



Σχολή Εφαρμοσμένων Τεχνών & Βιώσιμου
Σχεδιασμού

Περιβαλλοντικός Σχεδιασμός Πόλεων & Κτιρίων

Διπλωματική Εργασία

Ο ακατέργαστος πηλός ως μέσο σύγχρονης δόμησης. Δυνατότητες
και αστοχίες.

Μαγδαληνή Καρυπίδου

Επιβλέπων καθηγητής: ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΚΑΡΟΛΟΣ ΚΟΝΤΟΛΕΩΝ

Πάτρα, Ιούλιος 2022

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία της φοιτήτριας (Καρυπίδου Μαγδαληνή) που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης η συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας της συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση της συγγραφέα/δημιουργού. Η συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.

Ο ακατέργαστος πηλός ως μέσο σύγχρονης δόμησης. Δυνατότητες
και αστοχίες

Μαγδαληνή Καρυπίδου

Επιτροπή Κρίσης

Επιβλέπων Καθηγητής:

Νικόλαος Κάρολος Κοντολέων

Α' Επιβλέπων Καθηγητής, ΕΑΠ

Συν-Επιβλέπων Καθηγητής:

Μαρτινόπουλος Γεώργιος

Β' Επιβλέπων Καθηγητής, ΕΑΠ

Πάτρα, Ιούλιος 2022

Για την παρούσα εργασία:

Ευχαριστώ τον καθηγητή μου Νικόλαο Κάρολο Κοντολέων για την πολύτιμη καθοδήγηση του,

Ευχαριστώ τον Κώστα Κοντομάνο για τα βιωματικά σεμινάρια και την τεχνογνωσία που μοιράστηκε σε αυτά, πάνω στη δόμηση με ακατέργαστο πηλό και ειδικότερα στα Cob (στοιβαχτός πηλός).

Την εργασία αυτή, την αφιερώνω σε όλους όσους προσπαθούν για ένα πιο βιώσιμο κόσμο.

Περίληψη

Ο σύγχρονος τρόπος ζωής έχει οδηγήσει στην αυξημένη κατανάλωση ενέργειας, στην κατασπατάληση φυσικών πόρων και στην υποβάθμιση του φυσικού περιβάλλοντος. Τα κτήρια αποτελούν σημαντικό μέρος του προβλήματος καθώς είναι ενεργοβόρα κατά την κατασκευή και λειτουργία τους και χρησιμοποιούν μη ανανεώσιμες πρώτες ύλες. Με τον σωστό βιοκλιματικό σχεδιασμό μπορεί να επιτευχθεί μείωση της ενέργειας που καταναλώνεται κατά τη λειτουργία τους. Αντίστοιχα, με την χρήση τοπικών, φυσικών, ανακυκλούμενων και σε αφθονία στο περιβάλλον υλικών, μπορεί να μειωθεί το περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα κατά την κατασκευή, λειτουργία και κατεδάφιση τους. Στην παρούσα εργασία θα διερευνηθεί η χρήση του χώματος (πηλός) ως υλικό κατασκευής. Θα εξεταστούν οι ιδιότητες και η συμπεριφορά του χαρμανιού που προκύπτει από την προσθήκη πρόσμεικτων στον πηλό, όπως η άμμος και το άχυρο και θα αναλυθούν οι διαφορετικές τεχνολογίες δόμησης του.

Έπειτα, θα εστιάσουμε στην κατασκευή με την τεχνολογία Cob και στα χαρακτηριστικά του ως δομικό υλικό. Θα εξεταστεί η συμπεριφορά του ως εξωτερικός τοίχος, ως εσωτερικός τοίχος και ως δάπεδο. Θα εκτιμηθεί η αντίδραση και αντοχή του σε διαφορετικές κλιματικές συνθήκες και καταπονήσεις, όπως ο σεισμός. Θα αξιολογηθεί το περιβάλλον που δημιουργείται για τους χρήστες και η πλαστικότητα και η αισθητική του τελικού προϊόντος.

Σκοπός της εργασίας είναι η διερεύνηση της βιωσιμότητας και καταλληλότητας των κατασκευών από ακατέργαστο πηλό και της αποδοχής τους από την ελληνική κοινωνία.

Στα πλαίσια ελέγχου της αποδοχής των ακατέργαστων προϊόντων από πηλό στην κατασκευή συντάχθηκε ένα ερωτηματολόγιο στο οποίο κλήθηκαν να απαντήσουν Έλληνες πολίτες από διαφορετικές ηλικιακές ομάδες και διαφορετική κοινωνική θέση, σχετικά με την προθυμία, τη φοβία και τις σκέψεις τους πάνω σε αυτόν τον τρόπο δόμησης. Το ερωτηματολόγιο συντάχθηκε στην πλατφόρμα της Google και έγινε διανομή του μέσω ηλεκτρονικού ταχυδρομείου. Τα αποτελέσματα συγκεντρώθηκαν στο Google Drive.

Το ερωτηματολόγιο αναπτύχθηκε κλιμακωτά. Οι πρώτες ερωτήσεις ήταν γενικού χαρακτήρα και αφορούσαν στο περιβάλλον, έπειτα επικεντρώθηκαν στις κατασκευές και την επίδραση τους στο περιβάλλον, στη συνέχεια εστίασαν στα φυσικά υλικά δόμησης και κατέληξαν στη δόμηση με ακατέργαστο πηλό. Για την διευκόλυνση των συμμετεχόντων, επιλέχθηκαν προκαθορισμένες απαντήσεις, από τις οποίες έπρεπε να διαλέξουν αυτή που

τους εξέφραζε περισσότερο. Επιπλέον δόθηκε η δυνατότητα, να εκφράσουν τη γνώμη τους και τις σκέψεις τους πάνω στη θεματολογία της έρευνας.

Τα συμπεράσματα είναι θετικά από πλευράς περιβαλλοντικής ευαισθητοποίησης των συμμετεχόντων. Ως προς τη δόμηση, όμως, με φυσικά υλικά και ειδικότερα με ακατέργαστο πηλό, δηλώνουν διστακτικοί. Οι βασικές αιτίες που τους αποθαρρύνουν είναι η πρακτικότητα, η αντοχή και η ένταξη της κατασκευής στις ανάγκες του αστικού τοπίου.

Λέξεις – Κλειδιά

Ακατέργαστος πηλός, φυσική δόμηση, αειφορία, αποτύπωμα, περιβάλλον.

Raw clay as a means of modern construction. Capabilities and failures

Magdalini Karypidou

Abstract

The modern lifestyle has not only led to an excessive rate of energy consumption, but also to the waste of natural resources and generally to the degradation of our natural environment. Building industry plays its significant part in that situation since construction and operation are energy consuming processes while the materials used derive from non-renewable resources. Nevertheless, by conducting a proper bioclimatic design, energy consumption throughout operation of a building can be reduced. Furthermore, by the use of renewable and abundant in nature materials, the environmental footprint of a structure can get minimized throughout all its lifecycle i.e. construction, operation and demolition.

In this dissertation, the use of soil (clay) as a construction material will be investigated. The aim is to examine the performance of the end product by adding to clay different adhered materials, such as sand and straw and also to analyse the different building techniques it can be applied to.

Then, we will focus on a construction technique known as “Cob” and the properties of “Cob” as a building material. More specifically, we will examine its behaviour as an exterior wall, as an interior wall and as a floor element. In addition, an assessment of its reaction and resistance to different climatic conditions and stresses, such as the earthquake, will take place. Lastly, the environment created and the plasticity and aesthetics of the final product, will get evaluated.

The purpose of this attempt is to investigate the viability and suitability of raw clay in construction and to explore its acceptance by the Greek society.

In the context of checking where Greek society stands in terms of accepting raw clay products in construction, a questionnaire was drawn up to which Greek citizens from

different age groups and different social status were asked to answer, regarding their willingness, fears and thoughts on this type of construction. The questionnaire was created on the Google platform and distributed via e-mail. The results were collected in Google Drive.

The questionnaire was developed gradually. The first set of questions were general, concerning the environment, then followed questions that focused on constructions and their environmental impact. The next set concerned natural building materials and the final set fixated on the construction with natural unprocessed raw clay. For the convenience of the participants, predetermined answers were selected, from which they had to choose the one that expressed them most. In addition, they were given the opportunity to express their opinion and their thoughts on the topics of the research.

The conclusions are positive in terms of the environmental awareness of the participants. As for the construction, however, with natural materials and especially with raw clay, they seem hesitant. The main causes that discourage them are the practicality, the endurance and the integration of the construction to the modern urban landscape needs.

Keywords

Raw Clay, Natural Construction, Sustainable, footprint, environment.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	v
Abstract	vii
Περιεχόμενα	ix
Κατάλογος Εικόνων / Σχημάτων.....	xi
Κατάλογος Πινάκων.....	xiii
Συντομογραφίες & Ακρωνύμια	xiv
ΜΕΡΟΣ Α.....	15
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	15
2. Η ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ	17
2.1. Τα αίτια της κλιματικής αλλαγής.	17
2.1.1. Ανθρωπογενή αίτια.....	17
2.1.2. Φυσικά αίτια.....	20
2.2. Οι πιθανές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής	21
2.3. Αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής	22
2.4. Η ατζέντα των Ηνωμένων Εθνών.....	23
3. ΑΕΙΦΟΡΙΑ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ	25
3.1. Αξιολόγηση του ενεργειακού αποτυπώματος της κατασκευής.	25
3.1.1. Εξάντληση Φυσικών Πόρων	26
3.1.2. Κατανάλωση Ενέργειας.....	27
3.1.3. Ενσωματωμένη Ενέργειας.....	27
3.1.4. Εκπομπή Επιβλαβών Αερίων	28
3.1.5. Οικοδομικά απορρίμματα.....	29
3.2. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις της κατασκευής στον Ελλαδικό χώρο.	30
3.3. ΚΕΝΑΚ.....	31
3.4. Βιοκλιματική Αρχιτεκτονική.....	33
3.5. Κυκλική Οικονομία.	33
3.6. Δόμηση με φυσικά υλικά.....	37
4. ΔΟΜΗΣΗ ΜΕ ΠΗΛΟ	41
4.1. Τι είναι ο πηλός	41
4.2. Ιστορική αναδρομή.....	43
4.3. Το χώμα ως δομικό υλικό.....	48
4.4. Παραδοσιακή τεχνική δόμησης.....	49
4.5. Τυπολογία και Τεχνικές κατασκευών από χώμα (Δόμησης με πηλό)	50
4.5.1. Δόμηση με τη μέθοδο της συμπίεσμνης γης (Rammed earth)	51
4.5.2. Πλιθιά (Adobe).....	53
4.5.3. Στοιβαχτός πηλός (Cob)	54
ΜΕΡΟΣ Β.....	56
5. Ο ΣΤΟΙΒΑΧΤΟΣ ΠΗΛΟΣ (COB) ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ.....	56
5.1. Η τεχνική του στοιβαχτού πηλού (Cob)	57
5.2. Ιδανική σύσταση προϊόντων από τη γη	57
5.2.1. Το Αργιλόχωμα	58
5.2.2. Αδρανή υλικά	59
5.2.3. Φυτικές Ινες.....	60

5.2.4.	Το νερό	61
5.3.	Κατασκευή τοίχων.....	61
5.4.	Ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις.....	64
5.5.	Κατασκευή στέγης.....	65
5.6.	Κατασκευή δαπέδων.....	66
5.7.	Κατασκευή επιχρισμάτων.....	68
5.8.	Χρωματισμοί	70
5.9.	Ιδιότητες κελύφους από ακατέργαστη γη	70
5.9.1.	Υγρασία	70
5.9.2.	Θερμοχωρητικότητα- Θερμική μάζα	73
5.9.3.	Ηχομόνωση.....	77
5.9.4.	Οικονομικά Στοιχεία	77
5.9.5.	Οφέλη στον άνθρωπο	79
5.9.6.	Αντοχή, μηχανικές ιδιότητες, σεισμός.....	79
5.9.7.	Πυραντίσταση.....	84
5.9.8.	Ραδιενέργεια	85
5.9.9.	Ηλεκτρομαγνητικά κύματα.....	85
5.9.10.	Βιωσιμότητα	86
5.10.	Μειονεκτήματα.....	87
5.11.	Τεχνικές βελτίωσης με πρόσμικτα.....	88
5.12.	Νομοθεσία	90
ΜΕΡΟΣ Γ	93
6.	ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ	93
6.1.	Δημογραφικά στοιχεία.....	94
6.2.	Περιβάλλον.....	95
6.3.	Κατασκευαστικός Τομέας	98
6.4.	Φυσικά υλικά.....	101
6.5.	Ακατέργαστος Πηλός	104
6.6.	Συγκεντρωτική Ανάλυση Αποτελεσμάτων	109
7.	ΕΠΙΛΟΓΟΣ	116
Βιβλιογραφία	121
Ξενόγλωσσες Βιβλιογραφικές Αναφορές.....		121
Ελληνόγλωσσες Βιβλιογραφικές Αναφορές.....		130
Διαδικτυακοί Τόποι		131
Παράρτημα Α: «Ακατέργαστος Πηλός Ερωτηματολόγιο»		134

Κατάλογος Εικόνων / Σχημάτων

Εικόνα 1-1: Περιβαλλοντικό Αποτύπωμα (Πηγή: Αλεξανδρή, 2014)	16
Εικόνα 1-2: Συνέπειες της υπερθέρμανσης του πλανήτη και της κλιματικής αλλαγής. RCraig09, 2020, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:20200101_Global_warming_-_climate_change_-_causes_effects_feedback.png	19
Εικόνα 2-2: Εκτιμώμενες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα το 1995 σε μετρικούς τόνους (t) άνθρακα. Αυτές οι τιμές είναι οι αθροιστικές εκπομπές από την καύση ορυκτών καυσίμων, την παραγωγή υδραυλικού τσιμέντου και την καύση αερίου, (Πηγή: Mills, 2007).	20
Εικόνα 2-3: Λιώσιμο των παγετώνων. (Πηγή: https://science2017.globalchange.gov/chapter/executive-summary)	22
Εικόνα 3-4: 17 Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης (Πηγή: https://www.un.org/sustainabledevelopment/news/communications-material/)	23
Εικόνα 3-1: Κλιματικές Ζώνες στην Ελλάδα (Πηγή: Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017)	32
Εικόνα 3-2 : Κατασκευή από πάνελ άχυρου (Πηγή: https://ecococon.eu/se/blog/2020/building-with-ecococon-panels)	38
Εικόνα 3-3 : Σχηματισμός διαφόρων στυλ ανάλογα με τη χρήση των υλικών.	39
Εικόνα 3-4 : Σπίτι με αχυροσκεπή χωμάτινο (Πηγή: https://www.researchgate.net/publication/337871491_Natural_materials_in_sustainable_architecture_building_system)	40
Εικόνα 4-1 : Διάφοροι τύποι αργιλοχώματος (Πηγή: Σπυροπούλου et al., 2013)	42
Εικόνα 4-2 : Τεχνική δόμησης με ωμόπλινθους στην αρχαία Αίγυπτο 1500π.Χ. (Πηγή: Schroeder, 2012)	44
Εικόνα 4-3 : Δισπηλιό, Ν. Καστοριάς, Αναπαράσταση προϊστορικού οικισμού (Πηγή: Προσωπικό αρχείο, 2011)	45
Εικόνα 4-4: Σινικό τοίχος, κατασκευασμένο από συμπιεσμένη γη πριν από 4000 χρόνια, και κατόπιν επενδεδυμένο με τούβλο (Πηγή: Προσωπικό αρχείο, 2006)	45
Εικόνα 4-5: Κατοικίες από ακατέργαστο πηλό Devon του Ηνωμένου Βασιλείου (Πηγή: Pinterest & https://instead.com/blog/historical-cob-buildings)	46
Εικόνα 4-6 : Χάρτης απεικόνισης περιοχών δομημένων διάφορες τεχνοτροπίες ακατέργαστου πηλού (Πηγή: Dipasquale et al., 2011)	47
Εικόνα 4-7 : Pueblo, Μεξικό https://en.wikipedia.org/wiki/Taos_Pueblo	48
Εικόνα 4-8 : Διώροφη κατοικία στη Χαλάρα (Πηγή: Μπαλάσας, 2018)	49
Εικόνα 4-9 : Τεχνοτροπίες δόμησης με ακατέργαστο πηλό. (Πηγή: Μπέη, 2004)	50
Εικόνα 4-10 : Δόμηση με τη μέθοδο συμπιεσμένης γης (Πηγή: Birznieks, 2013)	52
Εικόνα 4-11 : Δόμηση με τη μέθοδο συμπιεσμένης γης (Πηγή: Dipasquale et al., 2011)	52
Εικόνα 4-12 : Παρασκευή πλίσθας, (Πηγή: Προσωπικό Αρχείο, 2011)	53
Εικόνα 4-13 : Δόμηση με ωμόπλινθους (Πηγή: Dipasquale et al., 2011)	54
Εικόνα 4-14 : Δόμηση με στοιβαχτό πηλό (Πηγή: Dipasquale et al., 2011)	54
Εικόνα 4-15 : Δόμηση με στοιβαχτό πηλό (Πηγή: https://www.diynatural.com/cob-house-construction)	55
Εικόνα 5-1 : Κατασκευή ξυλόφουρνου και εξωτερικής κουζίνας με τη μέθοδο του στοιβαχτού πηλού. (Πηγή: Προσωπικό αρχείο, 2011)	56

Εικόνα 5-2 : Δομή των συστατικών του χώματος και δομή του τελικού μείγματος.(Πηγή: Taghiloha, 2013)	57
Εικόνα 5-3 : Θεμελίωση τοίχου κατασκευασμένου με τη μέθοδο του στοιβαχτού πηλού. (Πηγή: https://www.cob.gr).....	61
Εικόνα 5-4 : Συνδυασμός δόμησης με στοιβαχτό πηλό και άλλες τεχνολογίες ακατέργαστου πηλού. (Πηγή: Dipasquale et al., 2011)	63
Εικόνα 5-5 : Κατασκευή ανοιγμάτων σε κτίσμα Cob ακατέργαστου πηλού (Πηγή: https://www.cob.gr).	64
Εικόνα 5-6 : Τοποθέτηση ηλεκτρολογικών σωληνώσεων κατά την κατασκευή (Πηγή: https://moreecological.wordpress.com).....	65
Εικόνα 5-7 : Κατασκευή ξύλινης στέγης(Πηγή: https://www.cob.gr).	66
Εικόνα 5-8 : Κατασκευή δαπέδων από Cob (Πηγή: Pinterest & https://naturallivingschool.com/tag/earth-floor)	67
Εικόνα 5-9 : Κατασκευή χωμάτινου δαπέδου (Πηγή: https://www.cob.gr).	68
Εικόνα 5-10 : Επίχρισμα από πηλό (Πηγή: Minke, 2006).	69
Εικόνα 5-11 : Τρίχρωμη καλουπωτή τοιχοποιία (Πηγή: Pinterest).	70
Εικόνα 5-12: Μορφές ανάπτυξης υγρασίας σε εξωτερικούς τοίχους (Πηγή: Παπαδοπούλου, 2021).....	72
Εικόνα 5-13: Επαγγελματικό στούντιο ηχογράφησης στην Santa Fe, Νέο Μεξικό κατασκευασμένο με τη μέθοδο του συμπιεσμένου πηλού (Πηγή: Birznieks, 2013).....	77
Εικόνα 5-14 : Βασικές μορφές αστοχίας σε σεισμικές δονήσεις. (Πηγή: Μπέη, 2010)	79
Εικόνα 5-15 : Εργαστηριακό πείραμα στη σεισμική συμπεριφορά δείγματος κατασκευής από στοιβαχτό πηλό (Πηγή: https://www.buildinggreen.com/blog/earthen-architecture-earthquakes)	82
Εικόνα 5-16 : Κατακόρυφος και οριζόντιος σπλισμός από καλάμια (Πηγή: Μπέη, 2010)	83
Εικόνα 5-17 : Κατακόρυφος σπλισμός με καλάμια και θεμελίωση με πέτρες σε τοιχοποιία με την τεχνολογία του τσατμά (Πηγή: Προσωπικό αρχείο 2022).....	84
Εικόνα 5-18: Ανάπτυξη εντόμων σε τοίχο από ακατέργαστο πηλό (Πηγή: http://www.earthstructures.co.uk/retro.htm)	87
Εικόνα 5-19 : Τυπική Παθολογία κτιρίων από φέρουσες ωμοπλινθοδομές (Πηγή: Μπατσούκα, 2016)	88
Εικόνα 5-20 : The Great Mosque, στο Djenné, Μαλί	90
Σχήμα 3-1: Απόβλητα Κατασκευών και κατεδαφίσεων στην Ελλάδα. (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ)....	31
Σχήμα 3-2: Κυκλική Οικονομία (Πηγή: PricewaterhouseCoopers. (n.d.). The circular economy model)	34
Σχήμα 3-3: Κύκλος ζωής σύγχρονων δομικών υλικών (Πηγή: Κορωναίος, 2005).....	36

