



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗ
ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΤΕΧΝΩΝ & ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ
ΠΜΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ:
ΑΕΙΦΟΡΙΚΟΣ ΚΑΙ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ**

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

**ΚΥΚΛΙΚΟΤΗΤΑ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ:
ΜΕΤΑΒΟΛΙΖΟΝΤΑΣ ΧΩΜΑ**

Χατζηαργυρίου Δήμητρα

AM: ssd19018

Επιβλέπουσα: Μαρία Σίνου

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2023



UNIVERSITY OF WEST ATTICA
SCHOOL OF APPLIED ARTS AND CULTURE
INTERIOR ARCHITECTURE DEPARTMENT
INTERIOR ARCHITECTURE: SUSTAINABLE AND
SOCIAL DESIGN

Diploma Thesis

CIRCULARITY IN CONSTRUCTION

METABOLISING EARTH

Chatziargyriou Dimitra

Registration Number:ssd19018

Supervisor name and surname: Maro Sinou

Athens, February 2023



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗ
ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΤΕΧΝΩΝ & ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ
ΠΜΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ:
ΑΕΙΦΟΡΙΚΟΣ ΚΑΙ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ**

**ΚΥΚΛΙΚΟΤΗΤΑ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ:
ΜΕΤΑΒΟΛΙΖΟΝΤΑΣ ΧΩΜΑ**

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

A / α	ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	Σίνου Μάρω	Αναπληρώτρια Καθηγήτρια	
2	Γεωργιάδου Ζωή	Καθηγήτρια	
3	Μανδαλάκη Μαρία	Επίκουρη Καθηγήτρια	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Χατζηαργυρίου Δήμητρα του Νικολάου με αριθμό μητρώου ssd19018 φοιτήτρια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών Αειφορικού και Κοινωνικού σχεδιασμού του Τμήματος Εσωτερικής Αρχιτεκτονικής της Σχολής Εφαρμοσμένων Τεχνών και Πολιτισμού του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι: «Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος. Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο/Η Δηλών/ούσα
Χατζηαργυρίου Δήμητρα



Ευχαριστίες

Η παρούσα εργασία είναι ένα από τα αποτελέσματα της ευρύτερης αναζήτησής μου, περί νοήματος της αρχιτεκτονικής ως μέρος του οικοσυστήματος που την διαμορφώνει. Αναζήτηση που αποτελεί και τον βασικό λόγο επιλογής φοίτησής μου στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα: "Αειφορικός και Κοινωνικός σχεδιασμός" του ΠΑΔΑ.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτρια μου Μάρω Σίνου για την σταθερή της επιστημονική συμβολή και προτροπή για μια συνθετική και ολιστική προσέγγιση του θέματος, αλλά και τις βάσεις που έθεσε ως προς τις πτυχές της αειφορικής αρχιτεκτονικής μέσα από τις διαλέξεις της καθ'όλη την διάρκεια σπουδών. Επίσης ευχαριστώ το τμήμα μέσω του οποίου μου δόθηκε η ευκαιρία για πρακτική άσκηση στο εξωτερικό και την αφορμή για ταξίδια και γνωριμίες που με οδήγησαν σε νέες αναζητήσεις. Ένα μεγάλο ευχαριστώ και στην ομάδα του ΠηλΟίκο που στην διάρκεια του προγράμματος κατάρτισης "Δόμηση με Πηλό. Τεχνικές κατασκευής-Αειφόρος σχεδιασμός" εμπλούτισε τις γνώσεις μου στο θέμα. Τέλος ευχαριστώ τους δικούς μου ανθρώπους που με στήριξαν σε όλη αυτή την προσπάθεια.

Πρόλογος

Αφορμή στην αναζήτηση μου, υπήρξε η σύντομη διαβίωση μου στην Πορτογαλία και η συνεργασία μου με το Centro da Terra (CdT). Το CdT είναι ένας μη κερδοσκοπικός οργανισμός που δραστηριοποιείται με στόχο τη διατήρηση της υπάρχουσας κληρονομιάς και την προώθηση μιας σύγχρονης προσέγγισης της χωμάτινης αρχιτεκτονικής. Αν και έχω γνωρίσει την χωμάτινη αρχιτεκτονική στα πλαίσια της προπτυχιακής αλλά και μεταπτυχιακής μου εκπαίδευσης αλλά και εξω-ακαδημαϊκών, πρακτικών σεμιναρίων, η εμπειρία μου στον οργανισμό επανέφερε την αξία του συγκεκριμένου υλικού στην δόμηση. Δοσμένη με μια σύγχρονη ματιά και τοποθετημένη στα κανονιστικά πλαίσια κατασκευής (κανονισμούς δόμησης, KENAK), ως το **υλικό του μέλλοντος**, που όχι απλά επαρκεί, αλλά υπερβαίνει σε ποιότητα και περιβαλλοντική αξία τα πιο δημοφιλή συμβατικά υλικά δόμησης.

Η έρευνα μου ξεκίνησε στην διαδικασία συντονισμού μιας έκθεσης με τίτλο "Χώμα Αναγεννητικό υλικό-Διαχείριση και Χρήση" (Terra Material Regenerativo - Gestão e Uso)¹, στα πλαίσια της ετήσιας εκδήλωσης του οργανισμού, που μεταξύ άλλων περιλαμβάνει διαλέξεις, σεμινάρια, στρογγυλή τράπεζα, επισκέψεις πεδίου και καλεί τους επαγγελματίες και ερευνητές χωμάτινης αρχιτεκτονικής σε μια συλλογή και ανταλλαγή γνώσεων και εμπειριών για την αποκατάσταση των παραδοσιακών τεχνικών κατασκευής και την προσαρμογή στις τρέχουσες απαιτήσεις άνεσης και ασφάλειας.

Η χωμάτινη αρχιτεκτονική είναι ένα πολυσυζητημένο θέμα, που θα μπορούσε κανείς να αναλύσει για διαφορετικές πτυχές του, όπως η αξία της παραδοσιακής γνώσης, η ανάδειξη των τεχνικών, ποιοτικών χαρακτηριστικών του, η ιστορική του πορεία, περιβαλλοντική αξία κ.α. Η θεματική της συγκεκριμένης εκδήλωσης είχε στόχο την δημιουργία διαλόγου για το πρόβλημα διαχείρισης του κύκλου ζωής του υλικού στον κατασκευαστικό κλάδο και την ανάδειξή του σε τέτοιο, που πέραν των λοιπών πλεονεκτημάτων του μπορεί στην σύγχρονη κατασκευή να είναι από πολλές απόψεις **ανταγωνιστικό και κερδοφόρο**.

Το πρόβλημα που ξεκινάει την συζήτηση είναι απλό. Οι αρχιτέκτονες που σχεδιάζουν με χώμα δεν έχουν άμεση **πρόσβαση σε πηγές** με το θεωρητικά άφθονο αυτό υλικό. Χρειάζεται σπατάλη ενέργειας και πόρων, στην αναζήτηση, μετακίνηση και ανασύσταση της πρώτης ύλης. Παράλληλα ο κατασκευαστικός κλάδος στα πλαίσια έργων του, με την εκσκαφή νέων εδαφών αλλά και κατεδάφιση υπαρχόντων υποδομών έχει τεράστιο **απόθεμα περισσεύσεως γης** που συχνά θεωρείται **απόβλητο**, με ό,τι αυτό συνεπάγεται στο περιβαλλοντικό αποτύπωμα του.

Εντοπίζεται λοιπόν στην ροή της γης ένα κενό, του οποίου το κλείσιμο δύναται να επιφέρει τεράστιες μειώσεις στην κατανάλωση πόρων και ενέργειας σε διαφορετικά στάδια της κατασκευής.

Έτσι λοιπόν ξεκίνησε η έρευνα μου για την καταγραφή της πορείας ποσότητας χώματος από μεγάλα κατασκευαστικά έργα στην Πορτογαλία (διανοίξεις μετρό, συρράγγων, δρόμων), την νομοθετική προσέγγιση διαχείρισης οικοδομικών αποβλήτων (στα οποία υπάγεται το χώμα), την αναζήτηση καλών πρακτικών άλλων Ευρωπαϊκών χωρών και τέλος την πρόσκληση για

¹ <https://centrodoterra.org/eventos/exposicao-terra-material-regenerativo-gestao-e-uso/>

δημιουργία ενός δικτύου επαγγελματιών για αναδιαμόρφωση του κύκλου ζωής, μέσω της ανάδειξης του οφέλους αλλά και δυσκολιών που συναντώνται.

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, η έρευνα εστιάζει και στα **ελληνικά δεδομένα**, εμπλουτισμένη με μια θεωρητική προσέγγιση της χωμάτινης αρχιτεκτονικής, ως προς της χωροχρονική της χαρτογράφηση και μια σύντομη αναφορά σε βασικές τεχνικές κατασκευής, με τον αντίστοιχο στόχο: την εισήγηση του υλικού στη σύγχρονη συζήτηση περί αειφορικού σχεδιασμού.

Περίληψη

Σύμφωνα με τη διεθνή έρευνα ο κατασκευαστικός τομέας αποτελεί μια από τις επιβλαβέστερες ανθρώπινες δραστηριότητες, επηρεάζοντας το περιβάλλον σε πολλαπλά επίπεδα. Τόσο η διαδικασία όσο και το χωρικό αποτέλεσμα επιδρά στην παγκόσμια περιβαλλοντική κρίση, που είναι πλέον πιο εμφανής από ποτέ. Ο επαναπροσδιορισμός του τρόπου ανοικοδόμησης κρίνεται αναγκαίος για αποφυγή των καταστροφικών συνεπειών των περιβαλλοντικών αλλαγών και την μετάβαση σε μια κατάσταση ανθεκτικότητας.

Η παρούσα εργασία διερευνά την έννοια της κυκλικότητας στην κατασκευή, εστιασμένη στην χρήση περισσότερων χώματος εκσκαφών. Το θέμα της έρευνας είναι πολυδιάστατο καθώς προσεγγίζει τόσο τον κυκλικό σχεδιασμό καθαυτού αλλά και αναλύει ένα βασικό συστατικό του, που είναι τα δομικά υλικά, με επίκεντρο το χώμα. Αρχικά γίνεται μια αναφορά στην αφετηρία του προβληματισμού: την παγκόσμια περιβαλλοντική κρίση και την συμβολή του κατασκευαστικού τομέα σε αυτήν. Η ανάλυση των φάσεων του τομέα και των επιπτώσεων τους, αναδεικνύει το ζήτημα των παραγόμενων αποβλήτων. Παρατίθενται βασικά σημεία του κανονιστικού πλαισίου που αφορά στην διαχείριση αποβλήτων στην Ευρώπη και εκτενέστερα στην Ελλάδα. Η παραπάνω ανάλυση οδηγεί στην προβληματική του παρόντος συστήματος που έγκειται στην γραμμικότητα του μοντέλου. Στην συνέχεια διερευνάται ο επαναπροσδιορισμός αυτού, μέσω σύγχρονων προσεγγίσεων κυκλικότητας. Στο δεύτερο κεφάλαιο εισέρχεται το ζήτημα του υλικού. Γίνεται αναφορά στο χώμα ως προς τα χαρακτηριστικά του, την αρχιτεκτονική του πορεία στον χρόνο και τον χώρο, τις βασικές παραδοσιακές και σύγχρονες μεθόδους δόμησης ωμής γης καθώς και τις παραμέτρους χρήσης του στην κατασκευή. Επιπλέον καταγράφονται οι ιδιότητες του που το καθιστούν κατάλληλο για δόμηση και το τοποθετούν στην συζήτηση περί αειφορικού σχεδιασμού. Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται το Earth cycle, έργο που βασίζεται στην ιδέα ενός νέου μοντέλου παραγωγής, μέσω μιας ολιστικής προσέγγισης που αφορά τόσο στην παραγωγική διαδικασία, όσο και στην κοινωνικο-οικονομική και χωρική του δομή και αποτελεί λειτουργικό παράδειγμα του επαναπροσδιορισμού της ροής υλικών, μέσω επανάχρησης ανεπιθύμητου χώματος από μεγάλα κατασκευαστικά έργα. Στο τελευταίο κεφάλαιο γίνεται η σύνθεση ενός διαγράμματος που οπτικοποιεί και συγκεντρώνει όλες τις πτυχές που αναλύθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια σχετικά με την φύση του υλικού και την διαχείριση του στην κατασκευαστική διαδικασία, με στόχο την συνολική αξιολόγηση του αρχικού ερευνητικού ερωτήματος. Τέλος αναλύεται ο τρόπος ανάγνωσης του διαγράμματος από την οποία συνεπάγεται και η παράθεση των συμπερασμάτων. Μεθοδολογικά χρησιμοποιείται αρχικά βιβλιογραφική έρευνα για την συλλογή στοιχείων, στην συνέχεια ανάλυση παραδείγματος και τέλος η οπτικοποίηση των δεδομένων μέσω της ιεράρχησης και κατηγοριοποίηση τους. Πρόθεση της εργασίας είναι η κατανόηση της επιρροής του κατασκευαστικού τομέα στο περιβαλλοντικό πρόβλημα και άρα της αναγκαιότητας αναζήτησης μετασχηματισμών του και η εισήγηση του χώματος σε νέα αναπτυξιακά μοντέλα, με τον εντοπισμό προκλήσεων και την αναζήτηση νέων τρόπων οργάνωσης, στην σύγχρονη συζήτηση αειφορικής αρχιτεκτονικής.

Λέξεις κλειδιά

Κυκλική κατασκευή, χωμάτινη αρχιτεκτονική, άψητη γη, αστικός μεταβολισμός, ΑΕΚΚ, κύκλος ζωής υλικών

Abstract

According to international research, the construction sector is one of the most harmful human activities, affecting the environment on multiple levels. The building process as well as its spatial result, contribute to the global environmental crisis, which at the moment is more present than ever. Redefining the way we build seems necessary, in order to avoid the devastating consequences of the environmental crisis and drive the transition to resilience.

This study explores circularity in construction, focusing on the use of excess excavated soil in new architectural projects. The subject of the research is multidimensional as it approaches circular design but also analyses one of its key components, which is the materials used, focusing on soil. Starting point of the research is the global environmental crisis and the contribution of the construction sector. By analysing the phases and impacts of the process the issue of waste production is highlighted. In order to understand the current situation, the key points of the regulatory framework concerning waste management in Europe and more extensively in Greece are listed. The analysis shows clearly the dysfunctionality of the current linear model. Thus a research on its redefinition through modern circularity approaches follows. The second chapter is a study of the material. The characteristics of earth, its architectural use in different eras and regions, the traditional and modern building methods, the parameters of its use in construction, as well as the qualities that make it a part of sustainable design. In the third chapter, "Earth cycle" is presented, a project based on the idea of a new model concerning the production process and its socio-economic and spatial structure. It's a functional example of the redefinition of the material flow through the reuse of excavated soil from large construction projects. In the last chapter, a diagram is created in order to compile and visualise all the aspects analysed in the previous chapters, regarding the nature of the material and its management. By reviewing all of the diagram's aspects and the way to read it, the essay ends with the conclusions of this research. Methodologically, it starts with literature study in order to collect the necessary data, then an example analysis and finally the visualisation of the data through their prioritisation and categorization. This study aims to enrich the efforts for sustainability in architecture.

Key words

Circular construction, earthen architecture, raw earth, urban metabolism, CDW, material life cycle

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες.....	4
Πρόλογος.....	4
Περίληψη	5
Abstract	6
Περιεχόμενα	7
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	9
Αντικείμενο ερευνητικής και στόχος.....	9
Επιμέρους στόχοι.....	9
Μεθοδολογία.....	9
Αναγκαιότητα έρευνας.....	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Μοντέλα κατασκευής	
1.1 Το πρόβλημα ή από που προκύπτει η ανάγκη.....	10
Σύγχρονες περιβαλλοντικές προκλήσεις και η συμβολή του δομημένου χώρου. 1.1α Τα απόβλητα κατασκευής ΑΕΚΚ.....	12
1.2 Σύγχρονες προσεγγίσεις μετάβασης.....	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Η θέση του χώματος.....	19
2.1 Σύνοψη ιστορία.....	21
2.2 Βασικές τεχνικές δόμησης.....	28
2.2.α Τρισδιάστατη εκτύπωση χώματος	31
2.3 Γιατί χώμα?.....	37
2.4 Παράμετροι κατασκευής κτιρίων από ωμό πηλό	41
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Νέα μοντέλα διαχείρισης	
3.1 Ροές γης: Το χώμα είναι απόβλητο?.....	44
3.2 Παραδείγματα καλών πρακτικών: Η περίπτωση του Earth Cycle.....	46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.	
4.1 Διάγραμμα αξιολόγησης χωμάτινων κατασκευών.....	59
4.2 Συμπεράσματα.....	66
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	67
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	69



Εισαγωγή

Η τρέχουσα και προβλεπόμενα αυξημένη αστικοποίηση, με την ταυτόχρονη αύξηση πληθυσμού εντείνει την πίεση στους φυσικούς μη ανανεώσιμους πόρους και απαιτεί μια νέα στρατηγική για βιώσιμη χρήση τους και αποτροπή παραγωγής αποβλήτων. Ετησίως και σε παγκόσμια κλίμακα, εξορύσσονται 90 δισεκατομμύρια τόνοι βιομάζας, ορυκτών ενέργειας, μετάλλων, ενώ απορρίπτονται 2,12 δισεκατομμύρια τόνοι απορριμμάτων². Μεγάλη συμβολή στις τιμές αυτές προσδίδει ο οικοδομικός και κατασκευαστικός τομέας που ευθύνεται για σημαντικό μέρος της κατανάλωσης πόρων και παραγωγής αποβλήτων. Στα πλαίσια βελτίωσης αυτής της ροής παραγωγής εφαρμόζονται μέθοδοι κυκλικής διαχείρισης, που επαναπροσδιορίζουν τον τρόπο σχεδιασμού και τις διαδικασίες που εμπλέκονται σε αυτόν.

Στην αδιαχείριστη ροή πρώτων υλών συμπεριλαμβάνεται και το χώμα. Σε μεγάλα κατασκευαστικά έργα είναι σύνηθες να παράγεται μεγάλη ποσότητα χώματος από εκσκαφές και κατεδαφίσεις. Προκύπτει λοιπόν το ερώτημα του κύκλου ζωής αυτής της πρώτης ύλης. Πώς χρησιμοποιείται? Πώς διανέμεται? Πού καταλήγει? Πώς θα μπορούσε να χρησιμοποιείται? Η έρευνα δείχνει ότι η βέλτιστη διαχείρισή του δημιουργεί έναν κλειστό κύκλο ζωής: εξαγωγή από τη φύση, τοπική χρήση, με μειωμένες ανάγκες διανομής και επεξεργασίας, πλεονεκτήματα στον κατασκευαστικό τομέα και στην συνέχεια επιστροφή στην φύση χωρίς την ανάγκη επιπλέον ενέργειας.

Στόχος

Στόχος της παρούσας ερευνητικής εργασίας είναι η εισήγηση της δόμησης με χώμα που προκύπτει από εκσκαφές και κατεδαφίσεις, στην σύγχρονη συζήτηση αειφορικών πρακτικών του κατασκευαστικού κλάδου.

Επιμέρους στόχοι

- Η κατανόηση του γραμμικού μοντέλου κατασκευής και του περιβαλλοντικού αποτυπώματος του
- Η αναζήτηση εναλλακτικών προσεγγίσεων κυκλικού σχεδιασμού και κατασκευής
- Η αναζήτηση των χαρακτηριστικών του χώματος, τοποθετημένα στις σημερινές απαιτήσεις δόμησης (τεχνική συμπεριφορά δομικών προϊόντων (π.χ. αντοχή, θερμομονωτική ικανότητα, υδατοστεγανότητα κλπ)
- Η αναζήτηση κατάλληλης διαχείρισης του κύκλου ζωής του υλικού στα πλαίσια κυκλικής κατασκευής και εν τέλη ανάδειξης της αναγεννητικής του φύσης.
- Η αξιολόγηση κατασκευών με χώμα, ως προς την υλική τους υπόσταση και την δυνατότητα κυκλικής διαχείρισής τους.

Μεθοδολογία

Για την κάλυψη των ανωτέρω στόχων τα κεφάλαια της εργασίας δομούνται στην εξής λογική ανάπτυξης: η εκκίνηση γίνεται με τον εντοπισμό του προβλήματος ή του γιατί έχει νόημα μια τέτοια αναζήτηση, στη συνέχεια αναπτύσσονται τα επιμέρους στοιχεία του ερωτήματος, και τέλος μια συνολική αποτίμηση των παραπάνω. Έτσι στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια αναφορά στην συμβατική κατασκευαστική διαδικασία και την επιρροή της στο περιβάλλον, μέσω της συλλογής πληροφοριών από άλλες εργασίες, το διαδίκτυο καθώς και σχετικά βιβλία και άρθρα. Από τους διαφορετικούς τρόπους επιρροής γίνεται εστίαση στον τομέα των αποβλήτων και της συνολικότερης ροής πόρων που χρησιμοποιούνται. Επιπλέον γίνεται μια διερεύνηση εναλλακτικών μεθόδων κατασκευής που απαντούν σε κυκλικά μοντέλα, με στόχο την δημιουργία του απαραίτητου λεξιλογίου και υποβάθρου στην αναζήτηση του ερευνητικού ερωτήματος. Στο δεύτερο κεφάλαιο εισέρχεται το προς μελέτη υλικό: το χώμα. Γίνεται η παρουσίαση του ως προς την υπόστασή του, μια συνοπτική χαρτογράφηση της αξιοποίησής του στην ανθρώπινη ιστορία καθώς και των μεθόδων δομικής του χρήσης. Επιπλέον παρατίθενται ορισμένα χαρακτηριστικά του που επηρεάζουν την κατασκευαστική διαδικασία και τον δομημένο χώρο που παράγει. Για τη συλλογή των πληροφοριών αυτών, όπως και παραπάνω έγινε, αναζήτηση σε ελληνική και διεθνή βιβλιογραφία και σχετικές πηγές καθώς και η παρακολούθηση του σεμιναρίου κατάρτισης "Δόμηση με πηλό. Τεχνικές κατασκευής-Αειφόρος σχεδιασμός".

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται η μελέτη ενός παραδείγματος: μιας νεοσύστατης παραγωγικής μονάδας στην Γαλλία, που εφαρμόζει στην πράξη την αλλαγή του μοντέλου παραγωγής και ροής πόρων στην κατασκευή, καθώς και μια συνοπτική παρουσίαση δύο ακόμα παραδειγμάτων που ακολουθούν αντίστοιχες πρακτικές.

²http://www.theworldcounts.com/counters/shocking_environmental_facts_and_statistics (είσοδος 14 Δεκ 2021). [CrossRef]

Στο τέταρτο κεφάλαιο με στόχο την καλύτερη κατανόηση των χωμάτων κατασκευών στα πλαίσια κυκλικής διαχείρισης, δημιουργείται ένα διάγραμμα που συγκεντρώνει τα χαρακτηριστικά του υλικού και της κατασκευής του.

Αναγκαιότητα έρευνας

- Η καταγραφή πληροφοριών για την κατανόηση και προώθηση χρήσης περίσσειας χύματος στην δόμηση.
- Η δημιουργία προβληματισμού και διασυνδέσεων σχετικά με τον κύκλο ζωής του υλικού σήμερα.
- Ο εμπλουτισμός της έρευνας μεθόδων αειφορικής κατασκευής.

Κεφάλαιο 1. Μοντέλα κατασκευής

1.1 Το πρόβλημα ή Από που προκύπτει η ανάγκη

Σύγχρονες περιβαλλοντικές προκλήσεις, και η συμβολή του δομημένου χώρου.

Το ζήτημα της περιβαλλοντικής κρίσης βρίσκεται πια στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος της ανθρωπότητας, καθώς το πρόβλημα εξάντλησης μη ανανεώσιμων πόρων, όπως τα ορυκτά καύσιμα, η βιομάζα, τα μέταλλα και των συνεπειών της κλιματικής αλλαγής, της ρύπανσης, της ερημοποίησης εδαφών, εξαφάνιση ειδών και πλήθους άλλων οικολογικών καταστροφών επηρεάζει τον πλανήτη πιο άμεσα από ποτέ. Τα οικοσυστήματα μεταβάλλονται και προσαρμόζονται σε αλλαγές που συμβαίνουν στον πλανήτη. Η σύγχρονη πρόκληση που διαταράσσει τις οικολογικές ισορροπίες είναι ανθρωπογενής και περιλαμβάνει ουσιαστικά κάθε τομέα της ανθρώπινης δραστηριότητας που υποστηρίζει τον τρόπο ζωής στον Δυτικό ανεπτυγμένο κόσμο. Δραστηριότητες όπως η χρήση της γης μέσω της γεωργίας, δασοκομίας, κτηνοτροφίας, αλλά και της αστικοποίησης και αποψίλωσης δασών. Επίσης οι μεταφορές και μετακινήσεις, που συμβάλλουν σημαντικά στην εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου, οι διάφορες βιομηχανικές διεργασίες, μεταποίηση, κάθε είδους κατασκευές και επόμενα ο τρόπος διαχείρισης των παραγόμενων απορριμμάτων, η παραγωγή ενέργειας και χρήση νερού.

Προϊόν της ανθρώπινης δραστηριότητας είναι και ο δομημένος χώρος, που επιδρά άμεσα και έμμεσα στο οικοσύστημα σε δύο επίπεδα. Το ένα αφορά στην διαδικασία κατασκευής του, συμπεριλαμβανομένης και της αποδόμησης, και το άλλο στην διάρκεια της χρήσης του. Η κατασκευαστική διαδικασία βασίζεται κατά κύριο λόγο σε γραμμικά πρότυπα παραγωγής. Απαιτεί τεράστιες ποσότητες φυσικών πόρων για πρώτες ύλες (εικόνα 1.1), νερό, οικοδομικά υλικά, αλλά και μεγάλη κατανάλωση ενέργειας, σε κατασκευαστικές δραστηριότητες, όπως η λειτουργία μηχανημάτων και εξοπλισμού, ο φωτισμός, η θέρμανση-ψύξη των εργοταξίων. Η έμμεση κατανάλωση περιλαμβάνει την ενέργεια που χρησιμοποιείται για την παραγωγή δομικών υλικών και προϊόντων που αξιοποιούνται στις κατασκευές, καθώς και για τη μεταφορά και επεξεργασία τους. Κατά την λειτουργία των κτιρίων, η περιβαλλοντική επίδραση τους αφορά κυρίως στην ενεργειακή κατανάλωση που απαιτείται για θερμική άνεση (θέρμανση-ψύξη), και χρήση των κτισμάτων που είναι εξαιρετικά ενεργοβόρες, αλλά και η συντήρηση που χρειάζεται στον χρόνο ζωής τους. Βασικό ρόλο στο συνολικό τους αποτύπωμα παίζει και η κατεδάφιση η και αποδόμηση τους, τόσο στην ενέργεια που απαιτείται στην διαδικασία, όσο και στην μεταφορά και ταφή των υλικών και δομικών μερών. Στην όλη διαδικασία προστίθεται και η παραγωγή αποβλήτων σε όλα τα φάσματα της κατασκευαστικής ροής, ο ενσωματωμένος άνθρακας και οι επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα.

Το μερίδιο του κατασκευαστικού τομέα στο παγκόσμιο περιβαλλοντικό πρόβλημα αποτυπώνεται ποσοστικά με διάφορους τρόπους για τις διαφορετικές του επιπτώσεις. Κατηγοριοποιώντας τες, η επίδρασή του αναλύεται σε τρία επίπεδα:

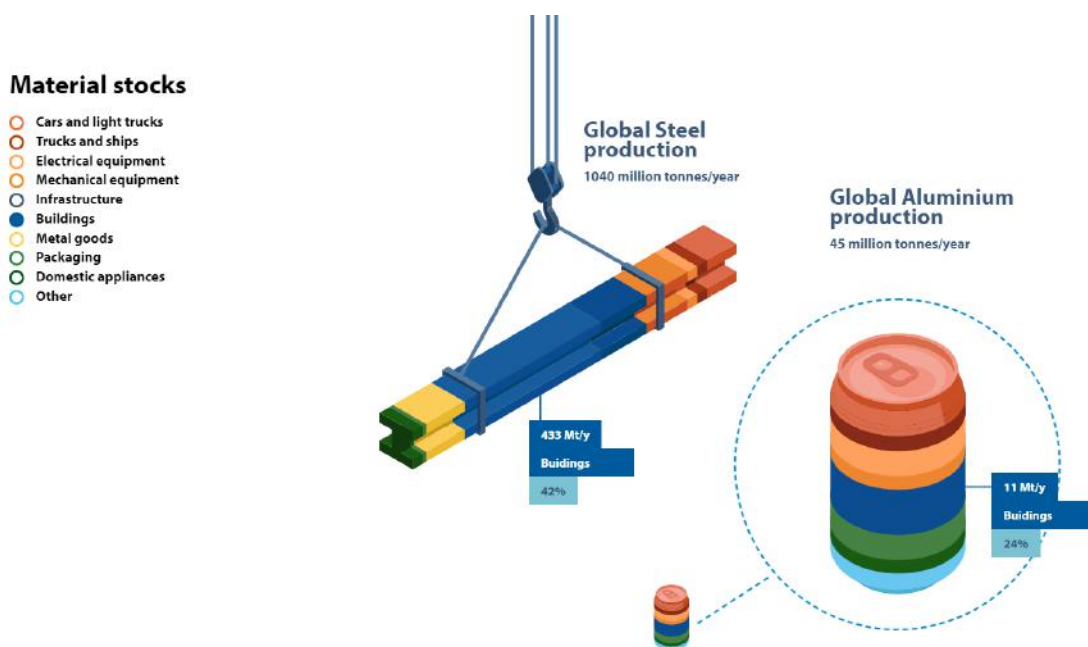
1. Σε επίπεδο κατανάλωσης πόρων και ενέργειας, υπάρχουν στατιστικές όπως το άρθρο για ενεργειακή απόδοση των κτιρίων του 2020 από τον τομέα ενέργειας της Ευρωπαϊκής επιτροπής που αριθμεί ότι "συλλογικά, τα κτίρια στην ΕΕ ευθύνονται για το 40% της κατανάλωσης ενέργειας και το 36% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, οι οποίες προέρχονται κυρίως από την κατασκευή, τη χρήση, την ανακαίνιση και την κατεδάφιση."³

³https://commission.europa.eu/news/focus-energy-efficiency-buildings-2020-02-17_en

Όπως επίσης και από την ιστοσελίδα στατιστικής καταμέτρησης περιβαλλοντικών παραγόντων, ότι "Παγκοσμίως αυτόν τον χρόνο εξήχθησαν από τη Γη 13.499.543.628 τόνοι φυσικών πόρων"⁴

2. Σε επίπεδο παραγωγής CO₂ συναντώνται στοιχεία όπως το περίφημο σχεδόν 40%, το μερίδιο του κατασκευαστικού τομέα στις παγκόσμιες εκπομπές CO₂. Ποσοστό που προκύπτει από την αναφορά για κτίρια και κατασκευές σε παγκόσμιο επίπεδο "Global Status Report for Buildings and Construction".⁵ Σύμφωνα με αυτήν το 2020, ο τομέας αντιπροσώπευε το 36% της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας και το 37% των εκπομπών CO₂ που σχετίζονται με την ενέργεια. Το επίπεδο εκπομπών εντός του κλάδου δεν είναι σταθερό. Χαρακτηριστική είναι η μείωση 10% που παρατηρήθηκε συγκριτικά με το 2019, αγγίζοντας επίπεδα που έχουν να εμφανιστούν από το 2007, γεγονός που εξηγείται από τις επιδράσεις της έξαρσης της πανδημίας, όπως η επιβράδυνση των οικονομιών και η πτώση της οικοδομικής δραστηριότητας και σε πολύ μικρό βαθμό από τις προσπάθειες απαλλαγής ρυπογόνων πρακτικών του κλάδου.

3. Σε επίπεδο παραγωγής αποβλήτων επίσης υπολογίζεται από την Ευρωπαϊκή επιτροπή ότι "τα απόβλητα κατασκευών και κατεδαφίσεων αντιπροσωπεύουν παραπάνω από το ένα τρίτο όλων των αποβλήτων που παράγονται στην ΕΕ."⁶



Εικ. 1.1 Διαδραστικό γράφημα: Το ανοιχτό μπλε απεικονίζει την παγκόσμια παραγωγή σιδήρου και αλουμινίου σε τόνους ανά χρόνο που απαιτείται στον κτιριακό τομέα.
ΠΗΓΗ:<https://www.europarl.europa.eu/thinktank/infographics/circulareconomy/public/index.html#production-today>

Βασικό σημείο στην ανάγνωση του συσχετισμού της κατασκευαστικής διαδικασίας με την παγκόσμια περιβαλλοντική κρίση είναι το μοντέλο παραγωγής, που όπως προαναφέρθηκε είναι γραμμικό, Όπως διατυπώθηκε από την συγγραφέα του "The Story of Stuff", A.Leonard βασίζεται στην λογική: παίρνω, φτιάχνω, πετάω ("Take, Make, Waste")⁷. Πρακτική που δεν είναι εξ ορισμού μη βιώσιμη, αλλά γίνεται όταν ο σχεδιασμός συμβαίνει με τρόπο που οι πρώτες ύλες χρησιμοποιούνται χάνοντας σταδιακά την λειτουργική τους αξία, μέχρι που απορρίπτονται ακολουθώντας μια φυσική διαδικασία αποσύνθεσης, και επακόλουθα για την κάλυψη των εκάστοτε αναγκών, δημιουργούνται εκ νέου προϊόντα με καινούργιους πόρους, σε μια αρχή και ένα τέλος που δεν συναντιούνται ποτέ. Τα αποτελέσματα της χρήσης δεν εκτιμώνται ως πόροι. Όντας τα προϊόντα οποιασδήποτε ανθρώπινης δράσης, που φέρνει

⁴http://www.theworldcounts.com/counters/shocking_environmental_facts_and_Statistics (πρόσβαση 25.02.2023).

⁵Ερευνα που διενεργήθηκε το 2021 από το Περιβαλλοντικό Πρόγραμμα του ΟΗΕ (UNEP) που φιλοξενείται από την Παγκόσμια Συμμαχία για τα Κτίρια και τις Κατασκευές (GlobalABC)

ΠΗΓΗ:<https://globalabc.org/resources/publications/2021-global-status-report-buildings-and-construction>

⁶https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/construction-and-demolition-waste_en

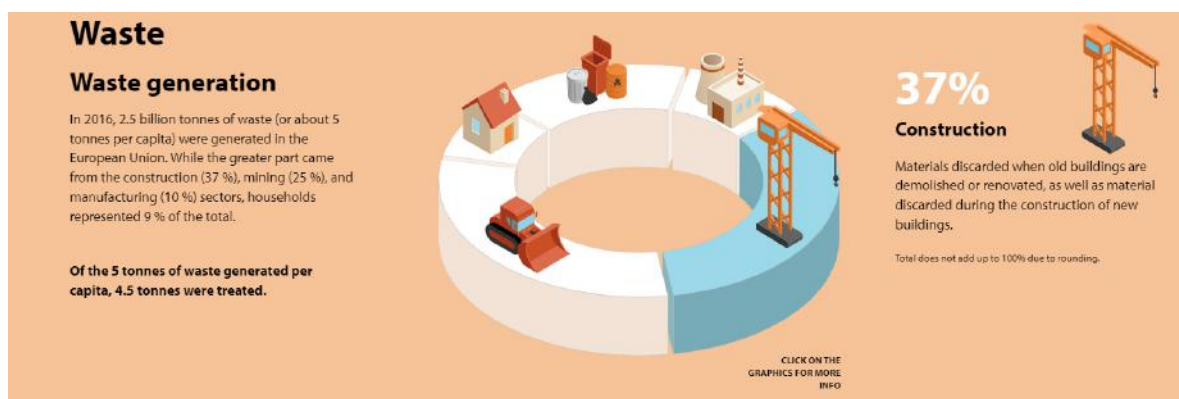
⁷https://www.researchgate.net/publication/295912128_Constructing_Waste_-_Investigating_an_alternative_resource_for_future_cities

ακατέργαστα φυσικά υλικά από ένα στάδιο ύπαρξης σε ένα άλλο, δεν θεωρούνταν ούτε μέρος των φυσικών πόρων ούτε τελικό προϊόν. Αυτό το οικονομικό μοντέλο που περιγράφεται συχνά και με τον όρο "cradle-to-grave" και μεταφράζεται "από το λίκνο στον τάφο" εντοπίζεται ως βασική παράμετρος συμβολής παραγωγικών διαδικασιών κάθε κλίμακας (από αντικείμενα μέχρι κτίρια) στην υπέρμετρη δημιουργία αποβλήτων. Η αναλογία κατανάλωσης-απόθεσης με βάση τα σημερινά δεδομένα προβλέπεται να έχει ιδιαίτερα αρνητική εξέλιξη. "Η παγκόσμια κατανάλωση υλικών την επόμενη σαρανταετία, αναμένεται να διπλασιαστεί, ενώ η ετήσια παραγωγή αποβλήτων προβλέπεται να αυξηθεί κατά 70 % έως το 2050"⁸.

1.1.α Τα απόβλητα της κατασκευής ΑΕΚΚ_ CDW_[Construction & Demolition Waste]

Εστιάζοντας στο πρώτο σκέλος της συμβολής που αναπτύχθηκε παραπάνω, δηλαδή στην κατασκευαστική διαδικασία (και όχι χρήση) που περιλαμβάνει τόσο την δημιουργία, όσο και αποδόμηση κτιριακού αποθέματος και παρατηρώντας την γραμμικότητα της ροής υλικών, αναδεικνύεται το ζήτημα παραγωγής αποβλήτων. Πρόκειται για ειδική κατηγορία αποβλήτων που αναγνωρίζονται με την συντομογραφική ονομασία ΑΕΚΚ, δηλαδή Απόβλητα Εκσκαφών, Κατασκευών και Κατεδαφίσεων.

