρά, το καθένα από τα οποία φιλοξενούσε μια αίθουσα διδασκαλίας πενήντα μαθητών. Μεταξύ των τριών όγκων, παρεμβάλλονται αίθρια, πλακόστρωτες εσωτερικές αυλές, σε μια πλατφόρμα που υπερυψώθηκε 50 εκατοστά από το έδαφος. Το μπλοκ με τα κτίρια-αίθρια στεγάζεται από μία ενιαία στέγη.



Εικ.81: σχολείο από υλικά φυσικής δόμησης



Εικ.82: κάτοψη σχολείου



Εικ.83: αντιδράσεις παιδιών με τις νέες εγκαταστάσεις

Οι κλιματολογικές συνθήκες καθόρισαν σε μεγάλο βαθμό τη μορφή, τον προσανατολισμό και τα υλικά του κτιρίου, αλλά ο αρχιτέκτονας κάνει αναφορά στην μνήμη. Έτσι, το σχολείο βρίσκεται σε μια πλατφόρμα υπερυψωμένη από το έδαφος όπως οι παραδοσιακές σιταποθήκες, τα στεγασμένα αίθρια ανάμεσα στις αίθουσες διδασκαλίας που θυμίζουν το ζάντι, την κληματαριά των ανδρών και το χωροδικτύωμα της στέγης που θυμίζει τις φυλλωσιές των δέντρων.



Εικ.84: χωροδικτύωμα στέγης

Η μορφή της οροφής σχεδιάστηκε επίσης για να κατευθύνει το νερό της βροχής σε ένα κανάλι που τρέχει κατά μήκος της βόρειας πλευράς του κτιρίου και καταλήγει σε μια στέρνα, που χρησιμοποιούνταν για την άρδευση του παρακείμενου λαχανόκηπου. Ο δίαυλος του νερού και η λίμνη δεν έχουν ακόμη κατασκευαστεί,

δεδομένου ότι δεν είχαν οριστεί ως προτεραιότητα στο σύνολο των κατασκευών που χτίστηκαν με τα διαθέσιμα κεφάλαια. Στην πραγματικότητα, το βαθύ πηγάδι που χτίστηκε δίπλα στον κήπο, καθιστά λιγότερο επείγουσα την ανάγκη εύρεσης εναλλακτικών μορφών νερού για άρδευση. Τα σπίτια των δασκάλων (ξενώνες) σχεδιάστηκαν καταδεικνύοντας τα πλεονεκτήματα της δόμησης με τοπικά υλικά και της χρήσης των ντόπιων τεχνητών, σε συνδυασμό με τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό. Έπρεπε να είναι αρκετά άνετα και ελκυστικά για να πείσουν τους δασκάλους ότι θα μπορούσαν να ζήσουν εδώ υπό τις ίδιες συνθήκες με αυτές που επικρατούν σε οποιαδήποτε μεγαλύτερη πόλη.



Εικ.85: Άνετα και ελκυστικά κτίσματα

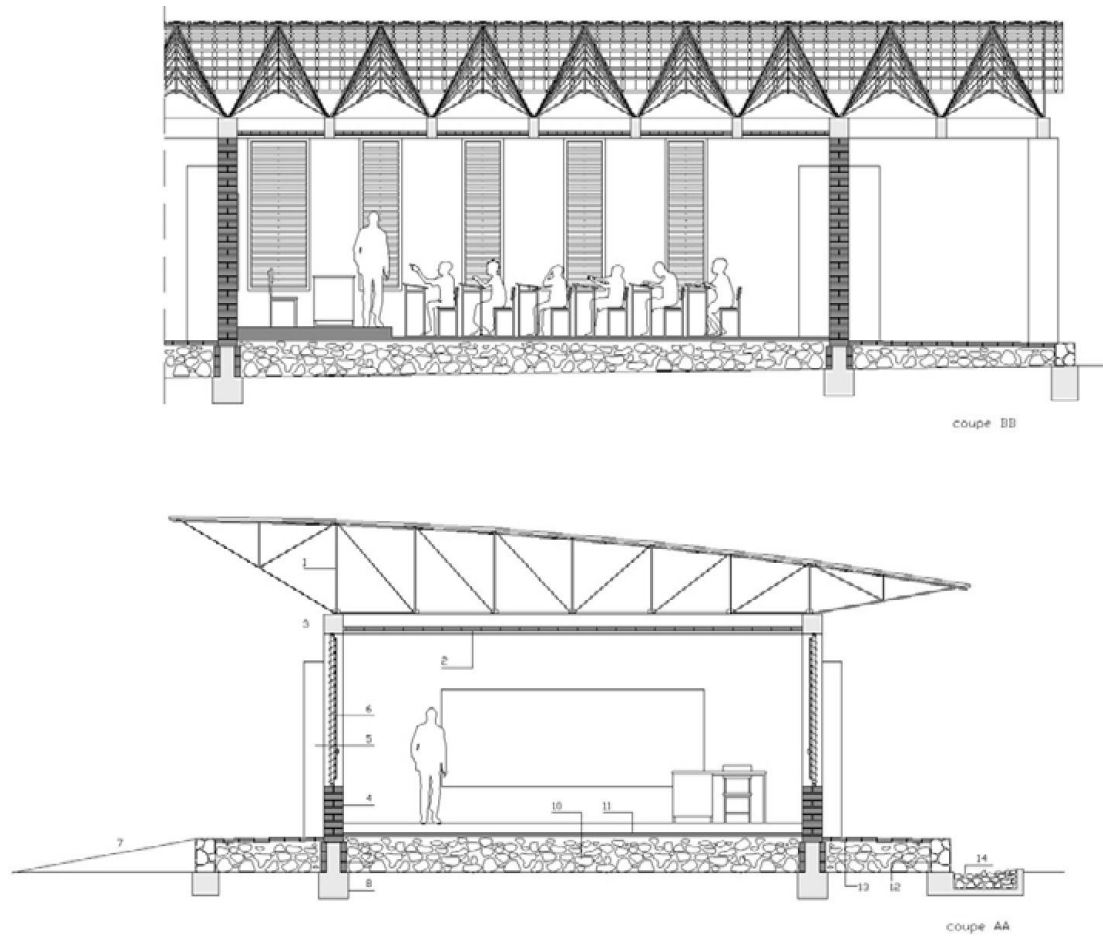
Προβλέφθηκε ότι τα σπίτια θα χτιστούν ως εξελισσόμενες μονάδες. Μονάδες ενός δωματίου θα κατασκευάζονταν σε φάσεις μέχρις ότου ολοκληρωθεί μια μονάδα κατοικίας. Στην πράξη, όλες οι βασικές αίθουσες κάθε μονάδας χτίστηκαν την ίδια στιγμή και η σταδιακή κατασκευή (κατασκευή σε φάσεις) το μόνο που άφηνε για αργότερα ήταν η ανέγερση των τοίχων του προαύλιου χώρου (αυλής),

η κατασκευή εξωτερικών λουτρών και τα μονοπάτια με συμπιεσμένη γη, γύρω από το συγκρότημα. Οι θολωτές στέγες που συνδέουν τις μονάδες σχεδιάστηκαν έτσι ώστε να έχουν διαφορετικά ύψη, αφήνοντας με αυτό τον τρόπο ένα δρεπανοειδές άνοιγμα μεταξύ τους επιτρέποντας τον φωτισμό από ψηλά και τον εξαερισμό. Μετά την κατασκευή, διαπιστώθηκε ότι αυτά τα ανοίγματα ήταν ευάλωτα στη διείσδυση ανέμου και σκόνης. Ως εκ τούτου, εξετάστηκε το ενδεχόμενο να κλειστούν τα κενά αυτά με κάποιο είδος βιομηχανικού διάφανου υλικού, όπως το Plexiglas. Αυτό, βεβαίως, θα κατέλυε τον αρχικό τους σκοπό για εξαερισμό.⁵⁶