Κατάλογος Πινάκων - Διαγραμμάτων

Πίνακας 3-1: Εκλυόμενοι ρύποι ανα πηγή ενέργειας (Πηγή: Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017) ..	26
Πίνακας 3-2: Ενσωματωμένη ενέργεια συνήθων υλικών δόμησης (Πηγή: Κορωναίος, 2005)	27
Πίνακας 3-3: Συντελεστής θερμοπερατότητας ανάλογα την κλιματική ζώνη (Πηγή: ΚΕΝΑΚ).....	32
Πίνακας 4-1: Δομή αργιλικών ορυκτών (Πηγή: Κοτρώτσιου, 2011).	41
Πίνακας 5-1: Σύγκριση θερμικών συντελεστών οικοδομικών στοιχείων. Πηγή: https://anelixi2020.org	74
Πίνακας 5-2: Θερμικά χαρακτηριστικά και διατάσεις υλικών κατασκευής από στοιβαχτό πηλό (Gounni & Louahlia, 2020)	76
Πίνακας 5-3: Μέγιστος επιτρεπόμενος Συντελεστής Θερμοπερατότητας δομικών στοιχείων, για τις τέσσερις κλιματικές ζώνες στην Ελλάδα. Πηγή: ΚΕΝΑΚ.....	76
Πίνακας 5-4 Κόστος εργατικού δυναμικού (Gounni & Louahlia, 2020)	77
Πίνακας 5-5 Κόστος υλικών (Gounni & Louahlia, 2020)	78
Πίνακας 5-6: Κόστος m2 ανά έτος εκτιμώμενης διάρκειας ζωής (Gounni & Louahlia, 2020)	78
Πίνακας 5-7: Σύγκριση Cob έναντι αντίστοιχης συμβατικής κατασκευής ως προς το συνολικό κόστος για διαφορετικές κλιματικές ζώνες (Gounni & Louahlia, 2020).....	78
Πίνακας 5-8: Θλιπτική αντοχή διαφόρων τύπων τοιχοσωμάτων (Πηγή: symeon, 2020). 80	
Πίνακας 5-9: Ρυθμός εκπνοής ραδόνιου (Πηγή: Minke, 2012).....	85
Πίνακας 5-10 : Σύγκριση κανονισμών που αφορούν στη δόμηση με ακατέργαστο πηλό σε πέντε χώρες. Οι διαφορές εντοπίζονται στις χρησιμοποιούμενες τεχνικές, στη νομική ισχύ και στις δοκιμές [Πηγή: Καταβούτας, 2012]	92
Διάγραμμα 7-1: Συγκριτικό διάγραμμα περιβαλλοντικών επιπτώσεων διαφόρων τύπων τοιχοποιίας. Πηγή: Ben-Alon et al., 2021	117
Διάγραμμα 7-2: Ετήσιες απαιτήσεις σε θέρμανση και ψύξη διαφορετικών τύπων τοιχοποιιών σε 6 διαφορετικές τοποθεσίες . Πηγή: Ben-Alon et al., 2021	118

Συντομογραφίες & Ακρωνύμια

ΜΔΕ	Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία
ΕΑΠ	Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο
ΘΕ	Θεματική Ενότητα
ΜΠΣ	Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών
ΣΥΝ	Συντονιστής
ΣΒΑ	Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης
ΑΣΧ	Αναπτυξιακοί Στόχοι Χιλιετίας
ΚΕΝΑΚ	Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων
GHG	Greenhouse Gas
ΕΕ	Ενσωματωμένη Ενέργεια
ΑΚΚ	Απόβλητα απο Κατασκευές και Κατεδαφίσεις
ΑΕΚΚ	Απόβλητα από Εκσκαφές – Κατασκευές και Κατεδαφίσεις
ΧΥΤΑ	Χώροι Υγειονομικής Ταφής
nZEB	Σχεδόν Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης
ΤΕΕ	Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος
CE	Circular Economy (Κυκλική Οικονομία)
ΔΟΕ	Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας
ΟΟΣΑ	Οργανισμός Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης
DHBT	Devon Historic Building Trust
ΠΟΕ	Πτητικές Οργανικές Ενώσεις

ΜΕΡΟΣ Α

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Από την εποχή της βιομηχανικής επανάστασης μέχρι σήμερα παρατηρείται έντονη αύξηση της θερμοκρασίας. Μάλιστα, σύμφωνα με τα Ηνωμένα Έθνη, εκτιμάται ότι μέχρι το 2100 θα έχει αγγίξει τους 2,7 °C (Environment, 2021). Τα ακραία καιρικά φαινόμενα, το λιώσιμο των πάγων, η αύξηση των θερμών περιόδων έναντι των ψυχρών είναι μερικές από τις συνέπειες της κλιματικής αλλαγής που είναι ήδη ορατές και έχουν άμεσες επιπτώσεις στην οικονομία, την κοινωνία, την υγεία, τα οικοσυστήματα κ.α. Βασικός υπαίτιος της σύγχρονης κλιματικής αλλαγής θεωρείται ο ανθρώπινος πολιτισμός. Συγκεκριμένα, η ανθρώπινη δραστηριότητα κατηγορείται για την αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου, τα οποία εγκλωβίζουν την θερμότητα του ήλιου στην επιφάνεια της γης και κατά συνέπεια συντελούν στην αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη.

Ο κατασκευαστικός κλάδος φέρει μεγάλο μέρος της ευθύνης καθώς είναι υπαίτιος για το 33% όλων των εκπομπών επιβλαβών αερίων παγκοσμίως, όπως είναι το CO₂. Πέρα από την ρύπανση της ατμόσφαιρας, ευθύνεται και για άλλες περιβαλλοντικές καταπονήσεις. Η εντατική χρήση φυσικών πόρων λόγω της οικοδομικής δραστηριότητας, η κατανάλωση ενέργειας κατά την κατασκευή και λειτουργία των οικοδομημάτων, τα στερεά και υγρά απόβλητα και οι εκπομπές επιβλαβών αερίων καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής ενός κτηρίου μέχρι τη κατεδάφιση του, συνθέτουν το περιβαλλοντικό αποτύπωμα του. Ευθύνεται, λοιπόν, επιπρόσθετα, για τη κατανάλωση μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τη σπατάλη πεπερασμένων φυσικών πόρων (40% όλων των πρωτογενών υλικών που καταναλώνονται) και για το 40% της παγκόσμιας παραγωγής απορριμμάτων (Ness & Xing, 2017).

Η αύξηση του πληθυσμού του πλανήτη και του βιοτικού επιπέδου των ανθρώπων, εντείνει την ανάγκη για στέγαση και για νέες υποδομές με συνέπεια να αυξάνονται και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των κατασκευών. Στα πλαίσια περιορισμού των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των κατασκευών στην Ελληνική νομοθεσία έχει θεσπιστεί Κανονισμός για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτηρίων (KENAK), σύμφωνα με τον οποίο, από 01/01/2021 θα πρέπει όλα τα κτήρια να είναι σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης. Ο KENAK, καθορίζει τις

ελάχιστες απαιτούμενες τιμές ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων και των δομικών στοιχείων τους, οι οποίες προσδιορίζονται από το σωστό βιοκλιματικό σχεδιασμό, τα θερμικά χαρακτηριστικά του κελύφους και τις ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις. Ο ΚΕΝΑΚ, συνεπώς, θέτει όρια που αφορούν στο ενεργειακό ισοζύγιο κατά τη λειτουργία των κτηρίων, αντιμετωπίζοντας έτσι μέρος του προβλήματος. Με τη χρήση τοπικών, φυσικών, ανακυκλούμενων και σε αφθονία στο περιβάλλον υλικών κατά την δόμηση, λειτουργία και κατεδάφιση τους μπορεί να μειωθεί περεταίρω το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των κατασκευών.

Στην παρούσα εργασία θα διερευνηθεί η χρήση του χώματος (πηλός) ως βιώσιμο υλικό κατασκευής. Θα εξεταστεί ο κύκλος ζωής του, οι ιδιότητες του και η συμπεριφορά του χαρμανιού που προκύπτει από την προσθήκη πρόσμεικτων όπως η άμμος και το άχυρο. Θα αναλυθούν οι διαφορετικές τεχνοτροπίες δόμησης του και ειδικά της τεχνικής του στοιβαχτού πηλού (Cob). Στόχος της εργασίας είναι να διερευνηθεί:

- η δυνατότητα χρήσης του ως δομικό υλικό, βάσει βιβλιογραφικών αναφορών,
- η καταλληλότητα του για τις ανάγκες της ελληνικής πραγματικότητας,
- η αποδοχή του από το ελληνικό κοινό



Εικόνα 1-1: Περιβαλλοντικό Αποτύπωμα (Πηγή: Αλεξανδρή, 2014)

2. Η ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

Ο όρος κλιματική αλλαγή αφορά στην μακροπρόθεσμη μεταβολή των καιρικών φαινομένων όπως η θερμοκρασία και ο υετός.

Κατά τη διάρκεια της ιστορίας της γης, το κλίμα της έχει αλλάξει εξαιτίας των διακυμάνσεων στην τροχιά της. Η διακυμάνσεις αυτές είχαν ως συνέπεια τη δημιουργία 7 περιόδων παγετώνων και οφείλονταν στην αλλαγή της ποσότητας ηλιακής ενέργειας που λάμβανε η γη. Τα τελευταία 11.700 χρόνια περίπου, η γη διανύει την περίοδο του ανθρώπινου πολιτισμού και της σύγχρονης κλιματικής εποχής (Lüthi et al., 2008).

Στην σύγχρονη κλιματική εποχή, η κλιματική αλλαγή έγκειται στην αύξηση της θερμοκρασίας και οφείλεται κυρίως στον ανθρώπινο παράγοντα και λιγότερο σε φυσικά φαινόμενα, όπως είναι η ηφαιστειακή δραστηριότητα και η διακύμανση της ηλιακής ακτινοβολίας. Οι συνέπειες της αύξησης της θερμοκρασίας είναι δυσμενείς για το κλίμα, το περιβάλλον, τα οικοσυστήματα και τον άνθρωπο. Είναι αναγκαίο, λοιπόν, να ληφθούν άμεσα δραστικά μέτρα, όπως αυτά που είχαν συμφωνηθεί στο Παρίσι το 2016.

2.1. Τα αίτια της κλιματικής αλλαγής.

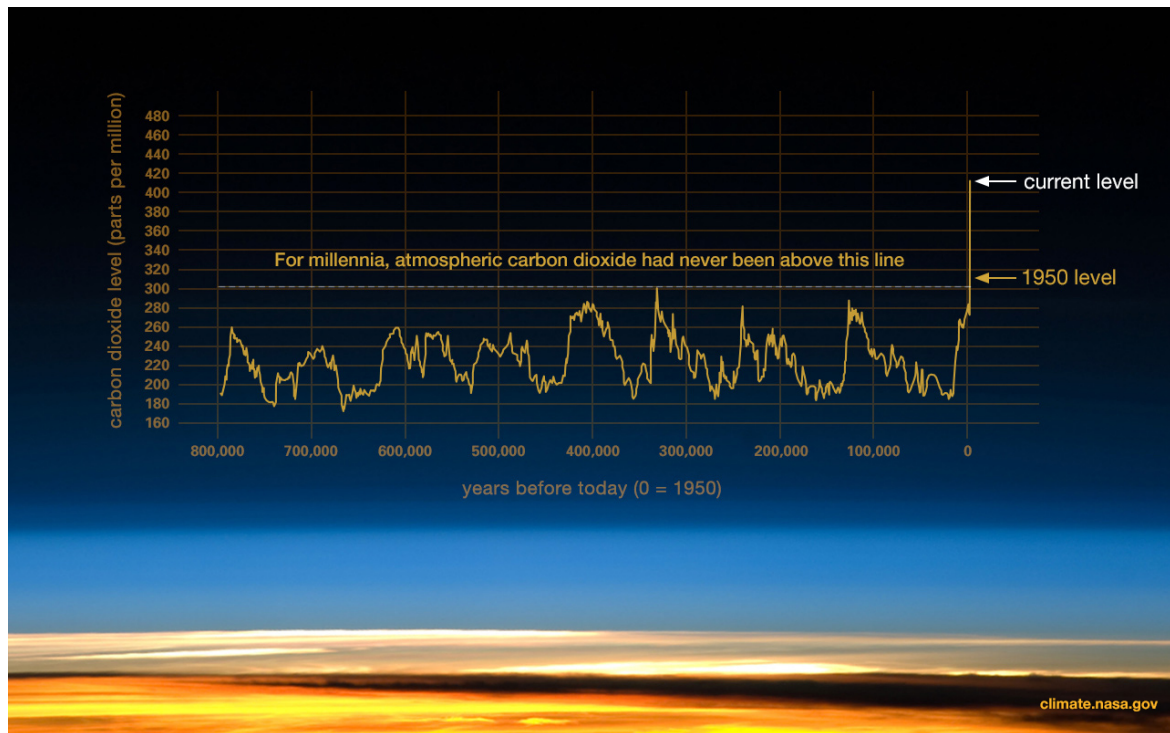
Η ανθρώπινη δραστηριότητα ενισχύει το φαινόμενο του θερμοκηπίου και ευθύνεται για την τρύπα του όζοντος.

2.1.1. Ανθρωπογενή αίτια

- Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι το βασικότερο αίτιο της κλιματικής αλλαγής.

Προκαλείται από ορισμένα αέρια, τα περισσότερα από τα οποία υπάρχουν στη φύση. Τα αέρια αυτά εγκλωβίζουν την θερμότητα του ηλίου στην επιφάνεια της γης και δεν της επιτρέπουν να διαφύγει πίσω στο διάστημα, με συνέπεια την υπερθέρμανση της. Η ανθρώπινη δραστηριότητα, όπως καύση ορυκτών καυσίμων (βιομηχανίες, μέσα μεταφοράς), κτηνοτροφία και αποψίλωση δασών, αυξάνει τη συγκέντρωση αυτών των αερίων στην ατμόσφαιρα. Ειδικά το CO₂, ευθύνεται περισσότερο από κάθε άλλο αέριο. Η πανδημία του COVID-19 οδήγησε σε μείωση των εκπομπών CO₂ κατά 5,4% το 2020 (Environment, 2021). Παρόλα αυτά η συγκέντρωση του το 2020 ήταν 48% υψηλότερη από ότι πριν την βιομηχανική επανάσταση. Άλλα αέρια του θερμοκηπίου είναι το Μεθάνιο,

το οποίο είναι πιο επιβλαβές από το CO_2 , αλλά διατηρείται για μικρότερο χρονικό διάστημα στην ατμόσφαιρα και το εποξειδίο του αζώτου. Το τελευταίο, όπως και το διοξείδιο του άνθρακα, έχει μεγάλη διάρκεια ζωής στην ατμόσφαιρα (δεκαετίες ή και αιώνες), (Αίτια της κλιματικής αλλαγής, n.d.)



Εικόνα 2-1: <https://climate.nasa.gov/evidence/>

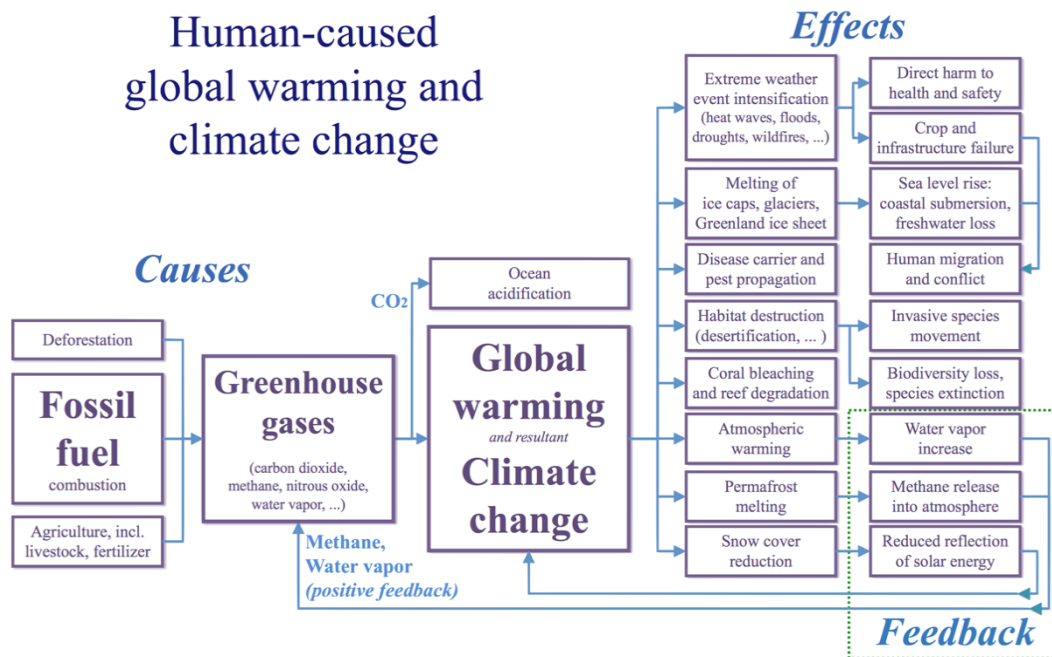
Τα αέρια που εκλύονται από φυσικές αιτίες, όπως η ηφαιστειακή δράση και η αλλαγές στην ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, έχουν συμβάλει ελάχιστα, συγκριτικά με την ανθρώπινη δραστηριότητα, στην αύξηση της θερμοκρασίας καθώς σε αυτά αποδίδεται αύξηση της τάξεως του 1°C σε βάθος εικοσαετίας (1990-2010), (Jones, 2022).

- Η τρύπα του όζοντος.

Το όζον βρίσκεται στην γήινη στρατόσφαιρα. Προστατεύει τον πλανήτη από τις υπεριώδεις ακτίνες του ηλίου, οι οποίες είναι επιβλαβείς για τον άνθρωπο (καρκίνος του δέρματος, οφθαλμικές βλάβες κ.α.), τα οικοσυστήματα και τη γεωργία. Ο όρος "τρύπα" αναφέρεται στην ελάττωση του πάχους της στρώσης του όζοντος.

Η χρήση προϊόντων που εκλύουν χλωροφθοράνθρακες (γνωστοί και ως "φρέον"), όπως είναι οι συσκευές κλιματισμού, τα προωθητικά αέρια, τα αεροζόλ και κάποιες ιατρικές

εφαρμογές, έχουν συμβάλει καθοριστικά στην μείωση του πάχους του όζοντος, κυρίως στην περιοχή που βρίσκεται πάνω από το νότιο Πόλο (Χατζηβακαλέλλης, 2018), με άμεση συνέπεια την αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη και στο λιώσιμο των πάγων.

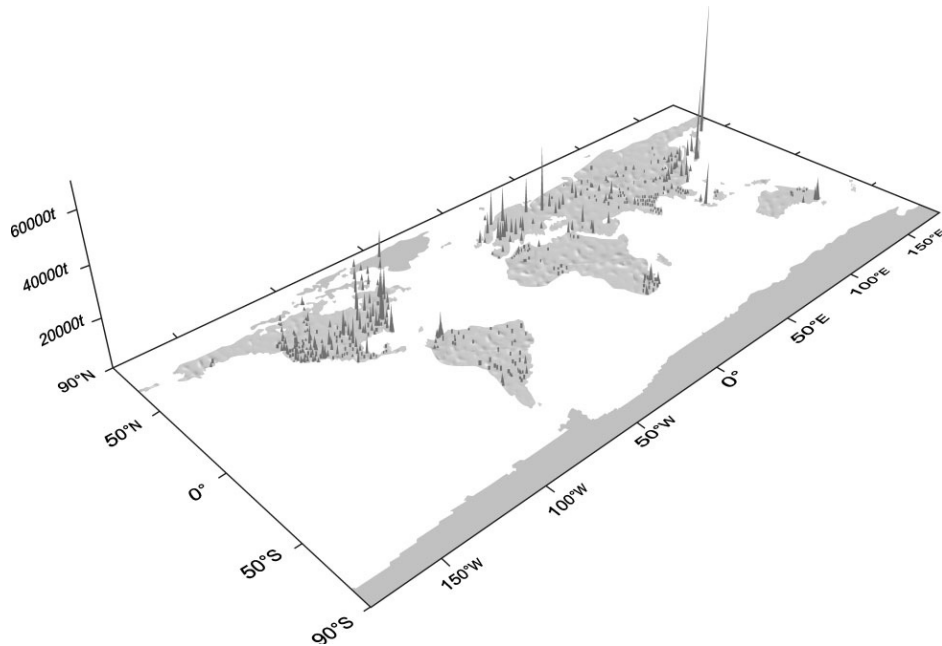


Εικόνα 1-2: Συνέπειες της υπερθέρμανσης του πλανήτη και της κλιματικής αλλαγής. RCraig09, 2020, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:20200101_Global_warming_-_climate_change_-_causes_effects_feedback.png

- Το φαινόμενο της αστικής νησίδας.