Τα ΑΕΚΚ περιλαμβάνουν απόβλητα που προκύπτουν από δραστηριότητες όπως ολική ή μερική κατεδάφιση, κατασκευές και ανακαινίσεις κτιρίων και γενικότερα υποδομών αλλά και κατασκευή και συντήρηση οδών. Πρόκειται για ένα μείγμα 38 διαφορετικών υλικών⁹, αδρανών και μη αδρανών, φυσικών ή συνθετικών, οικονομικής αξίας ή μη, επικίνδυνων ή μη, όπως: σκυρόδεμα, σίδηρο, τούβλα, γύψο, ξύλο, γυαλί, μέταλλα, πλαστικό, αμιάντο, χώμα. Η ανεξέλεγκτη απόρριψή τους προκαλεί σειρά προβλημάτων στα σημεία απόρριψης και κατ'επέκταση συνολικά στο περιβάλλον, όπως οπτική όχληση, αλλοίωση ή και πλήρη καταστροφή του τοπικού οικοσυστήματος. "Συνολικά στην Ευρωπαϊκή Ένωση τα ΑΕΚΚ αντιπροσωπεύουν το 25% - 30% περίπου του συνόλου των παραγόμενων αποβλήτων και είναι από τα πιο βαριά και ογκώδη απόβλητα που παράγονται, ενώ έχουν αναγνωριστεί ως το ρεύμα αποβλήτων με προτεραιότητα διαχείρισης."¹⁰ Η διαχείριση τους περιλαμβάνει συλλογή, μεταφορά και ανάκτηση και θεωρητικά, με βάση την νομοθεσία πραγματοποιείται από αρμόδια πρόσωπα, δημόσια ή ιδιωτικά, νομικά ή φυσικά. Η τεχνολογία διαχωρισμού και ανάκτησης τους υπάρχει ήδη και είναι χαμηλού κόστους, ωστόσο δεν είναι παντού δεδομένη πρακτική. Το επίπεδο ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης τους ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό σε ολόκληρη την Ε.Ε. με ελάχιστο από 10% έως και μέγιστο 90% του συνόλου τους.¹¹ Υπάρχουν περιπτώσεις κρατών όπου η συγκεκριμένη κατηγορία αποβλήτων απλά καταλήγει σε χώρους υγειονομικής ταφής. (εικόνα 1.2)



Εικ 1.2 Στιγμιότυπο από διαδραστικό γράφημα της Ευρωπαϊκής επιτροπής για την δημιουργία απορριμάτων."Το 2016, παράχθηκαν στην Ευρωπαϊκή Ένωση 2,5 δισεκατομμύρια τόνοι απορριμμάτων (ή περίπου 5 τόνοι ανά κάτοικο). Το μεγαλύτερο μέρος προήλθε από τους τομείς των κατασκευών (37 %), εξορύξεων (25 %) και της μεταποίησης (10 %), τα νοικοκυριά αντιπροσωπεύουν το 9 % του συνόλου."

ΠΗΓΗ:<https://www.europarl.europa.eu/thinktank/infographics/circulareconomy/public/index.html>

⁸<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/?qid=1583933814386&uri=COM%3A2020%3A98%3AFIN>

⁹<https://www.aanel.gr/encyclopedia/aekk/>

¹⁰<https://www.eoan.gr>

¹¹ό.π.

Η στρατηγική της Ελλάδας σχετικά με τα ΑΕΕΚ

Η Ελλάδα ως μέρος της ΕΕ ακολουθεί και την στρατηγική της στην αντιμετώπιση της περιβαλλοντικής κρίσης. Συγκεκριμένα σχετικά με τα ΑΕΕΚ η νομική της προσέγγιση ενθαρρύνει τη μείωση, την επανάχρηση και ανακύκλωση μέσω μιας σειράς μέτρων, συμπεριλαμβανομένων νομοθετικών και κανονιστικών πλαισίων. Αφετηρία στην προσπάθεια μετάβασης της ΕΕ (σε θεσμικό επίπεδο) σε μια περιβαλλοντικά βιώσιμη και πλήρως κυκλική οικονομία, απαλλαγμένη από τοξικούς ρύπους, υπήρξε η Πράσινη Συμφωνία. Ένα σχέδιο δράσης της Ευρωπαϊκής Επιτροπής με στόχο την κλιματική ουδετερότητα μέχρι το 2050, σαν απάντηση στην κατάσταση κλιματικής έκτακτης ανάγκης που κηρύχθηκε από το Ευρωπαϊκό κοινοβούλιο το 2019.

Μέρος αυτής και ανάμεσα σε άλλα μέτρα, το 2020 η Επιτροπή πρότεινε το σχέδιο δράσης για την κυκλική οικονομία, προωθώντας κυκλικότητα τόσο στις μεθόδους παραγωγής, όσο και στην κατανάλωση και γενικότερη μείωση αποβλήτων.¹² Μέρος εστίασης αυτού του σχεδίου δράσης, αποτελεί και ο κλάδος των κατασκευών.

Συγκεκριμένα για την διαχείριση των ΑΕΕΚ σημείο σταθμός υπήρξε η οδηγία πλαίσιο για τα απόβλητα (WFD, 2008/98/EC) που εστιάζει τόσο στην πρόληψη-αποφυγή της δημιουργίας απορριμμάτων όσο και στην ενίσχυση της χρήσης των αποβλήτων ως πόροι.

Κατόπιν αυτού, ακολούθησε το «Πρωτόκολλο διαχείρισης απορριμμάτων κατεδάφισης» (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2016) και οι «Κατευθυντήριες γραμμές για τον έλεγχο απορριμμάτων πριν από εργασίες κατεδάφισης και ανακαίνισης κτιρίων» που παρέχει καθοδήγηση σχετικά με τον τρόπο μέτρησης και αναφοράς, ανάκτησης και ανακύκλωσης τους. Έχει επίσης καθιερώσει μια σειρά από πρωτοβουλίες και προγράμματα για την υποστήριξη της ανάπτυξης και εφαρμογής βέλτιστων πρακτικών.

Η Ελλάδα, συμβαδίζοντας με το σχέδιο δράσης της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ακολουθεί το Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων (ΕΣΔΑ) του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ, 2015), το Εθνικό Σχέδιο Πρόληψης Αποβλήτων (ΕΣΠΑ) και την Εθνική Στρατηγική Κυκλικής Οικονομίας [ΥΠΕΝ, 2018].¹³ Στο ΕΣΔΑ καταγράφονται οι ροές αποβλήτων, αλλά και προτάσεις διαχείρισης κάθε ροής, με ειδικά κεφάλαια για ΑΕΕΚ, τόσο στην διαχείριση όσο και στην πρόληψη παραγωγής τους. Μέρος αυτών αποτελούν και μέτρα για την χρήση ανακυκλωμένων αδρανών σε δημόσια και ιδιωτικά κατασκευαστικά έργα, καθώς και προδιαγραφές, πρότυπα και πιστοποιήσεις για δευτερογενή υλικά. Εμπλεκόμενοι φορείς είναι ο Ελληνικός Οργανισμός Ανακύκλωσης (ΕΟΑΝ), το Ελληνικό Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ), τα Συλλογικά Συστήματα Εναλλακτικής Διαχείρισης (ΣΣΕΔ) και το Ελληνικό Υπουργείο Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων (ΥΠΟΜΕΔΙ).

Βασικό κομμάτι του σχεδίου είναι η δημιουργία συλλογικών συστημάτων εναλλακτικής διαχείρισης (ΣΣΕΔ) ΑΕΕΚ, που μέσω οικονομικών κινήτρων ενθαρρύνει τον περιβαλλοντικό σχεδιασμό και την υπευθυνότητα του παραγωγού για το κόστος των προϊόντων στο τέλος του κύκλου ζωής τους. Αυτά λειτουργούν υπό τον έλεγχο του ΕΟΑΝ που με τη σειρά του ελέγχεται από το ΥΠΕΝ. Ουσιαστικά η διαχείριση αφορά στην παραγωγή, τον διαχωρισμό, την συλλογή, μεταφορά, επεξεργασία και ανακύκλωση τους, αλλά περιλαμβάνει και όλο το θεωρητικό, τεχνικό και νομικό υπόβαθρο που απαιτείται. Αναλυτικότερα οργανώνεται σε:

- συλλογή και αξιοποίηση δεδομένων , μέσω εργαλείων όπως το Ηλεκτρονικό Μητρώο Αποβλήτων (ΗΜΑ), (ηλεκτρονική υπηρεσία, εγγραφής , καταχώρησης και δημόσιας αναζήτησης δραστηριότητας αποβλήτων), την ΕΛΣΤΑΤ, τα ΣΣΕΔ
- ανάπτυξη μεθοδολογίας υπολογισμού τους, από στατιστικά δεδομένα της κατασκευαστικής δραστηριότητας στην Ελλάδα
- κωδικοποίηση του εθνικού πλαισίου για αποφυγή κενών, παρανοήσεων, επικαλύψεων
- Ανάλυση Κόστους-Οφέλους (ΑΚΟ) κάθε σταδίου διαχείρισης
- Ανάπτυξη Σχεδίου Διασφάλισης Ποιότητας (ΣΔΠ) για συμφωνία με απαιτούμενες προδιαγραφές χρήσης

¹²<https://www.europarl.europa.eu/news/el/headlines/priorities/kukliki-oikonomia-kai-meiosi-apovlition/20151201STO05603/kukliki-oikonomia-chrisimopoiise-to-xana>

¹³Η νομική βάση για διαχείριση των ΑΕΕΚ προκύπτει από την οδηγία πλαίσιο της ΕΕ WFD (2008/98/ EC) και έχει μεταφερθεί στην ελληνική νομοθεσία στο Νόμο 4042/2012. Όλες οι πρόνοιες της WFD που σχετίζονται με τα ΑΕΕΚ ισχύουν για την Ελλάδα, με υπεύθυνο το ΥΠΕΝ για κατάρτιση του νομικού πλαισίου και καθορισμό του πεδίου εφαρμογής. ΠΗΓΗ: <https://www.eoan.gr/>

“Στην Ελλάδα η ποσότητα των αποβλήτων που παράγεται από τις διάφορες οικοδομικές εργασίες (κατασκευές και κατεδαφίσεις) εκτιμάται σε 6-7 εκατ. τόνους ετησίως (Μελέτη ΥΠΕΧΩΔΕ 2006). Δεδομένου ότι μέχρι σήμερα δεν υπήρχε οργανωμένο δίκτυο συλλογής και αξιοποίησης τους, η διαχείριση των υλικών αυτών γίνεται αποσπασματικά, δημιουργώντας μεγάλα προβλήματα στο περιβάλλον εξαιτίας της ανεξέλεγκτης διάθεσής τους. Αυτή τη στιγμή (30.6.2021) δραστηριοποιούνται 12 εγκεκριμένα από τον ΕΟΑΝ ΣΣΕΔ ΑΕΚΚ με ποσοστό κάλυψης της χώρας 90.54%”¹⁴

Στην διαχείριση των ΑΕΚΚ συμβάλλουν όλοι οι εμπλεκόμενοι φορείς ενός έργου. Ο ιδιοκτήτης του ακινήτου που έχει την ευθύνη διορισμού ελεγκτή για τον προσδιορισμό και ταξινόμηση τους, και προκαταρκτικό σχεδιασμό διαχείρισής. Η αρχή που εκδίδει άδειες κατασκευής/κατεδάφισης όπως η ΥΔΟΜ (στην Ελλάδα) που εξακριβώνει την διενέργεια ελέγχων και μελετών για διαχείριση αποβλήτων. Ο ελεγκτής εμπειρογνώμονας, που είναι υπεύθυνος για την εκπόνηση ΜΕΑ και ΣΔΑ (Σχέδιο διαχείρισης αποβλήτων). Ο ανάδοχος κατασκευαστής που πρέπει να συνεισφέρει και στην ιχνηλασιμότητα των αποβλήτων. Ο διαχειριστής αποβλήτων συλλέκτης ή μεταφορέας, που είναι υπεύθυνος για την κατάλληλη διαχείριση και διάθεση. Τα ΣΣΕΔ που εν τέλει διαχειρίζονται τα ΑΕΚΚ με εναλλακτικούς τρόπους.

Η επεξεργασία τους ωστόσο είναι μια διαδικασία που φέρει το δικό της περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Αναλόγως της διαχείρισης θα μπορούσε να είναι μεγαλύτερο και από αυτό της εξόρυξης και επεξεργασίας νέων πόρων, όπως σε περιπτώσεις αποκόλλησης υλικών όπου απαιτούνται πολύ υψηλές θερμοκρασίες και μηχανική επεξεργασία. Το δεδομένο αυτό αναδεικνύει σαφώς τον ιδιαίτερα βασικό ρόλο που διαδραματίζει ο αρχικός σχεδιασμός.

Σημαντική δυσκολία στην τελική διαχείριση αποτελεί το εμπορικό πλαίσιο των ΑΕΚΚ. Ο συνδυασμός των συγκριτικά χαμηλών τιμών των πρώτων υλών, με επιπλέον το μηδενικό κόστος υγειονομικής ταφής και παράλληλα την μειωμένη εμπιστοσύνη στην ποιότητα των ανακυκλωμένων προϊόντων, εκμηδενίζει την ανταγωνιστικότητά τους στην αγορά υλικών. Επιπλέον τίθενται ζητήματα ποιοτικού ελέγχου, που δεν έχουν αναπτυχθεί ακόμα όπως οι απαιτήσεις σήμανσης για εγγύηση της τεχνικής ποιότητας του υλικού και ένα οργανωμένο σύστημα καταγραφής της ροής ΑΕΚΚ.

1.2 Σύγχρονες προσεγγίσεις μετάβασης

Η φύση λειτουργεί με κυκλικά σχήματα. Η έννοια του απορρίματος σε αυτήν δεν υπάρχει. Τίποτα και κανένα αποτέλεσμα, καμίας πράξης και διαδικασίας δεν θεωρείται σκουπίδι, τα πάντα είναι μέρος μιας συνολικής ροής και εξέλιξης. Με βάση το φυσικό μοντέλο, στα πλαίσια ανασύστασης του τρόπου που λειτουργεί η κατασκευαστική διαδικασία σήμερα προς μια πιο βιώσιμη λογική, εισέρχεται η λογική της **κυκλικότητας**, μεταβάλλοντας αυτό το πολύ σημαντικό κομμάτι της: τον μεταβολισμό της υλικής της υπόστασης.

Ξεκινώντας σε επίπεδο οικονομικού μοντέλου, η **κυκλική οικονομία** διαδέχεται ως εξελιγμένη μορφή το μέχρι σήμερα επικρατέστερο γραμμικό. Η διαφορά του συστήματος έγκειται στην ροή της διαδικασίας, δηλαδή από την γραμμικότητα του σχήματος πρώτη ύλη/προμήθεια, παρασκευή, απόρριψη που περιγράφηκε παραπάνω, γίνεται μετατροπή σε μια κυκλική διαδικασία όπου δεν υπάρχει απόρριψη αλλά επαναφορά σε πρώτη ύλη. Με αυτόν τον βιομημικό τρόπο, απαλείφεται ο όρος απόβλητο, και συνεπώς περιορίζεται το αποτύπωμα διαφόρων διαδικασιών παραγωγής καθώς και η ανάγκη εξαγωγής νέων πόρων. Πέραν της μείωσης σπατάλης μη ανανεώσιμων φυσικών πόρων, το σύστημα αυτό συμβάλλει και στην μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Αυτό προκύπτει από την χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, την απορρόφηση των υπολειμμάτων και την εξαρχής επιλογή ενεργειακά αποδοτικών και μη τοξικών υλικών. Από έρευνα του Ιδρύματος Ellen MacArthur για την κυκλική οικονομία, για την κατανόηση αυτού του μοντέλου είναι κρίσιμη η ανάγνωση του κόσμου σε «συστήματα». Η συνειδητοποίηση του ότι τα μέρη ενός συνόλου, επηρεάζουν το ένα το άλλο μέσα στο σύνολο, όπως και το σύνολο επηρεάζει τα μέρη του και σε κάθε στοιχείο υπάρχει μια μη γραμμική σχέση με το περιβάλλον του, τις υποδομές του και το κοινωνικό πλαίσιο στο

¹⁴<https://www.eoan.gr/>

οποίο υπάρχει.¹⁵ Η καινοτομία του συστήματος σε σχέση με προγενέστερες προσεγγίσεις κυκλικότητας, όπως αυτή της ανακύκλωσης έγκειται στον **σχεδιασμό**. Ο σχεδιασμός προϊόντων και διαδικασιών γίνεται εξ αρχής με γνώμονα την ανακατασκευή, επαναμεταποίηση, επισκευή των υφιστάμενων υλικών και προϊόντων, σε αντίθεση με τη υποβάθμιση των πρώτων υλών που προκύπτει με το σύστημα ανακύκλωσης και τα μεγάλα ποσά ενέργειας που απαιτούνται στην ανάκτηση και επανάχρηση τους.

Οι κυκλικές μέθοδοι στην **κατασκευή**, που συνολικά χαρακτηρίζονται ως κυκλική κατασκευή, δύνανται να αλλάξουν όλο το φάσμα της διαδικασίας. Από την φάση του σχεδιασμού, μέσω προηγμένων τεχνολογιών για σχεδιασμό μακροχρόνιας ζωής, εύκολης συντήρησης, επισκευής, επανάχρησης, ανακατασκευής. Το επίπεδο πολεοδομικής οργάνωσης, με νέα μοντέλα οικιστικών συνόλων ικανών να παράγουν ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές, να διαθέτουν αποκεντρωμένα συστήματα απορριμμάτων αλλά και στα υπάρχοντα συστήματα, νέες μεθόδους δημιουργίας και διαχείρισης. Η λογική αυτή επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την αρχιτεκτονική σύνθεση, την κατασκευαστική μέθοδο και επιλογή υλικών. Ιδιαίτερα σημαντικό στάδιο του σχεδιασμού είναι η μελέτη **ανάλυσης του κύκλου ζωής (AKZ)**, ένα εργαλείο αξιολόγησης προϊόντων και διαδικασιών ως προς τις περιβαλλοντικές τους επιπτώσεις. Στον κατασκευαστικό τομέα το εργαλείο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διαφορετικά επίπεδα, από την διαδικασία ή το τελικό προϊόν προσδιορίζοντας και ποσοτικοποιώντας τα υλικά, την ενέργεια που καταναλώνεται, τα απόβλητα που δημιουργούνται για κάθε συνιστώσα της κατασκευής. Πρόκειται για πληθώρα δεδομένων όχι πάντα εύκολα προσδιορίσιμα.

Συνολικά η μετάβαση στο νέο αυτό μοντέλο χρειάζεται χρόνο και πολιτικές εδραιώσεις σε κάθε οργανωτική κλίμακα (τοπική, περιφερειακή, εθνική, ευρωπαϊκή) και κάθε στάδιο (σχεδιασμός, εφοδιασμός, κατασκευή, απόθεση κλπ) μιας παραγωγής (προϊόντος, υπηρεσίας, επιχειρηματικού μοντέλου κλπ). Ακόμα δεν έχει εδραιωθεί αλλά έχει ήδη επηρεάσει και εξελίξει την κουλτούρα παραγωγής.

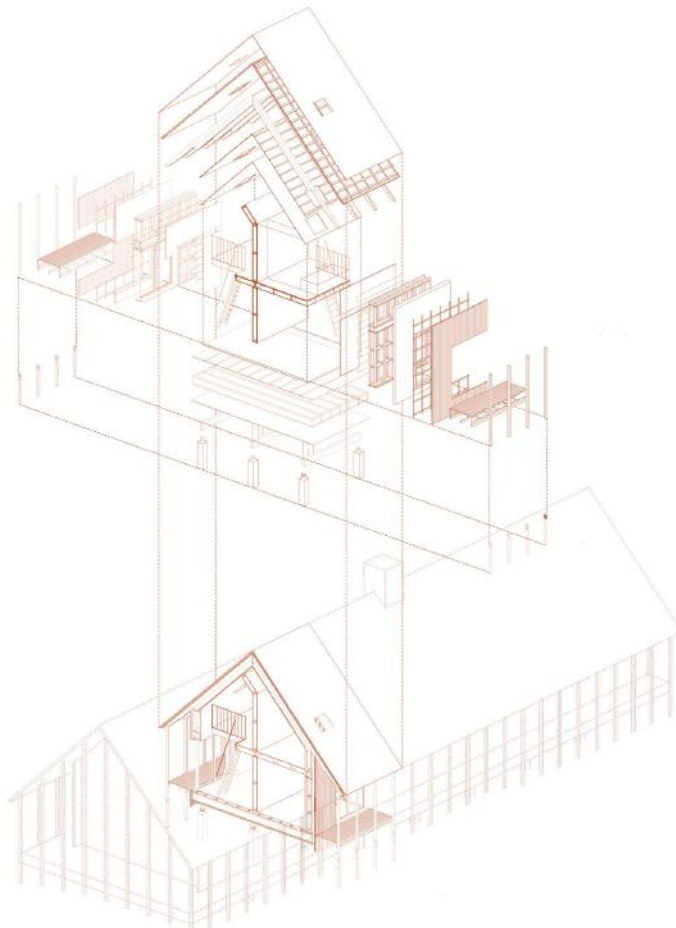
Η αναζήτηση γύρω από αυτό αναδεικνύει μια πληθώρα ορισμών και θεωριών σχεδιασμού που προσεγγίζουν, είτε την διαδικασία, είτε τον τρόπο, είτε την αντίληψη του, στα πλαίσια της κυκλικότητας.

Ένα παράδειγμα αποτελεί η εξελιγμένη εκδοχή του cradle to grave το λεγόμενο **"cradle to cradle" (C2C)**. Μια σχεδιαστική φιλοσοφία για τη δημιουργία προϊόντων φιλικών προς το περιβάλλον και την κοινωνία. Βασίζεται στην ιδέα της δημιουργίας ενός συστήματος κλειστού βρόχου, στον οποίο τα υλικά επαναχρησιμοποιούνται συνεχώς, αντί να απορρίπτονται μετά από μία μοναδική χρήση.

Οι πέντε βασικές αρχές του αφορούν: στα υλικά ως προς την εύκολη αποσυναρμολόγηση τους και το περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα, τη χρησιμοποιούμενη ενέργεια ως προς την ανανεώσιμη φύση της, το νερό που χρησιμοποιείται στη διαδικασία παραγωγής ως προς την επεξεργασία και επανάχρηση, αντί της απόρριψης ως απόβλητο και η κοινωνική ευθύνη ως προς τις εμπλεκόμενες στο εκάστοτε έργο κοινότητες. Το Cradle to Cradle εφαρμόζεται σε μια ποικιλία προϊόντων και βιομηχανιών, συμπεριλαμβανομένων των δομικών υλικών.

Αντίστοιχης λογικής είναι ο **Προληπτικός σχεδιασμός (Designing Out Waste_DoW)** που αναπτύχθηκε ως μεθοδολογία της κυκλικής οικονομίας με στόχους που αφορούν στην αποδοτικότητα των πόρων ενός έργου. Μεταξύ άλλων περιλαμβάνουν την χρήση προκατασκευασμένων στοιχείων, επαναχρησιμοποίηση βοηθητικού εξοπλισμού (π.χ. ικρίωματα, ξυλότυποι), την μειωμένη απαίτηση συνδέσμων μέσω έξυπνου σχεδιασμού. (εικόνα 1.3)

¹⁵Ellen MacArthur Foundation. (2013). Towards the Circular Economy. Ellen MacArthur Foundation (Vol. 1), σελ 24
<https://doi.org/10.1162/108819806775545321>



Εικ. 1.3 Hanstholm Højskole, SOMA Απεικόνιση των στοιχείων κατασκευής και συνδεσμολογίας μιας μονάδας με στόχο την μελλοντική αποσυναρμολόγηση, τον διαχωρισμό και επανάχρησή τους. ΠΗΓΗ: <https://somastudio.no>

Επίσης ο Σχεδιασμός για Αποδόμηση (Design for deconstruction) ή Σχεδιασμός για αποσυναρμολόγηση (Design for Disassembly) που στηρίζεται στην εφαρμογή τεχνικών για εύκολη αποσυναρμολόγηση των δομικών στοιχείων και πιθανή επαναχρησιμοποίηση κατασκευαστικών μερών. Ο σχεδιασμός αυτός εστιάζει σε υλικά και εξαρτήματα περιορισμένου αριθμού και εύκολου διαχωρισμού για γρήγορη αποδόμηση και διαλογή μετά το πέρας ζωής τους. (εικόνα 1.6)



Εικ. 1.4 Λεπτομέρεια συνδεσμολογίας που ακολουθεί μια από τις θεμελιώδεις αρχές του DfD: την δημιουργία προσβάσιμων και κατάλληλων συνδέσεων για διευκόλυνση της αποσυναρμολόγησης και αποφυγή της χρήσης βαρέως ή πολύπλοκου εξοπλισμού. Kengo Kuma & Associates + College of Environmental Design UC Berkeley © Shinkenchiku Sha ΠΗΓΗ: A Guide to Design for Disassembly | ArchDaily

Ως προς τον σχεδιασμό έχει αναπτυχθεί και ο όρος **αναστρέψιμα κτίρια (reversible buildings)**, με έμφαση στην ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση υψηλής αξίας δομικών μερών για επαναχρησιμοποίηση, που εντάσσεται στην επίσης αναδυόμενη λογική **BAMB (Buildings as Material Banks)**. Λογική που αντιμετωπίζει τα κτίρια ως Τράπεζες Υλικών, με στόχο την πρόληψη σε ΑΕΕΚ, την μείωση κατανάλωσης παρθένων πόρων και την μετάβαση προς μια κυκλική οικονομία, εστιάζοντας στις οικοδομικές εργασίες και τις βιομηχανίες επεξεργασίας (από αρχιτέκτονες μέχρι προμηθευτές πρώτων υλών).¹⁶ Με βάση τις αρχές ιεραρχίας των απορριμμάτων: πρόληψη, επανάχρηση, ανακύκλωση, εστιάζει στην βελτίωση της αξίας των υλικών που χρησιμοποιούνται στα κτίρια για ανάκτηση. Αυτό επιτυγχάνεται με την ενσωμάτωση διαβατηρίων υλικών και τον αναστρέψιμο σχεδιασμό κτιρίων.

Η **Αστική εξόρυξη (urban mining)** περιγράφει την σύγχρονη αντίληψη και διαδικασία ανάκτησης συστατικών και στοιχείων από πεταμένα ή ανεπιθύμητα προϊόντα και κτίρια με υψηλή περιεκτικότητα πολύτιμων υλικών. Η εξόρυξη πρώτων υλών δεν γίνεται στον "φυσικό" κόσμο αλλά στον δομημένο. Καθώς οι πόροι εξαντλούνται ολοένα και περισσότερο στον τόπο της φυσικής τους προέλευσης, αλλά αντιστρόφως συσσωρεύονται μέσα στα κτίρια, γίνεται μια αντιληπτική μετάβαση όπου τα ερείπια των παλιών δομών μετατρέπονται στα λατομεία των νέων. (εικόνα 1.4,5,6)



¹⁶ Μέσω του χρηματοδοτικού προγράμματος Horizon 2020 "SOCIAL CHALLENGES - Climate action, Environment, Resource Efficiency and Raw Materials", με ειδικό στόχο την επίτευξη μιας ανθεκτικής οικονομίας και κοινωνίας στην κλιματική αλλαγή, προκειμένου να καλυφθούν οι ανάγκες του αυξανόμενου παγκόσμιου πληθυσμού εντός των βιώσιμων ορίων των φυσικών πόρων και οικοσυστημάτων του πλανήτη. ΠΗΓΗ: <https://cordis.europa.eu/project/id/642384>



Εικ.1.5,6,7 Μουσείο Ιστορίας Ningbo, Amateur Architecture Studio. Έργο του 2008 που ενσωματώνει στον σχεδιασμό του υλικά από τα κατεδαφισμένα κτίρια που υπήρχαν στο σημείο κατασκευής του.
ΠΗΓΗ:<https://www.archdaily.com/942622/wang-shus-works-on-contemporary-chinese-architecture-with-recycled-materials>

Τέλος, ο **αστικός μεταβολισμός-urban metabolism**, από τον οποίο δανείζεται η παρούσα διπλωματική την ορολογία του τίτλου. Πρόκειται για μια από τις διαφορετικές οπτικές γωνίες που προσεγγίζεται η αστική βιωσιμότητα και ουσιαστικά συγκρίνει την πόλη με οικοσυστήματα ή ζωντανούς οργανισμούς. Δηλαδή την αντιλαμβάνεται σαν σύστημα που δέχεται εισροές, πραγματοποιεί μετασχηματισμούς αλλά και εκροές υλικού και ενέργειας, που με βιολογικούς όρους περιγράφεται ως μεταβολισμός. Επίσης παρατηρεί το γεγονός ότι η ζωή της πόλης βασίζεται στη σχέση της με το περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται και το δίκτυο τοπικών και παγκόσμιων πόρων από τις οποίες τρέφεται. Όσο ταχύτερος είναι ο μεταβολισμός τόσο υψηλότερες και οι καταναλώσεις πόρων, που σημαίνει απώλεια γεωργικών εκτάσεων, δασών και βιοποικιλότητας (συχνά σε μακρινά μέρη) και επακόλουθη αύξηση κυκλοφορίας οχημάτων συνεπώς και ρύπανσης. Η πόλη σαν σύνθετο σύστημα αποτελείται από αλληλοκαλυπτόμενα στοιχεία κοινωνικά συστήματα, υποδομές, υπηρεσίες που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους σε πολλαπλές και μη γραμμικές σχέσεις.

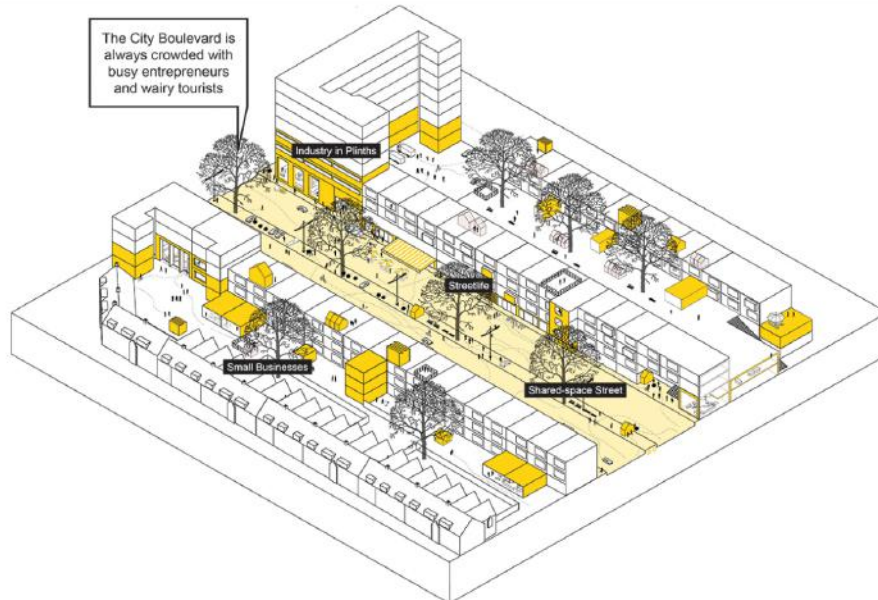
Πρόκειται για προσέγγιση που έχει πρωτοεμφανιστεί στις αρχές της δεκαετίας του 1920¹⁷ από μελέτες μηχανικών και επανέρχεται σήμερα με σύγχρονα δεδομένα. Χρησιμοποιείται σαν μοντέλο που βοηθά στην περιγραφή και ανάλυση των ροών μέσα στις πόλεις, κατανοώντας όλες τις δραστηριότητες που συμβαίνουν σε αυτήν σε ένα ενιαίο σύστημα.

¹⁷Η έννοια του αστικού μεταβολισμού αναπτύχθηκε για πρώτη φορά από τον Abel Wolman το 1965 στην μελέτη της ροής υλικής ενέργειας σε αστική κλίμακα, για μια υποθετική πόλη ενός εκατομμυρίου κατοίκων, με τον ποσοτικό προσδιορισμό εισερχόμενων πόρων και εξερχόμενων υπολειμμάτων. Μετά το έργο του, η έρευνα για τον αστικό μεταβολισμό έχει εξελιχθεί ενώ ορισμένες πόλεις υιοθέτησαν την προσέγγιση του στην ανάλυση των ροών των πόρων τους προκειμένου να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα, βιωσιμότητα και ανθεκτικότητά τους.

ΠΗΓΗ:Leonardo S. Conke, Tainó L. Ferreira, Urban metabolism: Measuring the city's contribution to sustainable development, Environmental Pollution, Volume 202, 2015, Pages

146-152.<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749115001499>

Η χρήση περιβαλλοντικών και κοινωνικών δεικτών σε μεγαλύτερη κλίμακα, όπως η συμπερίληψη της υποδομής που εξυπηρετεί την πόλη αλλά μπορεί να βρίσκεται εκτός της περιμέτρου της (όπως εγκαταστάσεις διαχείρισης απορριμμάτων, αεροδρόμια, βιομηχανικές περιοχές), αποτελεί εξέλιξη της αρχικής θεωρίας στην ανάλυση των ροών εντός των αστικών φυσικών ορίων και μπορεί να προσφέρει στην κατανόηση των πολύπλοκων σχέσεων που τις συνθέτουν, προκειμένου να επανασχεδιαστούν με βιώσιμο τρόπο. (εικόνα 1.10)



Εικ.1.8 Μελέτη βιώσιμης πολεοδομικής ανάπτυξης, στα πλαίσια αστικού μεταβολισμού, από το IABR-Project Atelier Rotterdam (2014). Το διάγραμμα απεικονίζει την αναδιοργάνωση του δημόσιου χώρου και ζωνών κυκλοφορίας σε συγκεκριμένους δρόμους, ερευνώντας την πιθανή εκκίνηση νέας εκβιομηχάνισης μέσω φιλοξενίας νέων επιχειρήσεων.

ΠΗΓΗ:<https://iabr.nl/en/projectatelier/2014parotterdam>

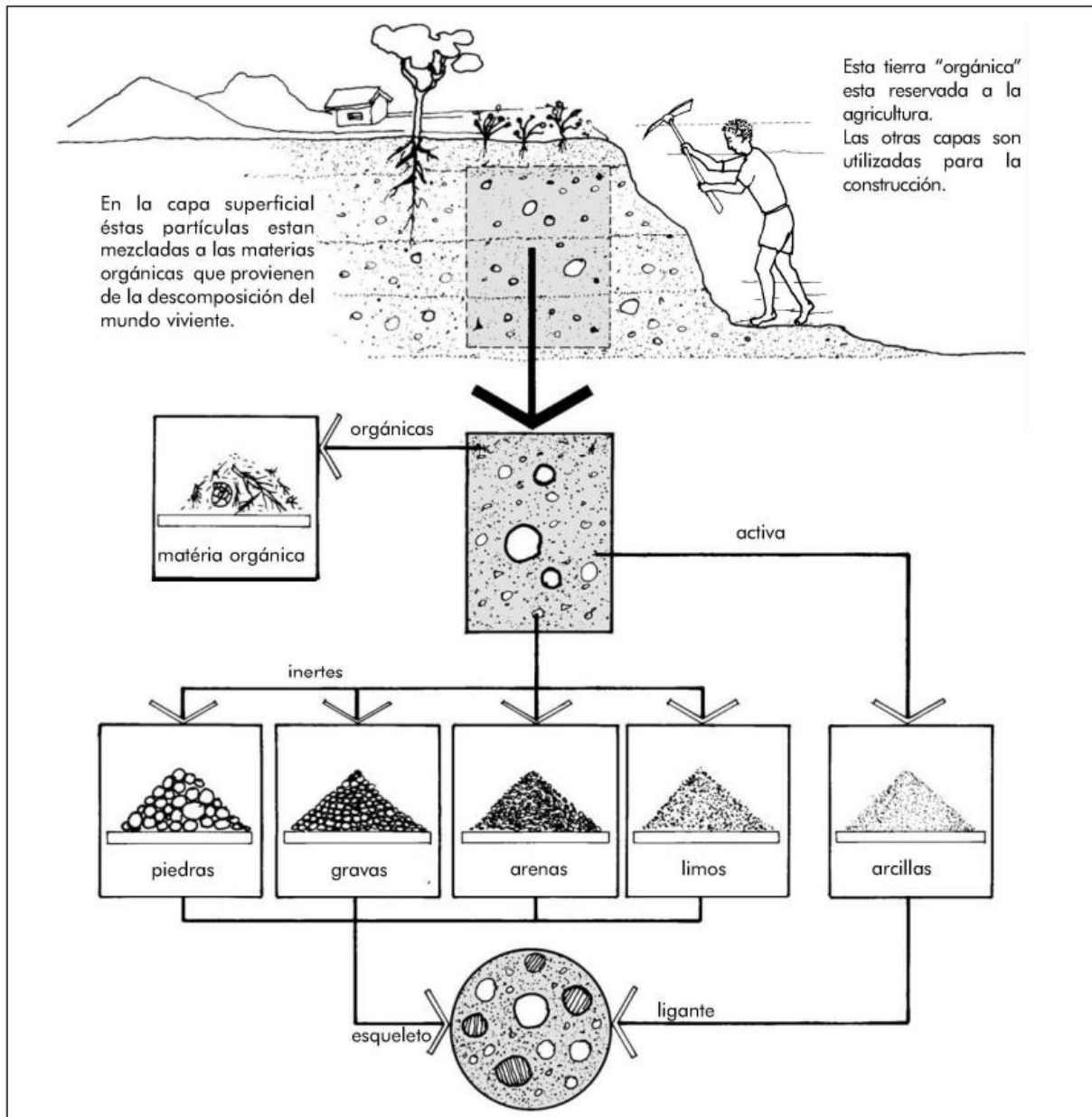
Κεφάλαιο 2. Η θέση του χώματος

Το χώμα, σαν οικοδομικό υλικό, επανατοποθετείται σήμερα στην συζήτηση περί κυκλικής και αειφόρου κατασκευής, λόγω πολλαπλών ποιοτήτων που φέρει και απαντούν στα ζητήματα που τέθηκαν παραπάνω.