Εικ.86: Θολωτές στέγες σε διαφορετικά ύψη

⁵⁶ Diébédo Francis Kéré, (2001), *Primary School, Gando, Burkina Faso*, Berlin: The Aga Khan Award for Architecture
<https://www.dezeen.com/2017/10/17/movie-diebedo-francis-kere-gando-school-burkina-faso-interview-video/>

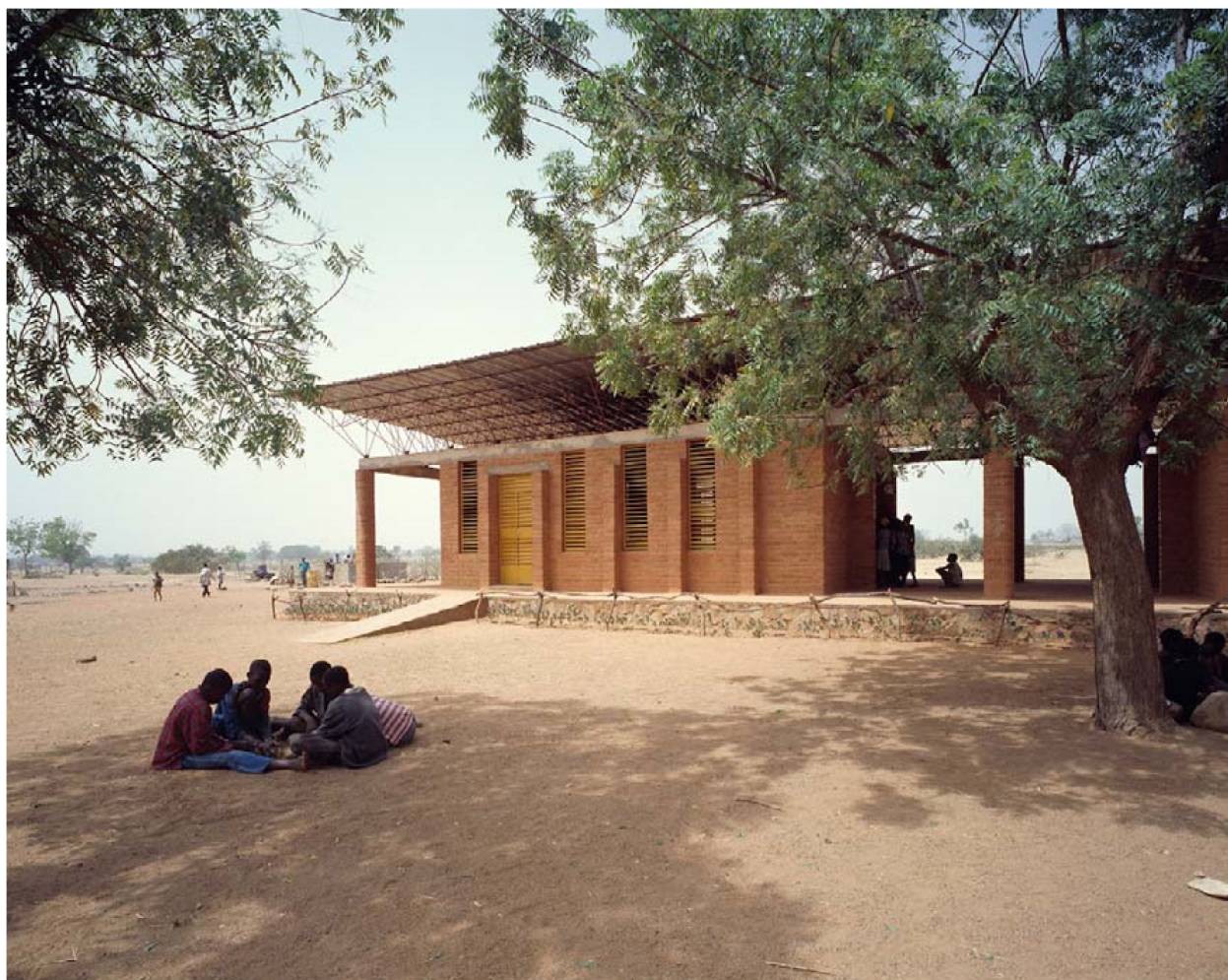


Εικ.87: Τομές σχολείου



Εικ.88: Λεπτομέρεια κατασκευής

Ο σχεδιασμός του περιβάλλοντα χώρου συνίσταται ουσιαστικά στην οριοθέτηση ενός χώρου για λαχανόκηπο και για φύτευση δέντρων και θάμνων κατά μήκος της πλευράς του σχολείου. Μια υπάρχουσα συστάδα δέντρων ανάμεσα στο σχολείο και τα σπίτια των δασκάλων, η οποία λειτουργεί ως ιδιαίτερο ορόσημο της τοποθεσίας, δέχθηκε εμφανώς επίθεση τερμιτών. Τα δέντρα καταστρέφονται σε τέτοιο βαθμό ώστε υπάρχει ο φόβος ότι θα πρέπει να κοπούν και η περιοχή να αναφυτευθεί με λιγότερο ευπαθή είδη. Προφανώς τα δέντρα μάνγκο είναι πιο ανθεκτικά.



Εικ.89: Περιβάλλον χώρος σχολείου

γ. Δομή, υλικά, τεχνολογία

Η βασική δομή του σχολείου είναι από τοίχους φέρουσας τοιχοποιίας από συμπιεσμένα τούβλα περιεκτικότητας βιομηχανικού τσιμέντου κατά 8%, κατασκευασμένα με πρέσσα χειρός στο εργοτάξιο και χτισμένα με λάσπη ως υλικό σύνδεσης.



Εικ.90: τοιχοποιίες από πλινθία και χρήση οπλισμένου σκυροδέματος

Τα θεμέλια είναι από πέτρα και σκυρόδεμα. Το οπλισμένο σκυρόδεμα χρησιμοποιήθηκε μόνο για τις δοκούς που στηρίζουν τις οροφές. Συμπιεσμένη γη χρησιμοποιήθηκε επίσης για τις εξάγωνες πλάκες του πατώματος. Στις αίθουσες διδασκαλίας, τα δάπεδα είναι από συμπιεσμένη γη σταθεροποιημένη με τσιμέντο. Οι αρμοί διαστολής των κτιρίων έγιναν με την απλή διάταξη ενσωμάτωσης μικρών μεταλλικών δοκών τύπου Η στα παρακείμενα στρώματα από σκυρόδεμα, έτσι ώστε η μία δοκός να επικαλύπτει την άλλη. Αυτό επιτρέπει την ελεύθερη κίνηση όταν το υλικό συστέλλεται ή διαστέλλεται.



Εικ.91: Δάπεδα από συμπιεσμένη γη

Η οροφή είναι από κυματοειδή μεταλλική λαμαρίνα. Τα φύλλα λαμαρίνας τοποθετούνται πάνω σε ένα χωροδικτύωμα που αποτελείται από ράβδους χάλυβα (μπετόβεργες) των 16 χιλιοστών που συνδέονται με τις δοκούς από χάλυβα ή σκυρόδεμα που τοποθετούνται παράλληλα με το πλάτος του κτιρίου. Ο αέρας κυκλοφορεί ελεύθερα μεταξύ της στέγης και της οροφής.