Από τη βιομηχανική επανάσταση και μετά παρατηρείται μετακίνηση του πληθυσμού στις πόλεις και ερήμωση της υπαίθρου. Η παγκόσμια αύξηση του πληθυσμού και η συνεχής συγκέντρωση του σε μεγαλουπόλεις επιφέρει πολλά και ποικίλα προβλήματα. Ένα από αυτά αφορά στο μικροκλίμα. Το μικροκλίμα του αστικού τοπίου διαφέρει από το αντίστοιχο της υπαίθρου. Η ποικνοκατοίκηση, η καθ' ύψος δόμηση, η έλλειψη ενοποιημένων υπαίθριων χώρων, τα υλικά δόμησης, η μειωμένη βλάστηση, είναι μερικές από τις αιτίες που επηρεάζουν τη θερμοκρασιακή συμπεριφορά των αστικών κέντρων. Όσο αυξάνεται η συγκέντρωση του πληθυσμού, τόσο μεγαλώνει η θερμοκρασιακή διαφορά σε σχέση με την περιβάλλουσα ύπαιθρο, διαταράσσοντας έτσι την ευρύτερη κλιματική ισορροπία. Δημιουργούνται, λοιπόν, διάφοροι αστικοί θερμοκρασιακοί πυρήνες σε

διάφορα σημεία στον πλανήτη, τα οποία στο σύνολο τους διαταράσσουν το παγκόσμιο κλίμα (Allen et al., 2011).



Εικόνα 2-2: Εκτιμώμενες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα το 1995 σε μετρικούς τόνους (t) άνθρακα. Αυτές οι τιμές είναι οι αθροιστικές εκπομπές από την καύση ορυκτών καυσίμων, την παραγωγή υδραυλικού τσιμέντου και την καύση αερίου, (Πηγή: Mills, 2007).

2.1.2. Φυσικά αίτια

Ενδεικτικά αναφέρονται κάποια από τα φυσικά αίτια που επιδρούν στην μεταβολή του κλίματος.

- Ηλιακή ακτινοβολία.

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που εκπέμπεται στη γη, μεταβάλλεται ανάλογα με τις διεργασίες που διενεργούνται στο εσωτερικό του Ηλίου (Μαχαιράς, 2006).

- Γωνία περιστροφής της γης.

Η γωνία περιστροφής της γης (απόκλιση) ως προς τον άξονα της, μεταβάλλεται. Η απόκλιση αυτή σχετίζεται με την ποσότητα της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στο

βόρειο και στο νότιο ημισφαίριο. Μάλιστα, σε αυτήν καταλογίζεται η έναρξη της περιόδου των παγετώνων (Αργυρίου & Γιαννούλη, 2010).

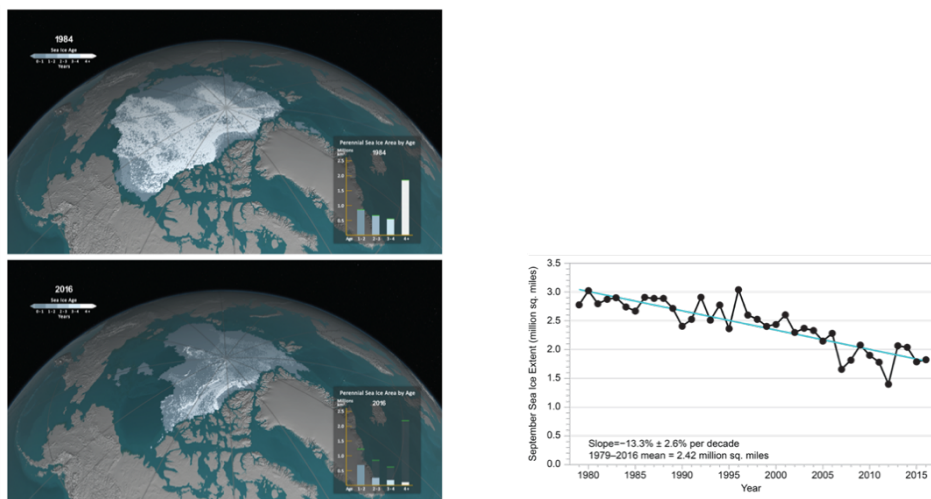
- Ηφαιστειακή δραστηριότητα.

Η ηφαιστειακή δραστηριότητα επιδρά στο κλίμα λόγω της έκκλησης επιβλαβών αερίων στην ατμόσφαιρα, όπως είναι το διοξείδιο του άνθρακα και τα αερολύματα. Σύμφωνα με το Γεωλογικό ινστιτούτο των Η.Π.Α (US Geological Survey), η ανθρώπινη δραστηριότητα εκλύει 130 φορές περισσότερη ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα από ότι τα ηφαίστεια.

2.2.Οι πιθανές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής

Το κλίμα της γης υφίσταται διακυμάνσεις κατά περιόδους που οφείλονται σε φυσικούς και ανθρωπογενείς παράγοντες. Στην παρούσα κλιματική περίοδο παρατηρείται ανησυχητική αύξηση της θερμοκρασίας (υπερθέρμανση) του πλανήτη, η οποία εκτιμάται ότι θα επιφέρει δυσμενείς επιπτώσεις, όπως:

- Μείωση των παγετώνων και αύξηση της στάθμης των θαλασσών, με συνέπεια τη διάβρωση των ακτών και την πλημμύρα των παράκτιων περιοχών που βρίσκονται σε χαμηλό υψόμετρο.
- Ακραία καιρικά φαινόμενα όπως ισχυρές βροχοπτώσεις, πλημμύρες, τυφώνες σε κάποιες περιοχές και ξηρασία, καύσωνες και πυρκαγιές σε άλλες.
- Αλλαγή των κλιματικών ζωνών. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με τους Chan & Wu (2015), για κάθε βαθμό κελσίου αύξησης της μέσης θερμοκρασίας της γης, οι κλιματικές ζώνες μετατοπίζονται κατά 100 με 200χλμ προς τα βόρεια.
- Αύξηση της θερμής περιόδου έναντι της χειμερινής, επηρεάζοντας τα οικοσυστήματα και τις καλλιέργειες.
- Οικονομικό και κοινωνικό κόστος από τις ζημιές που προκαλούν οι ακραίες καιρικές συνθήκες.
- Πλήττονται τομείς όπως η γεωργία, η δασοκομία, ο τουρισμός και η δημόσια υγεία.



Εικόνα 2-3: Λιώσιμο των παγετώνων. (Πηγή: <https://science2017.globalchange.gov/chapter/executive-summary>)

2.3. Αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής

Σύμφωνα με τον απολογισμό των Ηνωμένων Εθνών για το 2021 (Environment, 2021) οι δεσμεύσεις και τα μέτρα που έχουν ήδη παρθεί για την μείωση της κλιματικής αλλαγής, θα οδηγήσουν σε αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη κατά 2,7°C έως το τέλος του αιώνα. Η αύξηση αυτή είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από τον στόχο του 1,5°C που είχε συμφωνηθεί στο Παρίσι (The Paris Agreement | UNFCCC, 2016) και εκτιμάται ότι θα έχει καταστροφικές συνέπειες για το κλίμα του πλανήτη. Για να επιτευχθεί η ελάχιστη δυνατή αύξηση της θερμοκρασίας είχαν δεσμευτεί 196 μέλη της συμφωνίας, να μειώσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου το συντομότερο δυνατόν. Δυστυχώς όμως, πολλές χώρες καθυστερούν την εφαρμογή των μέτρων έως το 2030 με αποτέλεσμα να παρεκκλίνουμε κατά πολύ από τη δέσμευση της συμφωνίας του Παρισιού. Είναι επιτακτική, λοιπόν, η ανάγκη μες στα επόμενα 8 χρόνια να μειωθούν οι εκπομπές στο μισό ώστε να ξαναπλησιάσουμε τον στόχο.

Παρακάτω, συνοψίζονται κάποια βασικά μέτρα που εκτιμάται πως θα συμβάλουν θετικά στη μετρίαση του φαινομένου:

- Μεταστροφή στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας,
- Βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης
- Ελάττωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου

Παρόλο που τα επιβλαβή αέρια του θερμοκηπίου μειώθηκαν το 2020 εξαιτίας του covid-19, η πανδημία μας υπέδειξε την ανάγκη να επαναπροσδιορίσουμε τη σχέση των ανθρώπων με το φυσικό περιβάλλον (Turco et al., 2021).

2.4. Η ατζέντα των Ηνωμένων Εθνών

Στα πλαίσια της προστασίας του περιβάλλοντος και της βελτίωσης των συνθηκών διαβίωσης του ανθρώπου, όμως και άλλων στόχων όπως τη μείωση των ανισοτήτων, την εξάλειψη της φτώχειας, τη δικαιοσύνη και τη διασφάλιση της ειρήνης, η διεθνής κοινότητα υιοθέτησε στη Γενική Συνέλευση των Ηνωμένων Εθνών μια παγκόσμια ατζέντα για τη βιώσιμη ανάπτυξη, την Ατζέντα 2030 (Moallemi et al., 2019). Πρόκειται για ένα σχέδιο δράσης με επίκεντρο τον άνθρωπο και τον πλανήτη που αποβλέπει στην ευημερία μέσω της βιώσιμης ανάπτυξης.

Η ατζέντα 2030 περιλαμβάνει 17 Στόχους Βιώσιμης Ανάπτυξης (ΣΒΑ) και 169 λεπτομερείς επιμέρους στόχους με τους οποίους επιδιώκεται ο «μετασχηματισμός του κόσμου μας προς ένα δικαιότερο και πιο ειρηνικό μέλλον». Μέσα σε αυτούς συμπεριλαμβάνεται η «φθηνή και καθαρή ενέργεια», η «κλιματική δράση» και οι «βιώσιμες πόλεις και κοινωνίες» (Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development | Department of Economic and Social Affairs, n.d.). Βασίζεται στους Αναπτυξιακούς στόχους της χιλιετίας (ΑΣΧ), που είχαν



Εικόνα 3-4: 17 Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης (Πηγή: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/news/communications-material/>)

εγκριθεί 2000, και καλεί κάθε μέλος-κράτος να τους εφαρμόσει στη χώρα του. Έχει σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να προσαρμοστεί στις οικονομικές, κοινωνικές και πολιτικές

ιδιαιτερότητες της κάθε χώρας. Το σχέδιο είναι αρκετά φιλόδοξο και απαιτεί για την εφαρμογή του συλλογικότητα και υπευθυνότητα από τα κράτη και καλή συνεργασία μεταξύ της εκάστοτε κυβέρνησης, του ιδιωτικού τομέα και των πολιτών. Επιπλέον, παρακινεί τα κράτη-μέλη να παροτρύνουν και υποστηρίζουν και άλλα κράτη, οικονομικά ασθενέστερα, προς την επίτευξη των 17 ΣΒΑ έως το 2030.

3. ΑΕΙΦΟΡΙΑ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Ο όρος "αιεφορία" αναφέρεται στην χρήση και εκμετάλλευση φυσικών πόρων για την κάλυψη των αναγκών του ανθρώπου με γνώμονα την διασφάλιση της βιωσιμότητας τους για τις επόμενες γενιές. Πρόκειται για μια έννοια που χαρακτηρίζει κάθε τομέα, από την παγκόσμια αναπτυξιακή πολιτική έως τη χρήση των πηγών ενέργειας και από τον προγραμματισμό παραγωγής έως τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό (Maoeng et al., 2020).

Ο όρος "αιεφορος ανάπτυξη" αφορά σε ένα πρότυπο τρόπο ανάπτυξης με σεβασμό στις ανάγκες του παρόντος, χωρίς να τίθεται σε κίνδυνο η ικανότητα των επόμενων γενεών να καλύψουν τις δικές τους ανάγκες (Brand, 2015).

3.1.Αξιολόγηση του ενεργειακού αποτυπώματος της κατασκευής.

Ο τομέας της κατασκευής συνδέεται είτε άμεσα είτε έμμεσα με τους ΣΒΑ που τέθηκαν από τα Ηνωμένα Έθνη το 2015, καθώς είναι υπαίτιος σε μεγάλο βαθμό για την καταστροφή του περιβάλλοντος και κατ' επέκταση την κλιματική αλλαγή. Πρόκειται όμως για έναν τομέα απαραίτητο για την επιβίωση των ανθρώπων και επομένως θα πρέπει να μεριμνήσουμε προς την επίτευξη αιεφορίας στην κατασκευή.

Οι άνθρωποι χρειάζονται διάφορα κτίρια που καλύπτουν διαφορετικούς τομείς της καθημερινότητάς τους. Οι κτηριακές εγκαταστάσεις προκαλούν πολλά περιβαλλοντικά προβλήματα κατά την κατασκευή, λειτουργία και συντήρησή τους. Πιο συγκεκριμένα, οι κτηριακές υποδομές ευθύνονται για:

- Το 30% της εξαγωγής φυσικών πόρων (Benachio et al., 2020). Ειδικά όσων αφορά στην κατανάλωση πρώτων υλών, ο κατασκευαστικός κλάδος έρχεται δεύτερος μετά τον κλάδο της παραγωγής τροφίμων (Μποχλου, 2019).
- Το 33% όλων των εκπομπών επιβλαβών αερίων (όπως είναι το CO₂),
- Το 40% όλων των υλικών που καταναλώνονται
- Το 40% όλων των απορριμμάτων που παράγονται παγκοσμίως (Ness & Xing, 2017).

Πηγή ενέργειας	Συντελεστής μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια	Εκλυόμενοι ρύποι ανά μονάδα ενέργειας (kgCO ₂ /kWh)
Φυσικό αέριο	1,05	0,196
Πετρέλαιο θέρμανσης	1,10	0,264
Ηλεκτρική ενέργεια	2,9	0,989
Υγραέριο	1,05	0,238
Βιομάζα	1,00	---
Τηλεθέρμανση από θερμικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής	0,7	0,347
Τηλεθέρμανση από ΑΠΕ	0,5	---

Πίνακας 3-1: Εκλυόμενοι ρύποι ανα πηγή ενέργειας (Πηγή: Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017)

Στα πλαίσια της Ευρωπαϊκής « Πράσινης συμφωνίας» (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, επίσημος ιστότοπος, n.d.), η Ευρωπαϊκή επιτροπή υιοθέτησε ένα πλάνο δράσης το οποίο στοχεύει στη μείωση του καταναλωτικού αποτυπώματος, στο διπλασιασμό του ποσοστού επαναχρησιμοποίησης υλικών μέσω της βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων (παλαιών και νέων) και την ορθότερη χρήση των πόρων.

Επί του παρόντος, στην Ευρωπαϊκή Ένωση, μόνο το 1% των υφιστάμενων κτηρίων ανακαινίζεται ώστε να είναι αποδοτικότερο ενεργειακά.

3.1.1. Εξάντληση Φυσικών Πόρων

Ο κατασκευαστικός τομέας, μαζί με την βιομηχανία παραγωγής υλικών, που τον υποστηρίζει, αποτελούν δύο από τους βασικότερους εκμεταλλευτές πόρων του φυσικού περιβάλλοντος. Οι δραστηριότητες τους ευθύνονται σημαντικά για την μείωση των δασών και της καλλιεργήσιμης γης, για την μόλυνση του περιβάλλοντος και την υποβάθμιση της ατμόσφαιρας και των υδάτινων πόρων. Συγκεκριμένα, τα δάση και η καλλιεργήσιμη γη καταστρατηγούνται για την εξαγωγή χόματος και χαλικιών και άλλων πρώτων υλών. Για παράδειγμα, στο Μαλάουι 33.000 εκτάρια δάσους χάνονται τον χρόνο ώστε να εξαχθεί η ενέργεια της βιομάζας (Ngwira & Watanabe, 2019). Επιπλέον, μεγάλο ποσοστό της καύσης των ξύλων χρησιμοποιείται στην παραγωγή τούβλων. Παράλληλα, αρκετά δάση καλλιεργούνται με μη βιώσιμο τρόπο για τον σκοπό της παραγωγής ξυλείας, ή μπαμπού και άλλων υλικών. Τέλος, η κατασκευαστική βιομηχανία χρησιμοποιεί σε μεγάλο βαθμό μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και μέταλλα, με συνέπεια τα αποθέματα αυτά να εξαντλούνται (Spence & Mulligan, 1995).

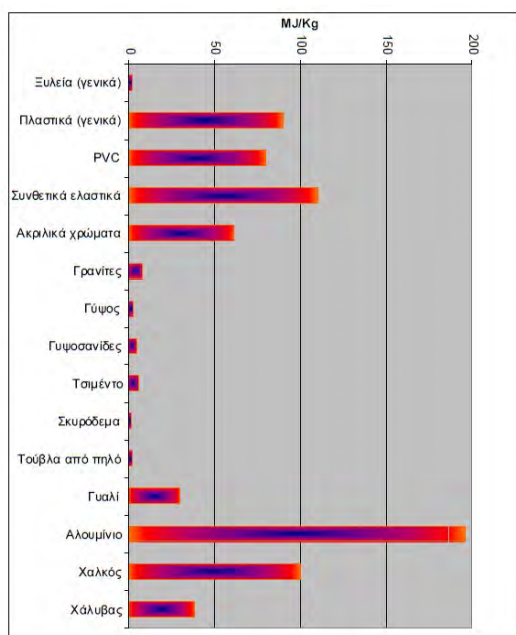
3.1.2. Κατανάλωση Ενέργειας

Ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας (ΔΟΕ), στην τελευταία του έκθεση του Ιουνίου 2020, ανέφερε ότι η χρήση ενέργειας στα κτίρια αυξήθηκε κατά 7,81% από το 2010 έως το 2019 (Tracking Buildings Report, 2020), ενώ παράλληλα η ζήτηση συνεχίζει να αυξάνεται, γεγονός που απαιτεί περισσότερες επενδύσεις στα προγράμματα βιώσιμης ανάπτυξης στον οικοδομικό τομέα. Πράγματι, όπως επισημαίνουν οι Painuly et al. (2003) έχουν υιοθετηθεί διαφορετικές πολιτικές για την προώθηση ενεργειακής απόδοσης και βιώσιμων πρακτικών των κτιρίων. Ταυτόχρονα, άλλα σενάρια βελτίωσης αναμένεται να ολοκληρωθούν έως το 2030, όπως: ουσιαστικές ενεργειακές ανακαινίσεις, τριπλασιασμός της τεχνολογίας θέρμανσης και 50% κλιματισμού.

3.1.3. Ενσωματωμένη Ενέργεια

Η κατανάλωση ενέργειας δεν αφορά μόνο στη δαπάνη που συντελείται για την εύρυθμη λειτουργία του δομημένου χώρου, αφορά και στην ενσωματωμένη ενέργεια των υλικών δόμησης του. Τα περιβαλλοντικά βάρη ενός υλικού, περιλαμβάνουν κυρίως την ενσωματωμένη ενέργεια του και τις εκπομπές που προστίθενται στο περιβάλλον από κάθε διαδικασία του κύκλου ζωής του.

Ενσωματωμένη ενέργεια (EE), είναι η μη ανανεώσιμη ενέργεια που καταναλώνεται σε όλο τον κύκλο ζωής ενός υλικού, δηλαδή από την εξόρυξη του, τη μεταφορά του, την επεξεργασία του,



τη συναρμολόγηση του, τη συντήρηση του, έως την αποσυναρμολόγηση και απόρριψη του. Πρόκειται για την ενέργεια που δεσμεύεται σε ένα προϊόν και είναι μια σημαντική παράμετρος για τη σύγκριση υλικών ή προϊόντων, με περιβαλλοντικούς όρους. Είναι ένα μέτρο της ποσότητας ενέργειας που καταναλώνεται, από την εξόρυξη της πρώτης ύλης έως τις διαδικασίες παραγωγής που απαιτούνται για την παραγωγή ενός τελικού προϊόντος. Περιλαμβάνει επίσης την ενέργεια που σχετίζεται με τη μεταφορά των πρώτων υλών στο εργοστάσιο και των τελικών προϊόντων στον καταναλωτή (Ngwira

Πίνακας 3-2: Ενσωματωμένη ενέργεια συνήθων υλικών δόμησης
(Πηγή: Κορωναίος, 2005)

& Watanabe, 2019). Η εγγενής ενέργεια του ίδιου του υλικού δεν περιλαμβάνεται ως ενσωματωμένη ενέργεια (Yahya & Boussabaine, 2010).

Η ενσωματωμένη ενέργεια είναι ένα μέτρο ελέγχου των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της κατασκευής και της αποτελεσματικότητας οποιασδήποτε ανακύκλωσης, ιδιαίτερα των εκπομπών CO₂ (Abeyesundara et al., 2009).

3.1.4. Εκπομπή Επιβλαβών Αερίων

Οι Labaran, Mathurs και Farouq (2021) σε έρευνα τους με θέμα: «Το αποτύπωμα άνθρακα της κατασκευαστικής βιομηχανίας: Μια ανασκόπηση της άμεσης και έμμεσης εκπομπής», αναφέρουν ότι ο κατασκευαστικός κλάδος είναι από τους κυριότερους κλάδους εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου (GHG) και ότι ευθύνεται για το 19% του συνόλου των εκπομπών GHG παγκοσμίως, καθιστώντας τον σε "hot spot" ρύπανσης, ενώ φαίνεται να επιδρά σημαντικά και στην κλιματική αλλαγή.