Από την σκοπιά της εδαφολογίας, πρόκειται για ένα υλικό τριών κλάσεων: αργίλου, ιλύος και άμμου, με συχνά άλλα αδρανή υλικά όπως χαλίκια. Η διαφορετική κοκκομετρία και σύνθεση αυτών των συστατικών ορίζει διαφορετικούς τύπους όπως πηλός, λάσπη, άμμος. Το καθένα με άλλες ιδιότητες, πυκνότητας, συνεκτικοποίησης, πορώδες κ.α που το καθιστούν κατάλληλο ή μη, για συγκεκριμένες μεθόδους δόμησης. Κάθε συστατικό προσδίδει ιδιαίτερα χαρακτηριστικά στο μείγμα. Η άργιλος για παράδειγμα συμβάλει στην απορρόφηση και συγκράτηση μεγάλων ποσοτήτων νερού, που όταν εξατμίζεται, επιτρέπει στο χώμα να στερεοποιείται, εμφανίζοντας δυνάμεις συνοχής και μηχανικές αντοχές, αλλά επίσης συρρίκνωση. Η συρρίκνωση μπορεί να περιοριστεί με την ύπαρξη κατάλληλης αναλογίας αδρανών και άμμου. Η ιλύς είναι τα λεπτόκοκκα, χημικώς αδρανή στοιχεία του χώματος, που βοηθά στην μείωση της τριβής μεταξύ των αδρανών υλικών κατά την συμπίκνωση. Δεν έχει συγκολλητικές ιδιότητες αλλά αυξάνει την σταθερότητα των κόκκων της άμμου, γεμίζοντας τα κενά μεταξύ τους. Τα χαλίκια που προκύπτουν από τη θραύση πετρωμάτων, είναι χημικά αδρανή χονδρόκοκκα συστατικά, που δεν απορροφούν νερό, εξασφαλίζουν αντοχή σε πίεση και μειώνουν την συρρίκνωση των δομικών στοιχείων του πηλού κατά την ξήρανση. Για ενεργοποίηση της αργίλου χρειάζεται επίσης προσθήκη νερού σε συγκεκριμένη ποσότητα ώστε να μην επηρεάσει την ρηγμάτωσή του και τις αντοχές του υλικού.

Συνεπώς το μείγμα που εν τέλει χρησιμοποιείται στην δόμηση μπορεί να εμφανίσει μεγάλο εύρος μηχανικών, θερμικών ιδιοτήτων και συμπεριφορά στο νερό ανάλογα με τις χρησιμοποιούμενες ποσότητες των συστατικών του. Η έρευνα γύρω από αυτό έχει διαρκή εξέλιξη και περιθώριο για νέες δοκιμές, όπως χρήση άχυρου, ασβέστη, ρυζόνηρου, αλλά και πολλαπλό έλεγχο καθώς πρόσθετα που βελτιώνουν ορισμένες ιδιότητες του μείγματος, ενδέχεται να επιδεινώνουν άλλες. Για παράδειγμα, η αντοχή σε θλίψη και κάμψη μπορεί να αυξηθεί με την προσθήκη αμύλου και κυτταρίνης, που όμως μειώνουν τις συνεκτικές δυνάμεις και αυξάνουν την συρρίκνωση.¹⁸

Σε κάθε περίπτωση το γεωκονίαμα που χρησιμοποιείται δομικά δεν είναι το ίδιο με το προϊόν που χρησιμοποιείται κηπευτικά. Πρόκειται για χώμα που προέρχεται από εκσκαφή τουλάχιστον σαράντα εκατοστών από την επιφάνεια του εδάφους, ώστε να είναι απαλλαγμένο από οργανικά στοιχεία, φυτική ύλη και χούμο που βρίσκονται στο κλάσμα της αργίλου. (εικόνα 2.1)



Εικ. 2.1 Προέλευση δομικού χώματος και συστατικά. ΠΗΓΗ: ARQUITECTURA y CONSTRUCCIÓN en TIERRA Estudio Comparativo de las Técnicas Contemporáneas en Tierra, Arch. Fabio Gatti, σελ 11

¹⁸ Minke Gernot, Building with earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture, Birkhäuser – Publishers for Architecture, Βερολίνο 2006, σελ 39-41

ΠΗΓΗ: https://issuu.com/nikosdragom/docs/building_with_earth_design_and_tech

Σε μετάφραση η εικόνα: "Στο επιφανειακό στρώμα τα υλικά είναι αναμεμειγμένα με οργανική ύλη που προκύπτει από την βιοαποικοδόμηση έμβιων οργανισμών.

Αυτό το πρώτο "οργανικό" χώμα αξιοποιείται στην καλλιέργεια. Τα παρακάτω στρώματα χρησιμοποιούνται στην δόμηση.

Στα βελάκια γίνεται ανάλυση των συστατικών, από αριστερά προς δεξιά: πέτρες, χαλίκια, άμμοι, πηλός, άργιλοι, ενώ στην επόμενη ανάλυση τα τέσσερα πρώτα αναλύονται ως σκελετός και η άργιλος ως συνδετικό στοιχείο."

2.1 Σύνομη ιστορία

Η χρήση άψητης γης στην αρχιτεκτονική διαδικασία έχει εντοπιστεί σε μεγάλη γεωγραφική εμβέλεια του δομημένου κόσμου και σε ευρεία χρονική κλίμακα της ανθρώπινης ιστορίας. Χρονικά τοποθετείται στα πρωταρχικά υλικά δόμησης που αξιοποίησε ο άνθρωπος ενώ έχει χρησιμοποιηθεί σε όλους τους αρχαίους πολιτισμούς¹⁹. "Σύμφωνα με αρχαιολογικές ενδείξεις, η χρήση πηλού για δομικούς σκοπούς ξεκίνησε πριν από 10.000-12.000 χρόνια, ενώ η παραγωγή ωμόπλινθων σε καλούπια αναπτύχθηκε στην περιοχή της Μεσοποταμίας πριν από περίπου 7.000 χρόνια. Ο άνθρωπος, εγκαταλείποντας τη νομαδική ζωή πριν περίπου 10.000 χρόνια, συγκρότησε μόνιμους οικισμούς με τον άψητο πηλό να αποτελεί ένα από τα πρωταρχικά υλικά δόμησης."²⁰

Η διαχείριση σημαντικών ποσοτήτων εδάφους και χωμάτινης αρχιτεκτονικής, έχει πάρει πολλές μορφές στην ιστορία: ταφή νεκρών, γεωργικά έργα, κανάλια και δεξαμενές, οχυρώσεις όπως το Σινικό τείχος (εικόνα 2.2), αναχώματα, αρχιτεκτονικές και αστικές διαμορφώσεις: από απλές κατοικίες μέχρι παλάτια, βοηθητικούς χώρους μέχρι θρησκευτικούς ναούς, ιστορικά κέντρα πόλεων, πολιτιστικά τοπία, αρχαιολογικούς χώρους. Η χρήση τοπικά εκσκαμμένου εδάφους, συνέβαινε αυθόρμητα ιδιαίτερα σε αργιλώδεις περιοχές.

13 Asia and the Pacific

438

CHINA
The Great Wall




« The Great Wall of China, near Jiayuguan in Gansu province, is built of unbaked clay, the only locally available material. »
(«Bâtit en Terre», Anger & Fontaine, 2009, p. 11)

It is clear that rammed earth has been used, but there may also have some adobe parts, with possibly some of them concealed by fired bricks.

>> CRITERIA : (I) (II) (III) (IV) (VI)
>> BRIEF DESCRIPTION :
In c. 220 BC, under Qin Shi Huang, sections of earlier fortifications were joined together to form a united defence system against invasions from the north. Construction continued up to the Ming Dynasty (1368-1644), when the Great Wall became the world's largest military structure. Its historic and strategic importance is matched only by its architectural significance.

Portions of the Great Wall built with earth
© Gaydon Williams (iStock, creative commons)

DATE OF INSCRIPTION	1987
GEOGRAPHIC COORDINATES	N40 25 0.012 E116 4 59.988
PERIOD(S) OF CONSTRUCTION	III rd century BC - XVII th century AC



Εικ. 2.2 Το Σινικό τείχος κατασκευασμένο από το μοναδικό διαθέσιμο τοπικό υλικό: ωμή γη.

ΠΗΓΗ: World heritage inventory of earthen architecture, 2012.pdf, σελ 92

¹⁹ Minke Gernot, Building with earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture, Birkhäuser - Publishers for Architecture, Βερολίνο 2006, σελ 12

ΠΗΓΗ: https://issuu.com/nikosdrogom/docs/building_with_earth_design_and_tech

²⁰ Μπαλασάς Κ.Α., «Πηλός & Ωμόπλινθοι ως υλικά δόμησης. Περιβαλλοντική απόκριση ωμόπλινθοκτιστων οικισμών. Το παράδειγμα των Κορεστίων Καστοριάς. Ανάλυση και προτάσεις αναβίωσης με περιβαλλοντικό πρόσημο», (2018), ΕΑΠ Ανάκτηση α: <https://apothesis.eap.gr/archive/item/80300>, σελ 53

Η χρήση του χρονικά δεν έχει ομοιογενή εξέλιξη, όπως ομοιογενής δεν είναι συνολικά η πορεία των κοινωνιών ανά τον κόσμο, αλλά στην διάρκεια του χρόνου έχει αφήσει τεράστιο απόθεμα κατασκευών και πολιτιστικής κληρονομιάς. *"Μέχρι και σήμερα το ένα τρίτο της ανθρωπότητας ζει σε κατασκευές από χώμα. Στις αναπτυσσόμενες χώρες το ποσοστό αυτό ξεπερνάει το μισό του πληθυσμού."*²¹

Στον Δυτικό κόσμο η εκβιομηχάνιση και μαζική παραγωγή τυποποιημένων δομικών προϊόντων, καθώς και η αυξανόμενη αστικοποίηση και ανάγκη για ραγδαία, γρήγορη και μεγάλης κλίμακας ανοικοδόμηση σταδιακά την εξαφάνισε, ή την περιόρισε σε αγροτικούς οικισμούς και επαρχιακές δομές. Η χωμάτινη αρχιτεκτονική δεν περιορίζεται όμως στην κληρονομιά του παρελθόντος. Μετά την σταδιακή της υποβάθμιση, τα τελευταία χρόνια, στα πλαίσια του ολοένα και πιο δημοφιλή αειφορικού σχεδιασμού επανεμφανίζεται μια πληθώρα σύγχρονων κατασκευών που ανταποκρίνονται σε ποικίλες αισθητικές ποιότητες, από οργανικές μορφές μέχρι μοντερνιστικές γραμμές και βασίζονται στην βιοκλιματική αρχιτεκτονική.

Σε αυτό το σημείο δεν θα μπορούσαν να μην αναφερθούν χαρακτηριστικοί αρχιτέκτονες όπως ο Αιγύπτιος Hassan Fathy, ο Χιλιανός Marcelo Cortes, ο Francis Kéré από την Μπουρκίνα Φάσο, ο Γερμανός Gernot Minke, ο Αυστριακός Martin Rauch και πολλοί άλλοι που συνεχίζουν να δημιουργούν και να εξελίσσουν την δόμηση με χώμα. (εικόνα 2.3)

Μέχρι και στην Ελλάδα σήμερα, στο πλέον σύγχρονο έργο επέκτασης του Εθνικού Αρχαιολογικού Μουσείου στην Αθήνα που σχεδιάζεται να γίνει, η επιλεγμένη πρόταση των David Chipperfield Architects Berlin που κέρδισε τον διαγωνισμό, εντάσσει στον σχεδιασμό της το συμπιεσμένο χώμα στις τοιχοποιίες.²²



Εικ.2.3 Fort V, (2015), Έργο των BC architects που λειτουργεί σαν εκπαιδευτικό κέντρο και αποτελεί το πρώτο δημόσιο κτίριο με φέροντες τοίχους από CEB, στην Benelux. © Thomas Noceto
ΠΗΓΗ: <https://architects.bc-as.org/>

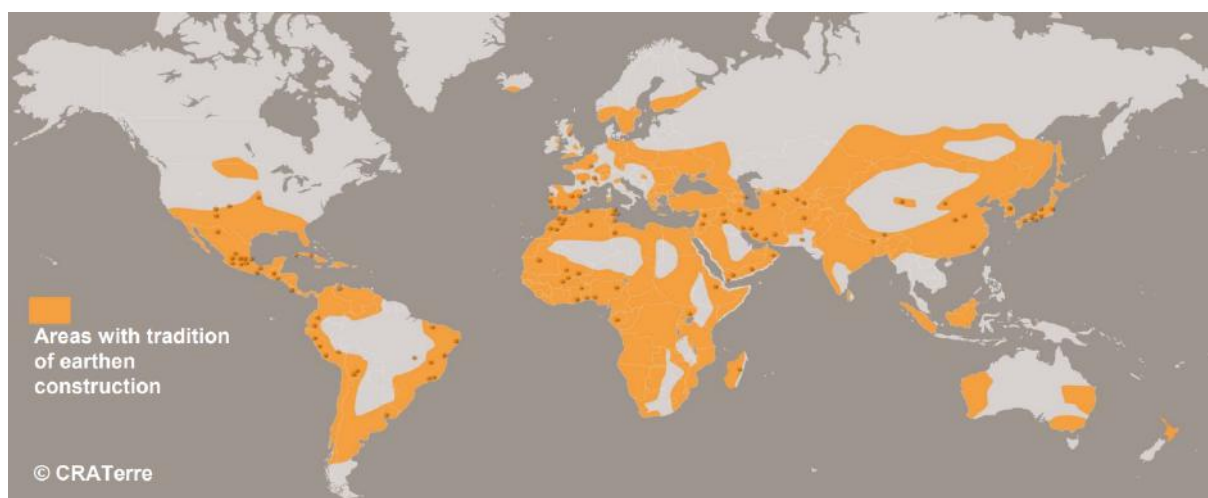
²¹ Minke Gernot, Building with earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture, Birkhäuser – Publishers for Architecture, Βερολίνο 2006, σελ 11 ΠΗΓΗ:

https://issuu.com/nikosdragom/docs/building_with_earth_design_and_tech

²²<https://www.lifo.gr/culture/design/neo-ethniko-arhaiologiko-moyseio-prosito-anthropokentriko-syndedemo-me-tin-athina>

Από γεωγραφική σκοπιά η χωμάτινη αρχιτεκτονική, επίσης εμφανίζει ιδιαίτερα μεγάλη εξάπλωση. Στο παρελθόν που η δόμηση βασιζόταν στην άμεση αξιοποίηση των πρώτων υλών του τόπου και δεδομένου του ότι το χώμα αποτελεί τοπικό υλικό σε τόσο μεγάλο μέρος του κόσμου, είναι επόμενο η χρήση του να είναι τόσο διαδομένη. Υπάρχει καταγεγραμμένη έρευνα και ανάλυση των παραδειγμάτων χωμάτινης αρχιτεκτονικής ανά τον κόσμο από οργανισμούς και ινστιτούτα που ειδικεύονται σε αυτού του είδους την πολιτιστική κληρονομιά. Σημεία αναφοράς αποτελούν ο οργανισμός CRATerre/EAG²³, το εκπαιδευτικό κέντρο amàco²⁴, το ερευνητικό εργαστήριο FEB²⁵, πολλοί διεθνείς οργανισμοί όπως η UNESCO, ICCROM, ICOMOS-ISCEAH, Getty Conservation Institute, δίκτυα και κοινότητες, όπως η Auroville στην Ινδία, η Tamera στην Πορτογαλία, το πηλοίο στην Ελλάδα, το Ecoentro IPEC στην Βραζιλία και πολλά άλλα που δεν θα αναπτυχθούν περαιτέρω στα πλαίσια της παρούσας εργασίας.

Ο παρακάτω χάρτης απεικονίζει τις περιοχές με παράδοση στην δόμηση με χώμα, ενώ οι κουκίδες σηματοδοτούν αναγνωρισμένα σημεία χωμάτινης πολιτιστικής κληρονομιάς (Εικόνα 2.4).



Εικ.2.4 Χάρτης των περιοχών με παράδοση στην χωμάτινη αρχιτεκτονική, © CRATerre ΠΗΓΗ: UNESCO Chair Earthen Architecture, Building Cultures and Sustainable Development UNITWIN network, pdf, σελ 3

Σχετικά με τον καθορισμό ευρωπαϊκών παραδοσιακών στυλ και τεχνολογίας χωμάτινης αρχιτεκτονικής, υπάρχει συγκεντρωμένη πληροφορία στο έργο «Terra [in]cognita: Earthen architecture in Europe», μια σύμπραξη ερευνητικών οργανισμών με την υποστήριξη της ΕΕ.²⁶ Ενώ σχετικά με την κληρονομιά σημαντικό ρόλο διαδραματίζει το πρόγραμμα WHEAP World Heritage Earthen Architecture Programme, που ξεκίνησε η UNESCO το 2008 με στόχο την ενίσχυση οργανισμών που δουλεύουν στον συγκεκριμένο τομέα. (εικόνα 2.5)

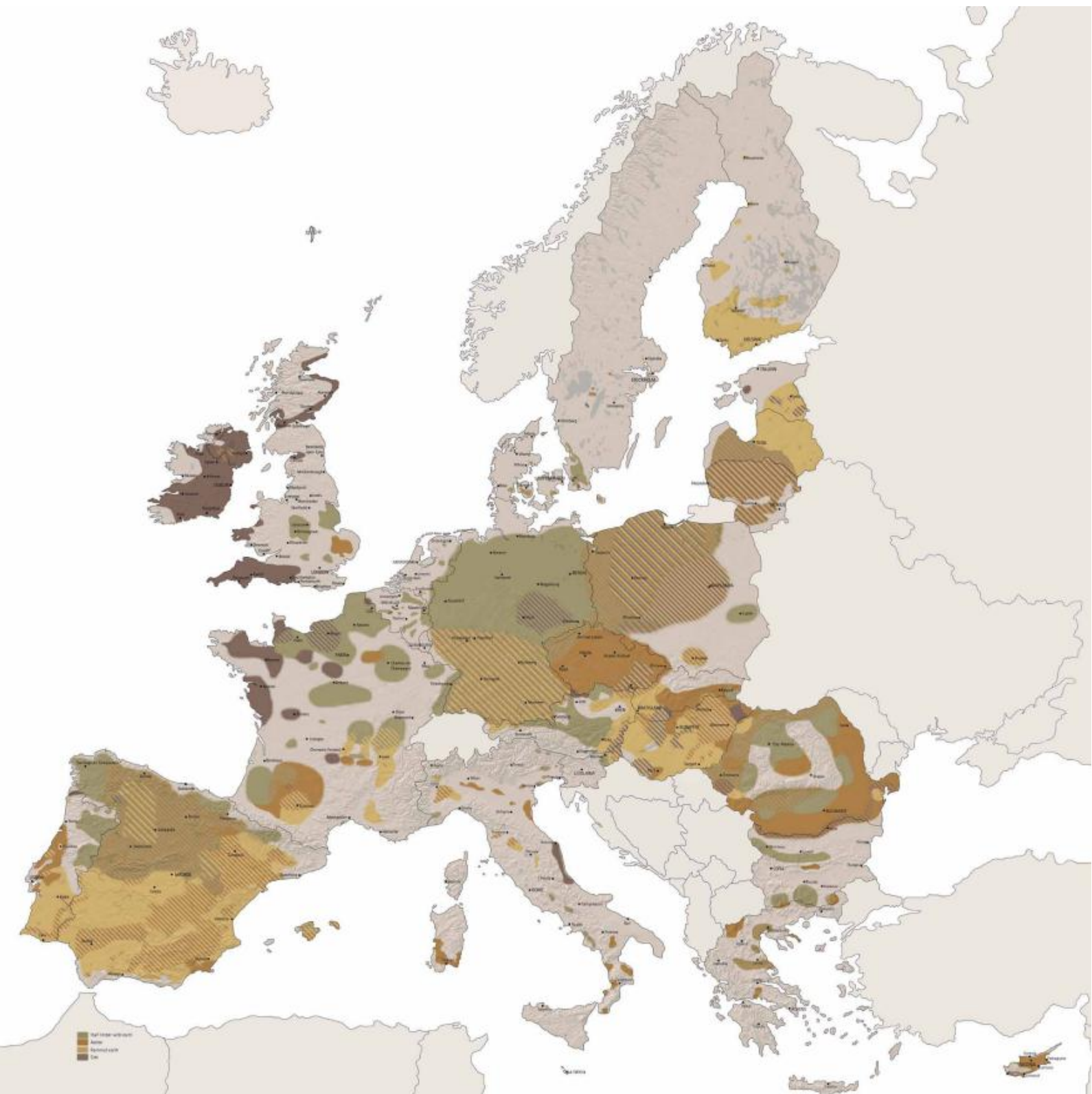
²³ Ο οργανισμός CRATerre, παγκόσμιο σημείο αναφοράς στην χωμάτινη αρχιτεκτονική από το 1979, ασχολείται με την αναγνώριση των χωμάτινων υλικών ως απάντηση στις προκλήσεις που συνδέονται με την προστασία του περιβάλλοντος, τη διατήρηση της πολιτιστικής ποικιλομορφίας και την καταπολέμηση της φτώχειας. Αποτελείται από μια διεπιστημονική ομάδα ερευνητών, επαγγελματιών του κλάδου και εκπαιδευτών, που σε συνεργασία με πολλούς εταίρους, δημιουργούν δεσμούς μεταξύ έρευνας, πρακτικών δραστηριοτήτων κατάρτισης, διάδοσης γνώσης και ευαισθητοποίησης. <http://croterre.org/>

²⁴ Η amàco ξεκίνησε με το εκπαιδευτικό πρόγραμμα Grains de Bâtisseurs, από το εργαστήριο CRATerre-AE&CC της Αρχιτεκτονικής Σχολής της Grenoble. Έχει λάβει υποστήριξη από την Investissements d'Avenir από το 2012 μέσω των Initiatives of Excellence in Innovative Training - IDEFI, τα Grands Ateliers, το Εθνικό Ινστιτούτο Εφαρμοσμένων Επιστημών της Lyon- INSA Lyon και την ESPCI Paris. Παρέχει υπηρεσίες έρευνας, συμβουλευτικής και εξειδικευμένης κατάρτισης, αρχιτεκτονικού σχεδιασμού, εκπαίδευση επαγγελματιών, εργαστήρια, εκθέσεις και παραγωγή εκπαιδευτικού υλικού σχετικά με τα φυσικά δομικά υλικά. <https://omaco.org/>

²⁵ Ερευνητικό Εργαστήριο με επικεφαλής τον Gernot Minke στον τομέα της δόμησης με πηλό.

<https://www.baubiologie-regional.de/news/lehmbauschule-verden-uebernimmt-kurse-des-feb-kossel-688.html>

²⁶ Πρωτοβουλία μιας ομάδας συντελεστών, που συντονίζεται από την Ecole d'Architecture, με τη βοήθεια του Culture Lab και συνεργάτες από το Universitat Politècnica de València στην Ισπανία, το Conseil d'Architecture d'Urbanisme et de l'Environnement στην Γαλλία, το Università degli Studi di Firenze στην Ιταλία και το Escola Superior Gallaecia στην Πορτογαλία. Με συγγραφείς από 27 Ευρωπαϊκές χώρες και συνολική υποστήριξη από το πρόγραμμα Πολιτισμός 2007-2013 της Ευρωπαϊκής Ένωσης. DiPasquale, Letizia & Correia, Mariana & Mecca, Saverio & Mileto, Camilla & Morot-Sir, Patrice & Vegas, Fernando & Akermann, Kristina & Andersson, Jenny & Bavay, Gérard & Bei, Georgia & Benža, Mojmir & Berescu, Catalin & Bertašiu-tė, Rasa & Blu- ms, Peteris & Braxén-Frommer, Ann-Marie & Bronchart, Sophie & Buch, Pierre & Buzás, Miklós & Castro, Alexis & Guérin, René. (2011). "TERRA EUROPAE Earthen Architecture in the European Union."



Εικ.2.5 Χάρτης των περιοχών με κληρονομιά χωματινής αρχιτεκτονικής στην ΕΕ ανά τεχνική. Στο υπόμνημα κάτω αριστερά αναγράφεται από πάνω προς τα κάτω: λαδί χρώμα=μεικτές τεχνικές με χώμα και ξύλο, σκούρο καφέ χρώμα=ωμόπλινοι, ανοιχτό καφέ χρώμα=συμπιεσμένο χώμα, μωβ χρώμα=στοιβαγμένο χώμα (cob)
 ΠΗΓΗ: Terra [in]cognita

Στην Ελλάδα διαχρονικά υπήρχε επίσης δυναμική παρουσία και ανάπτυξη του υλικού. Η προσπάθεια ιστορικής καταγραφής του ξεκίνησε το 2018 με ομάδες εργασίας από αρχιτεκτονικές σχολές του ΕΜΠ, ΑΠΘ, ΠΚ με συντονιστικό ρόλο την ομάδα πηλοΟίκο α.μ.κ.ε που

ειδικεύεται στον τομέα. (εικόνα 2.8) Από την έρευνά τους, μέσω του οδοιπορικού στην Ελλάδα, που παρατίθεται συνοπτικά παρακάτω, φαίνεται ότι όχι μόνο υπήρχε παρουσία του υλικού αλλά έπαιξε κεντρικό ρόλο την κατασκευή σε συνδυασμό με άλλους φυσικούς πόρους όπως ξύλο, άχυρο, ασβέστης, και με τη μορφή διαφόρων οικοδομικών τεχνικών, ενώ εμφανίστηκε ήδη από τους πρώτους αρχαίους ελληνικούς πολιτισμούς.

“Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι οι οικισμοί Σέσκλο, Διμήνη και Δισπηλιό. Ήδη από τη μινωική εποχή (2600–1100 π.Χ.) υπάρχουν ενδείξεις για τη χρήση πλίνθων και άλλων χηματοουργικών υλικών σε σύνθετα ανακτορικά συγκροτήματα όπως η Ζάκρος, τα Μάλια και η Κνωσός. Στη μινωική πόλη των Γουρνιών, τα περισσότερα σπίτια ήταν πολυώροφα και χτισμένα σε ύψος με πλίθια, ενώ οι επίπεδες στέγες τους διαμορφώθηκαν με πατητή γη.²⁷ Βασική επιρροή αποτέλεσαν οι επαφές των Ελλήνων με γειτονικούς λαούς, της Βόρειας Αφρικής, Μέσης Ανατολής και Ασίας όπου υπήρχε εκτεταμένη χρήση γης και σε έργα μεγάλης κλίμακας. Το δεύτερο μισό του 20ου αιώνα ωστόσο, όπως και στο μεγαλύτερο μέρος του Δυτικού κόσμου που προαναφέρθηκε, η χρήση της μειώθηκε.²⁸ Από τον 15ο αι. έως τα μέσα του 20ου. η χρήση του ήταν εκτεταμένη αλλά οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνταν και οι περιοχές καθορίζονταν από παράγοντες που σχετίζονται με το κλίμα, τους διαθέσιμους πόρους, την μορφολογία και την κοινωνική οργάνωση κάθε τόπου.

Τεχνικά έχει χρησιμοποιηθεί σε φέρουσες τοιχοποιίες με τη μορφή τούβλων, σαν πλήρωση σε μη φέρουσες κατασκευές αλλά και σαν συνδετικό υλικό σε κονιάματα και επιστρώσεις. Οι παλαιότερες γνωστές μέθοδοι κατασκευής είναι αυτές που συνδυάζουν το ακατέργαστο ξύλο με χωμάτινη πλήρωση. Ιδιαίτερα συνήθης πρακτική ήταν η χρήση ξυλοδεσιάς, οριζόντια στο κτίριο για επιπλέον ενίσχυση, με ανοίγματα διαφόρων ειδών ακόμα και τοξωτά. Κοινό χαρακτηριστικό στα περισσότερα κτίρια, είναι οι ξύλινες στέγες με σημαντική προεξοχή για προστασία από το νερό βροχής. Συχνή επίσης είναι και η εφαρμογή επιχρισμάτων ενώ για καλύτερη πρόσφυση επιπλέον σπασμένα κεραμίδια σαν συνδετικό κονίαμα. Πολλές φορές εντοπίζονται χωμάτινες τεχνικές και στην κατασκευή δαπέδων αλλά και επικάλυψη δωματίων.

Σε ημιορεινές περιοχές επικρατεί το ποσοστό λιθοδομής και η χρήση πλίνθας συνήθως περιορίζεται στους ορόφους ή και σε μικρά τμήματα του φορέα (π.χ παραλίμνιοι οικισμοί Πρέσπας). Στις πεδινές περιοχές αντίστοιχα όπου η πέτρα σπανίζει, συναντάται μεγάλος αριθμός πλίνθινων κατασκευών. Σε όλη την περιοχή της Πελοποννήσου, (εικόνα 2.7, 2.7) στο παραθαλάσσιο μέτωπο και στο οροπέδιο Τρίπολης εντοπίζεται σημαντικός αριθμός ολόκληρων οικιστικών συνόλων από χώμα. Κτίσματα σε νεοκλασικό ύφος που επικρατεί την περίοδο κατασκευής και προσαρμοσμένα στην μικρή κλίμακα και τις ιδιαιτερότητες του τόπου. Με χρήσεις κυρίως κατοικίας, αλλά και άλλες βοηθητικές όπως περιστεριώνες, φούρνοι, κοτέτσια, αποθηκευτικοί χώροι.

Σπανιότερα υπάρχουν και κτίρια στην περιοχή της Σπάρτης, ορισμένα οικιστικά σύνολα στην Μεσσηνή και στην Κορώνη. Στο Χαροκοπιό υπάρχει ολόκληρος οικισμός σε νεοκλασικό ύφος με βασικό φέρον δομικό υλικό τα πλινθιά, όπως και στην Πάτρα η περιοχή Γύφτικα ή Αγ. Αικατερίνης. Στο εσωτερικό της Κορινθίας, ο οικισμός Σελινούντας, ανάμεσα στα πέτρινα κτίσματα έχει και αρκετά με πλίνθους. Επίσης σημαντικός αριθμός εντοπίζεται στην Βόρεια ακτή της Πελοποννήσου από την Κόρινθο μέχρι το Αίγιο, σε πολύ καλή κατάσταση και με συγκεκριμένη τυπολογία (συνήθως δώροφα με υπερυψωμένο υπόγειο και κάποια νεοκλασικά στοιχεία).

²⁷ Article Earthen Architecture in Greece: Traditional Techniques and Revaluation Apostolos Mousourakis , Maria Arakadaki , Sofoklis Kotsopoulos , Iordanis Sinamidis, Tina Mikrou , Evangelia Frangedaki, Nikos D. Lagaros , 1241

²⁸ ό.π.



Παραδοσιακή Αρχιτεκτονική από ωμό πηλό στην Ελλάδα
Πελοπόννησος- Κορώνη



Παραδοσιακή Αρχιτεκτονική από ωμό πηλό στην Ελλάδα
Πελοπόννησος- Σελιούντας, Αίγιο



Εικ.2.6,7 Κτίρια κατασκευασμένα με ωμό πηλό στην Πελοπόννησο.

ΠΗΓΗ: Σεμινάριο Κατάρτισης πηλΟίκο για την Αρχιτεκτονική κληρονομιά με πηλό στον Ελλαδικό χώρο.

Ιδιαίτερα πλούσιος είναι ο Θεσσαλικός κάμπος αλλά και οι περιοχές της Καστοριάς και Φλώρινας. Όπως επίσης και η Νότια ακτή της Στερεάς Ελλάδας, η Άμφισσα, το Γαλαξίδι, η Ιτέα. Σημαντικός πλούτος πλινθόκτιστων αποτελούν τα Γαλαξίδια, αγροτικός οικισμός που εμφάνισε μεγάλη άνθιση λόγω ναυτικής δύναμης 1830 και φιλοξενεί μεγάλα αρχοντικά από πλινθιές που κατοικούνται και επισκευάζονται συχνά με ενίσχυσητσιμεντοκονιαμάτων. Στην Άμφισσα οι οικισμοί Τσαρουχάδες, Κουδουνάδες, Ταμπάκηδες, είναι όλα κατασκευασμένα από πλινθιές σαν φέρον δομικό υλικό και ενίσχυση με ξυλοδεσιές. Στον Θεσσαλικό κάμπο ο πηλός αποτελεί το βασικό δομικό υλικό στην τοπική αρχιτεκτονική. Ισόγεια, διώροφα με υπόστεγα και λίγο πιο αστικό χαρακτήρα, άλλοτε επιχρισμένα, άλλοτε ανεπίχριστα. Κάποια με ξυλοδεσιές και κατά κανόνα ξύλινη στέγη με κεραμίδια. Στο Αργος, στην Κορινθία και τον Σολωμό εντοπίζονται επίσης αρκετά πλινθόκτιστα που εξακολουθούν να κατοικούνται και βρίσκονται διάσπαρτα στον ιστό της πόλης σε πολύ καλή κατάσταση. Είναι κατά κανόνα Νεοκλασικά με απλό διάκοσμο.

Επίσης αναγνωρισμένο ιστορικό τόπο, αποτελεί ο Κρανιώνας, με ιδιαίτερα σημαντικό πλούτο χωματινής κληρονομιάς, που όμως δεν υφίσταται κανενός είδους συντήρηση. Γεγονός που οδηγεί στην σταδιακή εξαφάνιση της μοναδικής του αρχιτεκτονικής αλλά αναδεικνύει και τον όμορφο τρόπο που γεννάει η πλινθιά και επιστρέφει στους φυσικούς κύκλους. Χαρακτηρίζεται από στοιχεία νεοκλασικισμού αλλά και τυπολογία με χαγιάτι και πλούσιο διάκοσμο. Πλούσια περιοχή σε πλινθόκτιστα και ιδιαίτερα σεισμογενής, είναι επίσης τα Χάρμενα στην Άμφισσα, όπου έχει γίνει μια πολύ σημαντική μερική αποκατάσταση για τα ελληνικά δεδομένα σε ένα πρώην συγκρότημα δερματάδων, που κάποια στιγμή εγκαταλείφθηκε.²⁹

Οι πλίνθινες κατασκευές πέρα από αρχιτεκτονική αξία, είχαν επιπλέον μια σημαντική πολιτιστική διάσταση, καθώς βασιζόταν στην συμμετοχή της τοπικής κοινωνίας, των χρηστών και των γειτόνων τους, με συγκεκριμένο προγραμματισμό εργασιών, και οργάνωση της προκατασκευαστικής και κατασκευαστικής φάσης, προετοιμασία και μεταφορά των πλίνθινων τούβλων και εφαρμογή των παραδοσιακών τεχνικών κανόνων δόμησης.³⁰



Εικ. 2.8 Χάρτης απεικόνισης της γεωγραφικής κατανομής χωματινής αρχιτεκτονικής στην Ελλάδα. Η μπλε χρωματική περιοχή αναφέρεται σε σημεία όπου έχουν εντοπιστεί τεχνικές κατασκευής με ακατέργαστη γη και έχουν καταγραφεί από τους συγγραφείς του άρθρου από επιτόπιες επισκέψεις. Η καφέ χρωματική περιοχή αναφέρεται σε σημεία όπου έχουν εντοπιστεί τεχνικές κατασκευής με ακατέργαστη γη κατά την Γ.Μπέη, στο Terra Europae, Earthen Architecture in the European Union, 2011 ΠΗΓΗ: A.Mousourakis, M.Arakadaki, S. Kotsopoulos, I. Sinamidis, T. Mikrou, E. Frangedaki, N.D. Lagaros, (2020), "Earthen Architecture in Greece: Traditional Techniques and Revaluation", σελ 2

²⁹ Σημειώσεις από την διάλεξη με θέμα: "Αρχιτεκτονική Κληρονομιά με πηλό Αποκατάσταση" Μικρού Τίνα, Μουσουράκης Απόστολος , στα πλαίσια του προγράμματος κατάρτισης «Δόμηση με πηλό - Τεχνικές κατασκευής - Αειφόρος Σχεδιασμός» <https://piliko.gr/domisi-me-pilo-2/>

³⁰ Article Earthen Architecture in Greece: Traditional Techniques and Revaluation Apostolos Mousourakis , Maria Arakadaki , Sofoklis Kotsopoulos , Iordanis Sinamidis, Tina Mikrou , Evangelia Frangedaki, Nikos D. Lagaros

2.2 Βασικές τεχνικές δόμησης

Όπως είναι λογικό, αντίστοιχα με την χρονική πορεία, έτσι και η μεθοδολογία χρήσης του υλικού ανά τον κόσμο και την περίοδο δεν είναι ομοιόμορφη. Κάθε τόπος χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένες κοινωνικοπολιτισμικές συνθήκες και αντιληπτικό τρόπο αντιμετώπισης της ζωής, αλλά και οικονομικοτεχνολογικά και γεωγραφικά δεδομένα με ιδιαίτερες κλιματικές ζώνες και διαθέσιμους πόρους.