Εικ.92: οροφή από κυματοειδή λαμαρίνα

Η οροφή είναι κατασκευασμένη από χωμάτινα τούβλα (συμπιεσμένη γη) που στηρίζονται σε χαλύβδινες ράβδους 12 χιλιοστών, απέχουν περίπου 15 εκατοστά μεταξύ τους και είναι τοποθετημένα κάθετα στις δοκούς από σκυρόδεμα. Στο πίσω μέρος κάθε τάξης, καθώς και πάνω από την πλατφόρμα για το μαυροπίνακα και το γραφείο του δασκάλου, υπάρχει ένα διάκενο 10 εκατοστών μεταξύ των οροφών, από τοίχο σε τοίχο. Αυτό επιτρέπει στο φως και στον αέρα να εισέλθουν, αν και τα ανοίγματα που βρίσκονται κατά μήκος του απέναντι τοίχου παρέχουν επίσης άφθονο φυσικό φωτισμό και ελεγχόμενο αερισμό. Άλλες λεπτομέρειες, όπως οι στρογγυλεμένες άκρες των ακμών στους τοίχους, δείχνουν την μέριμνα για την ασφάλεια των παιδιών. Ωστόσο, δεν φαντάστηκε κανένας ότι τα παιδιά θα χρησιμοποιούσαν τα παραθυρόφυλλα ως σκάλες και θα ανέβαιναν στο χώρο μεταξύ της οροφής και της στέγης. Αυτό δημιούργησε πρόσθετο φορτίο στις οροφές, το οποίο δεν είχε προβλεφθεί.



Εικ.93: οροφή από χωμάτινα τούβλα

Η χρήση ξύλου απορρίφθηκε για δύο λόγους. Πρώτον, δεν υπάρχει τοπική παράδοση στην κατασκευή με ξύλο και η τεχνογνωσία στον τομέα της ξυλείας είναι ελάχιστη. Δεύτερον, το φυσικό σκληρό ξύλο είναι σπάνιο και οι ποικιλίες που εισάγονται από τις γειτονικές χώρες είναι αμφιβόλου ποιότητας. Συχνά δεν έχουν αποξηρανθεί σωστά και είναι επιρρεπείς σε στρεβλώσεις. Τσως για αυτούς τους λόγους ή ίσως επειδή είναι λιγότερο απαιτητικό όσον αφορά εργαλεία και ακρίβεια εργασίας, το μέταλλο έχει αντικαταστήσει εδώ και καιρό το ξύλο στην κατασκευή σε αυτό το μέρος του κόσμου. Ο χάλυβας επομένως χρησιμοποιήθηκε για τα παραθυρόφυλλα και τις πόρτες, χρησιμοποιώντας έτσι μια τεχνολογία με την οποία οι τοπικοί τεχνίτες ήταν εξοικειωμένοι. Ένας άλλος λόγος για την αποφυγή του ξύλου είναι ότι οι τερμίτες είναι μια πραγματική απειλή, σε σημείο που να καταστρέφουν και το άχυρο που βρίσκεται μέσα στα παραδοσιακά πλιθιά από λάσπη. Η αποτελεσματική επεξεργασία ξύλου ήταν πέρα από τις δυνατότητες του πρότζεκτ, που απαιτούσε μια απλή και άμεση προσέγγιση.

Εκτός από αυτές τις επιφυλάξεις σχετικά με τη χρήση του ξύλου, η επιλογή ενός χωροδικτυώματος για την οροφή μπορεί να εξηγηθεί για άλλους λόγους. Πρώτον, μια συμβατική κατασκευή με μεταλλικούς δοκούς ΗΠΕ θα συνεπαγόταν υψηλό κόστος μεταφοράς, καθώς κατά τον χρόνο κατασκευής ο εθνικός δρόμος δεν ήταν ασφάλτινος και η διαδρομή από το σχολείο προς το χωριό θα ήταν δύσκολο να πραγματοποιηθεί. Δεύτερον, λόγω του μεγάλου βάρους τους, οι δοκοί ΗΠΕ, που θα απαιτούσε αυτό το πρότζεκτ, θα έκαναν αναγκαία την χρήση γερανών και διαφόρων άλλων μηχανισμών ανύψωσης και μεταφοράς, κάτι που δεν ήταν εφικτό στην συγκεκριμένη περίπτωση. Αντ 'αυτού, ο αρχιτέκτονας εφηύρε μια διαδικασία με την οποία οι κοινές χαλύβδινες ράβδοι (μπετόβεργες) κόπηκαν σε προκαθορισμένα μήκη, λυγισμένα στη μέση για να σχηματίσουν ένα ανεστραμμένο V (ή δύο πόδια που διαχωρίζονται για να στηρίξουν το σώμα, όπως emphaticά απεικόνισε ο αρχιτέκτονας) που θα μπορούσαν εύκολα από ανθρώπινα χέρια να μεταφερθούν στην οροφή του κτιρίου και εν συνεχεία να συνδεθούν (κολληθούν) με τις εγκάρσιες πλάκες από σκυρόδεμα ή χάλυβα. Οι χαλύβδινες ράβδοι που εκτείνονται κατά μήκος της οροφής, συγκολλούνται σε αυτές τις μονάδες για να συνδεθούν μεταξύ τους. Το μόνο απαραίτητο ήταν να διδάξουν στους ανθρώπους πώς να

χρησιμοποιήσουν ένα δίσκο χειρός και μια μικρή μηχανή συγκόλλησης.



Εικ.94: Λεπτομέρεια χωροδικτυώματος οροφής

Στα σπίτια των δασκάλων, οι τοίχοι κατασκευάζονται από παραδοσιακά μπλοκ banco, πάχους 40 εκατοστών, πάνω σε ένα θεμέλιο από ευμεγέθεις βράχους και σκυρόδεμα. Για τις στέγες χρησιμοποιήθηκαν θολωτές οροφές από τουβλέτες χώματος. Οι θόλοι τοποθετήθηκαν στη θέση τους με τη βοήθεια ξύλινων καλουπιών, 1,2 μέτρα πλάτος κάθε μία. Μόνο δύο τέτοια καλούπια ήταν απαραίτητα για ολόκληρη την κατασκευή. Ακόμα, καμπύλα δοκάρια οπλισμένου σκυροδέματος κατασκευάστηκαν στην ένωση των θόλων και των τοίχων. Οι τοίχοι και κυρίως το εξωτερικό των τοιχοποιιών, στεγανοποιήθηκαν με επίχρισμα από λάσπη, λίγο σκυρόδεμα και πίσσα, παραλλαγή μιας τεχνικής που χρησιμοποιείται σε πιο

παραδοσιακές κατασκευές. Επιλέον, είχε σχεδιαστεί αλλά δεν είχε υλοποιηθεί κατά την επίσκεψη των τεχνικών επιθεωρητών στο σχολείο, μια ακόμη οροφή από κυματοειδή μεταλλικά φύλλα, η οποία θα προσέφερε περαιτέρω προστασία από τις έντονες βροχοπτώσεις. Τα δάπεδα είναι κατασκευασμένα από ρευστή γη, και τα εσωτερικά δάπεδα τα οποία ολοκληρώθηκαν μεταγενέστερα, έγιναν και πάλι με ρευστή γη αλλά με ένα ποσοστό λίπους. Οι γυναίκες πραγματοποίησαν μεγάλο μέρος αυτής της εργασίας, χρησιμοποιώντας λεπτεπίλεπτα εργαλεία και δουλεύοντας σε ομάδες υπό τον ρυθμό τυμπάνων που έπαιζαν νεαροί άνδρες.