Η καύση της ξυλείας για την παραγωγή ενέργειας χρήσιμης για την κατασκευή των υλικών αλλά και των οικοδομών μολύνει τον αέρα και το νερό με διοξείδιο και άλλα οξείδια του άνθρακα. Επιπλέον η διαδικασία της παραγωγής των τεχνητών οικοδομικών υλικών εξάγει σκόνη, φυτικές ίνες, βλαβερά μικροσωματίδια και τοξικά αέρια. Πιο συγκεκριμένα, τέτοιες δραστηριότητες ευθύνονται σε μεγάλο βαθμό για την ύπαρξη πληθώρας αζώτου, οξειδίων του θείου και χλωροφθορανθράκων τα οποία εξασθενούν το στρώμα του όζοντος και συνεισφέρουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου (Spence & Mulligan, 1995). Επιπλέον, οι επιβλαβείς ουσίες επικάθονται ή απορροφώνται από τη γη και τα προϊόντα της και εισέρχονται στην διατροφική αλυσίδα. Κατά συνέπεια, επιβάλλεται να παρθούν άμεσα μέτρα περιορισμού των εκπομπών.

Δυστυχώς, δεν έχουν γίνει επαρκείς μελέτες πάνω σε αυτό το θέμα, ώστε να μπορέσουν οι κατασκευαστικές εταιρείες να ανταποκριθούν στην ανάγκη για μειωμένες εκπομπές GHG. Επιπρόσθετα, διαπίστωσαν ότι η πλειοψηφία των ερευνητών εστιάζει κυρίως σε ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό του κατασκευαστικού κλάδου, μια μελέτη περίπτωσης μιας συγκεκριμένης περιοχής, αξιολογώντας τον κύκλο ζωής του. Από την άλλη, αυτοί που έχουν ερευνήσει παρόμοια θέματα μεταξύ τους, όπως το τσιμέντο ή τον χάλυβα, έχουν χρησιμοποιήσει διαφορετικές μεθοδολογίες, μονάδες μέτρησης και τεχνικές αναφοράς και ως εκ τούτου, δεν μπορεί να υπάρξει ρεαλιστική σύγκριση μεταξύ των ευρημάτων της

βιβλιογραφίας. Παρόλα αυτά, το εύρος των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα είναι ιδιαίτερα σαφές στη βιβλιογραφία.

3.1.5. Οικοδομικά απορρίμματα

Τα οικοδομικά απορρίμματα, γνωστά ως ΑΚΚ (Απόβλητα από Κατασκευές και Κατεδαφίσεις) αποτελούνται κατά κύριο λόγο από το αλουμίνιο, το ατσάλι, το οπλισμένο σκυρόδεμα, το μπετό, το γυαλί, τα τούβλα, διαλυτικά, αμίαντος και τα χρώματα από εκσκαφές και ξύλα. Μια πιο ευρεία κατηγορία συνιστούν τα απορρίμματα ΑΕΚΚ (Απόβλητα από Εκσκαφές – Κατασκευές και Κατεδαφίσεις).

Τα υλικά απορρίπτονται κατά την κατασκευή, εξαιτίας της φθοράς τους, της ύπαρξης περισσευούμενης ποσότητας υλικών κατά το τέλος των εργασιών, ως απόβλητα κατά την διαδικασία παραγωγής ενός άλλου υλικού ή τέλος αποτελούν υλικά συσκευασιών. Κατά τις κατεδαφίσεις εξαιρετικά επικίνδυνα απόβλητα εναποτίθενται στην Γή, όπως για παράδειγμα, αμίαντος, βενζόλιο, χρωμικός ψευδάργυρος, διχλωρομεθάνιο, φορμαλδεύδη, συνθετικές ίνες, PCBs και χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες (Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, Ανακύκλωση οικοδομικών απορριμμάτων, ΠΑΤΡΑ 2012).

Τα οικοδομικά απορρίμματα μολύνουν απευθείας τις περιοχές στις οποίες βρίσκονται, ενώ μέσω των ποταμών και του υδροφόρου ορίζοντα η μόλυνση επεκτείνεται. Στις μολυσμένες εκτάσεις εμφανίζονται διάφορα παράσιτα και αυξάνεται ο κίνδυνος πυρκαγιών. Παράλληλα υπάρχουν μελέτες σχετικά με την σκόνη που παράγουν οι κατασκευαστικές εργασίες. Για παράδειγμα, στην Κίνα το Ασβέστιο (PM_{2.5}) της ατμόσφαιρας προέρχεται σχεδόν εξ' ολοκλήρου από βιομηχανικά απόβλητα και στο Πεκίνο το 10% της μόλυνσης της ατμόσφαιρας από PM₁₀ σωματίδια προέρχεται από οικοδομικά απόβλητα (Yang et al., 2005).

Επιπρόσθετα, το μη βιώσιμο οικονομικό μας σύστημα παράγει πάρα πολλά απόβλητα. Συγκεκριμένα, δημιουργούνται μακροχρόνια αποθέματα βιομηχανικών προϊόντων, τα οποία δεν καταναλώνονται άμεσα μετά την εξόρυξη τους. Μάλιστα, τα ορυκτά που χρησιμοποιούνται στις κατασκευές έχουν μεγαλύτερο κύκλο ζωής από τα ορυκτά που χρησιμοποιούνται για μπαταρίες ηλεκτρικών οχημάτων. Όταν αυτά τα αποθέματα φτάσουν στο τέλος της διάρκειας ζωής τους, μελλοντικά, θα αντιμετωπίσουμε πρόβλημα, λόγω μεγάλων ποσοτήτων απορριμμάτων, τα οποία ο πλανήτης μας δεν θα μπορέσει να απορροφήσει και ανακυκλώσει.

(The Dark Side of the Construction Industry: Global Extraction of Minerals : Discovering Sustainability, n.d.)

3.2. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις της κατασκευής στον Ελλαδικό χώρο.

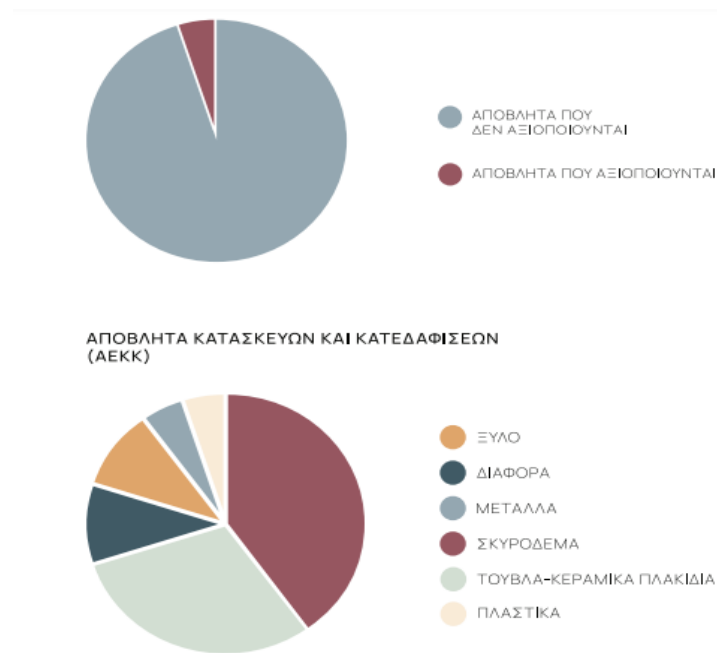
Η εντατική χρήση φυσικών πόρων λόγω της οικοδομικής δραστηριότητας, η κατανάλωση ενέργειας κατά την κατασκευή και λειτουργία των οικοδομημάτων, τα στερεά και υγρά απόβλητα και οι εκπομπές επιβλαβών αερίων καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής ενός κτηρίου μέχρι τη κατεδάφιση του, έχουν πολλές αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Αυτές οι αρνητικές επιπτώσεις μπορούν να συνοψιστούν σε κατανάλωση μη ανανεώσιμων πόρων, μείωση της βιοποικιλότητας, αποψίλωση δασών, μείωση γεωργικών εκτάσεων, ρύπανση του εδάφους, των υδάτων και του αέρα, καταστροφή φυσικών περιοχών πρασίνου και υπερθέρμανση του πλανήτη (Vyas et. al., 2014) .

Στην Ελλάδα η κατανάλωση ενέργειας για το 2007, που οφείλονταν στις κτηριακές υποδομές, όπως κατοικίες, γραφεία, εμπορικά κτήρια, σχολεία, ξενοδοχεία κ.α. ανέρχονταν στο 35% της συνολικά καταναλισκόμενης ενέργειας. Πρώτος σε θέση ήταν ο κλάδος των μεταφορών με ποσοστό 38% και τρίτη η βιομηχανία με ποσοστό 27% . Όσον αφορά στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα στη χώρα μας, το 94% οφείλονταν στην παραγωγή και χρήση ενέργειας και από αυτό το 45% αναλογούσε στον κατασκευαστικό τομέα (Περδίδς, 2007).

Αξίζει να σημειωθεί ότι το 70% των καυσίμων που χρησιμοποιούνται στη χώρα μας εισάγεται (κυρίως από Ρωσία και Περσικό κόλπο). Παράλληλα τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται για την μεταφορά των υλικών και την κατασκευή συμβατικών κτιρίων έχουν ως πηγή κίνησης το . Στη δύσκολη εποχή που διανύουμε θα πρέπει να στραφούμε στην ανάπτυξη εγχώριων ανανεώσιμων και συμβατικών πηγών ενέργειας.

Στην Ελλάδα τα επίπεδα των ΑΚΚ παρουσιάζονται αρκετά μειωμένα συγκριτικά με άλλες ευρωπαϊκές χώρες και αυτό συμβαίνει κυρίως εξαιτίας της έλλειψης ενός κοινού ορισμού των απορριμμάτων που εμπίπτουν στην κατηγορία αυτή και εξαιτίας του ελλιπούς ελέγχου. Έτσι, για παράδειγμα το 2004, μια χρόνια με υψηλή οικοδομική δραστηριότητα (λόγω της διοργάνωσης των Ολυμπιακών Αγώνων) η Ελλάδα, παρήγαγε 0,37 τόνους ΑΚΚ κατά κεφαλήν, το Λουξεμβούργο με την μέγιστη παραγωγή εναπόθεσε 5,9 τόνους κατά κεφαλήν και η Λετονία με την ελάχιστη παραγωγή, εναπόθεσε 0,04 τόνους κατά κεφαλήν.

Σε γενικές γραμμές η διαχείριση των οικοδομικών αποβλήτων στον Ελλαδικό χώρο είναι ελλιπής και ανεξέλεγκτη. Τα απόβλητα αυτά εναποτίθενται είτε σε χώρους υγειονομικής ταφής



(Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ)

(ΧΥΤΑ), αν και η διαδικασία δεν ενδείκνυται, είτε ανακυκλώνονται σε συγκεκριμένα κέντρα ανακύκλωσης (κυρίως τα μέταλλα καθώς δεν αλλοιώνεται η σύσταση τους). Παρόλα αυτά μεγάλο ποσοστό των οικοδομικών αποβλήτων επιστρέφει παράνομα στο φυσικό περιβάλλον.

Σχήμα 3-1: Απόβλητα Κατασκευών και κατεδαφίσεων στην Ελλάδα.

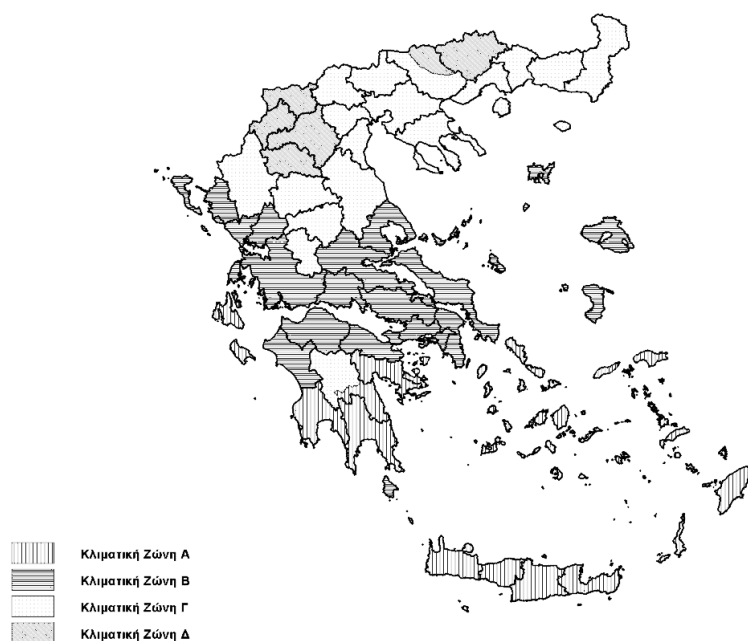
3.3.KENAK

Για να αντιμετωπιστεί το περιβαλλοντικό πρόβλημα που οφείλεται στον κατασκευαστικό τομέα, πρέπει:

- να γίνει μεταστροφή του κλάδου προς τις αρχές της κυκλικής οικονομίας (Rossi et al., 2020), δηλαδή να γίνεται χρήση υλικών χαμηλού ενεργειακού αποτυπώματος,
- και η σχεδίαση των κτηρίων να γίνεται με γνώμονα τις αρχές της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής.

Στα πλαίσια περιορισμού των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των κατασκευών, στην Ελληνική νομοθεσία έχει θεσπιστεί Κανονισμός για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτηρίων (KENAK), σύμφωνα με τον οποίο, από 01/01/2021 θα πρέπει όλα τα κτήρια να είναι σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης (nZEB). Μάλιστα, η μειωμένη κατανάλωση ενέργειας που απαιτείται για τη λειτουργία τους θα πρέπει να καλύπτεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ο KENAK, καθορίζει τις ελάχιστες απαιτούμενες τιμές ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων και των δομικών στοιχείων τους, οι οποίες προσδιορίζονται από το σωστό βιοκλιματικό

σχεδιασμό, τα θερμικά χαρακτηριστικά του κελύφους και τις ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις. Ο ΚΕΝΑΚ, συνεπώς, θέτει όρια στην κατανάλωση συμβατικής ενέργειας κατά τη λειτουργία ενός κτηρίου, αντιμετωπίζοντας έτσι μέρος του προβλήματος. Η άλλη πτυχή του προβλήματος, δηλαδή η σπατάλη πεπερασμένων πόρων και τα οικοδομικά απόβλητα, απαιτεί για την αντιμετώπιση της, τη χρήση τοπικών, φυσικών, ανακυκλούμενων και σε αφθονία στο περιβάλλον υλικών δόμησης, τα οποία έχουν χαμηλή εμπεριεχόμενη ενέργεια.



Εικόνα 3-1: Κλιματικές Ζώνες στην Ελλάδα (Πηγή: Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017)

Δομικό στοιχείο	Σύμβολο	Συντελεστής θερμοπερατότητας [W/(m ² .K)]			
		Κλιματική ζώνη			
		Α	Β	Γ	Δ
Εξωτερική οριζόντια ή κεκλιμένη επιφάνεια σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (οροφές).	U _{V,D}	0,50	0,45	0,40	0,35
Εξωτερικοί τοίχοι σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα.	U _{V,W}	0,60	0,50	0,45	0,40
Δάπεδα σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (πυλωτή).	U _{V,DL}	0,50	0,45	0,40	0,35
Δάπεδα σε επαφή με το έδαφος ή με κλειστούς μη θερμαινόμενους χώρους.	U _{V,G}	1,20	0,90	0,75	0,70
Τοίχοι σε επαφή με το έδαφος ή με μη θερμαινόμενους χώρους.	U _{V,WE}	1,50	1,00	0,80	0,70
Ανοίγματα (παράθυρα, μπαλκονόπορτες κ.ά.)	U _{V,F}	3,20	3,00	2,80	2,60
Γυάλινες προσόψεις κτηρίων μη ανοιγόμενες και μερικώς ανοιγόμενες.	U _{V,gF}	2,20	2,00	1,80	1,80

Πίνακας 3-3: Συντελεστής θερμοπερατότητας ανάλογα την κλιματική ζώνη (Πηγή: ΚΕΝΑΚ)

3.4.Βιοκλιματική Αρχιτεκτονική.

Βιοκλιματική αρχιτεκτονική ονομάζεται ο τομέας της αρχιτεκτονικής που ασχολείται με τη μελέτη και κατασκευή κτηρίων με σεβασμό στο τοπικό κλίμα της εκάστοτε περιοχής και με τη διασφάλιση ιδανικών εσωτερικών συνθηκών στα κτήρια, καταναλώνοντας την ελάχιστη δυνατή ενέργεια και αξιοποιώντας τις διαθέσιμες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, αξιοποιεί την ηλιακή ενέργεια για θέρμανση, τον άνεμο για δροσισμό και ψύξη, το φυσικό φως για διασφάλιση οπτικής άνεσης και τη βλάστηση για να σκιάσει το κτήριο (Περδίδης, 2007). Στόχος της είναι η επίτευξη συνθηκών άνεσης για τους χρήστες με την ελάχιστη κατανάλωση συμβατικής ενέργειας και κατά συνέπεια αποφόρτιση της ατμόσφαιρας από ρύπους. Οι βασικές αρχές της βιοκλιματικής εστιάζουν στην προστασία των κατασκευών από τον ήλιο το καλοκαίρι και από τον αέρα το χειμώνα, στον ηλιασμό τους τον χειμώνα και στον δροσισμό τους το καλοκαίρι.

Όπως προαναφέρθηκε, με τον βιοκλιματικό σχεδιασμό επιτυγχάνεται ελαχιστοποίηση της καταναλισκόμενης ενέργειας από συμβατικές πηγές, που απαιτείται για την εξασφάλιση συνθηκών οπτικής και θερμικής άνεσης σε έναν χώρο. Όμως, για την επίτευξη ολιστικής μείωσης του ενεργειακού αποτυπώματος των κατασκευών στο περιβάλλον, εκτός από τον σωστό σχεδιασμό θα πρέπει να μεριμνήσουμε και για τη χρήση κατάλληλων υλικών, φιλικών προς το περιβάλλον.

3.5.Κυκλική Οικονομία.

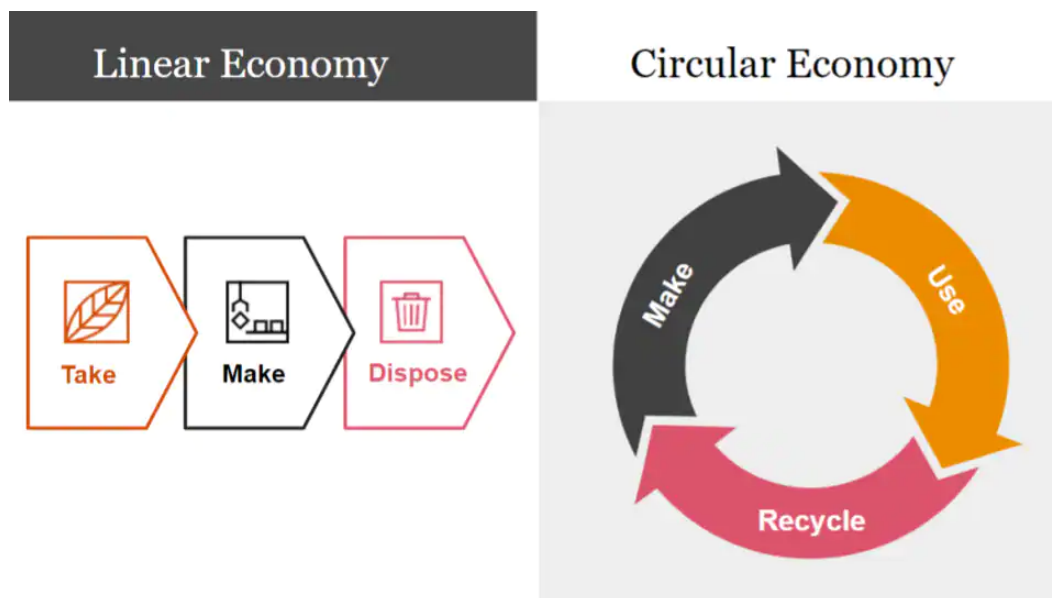
Η ανάγκη για κατασκευή μεγάλης ποσότητας νέων κτιρίων για την αντιμετώπιση της αύξησης του πληθυσμού και του βιοτικού επιπέδου έρχεται σε αντίθεση με την ανάγκη αντιμετώπισης της υπερθέρμανσης του πλανήτη, της μείωσης της βιοποικιλότητας και της προστασίας των φυσικών πόρων από εξάντληση. Για να ξεπεραστεί αυτή η αντίφαση εκτιμάται ότι θα πρέπει να στραφούμε προς τις αρχές της κυκλικής οικονομίας, χρησιμοποιώντας σε μεγάλη κλίμακα έναν συνδυασμό εναλλακτικών δομικών υλικών χαμηλών εκπομπών άνθρακα και εναλλακτικών τεχνολογιών και πρακτικών (Morel et al., 2021).

Η κυκλική οικονομία είναι ένα νέο μοντέλο που πραγματεύεται την παραγωγή και κατανάλωση που εξασφαλίζει διαχρονική βιώσιμη ανάπτυξη. Με την κυκλική οικονομία, μπορούμε να επιδιώξουμε τη βελτιστοποίηση των πόρων, να μειώσουμε την κατανάλωση πρώτων υλών και

να ανακτήσουμε τα απορρίμματα ανακυκλώνοντας τα ή δίνοντάς τους μια καινούργια ζωή ως νέο προϊόν.