Το εύρος των τεχνικών, το μέγεθος επεξεργασίας, η ύπαρξη ή μη φέροντος οργανισμού από άλλο υλικό οι μεικτές τεχνικές διαφέρουν από τόπο σε τόπο: από τα πολυώροφα κτίρια σε χώρες της Ασίας όπως η Υεμένη (εικόνα 2.9,10,11) και η Σαουδική Αραβία, τις θολωτές καλύβες από λάσπη σε πόλεις της Αφρικής, τις χωματίνες χυτές τοιχοποιίες σε πολλά μέρη της Ευρώπης αλλά και εκτός, τις κατασκευές από ωμές πλίνθους της Ελλάδας και Πορτογαλίας.





Εικ.2.9,10,11 Η πόλη Shibam στην Υεμένη γνωστή ως το «Μανχάταν της ερήμου», ανακηρυγμένη παγκόσμια κληρονομιά σε κίνδυνο, από την UNESCO, με κτίρια έως και 7 ορόφων και ύψους 40 μέτρων, χτισμένα με χώμα. Πρόκειται για μια περιτοιχισμένη πόλη ορθογωνικής οργάνωσης που ανταποκρίνεται στην ανάγκη προστασίας από επιθέσεις που δέχεται λόγω του πλούτου της. Χτισμένη κατά κύριο λόγο τον 16ο αι. με ωμόπλινθους, τα κτίριά της χαρακτηρίζονται από τραπεζοειδή τομή για μείωση του βάρους των τοίχων στα ανώτερα επίπεδα.

ΠΗΓΗ: <http://hiddenarchitecture.net/shiba/>

Οι τεχνικές δόμησης άψητης γης είναι πολλές καθώς όχι μόνο βασίζονται σε διαφορετικές μεθοδολογίες αλλά παρουσιάζουν και πολλές παραλλαγές. Παρακάτω παρατίθενται οι βασικές τεχνικές: ορισμένες παραδοσιακές, κάποιες σύγχρονες εξελίξεις αυτών αλλά και εντελώς νέες υψηλής τεχνολογίας μέθοδοι.

Κατασκευή με ωμόπλινθους/adobe bricks: Τα δομικά στοιχεία σε αυτήν την κατασκευή είναι συμπαγή τούβλα, τα οποία κατασκευάζονται σε καλούπια και στην συνέχεια χιζονται και επιχρίονται με λάσπη. Το μείγμα παρασκευής τους περιλαμβάνει αργιλώδες χώμα, που έχει

υγρανθεί και στην συνέχεια ενισχυθεί με φυτικές ίνες, όπως κομμένο άχυρο ή τρίχες ζώων. Το στέγνωμα των τούβλων γίνεται με απλή έκθεση στο φυσικό περιβάλλον. (εικόνα 2.12)
Σε μια προσπάθεια μορφολογικής τυποποίησης και ανάγνωσης των δυνατοτήτων και περιορισμών των χωμάτινων κατασκευών, παρατηρείται σε παγκόσμιο επίπεδο ότι οι δομές από ωμόπλινθους απαντούν κατά κύριο λόγο σε ισόγειες κατοικίες, ύψους περίπου 3m, με τοιχοποιία πάχους 0,25 με 0,80μ. Ή και μέχρι τρεις ορόφους, ιδιαίτερα σε ορεινά μέρη με μεγάλη κλίση, όπως οι Άνδεις.³¹

CEB, Compressed Earth Block /Bloque de Terre Compressé Συμπιεσμένη Ωμόπλινθος

Πρόκειται για εξέλιξη της παραπάνω κατηγορίας, καθώς ουσιαστικά γίνεται κατασκευή ωμόπλινθου που συμπιέζεται σε καλούπια με μηχανικά μέσα.

Ζυμωτός πηλός/στοιβαγμένο χώμα/cob: Πρόκειται για μια ιδιαίτερα χειρωνακτική τεχνική, αφού απαιτεί το ζύμωμα σβόλων λάσπης. Η λάσπη είναι ένα μείγμα πηλού, άμμου, αχύρου, νερού, και ανά περιπτώσεις άλλων προσμειξεων, αναλόγως την εφαρμογή και την ανάγκη για επιπλέον σταθερότητα. Οι σβόλοι μετά την επεξεργασία, συσσωματώνονται και το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι μια μονολιθική τοιχοποιία, οργανικής μορφής.

Ξυλόπηκτοι τοίχοι/τσατμάς - μπαγδαντί/ wattle & daub: Πρόκειται για τεχνική αρκετά δημοφιλή στην ελληνική λαϊκή αρχιτεκτονική με χώμα. Γίνεται χρήση ξύλινου σκελετού, ο οποίος στην συνέχεια επενδύεται με πηγάκια ή καλάμια και επιχρίεται με λάσπη. Οι παραγόμενες τοιχοποιίες κυρίως χρησιμοποιούνται εξωτερικά αλλά και ως εσωτερικοί διαχωριστικοί τοίχοι αλλά όχι ως φέρουσα τοιχοποιία. Το πάχος των ινών σχετίζεται με το είδος του δομικού υλικού και η ποσότητα τους στο μείγμα, με την θερμομονωτική ικανότητα

Γαϊόσακοι/ earth bags: Όπως προδίδει η ονομασία, η τεχνική αυτή απαντά σε σάκου-τσουβάλια που γεμίζονται με λάσπη και στην συνέχεια τοποθετούνται επάλληλα, σαν μεγάλα τούβλα και συμπυκνώνονται. Ενδιάμεσα τοποθετείται αγκαθωτό συρματόπλεγμα για επιπλέον ανθεκτικότητα. Πρόκειται για πολύ σταθερή τεχνική που έχει χρησιμοποιηθεί κατά καιρούς σε μεγάλα έργα, όπως φράγματα και οχυρώσεις.

Αχυροπηλός / light clay: Ο αχυροπηλός είναι μάζα πηλού με ελαφριά αδρανή πρόσμικτα, ένα μείγμα που αποτελείται κυρίως από πηλό και άχυρο ή άλλες ίνες και εφαρμόζεται σε τοιχοποιία, οροφές ή χονδρά επιχρίσματα. Εφαρμόζεται σε υγρή μορφή, τοποθετείται σε καλούπια και συμπιέζεται δημιουργώντας πανέλα που συνδέονται με τη χρήση κονιάματος. Η κατασκευή συνήθως περιλαμβάνει ξύλινη φέρουσα κατασκευή και γίνεται σε ζώνες, ξεκινώντας από κάτω προς τα πάνω με χρονική διαδοχή το στέγνωμα κάθε ζώνης. Συγκριτικά με άλλες τεχνικές απαιτεί λιγότερη εργασία και χρόνο και έχει εύκολη τοποθέτηση, ενώ χρονικά η κατασκευή πρέπει να αρχίζει αρχές καλοκαιριού για να στεγνώνει εύκολα.

Συμπυκνωμένη/ συμπιεσμένη/ πατητή γή /καλουπτωτός πηλός/ pisé / rammed earth

Η τεχνική αυτή χρησιμοποιεί μεγάλα ξύλινα ή μεταλλικά καλούπια για την συμπίεση του αργιλώδους και ελαφρώς υγρού χώματος. Με την αφαίρεση των καλουπιών, το αποτέλεσμα είναι μια απόλυτα συμπαγής και χωρίς εμφανή κενά επιφάνεια τοίχου. Σε σχέση με τις περισσότερες άλλες φυσικές μεθόδους έχει αυξημένο κόστος κατασκευής καθώς απαιτεί μηχανική επεξεργασία. Στην Ελλάδα δεν είναι διαδεδομένη τεχνική λόγω του υψηλού κόστους, αυξημένου χρόνου και κατανάλωση ενέργειας, ενώ το κανονιστικό πλαίσιο της Ελλάδας δεν το αναγνωρίζει ως φέρον στοιχείο, παρότι στο εξωτερικό χρησιμοποιείται ως φέρουσα κατασκευή ή και με ανεξάρτητο ξύλινο φέρον οργανισμό. Κατηγοριοποιείται σε φυσικό συμπιεσμένο χώμα (natural rammed earth NRE) και σταθεροποιημένο συμπιεσμένο χώμα (stabilized rammed earth SRE), με συνηθέστερο σταθεροποιητικό το τσιμέντο σε ποσοστό 5-10% κατά μάζα (concrete stabilized rammed earth CSRE) που δεν έχει διαφορά ως προς το περιβαλλοντικό του αποτύπωμα με μια συμβατική κατασκευή.

Πέραν αυτών των τυποποιημένων μεθόδων, έχουν υπάρξει και άλλοι πειραματισμοί και εφαρμογές όπως διαφορετικά είδη καλουπιών που ενσωματώνονται και στην τελική κατασκευή: κορμοί δέντρων, πλαστικά μπουκάλια, αχυρόμπαλες, αλλά και τεχνικές με μίξη σκυροδέματος, όπως το poured earth ή ρευστή γη, οι σταθεροποιημένες ωμόπλινθοι Stabilized Compressed Earth Blocks (SCEB) και το SRE που αναφέρθηκε παραπάνω.

³¹ Σημειώσεις από την διάλεξη με θέμα: "Βασικές τεχνικές δόμησης με τη χρήση ωμού πηλού: α. Ωμόπλινθοδομές " Οικονόμου Αινείας, στα πλαίσια του προγράμματος κατάρτισης «Δόμηση με πηλό - Τεχνικές κατασκευής - Αειφόρος Σχεδιασμός» <https://piliko.gr/domisi-me-pilo-2/>



Εικ.2.12 Παραγωγή ωμόπλινθων σε εργοτάξιο στο Santiago do Cacem, Πορτογαλία
ΠΗΓΗ: Προσωπικό Αρχείο

Η πιο σύγχρονη προσέγγιση που χρησιμοποιεί προηγμένη τεχνολογία, είναι αυτή της τρισδιάστατης εκτύπωσης. Η τρισδιάστατη εκτύπωση αρχιτεκτονημάτων είναι ουσιαστικά μια επιπλέον τεχνολογία κατασκευής που μπορεί να παράξει σύνθετες γεωμετρικές σχεδιασμένες σε τρισδιάστατα υπολογιστικά μοντέλα που αναπτύσσονται σε επίπεδα. Τα πλεονεκτήματά της σε σύγκριση με την συμβατική δόμηση, περιλαμβάνουν χαμηλότερο κόστος σε συνδυασμό με λιγότερα απόβλητα, λόγω της αποτελεσματικότερης χρήσης υλικών. Επίσης επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ευελιξία στην προκατασκευαστική διαδικασία, ως προς την δυνατότητα αλλαγής χαρακτηριστικών κατά τη διαδικασία κατασκευής. Και επιπλέον μειωμένος χρόνος στην κατασκευή, λόγω της μηχανικής της φύσης. Ως προς τα χρησιμοποιούμενα υλικά, το πεδίο έρευνας και ανάπτυξης σίγουρα έχει τεράστιο περιθώριο εξέλιξης, αλλά ήδη έχει δοκιμαστεί ορισμένα όπως τσιμέντο, πλαστικό αλλά και χύμα.

2.2.α Τρισδιάστατη εκτύπωση χώματος

Τα τρισδιάστατα εκτυπωμένα έργα από πηλό, τα οποία επιλέχθηκε να αναφερθούν στην παρούσα εργασία είναι πραγματοποιημένες κατασκευές.

1. Casa Covida

Πρόκειται για πειραματικό έργο κατασκευής κατοικίας, του 2020 ως αποτέλεσμα μιας συνεργασίας των ομάδων Emerging Objects, 3D Potter και Elliot Ross. Η κατοικία είναι τοποθετημένη σε μεγάλο υψόμετρο στην αλπική έρημο της κοιλάδας San Luis του Colorado. Τα υλικά κατασκευής είναι ένας συνδυασμός άμμου, λάσπης, αργίλου, νερού και άχυρου που στεγνώνει στον ήλιο και αποτελεί το παραδοσιακό οικοδομικό υλικό της περιοχής. Το κτίριο αποτελείται από τρεις χώρους: υπνοδωμάτιο δύο ατόμων, μπάνιο και κοινόχρηστο καθιστικό με τζάκι.(εικόνα 2.13,14)

Το σύστημα τρισδιάστατης εκτύπωσης που χρησιμοποιήθηκε συνδυάζει έναν φορητό τριαξονικό αρθρωτό βραχίονα SCARA (Selective Compliance Articulated Robot Arm), σχεδιασμένο για επιτόπια παραγωγή, που μπορεί να κατασκευάσει δομές μεγαλύτερες από τον ίδιο. Καθώς και μια μεταλλική ράγα με τέσσερις άξονες, που δημιουργεί την άκαμπτη

δομή πάνω στην οποία μετακινείται ο εκτυπωτής μετά από κάθε φάση εκτύπωσης ύψους 400 mm. Ο εκτυπωτής μετακινείται από δύο άτομα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί εξ ολοκλήρου από ένα, μέσω εφαρμογής στο κινητό. Η ανάμειξη και το κοσκίνισμα του μίγματος γίνεται χειροκίνητα με τη χρήση αναμικτήρα. Τα αρχεία σχεδίασης δημιουργούνται σε λογισμικό κεραμικής τρισδιάστατης εκτύπωσης που αναπτύχθηκε από την Emerging Objects.³²



Εικ.2.13,14 Εξωτερική άποψη και εσωτερικός χώρος της Casa Covida, ©Elliot Ross and Emerging Object ΠΗΓΗ: <https://www.rael-sanfratello.com/made/casa-covida>

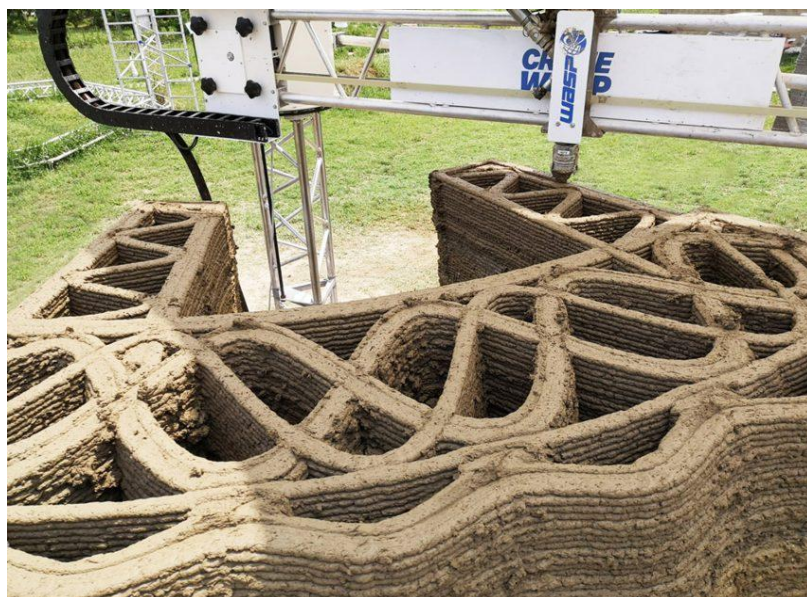
³² <https://www.rael-sanfratello.com/made/casa-covida>

2. TECLA

Πρόκειται για έργο των Mario Cucinella Architects, που κατασκευάστηκε από το χώμα που εξήχθη στο σημείο κατασκευής και αναμείχθηκε με νερό, ίνες από φλοιό ρυζιού και πρόσθετο συνδετικό. Η ονομασία του εμπνέεται ακριβώς από τον ιδιαίτερο συνδυασμό τεχνολογίας (technology) και πηλού (clay). Η γεωμετρία του, όπως περιγράφεται από τους κατασκευαστές, προέκυψε ως ένα ελκρινές αποτέλεσμα της τεχνικής που επιλέχθηκε και του είδους πηλού, αλλά δυνητικά θα μπορούσε να προσαρμοστεί και να τροποποιηθεί ώστε να λειτουργεί με διαφορετικούς τύπους ακατέργαστης γης και να ανταποκρίνεται σε ποικιλία κλιματικών συνθηκών.

Η εκτύπωση έγινε με εκτυπωτές Crane, WASP ανά στρώση για ένα σύνολο 60 τετραγωνικών μέτρων με επιφάνεια εκτύπωσης ένα πλεγματοειδές μοτίβο. Το κτίριο αποτελείται ουσιαστικά από δύο κυκλικούς χώρους με φεγγίτες που ενώνονται και περιλαμβάνει χρήσεις καθιστικού, υπνοδωματίου και λουτρού. Πέρα της εξωτερικής τοιχοποιίας, έχουν επιπλέον εκτυπωθεί τα έπιπλα, ενώ τα κουφώματα τοποθετήθηκαν μετά την εκτύπωση. (εικόνα 2.15,16)

Η πρόθεση του έργου εξαρχής δεν ήταν η κατασκευή ενός μοναδικού σχεδιασμένου αρχιτεκτονήματος, αλλά η διάδοση και απλοποίηση της διαδικασίας εκτύπωσης, γι αυτό και η εταιρεία διαθέτει σαν προϊόν μια "εργαλειοθήκη" που μπορεί να αποσταλεί στον παραλήπτη με κοντέινερ, με όλα τα εργαλεία που απαιτούνται για την κατασκευή μιας τέτοιας μονάδας, από τα μηχανήματα που εκτυπώνουν τη συνολική δομή, τα έπιπλα, ένα σύστημα ανακύκλωσης και μια γεννήτρια ενέργειας.³³



Εικ.2.15,16 Εξωτερική άποψη και κατασκευή δομικού στοιχείου του TECLA ©Iago Corazza
ΠΗΓΗ:<https://edition.cnn.com/style/article/tecla-3d-printed-house-clay/index.html?fbclid=IwAR2VXr-PLegPQTn0iSw-thQnoWU1XEifKIdUuQmGb8UVtI15nWCyxejAJhc>

³³<https://edition.cnn.com/style/article/tecla-3d-printed-house-clay/index.html?fbclid=IwAR2VXr-PLegPQTn0iSw-thQnoWU1XEifKIdUuQmGb8UVtI15nWCyxejAJhc>

3. GAIA

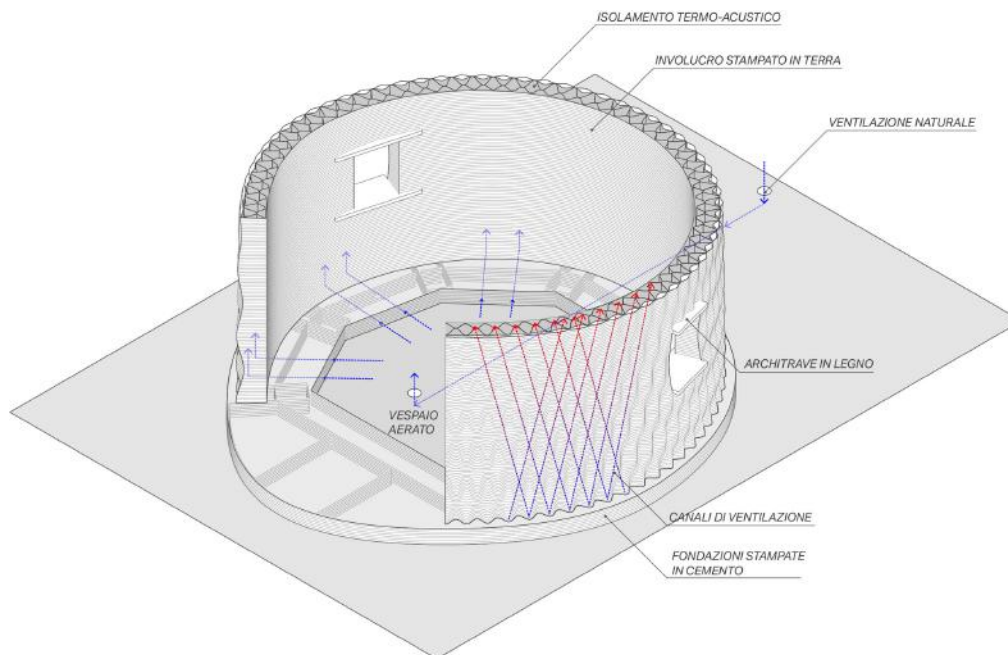
Έργο του 2018, της ιταλικής εταιρείας WASP κατασκευασμένο στα κεντρικά της γραφεία, στην περιοχή Massa Lombarda, στη Ραβέννα της Ιταλίας, με την χρήση τρισδιάστατου εκτυπωτή τύπου γερανού ("crane-style" printer) και βασικά υλικά τον πηλό και υπολείμματα τροφίμων. Ο εκτυπωτής που χρησιμοποιήθηκε ονομάζεται Infinity 3D, έχει μειωμένες μηχανικές διαστάσεις αλλά μεγάλη επιφάνεια εκτύπωσης. Αποτελείται από μια κύρια μονάδα εκτυπωτή που μπορεί να συναρμολογηθεί και να αποσυναρμολογηθεί σε διαφορετικές διαμορφώσεις ανάλογα με την περιοχή εκτύπωσης και τις διαστάσεις της υπό κατασκευή δομής.

Το κτίριο αποτελεί μια μονάδα υψηλής απόδοσης τόσο από άποψη ενέργειας όσο και άνεσης και υγείας στους εσωτερικούς χώρους, με χαμηλό περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Ο χρόνος εκτύπωσης για ένα τοίχου 30 τετραγωνικών μέτρων με πάχος 40 cm, είναι δέκα ημέρες και η συνολική κατασκευή διαρκεί λίγες εβδομάδες. Το υλικό κατασκευής είναι ένα μείγμα που αποτελείται από 25% τοπικά εξορυγμένου χώματος (30% άργιλος, 40% λάσπη και 30% άμμος), και φυτικές ίνες που προμήθευσε η RiceHouse: 40% ψιλοκομμένου άχυρου ρυζιού, 25% φλοιού ρυζιού και 10% υδραυλικής ασβέστου που αναμιγνύεται με τη χρήση ειδικού μύλου, ενώ έχει συνολικό κόστος κατασκευής 900€.

Ο σχεδιασμός του κτιρίου έγινε με βιοκλιματικές αρχές, επωφελούμενο την παθητική συμβολή του ήλιου. Τοποθετήθηκε σε νοτιοδυτικό προσανατολισμό, με ένα μεγάλο παράθυρο για βέλτιστη πρόσληψη του φυσικού φωτός. Η οροφή του είναι φτιαγμένη από ξύλο και επιπλέον μόνωση από ασβέστη και άχυρο. Τα δυο αυτά μονωτικά υλικά είναι ελαφριά και άρα δεν επιβαρύνουν την κατασκευή αλλά επιτρέπουν την επίτευξη των απαιτούμενων ενεργειακών κερδών. Ο μονολιθικός τοίχος είναι τρισδιάστατα εκτυπωμένος με εσωτερικό φινιρίσμα από ένα λεπτό στρώμα πηλού το οποίο λειάνθηκε και επιστρώθηκε με λινέλαια. (εικόνα 2.17,18,19) Λόγω σχεδιασμού και υλικού διατηρεί ήπια και άνετη θερμοκρασία στο εσωτερικό του τόσο το χειμώνα όσο και το καλοκαίρι και επομένως δεν χρειάζεται θέρμανση ή σύστημα κλιματισμού.³⁴



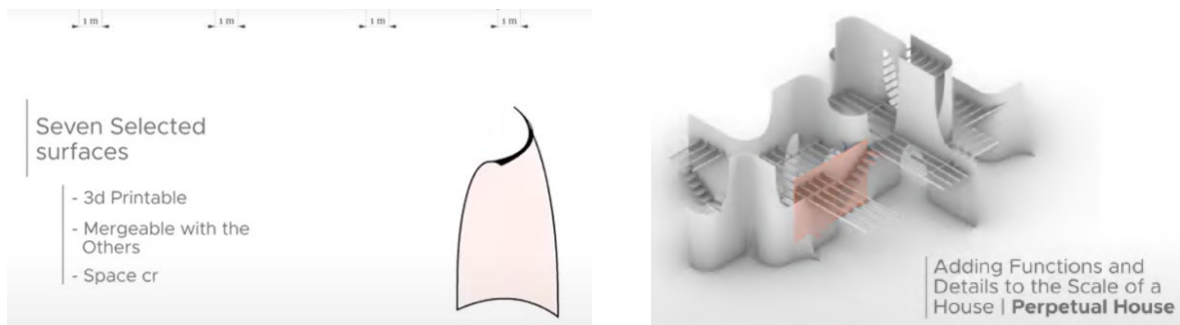
³⁴ <https://www.3dwasp.com/en/3d-printed-house-gaia/>



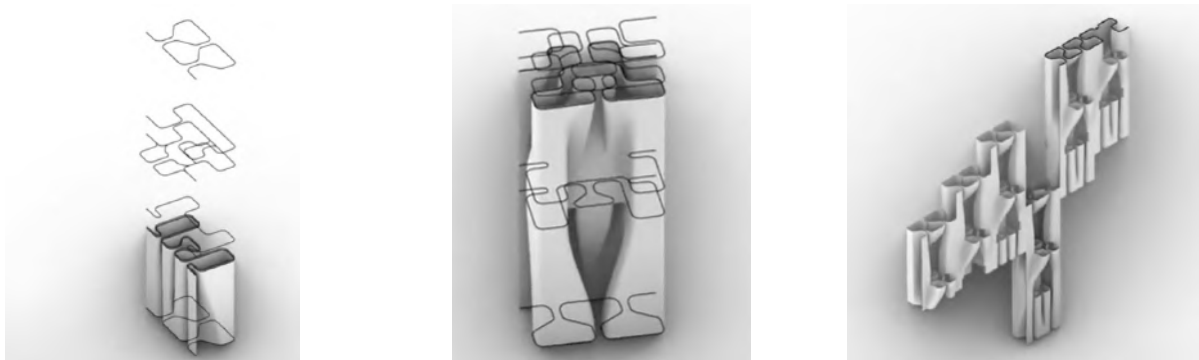
Εικ.2.17,18,19 Εξωτερική άποψη. Τρισδιάστατο επεξηγηματικό διάγραμμα κατασκευής Φωτογραφία την στιγμή της κατασκευής
 ΠΗΓΗ: <https://www.3dwasp.com/en/3d-printed-house-gaia/>

4. Ερευνητικά μοντέλα

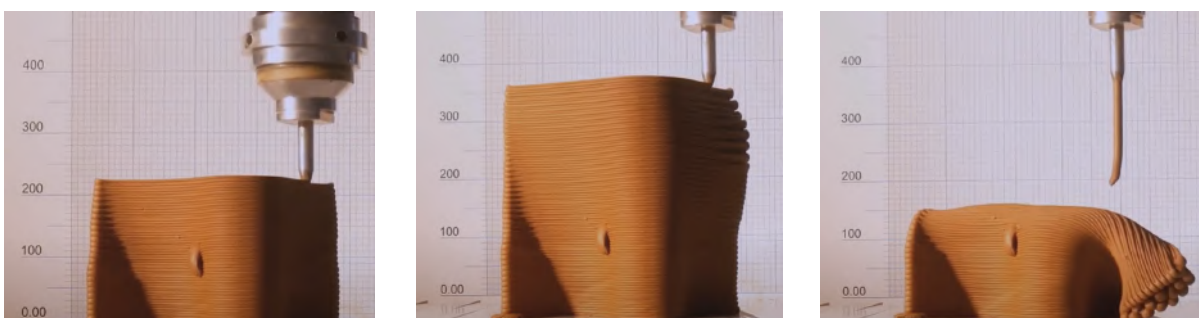
Η τρισδιάστατη εκτύπωση με πηλό αποτελεί πεδίο έρευνας και σε ερευνητικά ιδρύματα και πανεπιστήμια. Παράδειγμα αποτελεί το πρόγραμμα τρισδιάστατης τυπωμένης αρχιτεκτονικής στο Ινστιτούτο Προηγμένης Αρχιτεκτονικής της Καταλονίας (3D-printed Architecture, Institute for Advanced Architecture of Catalonia) (IAAC). Τα παραδείγματα ερευνών έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον, καθώς αναλύουν τόσο την στρατηγική σχεδιασμού, όσο τον συνδυασμό υλικών, τις διαφορετικές κλίμακες, μηχανικές ιδιότητες και αρχιτεκτονικές ποιότητες ενός τέτοιου έργου. Το πειραματικό μοντέλο που αναλύεται παρακάτω πραγματοποιήθηκε το 2018-19, σε συνεργασία με τις WASP, UN-Habitat, Windmill, La Salle και Rice House και προέκυψε από μια δισδιάστατη γεωμετρία που χρησιμοποιήθηκε ως βάση σχεδιασμού. Από αυτήν δημιουργήθηκαν επτά ενότητες που έχουν την ίδια εφαπτομένη αλλά διαφορετικό βαθμό καμπυλότητας και σχήμα και είναι εκτυπώσιμες. (εικόνα 2.20,21) Η εφαπτομένη επιτρέπει την σύνδεση των μονάδων και τον σχηματισμό μιας σειράς από αρχιτεκτονικά στοιχεία όπως τοίχους, κολώνες, δωμάτια και ανοίγματα(εικόνα 2.22,23,24). Πραγματοποιήθηκε αναλυτική εξέταση των παραγόμενων δομών ως προς την καταλληλότερη γεωμετρία με δεδομένο το υλικό χρήσης, το μέσο κατασκευής, την προτεινόμενη χρήση και μηχανικές ιδιότητες τους. (εικόνα 2.25-29) Το αποτέλεσμα ήταν η κατασκευή ενός μοντέλου σε πραγματική κλίμακα (εικόνα 2.30,31) μιας συνδετικής μονάδας με τα παραπάνω χαρακτηριστικά.³⁵



Εικ.2.20,21 Στρατηγική σχεδιασμού: επιλογή επιφάνειας, συνδυασμός εφαπτομένης και χωρική ανάλυση.

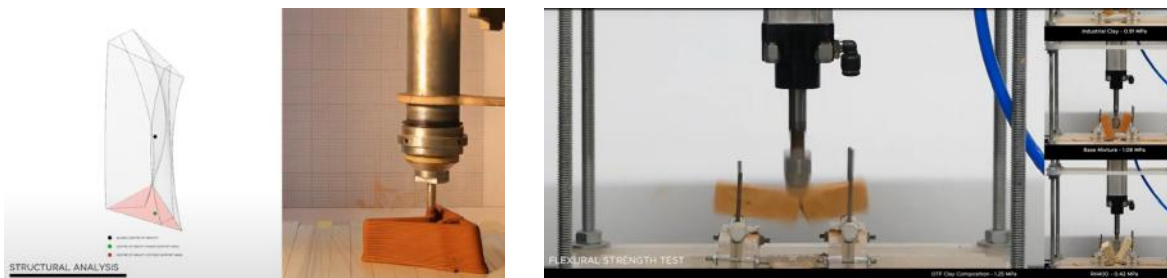


Εικ.2.22,23,24 Ανάλυση επιπέδων και συνδυασμών επιμέρους στοιχείων



Εικ.2.25,26,27 Έλεγχος αντοχής

³⁵ <https://iaac.net/project/building-architecture-continuity/>



Εικ.2.28,29 Δομική ανάλυση μονάδας(αριστερά) Έλεγχοςδύναμης κάμψης υλικού(δεξιά)



Εικ.2.30,31 Κατασκευή μακέτας σε κλίμακα 1:10 (αριστερά) Εκτύπωση σε κλίμακα 1:1 (δεξιά)

ΠΗΓΗ: <https://www.connectionsbyfinsa.com/architecture-and-3dprinting/?lang=en>

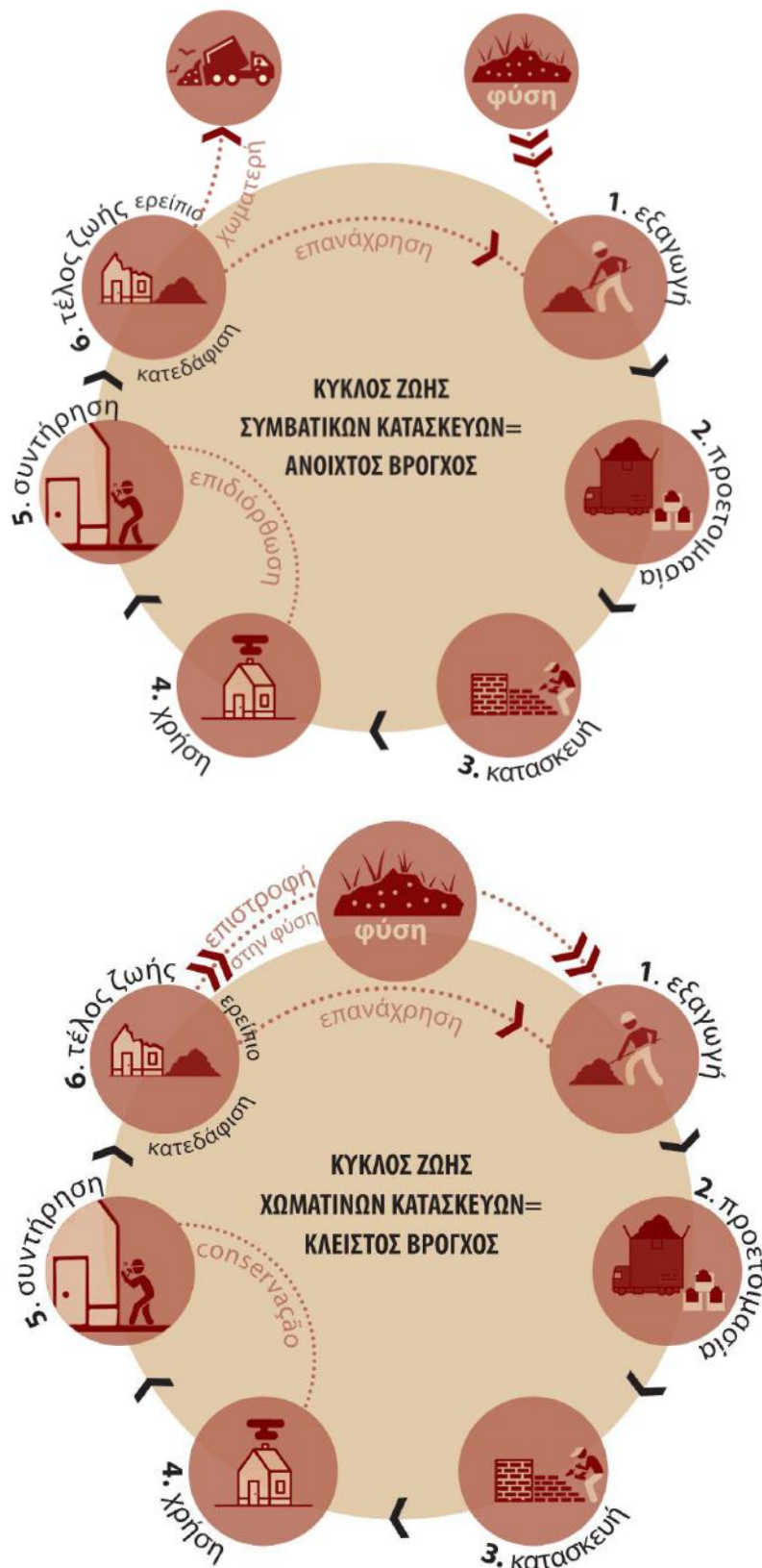
2.3 Γιατί χώμα?

Βασικό χαρακτηριστικό του χώματος που υπερτονίζει την περιβαλλοντική του σημασία, είναι ότι μπορεί λόγω της αφθονίας του στην φύση, να εξυπηρετήσει την ανάγκη σε τοπικότητα. Βρίσκεται στον φλοιό της γης και μπορεί να βρεθεί σε τοπικές εκσκαφές, σε τέτοια συχνότητα που αξιοποιούμενο στο σημείο εκσκαφής του, απαλείφονται οι ανάγκες μεταφοράς, που ισοδυναμούν με περαιτέρω κατανάλωση ενέργειας και εκπομπών διοξειδίου. Ανήκει στην κατηγορία υλικών "μηδενικών χιλιομέτρων" Km⁰³⁶, ακριβώς επειδή είναι οικοδομικό υλικό που μπορεί να προέρχεται τοπικά από το εκάστοτε εργοτάξιο και δεν χρειάζεται χιλιομετρική απόσταση για να φτάσει σε αυτό.

Επιπλέον χαρακτηρίζεται από κυκλικότητα, όντας άπειρα ανακυκλώσιμο, που σημαίνει ότι με την κατάλληλη διαχείριση έχει κλειστό κύκλο ζωής (εικόνα 2.32). Η συνεκτική επίδραση του πηλού δεν χρειάζεται ψήσιμο ή χημική επεξεργασία για να ενεργοποιηθεί. Και επειδή οι συνεκτικές του δυνάμεις είναι αναστρέψιμες, τα υλικά από χώμα μπορούν να ανακτήσουν την πλαστικότητά τους, να αναδιαμορφωθούν και να επαναχρησιμοποιηθούν. Στο τέλος του κύκλου ζωής του σε ένα οικοδομικό έργο είναι άμεσα βιοαποδομήσιμο ή επαναχρησιμοποιήσιμο. Αυτό συμβαίνει και με άλλα οικοδομικά υλικά όπως το γυαλί και ο χάλυβας, αλλά σε αντίθεση με το χώμα, απαιτείται κατανάλωση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας στην επεξεργασία τους. Χαρακτηρίζεται επίσης ως υλικό με ικανότητα αυτο-ίασης (self-healing), καθώς ακόμα και σε στεγνή μορφή, μέσω της απορρόφησης υγρασίας στην μάζα του αποκτά σε ένα βαθμό διόγκωση και ξανά πλαστικότητα, καλύπτοντας πιθανές ρωγμές.

Παράλληλα η χρήση του στην οικοδομή σαν ωμό υλικό, που αυτομάτως σημαίνει μη μηχανική ή χημική επεξεργασία, απαιτεί χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και επομένως θεωρείται ουδέτερο σε άνθρακα. Όπως και το ξύλο, η πέτρα και άλλα φυσικά παραδοσιακά υλικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατευθείαν αφού εξαχθεί από τον κύκλο φυσικής ροής του.