Εικ.95: εργασία γυναικών

Για να εξασφαλιστεί η γρήγορη αποστράγγιση, τσιμεντένιοι δίαυλοι “τρέχουν” κατά μήκος των θόλων του πάνω μέρους των πλαϊνών τοίχων του κτιρίου, “κατεβαίνοντας” από τους πλαϊνούς τοίχους υπό την μορφή αντιηρίδων. Αργότερα, προστέθηκε ένας διάτρητος τοίχος κατασκευασμένος από τσιμεντόλιθους για την προστασία των υδρορροών από τον ισχυρό άνεμο. Τα ανοίγματα στους πάνω τοίχους, που βλέπουν ανατολικά και δυτικά, αποτελούνται

κυρίως από πλίνθους κτισμένους σαν γρίλιες και είναι κυρίως για αερισμό. Οι περιμετρικοί τοίχοι στις αυλές είναι χτισμένοι από τσιμεντόλιθους με στοιχειώδη σκελετό από οπλισμένο σκυρόδεμα. Τη περίοδο της επίσκεψης του τεχνικού επιθεωρητή, οι τουαλέτες δεν είχαν εγκατασταθεί ακόμη και η προσωπική υγιεινή γινόταν σε μια περίφραξη από άχυρο, όπως συμβαίνει συχνά στις παραδοσιακές κατοικίες. Δεν υπάρχει ηλεκτρικό ρεύμα ή τηλέφωνο. Το νερό μεταφερόταν αρχικά από τις γυναίκες, από μια πηγή περίπου επτά χιλιόμετρα μακριά, αλλά αργότερα, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ένα πηγάδι δημιουργήθηκε κοντά στο σχολείο, γεγονός που απλοποίησε απίστευτα το έργο τους. Η τουαλέτα του σχολείου κατασκευάστηκε από σκυρόδεμα και είναι τύπου «παραδοσιακού βόθρου», ένα μοντέλο που χρησιμοποιείται σε άλλα μέρη της περιοχής και προσφέρθηκε από τη DANIDA.



Εικ.96: εσωτερική άποψη σχολείου

Η εκπαίδευση των ανθρώπων που έφτιαχναν τα τούβλα και των μαστόρων που θα τα έχτιζαν, πραγματοποιήθηκε από την Projet LOCOMAT, στην Ουαγκαντούγκου, μια υπηρεσία του Υπουργείου Υποδομών, που δημιουργήθηκε για να προωθήσει τη χρήση τοπικών υλικών με βελτιωμένες τεχνικές. Το χώμα που χρησιμοποιήθηκε για τα μπλοκς προήλθε από το ίδιο το χωριό και συλλέχθηκε 500 μέτρα από το εργοτάξιο. Τα τούβλα και οι πλάκες δαπέδου κατασκευάστηκαν με πρέσες χειρός που ήρθαν από το Βέλγιο. Σκυρόδεμα και χάλυβας εισήχθησαν από γειτονικές χώρες. Τα μεταλλικά φύλλα που χρησιμοποιήθηκαν στις στέγες κατασκευάστηκαν, στη Μπουρκίνα Φάσο, οι πόρτες και τα σκίαστρα ήταν έργο των σιδεράδων στο Tenkodogo. Το χωροδικτύωμα της οροφής κατασκευάστηκε επί τόπου, υπό τις οδηγίες του αρχιτέκτονα, ο οποίος επίσης επέβλεψε και συμμετείχε ενεργά στην κατασκευή και εκπαίδευση του τοπικού προσωπικού. Εκτός από το εκπαιδευτικό προσωπικό της LOCOMAT και τους σιδεράδες από το Tenkodogo, όλοι οι άνθρωποι που ασχολήθηκαν με την κατασκευή και τη διαχείριση του έργου (συμπεριλαμβανομένου του αρχιτέκτονα) ήταν ντόπιοι από το χωριό. Η πρώτη ομάδα εθελοντικής εργασίας αριθμούσε 150 άτομα, κυρίως νέους άνδρες ηλικίας από 15 έως 20 ετών, αλλά και γυναίκες και παιδιά.⁵⁷



Εικ.97: εκπαίδευση ατόμων σχετικά με τις μεθόδους κατασκευής

⁵⁷ <https://www.kerearchitecture.com/work/building/gando-primary-school-extension>

4. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

α. Χρονοδιάγραμμα κατασκευής και κόστος

Η απόφαση για την εκτέλεση του έργου αυτού έγινε το 1998, ο σχεδιασμός το 1999 και η κατασκευή του διήρκεσε από τον Οκτώβριο του 2000 έως τον Ιούλιο του 2001. Το σχολείο άρχισε να λειτουργεί τον Οκτώβριο του 2001.

Ο αρχικός εκτιμώμενος προϋπολογισμός ήταν 19.175.000 φράγκα CFA (28.954 δολάρια ΗΠΑ) και το πραγματικό κόστος ανήλθε σε 22.750.000 φράγκα CFA (29.830 δολάρια ΗΠΑ). Αυτός συμπεριελάμβανε 4.850.000 φράγκα CFA (6.551 δολάρια ΗΠΑ) για την υποδομή, 1.800.000 φράγκα CFA (2.471 δολάρια ΗΠΑ) για εργασία, 10.725.000 φράγκα CFA (14.486 USD) για υλικά, 450.000 CFA φράγκα (608 δολάρια ΗΠΑ) για εξωραϊσμό, 1,650,000 φράγκα CFA (2,229 δολαρίων ΗΠΑ) για επαγγελματικές αμοιβές και 3.275.000 φράγκα CFA (4.424 δολάρια ΗΠΑ) σε απροσδιόριστο κόστος. Έτσι, το κόστος ανά τετραγωνικό μέτρο φτάνει τα 43.250 φράγκα CFA (58 δολάρια ΗΠΑ). Δεν αποτιμήθηκε η γη ή το εθελοντικό έργο της κοινότητας.



Εικ.98: παιδιά εν ώρα μαθήματος

Καθώς η γη και η εθελοντική εργασία δεν αποτιμήθηκαν, είναι δύσκολο να γίνει συγκριτική αξιολόγηση του κόστους. Ο αρχιτέκτονας θεωρεί ότι το κόστος είναι υψηλό, αν και είναι τρεις φορές μικρότερο από κτίρια της ίδιας ποιότητας που κατασκευάζονται υπό διαφορετικές συνθήκες. Ως μέτρο σύγκρισης, το κόστος ανά τετραγωνικό μέτρο της αγοράς στην Ouahigouya, όπου το κόστος της γης δεν συμπεριλαμβάνεται επίσης, ήταν περίπου 2,5 φορές υψηλότερο από αυτό του σχολείου.



Εικ.99: αποτύπωση σχολείου

b. Τεχνική αξιολόγηση

Το σχολείο λειτουργεί πολύ καλά τόσο από άποψη χωρικής οργάνωσης, καθώς παρεμβάλλονται μεταξύ των αιθουσών διδασκαλίας αίθρια και εξασφαλίζεται με αυτό τον τρόπο η επιθυμητή ηχομόνωση και η επίτευξη ευνοϊκού μικροκλίματος, με αξιοσημείωτα αποτελέσματα. Η παρουσία του κτιρίου στο τοπίο είναι έντονη αλλά και αρμονική.