Στην κατασκευή ακολουθείται η διαδικασία «παίρνω, φτιάχνω, απορρίπτω», δηλαδή τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή δεν μπορούν εν δυνάμει να επαναχρησιμοποιηθούν μετά την απόρριψη τους. Τα τελευταία χρόνια όμως γίνεται μια προσπάθεια να υιοθετηθεί ένα μοντέλο κυκλικής οικονομίας όσων αφορά στα υλικά της οικοδομής, αξιοποιώντας τις δυνατότητες και ιδιότητες του κάθε υλικού και επιδιώκοντας την επαναχρησιμοποίηση τους. Συγκεκριμένα, συστήνεται η ευρεία χρήση υλικών κατασκευής, χαμηλής εκπομπής άνθρακα (Morel et al., 2021). Στόχος είναι η μείωση των οικοδομικών αποβλήτων και της εξόρυξης πόρων (Benachio et al., 2020). Είναι σημαντικό κατά την αρχική φάση της μελέτης του έργου να εξετάζεται η διαχείριση και η μείωση των οικοδομικών αποβλήτων.

Σύμφωνα με την κυκλική οικονομία, όταν κάποιο οικοδομικό υλικό απορρίπτεται θα πρέπει να μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί και τα τμήματα του που αποδομούνται να αποτελέσουν (υλικό- παρακαταθήκη) βάση για άλλες κατασκευές.



Σχήμα 3-2: Κυκλική Οικονομία (Πηγή: PricewaterhouseCoopers. (n.d.). The circular economy model)

Αποτελέσματα έρευνας των Rossi et al. (2020) αναφέρουν ότι η κυκλική οικονομία είναι το βέλτιστο μέσο προς την αειφορία, διότι προσφέρει ένα σύνολο πρακτικών που είναι ικανές να δημιουργήσουν πιο βιώσιμες λειτουργίες, καθιστώντας έτσι, τη βιωσιμότητα εφικτή στους διάφορους οργανισμούς. Για τη μέτρηση της βιωσιμότητας που φέρνει η Κυκλική Οικονομία,

έχουν αναπτυχθεί δείκτες κυκλικότητας, κυρίως σε μικρο-επίπεδο (εταιρείες και προϊόντα). Όμως, η πολυπλοκότητα της Κυκλικής Οικονομίας συνεπάγεται ένα σύνολο πολυδιάστατων δεικτών αντί για έναν ενιαίο. Η έρευνα στοχεύει να αναπτύξει ένα σύνολο δεικτών που συνδέουν:

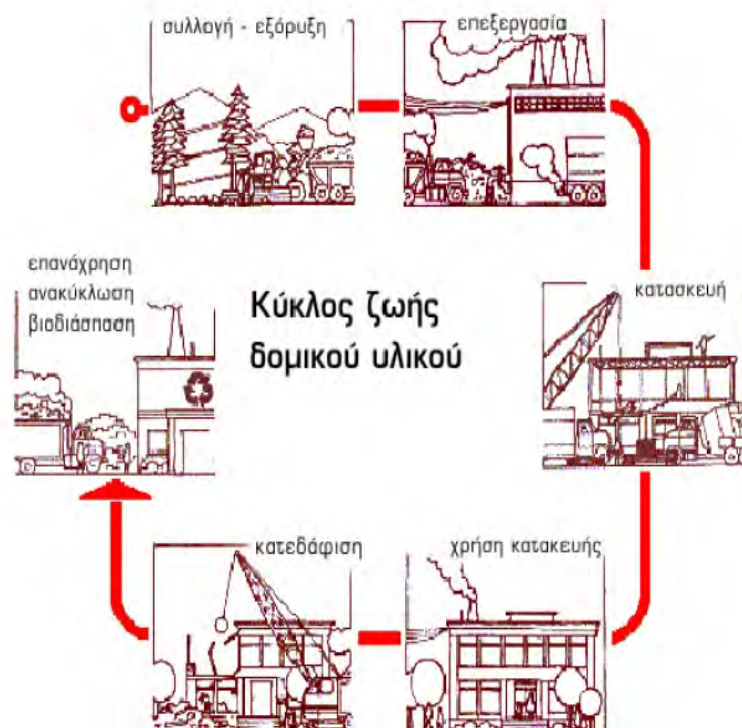
- τις αρχές της Κυκλικής Οικονομίας,
- το Κυκλικό Επιχειρηματικό Μοντέλο και
- τους πυλώνες της Αειφορίας.

Το σύνολο των δεικτών αναπτύχθηκε με βάση την υποθετική-απαγωγική προσέγγιση, ακολουθώντας μια σειρά από επαναλήψεις (κύκλους) και δοκιμάζοντας τη θεωρία στον εμπειρικό κόσμο. Εφαρμόστηκε ένας συνδυασμός μεθόδων έρευνας (π.χ. διαβούλευση με ειδικούς, σχόλια χρηστών και μελέτες περιπτώσεων). Οι προτεινόμενοι δείκτες έπρεπε να μπορούν να επιτύχουν τις αρχές της Κυκλικής Οικονομίας και, ταυτόχρονα, να συμβάλλουν στην κάλυψη των ιδιαιτεροτήτων και των αναγκών κάθε κυκλικού επιχειρηματικού μοντέλου. Η κύρια συνεισφορά αυτής της εργασίας τους έγγυται στην ανάπτυξη μιας ομάδας δεικτών, εστιασμένων στις τρεις διαστάσεις της Αειφορίας (περιβαλλοντική (από υλική άποψη), οικονομική και κοινωνική), που εφαρμόζονται στα Κυκλικά Επιχειρηματικά Μοντέλα για την αποτύπωση των καινοτομιών που φέρνει η Κυκλική Οικονομία και που οι συμβατικοί δείκτες δεν μετρούν. Επιπλέον, θα βοηθήσουν κάθε εταιρεία να εντοπίσει σημαντικούς τομείς με δυνατότητες βελτίωσης, και έτσι να αυξήσει την απόδοση της Κυκλικής Οικονομίας με αποτελεσματικό, σαφή και άμεσο τρόπο.

Τα αποτελέσματα της έρευνας επισημαίνουν ότι αν και η κυκλική οικονομία (CE) αναγνωρίζεται ως σημαντική πηγή για τη βιωσιμότητα, υπάρχει ένα τεράστιο χάσμα μεταξύ της ευρείας έννοιας της CE και των πρακτικών της εφαρμογών. Ειδικότερα, η έλλειψη πληροφόρησης και των δεικτών επίδοσης, στις οικονομικές, περιβαλλοντικές και κοινωνικές διαστάσεις της αειφορίας, δεν επιτρέπει την αξιολόγηση του επιπέδου κυκλικότητας των προϊόντων, των διαδικασιών ή των εταιρειών. Διεξήγαγαν, λοιπόν, περαιτέρω έρευνα βασισμένη στα έξυπνα περιουσιακά στοιχεία που προκύπτουν από τον ψηφιακό μετασχηματισμό στο πλαίσιο της «Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης (I4.0)» και κατέληξαν ότι τα στοιχεία αυτά μπορούν να υποστηρίξουν την CE και να παρέχουν αυτές τις πτυχές που λείπουν.

Οι Rossi, Bianchini και Guarnieri (2020), υποστηρίζουν πώς τα κυκλικά επιχειρηματικά μοντέλα ενισχύονται από τα έξυπνα περιουσιακά στοιχεία από το I4.0, λαμβάνοντας υπόψη αρκετές περιπτώσιολογικές μελέτες που βρέθηκαν στη βιβλιογραφία και μέσω της εφαρμογής ενός εργαλείου αξιολόγησης με δευτερεύοντα δεδομένα από το επιλεγμένες περιπτώσιολογικές μελέτες.

Σύμφωνα με το εργαλείο, οι αρχές CE επεκτείνονται σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής του προϊόντος, από τη σχεδίαση του έως τη τελική του χρήση, στο πλαίσιο της μετάβασης σε νέες επιχειρηματικές στρατηγικές. Δύο από τις εξεταζόμενες περιπτώσιολογικές μελέτες παρουσιάζονται στο εργαλείο αξιολόγησης, ως παραδείγματα, για να καταδειχθεί πώς τα ευφυή περιουσιακά στοιχεία μπορούν να υποστηρίξουν την κυκλική οικονομία στο σχεδιασμό, την αξιολόγηση και τη σύγκριση κυκλικών πρωτοβουλιών. Η οπτικοποίηση υφιστάμενων καινοτόμων επιχειρηματικών μοντέλων που βασίζονται στο CE και ενισχύονται από έξυπνα περιουσιακά στοιχεία επιτρέπει την πλήρη και αποτελεσματική αξιολόγηση υλικών, προϊόντων, περιουσιακών στοιχείων και διαδικασιών, λόγω του γεγονότος ότι μπορούν να συλλεχθούν πληροφορίες και δείκτες κατάλληλοι για τη μέτρηση και την παρακολούθηση της κυκλικής απόδοσης.



Σχήμα 3-3: Κύκλος ζωής σύγχρονων δομικών υλικών (Πηγή: Κορωναίος, 2005)

3.6.Δόμηση με φυσικά υλικά.

Μέχρι τις αρχές του 21ου αιώνα, ο βασικός παράγοντας που απασχολούσε στη λήψη μέτρων μείωσης του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της κατασκευής ήταν η ενέργεια που καταναλώνεται κατά τη λειτουργία ενός κτηρίου. Με τη χρήση πιο αποτελεσματικού (αποδοτικών) εξοπλισμού και μονώσεων, αυξήθηκε η θερμοχωρητικότητα του κελύφους, συντελώντας έτσι στη μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας κατά τη διάρκεια της λειτουργίας των κτηρίων. Στα πλαίσια της βελτιστοποίησης της εξοικονόμησης ενέργειας λοιπόν η επόμενη πρόκληση είναι η μείωση της ενσωματωμένης ενέργειας των κατασκευών (Hamard et al., 2016). Η δόμηση με φυσικά υλικά φαίνεται να αποτελεί έναν εναλλακτικό τρόπο δόμησης προς την σωστή κατεύθυνση.

Τα τελευταία χρόνια, έχουν αρχίσει να σχεδιάζονται και κατασκευάζονται αρκετά κτίσματα από φυσικά υλικά. Παρόλα αυτά, δεν πρόκειται για νέα καινοτόμο μέθοδο δόμησης. Η πρακτική αυτή αποτελεί τον αρχαιότερο τρόπο δόμησης και έχει διαμορφώσει την παραδοσιακή αρχιτεκτονική χωρών και λαών προσδίδοντας τους ατομικά χαρακτηριστικά. Με την πάροδο του χρόνου, η κατασκευή φυσικών υλικών βελτιωνόταν όλο και περισσότερο, και οι αρχιτεκτονικές κατασκευές έγιναν παραδείγματα υψηλής καλλιτεχνικής δεξιοτεχνίας. Διακρίθηκαν από ανθεκτικότητα, αξιοπιστία, παρείχαν άνεση και εξυπηρετούσαν τον άνθρωπο για περισσότερο από έναν αιώνα.

Τα σύγχρονα συνθετικά υλικά που έχουν μπει στην αρχιτεκτονική και την κατασκευή βλάπτουν το περιβάλλον. Επιπλέον, από ορισμένη άποψη, έχουν αποπροσωποποιήσει τον χαρακτήρα της αρχιτεκτονικής διαφορετικών χωρών. Μάλιστα, στην εποχή:

- της περιβαλλοντικής υποβάθμισης
- της έλλειψης πόρων
- της κλιματικής αλλαγής,

γίνεται εξαιρετικά σημαντική η χρήση φυσικών οικοδομικών υλικών (Lobkov et al., 2018).

Οι Wang και Tong (2013) υποστηρίζουν ότι έχοντας αναλύσει τη μοναδικότητα των φυσικών πρώτων υλών από την άποψη της φιλικότητας προς το περιβάλλον, θα μπορέσουν οι άνθρωποι να εντοπίσουν τον ειδικό ρόλο των φυσικών υλικών στη βιώσιμη αρχιτεκτονική (Germi , 2017).

Η κατασκευή φυσικών υλικών, λοιπόν, αρχίζει να εισάγεται ενεργά στη σύγχρονη αρχιτεκτονική πολλών χωρών. Για την ενίσχυση των φυσικών ιδιοτήτων τους, καθολικά στην εφαρμογής τους, αναπτύσσονται συνεχώς σύγχρονες τεχνολογίες. Πολλές από τις τεχνολογίες αυτές βασίζονται στην πλούσια εμπειρία που έχει συσσωρευτεί κατά τη διάρκεια αιώνων από τη χρήση φυσικών υλικών (ένα παράδειγμα είναι η κατασκευή ψάθινων πλίνθων κ.λπ.). Άλλες σύγχρονες τεχνολογίες καθιστούν δυνατή τη μετάβαση σε ένα νέο επίπεδο χρήσης φυσικών πρώτων υλών (ξύλινο τούβλο, τεχνολογία κατασκευής πολυώροφων ξύλινων σπιτιών). Η αντοχή και η φιλικότητα προς το περιβάλλον τέτοιων κατασκευών από φυσικά υλικά επιτυγχάνεται με συνδυασμό φυσικών ιδιοτήτων και τεχνολογιών.



Εικόνα 3-2 : Κατασκευή από πάνελ άχυρου (Πηγή: <https://ecococon.eu/se/blog/2020/building-with-ecococon-panels>)

Για παράδειγμα, η κατασκευή αχυρόλιθων χαρακτηρίζεται κυρίως από υψηλή οικονομική απόδοση, αφού το σπίτι από άχυρο πάνελ μπορεί να εξοικονομήσει έως και 90% ενέργειας, όπως αποδεικνύει ειδικότερα η αρχιτεκτονική εταιρεία Modcell. Οι κατοικίες από άχυρα ήταν

ιδιαίτερα διαδεδομένες στη Γαλλία, την Ολλανδία, την Ελβετία, τις ΗΠΑ. Μαζί με το σχεδιασμό των ιδιωτικών κατοικιών, τα άχυρα χρησιμοποιούνται επίσης για την κατασκευή πολώροφων κτιρίων. Ενδιαφέρον, επίσης, παρουσιάζουν οι μελέτες της γαλλικής κατασκευαστικής εταιρείας Brikawood, που αναπτύσσει έργα παθητικών σπιτιών από ξύλινα τούβλα Lego. Δεδομένου ότι τα ξύλινα τούβλα μπορούν να έχουν διαφορετικά σχήματα και μεγέθη, ο σχεδιασμός παρέχει ένα ευρύ πεδίο για τη δημιουργική αρχιτεκτονική σύνθεση. Η θερμική αγωγιμότητα παρέχεται καλύτερα από διογκωμένη άργιλο, ξύλο, λινάρι, άχυρο και άλλα υλικά. Για ηχομόνωση αρχικά συνιστάται η χρήση διογκωμένου αργίλου και βαρλικουλίτη.

Έχει ενδιαφέρον να εξεταστούν οι διάφορες ιδιότητες των βασικών φυσικών υλικών που χρησιμοποιούνται στην αρχιτεκτονική και τις κατασκευές. Ταυτόχρονα, καθένα από αυτά έχει ιδιαίτερα λειτουργικά χαρακτηριστικά. Για παράδειγμα, τα πιο δυνατά είναι η πέτρα, το τούβλο, το ξύλο. Ο ρόλος των φυσικών δομικών υλικών δεν είναι μόνο η διατήρηση της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας. Διαμορφώνοντας χώρο φιλικό προς το περιβάλλον, τα φυσικά υλικά σχηματίζουν διάφορα αρχιτεκτονικά στυλ. Όπως και στην ίδια τη φύση, όλα έχουν τη δική τους ατομικότητα, έτσι τα σπίτια από διαφορετικά φυσικά υλικά φέρνουν το δικό τους ξεχωριστό στυλ στο κτίριο.

Παρακάτω, παρουσιάζεται το μοντέλο ενός σπιτιού που δημιουργήθηκε στο Autodesk Revit, στο οποίο έχουν εφαρμοστεί τρία διαφορετικά υλικά: ξύλο, πέτρα και άχυρο. Κάθε ένα από τα μοντέλα που ελήφθησαν έχει το δικό του αρχιτεκτονικό χαρακτήρα.



Εικόνα 3-3 : Σχηματισμός διαφόρων στυλ ανάλογα με τη χρήση των υλικών.

Το αρχιτεκτονικό στυλ κτιρίου είναι πολύ σημαντικό από την άποψη της ιστορικής διαδοχής. Επιπλέον, τα παλιά κτίρια μέχρι σήμερα αποτελούν αντικείμενο θαυμασμού για την ομορφιά και την ιδιόμορφη χάρη τους. Δεν είναι τυχαίο ότι σε πολλές χώρες διατηρούνται ιστορικές συνοικίες από σύγχρονα νέα κτίρια και οι ίδιοι οι παλιοί δρόμοι είναι το καμάρι των κατοίκων και προσελκύουν την ιδιαίτερη προσοχή των ξένων. Επίσης δεν είναι ασυνήθιστο στην αρχιτεκτονική να δει κανείς μια μίμηση ιστορικών στυλ. Και στις δύο περιπτώσεις, είναι τα φυσικά υλικά που παίζουν το ρόλο της γέφυρας μεταξύ αρχιτεκτονικής, στυλ και πρωτοτυπίας.



Εικόνα 3-4 : Σπίτι με αχυροσκεπή χωμάτινο (Πηγή: https://www.researchgate.net/publication/337871491_Natural_materials_in_sustainable_architecture_building_system)

4. ΔΟΜΗΣΗ ΜΕ ΠΗΛΟ

Στο κεφάλαιο αυτό, θα εξεταστεί η χρήση του ακατέργαστου πηλού, ως μέσο φυσικής δόμησης.

4.1.Τι είναι ο πηλός

Ο πηλός είναι ένα λεπτόκοκκο φυσικό πέτρωμα ή υλικό εδάφους που, μαζί με άλλα υλικά όπως είναι η πέτρα και το ξύλο, χρησιμοποιείται για την κατασκευή για χιλιάδες χρόνια. Αποτελείται από ένα ή περισσότερα ορυκτά αργίλου (όπως καολινίτες ή σμηκτίτες), μερικές φορές με λιγοστές ποσότητες χαλαζία, οργανική ύλη και οξειδία μετάλλων. Ο πηλός σχηματίζεται πολύ αργά ως αποτέλεσμα της διάβρωσης πετρωμάτων, κυρίως πυριτιούχων.

Ορυκτό	Δομή στρώσης	Δομή στοιβάδας	Σύνδεση μεταξύ των στρώσεων	Ικανότητα βασικής ανταλλαγής me/100g	Μορφή του ορυκτού
Καολινίτης	1:1		Δεσμοί υδρογόνου (ισχυροί)	3 – 15	Φυλλώδης Εξαγωνική
Αλλουσίτης	1:1		Ένυδρη με μόρια νερού	6 – 12	Σωληνοειδείς
Ιλλίτης	2:1		Ιόντα καλίου (ασθενέστεροι από τους δεσμούς υδρογόνων)	10 – 15	Φυλλώδης
Μοντομυλλονίτης	2:1		Δυνάμεις van der Waals ανταλλάξιμα ιόντα μόρια νερού (ασθενείς) molecules	80 – 140	Λιπτά φύλλα
Χλωρίτης	2:1:1		Πλάκα βρουσίτη	20	Φυλλώδεις

Πίνακας 4-1: Δομή αργιλικών ορυκτών (Πηγή: Κοτρώτσιου, 2011).