³⁶<https://www.orchdoily.com/958893/zero-kilometer-materials-preserving-the-environment-and-local-cultures#:~:ext=Zero%20km%20materials%20take%20o,be%20returned%20to%20the%20environment.>



Εικ.2.32 Σύγκριση Κύκλου ζωής κατασκευών με συμβατικά δομικά υλικά και με χώμα με την κατάλληλη διαχείριση.
 ΠΗΓΗ: ίδια επεξεργασία

Επίσης ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο έχουν οι φυσικές ιδιότητες του δομικού πηλού που επηρεάζουν περιβαλλοντικούς παράγοντες όταν πλέον γίνεται χρήση της κατασκευής. Οι φυσικές ιδιότητες περιλαμβάνουν τις θερμικές, δηλαδή: θερμική αγωγιμότητα (ιδιότητα του να επιτρέπει τη διάδοση της θερμότητας μέσα από τη μάζα του), η ειδική θερμοχωρητικότητα (η ποσότητα θερμότητας που απαιτείται για να θερμανθεί 1 kg υλικού κατά 1 °C).

"Ο πηλός παρουσιάζει ως υλικό τη μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα ανά μονάδα βάρους, σε σχέση με τα παραδοσιακά και τα σύγχρονα δομικά υλικά (πέτρα, ξύλο, χάλυβας, σκυρόδεμα)."³⁷ Επομένως είναι ιδανικός για ενεργειακή αξιοποίηση του τοπικού κλίματος. Κατά την χειμερινή περίοδο μπορεί να συγκρατεί τα θερμικά οφέλη της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας αποδίδοντάς τα σταδιακά στη διάρκεια των νυχτερινών ωρών, ενώ την καλοκαιρινή περίοδο αντίστροφα, να επιβραδύνει τη διείσδυση της ημερήσιας θερμότητας στο εσωτερικό. Σημαντικό ρόλο στην ενεργειακή αξιοποίηση έχει και η αντιμετώπιση των θερμικών απωλειών, που σε καμία κατασκευή δεν μπορούν να αποφευχθούν πλήρως, αλλά μπορούν να περιοριστούν με την χρήση επιπλέον θερμομόνωσης. Οι θερμομονωτικές ιδιότητες του πηλού βελτιώνονται, όσο αυξάνεται το ποσοστό άχυρου στη μάζα του. Έτσι δύο διαφορετικά μεταξύ τους στρώματα πηλού – ένα χωρίς άχυρο και ένα με μεγάλη ποσότητα άχυρου – μπορούν να δημιουργήσουν ένα δομικό στοιχείο, που συνδυάζει αποθήκευση θερμότητας και θερμομόνωση. Ανάλογα το κλίμα ενδέχεται να απαιτείται και εξωτερική θερμομόνωση με την τοποθέτηση κατάλληλων θερμομονωτικών υλικών. Η καταλληλότητά τους έγκειται στην ικανότητα να επιτρέπουν την αναπνοή του κελύφους, αποφεύγοντας τον κίνδυνο υγροποίησης από τους υδρατμούς του εσωτερικού αέρα αλλά και στην φυσική τους προέλευση, χωρίς τοξικές προσμίξεις για να είναι συμβατά με τις ιδιότητες του πηλού και τα πλεονεκτήματά του στην υγεία και το περιβάλλον. "Τα δομικά στοιχεία πηλού εμφανίζουν εξαιρετικά μεγάλη θερμική αδράνεια. Το χειμώνα παρουσιάζουν μειωμένες απώλειες θερμότητας σε σχέση με την πέτρα και το σκυρόδεμα (αυξημένες όμως σε σχέση με τον διάτρητο οπτόπλινθο). Αποθηκεύουν μεγαλύτερες ποσότητες θερμότητας από τα άλλα υλικά. Τις αποδίδουν πιο αργά, σε μεγαλύτερο χρόνο και διατηρούν τις εσωτερικές θερμοκρασιακές διακυμάνσεις σε εξαιρετικά χαμηλά επίπεδα."

Άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό είναι η υδροαπορροφητικότητα του πηλού. Η σχέση του νερού με τον πηλό έχει πολλαπλά επίπεδα. Σε μοριακό επίπεδο, η σχέση μπορεί να είναι σταθερή και αμετάβλητη καθώς υπάρχει χημική δέσμευση στην μοριακή δομή του. Απομάκρυνση του νερού μπορεί να γίνει μόνο με ψήσιμο σε 400-900°C (όπως κατά την δημιουργία οπτόπλινθων), μια μη αναστρέψιμη διαδικασία, κατά την οποία δημιουργούνται νέες ιδιότητες αλλά χάνονται αυτές του ωμού πηλού. Δεύτερο είδος σχέσης δημιουργείται στον ενδοστρωματικό χώρο των αργιλοπυριτικών κρυστάλλων. Σε αυτήν μπορεί να συμβεί εξαέρωση με φυσικό στέγνωμα και μετάβαση από πλαστική φάση σε στερεή κατάσταση, ή τεχνητά με θέρμανση στους 105 - 110 °C, όπου η επιστροφή στην πλαστική κατάσταση μπορεί να γίνει μόνο με βύθιση σε νερό για μεγάλο χρονικό διάστημα. Τέλος η πιο επιφανειακή σχέση, είναι η διείσδυση στους πόρους εξαιτίας τριχοειδών φαινομένων. Αυτά προκύπτουν με την επαφή πηλού και νερού, μέσω βροχής, υγρού εδάφους ή υγρού αέρα. Όταν η επαφή αυτή έχει μεγάλη διάρκεια, το νερό που προσροφάται από τους τριχοειδείς πόρους διεισδύει στον ενδοστρωματικό χώρο των κρυστάλλων, δημιουργώντας την δεύτερη σχέση. Το αποτέλεσμα μιας τέτοιας περίπτωσης είναι ο πηλός να επανέλθει στην πλαστική του κατάσταση. Αυτή είναι και η κύρια ευαισθησία του σαν δομικό υλικό. Όπως και σε κάθε περίπτωση κατασκευής και επιλογής υλικών, για την αποφυγή προβλημάτων, χρειάζεται κατάλληλος σχεδιασμός. Στην περίπτωση χρήσης χώματος απαιτείται η προστασία των δομικών στοιχείων από την βροχή (πχ υπερκάλυψη μέσω στέγης, εξωτερικό επίχρισμα με πρόσθετη στεγανότητα όπως κουρασάνι, ασβεστοκονίαμα) από την ανιούσα υγρασία (κατάλληλη θεμελίωση και απόσταση από το έδαφος, έδραση σε υλικά μικρής υδροαπορροφητικότητας αναλόγως με την τοποθεσία, το κλίμα, το ποσοστό βροχόπτωσης).

Σε αντίθεση με την ευαισθησία του στο νερό, ο πηλός έχει εξαιρετική σχέση με τον υγρό αέρα, λόγω της ικανότητας του να λειτουργεί ως εξισορροπιστής υγρασίας. Αυτό συμβαίνει χάρη στην ιδιότητά του να έχει υψηλή υγρασία ισορροπίας. (μέγιστη υγρασία που απορροφά ένα υλικό, σε συνθήκες σταθερής θερμοκρασίας και υγρασίας). Από μελέτες του Ερευνητικού Εργαστηρίου Πειραματικής Δόμησης (FEB) του Πανεπιστημίου του Kassel σε διάφορα

³⁷ Γ.Ελλη, Ζ.Ξενοφών, Ρ.Κουβουκλιώτης, Θ. Κυριαφίνη, Α.Παρέση, Μ.Τσίτση, "Φυσικές ιδιότητες δομικού πηλού" ΠΗΓΗ: <https://anelixi2020.org/domisi-piloy/oikologiki-oxitektoniki-domisi-pilou-idiotites-pilou-fusikes-idiotites/>

μείγματα πηλών, προσροφά περισσότερη υγρασία, σε σχέση με άλλα οικοδομικά υλικά, ιδιαίτερα όσο αυξάνεται το πάχος του.³⁸ Έχει μεγάλη ταχύτητα προσρόφησης και εκρόφησης υγρασίας. Ως πορώδες, διαπνέον υλικό ο πηλός διατηρεί την υγρασία του εσωτερικού αέρα σταθερή, καθώς απορροφά ποσότητα υδρατμών από τον αέρα και απελευθερώνει αντίστοιχα όταν χρειάζεται, σε αντίθεση με άλλα υλικά δόμησης όπου η υγρασία αυξομειώνεται. Επομένως προσφέρει φυσικά και χωρίς καμία επιπλέον μηχανική υποστήριξη πάρα πολύ καλές συνθήκες άνεσης και υγείας για τους χρήστες διατηρώντας πολύ καλή την ποιότητα του εσωτερικού αέρα. "Η υγρασία του εσωτερικού αέρα διατηρείται σταθερή, μεταξύ 50 % και 55 %. Σε κτήρια με άλλα οικοδομικά υλικά, οι αυξομειώσεις της υγρασίας του εσωτερικού αέρα κυμαίνονται συνήθως μεταξύ 20 % (το χειμώνα) και 70 % (το καλοκαίρι)." "Εργαστηριακές έρευνες του FEB έδειξαν, ότι σε μία απότομη αύξηση της υγρασίας του αέρα από το 50% στο 80%, μία πρώτη ζώνη πάχους 1,5 cm ενός πλίνθινου τοίχου προσροφά 300g νερού ανά 1m επιφάνειας σε 48 ώρες, ενώ ο ασβεστόλιθος ή η επένδυση ελάτης ίδιου πάχους προσροφούν μόνο 100 g/m, τα επιχρίσματα 26 - 76 g/m και ο οπτόπλινθος μόνον 10 - 30 g/m. Σε διάστημα 16 ημερών τα πλιθιά προσροφούν περίπου 8,3 φορές περισσότερη υγρασία από ότι οι διάτρητοι οπτόπλινθοι και περίπου 30 φορές περισσότερη απ' ότι τα συμπαγή τούβλα."

Επιπλέον πλεονέκτημα, είναι η σχέση του με άλλα φυσικά υλικά, όπως το ξύλο. Λόγω της υγρασίας ισορροπίας του και της υψηλής τριχοειδούς προσρόφησης υγρασίας που προαναφέρθηκε, παρατείνει τον χρόνο ζωής της ξυλείας που έρχεται σε επαφή προστατεύοντας την και διατηρώντας τις αντοχές της. Η μίξη του με άλλα υλικά χρειάζεται μελέτη ως προς τις αναλογίες και την συμβατότητα.³⁹

Σημαντική παράμετρος χρήσης αποτελεί και η ακαυστότητα του υλικού που συμβάλλει στην πυροπροστασία της κατασκευής. Επιπλέον η προσρόφηση χημικών στοιχείων και ενώσεων, δεσμεύοντας επιβλαβείς, τοξικές ουσίες, όπως ενώσεις θείου και φωσφορικές ενώσεις. Επίσης ως προς την ποιότητα εσωτερικής ατμόσφαιρας, το χώμα λειτουργεί σαν φίλτρο πτητικών οργανικών ενώσεων (volatile organic compounds, VOCs) που θεωρούνται επιβλαβείς για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον και που πολλά συμβατικά υλικά δόμησης εκπέμπουν.⁴⁰ Ακόμη έχει την ικανότητά να απομονώνει ραδιενεργές εκπομπές, ενώ λειτουργεί ως φράγμα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας υψηλών συχνοτήτων, όπως π.χ αυτής που εκπέμπεται από τις κεραίες κινητής τηλεφωνίας.⁴¹

Τέλος έχει μεγάλη ηχοαπορροφητικότητα, προσφέροντας υψηλά επίπεδα ακουστικής άνεσης στους χρήστες. Συγκεκριμένες τεχνικές, όπως το συμπιεσμένο χώμα, που περιλαμβάνουν τοιχεία μεγάλου πλάτους έχουν μελετηθεί και μετρηθεί τόσο ως προς την απορρόφηση ήχου δηλαδή την ηχομείωση αλλά και εξασθένιση, μείωση της αντήχησης με εξαιρετικά αποτελέσματα⁴². Από αυτά συνεπάγεται και ο σχεδιασμός χώρων με χρήσεις με ακουστικές απαιτήσεις, όπως συναυλιακές αίθουσες ή κινηματογράφοι.⁴³

³⁸ ό.π.

³⁹ Σημειώσεις από την διάλεξη με θέμα: "Βασικές τεχνικές δόμησης με τη χρήση ωμού πηλού: Επιχρίσματα με βάση τον πηλό.Χρυσάφάκη Ζέτα " Οικονόμου Αινείας, στα πλαίσια του προγράμματος κατάρτισης «Δόμηση με πηλό - Τεχνικές κατασκευής - Αειφόρος Σχεδιασμός» <https://piilko.gr/domisi-me-pilo-2/>

⁴⁰ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666165921000144>

⁴¹ "Τα αποτελέσματα μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν από το Ινστιτούτο Τεχνικής Υψηλών Συχνοτήτων, Μικροκυμάτων και Ραντάρ του Ομοσπονδιακού Πανεπιστημίου του Μονάχου, σε συνεργασία με το Ερευνητικό Εργαστήριο Πειραματικής Δόμησης (FEB) του Πανεπιστημίου του Kassel (Γερμανία) έδειξαν ότι: Ένα πλίνθινο κτιριακό κέλυφος πάχους 24 εκ., ελάχιστης πυκνότητας πηλού 800 kg/m³, μονώνει την ακτινοβολία των 1,8 έως 1,9 GHz (εκπομπές κινητής και ασύρματης τηλεφωνίας) κατά 22 dB = 99,4 %. Όταν φέρει επικάλυψη φύτευσης φτάνει τα 49 dB = 99,999 %. Τα συνήθη υλικά δόμησης, όπως μία στέγη με κεραμίδι, δεν ξεπερνούν τα 3 dB = 50 % περίπου. (Rauli, P; Moldan, D.: Περιορισμός ακτινοβολίας υψηλών συχνοτήτων, Eigenverlag 2000, Iphofen)"

⁴² https://www.researchgate.net/publication/336900465_Earth_construction_acoustic_performance_and_characterization_of_technics_used_in_Colombia

⁴³ Παράδειγμα αποτελεί η αίθουσα διαλέξεων στο Ουαλικό Ινστιτούτο για την Αειφόρο Εκπαίδευση WISE (Wales Institute for sustainable Education) καθώς και ο κινηματογράφος Cinema Sil Plaz στην Ελβετία σχεδιασμένο από τον Martin Rauch

<https://cot.org.uk/info-resources/free-information-service/building/the-wise-building/>

2.4 Παράμετροι κατασκευής κτιρίων από ωμό πηλό

Κανονιστικό πλαίσιο

Στις περισσότερες χώρες σε όλο τον κόσμο, η αρχιτεκτονική με χώμα μέχρι σήμερα αποτελεί κατά κύριο λόγο παραδοσιακή μορφή κατασκευής αποσυνδεδεμένη από μηχανικούς και πρότυπα και άρα στερείται νομικού πλαισίου. Την τελευταία δεκαετία ωστόσο με την γενικότερη αναζήτηση αειφορίας στον αρχιτεκτονικό τομέα, η χρήση γης στις κατασκευές γίνεται όλο και πιο διαδεδομένη πρακτική, γεγονός που έχει οδηγήσει σε αύξηση του αριθμού των προτύπων. Η Γερμανία αποτελεί παράδειγμα στην εξέλιξη της διαδικασίας τυποποίησης, με την εκπόνηση του προτύπου «Lehmbau Regeln» από την Dachverband Lehm e. V., την Εθνική ένωση Γερμανίας για χωμάτινες κατασκευές, που προσαρμόστηκε στις συνθήκες των εθνικών DIN (Γερμανικό Ινστιτούτο προτύπων)/Ευρωπαϊκών κανόνων και δημοσιεύτηκε τον Αύγουστο του 2013 ως DIN 18945-47.⁴⁴ Πρότυπα που παρέχουν διαφορετικούς βαθμούς τεχνικών πληροφοριών, όπως ταξινόμηση του υλικού, οικοδομικά υλικά, συστήματα κατασκευών.

Πέρα από την εμπειρική τους φύση, οι πηλοκατασκευές έχουν επίσης αρκετά περιορισμένο πεδίο αγοράς. Εκτός από τον τομέα της αποκατάστασης ιστορικών κτιρίων, η εκ νέου κατασκευή εμπορικών έργων δεν έχει μεγάλη ζήτηση. Στην Ελλάδα ο πηλός δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε φέρουσες κατασκευές, καθώς δεν συμπεριλαμβάνεται στον Ν.Ο.Κ. άρα απαιτείται ανεξάρτητος φέρον οργανισμός. Σε ορισμένες χώρες (πιο σύνθετες παράδειγμα στην βιβλιογραφία η Νέα Ζηλανδία, που είναι και σεισμογενής), εντάσσονται στο κανονιστικό πλαίσιο και αναγνωρίζονται και ως φέρουσες κατασκευές⁴⁵. Σε άλλες χώρες το κανονιστικό πλαίσιο της τεχνολογίας κατασκευής με πηλό βρίσκεται σε πρώιμη φάση, όπως σε οδηγίες δόμησης σε τοπικό επίπεδο και υπό επεξεργασία. Χωρίς κανονισμούς, προφανώς, περιορίζεται η ανάπτυξη της δομικής χρήσης στοιχείων από πηλό. Στην Ελλάδα, ορισμένες σύγχρονες κατασκευές από πηλό έχουν ενσωματώσει ως στοιχεία πλήρωσης σε φέρουσες κατασκευές από άλλα υλικά. Η βέλτιστη επιλογή φορέα είναι τα φυσικά υλικά, που συνεργάζονται μαζί του καλύτερα από το μέταλλο ή το σκυρόδεμα, και λειτουργούν συνεργατικά. Για παράδειγμα σε πλήρωση με αχυροπηλό ο ξύλινος σκελετός έχει αποδειχθεί καλύτερος επειδή έχει μηδαμινές συστολές και διαστολές αλλά και δεν δημιουργεί υγραποίηση των υδρατμών, σε σχέση με τον μέταλλο. Η έκδοση οικοδομικής άδειας είναι εφικτή αλλά δύσκολη, καθώς η άψητη γη είναι μη πιστοποιημένο υλικό και δεν έχει ένα κανονιστικό πλαίσιο εφαρμογής. Ως εκ τούτου η πιστοποίησή της καταλληλότητας της κατασκευής ακόμα και ενός απλού έργου αποτελεί αντικείμενο ερευνητικής διαδικασίας και εργοταξιακού πειραματισμού.⁴⁶

Εργαστηριακός έλεγχος και δοκιμές

Με βάση την επιλεγμένη τεχνική, γίνεται και προσαρμογή των αντίστοιχων εργαστηριακών δοκιμών, και αποδεκτών αποτελεσμάτων. Για παράδειγμα σε ένα υλικό που θα χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή τοιχοποιίας, οι απαιτήσεις μηχανικής αντοχής είναι αυξημένες σε σχέση με το υλικό που θα χρησιμοποιηθεί σαν επίχρισμα, για το οποίο προέχει η ελάχιστη συστολή ξήρανσης. Το γεγονός της μη τυποποίησης και άρα ποσοτικοποίησης των συστατικών του προς χρήση μίγματος αδρανών και πρόσθετων, προϋποθέτει την περαιτέρω διερεύνηση σε ειδικά εργαστήρια ανάλυσης υλικών. Εκεί εξετάζονται χαρακτηριστικά όπως η σύνθεση του γεωκονιάματος, η αντοχή σε θλίψη και κάμψη, οι συστολές ξήρανσης, η θερμική αγωγιμότητα και θερμοχωρητικότητα, και γίνεται έλεγχος των δομικών στοιχείων σε μικρή κλίμακα. Υπάρχουν επίσης ανεπτυγμένες πολλές εμπειρικές δοκιμές που όμως δύναται να εμπεριέχουν μεγάλα σφάλματα.

Σεισμική συμπεριφορά

Η Ελλάδα είναι σεισμογενής χώρα, επομένως η σεισμική συμπεριφορά των κτιρίων από χώμα έχει ιδιαίτερη βαρύτητα. Η επικρατούσα αντίληψη θεωρεί τις πλίνθινες κατασκευές αναξιόπιστες ως προς τη φέρουσα ικανότητά τους σε σεισμικά φορτία. *“Οι πηλοκατασκευές θεωρούνται οι πρώτες στην κλίμακα τρωτότητας μεταξύ των οπτοπλινθοκατασκευών, των λιθοκατασκευών, των κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος και χάλυβα”*⁴⁷.

⁴⁴ H. Schroeder, “The New DIN Standards in Earth Building—The Current Situation in Germany Dachverband Lehm e. V. (DVL)”, Weimar, 99425, Germany, Journal of Civil Engineering and Architecture 12 (2018) 113-120 doi: 10.17265/1934-7359/2018.02.005

⁴⁵ό.π. σελ 114

⁴⁶ Σημειώσεις από την διάλεξη με θέμα: “Βασικές τεχνικές δόμησης με τη χρήση ωμού πηλού: Επιχρίσματα με βάση τον πηλό.Χρυσάφια Ζέτα ” Οικονόμου Αινείας, στα πλαίσια του προγράμματος κατάρτισης «Δόμηση με πηλό - Τεχνικές κατασκευής - Αειφόρος Σχεδιασμός» <https://piliko.gr/domisi-me-pilo-2/>

⁴⁷Γεωργία Ε. Μπέη, “Σχεδιασμός κατασκευής από ωμοπλινθοδομή και αντισεισμική συμπεριφορά της”, Τεχνικά χρονικά, Νοέμβριος 2010, σελ 24

Ωστόσο, στην ανάγνωση αυτή όπως αντίστοιχα στην ευαισθησία του πηλού στο νερό, έχει ιδιαίτερη σημασία μια συνολική αξιολόγηση της κατασκευής που περιλαμβάνει τόσο την σύνθεση του ίδιου του υλικού, όσο και την μέθοδο κατασκευής, αλλά και στον σχεδιασμό ως προς την μηχανική συμπεριφορά του αποτελέσματος. Οι πηλοκατασκευές είναι ιδιαίτερα "αδικημένες" ως προς την έρευνα και τα περιθώρια βελτίωσης των αντοχών τους σε σχέση με τις κυρίαρχες δομές από σκυρόδεμα. Καθώς δεν υπόκειται σε κανονισμούς σχεδιασμού, κατασκευάζονται κατά κύριο λόγο παραδοσιακά και σε εμπειρική βάση και δεν έχουν ουσιαστικά περάσει από την διαδικασία εξέλιξης και βελτίωσης συγκριτικά με άλλα υλικά. Γενικά η συμπεριφορά της συμβατικής τοιχοποιίας και της ωμοπλινθοδομής έχει ομοιότητες. Η συνηθέστερη παθολογία των πηλίνων κατασκευών σε σεισμικές δράσεις είναι η τάση για αποκόλληση των εγκάρσιων τοίχων, με εμφάνιση κατακόρυφων ρωγμών στις γωνίες, χωρίς όμως άμεση κατάρρευση.⁴⁸ Η ποιότητα δόμησης, παίζει ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στα μηχανικά χαρακτηριστικά της τελικής κατασκευής. Στις περισσότερες τεχνικές τοποθετούνται ενισχυτικά στοιχεία οπλισμού της τοιχοποιίας κατά την οριζόντια και κατακόρυφη διεύθυνση, από πρόσθετα υλικά όπως π.χ καλάμια, στοχεύοντας στη διατήρηση της στατικής επάρκειας. Όπως και σε κάθε κατασκευή σε μια σεισμική δόνηση, η τοιχοποιία είναι ευάλωτη, είτε είναι από λίθους, είτε οπτόπλινθους, είτε ωμόπλινθους.

Τα χαρακτηριστικά του υλικού έχουν σημασία στην ανταπόκριση συνολικά της κατασκευής, αλλά κυριότερο ρόλο διαδραματίζει το δομικό σύστημα. Συνήθης διαχείριση αποτελούν τα σενάζ και οι ξυλοδεσιές, αλλά και ολόκληρα πλαίσια ξύλινα ενίσχυσης. Η θλιπτική αντοχή, και διαδικασία συστολής εξαρτάται από τα γενικά χαρακτηριστικά του μείγματος του πηλού, όπως η περιεχόμενη άργιλος, που εξασφαλίζει μηχανική αντοχή και προκαλεί συστολή κατά την ξήρανση. Επιπλέον, απαιτείται έλεγχος της μικρορηγμάτωσης του πηλοκονιάματος κατά την ξήρανση, καθώς και της ποιότητας και ποσότητας πρόσθετων συστατικών που εφαρμόζεται για βελτίωση των ιδιοτήτων των ωμόπλινθων και πηλοκονιαμάτων, όπως η συρρίκνωση, διάβρωση κλπ με την χρήση γύψου, ασβέστου, τσιμέντου Portland (soil cement brick).

Σχεδιαστικά όπως και σε κάθε υλικό, έτσι και το χώμα με βάση τα χαρακτηριστικά του και τις αδυναμίες του, ορίζει ιδιαίτερες αρχιτεκτονικές ποιότητες και συνθετικούς κανόνες. Ορισμένοι που αναγράφονται στην βιβλιογραφία περιλαμβάνουν το ύψος των φερόντων τοίχων σε σχέση με το πάχος της βάσης τους, το μέγεθος των ανοιγμάτων σε σχέση με το συνολικό μήκος της τοιχοποιίας αλλά και μεμονωμένα με μέγιστο όριο τα 1.2m, την προτεινόμενη χρήση οριζόντιων και κατακόρυφων οπλισμών από ξύλα, καλάμια, μπαμπού ακόμη και μεταλλικές ράβδους σαν τους συμβατικούς οπλισμούς. Συχνά περιορισμοί ενδέχεται να προκύψουν και από την ίδια την σύνθεση, όπως η ύπαρξη ξύλινου σκελετού για στατικότητα να εμποδίζει κάποιο σημείο που χρειάζονται ηλιακά κέρδη, περιορίζοντας τα ανοίγματα. Ως προς τα υλικά δύναται να υπάρχει συμβατότητα ή όχι με το χώμα, καθώς όπως προαναφέρθηκε η φυσική προέλευση δημιουργεί συνεργατικές σχέσεις.



Εικ.2.33,34 Κατοικία υπό κατασκευή, με την τεχνική συμπιεσμένου χώματος, Santiago do Cacem Πορτογαλία ΠΗΓΗ: προσωπικό αρχείο

⁴⁸Ο.π., σελ 28

Κόστος

Το Κόστος των χωμάτινων κατασκευών σχετίζεται με πολλές παραμέτρους και δεν έχει σαφές πρόσημο. Σε αντίθεση με τις παραδοσιακές κατοικίες του παρελθόντος που κατασκευάζονταν χωρίς αρχιτέκτονες και ειδικούς, οι σύγχρονες χωμάτινες δομές μπορούν υπό συγκεκριμένες συνθήκες να έχουν συγκρίσιμο ή και υψηλότερο κόστος με αυτών από σκυρόδεμα ή τούβλα.⁴⁹ Παράγοντες που το επηρεάζουν είναι: Η τεχνική δόμησης που καθορίζει τον χρόνο κατασκευής (σε μεγάλο βαθμό εξαρτάται από το επίπεδο χειρωνακτικής επεξεργασίας που απαιτείται). Για παράδειγμα το χτίσιμο με ωμόπλινθους σε σχέση με το χτίσιμο με οπτόπλινθους (χωρίς να συνυπολογίζεται το στάδιο προετοιμασίας των δομικών υλικών) είναι αντίστοιχη διαδικασία. Η τρισδιάστατη εκτύπωση με χώμα, που αποτελεί κατά κύριο λόγο μηχανική διαδικασία, σε σχέση με μια συμβατική κατασκευή από σκυρόδεμα ή μια κατασκευή από στοιβαγμένο χώμα όπου εμπλέκεται ανθρώπινο δυναμικό είναι σαφώς ταχύτερη. Γενικά στην σύγχρονη μορφή της η χωμάτινη αρχιτεκτονική έχει εντάξει, όπου αυτό είναι εφικτό, την χρήση μηχανημάτων και βοηθητικών μέσων όπως συμπιεστήρες στην τεχνική συμπιεσμένου χώματος, ολισθητήρες για εύκολη μετατόπιση και επιτάχυνση της διαδικασίας.

Άλλος παράγοντας είναι η τοποθεσία, που επηρεάζει τις απαιτήσεις σε μεταφορά του υλικού και την σύσταση του εδάφους. Επίσης η προσθήκη σταθεροποιητών, η ποσότητα και το κόστος τους. Επιπλέον το κόστος επηρεάζεται από την διαθεσιμότητα εργατικού δυναμικού με την απαιτούμενη εξειδικευμένη τεχνογνωσία, καθώς και η δυνατότητα εύρεσης τυποποιημένων δομικών προϊόντων και πιστοποίησης του υλικού για ποιοτικό έλεγχο τόσο σε επίπεδο πρόληψης όσο και εφαρμογής. Μεγέθη που είναι μεταβλητά καθώς σχετίζονται άμεσα με το εύρος ζήτησης χωμάτινων κατασκευών.

Στο κόστος κατασκευής συμπεριλαμβάνεται και το μακροπρόθεσμο κόστος κατά την χρήση, το οποίο σε σχέση με συμβατικές κατασκευές μη βιοκλιματικού σχεδιασμού είναι ιδιαίτερα μειωμένο λόγω της αποδοτικότητας στις συνθήκες άνεσης που προσφέρει.

Παρά τα παραπάνω θετικά χαρακτηριστικά, η χρήση ωμής γης στην σύγχρονη αρχιτεκτονική, συγκριτικά με τα συμβατικά υλικά δόμησης είναι πολύ περιορισμένη. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί με διάφορους τρόπους. Αρχικά υπάρχει έλλειψη στην ζήτηση τέτοιων κατασκευών, λόγω της επικρατέστερης γενικής αντίληψης της χαμηλής ποιότητας, αξίας και αντοχής του χώματος. Ο άμεσος συσχετισμός που γίνεται είναι αυτός των γήινων κατασκευών με τριτοκοσμικές συνθήκες υποβάθμισης και φτώχειας ή ξεπερασμένων παραδοσιακών τεχνοτροπιών. Επιπλέον στην Ελλάδα ένας ουσιαστικός περιορισμός είναι το νομοθετικό εμπόδιο μη αναγνώρισης του από τον ΚΕΝΑΚ που δυσχεραίνει τις μελέτες, αδειοδοτήσεις, την έκδοση πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης κλπ. Απαιτεί χρονοβόρες και δαπανηρές διαδικασίες όπως την αποστολή δείγματος υλικού στο Εθνικό εργαστήριο στην Αθήνα για πιστοποίηση. Παρόλα αυτά η κατασκευή και έκδοση οικοδομικών αδειών για κτίρια από πηλό στην Ελλάδα είναι εφικτή και υπάρχουν σύγχρονα έργα και αρχιτέκτονες που τον επιλέγουν στον σχεδιασμό τους. (εικόνα 2.35)

⁴⁹Kulshreshtha, Yask & Mota, Nelson & Jagadish, Kaup & Bredenoord, Jan & Vardon, Phil & van Loosdrecht, Mark & Jonkers, Henk. (2020). "The potential and current status of earthen material for low-cost housing in rural India. Construction and Building Materials." 247. 10.1016/j.conbuildmat.2020.118615, σελ 6



Εικ.2.35 Κατοικία 125 m² στα Χανιά, Southern architects. Κατασκευή από ξύλινο σκελετό και τοιχοποιία από μείγμα αχυροπηλού πάχους 35εκ. Εξωτερικά έχει επιχρισθεί με ασβεστοκονίαμα και εσωτερικά με πηλοκονίαμα. Το μέσο θέρμανσης που διαθέτει είναι ενεργειακό τζάκι, ενώ δεν έχουν χρησιμοποιηθεί μηχανικά μέσα ψύξης. ΠΗΓΗ: <https://www.southernarchitects.gr>

Κεφάλαιο 3. Νέα μοντέλα διαχείρισης

3.1 Ροές γης: Το χώμα είναι απόβλητο?

Το χώμα είναι αποτέλεσμα μιας φυσικής διαδικασίας: της διάβρωσης πετρωμάτων επομένως όπως προαναφέρθηκε δεν μπορεί να θεωρηθεί απόβλητο καθώς τίποτα στην φύση δεν παίρνει αυτή την νοηματοδότηση. Στα πλαίσια της ανθρώπινης κατασκευαστικής διαδικασίας ωστόσο το χώμα, οι πέτρες και συνολικά τα γαιώδη υλικά εκσκαφών, εντάσσονται στα πλαίσια των ΑΕΕΚ (με κωδικό ΕΚΑ 17 05 04) και αντιμετωπίζονται ως απόβλητα (εικόνα 3.1,2). Αυτό προκύπτει από την ανάγκη διαχείρισης μιας ποσότητας πρώτης ύλης, που ενώ υπήρχε στον φυσικό της χώρο ως μέρος ενός τοπίου, δίνει την θέση του σε μια άλλη ποσότητα υλικών που σχηματοποιείται με βάση ανθρώπινες ανάγκες. Η διαδικασία αλλαγής του τοπίου από οικοδομικά και κατασκευαστικά έργα, όπως δίκτυα μεταφορών (δρόμους, σιδηρόδρομους, υπόγειες οδούς), κτίρια, δίκτυα παροχής κλπ αλλά και η περίπτωση κατεδαφίσεων σε κατασκευαστικά συστήματα με μεμονωμένες ή μικτές τεχνικές χωμάτινης δόμησης δημιουργεί ουσιαστικά αυτήν την ανάγκη. Η συνήθης διαχείριση του, είτε γίνεται στον τόπο εξαγωγής (on site) είτε εκτός (off site). Σε περίπτωση που χρησιμοποιηθεί, αξιοποιείται κατά κύριο λόγο για γεμίσματα λάκκων, εξωραϊσμό, αποκαταστάσεις τραυματισμένων τοπίων όπως σε εξορύξεις, λατομικές δραστηριότητες και εργασίες τοπίου. Συχνά γίνεται απλά παράνομη απόθεση του στην φύση, σε κοινόχρηστους χώρους, πρανή χειμάρρων χωρίς αδειοδότηση ή σχέδιο χρήσης καθώς και η απόθεση σε ΧΥΤΑ. Το Νομοθετικό Πλαίσιο διαχωρίζει την περίπτωση ιδιωτικών και δημοσίων έργων και προβλέπει την δυνατότητα αξιοποίησης του στα έργα από τα οποία παράγονται, υπό όρους και αν είναι εφικτό, στα πλαίσια εργασιών διαμόρφωσης του εδάφους. Σε κάθε περίπτωση η αποστολή καθαρού χώματος εκσκαφής σε χώρους υγειονομικής ταφής ή φυσικά τοπία δεν αποτελεί βιώσιμη λύση. Στην πραγματικότητα είναι ιδιαίτερα παρεμβατική πρακτική για το τοπίο, καθώς σε άμεσο χρόνο αλλάζει τη μορφολογία, την τοπογραφία, τη ροή του νερού και εν γένει το συνολικό οικοσύστημα.



Εικ. 3.1,2 Χώρος συλλογή χώματος εκσκαφής σε εργοστάσιο διαχείρισης ΑΕΚΚ στην Figueira da Foz, Πορτογαλία ΠΗΓΗ: προσωπικό αρχείο

Η επανάχρηση του σε νέα οικοδομικά έργα, προσφέρει μείωση της απόστασης μεταφοράς δομικών υλικών, μείωση του κόστους που σχετίζεται με την απόρριψη, διατήρηση της χωρητικότητας των χωματερών, διατήρηση των φυσικών πόρων που θα εξάγονταν εκ νέου. Λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά του και διασφαλίζοντας ότι είναι συμβατά με τη νέα εφαρμογή, μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί εντός και εκτός του τόπου εκσκαφής. Αρχικά απαιτείται έλεγχος των βασικών γεωτεχνικών παραμέτρων που αναλύθηκαν και στο δεύτερο κεφάλαιο για επιλογή του βέλτιστου τύπου δόμησης όπως η κοκκομετρία, η πλαστικότητα, η υδραυλική αγωγιμότητα, συμπίεστικότητα, διατμητική αντοχή αλλά και γεωπεριβαλλοντικές παράμετροι όπως το pH, η συνολική συγκέντρωση ρύπων, η περιεκτικότητα σε οργανικό άνθρακα, τιμές που υπαγορεύουν εάν το έδαφος μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί. Σε ορισμένες περιπτώσεις απαιτείται επεξεργασία, όπως καθαρισμός και ανασύσταση.

Για να γίνει η επανάχρηση διαδεδομένη πρακτική διαχείρισης χρειάζεται να υπάρχει το κατάλληλο υποστηρικτικό, νομοθετικό πλαίσιο, εθνικές κατευθυντήριες γραμμές, τεχνικές προδιαγραφές και πρότυπα. Στην Ευρώπη, όπως προαναφέρθηκε και στο πρώτο κεφάλαιο, το σημείο εκκίνησης για την επαναχρησιμοποίηση των εκσκαφών εδαφών είναι **οδηγία πλαίσιο για τα απόβλητα (WFD, 2008/98/EC)**, που θέτει στόχους για την αποφυγή δημιουργίας απορριμμάτων και προώθηση της χρήσης των αποβλήτων ως πόρος.