Η έμφαση που δίνεται σε εξαιρετικά απλές, σχεδόν πρωτόγονες μεθόδους βασίζεται σε σωστές γνώσεις οικοδομικής, και αυτό διακρίνεται ειδικότερα στον σκελετό οροφής. Ωστόσο, σε ορισμένες περιπτώσεις φαίνεται ότι έχει προσεγγιστεί με σχετικό ρίσκο από στατικής άποψης, όπως τα πολύ λεπτά δοκάρια (20 x 15 εκατοστά) από σκυρόδεμα που καλύπτουν το πλάτος 7 μέτρων των τάξεων, οι οποίες είναι μάλλον ανεπαρκείς σε σχέση με το βάρος της οροφής. Παρομοίως, οι χαλύβδινες ράβδοι που τοποθετήθηκαν κατά μήκος αυτών των δοκών για να στηρίξουν τα τούβλα οροφής θα έπρεπε να είναι παχύτεροι, αφού ήδη αρχίζουν να κάμπτονται εξαιτίας του βάρους. Παρατηρούνται ορισμένα σημάδια αστοχίας, όπως η ορατή διάβρωση των τοιχοποιιών και των πλακιδίων στο δάπεδο. Παρόλα αυτά κρίνεται κάτι σύνηθες και αποδεκτό, καθώς συναντάται και σε άλλα κτίρια σε διάφορα μέρη της χώρας. Όσον αφορά τα σπίτια των δασκάλων, η επιλογή της θέσης τους και της καμπυλόγραμμης κάτοψης τους, λειτουργούν καλά σαν σύνολο. Οι χρήστες φαίνεται να απολαμβάνουν τον χώρο και το μικροκλίμα του.



Εικ.100,101: φάσεις κατασκευής

c. Χρήστες

Το σχολείο προοριζόταν αρχικά να εξυπηρετεί μόνο τα παιδιά του Gando, αλλά η χρήση και από τα παιδιά των γειτονικών χωριών αυξάνεται. Έχει αναφερθεί ότι ακόμη και οι Πούλ, νομαδικοί παπάδες που παραδοσιακά διστάζουν να αφήσουν τα παιδιά τους να πάνε στο σχολείο, έχουν επιτρέψει πλέον στα παιδιά τους να φοιτήσουν.

Το γεγονός αυτό ενισχύει την υπερηφάνεια της κοινότητας. Ένας από τους δασκάλους επιβεβαίωσε ότι έχει καλύτερο ποσοστό επιτυχίας εδώ από ότι στα σχολεία που ήταν πριν, πιθανώς επειδή τα παιδιά είναι πιο άνετα και πιο επιμελή.⁵⁸



Εικ.102: παιδιά από το Gando και τα γειτονικά χωριά

⁵⁸ Diébédo Francis Kéré, (2001), *Primary School, Gando, Burkina Faso*, Berlin: The Aga Khan Award for Architecture
<https://www.archdaily.com/785955/primary-school-in-gando-kere-architecture>

Δ. ΣΥΓΚΡΙΣΗ - ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΦΥΣΙΚΗΣ ΔΟΜΗΣΗΣ

1. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Η πιο συνηθισμένη μέθοδος των τελευταίων χρόνων που στοχεύει στην αξιολόγηση των δομικών υλικών, βασιζόμενη σε οικολογικά κριτήρια, "οικολογική προτίμηση" όπως αναφέρεται από τον κ. Σαργέντη. Αυτή στηρίζεται σε ένα εγχειρίδιο, το οποίο ενημερώνεται συνεχώς και αποτελείται από πίνακες που συγκρίνουν και κατατάσσουν τα διάφορα δομικά υλικά. Η "οικολογική προτίμηση" δεν αναλύει τον κύκλο ζωής των δομικών υλικών, επομένως δεν είναι τόσο αυστηρή στην ανάλυση και κατάταξη. Παρόλα αυτά όμως βοηθάει τους καταναλωτές και μελετητές να επιλέξουν το κατάλληλο δομικό υλικό για την εκάστοτε ανάγκη τους και να μειώσουν στο ελάχιστο τις δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον. Έτσι, καθιερώθηκαν κάποια "οικολογικά σήματα" για την πιστοποίηση του οικολογικού χαρακτήρα του εκάστοτε υλικού και με αυτό τον τρόπο καλύπτεται η ανάγκη γρήγορης και άμεσης επιλογής του κατάλληλου υλικού από το χρήστη.

Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται στην Ολλανδία από το 1991 και στοχεύει στη γρήγορη ενημέρωση των κατασκευαστών και των ενδιαφερόμενων για τα υλικά που είναι οικολογικά και φιλικά προς το περιβάλλον. Ακόμα, χρησιμοποιείται και στη Μεγάλη Βρετανία όπου τα προϊόντα αξιολογούνται με πολλαπλά κριτήρια. Αναλυτικότερα, κάθε υλικό και η συμπεριφορά που έχει προς το περιβάλλον, αναλύεται σε πολλές συνιστώσες με διαφορετική βαρύτητα η κάθε μία. Έτσι, κάθε άτομο γνωρίζει αφενός τη συνολική βαθμολογία των υλικών και αφετέρου τις επιπτώσεις τους σε κάθε περιβαλλοντικό στοιχείο χωριστά, όπως το νερό, το έδαφος, τον αέρα, κτλ.⁵⁹

⁵⁹ Σαργέντης, Φοίβος Γ, (2005), *Δομικά υλικά και οικολογία*, Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

a. Κριτήρια αξιολόγησης

Σχετικά με κριτήρια που αξιολογούνται τα υλικά, καθορίζονται με βάση την "ανάλυση του κύκλου ζωής" τους. Αποτελεί δηλαδή μία εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων και επιπτώσεων, ποσοτικοποιώντας την ενέργεια και τα υλικά που χρησιμοποιούνται και τα απόβλητα που απελευθερώνονται στο περιβάλλον. Η ανάλυση του κύκλου ζωής των προϊόντων περιλαμβάνει τα πρώτα στάδια εξαγωγής και επεξεργασίας των πρώτων υλών, την κατασκευή και μεταφορά τους, στη συνέχεια τη χρήση και επαναχρησιμοποίησή τους και τέλος τη συντήρηση, ανακύκλωση και οριστική αποβολή τους.λ

Πιο συγκεκριμένα, τα πιο σημαντικά κριτήρια για την αξιολόγηση ενός οικολογικού υλικού είναι η επιρροή που έχει στο περιβάλλον λόγω της συλλογής του. Ακόμα, η σχέση του όγκου των πόρων με τη δυνατότητα ανανέωσης τους, η μόλυνση του γύρω περιβάλλοντος, η ενέργεια που απαιτείται για τη παραγωγή και μεταφορά του υλικού, καθώς και για την κατασκευή. Επιπρόσθετα κρίνεται σημαντική η απαιτούμενη συντήρηση του υλικού, το περιβαλλοντικό κόστος κατά τη διάρκεια της ζωής του και τέλος η ικανότητα ανακύκλωσης και βιοδιάσπασής του.

b. Αξιολόγηση φυσικής Δόμησης

Η φυσική δόμηση επηρεάζεται και από άλλες παραμέτρους πέραν των υλικών, όπως είναι η θέση του κτιρίου στο χώρο, ο ηλιασμος του, ο αερισμός. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχουν πολλά κριτήρια που αξιολογούνται για να καταλήξουμε στην οικολογική συμπεριφορά ενός κτιρίου. Πρώτα από όλα, κρίνεται από τα υλικά που παράγονται κοντά στο χώρο κατασκευής και η χρήση αυτών. Ακόμα, είναι σημαντικό ο σχεδιασμός να στηρίζεται στις ανάγκες του εκάστοτε χρήστη, ώστε να μην τις ξεπερνά αλλά όχι και να μην τις καλύπτει επαρκώς. Παράλληλα, καθίσταται ιδιαίτερα σημαντική η οικονομική βιωσιμότητα του κτιρίου, όπως και η ορθή εφαρμογή της τελευταίας τεχνολογίας.⁶⁰