Συναντάται σε μορφή κοιτασμάτων είτε στην επιφάνεια του εδάφους, είτε στο υπέδαφος. Το επιφανειακό χώμα είναι ακατάλληλο για χτίσιμο γιατί περιέχει οργανικά υλικά. Η ποιότητα του

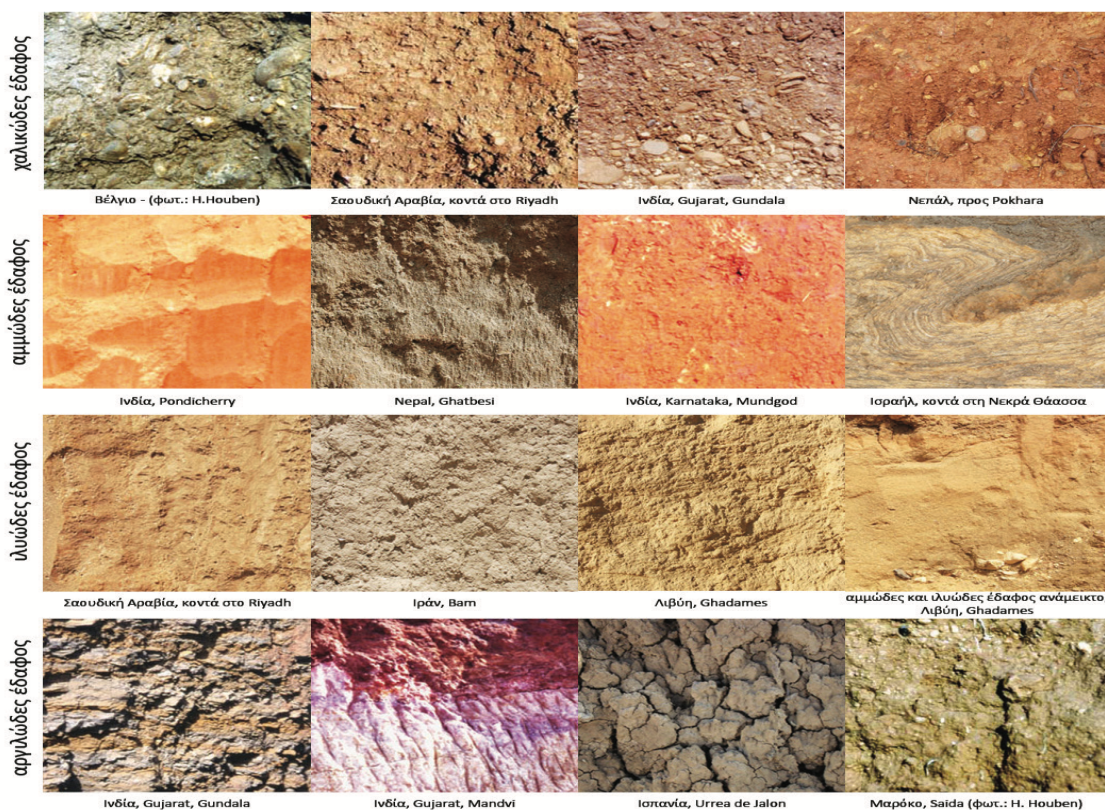
πηλού διαφέρει ακόμα και στο ίδιο κοίτασμα, λόγω αλλαγής στη σύσταση, στο χρώμα και σε άλλες ιδιότητες του.

Λόγω του μεγέθους των σωματιδίων (συνήθως, μέγεθος κόκκου μικρότερο από 4 μικρόμετρα (μm)) και της περιεκτικότητας σε νερό, οι άργιλοι έχουν υψηλή πλαστικότητα μέχρι να στεγνώσουν ή να καούν, οπότε γίνονται σκληροί και εύθραυστοι. Οι ξηροί σβώλοι μπορούν να σπάσουν αλλά όχι να γίνουν σκόνη ανάμεσα στα δάχτυλα.

Ο πηλός, ταξινομημένος ως λεπτό έδαφος, έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Είναι λείος στην αφή
- Συρρικνώνεται κατά το στέγνωμα που συνήθως αφήνει ρωγμές
- Τα σωματίδια του έχουν ενδιάμεση έως υψηλή πλαστικότητα
- Έχει περιεκτικότητα σε άμμο ή χαλίκι μικρότερη από 35%

Απαντάται σε πολλά διαφορετικά χρώματα, όπως είναι το λευκό, το κόκκινο, το μπλε και το γκρι. Συνήθως το χρώμα του είναι έντονο και ιριδίζει λόγω της περιεκτικότητας του σε οξειδία μετάλλων.



Εικόνα 4-1 : Διάφοροι τύποι αργιλοχώματος (Πηγή: Σπυροπούλου et al., 2013)

Ο πηλός χρησιμοποιείται σε όλο τον κόσμο ως δομικό υλικό, συνήθως ψήνεται σε τούβλα ή κεραμίδια στέγης. Η σχετική ευκολία με την οποία ο πηλός μπορεί να εξαχθεί από το έδαφος και να υποστεί επεξεργασία – π.χ. προσθέτοντας νερό για να αλλάξει το σχήμα του ή αυξάνοντας την αντοχή του προσθέτοντας άχυρο, άμμο κ.λπ. – σημαίνει ότι μπορεί να θεωρηθεί «βιώσιμο». Επιπλέον, παρέχει σχετικά καλή θερμομόνωση και θερμική μάζα. Ο πηλός, επιπρόσθετα αποτελεί σημαντικό συστατικό σε σύνθετα υλικά όπως οπτόπλινθοι, η γυψοσανίδα, ο σοβάς από πηλό, το κονίαμα από πηλό, τα κεραμικά κ.λπ.

4.2. Ιστορική αναδρομή

Το χώμα καθώς βρίσκεται σε αφθονία γύρω μας έχει αποτελέσει οικοδομικό υλικό από την εποχή της Μεσοποταμίας μέχρι σήμερα (Deboucha & Hashim, 2011).

Η χρήση της γης (χώμα) ως υλικό κατασκευής χρησιμοποιούνταν από αρχαιοτάτων χρόνων. Ιστορικά στοιχεία αποδεικνύουν την ύπαρξη τοίχων από ωμόπλινθους (Birzniece, 2013). Είναι ένα από τα παλαιότερα υλικά δόμησης, καθώς ήταν άμεσα διαθέσιμο για την κατασκευή καταφυγίων. Είναι πιθανό, οι διαφορετικές τεχνικές κατασκευής με ακατέργαστο πηλό να αναπτύχθηκαν ανεξάρτητα σε διαφορετικά μέρη του κόσμου και να εξαπλώθηκαν με την κίνηση των λαών.

Τα πρώτα καταφύγια αποτέλεσαν φυσικά διαμορφωμένοι χώροι όπως είναι τα σπήλαια. Τα πρώτα γήινα κτίρια πιθανόν να ήταν επεκτάσεις αυτών με φυσικά υλικά, όπως αναχώματα γης στις εισόδους των σπηλαίων ή λάγκους σκαμμένους στο έδαφος. Η γεωργία αναπτύχθηκε αρχικά σε εύφορες κοιλάδες ποταμών, όπου η λάσπη και ο πηλός παρείχαν εξαιρετικά οικοδομικά υλικά για τις κατασκευές. Εκτιμάται ότι η πρώτη τεχνική που αναπτύχθηκε ήταν ο τσατμάς (πλεγμένα καλάμια και κλαδάκια σε ξύλινους ορθοστάτες που καλύπτονταν και επιχρίζονταν με πηλό). Για τη διαμόρφωση της στέγης τοποθετούνταν ξύλα και χόρτα τα οποία έπειτα καλύπτονταν με χώμα. Έπειτα, αναπτύχθηκε η τεχνική της συμπίεσμνης γης (rammed earth), όπου ο πηλός συμπιέζονταν ανάμεσα στα ξύλα των τοίχων, σχηματίζοντας πιο παχύ τοίχο. Στη συνέχεια, άρχισαν να κατασκευάζονται μονολιθικοί τοίχοι από πηλό και αργότερα κυβοειδής ογκόλιθοι από πηλό (πλιθιά) με τη χρήση ξυλότυπου. Τα πλιθιά, δίνουν τη δυνατότητα της μεταφοράς του υλικού κατασκευής σε διαφορετική τοποθεσία από τον τόπο συλλογής του. Για παράδειγμα, μπορούσε να ληφθεί κατάλληλη γη από μια κοιλάδα ποταμού

που ενδέχεται να πλημμύριζε και να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή κτιρίων σε υψηλότερο επίπεδο (Jaquin, 2012).



Εικόνα 4-2 : Τεχνική δόμησης με ωμόπλινθους στην αρχαία Αίγυπτο 1500π.Χ. (Πηγή: Schroeder, 2012)

Η ανάπτυξη της γεωργίας δίπλα σε μεγάλα ποτάμια οδήγησε τους ανθρώπους να συγκεντρωθούν για πρώτη φορά και να δημιουργήσουν πόλεις. Οι κοιλάδες των ποταμών παρείχαν στους εύφορους πολιτισμούς τους κατάλληλους τύπους εδάφους για την δόμηση με ακατέργαστο πηλό. Υπάρχουν στοιχεία που βεβαιώνουν ότι οι κατασκευές με γήινα υλικά αναπτύχθηκαν ανεξάρτητα στις κοιλάδες του Τίγρη και του Ευφράτη, του Νείλου, του Ινδού, του Ιορδάνη, του Μουργκάμπ και του Κίτρινου Ποταμού. Αυτοί οι πολιτισμοί παρέμειναν ανεξάρτητοι ο ένας από τον άλλον, ωστόσο φαίνεται να έχουν αναπτύξει πολύ παρόμοιες τεχνικές οικοδόμησης με αργιλικά προϊόντα. Είναι δύσκολο να διευκρινιστεί με σαφήνεια, όμως εκτιμάται ότι η μετάβαση από τα χυτευμένα στο χέρι (cob-rammed earth) στα πλιθιά συνέβη στη Μεσοποταμία γύρω στο 5000 π.Χ., και ότι η συμπίεσμένη γη (rammed earth) δεν βρέθηκε στη Νότια Αμερική πριν από την εισαγωγή της από τους Ευρωπαίους.

Με την παραγωγή πλίνθινων πλακών (πλιθιά), ψημένων στον ήλιο, ξεκίνησαν να χτίζονταν πλουσιότεροι ναοί και οικοδομές. Τα πλιθιά φτιάχνονταν με το χέρι σε καλούπια που είχαν παρόμοιες διαστάσεις με τα σύγχρονα τούβλα.



Εικόνα 4-3 : Δισπηλιό, Ν. Καστοριάς, Αναπαράσταση προϊστορικού οικισμού (Πηγή: Προσωπικό αρχείο, 2011)

Στην Ελλάδα, βασικό ρόλο στη διαμόρφωση των παραδοσιακών μεθόδων κατασκευής με πηλό, έπαιξαν οι επαφές των Ελλήνων με άλλους γειτονικούς πολιτισμούς, δηλαδή εκείνους της Μέσης Ανατολής, της Βόρειας Αφρικής και της Μικράς Ασίας, όπου γίνονταν εκτεταμένη χρήση του ακατέργαστου πηλού ακόμη και σε έργα μεγάλης κλίμακας (Mousourakis et al., 2020).



Εικόνα 4-4: Σινικό τοίχος, κατασκευασμένο από συμπιεσμένη γη πριν από 4000 χρόνια, και κατόπιν επενδεδυμένο με τούβλο (Πηγή: Προσωπικό αρχείο, 2006)

Στην Κορινθία αναπτύχθηκαν οβάλ πλακάκια (κεραμίδια) που χρησιμοποιούνταν στις στέγες. Τα πρώτα πλακάκια είχαν 2-3 cm πάχος, 50 cm πλάτος και 80-10 εκ. ύψος. Έπειτα, ανέλαβαν οι Ρωμαίοι, οι οποίοι ανέπτυξαν πρότυπα πλακιδίων και παρήγαγαν όσο το δυνατόν λεπτότερο, αλλά πιο συμπαγές υλικό από το προηγούμενο. Οι Ρωμαίοι διέδωσαν το κεραμίδι και το τούβλο και σε άλλους λαούς, όπως τους Ισπανούς, τους Άγγλους, τους Γερμανούς και τους Γάλλους.

Κατά τη διάρκεια του 2ου παγκοσμίου πολέμου το χώμα χρησιμοποιούνταν ως πρωταρχικός πόρος για να φτιάξουν υλικά και κατασκευές (Morel et al., 2021)..

Κτίρια φτιαγμένα από χώμα βρίσκονται σε πολλά μέρη του κόσμου, σε διαφορετικές μορφές, μερικές φορές αναμειγμένα με άλλα παραδοσιακά δομικά υλικά όπως ξυλεία ή πέτρα, ή με πιο σύγχρονες εφευρέσεις όπως το τσιμέντο και ο χάλυβας (Přikryl et al., 2016).

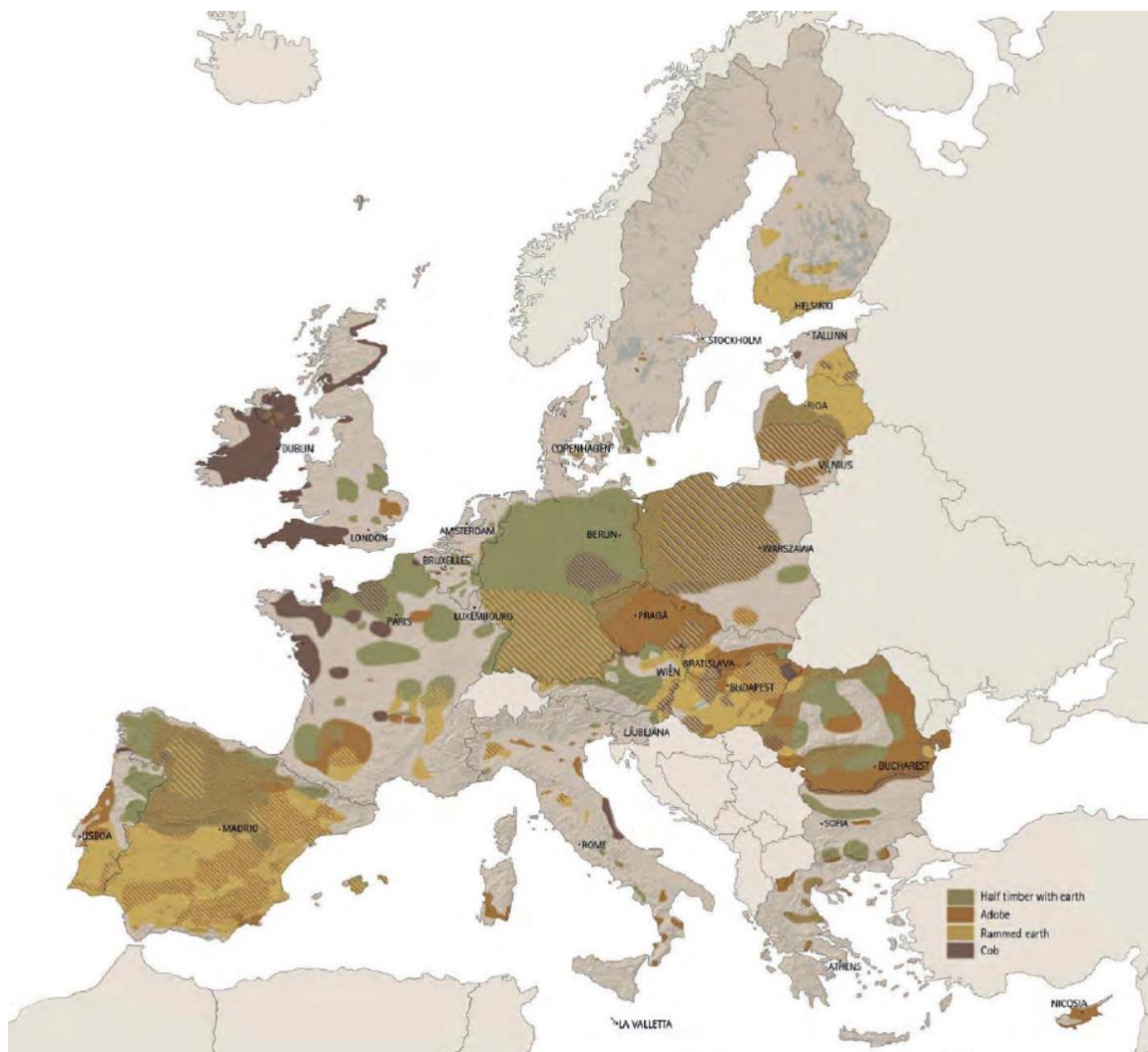
Εκτιμάται ότι η υπάρχουσα κληρονομιά κτισμάτων από πηλό ανέρχεται σε 50.000 στη Γερμανία, 40.000 στο Devon του Ηνωμένου Βασιλείου, 30.000 στην περιοχή Ille et Vilaine και 20.000 στην περιοχή Manche της Γαλλίας. Στην Ευρώπη υπολογίζεται ότι υπάρχουν γύρω στα 200.000 κτήρια τα οποία έχουν επιβιώσει ανά τους αιώνες, γεγονός που αποδεικνύει την αντοχή τους. Η μακροζωία αυτή αποδίδεται στους εξειδικευμένους τεχνίτες και στη σωστή συντήρηση των κτισμάτων. Δυστυχώς, με τα χρόνια αυτή η τεχνογνωσία έχει χαθεί, οπότε οι νέες κατασκευές δεν επιδεικνύουν την ίδια ανθεκτικότητα με τις παλιές (Hamard et al., 2016).



Εικόνα 4-5: Κατοικίες από ακατέργαστο πηλό Devon του Ηνωμένου Βασιλείου (Πηγή: Pinterest & <https://insteadof.com/blog/historical-cob-buildings>)

Η μεθοδος αυτή δόμησης εγκαταλήφθηκε μετά την βικτωριανή περίοδο καθώς απαιτούσε πολλές εργατοώρες σε σχέση με τη δόμηση με τούβλα και τσιμεντόλιθους, και επομένως ήταν πιο κοστοβόρα. Επιπρόσθετα, υιοθετήθηκε οικοδομικός κανονισμός που απέτρεπε αυτή τη μέθοδο.

Κατά συνέπεια, από το δεύτερο μισό του 20ου αιώνα, η χρήση της γης ως κύριο δομικό υλικό μειώθηκε: έχασε τη σημασία της, αγνοήθηκε και τελικά ξεχάστηκε. Τα τελευταία χρόνια, σύγχρονα περιβαλλοντικά ζητήματα έχουν συμβάλει στην επαναξιολόγηση αυτού του υλικού και των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών του. Οι χωμάτινες κατασκευές έχουν επανεμφανιστεί τα τελευταία δέκα χρόνια στη σύγχρονη αρχιτεκτονική (Mousourakis et al., 2020).

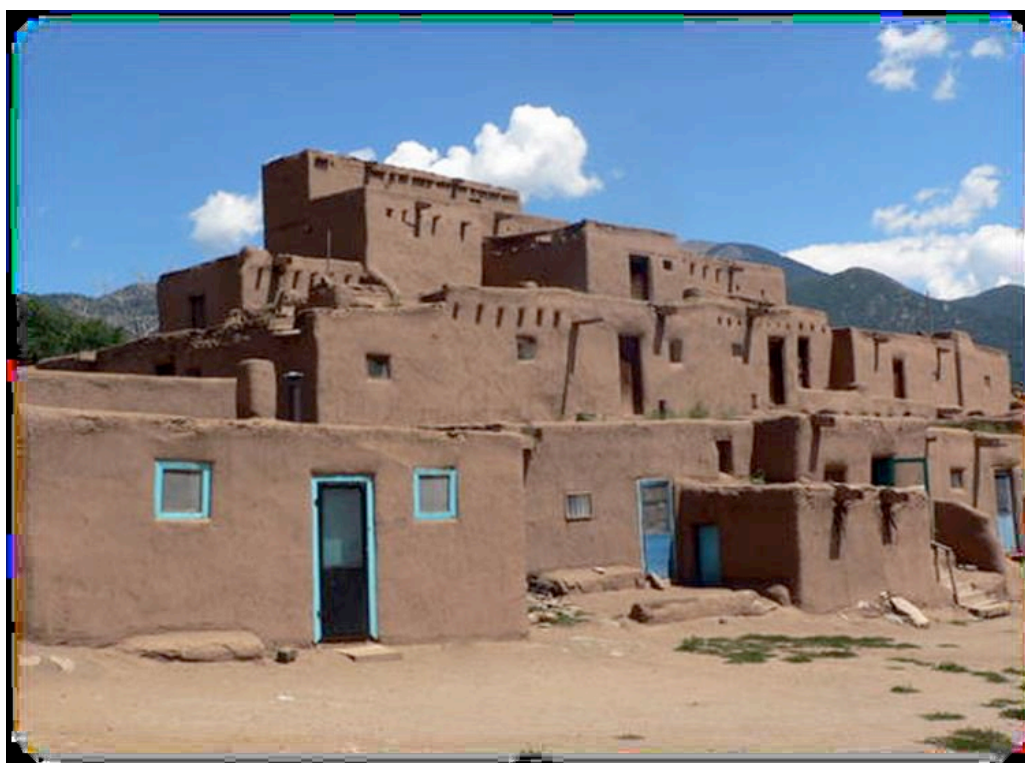


Εικόνα 4-6 : Χάρτης απεικόνισης περιοχών δομημένων διάφορες τεχνотροπίες ακατέργαστου πηλού (Πηγή: Dipasquale et al., 2011)

4.3. Το χώμα ως δομικό υλικό

Η χωμάτινη κατασκευή ήταν μια από τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες τεχνικές κατασκευής σε διάφορες ιστορικές εποχές. Τα πήλινα υλικά εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται ευρέως παγκοσμίως λόγω του χαμηλού κόστους, της αφθονίας, της διαθεσιμότητας και των χαμηλών περιβαλλοντικών επιπτώσεων (Danso, 2017).

Η γη ως δομικό υλικό μελετάται όλο και περισσότερο για τις χαμηλές περιβαλλοντικές επιπτώσεις και τη διαθεσιμότητά της (Laborel-Préneron et al., 2016). Η χρήση του τοπικά διαθέσιμου εδάφους για την κατασκευή βελτιστοποιεί το κόστος και μειώνει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Επιπλέον, λόγω της απλότητας των τεχνικών δόμησης με ακατέργαστο πηλό, μπορεί να απασχοληθεί ανειδίκευτο προσωπικό, τοπικά διαθέσιμο, παρέχοντας έτσι ευκαιρίες απασχόλησης στις τοπικές κοινότητες και μειώνοντας το κόστος διαμονής και μεταφοράς των εργατών (Ciancio, Jaquin & Walker, 2013). Απαραίτητη προϋπόθεση, βέβαια, είναι να είναι οι ιδιότητες του υπεδάφους κατάλληλες για κατασκευή χωμάτινων κτηρίων.