Έχει ενδιαφέρον αν αναλογιστεί κανείς ποσοτικά το κλείσιμο αυτού του κύκλου. Για παράδειγμα την στιγμή συγγραφής της παρούσας εργασίας, βρίσκονται υπό εξέλιξη τα έργα κατασκευής της γραμμής 4 του Αττικού Μετρό στην Αθήνα. Σύμφωνα με την μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων που εκπονήθηκε: *“Η ποσότητα των απορριμμάτων που εκτιμήθηκαν 565 m³/ημέρα (...) Όσον αφορά το συνολικό όγκο χωματισμών, από την κατασκευή των σηράγγων, των σταθμών και των φρεάτων, είναι της τάξης των 3.001.793 m³. Για την απόθεση των προϊόντων εκσκαφής που προκύπτουν από τη μελετούμενη επέκταση και κατόπιν σχετικής διερεύνησης η ανωτέρω ποσότητα χωματισμών μπορεί να αποτεθεί σε ανενεργά λατομεία της Περιφέρειας Αττικής ως αυτά περιγράφονται σε επόμενο κεφάλαιο και στον ΧΥΤΑ Φυλής, σύμφωνα με την Ολοκληρωμένη Εγκατάσταση Διαχείρισης Απορριμμάτων βάσει της οποίας γίνεται σήμερα η διαχείριση και επεξεργασία του συνόλου σχεδόν των απορριμμάτων που παράγονται στην μητροπολιτική Περιφέρεια της Αττικής”*⁵⁰ Με μια πρόχειρη εκτίμηση και στόχο την προσεγγιστική ποσοτικοποίηση αυτών των μεγεθών, υπολογίζεται ότι αν το εμβαδόν ισούται με τον όγκο διά το πάχος τοίχου, για κατασκευή τοιχοποιίας συμπιεσμένης γης με τυπικό πάχος τοίχου 0,45 μέτρα, έχοντας αρχικό όγκο χώματος 3.000 κυβικά μέτρα αναλογεί επιφάνεια 6.666 τετραγωνικών μέτρων. Συνυπολογίζοντας την μείωση του χρησιμοποιούμενου όγκου χώματος σε περίπου το μισό του αρχικού του⁵¹, στην συγκεκριμένη μέθοδο, προκύπτουν 3.330 τ.μ. Τοιχοποιίας.

3.2 Παραδείγματα καλών πρακτικών: Η περίπτωση του Earth Cycle

Τα οφέλη της δόμησης με άψητη γη, σε συνδυασμό με αυτά της κυκλικής διαχείρισης της κατασκευαστικής διαδικασίας, γίνονται όλο και πιο ορατά και αναδυόμενα στον κόσμο της κατασκευής. Σε μεγάλα κέντρα πόλεων, όπως η Γενεύη, οι Βρυξέλλες, το Παρίσι λόγω της έλλειψης αποθηκευτικών χώρων για υλικά εκσκαφών και της πίεσης ως προς την διαθεσιμότητα παρθένου υλικού αλλά και την αυξανόμενη ευαισθητοποίηση για την υγεία και το περιβάλλον, έχουν αναπτυχθεί πρωτοβουλίες που βασίζονται σε νέα, κυκλικά μοντέλα.

Το παράδειγμα που επιλέχθηκε να αναλυθεί στα πλαίσια της παρούσας εργασίας αποτελεί ένα από αυτά, έχοντας μια πολύ ολοκληρωμένη προσέγγιση ως προς το κτίριο, την διαδικασία αλλά και έναν συνδυασμό εμπλεκόμενων μερών που του προσδίδει μια περαιτέρω πολιτική διάσταση.

A. EARTH CYCLE

Το project Earth Cycle ξεκίνησε ως εταιρική συμμετοχή⁵² στην πρόσκληση υποβολής προτάσεων αναζήτησης ενός νέου τρόπου αστικής ανάπτυξης στην περιοχή του Παρισιού, που οργανώθηκε από τις τοπικές αρμόδιες αρχές το 2016-2017. Η πρόσκληση με τίτλο “Reinventing cities” (Επανεφευρίσκοντας πόλεις) έθετε προβλήματα που προκύπτουν στην μητρόπολη, τον ποταμό Σηκουάνα αλλά και συγκεκριμένα σημεία της πόλης κατάλληλα για αστική ανάπτυξη.

Παράλληλα υπήρξαν συγκυρίες που δημιούργησαν πρόσφορο έδαφος για την δημιουργία του, όπως η έκθεση στο Κέντρο αρχιτεκτονικής και πολεοδομίας του Παρισιού Pavillon de l’Arsenal, με τίτλο “TERRES DE PARIS DE LA MATIÈRE AU MATÉRIAU” (Χώματα του Παρισιού, Από την ύλη στο υλικό) (εικόνα 3.2,3) που υποστηρίχθηκε από το αρχιτεκτονικό γραφείο Paul-Emmanuel Loiret & Serge Joly, την Amàco⁵³ και το CRAterre⁵⁴ με αφορμή τις τεράστιες ποσότητες χώματος από εκσκαφές στην περιοχή (*“στην Île-de-France εξορύσσονται ετησίως πάνω από είκοσι εκατομμύρια τόνοι γης, ενώ μέχρι το 2030 αναμένεται να προστεθούν περίπου σαράντα εκατομμύρια τόνοι στα πλαίσια εκσκαφών για την ανάπτυξη του μελλοντικού μητροπολιτικού δικτύου σιδηροδρόμων.”*⁵⁵). Ποσότητες που λόγω απαιτητικής διαχείρισης, όπως η δυσκολία στην αποθήκευση, την μετακίνηση και επεξεργασία (συχνά τοξικές) συσσωρεύονται στην ύπαιθρο. Η έκθεση είχε στόχο να μελετήσει την πορεία του υλικού, αποκαλύπτοντας την σχετικά ανεξερεύνητη μέχρι τώρα δυνατότητα ενός νέου, πιο ενάρετου κύκλου από την πρώτη ύλη στο υλικό. Πραγματοποιήθηκε εκτενής μελέτη

⁵⁰ https://www.ametro.gr/?page_id=7843

⁵¹ <https://pablolunastudio.com/>

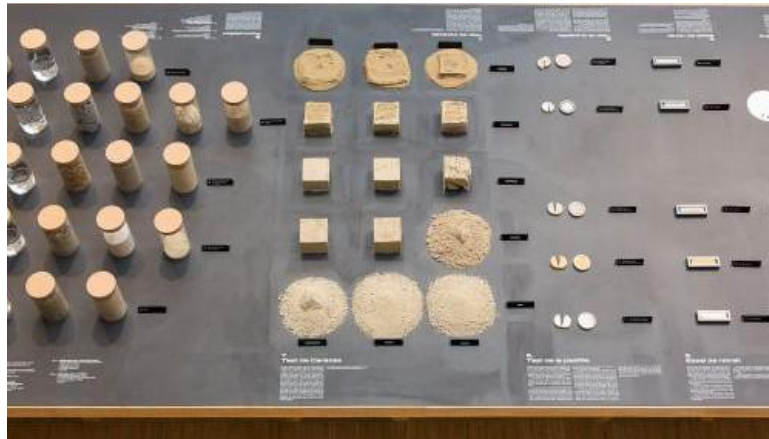
⁵² Πρόκειται για την Γαλλική εταιρεία QUARTUS.

⁵³ Βλ κεφ2

⁵⁴ ό.π.

⁵⁵ <https://www.pavillon-arsenal.com/fr/expositions/10485-terres-de-paris.html>

δειγμάτων για την σύσταση του υπεδάφους, και αδρανών της περιοχής από τις γεωτρήσεις διάνοιξης υποδομών μεταφοράς, ανάλυση της σύνθεσης και ποικιλομορφίας τους, καταγραφή κατάλληλων ή μη χαρακτηριστικών για την μετατροπή τους σε οικοδομικό υλικό, ανάπτυξη διαφορετικών τεχνικών δόμησης με χώμα.



Εικ.3.2,3 Στιγμιότυπα από την έκθεση "terre de paris, de la matière au matériau", Éditions du Pavillon de l'Arsenal, Οκτ 2016

ΠΗΓΗ:<https://www.pavillon-arsenal.com/fr/edition-e-boutique/collections/recherches-et-experimentations/10501-terres-de-paris.html>

Επιπλέον λίγο έξω από την πόλη, στο πλινθοποιείο Allonne, κατασκευάστηκαν σχεδόν 8.000 τούβλα από 15m³ αργιλώδους εδάφους της περιοχής Ile-de-France σε χρονικό διάστημα λίγων εβδομάδων. Ενέργεια που έγινε με την υποστήριξη παραγόντων στον τομέα αποθήκευσης και επανεπεξεργασίας (ECT πλατφόρμα διαχείρισης και αποθήκευσης αδρανών υλικών), Eurovia-SPL και Υρεμα κέντρα ανακύκλωσης) και απέδειξε την δυνατότητα μεγάλης ταχύτητας στην διεξαγωγή του εμπειρικού αυτού πειράματος, αλλά και υψηλής ποιότητας του αποτελέσματος.

Την ίδια περίοδο ξεκίνησε εκ νέου η πρόσκληση Urban Innovation Actions⁵⁶, μια πρωτοβουλία της Ευρωπαϊκής Ένωσης που παρέχει σε Ευρωπαϊκές αστικές περιοχές, πόρους για τη δοκιμή νέων και μη ενδεδειγμένων λύσεων στην αντιμετώπιση αστικών προκλήσεων.

Σε αυτά τα πλαίσια και με την υποστήριξη του UIA υλοποιήθηκε το Cycle Terre: EARTH CYCLE. Ξεκίνησε το 2019 με τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη της ιδέας, μέχρι την τελική κατασκευή και λειτουργία της εγκατάστασης το 2021. Το έργο αφορά στην ανάπτυξη μιας βιομηχανικής διαδικασίας παραγωγής πιστοποιημένων δομικών υλικών από χώμα, που εξάγεται τοπικά, σε δύο έργα κατασκευής σταθμών του μετρό. Πέρα από το λειτουργικό εργοστάσιο παραγωγής ουσιαστικά πρόκειται για την προώθηση ενός νέου αναπτυξιακού μοντέλου πολεοδομικού σχεδιασμού με βάση τη χρήση τοπικά ανασκαμμένου εδάφους από μεγάλα εργοτάξια.

Η παραγωγή στοχεύει στο πολύ χαμηλό αποτύπωμα άνθρακα της διαδικασίας, που περιλαμβάνει την παραλαβή του υλικού από τις εκσκαφές, την προετοιμασία (αποξήρανση, θρυμματισμός, κοσκίνισμα) είτε στους χώρους ανασκαφής είτε σε κάποια ενδιάμεση πλατφόρμα και τέλος την μετατροπή του σε οικοδομικά υλικά, με ρυθμό παραγωγής την ανακύκλωση 6.500 τόνων χώματος κάθε χρόνο. Τα παραγόμενα υλικά απαντούν σε τρεις διαφορετικές κατηγορίες: ωμόπλινθους, πάνελ από ελαφροπηλό αναμεμιγμένο με ίνες, υλικό επίστρωσης τοίχου-σοβάς που φτιάχνονται πιλοτικά, για δοκιμή σε αναπτυξιακά έργα στο τοπικό αστικό περιβάλλον. Επιπλέον λειτουργεί ένα παρατηρητήριο χώματος για αξιολόγηση της ροής υλικών και παροχή στοιχείων για αναβάθμιση της βιομηχανικής διαδικασίας. Πέρα από τα τεχνικά έργα, γίνεται ενεργή εμπλοκή των πολιτών καθώς και εκπαίδευση των τοπικών επιχειρήσεων για την δημιουργία περαιτέρω ευκαιριών κυκλικής οικονομίας.

Το έργο μπόρεσε να ενταχθεί στο νομικό πλαίσιο της Γαλλίας, το οποίο περιλαμβάνει ρυθμιστικές διατάξεις για την επεξεργασία και διαχείριση μολυσμένου και αδρανούς εδάφους εκσκαφών από το 1975. Αυτές περιλαμβάνουν τη διεξαγωγή μελετών κινδύνου και διάγνωσης ρύπανσης του εδάφους. Καθορίζουν επίσης τους στόχους αποκατάστασης για μολυσμένες περιοχές, μεθόδους διαχείρισης και ανάπλασης τους που στοχεύουν στη δημιουργία μιας αλυσίδας ευθυνών, από τον παραγωγό, στον διαχειριστή και τον μελλοντικό χρήστη γης σαν εργαλείο ιχνηλασιμότητας εξορυχθέντων υλικών. Επιπλέον η αναγκαιότητα του αναδύθηκε με τη συγκυρία της επέκτασης του σιδηροδρομικού δικτύου της πόλης. Η περιοχή του Παρισιού παράγει περίπου τριάντα εκατομμύρια τόνους ΑΕΚΚ ανά χρόνο, συμπεριλαμβανομένων είκοσι πέντε εκατομμυρίων τόνων αδρανών αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένων δεκαοχτώ εκατομμυρίων τόνων εκσκαμμένου εδάφους ετησίως. Με τις υποδομές του Grand Paris Express (GPE) και τις πολεοδομικές λειτουργίες που συνδέονται με αυτό οι ποσότητες αυτές αναμενόταν να αυξηθούν σε μεγάλο βαθμό. Υπολογίζονται εξήντα εκατομμύρια τόνοι έως το 2030 από την Société du Grand Paris (SGP). Επομένως τα επόμενα 20 χρόνια (το κείμενο που αναφέρεται σε αυτό γράφτηκε το 2020), θα ανασκαφούν 400 εκατομμύρια τόνοι γης, που θα θεωρούνται απόβλητα, συμπεριλαμβανομένων 40 εκατομμυρίων τόνων μόνο από το δίκτυο του μετρό Grand Paris Express.⁵⁷ Αυτή η τεράστια ποσότητα γης, χρειαζόταν να εξαχθεί, να μεταφερθεί και να αποτιμηθεί με έξυπνο και βιώσιμο τρόπο σε κλίμακα περιφέρειας αλλά και μεγαλύτερη κλίμακα μέσω ερευνητικών και καινοτόμων διαδικασιών.

Κύριο μέρος της διαδικασίας της πρότασης ήταν το κτίριο παραγωγής,(εικόνα 3.3) αλλά δεν ήταν το μόνο. Δομήθηκε ένα τοπικό οικοσύστημα για να υποδεχτεί μια τέτοια λειτουργία που περιλάμβανε την οργάνωση μιας διαδικασίας πιστοποίησης των παραγόμενων υλικών, τον υπολογισμό του οικολογικού τους αποτυπώματος για την δυνατότητα Αξιολόγησης του Κύκλου Ζωής τους, την εκπόνηση τριών εγγράφων Περιβαλλοντικής και Υγειονομικής Γνωμάτευσης της παραγόμενης τοιχοποιίας και επίστρωσης και τέλος την εκπαίδευση επαγγελματιών τόσο μηχανικών, αρχιτεκτόνων αλλά και κατασκευαστών στη χρήση αυτών των υλικών.

Το κτίριο επιλέχθηκε να κατασκευαστεί στο Sevran, κοντά στον μελλοντικό σταθμό, Sevran-Beaudottes, περιοχή όπου επιτρέπεται η δόμηση βιομηχανικών δραστηριοτήτων σύμφωνα με το Γαλλικό πολεοδομικό Κανονισμό. Ο σχεδιασμός έγινε με γνώμονα την χρήση οργανικών υλικών και υλικών γεωλογικής προέλευσης, για την ανάδειξη της αισθητικής ποιότητας τους σε έναν βιομηχανικό χώρο παραγωγής, αλλά και στα πλαίσια της ιδεολογίας του έργου για την προώθηση της αποτελεσματικότητας της πρότασης. Πρόκειται για μια κατασκευή με ξύλο στον σκελετό και τοίχους πλήρωσης με ωμόπλινθους και ξύλινα πάνελ, αλλά και δευτερεύοντα μεταλλικά στοιχεία, που λειτουργούν κατά κύριο λόγο συνδεδετικά. Έχει

⁵⁶ <https://uiq-initiative.eu/en/about-us/what-urban-innovative-actions>

⁵⁷ https://www.uiq-initiative.eu/sites/default/files/2020-06/Sevran%20Earth%20Cycle_0.pdf

συνολικό ύψος δώδεκα μέτρα, μέγεθος που συναντάται σε βιομηχανικούς χώρους, καθώς εξυπηρετεί λειτουργίες όπως οι φορτο-εκφορτώσεις.



Εικ.3.3 Εξωτερική άποψη του κτιρίου © schnepp.renou ΠΗΓΗ: /www.instagram.com/cycleterre/

Αναπτύσσεται σε μια ορθογωνική κάτοψη σε τέσσερις ζώνες που οργανώνονται από γραμμικά υποστυλώματα και καθεμία καλύπτεται με δίρριχτη στέγη. Οι περισσότεροι χώροι έχουν ύψος δεκατριών μέτρων, εκτός από αυτούς στην πρόσοψη που διαρθρώνεται σε δύο επίπεδα με έναν ενδιάμεσο ημιυπαίθριο χώρο. Η οργάνωση των χώρων εξυπηρετεί την ροή παραγωγής. (εικόνα 3.4) Πρόκειται για μια γραμμική διαδικασία με συγκεκριμένα βήματα που αποτυπώνεται και στην χωρική της ανάπτυξη. Το πρώτο σκέλος οργανώνεται σε σχήμα Γ, περιλαμβάνοντας κύρια είσοδο(1) που επιτρέπει την πρόσβαση τόσο σε οχήματα όσο και σε πεζούς, χώρο παραλαβής του εκσκαμμένου χώματος(2), ζώνη διαχωρισμού του υλικού(3) και αποθηκευτικά σημεία(4) τοποθέτησης του(εικόνα 3.5). Στον πυρήνα του κτιρίου αναπτύσσεται ο κύριος χώρος παραγωγής(5) των προϊόντων (εικόνα 3.7), ενώ μέρος του Γ καλύπτεται και από το σταθμό ξήρασης(6) τους (εικόνα 3.6), που ακολουθεί την παραγωγή. Στον εσωτερικό πυρήνα βρίσκεται επίσης το σημείο αποθήκευσης των τελικών παραγόμενων δομικών στοιχείων(7). Στην πρόσοψη του κτιρίου, στο σημείο της κύριας εισόδου, τοποθετούνται οι πιο εξωστρεφείς λειτουργίες, όπως στο ισόγειο το σημείο φορτοεκφόρτωσης(8) και στον ημιώροφο η υποδοχή με τα γραφεία του προσωπικού(9), ένας ενδιάμεσος ημιυπαίθριος χώρος ανάπαυσης(10), καθώς και ένας εργαστηριακός χώρος εκπαίδευσης μαζί με τα αποδυτήρια του προσωπικού(11). Στο επίπεδο του ισόγειου, αντιδιαμετρικά με την κύρια είσοδο, στην πρόσοψη του κτιρίου, γίνεται η έξοδος των οχημάτων(12).(εικόνα 3.9,10)



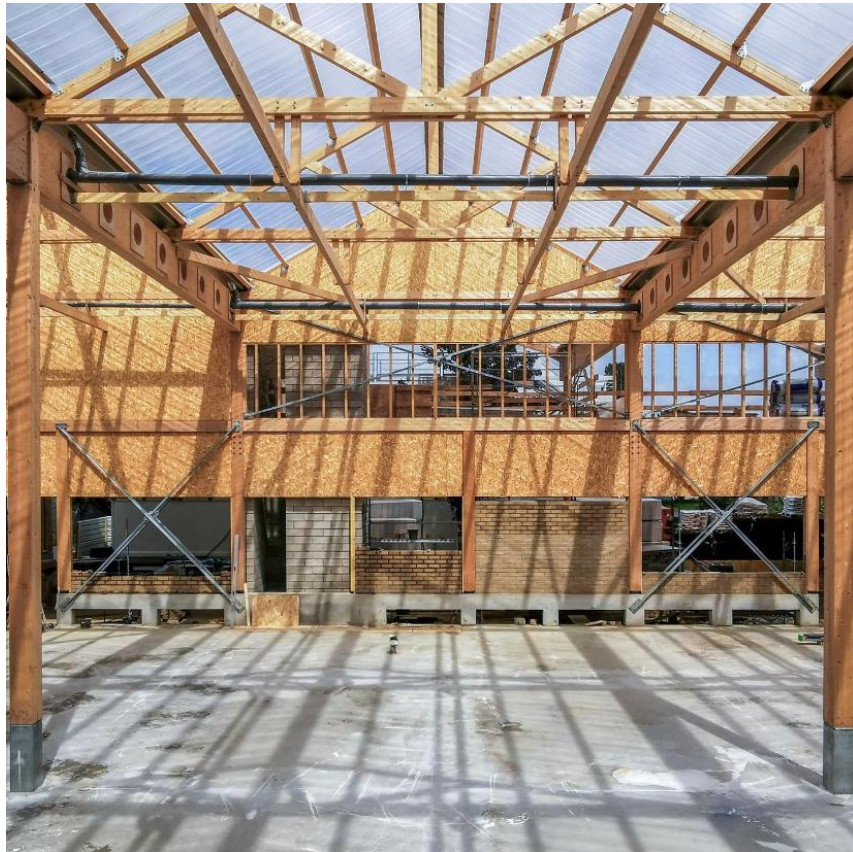
Εικ.3.4 Προοπτικό σχέδιο-διάγραμμα χωρικής οργάνωσης του EARTH CYCLE ΠΗΓΗ: Le site de production - Cycle Terre (cycle-terre.eu)



Εικ.3.5 Χώροι αποθήκευσης (4) ©schnepp.renou ΠΗΓΗ: /www.instagram.com/cycleterre/



Εικ.3.6 Σταθμός ξήρανσης (6) ©schnepp.renou ΠΗΓΗ: /www.instagram.com/cycleterre/



Εικ.3.7 Χώρος παραγωγής(5) ©schnepp.renou ΠΗΓΗ: /www.instagram.com/cycleterre/

Τα παραγόμενα υλικά είναι τρεις διαφορετικοί τύποι χωμάτινης δόμησης. Τα CEB ή BTC (Compressed Earth Block), συμπιεσμένες ωμόπλινθοι από ελαφρώς υγρή κοσκινισμένη γη, συμπιεσμένη με χρήση πρέσας (εικόνα 3.8). Αφού πιεστούν, αποθηκεύονται και αφήνονται να στεγνώσουν για μία έως τρεις εβδομάδες. Στην συνέχεια είναι έτοιμα για χρήση σε κάθε τύπου κάθετη τοιχοποιία, όπως πλήρωση σε ξύλινο σκελετό, εσωτερικές όψεις και επενδύσεις, αλλά και φέροντες τοίχους συγκεκριμένων προδιαγραφών, εσωτερικά χωρίσματα, εξωτερική χρήση με επίστρωση. Έχουν εύκολη τοποθέτηση, καθώς η τεχνική είναι πολύ κοινή με την κλασική κατασκευή με οπτόπλινθους, ενώ είναι εύκολα ανακυκλώσιμα.

Blocs de maçonnerie en terre crue

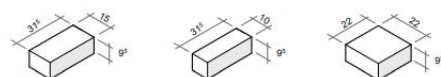
Les blocs à maçonner en terre crue comprimée BTC Cycle Terre permettent la réalisation de tous types de parois verticales : murs, cloisons, doublages, parements.

Les produits Cycle Terre sont fabriqués à Sevrans en utilisant des terres soigneusement sélectionnées et analysées, provenant des terrassements et déblais de chantiers de proximité.

GAMME BTC

Formats standards L x E x H (en mm ± 2 mm) - poids
Autres formats, 3/4, 1/2 et hauteur plus faible possibles

Standard	± 315 x 150 x 95	8,7 kg
Standard parement	± 315 x 100 x 95	5,8 kg
<i>sur commande</i>		
Classique carré	± 220 x 220 x 95	8,7 kg
Classique	± 295 x 140 x 95	7,5 kg



Exemple de blocs BTC standard, standard parement et classique carré



DOMAINES D'APPLICATION

Murs non porteurs en remplissage d'ossature
Parements et doublages intérieurs
Murs porteurs (R+1 max.)
Cloisons lourdes
Usage en extérieur enduit
Utilisable en rénovation

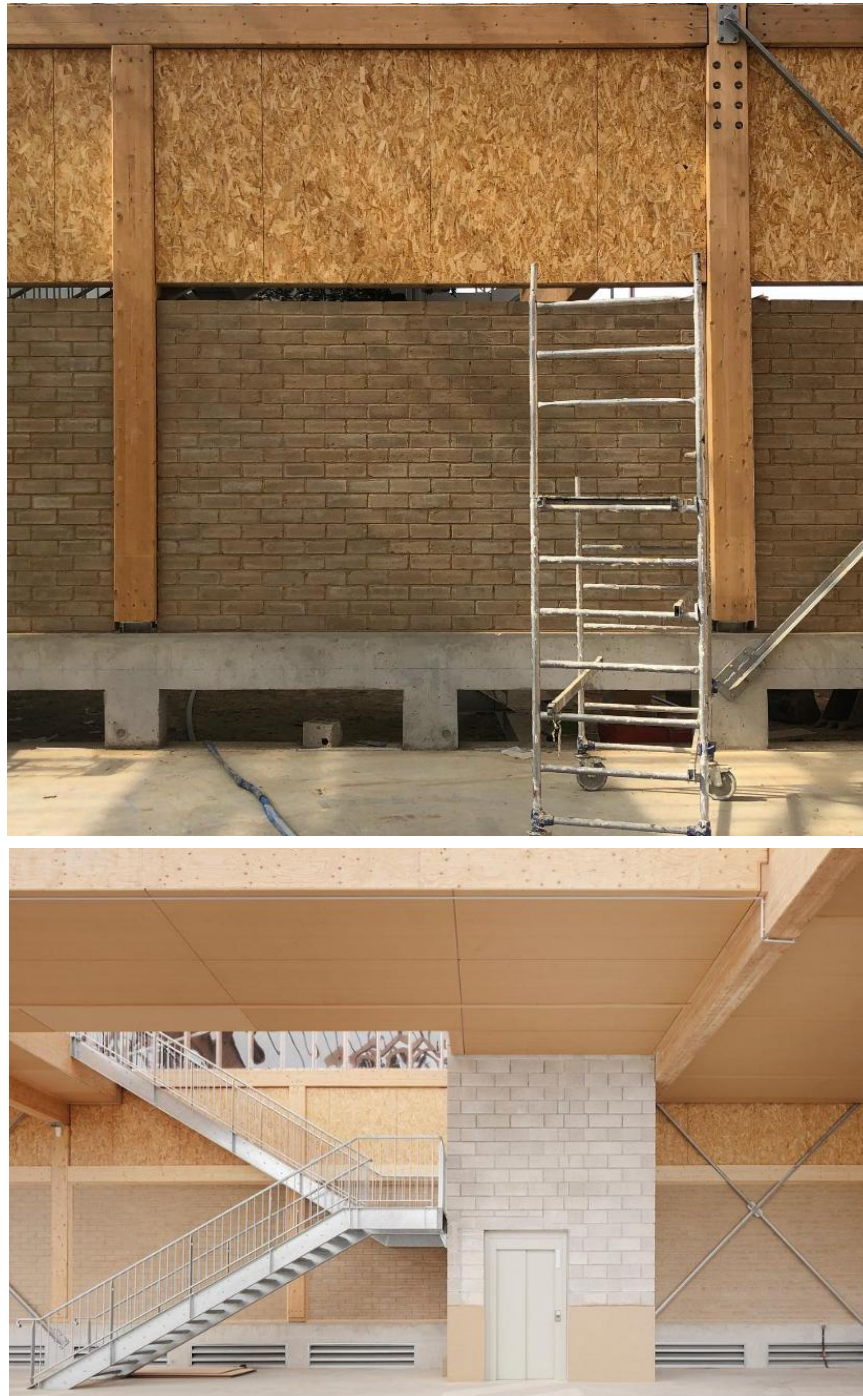
Εικ.3.8 Τεχνικό φύλλο παραγόμενων προϊόντων του Earth Cycle
ΠΗΓΗ: <https://www.cycle-terre.eu/mise-en-oeuvre/les-materiaux/>

Δεύτερο προϊόν τα πηλοεπιχρίσματα, κατασκευασμένα από φυσικό πηλό, χωρίς τεχνητά χρώματα και χρωστικές προσδίδοντας ένα αποτέλεσμα αυθεντικής και φυσικής γήινης ποιότητας. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εξωτερική επίστρωση χωρίς σταθεροποιητές αλλά σε χώρους προστατευμένους από την παρουσία έντονης υγρασίας. Χρησιμοποιούνται

για φινιρίσματα χωμάτων δομικών στοιχείων αλλά μπορούν να εφαρμοστούν και σε άλλους τύπους υποστρωμάτων όπως άχυρο, συμβατική τοιχοποιία, σκυρόδεμα κ.α. Είναι κατάλληλα για νέες κατασκευές αλλά και για αποκαταστάσεις.

Το τελευταίο παραγόμενο υλικό είναι τα πάνελ επένδυσης ΡΑΕ, που κατασκευάζονται με αντίστοιχο τρόπο όπως τα τούβλα, και χρησιμοποιούνται με τη μορφή επικαλυμμένων πλακών στερεωμένων σε ορθοστάτες ξύλινου ή μεταλλικού πλαισίου. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εσωτερικές και εξωτερικές τοιχοποιίες, χωρίς επικάλυψη ή με επίστρωση πηλοκονιάματος.

Τα χαρακτηριστικά κάθε υλικού, όπως τα μεγέθη, η σύνθεση, οι προτεινόμενη χρήση, οι μηχανικές αντοχές, αναγράφονται αναλυτικά στον ιστότοπο της εταιρείας.⁵⁸



Εικ.3.9,10 Εσωτερικοί χώροι του εργοστασίου της EARTH CYCLE ©schnepp.renou
ΠΗΓΗ: /www.instagram.com/cycleterre/

⁵⁸ <https://www.cycle-terre.eu/mise-en-oeuvre/les-materiaux/>

Κομμάτι του βιώσιμου χαρακτήρα του εργοστασίου αποτελεί και η οργανωτική του δομή. Η διαχείριση γίνεται μέσω μιας Συνεταιριστικής Εταιρείας Συλλογικού Ενδιαφέροντος (SCIC), που δημιουργήθηκε για αυτόν τον σκοπό και λειτουργεί προωθώντας αξίες συλλογικοποίησης, με κοινωνική-δημοκρατική διάσταση. Σε τέτοιου τύπου σχήματα το μεγαλύτερο μέρος των κερδών επανεπενδύεται στο εργοστάσιο ή χρησιμοποιείται για ανάπτυξη νέων δράσεων, που προκύπτουν σαν ανάγκες του νεοσύστατου αυτού τομέα δραστηριότητας.

Παράλληλα εμπλέκει και άλλους φορείς, όπως εταιρεία που ειδικεύεται στη διαχείριση και αποκατάσταση χώματος από χώρους δημοσίων έργων στην περιοχή του Παρισιού (ECT) και λειτουργεί σαν συμπληρωματικός συνεργάτης, αλλά και Δήμους, αρχιτέκτονες (Joly&Loiret), εκπαιδευτικά ιδρύματα, όπως η Amàco και CRAterre.

Ποσοτικά, έχει επιτύχει μετατροπή του 60% των επιλεγμένων χωμάτων σε δομικά υλικά, την κατασκευή χιλίων σπιτιών από χώμα μεταξύ του 2020-2022, την εκπαίδευση 100 ανθρώπων στο αντικείμενο των χωματινών υλικών και την παραγωγή τεσσάρων νέων τύπων υλικών που έχουν λάβει επίσημη πιστοποίηση.⁵⁹

CYCLE TERRE
 νέο μοντέλο πολεοδομικής ανάπτυξης που βασίζεται στη χρήση χώματος από τοπικές εκσκαφές σε μεγάλα εργοτάξια ως πρώτη ύλη

Οι υποδομές του Grand Paris Express (GPE) & σχετικές πολεοδομικές εργασίες αναμένεται να παράξουν έως το 2030, **60 εκ. T** χώματος εκσκαφής σε συνθήκη αποβλήτου

LA TERRE. UNE ÉCONOMIE CIRCULAIRE

Sevrans, France
 Η περιοχή του Παρισιού παράγει περίπου **30 εκ T** χρόνο
 εκ των οποίων **18 εκ T** χώμα εκσκαφών/ χρόνο

Πρόκειται για βιομηχανική διαδικασία που παράγει πιστοποιημένα οικοδομικά υλικά από χώμα που εξάγεται από κατασκευαστικές εργασίες σε 2 μεγάλους σταθμούς μετρώ.

Περιλαμβάνει:

- **Κινητό εργοστάσιο παραγωγής που παράγει:** τούβλα, πάνελ, ηλιοεπιχρίσματα για δοκιμή σε έργα τοπικής αστικής ανάπτυξης
- **Παρατηρητήριο Κύκλου χώματος** που αξιολογεί την ροή υλικών και συγκεντρώνει στοιχεία για αναπαραγωγή + αναβάθμιση της βιομηχανικής διαδικασίας.

Εμπλέκει πολίτες και εκπαιδεύει τοπικές επιχειρήσεις για την δημιουργία ευακριβών κυκλικής οικονομίας.

8000 ΤΟΝΟΙ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ/ΧΡΟΝΟ
 • 300,000 τούβλα (2500 T p/y)
 • 35,000 panels (700 T p/y)
 • 1,700 tons επιχρίσματα & κονίαμα

προϊόντα

- Συμμεσμένη Ωμόπλινθος (BTC)
- Σταθεροποιημένη Συμμεσμένη Ωμόπλινθος (BTCs)
- MEC plaster ηλιοεπιχρίσματα
- Κονίαμα (MP)
- πάνελ επένδυσης (PAE)

1. Εκκίνηση γραμμής παραγωγής για κατασκευή δομικών υλικών από χώμα εκσκαφής

2. Δημιουργία τεχνικών προδιαγραφών: 3 πιστοποιήσεις από φορέας πιστοποίησης της Γαλλίας (τούβλα, πάνελ, κονίαμα)

3. Συνεργασία με αρχιτέκτονες και μεσίτες για δημιουργία λικών και αξιολόγηση της διαδικασίας

4. Συμμετοχή των κατοίκων της περιοχής στη διαδικασία: ενημέρωση και πρόσληψη, εκπαίδευση τοπικών κατασκευαστών.

5. Παραγωγή οικοδομικών υλικών με πολύ χαμηλό περιβαλλοντικό αποτύπωμα.

6. Διευκόλυνση της μεταφοράς αυτού του νέου μοντέλου και σε άλλες περιοχές της Παρισιανής περιφέρειας αλλά και άλλες Ευρωπαϊκές πόλεις.

Εικ.3.11 Παρουσίαση των βασικών στοιχείων του έργου. ΠΗΓΗ: ίδια επεξεργασία, με συλλογή εικόνων από <https://www.cycle-terre.eu/cycle-terre/le-projet/> Σημ: η αναφορά στον φωτογράφο (όπου υπάρχει) γίνεται ξεχωριστά σε κάθε εικόνα της παρουσίασης.

⁵⁹ <https://www.uio-initiative.eu/en/uio-cities/sevrans>

Καθώς το συγκεκριμένο έργο αναπτύχθηκε στα πλαίσια ευρωπαϊκής χρηματοδότησης, αν και νεοσύστατο και με ελάχιστο χρόνο λειτουργίας, έχει χρειαστεί να κάνει απολογισμό της διαδικασίας, να αξιολογήσει τους κινδύνους, την βιωσιμότητα, του εγχειρήματος και μελλοντικές προοπτικές. Έχει θέσει ερωτήματα για διερεύνηση όπως το ζήτημα της κλίμακας και την ένταξη μιας τέτοιας δομής στον πολεοδομικό ιστό σε σχέση με την αποκέντρωση. Τα κλασικά βιομηχανικά προβλήματα που προκαλούν όχληση, όπως ο θόρυβος, η σκόνη, η κίνηση φορτηγών μπορεί να λειτουργήσουν αποτρεπτικά στην ανάπτυξη μιας βιομηχανίας. Γι αυτό και η ιστορική εξέλιξη των βιομηχανιών, έχει αναδείξει δύο περιπτώσεις: είτε την μετακίνηση βιομηχανιών από την πόλη, είτε την ενσωμάτωση σε ειδικές ζώνες της πόλης με αύξηση της αποδοτικότητας παραγωγής. Η πρώτη επιλογή είναι σαφώς αντίθετη με τους στόχους του έργου, που θέλει να αναπτύξει ένα αστικό, τοπικό οικοσύστημα, αλλά η δεύτερη επιλογή εγείρει το ζήτημα των συνεπειών αύξησης αποδοτικότητας (πχ με χρήση συλλεκτών σκόνης ή απορροφητή θορύβου) που απαιτεί μεγαλύτερο κεφάλαιο και άρα περισσότερη παραγωγικότητα, με αγορές πιο ισχυρών μηχανημάτων ή αυξημένη αυτοματοποίηση για παράδειγμα. Αυτή ήταν η ιστορική τάση της βαριάς βιομηχανίας, η οποία ώθησε τον κλάδο σε πιο συγκεντρωτικά σχήματα, με λιγότερους ανθρώπους να απασχολούνται και συχνά εκτός αστικών κέντρων.⁶⁰

Από την άλλη, η μη βιομηχανοποιημένη παραγωγή μειώνει δραστικά την παραγωγικότητα και αυξάνει ακραία το κόστος παραγωγής. Αλλά ακριβότερα προϊόντα σημαίνει και μειωμένη διείσδυση στην αγορά, που δεν ορίζει μια μη βιώσιμη παραγωγή, αλλά τον περιορισμό σε πολύ συγκεκριμένα κοινωνικά στρώματα που έχουν πρόσβαση σε προϊόντα υψηλής ποιότητας. Επομένως το έργο στα πλαίσια απολογισμού του, αναζητά το ιδανικό επίπεδο μηχανοποίησης και την σωστή ποσότητα παραγωγής.