⁶⁰ Σαργέντης, Φοίβος Γ, (2005), *Δομικά υλικά και οικολογία*, Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Η φυσική δόμηση καθίσταται ιδιαίτερα δημοφιλής στην Ευρώπη και συγκεκριμένα στην Αγγλία, τη Γαλλία, τη Γερμανία, την Ισπανία. Όλες σχεδόν οι χώρες της Ευρώπης έχουν έστω και ένα κτίριο κατασκευασμένο από φυσικά υλικά. Ακολουθώντας την οικολογική ευαισθησία υπάρχουν πολλοί που προσπαθούν να αυξήσουν τις γνώσεις τους και να επιλύσουν όλα τα πιθανά τεχνικά ζητήματα με σκοπό να επιτύχουν ένα ιδανικό κτίριο που δεν θα επιβαρύνει το περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία.⁶¹

2. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΦΥΣΙΚΗΣ ΔΟΜΗΣΗΣ

Αν και οι τρόποι δόμησης μοιράζονται μία κοινή φιλοσοφία και όραμα, μεταξύ αυτών υπάρχουν σημαντικές διαφορές που εντοπίζονται στην υλικότητα, στον τρόπο παραγωγής και εφαρμογής, στον χρόνο αποπεράτωσης, στα εργατικά χέρια που χρειάζονται, στον βαθμό δυσκολίας που ενέχει η κάθε μία και στο ποσοστό αποτυχίας που μπορεί να υπάρξει στην εφαρμογή τους αλλά και με την παρέλευση του χρόνου.

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να κάνω και άλλον έναν διαχωρισμό των μεθόδων αυτών. Υπάρχουν κάποιες μέθοδοι που επιτρέπουν στον αρχιτέκτονα να τις χρησιμοποιήσει ώστε να παράξει “σύγχρονη” αρχιτεκτονική, κάποιες μέθοδοι που μεταφράζονται σε κτίρια με αρκετούς περιορισμούς αλλά εναρμονισμένα με την “κοινή” κατοικία που έχει ο μέσος άνθρωπος στο μυαλό του, και μέθοδοι που δεν αφήνουν περιθώρια πλάθοντας οι ίδιες την μορφή και την λειτουργία του κτιρίου.

Εκκινώντας από την πρώτη κατηγορία, η δομημένη συμπιεσμένη γη όπως και η ρευστή γη σε συνδυασμό με τα Vertical Clay αλλά και τα πλινθία, δίνουν σχετική ελευθερία σε έναν αρχιτέκτονα ενώ από μόνα τους, χωρίς να συνδυαστούν μεταξύ τους, οδηγούν σε περιορισμό των ανοιγμάτων λόγω στατικότητας και φτωχής σύνθεσης στην ογκοπλασία λόγω μονοτονίας. Η μέθοδος δόμησης με γεώσακους

⁶¹ Μυγιάκη Ε., Νικήτα Μ., (2013), *Διερεύνηση εναλλακτικών μεθόδων δόμησης στην κατασκευή κατοικιών στην Ελλάδα και σύγκριση με συμβατικές μεθόδους κατασκευής*, Πειραιάς: Τ.Ε.Ι., Τμήμα Πολιτικών Δομικών Έργων

θα έλεγε κανείς ότι δίνει μία σχετική ελευθερία όπως και τα adobe. Περιορίζει όμως τον μελετητή περισσότερο στο μέγεθος και την θέση των ανοιγμάτων καθώς και των εσωτερικών τοίχων. Η ποιότητα του χώματος, το μέγεθος των γαιοσακων καθώς και αν υπάρχει συνδετικό σύρμα ανάμεσα τους ή όχι, σε συνδυασμό με το συνολικό μέγεθος του κτιρίου, μπορεί να καθορίσει τις αναλογίες του κτιρίου.

Η μέθοδος των cob πιο πολύ δημιουργεί το σχέδιο στην φάση της κατασκευής παρά δημιουργείται το κτίριο βάση του σχεδίου του μελετητή. Η δημιουργία ενός κτιρίου αποκλειστικά από cob, κατά την προσωπική μου άποψη, τείνει πιο πολύ στην χειροτεχνία παρά στην οικοδομική και την αρχιτεκτονική. Αυτό δεν σημαίνει βέβαια ότι δεν ενδείκνυται, καθώς είναι πιο κοντά στην φυσική δόμηση από οποιαδήποτε άλλη τεχνική και οι οργανικές μορφές που προκύπτουν, έχουν ένα δικό τους, ιδιαίτερο αισθητικό αποτέλεσμα.

Ε. ΕΠΙΛΟΓΟΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο πλανήτη στον οποίο ζούμε, η ποσότητα των φυσικών πόρων είναι περιορισμένη. Με τον σημερινό ρυθμό κατανάλωσης, το απόθεμα πολλών από αυτών έχει μειωθεί αισθητά και είναι βέβαιο ότι θα εξαντληθεί στο άμεσο μέλλον. Οι παραδοσιακές πηγές ενέργειας (πετρέλαιο, άνθρακας, φυσικό αέριο) είναι πεπερασμένες. Η χρήση των πηγών αυτών, αυξάνουν τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, που οδηγεί στην υπερθέρμανση του πλανήτη. Είμαστε σε μια κρίσιμη στιγμή κατά την οποία η κοινωνία πρέπει να κάνει μια συνειδητή επιλογή για να μεταβεί σε ένα πιο βιώσιμο τρόπο ζωής.

Κατά την άποψη μου, τίθεται ως κάτι εφικτό, υλοποιήσιμο και αναγκαίο η προώθηση της φυσικής δόμησης. Εναλλακτικά υλικά και μέθοδοι κατασκευής είναι δυνατόν να μειώσουν το αρνητικό

αντίκτυπο της συμβατικής οικοδομικής δραστηριότητας που περιορίζεται ως επί το πλείστον στη χρήση σκυροδέματος, χάλυβα και ξύλου.

Το σχολείο στο Γκάντο, είναι ένα ηχηρό παράδειγμα ότι χρησιμοποιώντας και συνδυάζοντας τους τρόπους δόμησης με φυσικά υλικά, όχι μόνο μπορεί κάποιος να δημιουργήσει κτίρια οικολογικά με ιδανικές συνθήκες για τους χρήστες τους, αλλά και κτίρια με σύγχρονη και ενδιαφέρουσα αρχιτεκτονική. Το σχολείο στο Γκάντο μπορεί να έγινε με φυσικά υλικά και τρόπους δόμησης λόγω έλλειψης χρηματοδότησης, τεχνογνωσίας και σύγχρονων υλικών. Η ευφυΐα και οι ικανότητες όμως του αρχιτέκτονα έκαναν τους περιορισμούς αυτούς εργαλεία και εκπαιδεύοντας εύκολα τους κατοίκους, δίνοντας τους απλά εργαλεία, έφτιαξαν όλοι μαζί ένα κτίριο, που καλύπτει με το παραπάνω τις ανάγκες της περιοχής και συνάμα χάρισαν στην κοινότητα των αρχιτεκτόνων ένα ακόμα κτίριο να θαυμάζουμε.