Εικόνα 4-7 : Pueblo, Μεξικό https://en.wikipedia.org/wiki/Taos_Pueblo

4.4.Παραδοσιακή τεχνική δόμησης

Ο κατασκευαστικός κλάδος έχει σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις στην παγκόσμια οικολογική ισορροπία. Η σύγχρονη αρχιτεκτονική φαίνεται να έχει χάσει την ικανότητα να ελέγχει το ίδιο το αρχιτεκτονικό περιβάλλον. Ωστόσο, είναι γνωστό ότι τα παραδοσιακά κτίρια είναι συνήθως περιβαλλοντικά συμβατά και έχουν πολιτιστικές, κοινωνικές και ιστορικές αξίες. Τα παραδοσιακά κτίρια ήταν η αρχιτεκτονική απάντηση στις απαιτήσεις των κοινωνιών πριν από τη βιομηχανική περίοδο και στα ανυπέρβλητα όρια που δημιουργούνται από την περιοχή και το κλίμα. Η παραδοσιακή αρχιτεκτονική ήταν το αποτέλεσμα της μοναδικής αλληλεπίδρασης μεταξύ του ανθρώπινου νου και της εμπειρίας που αποκτάται από την παρατήρηση φυσικών φαινομένων. Αυτά τα χαρακτηριστικά μπορούν να αποκαλυφθούν με τη διερεύνηση των αισθητικών, ιστορικών, πολιτιστικών και περιβαλλοντικών ιδιοτήτων των παραδοσιακών κτιρίων και παρέχουν σημαντικές χρήσιμες συμβουλές για τους σημερινούς σχεδιαστές. Η Ελλάδα διαθέτει πλούσιο και ποικίλο παραδοσιακό κτιριακό απόθεμα, παράλληλα με τα ποικίλα γεωγραφικά και κλιματικά χαρακτηριστικά της (Oikonomou & Bougiatioti, 2011).



Εικόνα 4-8 : Διώροφη κατοικία στη Χαλάρα (Πηγή: Μπαλάσας., 2018)

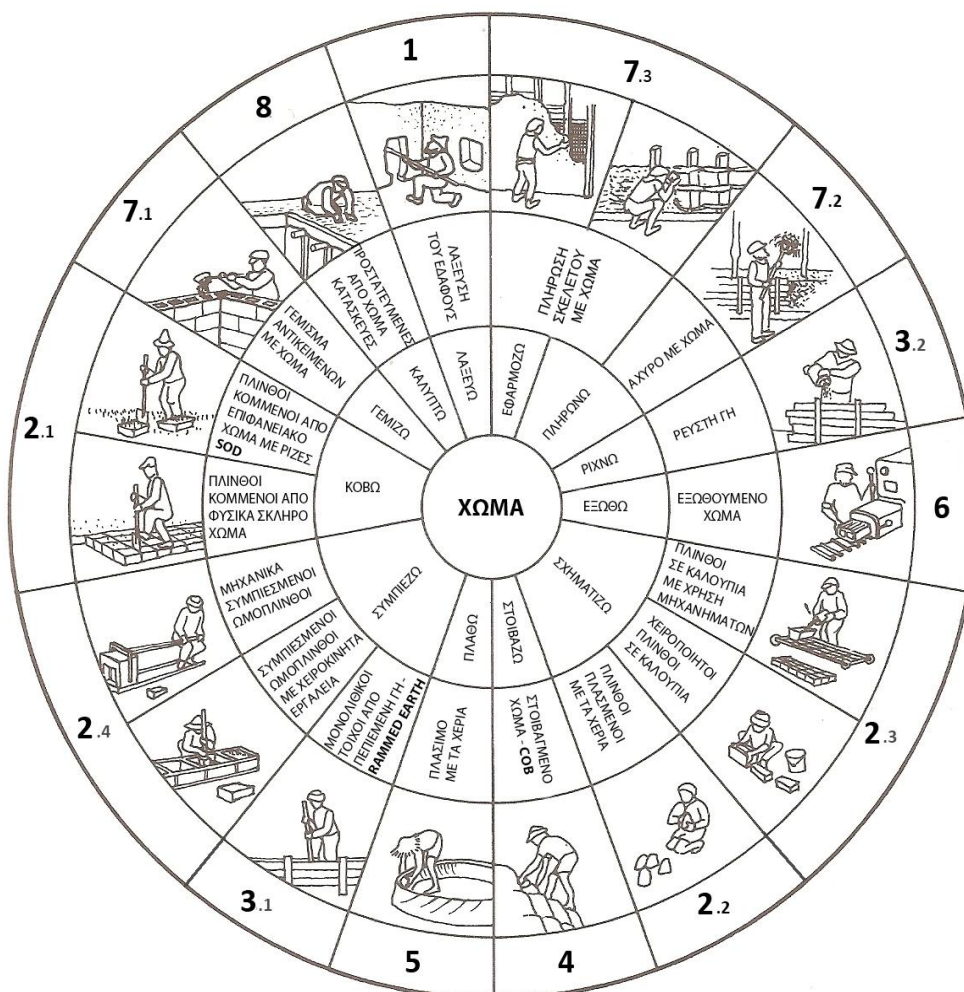
Η βασική διαδικασία που ακολουθείτο, χωρίζεται σε τέσσερα στάδια (Hamard et al., 2016):

1. Την προμήθεια των πρώτων υλών και την επεξεργασία τους,
2. Την ανάμειξη τους,
3. Την εφαρμογή-τοποθέτηση τους

4. Την ξήρανση του τελικού προϊόντος.

Η παραδοσιακή τεχνική δόμησης κατά μία γενική άποψη μπορεί να έχει ομοιότητες, λόγω του περιορισμένου είδους οικοδομικών υλικών και των περιορισμένων τεχνικών κατασκευής. Συνήθως, πρόκειται για μη μηχανικές κατασκευές που ήταν απόρροια μακροχρόνιων πειραματισμών και δοκιμών. Μια γρήγορη εξέταση αυτών των οικισμών μπορεί να υπογράμμιζε πολλές διαφορές σε συγκρίσιμα στοιχεία. Όμως μια πιο προσεκτική ματιά θα μπορούσε να επισημάνει κάποιες ομοιότητες στη διαμόρφωση των οικισμών. Αυτά μπορεί να είναι τα υλικά, οι τεχνικές κατασκευής και η διαμόρφωση των σχεδίων του σπιτιού σύμφωνα με τις καιρικές συνθήκες και το ηλιακό φως ή τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος (Pacheco-Torgal & Jalali, 2012).

4.5.Τυπολογία και Τεχνικές κατασκευών από χώμα (Δόμησης με πηλό)



Εικόνα 4-9 : Τεχνοτροπίες δόμησης με ακατέργαστο πηλό. (Πηγή: Μπέη, 2004)

Παρόλη την ιστορία του υλικού στις κατασκευές, σήμερα θεωρείται αντισυμβατικό και εναλλακτικό και μάλιστα στους δυτικούς πολιτισμούς κατηγορείται ως υλικό δόμησης των φτωχών.

Όπως επισημαίνει ο Mora (2007) η οικοδόμηση με χώμα μειώνει την ενεργειακή ανάγκη του κτιρίου, τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των υλικών κατασκευής. Η παραδοσιακή αυτή αρχιτεκτονική ενσωματώνει διάφορες τεχνικές δόμησης όπως «συμπιεσμένη γη» με πηλό, «τσατμά» (wattle and daub), τα πλιθιά και το στοιβαχτό πηλό. Ανάλογα με την περιεκτικότητα του υλικού σε νερό κατά την διάρκεια της κατασκευής χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: την Στέρη, την πλαστική και την υγρή (Morel et al., 2021).

Σε όλες τις παραπάνω τεχνικές συνίσταται η κατασκευή υπερυψωμένης βάσης από πέτρα, γύρω στους 25-35 πόντους από το έδαφος και μεγάλο γείσο γύρω από τη στέγη για καλύτερη προστασία από την υγρασία.

Ενδεικτικά παρουσιάζονται οι ακόλουθες τεχνικές:

4.5.1. Δόμηση με τη μέθοδο της συμπιεσμένης γης (Rammed earth)

Η δόμηση με συμπιεσμένη γη αποτελεί μια παραδοσιακή μέθοδο δοκιμασμένη στον χρόνο, κατά την οποία μείγμα από φυσικά αδρανή υλικά, όπως χαλίκι (σκύρα), άμμος, λάσπη και πηλός συμπίεζονται μέσα σε καλούπια – ξυλότυπο (Birzniece, 2013).

Η ιδανική σύσταση αποτελείται από 30% πηλό και από 70% άμμο και σκύρα. Για την σωστή συμπίεση χρησιμοποιούνται ειδικοί δονητές ανα 10-25εκ. πάχους, υγρού μείγματος. Έτσι, δημιουργούνται συμπαγείς, επίπεδες επιφάνειες. Για το χρωματισμό τους, προστίθεται στο μείγμα φυσικό χώμα.

Οι τοίχοι από συμπιεσμένη γη, πρέπει να έχουν πάχος τουλάχιστον 35εκ. για να είναι σταθεροί και να έχουν επαρκή θερμοχωρητικότητα. Πολλές φορές στο μείγμα προστίθεται τσιμέντο ή ασβέστης σε ποσοστό 10% για μεγαλύτερη σταθερότητα. Ο τοίχος δεν πρέπει να ευφάπτονται με το χώμα, επομένως θα πρέπει να κατασκευάζεται σε υπερυψωμένη βάση- θεμέλια τα οποία μπορούν να είναι και από πέτρα. Επιπρόσθετα, πρέπει να προστατεύονται από τη βροχή. Ο τοίχος θα πρέπει να δεθεί και στην στέψη του με κάποιο μέταλλο ή ξύλο. (ΦΥΣΙΚΗ ΔΟΜΗΣΗ ΚΡΗΤΗΣ, n.d.).

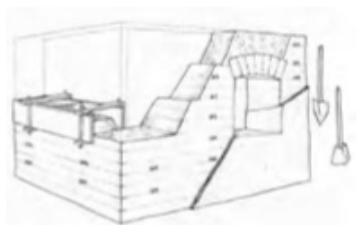


Εικόνα 4-10 : Δόμηση με τη μέθοδο συμπιεσμένης γης (Πηγή: Birznieks, 2013)

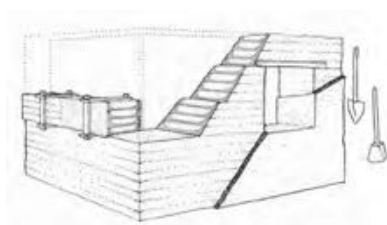
Εφ'οσον η κατασκευή γίνει σωστά μπορεί να αντεξεί 1000 χρόνια

Παράδειγμα αποτελεί το σινικό τοίχος.

Ο συγκεκριμένος τρόπος δόμησης είναι ο πιο κοστοβόρος, καθώς χρησιμοποιούνται μηχανικά μέσα για την κατασκευή του, όμως είναι επίσης και ο πιο γρήγορος για τον ίδιο λόγο.



Κατασκευή με ξυλότυπο
μονής ή διπλής σανίδας



Κατασκευή ενισχυμένη με ασβεστοκονίαμα

Εικόνα 4-11 : Δόμηση με τη μέθοδο συμπιεσμένης γης (Πηγή: Dipasquale et al., 2011)

4.5.2. Πλιθιά (Adobe)

Πρόκειται για μείγμα από πηλό, άμμο και νερό. Η βέλτιστη αναλογία πηλού στο μείγμα για να δέσει καλά, είναι 20-30%. Αν τοποθετηθεί περισσότερη ποσότητα πηλού, το μείγμα θα συρρικνωθεί πολύ, ενώ αν τοποθετηθεί λιγότερη θα γίνει σαθρό. Επιπρόσθετα, μπορεί να επαλειφθεί με κοπριά ώστε να αποκτήσει μεγαλύτερη αντοχή στις καιρικές μεταβολές. Συχνά, προστίθεται άχυρο, ίνες ή κατσικότριχες για την ενίσχυση του, ενώ για την σταθεροποίηση του χώματος ενδέχεται να προστεθεί 5-10% (της ποσότητας του χώματος) τσιμέντο ή ασβέστης. Το τελικό μείγμα τοποθετείται σε καλούπια και αφήνεται να ψηθεί στον ήλιο ή χρησιμοποιείται χειροκίνητη ή υδραυλική πρέσσα για την συμπίεση του. Έπειτα χτίζεται όπως τα τούβλα. Όταν ολοκληρωθεί η κατασκευή του τοίχου από ωμόπλινθους, υπάρχει η δυνατότητα να σοβατιστεί είτε με χωμάτινο φυσικό σοβά, είτε με χώμα που έχει σταθεροποιηθεί με ασβέστη, είτε με απλό ασβεστοκονίαμα.

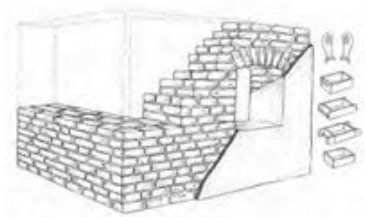


Εικόνα 4-12 : Παρασκευή πλιθιάς, (Πηγή: Προσωπικό Αρχείο, 2011)

Οι πλινθόκτιστοι τοίχοι έχουν μεγάλη θερμοχωρητικότητα. Παρ' όλα αυτά απαιτείται η χρήση μονωτικού εξωτερικά για την καλύτερη απόδοση τους. Εφόσον κατασκευαστεί τοίχος μεγάλου πάχους, τότε μπορεί να αποφευχθεί η μόνωση σε περιοχές που κατά κανόνα έχουν θερμό κλίμα.

Εκτός από την τοιχοποιία, τα ωμά πλιθιά μπορούν να αποτελέσουν και ανθεκτικό πάτωμα. Σε αυτήν την περίπτωση χρωματίζονται ή γυαλίζονται με φυσικό λάδι από κερί μέλισσας ή

λινέλαιο ώστε να είναι πιο εντυπωσιακή η εμφάνιση τους (ΦΥΣΙΚΗ ΔΟΜΗΣΗ ΚΡΗΤΗΣ, n.d.).

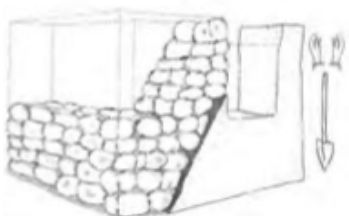


Εικόνα 4-13 : Δόμηση με ωμόπλινθους (Πηγή: Dipasquale et al., 2011)

4.5.3. Στοιβαχτός πηλός (Cob)

Με τον όρο Cob περιγράφεται το μονολιθικό σύστημα κατασκευής, το οποίο αποτελείται από μείγμα άργιλου, άμμου και άχυρου. Η αναλογία πρώτων υλών που ενδείκνυται, αν και πολλές φορές ποικίλει κατά περίπτωση, λόγω της εκάστοτε περιεκτικότητας του χώματος σε άμμο και άργιλο, είναι: 1 με 2 μέρη χώμα, 3 μέρη άμμο (ποταμίσις ή οικοδομής) και αρκετό άχυρο ή κατσικότριχες. Το ιδανικό μείγμα χώματος περιέχει 25-45% άργιλο.

Η δόμηση με Cob είναι ένας απλός και οικονομικός τρόπος κατασκευής που όμως απαιτεί πολύ χειρωνακτική εργασία. Η ανάμειξη και τοποθέτηση-κατασκευή γίνεται χωρίς την χρήση μηχανικών μέσων. Τα υλικά αναμειγνύονται χρησιμοποιώντας τα χέρια και τα πόδια. Έπειτα, οι μάζες που δημιουργούνται, όταν είναι ακόμα σε υγρή μορφή, τοποθετούνται με τα χέρια, αρχικά πάνω από κάποιο θεμέλιο. Στη συνέχεια, αφού στεγνώσει η πρώτη στρώση (ώστε να σταθεροποιηθεί) τοποθετείται η επόμενη στρώση. Κατά αυτόν τον τρόπο χτίζεται όλη η κατασκευή μέχρι και την στέψη του τοίχου, όπου θα αποτελέσει την βάση για την στήριξη της στέγης. Ένας τυπικός τοίχος Cob έχει πάχος 40-60 εκ. Το μείγμα Cob χρησιμοποιείται και ως σοβάς για τους άλλους τρόπους φυσικής δόμησης.



Εικόνα 4-14 : Δόμηση με στοιβαχτό πηλό (Πηγή: Dipasquale et al., 2011)

Ένα από τα σπουδαιότερα χαρακτηριστικά αυτής της τεχνοτροπίας είναι η πλαστικότητα και ευελιξία που προσδίδει στις μορφές.

Το σύστημα δόμησης με Cob, υπερτερεί των άλλων συστημάτων δόμησης με φυσικά υλικά, επειδή λειτουργεί ως μονολιθική κατασκευή. Επιπρόσθετα, αντέχει σε μεγάλο εύρος καιρικών συνθηκών, γεγονός που το καταστεί βιώσιμο στις περισσότερες κλιματικές ζώνες. Έχει μεγάλη θερμική μάζα και επαρκή μόνωση, ώστε να μπορεί να αποτελέσει παθητικό ηλιακό σύστημα θέρμανσης. Διασφαλίζει ικανοποιητικά επίπεδα υγρασίας στον εσωτερικό χώρο, γιατί το Cob διαπνέει και μάλιστα περισσότερο από κάθε άλλο υλικό δόμησης. Με το σωστό σχεδιασμό (καμπύλο σχήμα) και εξαιτίας της μονολιθικότητας του θεωρείται ότι έχει καλύτερη συμπεριφορά στο σεισμό σε σύγκριση με μη μονολιθικές κατασκευές.

Από μελέτες που έχουν γίνει σε κτήρια τα οποία έχουν επιβιώσει στο Devon του Ηνωμένου Βασιλείου (DHBΤ | Devon Historic Buildings TrustDevon Historic Buildings Trust, n.d.):

Εφόσον τα κτήρια από Cob μείνουν ανεπίχριστα, δίνουν οπτικά την αίσθηση ότι έχουν «φυτρώσει» από το περιβάλλον τοπίο (κατά μία έννοια , έχουν). Τα φυσικά, γήινα χρώματα του, εναρμονίζονται απόλυτα με αυτά του περιβάλλοντα χώρου.



<https://www.diynatural.com/cob-house-construction>)

Εικόνα 4-15 : Δόμηση με στοιβαχτό πηλό (Πηγή:

ΜΕΡΟΣ Β

5. Ο ΣΤΟΙΒΑΧΤΟΣ ΠΗΛΟΣ (COB) ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Το χτίσιμο με cob είναι μια αρχαία μέθοδος κατασκευής που έχει αναβιώσει στις ΗΠΑ και την Ευρώπη τα τελευταία χρόνια (Estrada, 2013). Το αναδυόμενο ενδιαφέρον για τα χωμάτινα παραδοσιακά οικοδομικά υλικά αυξάνεται τόσο όσον αφορά στον τομέα της ανακαίνισης και συντήρησης ιστορικών κτιρίων από χώμα όσο και στις νέες κατασκευές με χώμα, με σεβασμό στους εκάστοτε κανόνες θερμομόνωσης που έχουν θεσπιστεί σε κάθε χώρα (Huo et al., 2015).

Οι μελέτες που έχουν γίνει για την συμπεριφορά κατασκευών από ακατέργαστη γη, αφορούν διάφορες τεχνοτροπίες δόμησης. Δεν έχουν βρεθεί, όμως, επαρκείς μελέτες για τους τοίχους από Cob, όποτε στην παρούσα εργασία θεωρούμε ότι οι ιδιότητες των Cob κυμαίνονται σε παρόμοιο πλαίσιο με τις άλλες τεχνικές, όμως με λίγο πιο ευνοϊκούς όρους, λόγω της μονολιθικότητας τους.



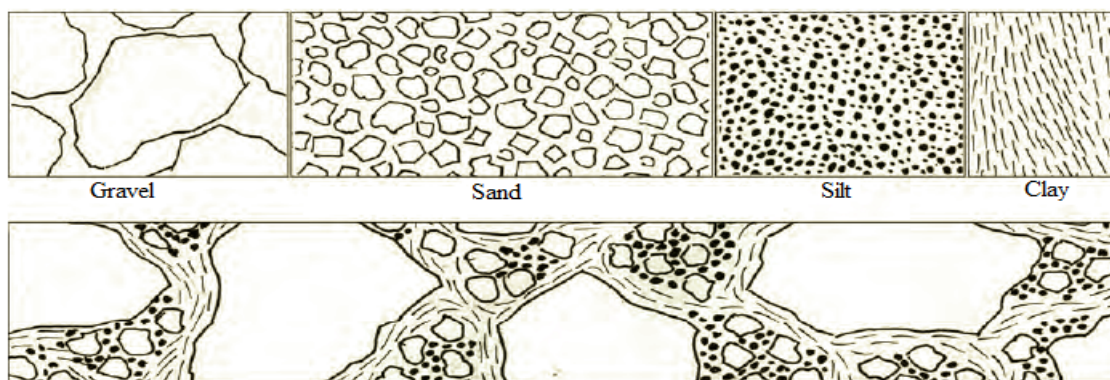
Εικόνα 5-1 : Κατασκευή ξυλόφουρνου και εξωτερικής κουζίνας με τη μέθοδο του στοιβαχτού πηλού.
(Πηγή: Προσωπικό αρχείο, 2011)

5.1. Η τεχνική του στοιβαχτού πηλού (Cob)

Το Cob είναι μια παραδοσιακή τεχνική δόμησης που βασίζεται σε ένα μείγμα πηλού, άμμου, άχυρου και νερού. Το μείγμα ζυμώνεται με χέρια, πόδια ή απλά εργαλεία. Στη συνέχεια διαμορφώνεται σε σβώλους, οι οποίοι τοποθετούνται ο ένας πάνω από τον άλλο, ώστε να διαμορφώσουν μονολιθικές κατασκευές. Για την κατασκευή με την τεχνοτροπία "cob", δεν χρησιμοποιούνται φόρμες και καλούπια με αποτέλεσμα το τελικό προϊόν να παίρνει οργανική μορφή, ήτοι καμπυλωτοί τοίχοι και αψίδες. Η μονολιθικότητα προσδίδει σταθερότητα στην κατασκευή ενώ η τεχνική θυμίζει γλυπτική με πηλό.