Επιπλέον για την απομάκρυνση από την κλασική βαριά βιομηχανία και την απλοποιημένη προσέγγιση της παραγωγής σε μια αστική περιοχή, πρέπει κανείς να εξετάσει και ψηφιοποιημένες τεχνικές. Η τεχνολογική εξέλιξη έχει παράξει μια έκρηξη νέων επιχειρηματικών μοντέλων που έχουν επανεφεύρει κλασικά σχήματα παραγωγής και μεταμορφώσει τις εγκαταστάσεις παραγωγής. Η παράδοση κατ' απαίτηση, για παράδειγμα, επιτρέπει τη δραστική μείωση της κλίμακας παραγωγής, ακόμη και για βιομηχανοποιημένα προϊόντα, αρκεί να μπορούν να παραχθούν με νέα ψηφιακά εργαλεία. Η τρισδιάστατη εκτύπωση επιτρέπει την παραγωγή μοναδικών κομματιών κατά παραγγελία, χωρίς να χρειάζεται εγκατεστημένη μονάδα παραγωγής, που θα απαιτούσε παραγωγή μεγάλης ποσότητας τεμαχίων, τα οποία με τη σειρά τους δημιουργούν την ανάγκη για μεγάλο χώρο αποθήκευσης και άρα εκτός πόλης εγκαταστάσεις.

Ως εκ τούτου, η διείσδυση της ψηφιοποίησης στην κλασική κατασκευή επέτρεψε την επανεμφάνιση μικρών εργοστασίων στις πόλεις. Ωστόσο το συγκεκριμένο έργο, έχει σαφώς άλλο επιχειρηματικό μοντέλο που βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην χειρονακτική προσέγγιση της εργασίας χωρίς έξυπνες τεχνολογίες. Το κατά πόσο θα μπορέσει να λειτουργήσει ή να ενταχθεί αργότερα σε ψηφιοποιημένες μεθόδους είναι επίσης ένα ερώτημα που τίθεται στην διαδικασία αξιολόγησής του.

Τα οφέλη και οι στόχοι του εγχειρήματος είναι σαφή και μπορούν να αναλυθούν σε τρεις άξονες.

1. Την επανατοπικοποίηση των υλικών. Αντίθετα με το συμβατικό τρόπο δόμησης που παράγει περίσσεια εκσκαφών που αποθέτει σε χωματερές και ταυτόχρονα εξάγει παρθένα αδρανή από μακρινές τοποθεσίες και καταναλώνει ενέργεια για την ανασύστασή τους σε υλικά όπως το σκυρόδεμα, στο EARTH CYCLE η παραγωγή δομικών υλικών γίνεται απευθείας από το υλικό της επί τόπου εκσκαφής, επιτυγχάνοντας ελαχιστοποιημένες μεταφορές, ανάγκες σε υγειονομική ταφή και πίεση σε παρθένους πόρους.
2. Την επανατοπικοποίηση του κέρδους. Καθώς το κόστος αποτελεί πάντα μια από τις πρωταρχικές παραμέτρους στην αξιολόγηση δυνατότητας επίτευξης μιας κατασκευής, μέσω του EARTH CYCLE γίνεται ένας επαναπροσδιορισμός της έννοιας αυτής. Ένας ορισμός του κόστους θα μπορούσε να αφορά στους πόρους που καταναλώθηκαν για την ολοκλήρωση μιας δραστηριότητας ή παραγωγή κάποιου προϊόντος. Υπάρχουν πολλές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για διευκόλυνση στην λήψη οικονομικών αποφάσεων σε ένα έργο και σχετίζονται με την αξιολόγηση του κόστους σε διαφορετικές φάσεις. Κατά κύριο λόγο επιτρέπουν τον ποσοτικό προσδιορισμό του κόστους στις διαφορετικές δραστηριότητες και σπάνια αξιολογούν την πηγή αυτών των δαπανών (υλικά, εργασία, κ.λπ.) και την χωρική

⁶⁰ ό.π

κατανομή τους (αν οι προμηθευτές και υπεργολάβοι βρίσκονται κοντά στο έργο ή όχι). Ο πολιτικός στόχος του project είναι να επαναφέρει χωρικά και υλικά τη ροή χρημάτων που εμπλέκονται στον κατασκευαστικό τομέα, μέσω της δημιουργίας τοπικής απασχόλησης με την χρήση τοπικών πόρων. Η χαρτογράφηση των ροών και η αποτύπωση μιας σαφούς εικόνας των οικονομικών σχέσεων σε ένα έργο, μπορεί να έχει σημαντικό αντίκτυπο στο τοπικό κοινωνικοτεχνικό σύστημα, γι αυτό υπάρχει και συνεργασία με ερευνητικά ινστιτούτα (Science Po και IFSTTAR) που αναλαμβάνουν την αξιολόγηση αυτού του οικονομικού μετασχηματισμού.

3. Την επανατοπικοποίηση γνώσης. Αντίθετα από το τρέχον οικονομικό σύστημα που έχει ωθήσει την ενσωμάτωση της γνώσης στο ίδιο το υλικό αντί στην διαδικασία εφαρμογής του υλικού. Για παράδειγμα, ένα κονίαμα αγορασμένο σε ένα συμβατικό λιανοπωλητή μπορεί να περιέχει έως και είκοσι διαφορετικές προσμίξεις, (μικροποσότητες συγκεκριμένων συστατικών που επηρεάζουν τις ιδιότητες του). Με συγκεκριμένους συνδυασμούς χημικών συστατικών, μεταβάλλουν την ταχύτητα πήξης, την ρευστότητα, την πλαστικότητα του συμβατικού κονιάματος ελαχιστοποιώντας τις δεξιότητες που απαιτούνται για την εφαρμογή του. Το EARTH CYCLE επιδιώκει να επαναφέρει την αντίθετη στρατηγική. Να προωθήσει ένα απλό υλικό, καθαρό (εικόνα 3.13) ή με προσθήκη μερικών ινών στο μείγμα για καλύτερη αντοχή, αλλά μια εφαρμογή που απαιτεί υψηλότερο επίπεδο δεξιοτήτων. Με έμφαση στην εκπαίδευση των εργαζομένων για ενίσχυση της τοπικής απασχόλησης και ανάπτυξη εξειδικευμένης τεχνογνωσίας.



Εικ.3.12 Ποικιλία τύπων χώματος ©Amàco ΠΗΓΗ: <https://www.cycle-terre.eu/cycle-terre/le-projet>

Αντίστοιχα καινοτόμα παραδείγματα, συναντώνται και σε άλλες Ευρωπαϊκές πόλεις. Μια περίπτωση είναι η Βελγική ομάδα των BC Architects, που ασχολείται τόσο με την παραγωγή υλικών, όσο και με τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό και κατασκευή χωμάτων κτιρίων. (εικόνα 3.14)



«Μετατρέπουμε το χώμα από τα εργοτάξια σε τοπικά κυκλικά, ουδέτερα σε άνθρακα, αβλαβή οικοδομικά υλικά.

Διαθέτουμε τον χώρο του εργοστασίου, για παραγωγή, & κινητή, ευέλικτη μονάδα για επί τόπου παραγωγή στο έργο. Η υποδομή παραμένει κοντά στους πόρους: οι μεταφορές μειώνονται στο ελάχιστο δυνατό.



παραγωγή υλικών από χώμα εκσκαφής.

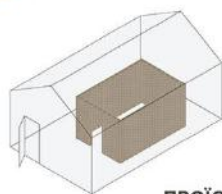
Εργοστάσιο & μονάδα επιτόπιος παραγωγής.



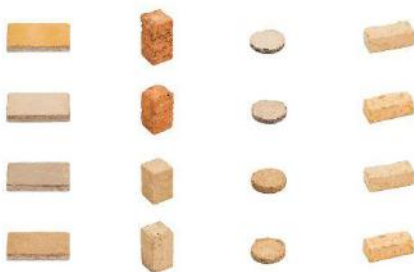
ΒΡΥΞΕΛΛΕΣ, ΒΕΛΓΙΟ

Στο Βέλγιο γίνεται εκσκαφή περίπου 37 εκ τ/ χρόνο

70% από αυτό καταλήγει σε χώρους υγειονομικής ταφής ως απόβλητο



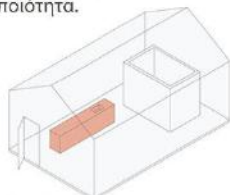
ΠΡΟΪΟΝΤΑ



ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ έλεγχος πόρων ως προς την καθαρότητά τους από ανεξάρτητα εργαστήρια σύμφωνα με τους Βέλγικους κανονισμούς. Ως εκ τούτου, τα χρησιμοποιούμενα υλικά δεν είναι μολυσμένα. Ωστόσο προέρχονται από εργοτάξια και είναι ετερογενή. Οι BC architects τα αναμειγνύουν δημιουργώντας τα επιθυμητά μείγματα.

1. Συμπιεσμένοι ωμόπλινθοι (CEB) [14x28x9 cm] χρήση σε φέρουσες ή μητοιχοποιίες, παράδοση σε παλέτες (145 μονάδες) Μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην ωμή του μορφή ή με επίχρυσμα.

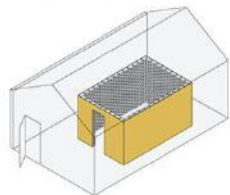
Μπορεί να συγκριθεί με οπτόπλινθους, η τιμεντόλιθους, αλλά με πολύ καλύτερη θερμοχωρητικότητα, υγρασία ισορροπίας και ακουστική ποιότητα.



2. Kastar: [σάκοι των 1000 κιλών] χρήση σε τοιχοποιία και δάπεδο

αφήνεται σαν τελική επίστρωση μπορεί να συγκριθεί με γυαλισμένο σκυρόδεμα, έχει παρόμοια μονολιθική αισθητική & θερμική αδράνεια

- πολύ πιο εύκολη επισκευή
- καλύτερη ρύθμιση υγρασίας
- εξαιρετική ακουστική



3. Brusselair μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως φινιρίσμα, ή με επιπλέον βαφή έγχρωμου σοβά. αντικαθιστά τα κλασικά επιχρίσματα τύπου ασβέστη. Ρυθμίζει την υγρασία, είναι διαπνεόν και βελτιώνει την ακουστική.



Εικ. 3.13 Παρουσίαση των BC architects. Η ιδέα της ομάδας, τα παραγόμενα προϊόντα και επιλεγμένα έργα τους.

ΠΗΓΗ: ίδια επεξεργασία, με συλλογή εικόνων από <https://architects.bc-as.org/> Σημ: η αναφορά στον φωτογράφο (όπου υπάρχει) γίνεται ξεχωριστά σε κάθε εικόνα της παρουσίασης

Αντίστοιχα λειτουργεί και η Terrablock από την Ελβετία, που εστιάζει στην παραγωγή συμπιεσμένων ωμόπλινθων με μια κατά κύριο λόγο εκβιομηχανποιημένη διαδικασία, επιτυγχάνοντας μαζική παραγωγή. (εικόνα 3.15)

ΓΕΝΕΥΗ, ΕΛΒΕΤΙΑ

Η περίσσεια χώματος συνθώς δεν αξιοποιείται
παρά αφήνεται σε χώρους υγειονομικής ταφής.
Στη Γενεύη η ποσότητα αυτή ανιστοιχεί σε
3 εκ m³ / χρόνο

Παραγωγή τούβλων
από περίσσεια
χώματος εκσκαφών
βιομηχανοποιημένη
διαδικασία/ χρήση
υφιστάμενων
υποδομών

terrablocc
produit de construction en terre crue

νικητής του βραβείου Prix SUD
βιώσιμης start-up από τη Le Temps

TERRABLOC
PRODUCTION ARTISANALE IN SITU / HANDWERKLICHE PRODUCTION IN SITU

Στάδια κατασκευής ωμόπλινθων BTC
η προετοιμασία χώματος, ανάμειξη και σταθεροποίηση, συμπίεση, παλετοποίηση & ξήρανση

ΧΕΙΡΩΝΑΚΤΙΚΗ + ΒΙΟΜΗΧΑΝΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ

TERRABLOC / TERRAPAD
PRODUCTION INDUSTRIELLE / INDUSTRIELLE PRODUCTION

Η εκβιομηχάνιση
της διαδικασίας
έχει αυξήσει στην
Terrabloc την ικανότητα
παραγωγής σε
1.000-25.000
πλίνθους/ μέρα

EPFO: σχολική μονάδα στο Rijaz... εσωτερικά χωρίσματα Terrabloc
FAZ Architects/ © Paola Corsini

EPFO: Κτίριο γραφείων στο Saint-Sulpice... εξωτερικές τοιχοποιίες terrablocc
2020 Studio SML © Terrabloc

Εικ.3.14 Παρουσίαση TERRABLOCK, κεντρική ιδέα, πληροφορίες παραγωγής και επιλεγμένα έργα. ΠΗΓΗ: Ιδία επεξεργασία με συλλογή εικόνας από <http://www.terrablocc.ch/> Σημ: η αναφορά στον φωτογράφο (όπου υπάρχει) γίνεται ξεχωριστά σε κάθε εικόνα της παρουσίασης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

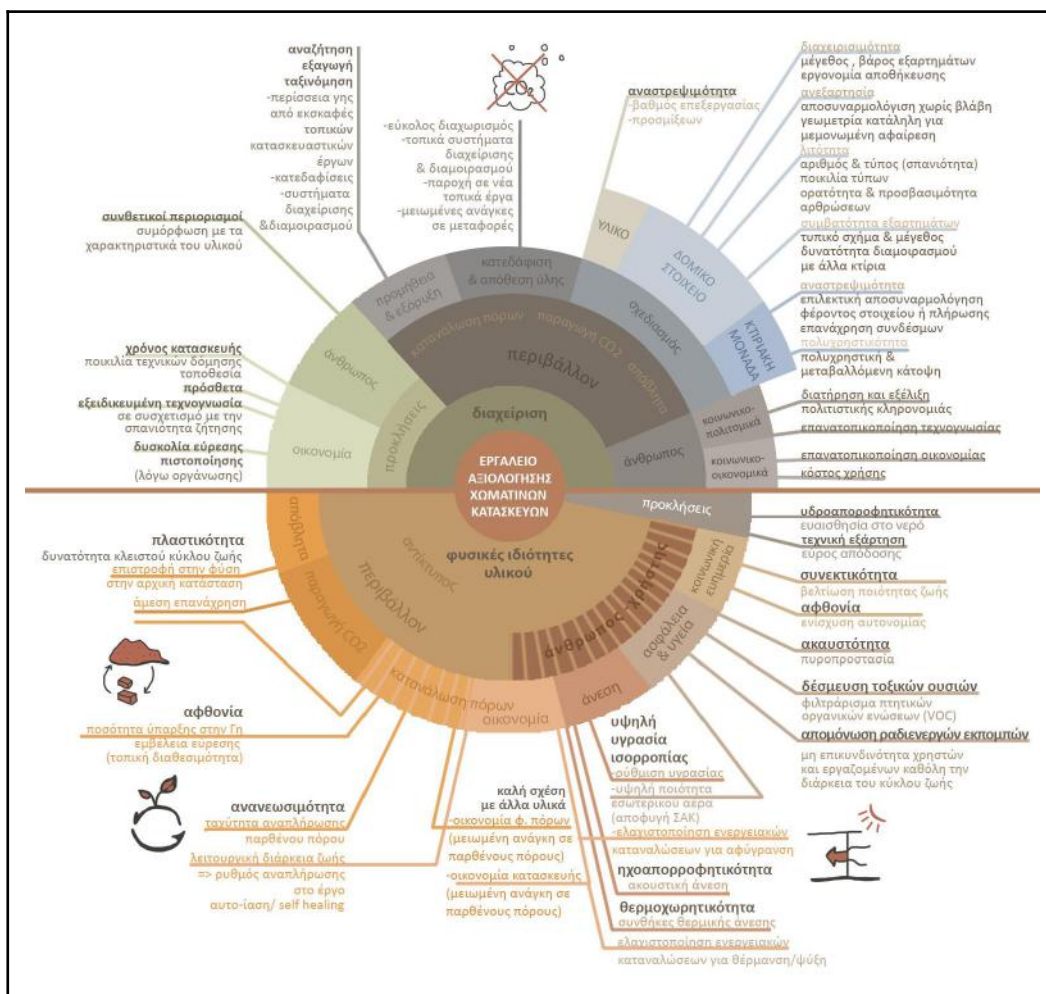
4.1 Διάγραμμα αξιολόγησης χωμάτων κατασκευών

Η ροή της σκέψης και έρευνας που πραγματοποιήθηκε, συγκεντρώθηκε και κατηγοριοποιήθηκε με την δημιουργία ενός διαγράμματος. (εικόνα 3.16) Στόχος ήταν η παραγωγή ενός εργαλείου για την συνολική αποτίμηση του αντίκτυπου και των προκλήσεων που χαρακτηρίζουν την επιλογή χρήσης χώματος στην κατασκευή. Το εργαλείο έχει κυκλική μορφή και η ανάγνωσή του γίνεται από τον πυρήνα προς τους εξωτερικούς δακτύλιους.

Στον κεντρικό κύκλο τοποθετήθηκε ο τίτλος του "Εργαλείο αξιολόγησης χωμάτων κατασκευών". Πρόκειται για τίτλο που δεν είναι αυστηρά ακριβής, καθώς το διάγραμμα δεν προσφέρει μια συνολική αξιολόγηση χωμάτων κατασκευών (πχ δεν τίθεται καθόλου ο αισθητικός παράγοντας), αλλά συμπυκνώνει την πρόθεση του αποφεύγοντας να γίνει πολύ περιφραστικός όπως "διάγραμμα συνολικής αποτίμησης του περιβαλλοντικού αντίκτυπου και των προκλήσεων κατασκευών από χώμα".

Για την οργάνωση των πολλαπλών παραγόντων που εμπλέκονται σε μια τέτοια αξιολόγηση, έγινε ένας βασικός διαχωρισμός που αφορά: αφενός στο υλικό καθεαυτό με τα χαρακτηριστικά του, που προκαθορίζονται από την φύση του και είναι ανεξάρτητα του τρόπου χρήσης του και αφετέρου στον τρόπο χρήσης του που διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην αποτίμηση αυτή.

Βασική ιδέα στην ανάπτυξη της εργασίας, είναι η συνειδητοποίηση ότι το χώμα, όπως και κάθε τι φυσικό δεν είναι βιώσιμο σε κάθε περίπτωση απλά επειδή είναι φυσικό. Η προέλευση του είναι μια σημαντική αλλά όχι επαρκής συνθήκη (όπως σε κάθε περίπτωση greenwashing). Η διαχείρισή του είναι αυτή που μπορεί να το καταστήσει από μη βιώσιμο έως αναγεννητικό. Οπτικά στο διάγραμμα αυτές οι δύο παράμετροι: φύση υλικού και διαχείριση οργανώνονται στα δυο ημικύκλια, πάνω και κάτω που διαχωρίζονται με μια γραμμή.



Εικ.4.1 Διάγραμμα: "Εργαλείο αξιολόγησης χωμάτων κατασκευών" ΠΗΓΗ: Ιδία επεξεργασία

Από την σκοπιά του υλικού λοιπόν, στην κάτω πλευρά αναλύονται τα φυσικά χαρακτηριστικά του χώματος (εικόνα 3.17) ανάλογα με το αντίκτυπο που έχουν στην χρήση του ως οικοδομικό υλικό :

- a) στο περιβάλλον και τον άνθρωπο καθώς και
- b) οι προκλήσεις που επιφέρει η χρήση του στην κατασκευή.

Σε μια πρώτη προσέγγιση οι κατηγορίες περιβάλλον και άνθρωπος διαχωρίστηκαν, αλλά κατά την ανάλυσή τα δεδομένα συνέπιπταν. Αυτό εξηγείται λογικά καθώς, ο αντίκτυπος στον άνθρωπο (ως κομμάτι του περιβάλλοντος) επηρεάζει το ίδιο το περιβάλλον αφού οι συνθήκες μη άνεσης/υγείας/ασφάλειας συνεπάγονται άμεσα κατανάλωση πόρων για επίλυση ζητημάτων διαβίωσης και αντιστρόφως η μη επιβάρυνση του περιβάλλοντος συνεπάγεται άμεσα καλύτερη διαβίωση του ανθρώπου σε αυτό (μειωμένη ρύπανση, ισορροπία πόρων, λιγότερες ασθένειες κ.α.).

Επομένως στην τελική του μορφή στο διάγραμμα, ο άνθρωπος τοποθετείται σαν υποκατηγορία του περιβάλλοντος και αναλύεται στους τομείς:

- α. κοινωνική ευημερία
- β. υγεία και ασφάλεια
- γ. άνεση
- δ. οικονομία

Εδώ ουσιαστικά τοποθετούνται όλα τα στοιχεία που αναλύθηκαν στο δεύτερο κεφάλαιο, και αποτελούν την απάντηση στο ερώτημα του γιατί η επιλογή χώματος στην δόμηση έχει σημασία. Στον τομέα της κοινωνικής ευημερίας μπαίνουν τα χαρακτηριστικά: της συνεκτικότητας του πηλού, που το καθιστά κατάλληλο για χρήση σαν δομικό υλικό χωρίς την ανάγκη για εκτεταμένη, ενεργοβόρα επεξεργασία, γεγονός που επιδρά στην βελτίωση ποιότητας ζωής. Επιπλέον η αφθονία που επιτρέπει την ενίσχυση της αυτονομίας μιας κοινωνικής δομής (σε κλίμακα χώρας, πόλης) λόγω της ανεξαρτησίας σε πόρους. Με την ασφάλεια και υγεία συνδέονται τα χαρακτηριστικά της: ακουστότητας και δέσμευσης τοξικών ουσιών καθώς και η απομόνωση ραδιενεργών εκπομπών, που προσφέρουν πλεονεκτήματα ως προς την πυροπροστασία, την προστασία από ΠΟΕ και ραδιενεργές εκπομπές αντίστοιχα. Ως προς τις συνθήκες άνεσης του χρήστη: η δυνατότητα ηχοαπορρόφησης του πηλού προσφέρει ακουστική άνεση, ενώ η υψηλή υγρασία ισορροπίας και θερμοχωρητικότητα προσφέρουν θερμική άνεση και ποιότητα εσωτερικού αέρα. Σε αυτό το σημείο, όπως και σε άλλα αυτού του διαγράμματος τα χαρακτηριστικά του υλικού ανταποκρίνονται σε περισσότερους του ενός τομείς. Για παράδειγμα η θερμοχωρητικότητα επηρεάζει επίσης την οικονομία, τόσο του χρήστη, όσο και του περιβάλλοντος από άποψη κατανάλωσης φυσικών πόρων (καθώς όπως εξηγήθηκε παραπάνω η άνεση που δημιουργείται με παθητικούς τρόπους σημαίνει ελαχιστοποίηση κατανάλωσης ενέργειας για επίτευξη με μηχανικούς τρόπους και άρα μη χρήση παρθένων πόρων, εκπομπές διοξειδίου κλπ.). Επίσης παράδειγμα αποτελεί η υγρασία ισορροπίας που επηρεάζει την άνεση, αλλά και την υγεία με αποφυγή συνδρόμου άρρωστου κτιρίου καθώς και την οικονομία, χρήστη και περιβάλλοντος, όμοια με την προηγούμενη περίπτωση.

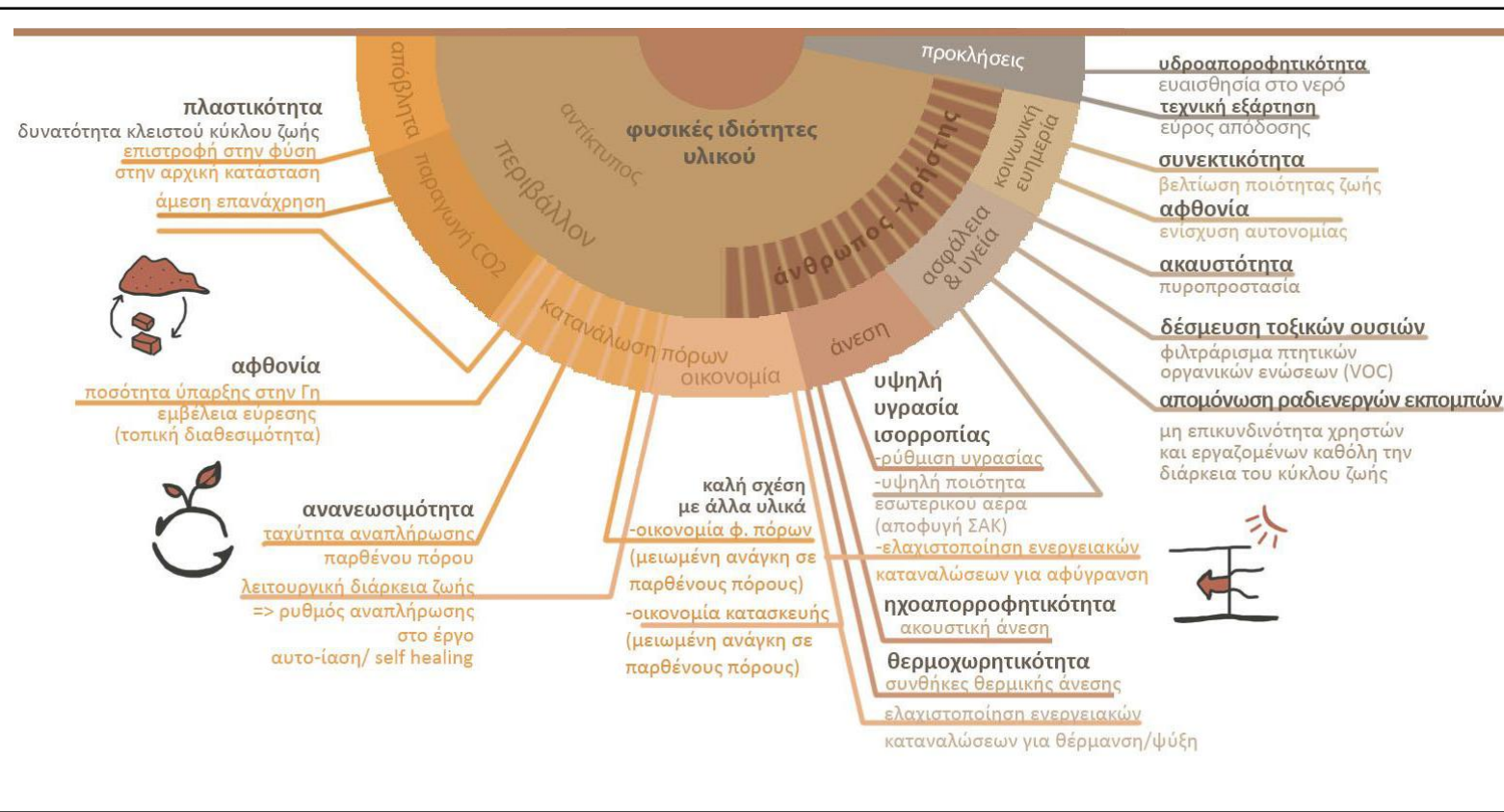
Το περιβάλλον αναλύεται σε τρεις κατηγορίες που κρίνονται ως γενικές, ώστε να περιλαμβάνουν και άλλους τομείς περιβαλλοντικών προκλήσεων. (Παραδείγματος χάριν η κλιματική αλλαγή, η ενεργειακή κρίση, η ερημοποίηση εδαφών, η απώλεια της βιοποικιλότητας, υπάγονται ή είναι αποτέλεσμα των τριών γενικών κατηγοριών). Οι κατηγορίες είναι:

1. κατανάλωση παρθένων φυσικών πόρων
2. παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα
3. παραγωγή αποβλήτων

Βασικό χαρακτηριστικό του πηλού που επηρεάζει και τις τρεις κατηγορίες είναι η πλαστικότητα του. Η δυνατότητά του να αποκτά συνεκτική δομή χωρίς πρόσμικτα ή επεξεργασία και παράλληλα να επανέρχεται στην αρχική του μορφή χωρίς ιδιαίτερη κατανάλωση ενέργειας συνεπάγεται: α. Άμεση επιστροφή στην φύση χωρίς παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα από επεξεργασία ή μεταφορά, καθώς και μη παραγωγή αποβλήτων β. Δυνατότητα επανάχρησης, άρα και οικονομία παρθένων πόρων. Επιπλέον χαρακτηριστικό που είναι κρίσιμο ως προς τον αντίκτυπο της χρήσης του στο περιβάλλον είναι η ανανεωσιμότητα. Η δημιουργία χώματος είναι μια ατέρμονη φυσική διαδικασία διάβρωσης πετρωμάτων. Το γεγονός ότι συμβαίνει φυσικά και αέναα ωστόσο δεν αρκεί για να καταστήσει το χώμα ως ανανεώσιμο πόρο. Το πετρέλαιο για παράδειγμα δημιουργείται φυσικά και διαρκώς από αποσύνθεση ζωικών και φυτικών οργανισμών που εγκλειστήκαν

μέσα στα πετρώματα σε μεγάλο βάθος στη Γη. Ο ρυθμός ανανέωσής του όμως δεν φτάνει τον ρυθμό κατανάλωσής του από τον άνθρωπο. Στην περίπτωση του πηλού όμως τα δύο άλλα χαρακτηριστικά του εξισορροπούν αυτή του την ιδιότητα. Η πλαστικότητα του είναι αυτή που σε αντίθεση με το πετρέλαιο του επιτρέπει παρότι αλλάζει μορφή κατά την χρήση να μπορεί πάντα να επιστρέψει στην αρχική του κατάσταση, άρα η αέναη επανάχρηση του το καθιστά ανανεώσιμο. Η εμβέλεια εύρεσης επίσης παίζει σημαντικό ρόλο στην αξιολόγησή του, καθώς το να χαρακτηρίζεται από αφθονία αλλά σε πολύ συγκεκριμένα σημεία του κόσμου, συνεπάγεται αυτομάτως μεταφορές για την χρήση του. Το χώμα όμως έχει διάχυτη διαθεσιμότητα εκτός από ιδιαίτερες περιοχές όπως αυτές με μόνιμο παγετό, οικοσυστήματα με γυμνά βράχια ή ερήμους άμμου.

Στο πρώτο αυτό κομμάτι αξιολόγησης του υλικού προστίθεται και η κατηγορία των προκλήσεων, δηλαδή των χαρακτηριστικών του που δυσχεραίνουν την χρήση του οικοδομικά. Εδώ εισέρχεται η υδροαπορροφητικότητα του χώματος που το καθιστά ευαίσθητο στην επαφή του με το νερό. Η υδροαπορροφητικότητα δεν αποτελεί εμπόδιο στην αξιοποίηση του, αλλά προκαθορίζει ορισμένες σχεδιαστικές παραμέτρους. Επίσης καθιστά την κατασκευή συνδεδεμένη άμεσα με το τοπικό κλίμα. Η ανθεκτικότητα της σε ξηρά κλίματα είναι πολύ μεγάλη (όπως αποδεικνύεται από κατασκευές που χρονολογούνται χιλιάδες χρόνια πριν) ενώ σε υγρά κλίματα, οι συχνές βροχοπτώσεις μπορούν να προκαλέσουν επιφανειακή διάβρωση (ειδικά σε μη σταθεροποιημένο χώμα). Αυτή η πρόκληση επαναφέρει την ζωτική σχέση της αρχιτεκτονικής με τον τόπο, σε αντίθεση με τα επεξεργασμένα υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή, όπως το σκυρόδεμα ή το μέταλλο. Ίσως ο χαρακτηρισμός πρόκληση σε αυτό το σημείο να αδικεί το χώμα, καθώς υπερτονίζει τον "περιορισμό" που θέτει η κλιματολογική παράμετρος αντί να αναδεικνύει την σημασία αυτής της σχέσης στα πλαίσια βιωσιμότητας της αρχιτεκτονικής. Επίσης στις προκλήσεις τοποθετείται η σημασία της τεχνογνωσίας. Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του χώματος οικοδομικά, όπως η αντοχή εξαρτώνται σε πολύ μεγάλο βαθμό από την τεχνική ικανότητα των κατασκευαστών. Αυτό χαρακτηρίζει σε ένα βαθμό όλα τα οικοδομικά υλικά, αλλά όπως αναλύθηκε και στο τρίτο κεφάλαιο, η χρήση χώματος επαναφέρει σε πρωταρχικό ρόλο την εξειδικευμένη γνώση του κατασκευαστή, έναντι της ενσωματωμένης γνώσης του υλικού. Το ίδιο χαρακτηριστικό ταυτόχρονα με την αδυναμία που του προσφέρει η άμεση εξάρτησή του από την κατασκευή, προσδίδει σημαντική ενδυνάμωση στον ανθρώπινο παράγοντα, μέσω επανατοπικοποίησης της γνώσης.



Εικ.4.2 Διάγραμμα: "Εργαλείο αξιολόγησης χωμάτων κατασκευών" Μέρος Α ΠΗΓΗ: Ιδία επεξεργασία

κεφάλαιο 3.1 περιλαμβάνει από την χωρίς αδειοδότηση εγκατάλειψη στην φύση, την υγειονομική ταφή σε ΧΥΤΑ ή την επανάχρηση για εξωραϊσμό τοπίων και χωματουργικές εργασίες. Ακόμα και στο σενάριο που ο διαχωρισμός των ΑΕΚΚ είναι γρήγορος και απλός χάρη στο προληπτικό σχεδιασμό, η τοποθέτηση σημαντικών ποσοτήτων χώματος σε φυσικά οικοσυστήματα φέρει το κόστος μεταμόρφωσης του τοπίου και αλλαγών στη σύνθεση του εδάφους. Επομένως αντίστοιχα με την προμήθεια βέλτιστη πρακτική θεωρείται η δημιουργία οργανωμένων συστημάτων αποθήκευσης, προετοιμασίας και προώθησης για τοπική επανάχρηση σε χωμάτινες κατασκευές, ελαχιστοποιώντας τις ανάγκες σε μεταφορά, παρθένους πόρους, ζήτηση χώρων υγειονομικής ταφής.

Η τρίτη σε ανάλυση φάση είναι η διαδικασία **σχεδιασμού και επιλογής της κατασκευαστικής μεθοδολογίας** και διαχωρίζεται σε τρία επίπεδα. Τα επίπεδα αυτά αφορούν στην κλίμακα και είναι: αυτό του δομικού υλικού, που αντιστοιχεί στους πόρους και τα δομικά προϊόντα (πχ CEB), την κλίμακα του δομικού στοιχείου, που αντιστοιχεί στα μέρη ενός κτιρίου που εκπληρώνουν ένα συγκεκριμένο σύνολο λειτουργιών (π.χ. εξωτερικός τοίχος) και την κτιριακή κλίμακα, που αντιστοιχεί στην σύνθεση δομικών στοιχείων και εν τέλη χώρου.

Στην κλίμακα του υλικού τοποθετούνται ορισμένες εκ φύσεως ιδιότητες του, που όμως μπορούν να επηρεαστούν ή και να αντιστραφούν ανάλογα με την κατασκευαστική επιλογή. Ως προς τον πόρο η ιδιότητα της **κυκλικότητας** επηρεάζεται καθοριστικά από τα συστατικά του μείγματος. Προφανώς το μείγμα χώματος που προέρχεται απευθείας από το υπέδαφος είναι βιοαποδομήσιμο και έχει πλαστικότητα (βλ. κάτω μέρος διαγράμματος), ωστόσο συχνά στην διαδικασία παραγωγής δομικών υλικών χρησιμοποιούνται σταθεροποιητές ή πρόσθετα για αύξηση της αντοχής (βλ. δεύτερο κεφάλαιο) Στην περίπτωση που αυτά είναι οργανικά, το στοιχείο διατηρεί την κυκλικότητα του, ίσως με διαφορετική ταχύτητα αποδόμησης. Όμως στην περίπτωση χρήσης χημικών σταθεροποιητών, η κομποστοποίηση μπορεί να μην είναι εφικτή ή να γίνεται μόνο αν υπάρχει δυνατότητα διαχωρισμού των συστατικών που αυξάνει το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της όλης διαδικασίας, επηρεάζοντας κάθε πτυχή του αντίκτυπου στο περιβάλλον (απόβλητα, εκπομπές, πόροι)

Ως προς τα δομικά προϊόντα, η ευκολία κυκλικής διαχείρισης κρίνεται από την δυνατότητα **αναστρεψιμότητας**. Η αναστρεψιμότητα βασίζεται στο χαρακτηριστικό της πλαστικότητας του χώματος που του επιτρέπει να αναδομείται με την προσθήκη νερού και να διαχωρίζεται εύκολα από άλλα υλικά λόγω της χαμηλής συγκολλητικής αντοχής του. Από την σκοπιά της αναστρεψιμότητας λοιπόν η ευαισθησία του χώματος στο νερό μπορεί να θεωρηθεί ως όφελος παρά αδυναμία. Επομένως όπως και προηγούμενα η πλήρης κατάργηση του στοιχείου πλαστικότητας μέσω της χρήσης χημικών πρόσθετων μεταβάλλει την ιδιότητα των δομικών υλικών από χώμα.

Συνολικά έχει σημασία ο βαθμός επεξεργασίας καθώς και συνδυασμού διαφορετικών, μη βιοαποικοδομήσιμων υλικών σε ένα προϊόν.

"Η Αξιολόγηση Κύκλου Ζωής (LCA) των συμπιεσμένων ωμόπλινθων CEB και της πατητής γης δείχνει ότι οι δύο διεργασίες με τον μεγαλύτερο αντίκτυπο είναι οι μεταφορές και η χρήση σταθεροποιητών όπως ο ασβέστης ή το σιμέντο."⁶¹

Ορισμένα χαρακτηριστικά στην αξιολόγηση κυκλικότητας μιας κατασκευής είναι ανεξάρτητα από την υλικότητα και εντοπίζονται στις δύο επόμενες κλίμακες. Σε αυτήν του **δομικού στοιχείου** τοποθετείται η **διαχειριστικότητα**, που περιγράφει την ευκολία διαχείρισης και συνεπώς επανάχρησης ενός δομικού μέρους και επηρεάζεται κατά κύριο λόγο από τη γεωμετρία του στοιχείου. Δείκτες της είναι το μέγεθος και βάρος των συστατικών καθώς και η εργονομία αποθήκευσης.