Οι βασικοί λόγοι που περιορίζουν τη χρήση των φυσικών μεθόδων δόμησης εστιάζονται στην οικολογική παιδεία και συνείδηση των χρηστών, την έλλειψη τεχνογνωσίας, στην απουσία κανόνων δόμησης και στην ελλιπή ενημέρωση σχετικά με τις ιδιότητες και τις μηχανικές αντοχές των υλικών αυτών. Άλλος ένας περιορισμός, κατά την δική μου άποψη, είναι ότι όσοι επιλέγουν να φτιάξουν ένα κτίριο από φυσικά υλικά, περιορίζονται για κάποιο λόγο στο ότι το κτίριο θα πρέπει να είναι αποκλειστικά και μόνο από φυσικά υλικά και φυσικούς τρόπους δόμησης. Νομίζω ότι και ένα στοιχείο φυσικής δόμησης σε ένα κατά τα άλλα συμβατικό κτίριο είναι ένα βήμα προς μια περισσότερο βιώσιμη οικοδομική και δεν θέτει περιορισμούς στη. Ίσως θα πρέπει έτσι να ξεκινήσουμε.

Η βιομηχανία, η έρευνα, η επιστήμη, η οικονομία είναι σημαντικό να εστιάσουν σε αυτή την κατεύθυνση. Ο κόσμος έχει ανάγκη για μία καλύτερη σχέση με το περιβάλλον και η φυσική δόμηση είναι μια λύση.

Συνοψίζοντας, οι υποστηρικτές της φυσικής δόμησης καλό θα ήταν να πειραματιστούν με συνδυασμούς των μεθόδων αυτών μεταξύ τους ή και με συμβατικούς τρόπους δόμησης, ώστε σταδιακά να τους

βάλουμε στην οικοδομή και την ζωή μας. Αυτό συνάμα θα βοηθήσει να ανακαλύψουμε περισσότερο και τις αντοχές των φυσικών υλικών, που σφάλουν, την αντοχή τους στο χρόνο, τους καλύτερους συνδυασμούς και την σωστότερη εφαρμογή τους, και ταυτόχρονα να γίνει η εκπαίδευση των τεχνιτών που θα τις εφαρμόζουν.

Όσον αφορά τα κράτη με χαμηλό βιοτικό επίπεδο, όπως η Μπουργκίνα Φάσο, και κάποια χωριά όπως το Γκάντο, που οι ελλείψεις σε χρηματά, τεχνίτες και υλικά στερούν την κατοικία ή τα σχολεία στους κατοίκους των περιοχών αυτών, η χρήση των φυσικών μεθόδων είναι περισσότερο λύση επιβίωσης παρά οικολογική συνείδηση. Σε αυτές τις περιοχές μπορεί να γίνει το ιδανικό startup για μία επανάσταση στον τρόπο που χτίζουμε τα κτίριά μας. Κάνοντας πρακτική και εξάσκηση οι Μηχανικοί, οι Αρχιτέκτονες και οι τεχνίτες, που στην συνέχεια θα συνεχίσουν το έργο τους στον "πρώτο" κόσμο, και εκμεταλλευόμενοι τα φθηνά εργατικά χέρια και την ανάγκη για ανοικοδόμηση, ταυτόχρονα θα κάνουν καλύτερη τη ζωή των κατοίκων των περιοχών αυτών. Το παράδειγμα έχει δοθεί ήδη στο Γκάντο από τον Φρανσίς Κερέ.

ΣΤ. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Berge, Bjorn, (2009), *The ecology of building materials*, Translated by Chris Butters and Filip Henley, Italy: Architectural press
- Blondet, Marcial, Gladys Villa Garcia, Svetlana Brzen, (2003), *Earthquake-resistant construction of adobe buildings: A tutorial*, Oakland: EERI/IAEE World Housing Encyclopedia
- Diébédo Francis Kéré, (2001), *Primary School, Gando, Burkina Faso*, Berlin: The Aga Khan Award for Architecture
- El Feky, Usama Mohamed Ahmed, (2006), *Toward applicable green architecture, an approach to colonize the desert in Egypt*, Eindhoven: Universiteitsdrukkerij, Technische Universiteit Eindhoven
- Guillaud, Hubert, Thierry Joffroy, Pascal Odul, CRATerre-EAG, (1995), *Compressed earth blocks: manual of design and construction*, Eschborn: Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien - GATE
- Morel, J., A. Mesbah, M. Oggero, P. Walker, (2000), *Building houses with local materials: means to drastically reduce the environmental impact of construction*, Pergamon
- Minke, Gernot, (2006), *Building with earth: Design and technology of a sustainable architecture*, Basel: Birkhäuser

2. ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αδαμοπούλου, Ελένη, (2013), *Επίδραση του συνδυασμού τιμών των κυριότερων παραμέτρων του κτιριακού κελύφους στις συνθήκες θερμικής άνεσης κατά τους χειμερινούς μήνες*, Αθήνα: ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
- Γαβριηλίδης Δ., (2012), *Σύγκριση μεθόδων κατασκευής κτιρίων*, Πάτρα: Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Σχολή Θετικών επιστημών & τεχνολογίας
- Γιαννακοπούλου, Τρισεύγενη, *Εισαγωγή στις βιώσιμες κατασκευές*, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, n.d.
- Δημουδή Α., (2006), *Οικολογικά δομικά υλικά*, Ξάνθη: Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος
- Ιγγλεζάκης Γ., Ασημάκης Ν., (2013), *"Plethro" ένα νέο δομικό σύστημα από χώμα*, Χανιά: Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών
- Μυγιάκη Ε., Νικήτα Μ., (2013), *Διερεύνηση εναλλακτικών μεθόδων δόμησης στην κατασκευή κατοικιών στην Ελλάδα και σύγκριση με συμβατικές μεθόδους κατασκευής*, Πειραιάς: Τ.Ε.Ι., Τμήμα Πολιτικών Δομικών Έργων
- Σακελλάρης Γ., (2017), *Τεχνικές Φυσικής Δόμησης*, ό.π. <http://www.diktuo.org/wp/2017/12/28/%cf%84%ce%b5%cf%87%ce%bd%ce%b9%ce%ba%ce%ad%cf%82-%cf%86%cf%85%cf%83%ce%b9%ce%ba%ce%ae%cf%82-%ce%b4%cf%8c%ce%bc%ce%b7%cf%83%ce%b7%cf%82/>
- Σαργέντης, Φοίβος Γ, (2005), *Δομικά υλικά και οικολογία*, Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- Τομπά, Χρ., (2005), *Δομικά Υλικά Φιλικά προς το Περιβάλλον*, Διπλωματική Εργασία, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάτρα

- Ρίζου Σ., (2017), *Βιοκλιματική και ενεργειακή διαχείριση κτιρίων*, Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

3. ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

- <https://www.kerearchitecture.com/work/building/gando-primary-school-extension>
- <http://www.piliko.gr/>
- <http://elsito.gr/index.php/environment/item/516-fisiki-domisi>
- <http://www.cob.gr/>

Ζ. ΠΗΓΕΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

- Εικ.1:<https://ayoungarchitect.wordpress.com/2015/04/04/earth-architecture-the-winning-factor/>
- Εικ.2: <https://www.ftiaxno.gr/2012/02/cobgr-video.html>
- Εικ.3:<https://trikalaview.gr/dyo-ikonomologi-apo-ti-larisa-paratisan-ti-doulia-tous-ke-ftiachnoun-pilina-spitia-apo-1-500-evro/>
- Εικ.4: Ναπολέων Κολοβός, (2018), *Μελέτη κατασκευής παγκακιού αστικού περιβάλλοντος*, Πτυχιακή εργασία, Τμήμα Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Εύλου και Επίπλου, Καρδίτσα
- Εικ.5:<http://back-to-nature.gr/2015/03/10-eksupna-tips-giaton-kipo-sas.html>
- Εικ.6:<https://ilarissa.gr/news/dyo-larisei-ftiachnoun-magika-spitia-apo-pilo-foto>
- Εικ.7:*Landscapes of Rural Settlements*, (2019), Ilana Gibbs
- Εικ.8:http://xeiropoihma.blogspot.com/2012/03/blog-post_30.html

- Ełk.9:<https://elsito.gr/index.php/environment/item/516-fisi-ki-domisi>
- Ełk.10:https://www.real.gr/archive_planet/arthro/spitia_me_fysika_ylika-366454/
- Ełk.11:<http://www.diktuo.org/wp/2017/12/28/%CF%84%CE%B5%CF%87%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AD%CF%82-%CF%86%CF%85%CF%83%CE%B9%CE%BA%CE%AE%CF%82-%CE%B4%CF%8C%CE%BC%CE%B7%CF%83%CE%B7%CF%82/>
- Ełk.12-15:<https://www.cob.gr/texnikes/123-cob.html>
- Ełk.16:<https://www.cob.gr/texnikes/123-cob.html>
- Ełk.17:<http://aeginalight.gr/article.php?id=55639>
- Ełk.18,19,20:<https://www.cob.gr/texnikes/123-cob.html>
- Ełk.21:<https://www.apenantiioxthi.com/2014/09/texnikes-fisikis-domisis.html>
- Ełk.22,23:<https://glossitses.wordpress.com/2012/01/23/%CF%84%CE%BF-%CE%BA%CE%BF%CE%BC%CF%80/>
- Ełk.24:<https://www.kirknielsen.com/project/cob/>
- Ełk.25:<http://www.diktuo.org/wp/2017/12/28/%CF%84%CE%B5%CF%87%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AD%CF%82-%CF%86%CF%85%CF%83%CE%B9%CE%BA%CE%AE%CF%82-%CE%B4%CF%8C%CE%BC%CE%B7%CF%83%CE%B7%CF%82/>
- Ełk.26-30:<https://www.cob.gr/texnikes/123-cob.html>
- Ełk.31,32:http://www.myparadissi.com/2010/06/blog-post_1992.html
- Ełk.33:<https://www.cob.gr/texnikes/123-cob.html>
- Ełk.34:<http://www.diktuo.org/wp/2017/12/28/%CF%84%CE%B5%CF%87%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AD%CF%82-%CF%86%CF%85%CF%83%CE%B9%CE%BA%CE%AE%CF%82-%CE%B4%CF%8C%CE%BC%CE%B7%CF%83%CE%B7%CF%82/>
- Ełk.35,36:<https://www.cob.gr/texnikes/123-cob.html>
- Ełk.37:<https://www.offthegridnews.com/how-to-2/the-low-cost-termite-proof-fireproof-home-that-will-last-centuries/>
- Ełk.38:<https://www.cob.gr/texnikes/123-cob.html>
- Ełk.39:<http://www.diktuo.org/wp/2017/12/28/%CF%84%CE%B5%CF%87%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AD%CF%82-%CF%86%CF%85%CF%83%CE%B9%CE%BA%CE%AE%CF%82-%CE%B4%CF%8C%CE%BC%CE%B7%CF%83%CE%B7%CF%82/>
- Ełk.40,41,42:<https://www.cob.gr/texnikes/123-cob.html>

- Елк.43:<https://pdoshka.ru/el/cvet/rastvor-dlya-shtukaturki-sten-iz-solomy-dom-iz-solomy-chudachestvo-ili-nou-hau/>
- Елк.44:<http://elsito.gr/index.php/component/k2/item/516-fisiki-domisi>
- Елк.45:<https://rvaluehomes.com/thermal-mass-really-matter-part-1/>
- Елк.46, 47, 48:<https://www.cob.gr/texnikes/123-cob.html>
- Елк.49:https://www.life.ca/naturallife/0812/straw-clay_house.htm
- Елк.50:<https://mindfultravelexperiences.com/cob-build-a-house-with-mud-have-fun/>
- Елк.51:<http://www.earthbagbuilding.com/projects/clinic.htm>
- Елк.52:<http://www.diktuo.org/wp/2017/12/28/%CF%84%CE%B5%CF%87%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AD%CF%82-%CF%86%CF%85%CF%83%CE%B9%CE%BA%CE%AE%CF%82-%CE%B4%CF%8C%CE%BC%CE%B7%CF%83%CE%B7%CF%82/>
- Елк.53:<https://www.cob.gr/texnikes/123-cob.html>
- Елк.54:<http://www.diktuo.org/wp/2017/12/28/%CF%84%CE%B5%CF%87%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AD%CF%82-%CF%86%CF%85%CF%83%CE%B9%CE%BA%CE%AE%CF%82-%CE%B4%CF%8C%CE%BC%CE%B7%CF%83%CE%B7%CF%82/>
- Елк.55:<https://www.cob.gr/texnikes/123-cob.html>
- Елк.56:<https://www.thelaststraw.org/build-earthbags-tls-55/>
- Елк.57:https://www.melitzolithos.gr/2011/11/blog-post_9615.html
- Елк.58:<http://www.diktuo.org/wp/2017/12/28/%CF%84%CE%B5%CF%87%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AD%CF%82-%CF%86%CF%85%CF%83%CE%B9%CE%BA%CE%AE%CF%82-%CE%B4%CF%8C%CE%BC%CE%B7%CF%83%CE%B7%CF%82/>
- Елк.59:<https://www.cob.gr/texnikes/123-cob.html>
- Елк.60:<http://www.diktuo.org/wp/2017/12/28/%CF%84%CE%B5%CF%87%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AD%CF%82-%CF%86%CF%85%CF%83%CE%B9%CE%BA%CE%AE%CF%82-%CE%B4%CF%8C%CE%BC%CE%B7%CF%83%CE%B7%CF%82/>
- Елк.61:<https://www.cob.gr/texnikes/123-cob.html>
- Елк.62:https://www.google.gr/search?hl=el&sxsrif=ALeKk00p0vu_nP9MnfeNVaDGOaWIKWPt7zg:1614126725038&q=poured+earth+&tbm=isch&source=iu&ictx=1&tbs=simg:CAESYAkUO-dBkVkulRpVCxCwjKcIGjkKNwgEEhMLnwOiI-UdzC_1rDp0yzzyiN-IxGhrlg2egSF18xcDhihGUGZr

[mNi5z0-0o1pMdwyAFMAOMCxCORv4IGgoKCAgBEgRKmvbpDA&fir=pbfAdrEUOzTu4M%252CDwVQebvrJU3A2M%252C_&vet=1&usq=AI4_-kOf0l8Kw4XwReC71x0O780ejkyr0g&sa=X&ved=2ahUKEwiPwMXQooHvAhXM-yoKHTNxBjYO9QF6BAgeEAE#imgsrc=pbfAdrEUOzTu4M](https://www.melitzolithos.gr/2011/11/blog-post_9615.html)

- Eικ.63,64: https://www.melitzolithos.gr/2011/11/blog-post_9615.html
- Eικ.65-102: Diébédo Francis Kéré, (2001), *Primary School, Gando, Burkina Faso*, Berlin: The Aga Khan Award for Architecture
<https://www.kerearchitecture.com/work/building/gando-primary-school-extension>
<https://www.dezeen.com/2017/10/17/movie-diebedo-francis-kere-gando-school-burkina-faso-interview-video/>
<https://www.archdaily.com/785955/primary-school-in-gando-kere-architecture>