Στις χωμάτινες τεχνικές δόμησης συναντώνται ποικίλα συστήματα κατασκευής και κατά συνέπεια επίπεδα διαχειριστικότητας. Για παράδειγμα η τεχνική του στοιβαγμένου χώματος (cob) αποτελείται από μια ενιαία μάζα πηλού, δημιουργώντας μονολιθικές τοιχοποιίες μεγάλου όγκου. Οι ωμόπλινθοι αποτελούν μονάδες που συνδέονται μεταξύ τους και έχουν συμβατές διαστάσεις με τυπικές πλίνθους. Γενικά οι μέθοδοι που χρησιμοποιούν καλούπια, όπως η προκατασκευή πατητής γης ή ελαφροπηλού προσδίδει μεγαλύτερη ευκολία διαχείρισης.

Η **ανεξαρτησία** αφορά στην δυνατότητα μεμονωμένης αφαίρεσης δομικών μερών και αποσυναρμολόγησης τους χωρίς βλάβη, γεγονός που επηρεάζεται επίσης από την γεωμετρία

⁶¹Pelicaen, Erik & Janssens, Bart & Knapen, Elke. (2021). "Circular building with raw earth: a qualitative assessment of two cases in Belgium." IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 855. 012002. 10.1088/1755-1315/855/1/012002.

Διαθέσιμο από:

https://www.researchgate.net/publication/357345621_Circular_building_with_raw_earth_a_qualitative_assessment_of_two_cases_in_Belgium σελ 6

και συνδεσμολογία. Παραδείγματος χάριν οι ωμόπλινθοι δύσκολα αφαιρούνται από μια τοιχοποιία ανά μονάδα και επομένως δεν διακρίνονται από ανεξαρτησία. Στην περίπτωση ενός μονολιθικού χωμάτινου τοίχου τύπου πατητής γης, η ανεξαρτησία μπορεί να θεωρηθεί έγκυρη δεδομένου ότι η τοιχοποιία αποτελεί εξάρτημα από μόνη της, και δεν χρειάζεται επιπλέον συνδέσεις⁶².

Η λιτότητα, έχει να κάνει με τον αριθμό των συστατικών-εξαρτημάτων, την σπανιότητά τους, την ανάγκη εξειδικευμένης γνώσης στην κατασκευή τους αλλά και με την ορατότητα και προσβασιμότητα που έχουν και επηρεάζει την ευκολία αποσυναρμολόγησης.

Η συμβατότητα των εξαρτημάτων, επηρεάζεται από τον αν έχουν τυπικό σχήμα και μέγεθος και άρα την δυνατότητα διαμοιρασμού τους με άλλα κτίρια.

Μεταξύ των συμπιεσμένων ωμόπλινθων και της πατητής γης για παράδειγμα παρατηρείται αντίθετη δυναμική. Οι ωμόπλινθοι έχουν υψηλή διαχειριστικότητα, χαμηλή ανεξαρτησία και η λιτότητα και συμβατότητά τους εξαρτάται από την επιλογή φορέα, ενώ η πατητή γη παρουσιάζει συγκριτικά πιο χαμηλή διαχειριστικότητα, υψηλή ανεξαρτησία και δεδομένης της ικανότητάς της να χρησιμοποιείται ως φέρον στοιχείο στην κατασκευή, υψηλή λιτότητα. Η ταχύτητα αποσυναρμολόγησης, στα πλαίσια της ανεξαρτησίας είναι μεγαλύτερη στους ωμόπλινθους λόγω των πολλών αρμών στην σύνδεση των μονάδων σε σχέση με την μονολιθικότητα της πατητής γης.

Στην κτιριακή κλίμακα, η κυκλικότητα έγκειται στην αναστρεψιμότητα της δομής που αφορά στην επιλεκτική αποσυναρμολόγηση φέροντος στοιχείου ή στοιχείου πλήρωσης και επηρεάζεται από την ορατότητα, προσβασιμότητα και αναστρεψιμότητα των αρθρώσεων μεταξύ των δομικών στοιχείων. Έγκειται επίσης στην πολυχρηστικότητα, που επιτυγχάνεται μέσω της ευελιξίας και επεκτασιμότητας του κτιρίου, (είτε δομικά μέσω κινούμενων μερών είτε σχεδιαστικά μέσω πολυχρηστικής κάτοψης) με γνώμονα την προοπτική μελλοντικής προσαρμογής σε διαφορετικές χρήσεις.⁶³

Στην πραγματικότητα, η αποσυναρμολόγηση και επαναχρησιμοποίηση χωμάτινων δομικών εξαρτημάτων ή στοιχείων ενδέχεται να μην έχει ακόμη δοκιμαστεί στην πράξη. Θα μπορούσε όμως η δοκιμή και καταγραφή τεχνικών πληροφοριών να είναι μια χρήσιμη εξέλιξη της έρευνας για συγκριτική ανάλυση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος του κύκλου ζωής της επαναχρησιμοποίησης έναντι της ανακύκλωσης ή απόρριψης χωμάτινων δομικών στοιχείων. Δεδομένης της πολυπλοκότητας μιας τέτοιας σύγκρισης το πιθανότερο είναι να μην υπάρχει μονοδιάστατη απάντηση αλλά η κάθε ξεχωριστή περίπτωση να χρειάζεται αξιολόγηση. Η αξιολόγηση αυτή αφορά στο αν εν τέλη έχει περισσότερο νόημα η αποσυναρμολόγηση και αυτούσια επανάχρηση στοιχείων ή η κατεδάφιση και είτε κομποστοποίηση είτε αναπαραγωγή νέων στοιχείων, δεδομένου του δυνητικά χαμηλού αποτυπώματος της διαδικασίας σε σχέση με τα συμβατικά οικοδομικά υλικά.

Πέρα από το περιβάλλον υπάρχει ξεχωριστή ενότητα άνθρωπος, όπου αναλύεται ο αντίκτυπος χωμάτινων κατασκευών σε πολιτισμικό και οικονομικό επίπεδο. Στο πολιτισμικό κομμάτι τοποθετείται ο παράγοντας διατήρησης και εξέλιξης αυτής της παγκόσμιας κληρονομιάς, αλλά και η διαδικασία επανατοπικοποίησης της ειδικής τεχνογνωσίας κατασκευής. Στο οικονομικό κομμάτι, τοποθετείται, αντίστοιχα η επανατοπικοποίηση της οικονομίας που γίνεται λόγω αναδιοργάνωσης της κατασκευαστικής ροής με τοπικούς πόρους και το κόστος χρήσης.

Η κατηγορία των προκλήσεων διαχωρίζεται στους τομείς άνθρωπος και οικονομία. Ο άνθρωπος επηρεάζεται σχεδιαστικά, ως προς τις συνθετικές αρχές που απαιτείται να ακολουθεί στην χωμάτινη αρχιτεκτονική λόγω των χαρακτηριστικών του υλικού (βλ. δεύτερο κεφάλαιο).

Η οικονομία αφορά στο κόστος κατασκευής, που ποικίλλει σημαντικά και απαιτείται κατάλληλη έρευνα για να αποφασιστεί αν πρόκειται για πραγματικά οικονομική επιλογή ή όχι. Οι παράγοντες του χρόνου, της τοποθεσίας, των σταθεροποιητών, της τεχνογνωσίας, της ύπαρξης μηχανικών μέσων και πιστοποίησης καθιστούν ακόμα και την έρευνα για τον καθορισμό του κόστους μια πρόκληση στις χωμάτινες κατασκευές.

Ένας από τους κύριους λόγους που δυσχεραίνουν τη διάδοση του ακατέργαστου χώματος στην κατασκευή είναι η απουσία διεθνώς αναγνωρισμένων προτύπων για την αξιολόγηση της θερμο-υδρο-μηχανικής απόδοσης και ανθεκτικότητας του υλικού. Πτυχές που συνδέονται με την μεγάλη μεταβλητότητα των υλικών της γης, που οφείλεται τόσο στα διαφορετικά γεωλογικά χαρακτηριστικά των τόπων προέλευσης, όσο και στις διαφορετικές τεχνικές

⁶²ό.π.

⁶³ό.π.

κατασκευής. Επίσης όντας υλικό φυσικής προέλευσης χαρακτηρίζεται από μεγάλη εξάρτηση των μηχανικών του ιδιοτήτων σε σχέση με την ποιότητα κατασκευής. Στην αποτίμηση του κόστους θα πρέπει να περιλαμβάνεται τόσο το στάδιο της κατασκευής, (ορισμένες τεχνικές έχουν υψηλότερο κόστος από μια συμβατική κατασκευή) όσο και το στάδιο της χρήσης, που λόγω αποδοτικότητας είναι πολύ χαμηλότερο από τις συμβατικές. (για το λόγο αυτό το κόστος χρήσης, τοποθετείται και στην κατηγορία άνθρωπος, στον κοινωνικοοικονομικό αντίκτυπο)

4.2 Συμπεράσματα

Η αναζήτηση των προοπτικών χρήσης χώματος από εκσκαφές και κατεδαφίσεις στην δόμηση νέων αρχιτεκτονικών έργων, στα πλαίσια αειφορικής προσέγγισης της κατασκευαστικής διαδικασίας επιτεύχθηκε μέσω της ανάλυσης των διαφορετικών πτυχών του εγχειρήματος. Χρειάστηκε να τοποθετηθεί η αρχή της νοητικής πορείας: το ερώτημα του γιατί έχει σημασία μια τέτοια αναζήτηση. Επομένως αρχικά εντοπίστηκε το πρόβλημα, που είναι η παγκόσμια περιβαλλοντική κρίση και η συμβολή του δομημένου χώρου σε αυτήν, μια αδιαμφισβήτητη και μετρήσιμη σχέση, ενώ δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στο ζήτημα της ροής υλικών και συνεπώς αποβλήτων. Στην σχέση αυτή δεν θα μπορούσε να μην τοποθετηθεί ο ρόλος που διαδραματίζει το τρέχον επικρατέστερο μοντέλο οικοδομικής δραστηριότητας: ένα γραμμικό μοντέλο που στα πλαίσια αντιμετώπισης του προβλήματος επαναπροσδιορίζεται και εξελίσσεται προς νέες κυκλικές μορφές με ευαισθησία στην κατανάλωση παρθένων πόρων και το συνολικό του αποτύπωμα. Στη συνέχεια η έρευνα επικεντρώθηκε στο επιλεγμένο υλικό: το χώμα. Πώς ορίζεται σε αρχιτεκτονικά πλαίσια, ποιά η εξέλιξή του χωροχρονικά στην ανθρώπινη ιστορία και ποιά η διαχείρισή του στο οικοδομικό σύστημα. Για καλύτερη κατανόηση της προοπτικής ενός διαφορετικού κύκλου του υλικού στην κατασκευαστική ροή, αναζητήθηκαν παραδείγματα που να εφαρμόζουν μοντέλα επαναπροσδιορισμού της και αναλύθηκαν ως προς τις παραμέτρους, τις διαδικασίες και τους στόχους τους. Τέλος για την διευκόλυνση ανάγνωσης όλων των εμπλεκόμενων παραγόντων και τον εμπλουτισμό της έρευνας για αξιολόγηση χωμάτων κατασκευών δημιουργήθηκε ένα διάγραμμα που λειτουργεί σαν εργαλείο κατανόησης όλων των παραμέτρων.

Συμπερασματικά η ωμή γη στην δομική της χρήση παρουσιάζει μια ποικιλία χαρακτηριστικών με φοβερό ενδιαφέρον και επιρροή στο περιβάλλον και κατ' επέκταση τον άνθρωπο. Η τεράστια πολιτιστική κληρονομιά και γεωγραφική εμβέλεια των χωμάτων κατασκευών αποδεικνύει τις δυνατότητες της και τον εν δυνάμει οργανικό τρόπο που η κατοίκηση του ανθρώπου συμβαίνει στην φυσική εξέλιξη. Επίσης με την κατάλληλη διαχείριση μπορεί να έχει εξαιρετικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα και την δυνατότητά να μεταβαίνει μεταξύ βιολογικών και τεχνικών κύκλων στις ροές των πόρων. Η τοποθέτηση της στα υπάρχοντα πλαίσια και κριτήρια κυκλικότητας εμφανίζει δυσκολίες καθώς δεν υπάγεται σε όλους τους ορισμούς που χρησιμοποιούνται, ενώ αντίστοιχα ενδέχεται να απαιτούνται νέοι κυκλικοί δείκτες που να την περιγράφουν καλύτερα, όπως ο παράγοντας της διάβρωσης αλλά και μια περαιτέρω ανάλυση ανά τεχνική. Στην σύγχρονη εποχή, ωστόσο η δομική της χρήση είναι περιορισμένη συγκριτικά με άλλα συμβατικά υλικά, λόγω πολλαπλών παραγόντων, με μεγάλο περιθώριο στην έρευνα και βελτίωση των όποιων προκλήσεων παρουσιάζει. Πρόκειται για ένα αρχαίο, πρωτόλειο υλικό που αυτονόητα υπαγορεύει την φυσική ροή των πραγμάτων αλλά παράλληλα αναδिकνύει τόσο καινοτόμα και αποκαλυπτικά νέες δυνατότητες στην αναζήτηση της βιώσιμης αρχιτεκτονικής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Dipasquale, Letizia & Correia, Mariana & Mecca, Saverio & Mileto, Camilla & Morot-Sir, Patrice & Vegas, Fernando & Akermann, Kristina & Andersson, Jenny & Bavay, Gérard & Bei, Georgia & Benža, Mojmír & Berescu, Catalin & Bertašiuˆté, Rasa & Bluˆms, Peteris & Braxén-Frommer, Ann-Marie & Bronchart, Sophie & Buch, Pierre & Buzás, Miklós & Castro, Alexis & Guérin, René. (2011). "TERRA EUROPAE Earthen Architecture in the European Union."

Mariana Correia, Letizia Dipasquale, Saverio Mecca 2023, "VERSUS, HERITAGE FOR TOMORROW: Vernacular Knowledge for Sustainable Architecture"

[Versus - Vernacular Heritage Sustainable Architecture \(esg.pt\)](#)

Minke Gernot, Building with earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture, Birkhäuser – Publishers for Architecture, Βερολίνο 2006

Ανάκτηση από:

https://issuu.com/nikosdragom/docs/building_with_earth_design_and_tech

Άρθρα- Επιστημονικές Μελέτες

L.S. Conke, T.L. Ferreira, "Urban metabolism: Measuring the city's contribution to sustainable development", Environmental Pollution, Volume 202, 2015

Dipasquale, Letizia & Correia, Mariana & Mecca, Saverio & Mileto, Camilla & Morot-Sir, Patrice & Vegas, Fernando & Akermann, Kristina & Andersson, Jenny & Bavay, Gérard & Bei, Georgia & Benža, Mojmír & Berescu, Catalin & Bertašiuˆté, Rasa & Bluˆms, Peteris & Braxén-Frommer, Ann-Marie & Bronchart, Sophie & Buch, Pierre & Buzás, Miklós & Castro, Alexis & Guérin, René. (2011). "TERRA EUROPAE Earthen Architecture in the European Union."

H. Dirk & H. Wisniewska, Marta & Heisel, Felix. (2015). "Constructing Waste - Investigating an alternative resource for future cities." FCL Magazine. Special Issue. 56-67. 10.3929/ethz-a-010636987.

Ανάκτηση από:

https://www.researchgate.net/publication/295912128_Constructing_Waste_-_Investigating_an_alternative_resource_for_future_cities

Gallipoli, D., Bruno, A.W.; Perlot, C.; Mendes, J. "A geotechnical perspective of raw earth building." Acta Geotech. 2017, 12, 463-478 Available at:

https://www.researchgate.net/publication/312952097_A_Geotechnical_Perspective_of_Raw_Earth_Building/citations

Ellen MacArthur Foundation. (2013). Towards the Circular Economy. Ellen MacArthur Foundation (Vol. 1). <https://doi.org/10.1162/108819806775545321>

T. Markopoulos, P. Rotondo, A.Pantinakis, P.Pantzekos, A. Mousourakis, G. Chrysafaki, (2009) "Measurement of mechanical strength, thermal conductivity and moisture of earth samples from Crete, Greece, containing clay and straw for architectural applications"

G.Á. Mhuireach, L. Dietz, W. Griffiths, P. Horve, A. Laguerre, D. Northcutt, R. Vandegrift, E. Gall, K. Van Den Wymelenberg, "Differing effects of four building materials on viable bacterial communities and VOCs, Developments in the Built Environment" Volume 7, 2021, 100055, ISSN 2666-1659, Ανάκτηση από: <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2021.100055>

A.Mousourakis, M.Aarakadaki, S. Kotsopoulos, I. Sinamidis, T. Mikrou, E. Frangedaki, N.D. Lagaros, (2020), "Earthen Architecture in Greece: Traditional Techniques and Revaluation"

H. Schroeder, "The New DIN Standards in Earth Building—The Current Situation in Germany Dachverband Lehm e. V. (DVL)", Weimar, 99425, Germany, Journal of Civil Engineering and Architecture 12 (2018) 113-120 doi: 10.17265/1934-7359/2018.02.005

Μπαλασάς Κ.Α., «Πηλός & Ωμόπλινθοι ως υλικά δόμησης. Περιβαλλοντική απόκριση ωμοπλινθόκτιστων οικισμών. Το παράδειγμα των Κορεστίων Καστοριάς. Ανάλυση και προτάσεις αναβίωσης με περιβαλλοντικό πρόσημο», (2018), ΕΑΠ
Ανάκτηση από: <https://apothesis.eap.gr/archive/item/80300>

Διαλέξεις-Ερευνητικές-Διπλωματικές-Διδακτορικές Διατριβές

Hale, S.E.; Roque, A.J.; Okkenhaug, G.; Sørmo, E.; Lenoir, T.; Carlsson, C.; Kupryianchuk, D.; Flyhammar, P.; Žlender, B. "The Reuse of Excavated Soils from Construction and Demolition Projects: Limitations and Possibilities." Sustainability 2021, 13, 6083.
Ανάκτηση από: <https://doi.org/10.3390/su13116083>

Kulshreshtha, Yask & Mota, Nelson & Jagadish, Kaup & Bredenoord, Jan & Vardon, Phil & van Loosdrecht, Mark & Jonkers, Henk. (2020). "The potential and current status of earthen material for low-cost housing in rural India. Construction and Building Materials." 247. 10.1016/j.conbuildmat.2020.118615.

Pelicaen, Erik & Janssens, Bart & Knapien, Elke. (2021). "Circular building with raw earth: a qualitative assessment of two cases in Belgium." IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 855. 012002. 10.1088/1755-1315/855/1/012002.

Ανάκτηση από:

https://www.researchgate.net/publication/357345621_Circular_building_with_raw_earth_a_qualitative_assessment_of_two_cases_in_Belgium

WHEAP '2012, 'World heritage. Inventory of earthen architecture"

Ανάκτηση από: <https://whc.unesco.org/en/news/1094/>

Ε. Αλεξανδρή, Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ, MPhil Cambridge, PhD Cardiff, 2012, "Δόμηση με Πηλό και Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ)", Βόλος, «Δόμηση με χώμα» ΤΕΕ Μαγνησίας, Μ.Ε. Επαγγελματικών Θεμάτων Νέων Μηχανικών και Επιμόρφωσης, Μηχανικοί της Γης

Κρητικός Ε., Διπλωματική εργασία, "Κυκλική οικονομία και επανάχρηση στις κατασκευές", 2021, Αθήνα, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών
Ανάκτηση από: <https://polynoe.lib.uniwa.gr/xmlui/bitstream/handle/11400/2238/%CE%A0%CE%A4%CE%A5%CE%A7%CE%99%CE%91%CE%9A%CE%97-%CE%95%CE%A1%CE%93%CE%91%CE%A3%CE%99%CE%91-%CE%95%CE%9C%CE%9C%CE%91%CE%9D%CE%9F%CE%A5%CE%97%CE%9B-%CE%9A%CE%A1%CE%97%CE%A4%CE%99%CE%9A%CE%9F%CE%A3-civ43892.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Μπέη Ε. Γεωργία, Διδακτορική Διατριβή, «Τοιχοποιία από πηλό: Πειραματική διερεύνηση μηχανικών και φυσικών χαρακτηριστικών δομικών μονάδων και τοίχων από Συμπιεσμένες Ωμόπλινθους», Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Πολυτεχνικής Σχολής Α.Π.Θ, Θεσσαλονίκη 2004

<https://docplayer.gr/417719-Shediasmos-kataskeyis-opo-omoplinthodomi-kai-antiseismiki-sympierifora-tis.html>

Ηλεκτρονικές σελίδες

http://www.theworldcounts.com/counters/shocking_environmental_facts_and_statistics
(είσοδος 14 Δεκ 2022). [CrossRef]

<https://anelixi2020.org/domisi-piloy/oikologiki-arxitektoniki-domisi-pilou-idiotites-pilou-fusikes-idiotites/> (είσοδος 26 Σεπτ 2022)

https://commission.europa.eu/news/focus-energy-efficiency-buildings-2020-02-17_en
(είσοδος 10 Νοεμ 2022)

https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/construction-and-demolition-waste_en (είσοδος 16 Οκτ 2022)

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/?qid=1583933814386&uri=COM%3A2020%3A98%3AFIN> (είσοδος 20 Φεβ 2023)

<https://www.eoan.gr> (είσοδος 26 Σεπτ 2022)

<https://www.aanel.gr/encyclopedia/aekk/> (είσοδος 26 Σεπτ 2022)

<https://www.europarl.europa.eu/news/el/headlines/priorities/kukliki-oikonomia-kai-meiosi-aporvli-ton/20151201STO05603/kukliki-oikonomia-chrisimopoiise-to-xana> (είσοδος 28 Σεπτ 2022)

<https://www.rael-sanfratello.com/mode/casa-covida> (είσοδος 23 Δεκ 2022)

https://edition.cnn.com/style/article/tecla-3d-printed-house-clay/index.html?fbclid=IwAR2VXR-PL_eoPQTn0iSw-thQnoWU1XEifKIdUuQmGb8UVtl15nWCyxejAJhc (είσοδος 23 Δεκ 2022)

<https://www.3dwasp.com/en/3d-printed-house-gaia/> (είσοδος 22 Δεκ 2022)

<https://iaac.net/project/building-architecture-continuity/> (είσοδος 23 Δεκ 2022)

<https://www.archdaily.com/958893/zero-kilometer-materials-preserving-the-environment-and-local-cultures#:~:text=Zero%20km%20materials%20take%20a,be%20returned%20to%20the%20environment.> (είσοδος 12 Ιαν 2023)

https://www.ametro.gr/?page_id=7843 (είσοδος 18 Φεβ 2023)

<https://www.pavillon-arsenal.com/fr/expositions/10485-terres-de-paris.html> (είσοδος 23 Δεκ 2022)

<https://uia-initiative.eu> (είσοδος 20 Δεκ 2022)

<https://www.cycle-terre.eu/mise-en-oeuvre/les-materiaux/> (είσοδος 10 Ιαν 2022)

<https://architects.bc-as.org/> (είσοδος 19 Φεβ 2023)

<https://www.lifo.gr/culture/design/neo-ethniko-arhaiologiko-moyseio-prosito-anthropokentriko-syndedemeno-me-tin-athina> (είσοδος 18 Φεβ 2023)

<http://www.terrabloch.ch/> (είσοδος 18 Φεβ 2023)

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικ.0.1 Τοπίο ανασκαμμένου χώματος

ΠΗΓΗ: Μπροσούρα από την έκθεση "terre de paris, de la matière au matériau", Έκδοση Pavillon de l'Arsenal, Οκτ 2016

ΠΗΓΗ: <https://www.pavillon-arsenal.com/fr/edition-e-boutique/collections/recherches-et-experimentations/10501-terres-de-paris.html>

Εικ.1.1 Διαδραστικό γράφημα: Το ανοιχτό μπλε απεικονίζει την παγκόσμια παραγωγή σιδήρου και αλουμινίου σε τόνους ανά χρόνο που απαιτείται στον κτιριακό τομέα

ΠΗΓΗ: <https://www.europarl.europa.eu/thinktank/infographics/circulareconomy/public/index.html#production-today>

Εικ.1.2 Στιγμιότυπο από διαδραστικό γράφημα της Ευρωπαϊκής επιτροπής για την δημιουργία απορριμάτων. "Το 2016, παράχθηκαν στην Ευρωπαϊκή Ένωση 2,5 δισεκατομμύρια τόνοι απορριμμάτων (ή περίπου 5 τόνοι ανά κάτοικο). Το μεγαλύτερο μέρος προήλθε από τους τομείς των κατασκευών (37 %), εξορύξεων (25 %) και της μεταποίησης (10 %), τα νοικοκυριά αντιπροσωπεύουν το 9 % του συνόλου."

ΠΗΓΗ: <https://www.europarl.europa.eu/thinktank/infographics/circulareconomy/public/index.html>

Εικ.1.3 Hanstholm Højskole, SOMA Απεικόνιση των στοιχείων κατασκευής και συνδεσμολογίας μιας μονάδας με στόχο την μελλοντική αποσυναρμολόγηση, τον διαχωρισμό και επανάχρηση τους. ΠΗΓΗ: <https://somastudio.no>

Εικ.1.4,5,6 Μουσείο Ιστορίας Ningbo, Amateur Architecture Studio. Έργο του 2008 που ενσωματώνει στον σχεδιασμό υλικά από τα κατεδαφισμένα κτίρια που κάποτε υπήρχαν στο σημείο κατασκευής του.

ΠΗΓΗ: <https://www.archdaily.com/942622/wang-shus-works-on-contemporary-chinese-architecture-with-recycled-materials>

Εικ. 1.7 Λεπτομέρεια συνδεσμολογίας που ακολουθεί μια από τις θεμελιώδεις αρχές του DfD: την δημιουργία προσβάσιμων και κατάλληλων συνδέσεων για διευκόλυνση της αποσυναρμολόγησης και αποφυγή της χρήσης βαρέως ή πολύπλοκου εξοπλισμού. Kengo Kuma & Associates + College of Environmental Design UC Berkeley © Shinkenchiku Sha ΠΗΓΗ: [A Guide to Design for Disassembly | ArchDaily](#)

Εικ.1.8 Μελέτη βιώσιμης πολεοδομικής ανάπτυξης, στα πλαίσια αστικού μεταβολισμού, από το IABR-Project Atelier Rotterdam (2014). Το διάγραμμα απεικονίζει την αναδιοργάνωση του δημόσιου χώρου και ζωνών κυκλοφορίας σε συγκεκριμένους δρόμους, ερευνώντας την πιθανή εκκίνηση νέας εκβιομηχάνισης μέσω φιλοξενίας νέων επιχειρήσεων.

ΠΗΓΗ: <https://iabr.nl/en/projectatelier/2014parotterdam>

Εικ. 2.1 Προέλευση δομικού χώματος και συστατικά

ΠΗΓΗ: ARQUITECTURA y CONSTRUCCIÓN en TIERRA Estudio Comparativo de las Técnicas Contemporáneas en Tierra, Arch. Fabio Gatti, σελ 11

Εικ. 2.2 Το Σινικό τείχος κατασκευασμένο από το μοναδικό διαθέσιμο τοπικό υλικό: ωμή γη.

ΠΗΓΗ: World heritage inventory of earthen architecture, 2012.pdf, σελ 92

Εικ.2.3 Fort V, (2015), Έργο των BC architects που λειτουργεί σαν εκπαιδευτικό κέντρο και αποτελεί το πρώτο δημόσιο κτίριο με φέροντες τοίχους από CEB, στην Benelux.

© Thomas Noceto

ΠΗΓΗ: <https://architects.bc-as.org/>

Εικ.2.4 Χάρτης των περιοχών με παράδοση στην χωμάτινη αρχιτεκτονική, ©CRATerre

ΠΗΓΗ: UNESCO Chair Earthen Architecture, Building Cultures and Sustainable Development UNITWIN network, pdf, σελ 3

Εικ.2.5 Χάρτης των περιοχών με κληρονομιά χωμάτινης αρχιτεκτονικής στην ΕΕ ανά τεχνική. Στο υπόμνημα κάτω αριστερά αναγράφεται από πάνω προς τα κάτω: λαδί χρώμα=μεικτές τεχνικές με χώμα και ξύλο, σκούρο καφέ χρώμα=ωμόπλινθοι, ανοιχτό καφέ χρώμα=συμπιεσμένο χώμα, μωβ χρώμα=στοιβαγμένο χώμα (cob) ΠΗΓΗ: Terra [in]cognita

Εικ.2.6,7 Κτίρια κατασκευασμένα με ωμό πηλό στην Πελοπόννησο.

ΠΗΓΗ: Σεμινάριο Κατάρτισης πηλοΟίκο για την Αρχιτεκτονική κληρονομιά με πηλό στον Ελλαδικό χώρο.

Εικ. 2.8 Χάρτης απεικόνισης της γεωγραφικής κατανομής χωμάτινης αρχιτεκτονικής στην Ελλάδα. Η μπλε χρωματική περιοχή αναφέρεται σε σημεία όπου έχουν εντοπιστεί τεχνικές κατασκευής με ακατέργαστη γη και έχουν καταγραφεί από τους συγγραφείς του άρθρου από επιτόπιες επισκέψεις. Η καφέ χρωματική περιοχή αναφέρεται σε σημεία όπου έχουν εντοπιστεί τεχνικές κατασκευής με ακατέργαστη γη κατά την G. Bei, στο Terra Europaee, Earthen Architecture in the European Union, 2011

ΠΗΓΗ: A.Mousourakis, M.Arakadaki, S. Kotsopoulos, I. Sinamidis, T. Mikrou, E. Frangedaki, N.D. Lagaros, (2020), "Earthen Architecture in Greece: Traditional Techniques and Revaluation", σελ 2

Εικ.2.9,10,11 Η πόλη Shibam στην Υεμένη γνωστή ως το «Μανχάταν της ερήμου», ανακηρυγμένη παγκόσμια κληρονομιά σε κίνδυνο, από την UNESCO, με κτίρια έως και 7 ορόφων και ύψους 40 μέτρων, χτισμένα με χώμα. Πρόκειται για μια περιτοιχισμένη πόλη ορθογωνικής οργάνωσης που ανταποκρίνεται στην ανάγκη προστασίας από επιθέσεις που δέχεται λόγω του πλούτου της. Χτισμένη κατά κύριο λόγο τον 16ο αι. με ωμόπλινθους, τα κτίριά της χαρακτηρίζονται από τραπεζοειδή τομή για μείωση του βάρους των τοίχων στα ανώτερα επίπεδα. ΠΗΓΗ: <http://hiddenarchitecture.net/shiba/>

Εικ.2.12 Παραγωγή ωμόπλινθων σε εργοτάξιο στο Santiago do Cacem, Πορτογαλία

ΠΗΓΗ: Προσωπικό Αρχείο

Εικ.2.13,14 Εξωτερική άποψη και εσωτερικός χώρος της Casa Covida, ©Elliot Ross and Emerging Object ΠΗΓΗ: <https://www.rael-sanfratello.com/made/casa-covida>

Εικ.2.15,16 Εξωτερική άποψη και κατασκευή δομικού στοιχείου του TECLA ©Iago Corazza <https://edition.cnn.com/style/article/tecla-3d-printed-house-clay/index.html?fbclid=IwAR2VXr-PLegPQTn0iSw-thQnoWU1XEifKIdUuQmGb8UVtl15nWCyxejAJhc>

Εικ.2.17,18,19 Εξωτερική άποψη. Τρισδιάστατο επεξηγηματικό διάγραμμα κατασκευής Φωτογραφία την στιγμή της κατασκευής
ΠΗΓΗ: <https://www.3dwasp.com/en/3d-printed-house-gaia/>

Εικ.2.20,21 Στρατηγική σχεδιασμού: επιλογή επιφάνειας, συνδυασμός εφαπτομένης και χωρική ανάλυση.

Εικ.2.22,23,24 Ανάλυση επιπέδων και συνδυασμών επιμέρους στοιχείων

Εικ.2.25,26,27 Έλεγχος αντοχής

Εικ.2.28,29 Δομική ανάλυση μονάδας(αριστερά) Έλεγχος δύναμης κάμψης υλικού(δεξιά)

Εικ.2.30,31 Κατασκευή μακέτας σε κλίμακα 1:10 (αριστερά) Εκτύπωση σε κλίμακα 1:1 (δεξιά)
ΠΗΓΗ (2.20-31): <https://www.connectionsbyfinsa.com/architecture-and-3dprinting/?lang=en>

Εικ.2.32 Σύγκριση Κύκλου ζωής κατασκευών με συμβατικά δομικά υλικά και με χώμα με την κατάλληλη διαχείριση. ΠΗΓΗ: Ιδία επεξεργασία

Εικ.2.33,34 Κατοικία υπό κατασκευή, με την τεχνική συμπιεσμένου χώματος, Santiago do Cacem Πορτογαλία ΠΗΓΗ: προσωπικό αρχείο

Εικ.2.35 Κατοικία 125 m² στα Χανιά, Southern architects. Κατασκευή από ξύλινο σκελετό και τοιχοποιία από μείγμα αχυροπηλού πάχους 35εκ. Εξωτερικά έχει επιχρισθεί με ασβεστοκονίαμα και εσωτερικά με πηλοκονίαμα. Το μέσο θέρμανσης που διαθέτει είναι ενεργειακό τζάκι, ενώ δεν έχουν χρησιμοποιηθεί μηχανικά μέσα ψύξης.
ΠΗΓΗ: <https://www.southernarchitects.gr>

Εικ. 3.1 Χώρος συλλογή χώματος εκσκαφής σε εργοστάσιο διαχείρισης ΑΕΚΚ στην Figueira da Foz, Πορτογαλία ΠΗΓΗ: προσωπικό αρχείο

Εικ.3.2 Στιγμιότυπα από την έκθεση "terre de paris, de la matière au matériau", Éditions du Pavillon de l'Arsenal, Οκτ 2016
ΠΗΓΗ:<https://www.pavillon-arsenal.com/fr/edition-e-boutique/collections/recherches-et-experimentations/10501-terres-de-paris.html>

Εικ.3.3 Εξωτερική άποψη του κτιρίου © schnepp.renou
ΠΗΓΗ: www.instagram.com/cycleterre/

Εικ.3.4 Προοπτικό σχέδιο-διάγραμμα χωρικής οργάνωσης του EARTH CYCLE
ΠΗΓΗ: [Le site de production - Cycle Terre \(cycle-terre.eu\)](http://Le%20site%20de%20production%20-%20Cycle%20Terre%20(cycle-terre.eu))

Εικ.3.5 Χώροι αποθήκευσης (4) ©schnepp.renou
ΠΗΓΗ: www.instagram.com/cycleterre/

Εικ.3.6 Σταθμός ξήρανσης (6) ©schnepp.renou
ΠΗΓΗ: www.instagram.com/cycleterre/

Εικ.3.7 Χώρος παραγωγής(5) ©schnepp.renou
ΠΗΓΗ: www.instagram.com/cycleterre/

Εικ.3.8 Τεχνικό φύλλο παραγόμενων προϊόντων του Earth Cycle
ΠΗΓΗ: <https://www.cycle-terre.eu/mise-en-oeuvre/les-materiaux/>

Εικ. 3.9,10 Εσωτερικοί χώροι του εργοστασίου της EARTH CYCLE ©schnepp.renou
ΠΗΓΗ: www.instagram.com/cycleterre/

Εικ.3.11 Παρουσίαση των βασικών στοιχείων του έργου. ΠΗΓΗ: ίδια επεξεργασία, με συλλογή εικόνων από <https://www.cycle-terre.eu/cycle-terre/le-projet/>
Σημ: η αναφορά στον φωτογράφο (όπου υπάρχει) γίνεται ξεχωριστά σε κάθε εικόνα της παρουσίασης

Εικ.3.12 Ποικιλία τύπων χώματος ©Amàco
ΠΗΓΗ: <https://www.cycle-terre.eu/cycle-terre/le-projet/>

Εικ. 3.13 Παρουσίαση των BC architects. Η ιδέα της ομάδας, τα παραγόμενα προϊόντα και επιλεγμένα έργα τους. ΠΗΓΗ: ίδια επεξεργασία, με συλλογή εικόνων από <https://architects.bc-as.org/>
Σημ: η αναφορά στον φωτογράφο (όπου υπάρχει) γίνεται ξεχωριστά σε κάθε εικόνα της παρουσίασης.

Εικ.3.14 Παρουσίαση TERRABLOCK, κεντρική ιδέα, πληροφορίες παραγωγής και επιλεγμένα έργα.
ΠΗΓΗ: Ιδία επεξεργασία με συλλογή εικόνων από <http://www.terrabloc.ch/>
Σημ: η αναφορά στον φωτογράφο (όπου υπάρχει) γίνεται ξεχωριστά σε κάθε εικόνα της παρουσίασης.

Εικ.4.1 Διάγραμμα: “Εργαλείο αξιολόγησης χωμάτινων κατασκευών” ΠΗΓΗ: Ιδία επεξεργασία

Εικ.4.2 Διάγραμμα: “Εργαλείο αξιολόγησης χωμάτινων κατασκευών” Μέρος Α ΠΗΓΗ: Ιδία επεξεργασία

Εικ.4.3 Διάγραμμα: “Εργαλείο αξιολόγησης χωμάτινων κατασκευών” Μέρος Β ΠΗΓΗ: Ιδία επεξεργασία