5.2. Ιδανική σύσταση προϊόντων από τη γη

Η εξόρυξη του υλικού γίνεται κατά κύριο λόγο από το υπέδαφος ή από μαλακές αποθέσεις πετρωμάτων (Hamard et al., 2017). Το επιφανειακό χώμα δεν ενδείκνυται για χρήση στην κατασκευή, γιατί είναι επιρρεπές σε σμίκρυνση και αποσυντίθεται εύκολα, λόγω των οργανικών στοιχείων που περιέχει. Επομένως, κρίνεται ακατάλληλο (Maniatidis & Walker 2003). Δεν είναι όμως όλοι οι τύποι υπεδάφους κατάλληλοι. Η γη είναι συνεκτικό υλικό και έχει μηχανικές ιδιότητες. Οι μηχανικές της ιδιότητες οφείλονται στη συνεκτικότητα των συστατικών της και στην τριβή τους. Η συνεκτικότητα παρέχεται από κολλοειδή συστατικά του, δηλαδή τον πηλό, ενώ η τριβή προκαλείται από την επαφή μεταξύ των κοκκωδών στοιχείων που βρίσκονται στη γη, όπως είναι η άμμος, τα σκύρα και η λάσπη.



Εικόνα 5-2 : Δομή των συστατικών του χώματος και δομή του τελικού μείγματος.(Πηγή: Taghiloha, 2013)

Παρόλο που υπάρχουν αρκετές μελέτες που αφορούν στην ιδανική σύσταση του ακατέργαστου πηλού, πολλές πρόσφατες κατασκευές έχουν αποτύχει γιατί η βέλτιστη σύσταση διαφέρει

ανάλογα τον τύπο του χώματος, τον τρόπο κατασκευής και τις κλιματικές συνθήκες (Pagliolico et al. 2010 , Rojat et al. 2020).

Το Cob δεν μπορεί να αγοραστεί έτοιμο σε σακούλες από καταστήματα οικοδομικών υλικών, επομένως θα πρέπει τα υλικά να συλλεχθούν και να επεξεργαστούν από τον εκάστοτε ενδιαφερόμενο για την οικοδόμηση με την τεχνοτροπία Cob. Το πρώτο βήμα για την παρασκευή υλικού οικοδόμησης είναι να βρεθούν τα κατάλληλα υλικά:

- Αργιλόχωμα
- Αδρανή υλικά (όπως η άμμος)
- Φυτικές ίνες (π.χ. άχυρο)
- Νερό

Η άργιλος λειτουργεί συνεκτικά στο μίγμα, δηλαδή δένει τα υλικά μαζί. Επειδή διαστέλλεται όταν είναι υγρός και συστέλλεται όταν στεγνώνει, δεν επαρκεί από μόνος του για να χτιστεί ένα σπίτι. Χρειάζεται κάποιο αδρανές υλικό και τις ίνες του άχυρου για να επιτευχθεί σταθερότητα στο μείγμα και να αποτραπεί το ράγισμα. Η άμμος βοηθάει στην σταθεροποίηση της αργίλου, το άχυρο ενεργεί ως οπλισμός στο μείγμα και το νερό χρησιμοποιείται για την ύγρανση της αργίλου, ώστε να μπορέσει να καλύψει τα σωματίδια της άμμου και το άχυρο.

Ογκομετρικά σταθερός πηλός, είναι αυτός που είναι τραχύς και ως εκ τούτου δεν διαστέλλεται και συστέλλεται υπερβολικά, παρέχοντας ικανοποιητική συνοχή στο δομικό στοιχείο.

Όλα αυτά τα υλικά είναι ευρέως διαθέσιμα στην Ευρώπη και σε χώρες όπως οι Ηνωμένες Πολιτείες, ο Καναδάς και η Αυστραλία, δηλαδή στο μεγαλύτερο μέρος του κόσμου, για αυτό και οι χωμάτινες κατασκευές έχουν αποτελέσει βασικό τρόπο δόμησης από αρχαιοτάτων χρόνων (https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Cob_building).

5.2.1. Το Αργιλόχωμα

Το χώμα που χρησιμοποιείται για την κατασκευή με την τεχνοτροπία των Cob βρίσκεται στο υπέδαφος, δηλαδή κάτω από το λεπτό στρώμα του επιφανειακού εδάφους. Το φυτόχωμα (επιφανειακή στρώση) είναι ακατάλληλο γιατί περιέχει οργανική ύλη. Το υπόστρωμα για να κριθεί κατάλληλο θα πρέπει να είναι πλούσιο σε άργιλο. Συνήθως, παρατηρείται ευδιάκριτη αλλαγή χρώματος μεταξύ του επιφανειακού εδάφους και του υπεδάφους.

Η ιδανική περιεκτικότητα του χώματος σε άργιλο, για να παρασκευαστεί το κατάλληλο μίγμα κατασκευής, είναι 15-25%. Αυτό θεωρείται έδαφος πλούσιο σε άργιλο. Μεγαλύτερη ποσότητα πηλού στο έδαφος, δεν είναι επιθυμητή, γιατί θα συρρικνωθεί και θα ραγίσει όταν στεγνώσει και επομένως δεν θα έχει ικανοποιητικά αποτελέσματα στην κατασκευή.

Όπως προαναφέρθηκε, το αργιλόχωμα είναι το συνδετικό υλικό. Για να επιτευχθεί σωστή συνεκτικότητα του μείγματος, θα πρέπει να υγρανθεί επαρκώς, ώστε διασταλεί και να πλαισιώσει τους κόκκους της άμμου και τα τεμάχια του άχυρου. Η άργιλος κατά την ξήρανση της συρρικνώνεται, γι' αυτό προστίθεται η άμμος που βοηθάει στην σταθεροποίηση του μείγματος και στην μείωση της πιθανότητας δημιουργίας ρωγμών. Επίσης, καλό είναι να μην προστεθεί περισσότερο νερό στο μίγμα από αυτό που απαιτείται, ούτως ώστε να ελαττωθεί η συστολή του υλικού και κατά συνέπεια οι ρωγμές που αδυνατίζουν την αντοχή της κατασκευής.

Γενικά, το αργιλόχωμα βρίσκεται σε αφθονία στη φύση και είναι εύκολο να βρεθεί κατάλληλο κοίτασμα. Μια καλή ιδέα είναι να χρησιμοποιηθεί το χώμα που έχει ανασκαφεί από το όρυγμα της θεμελίωσης, εφόσον είναι κατάλληλο. Μπορεί επίσης κάποιος να το αναζητήσει σε εργοτάξια, όπου το χώμα των εκσκαφών θεωρείται απόβλητο και καταλήγει στις χωματερές.

5.2.2. Αδρανή υλικά

Απο τα αδρανή υλικά προτιμάται η άμμος. Η άμμος λειτουργεί ως σταθεροποιητικό υλικό της αργίλου. Η ποταμίσια άμμος προτιμάται γιατί έχει τραχιές γωνίες, σε αντίθεση με την θαλασσινή που είναι πιο στρογγυλεμένη. Οι τραχιές άκρες, επιτρέπουν στα σωματίδια να κολλήσουν καλύτερα μεταξύ τους και έτσι αποτρέπονται οι σοβαρές ρωγμές. Επιπλέον, η ποταμίσια άμμος έχει καλύτερες ιδιότητες και μικρότερη περιεκτικότητα σε νερό, οπότε συρρικνώνεται λιγότερο κατά την ξήρανση του μείγματος και επομένως μειώνεται η πιθανότητα να παρουσιαστούν ραγάδες. Η άμμος θαλάσσης μειονεκτεί έναντι της ποταμίσιας στην κατασκευή με ακατέργαστο πηλό για έναν επιπρόσθετο λόγο, περιέχει αλάτι το οποίο είναι υδρόφιλο και ως εκ τούτου θα δημιουργήσει πρόβλημα στην κατασκευή σε βάθος χρόνου. Σε περιοχές όπου η ποταμίσια άμμος είναι δυσεύρετη, όπως σε κάποια νησιά, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί η νταμαρίσια, δηλαδή αυτή που παράγεται στα σπαστήρια. Για τη χρήση της συγκεκριμένης άμμου στο τελικό προϊόν, συνίσταται η προπαρασκευή δειγμάτων, με στόχο να ελεγχθεί ο τρόπος που λειτουργεί στο μίγμα.

Άλλος τύπος άμμου που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι η άμμος από σκυρόδεμα γιατί είναι τραχιά και μπορεί να κρατήσει διάφορα μεγέθη σωματιδίων (Minke, 2012). Ο συγκεκριμένος τύπος άμμου ενώ έχει εξαιρετικές ιδιότητες, δεν συνίσταται γιατί δεν είναι φυσικό υλικό και επομένως το περιβαλλοντικό του αποτύπωμα δεν είναι αμελητέο, εκτός και αν αποτελεί προϊόν ανακύκλωσης.

5.2.3. Φυτικές Ινες

Το άχυρο είναι το συστατικό του cob που αναφέρεται ως ίνα. Λειτουργεί ως φυσικός οπλισμός με παρόμοιο τρόπο που θα λειτουργούσε ο μεταλλικός οπλισμός στο σκυρόδεμα. Προσθέτει αντοχή σε εφελκυσμό και στη διάτμηση των τοίχων από Cob. Απορροφά το νερό που πλεονάζει κατά την μείξη των υλικών. Επίσης, συγκρατεί μια δομή cob πιο ενωμένη με αποτέλεσμα να λειτουργεί ως ένα ενιαίο μονολιθικό κομμάτι. (Effects of Fibre Reinforcements on Properties of Extruded Alkali Activated Earthen Building Materials | Elsevier Enhanced Reader, n.d.)

Το άχυρο πρέπει να χρησιμοποιηθεί όταν είναι φρέσκο και στεγνό και όχι εύθραυστο ή σάπιο. Δεν σαπίζει μέσα στους τοίχους, σε βάθος χρόνου, καθώς δεν υπάρχει υγρασία και οξυγόνο στο εσωτερικό του τοίχου μετά την ξήρανση του, ώστε να προκληθεί σήψη από μικροοργανισμούς. (Laborel-Préneron et al., 2016). Το άχυρο είναι πολύ πιο δυνατό όταν τοποθετείται σε δεσμίδες καθώς είναι πολύ δύσκολο να κοπεί.

Ένα άλλο σημαντικό σημείο που πρέπει να τονισθεί είναι ότι δεν πρέπει ποτέ να χρησιμοποιείται σανό ως υποκατάστατο του άχυρου. Είναι πολύ διαφορετικά πράγματα. Το σανό είναι ένα προϊόν διατροφής πριν από τη συγκομιδή, όπως το γρασίδι και το τριφύλλι, για να τρώνε τα ζώα. Το άχυρο είναι το προϊόν μετά τη συγκομιδή που δεν περιέχει καμία διατροφική αξία. Συνήθως είναι το στέλεχος που έχει απομείνει από βρώμη, σιτάρι ή κριθάρι. Οι μίσχοι του σιταριού είναι κοίλοι και έχουν μεγάλη αντοχή σε εφελκυσμό (Sangma & Tripura, 2020).

Το άχυρο σίτου είναι πολύ καλή επιλογή ως συστατικό. Είναι ευρέως διαθέσιμο σε πολλές άλλες χώρες και οικονομικό. Τα άχυρα από βρώμη ή σίκαλη δημιουργούν επίσης ισχυρούς δεσμούς.

Το άχυρο πρέπει να αποθηκεύεται σε εσωτερικούς χώρους. Εάν αποθηκεύεται σε εξωτερικό χώρο, πρέπει να αερίζεται καλά, κάτω από κάποιο στεγανό υλικό στέγης για να διατηρείται στεγνό και να διατηρεί την ακεραιότητά του (Minke, 2012).

Εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και τρίχα κατσίκας.

5.2.4. Το νερό

Το νερό είναι το τελευταίο συστατικό που θα χρειαστεί για να φτιαχτεί το cob. Δεν υπάρχει κανένα πρόβλημα εάν είναι το νερό της γραμμής ύδρευσης. Όμως εάν συλλέγεται από μια λίμνη ή άλλον ανοιχτό χώρο πρέπει να αφαιρούνται τυχόν φύλλα ή άλλη οργανική ύλη από αυτό.

Επίσης το νερό είναι ένα κρίσιμο συστατικό του cob επειδή είναι αυτό που μετατρέπει το χώμα, τα αδρανή και τις ίνες σε ένα ζυμωτό, παχύ δομικό υλικό και επειδή ο πηλός πρέπει πρώτα να γίνει υγρός για να επικαλυφθούν τα σωματίδια των αδρανών και να δημιουργηθεί η αναρρόφηση και το δέσιμο.

5.3. Κατασκευή τοίχων

Η τεχνοτροπία του στοιβαχτού πηλού, λόγω της πλαστικότητας της, οδηγεί σε κατασκευή οργανικών μορφών, χωρίς γωνίες και απόλυτες ευθείες. Το τελικό προϊόν παραπέμπει αισθητικά σε γλυπτό.



Ο ακατέργαστος πηλός δεν μπορεί να βρίσκεται σε απευθείας επαφή με το έδαφος, επειδή πρέπει να προστατευτεί από το νερό, το χιόνι και την υγρασία. Για αυτό τοποθετείται πάνω σε πέτρινα (συνήθως) θεμέλια, τα οποία εξέχουν από το διαμορφωμένο έδαφος τουλάχιστον μισό μέτρο και είναι φαρδύτερα από τον τοίχο κατά 0,30μ. (Evans, 2009).

Εικόνα 5-3 : Θεμελίωση τοίχου κατασκευασμένου με τη μέθοδο του στοιβαχτού πηλού. (Πηγή: <https://www.cob.gr>)

Υπό φυσιολογικές συνθήκες ένας τοίχος από "ακατέργαστο στοιβαχτό πηλό", περιέχει μια μικρή ποσότητα νερού. Η υγρασία είναι απαραίτητη για τη συνοχή του τοίχου. Η συνεκτικότητα του οφείλεται σε τρεις διαφορετικές εσωτερικές δυνάμεις έλξης:

1. Τις δυνάμεις Van Der Waals, 2. Το τριχοειδές φαινόμενο (που είναι και το πιο καθοριστικό) και 3. Τους ιοντικούς δεσμούς (Minke, 2012).

Η δύναμη της συνοχής του υλικού εξαρτάται από τον τύπο του πηλού, την περιεκτικότητα του σε άργιλο και σε υγρασία και στην δομή του.

Ο τύπος του πηλού μπορεί να διαφέρει αρκετά από περιοχή σε περιοχή. Έτσι, σε δύο ίδια δείγματα, ίδιας σύστασης αλλά διαφορετικού τύπου αργίλου, μπορεί να διαφέρει σημαντικά η συμπεριφορά του υλικού (Meunier 2005).

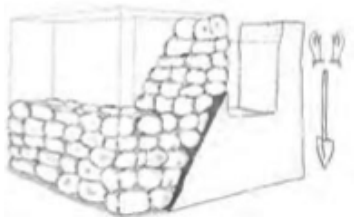
Είναι δύσκολο, λοιπόν, να προβλεφθεί η συμπεριφορά ενός τοίχου από ακατέργαστο πηλό, βάσει της σύστασης του. Θα μπορούσαν ενδεχομένως να τεθούν όρια ακαταλληλότητας, κατόπιν διεξοδικών εργαστηριακών μελετών και δοκιμών σε κάθε τύπο αργίλου, όμως κάτι τέτοιο θα ήταν πολύ χρονοβόρο και κοστοβόρο. Επιπλέον, οι συνθήκες στο εργαστήριο είναι ελεγχόμενες και διαφέρουν από τις εξωτερικές συνθήκες. Το ιδανικότερο θα ήταν να διεξάγονται τεστ συμπεριφοράς για το εκάστοτε τύπο γης στο χώρο τοποθέτησης του.

Οι τοίχοι από στοιβαχτό πηλό τοποθετούνται σε στρώσεις. Η κάθε στρώση τοίχου αφήνεται να στεγνώσει πριν από την τοποθέτηση της επόμενης, ώστε να μην καταρρεύσει. Το πάχος της κάθε στρώσης σχετίζεται με τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν κατά την κατασκευή και εξαρτάται από την υγρασία του μείγματος (συνήθως είναι 20-30εκ.). Ο αέρας, ακόμα και σε χαμηλές θερμοκρασίες, βοηθάει στο να στεγνώσει το μείγμα. Καλό είναι, πάντως, να αποφεύγεται το γρήγορο στέγνωμα, ώστε ο τοίχος να γίνεται πιο στιβαρός και με λιγότερες ρωγμές.

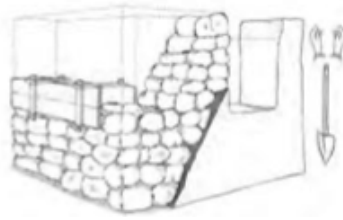
Οι τοίχοι χτίζονται από έξω προς τα μέσα. Κάθε σβώλος που τοποθετείται πρέπει να αναμειγνύεται καλά με τους προηγούμενους. Συνήθως οι τοίχοι λεπταίνουν ελαφρά καθώς υψώνονται. Επειδή ο στοιβαχτός πηλός είναι ισχυρός από άποψη φέροντος φορτίου, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί σε διώροφα κτίρια. Τα παράθυρα και οι πόρτες μπορούν είτε να ενσωματωθούν, καθώς οι τοίχοι χτίζονται, είτε να χρησιμοποιηθούν ξύλινα πρέκια και ποδιές για να στηρίξουν την κορυφή, είτε να κοπούν όταν ολοκληρωθούν πλήρως.

Το ελάχιστο πάχος του τοίχου που μπορεί να κατασκευαστεί από στοιβαχτό πηλό είναι 30 εκατοστά. Το ύψος της κατασκευής (μέχρι τη βάση της στέγης) είναι ανάλογο του πάχους του

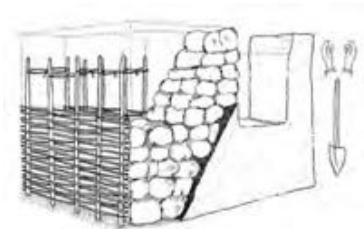
τοίχου, ήτοι: Δεν μπορεί να είναι περισσότερο από 8 φορές του πάχους των τοίχων της (Minke, 2001).



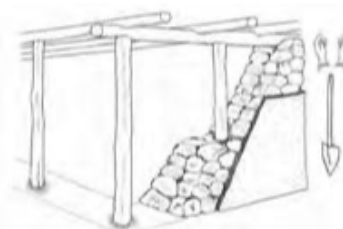
Cob



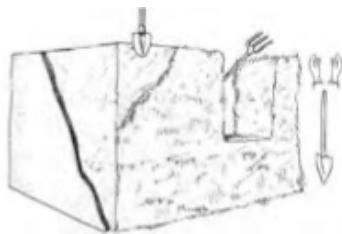
Cob built with between forms



Cob built with wattle formwork fixed by vertical posts



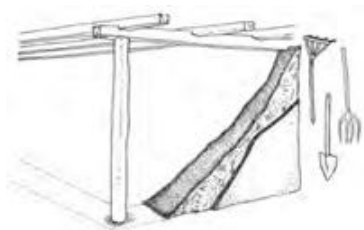
Cob with auxiliary post-and-beam structure



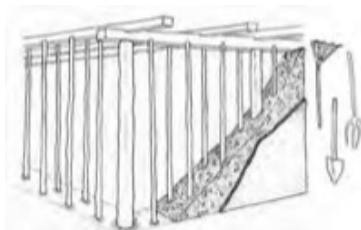
Tooled cob



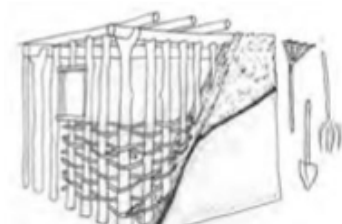
Cob with adobe masonry layers



Tooled cob with auxiliary post-and-beam structure studding



Tooled cob with auxiliary structure of post-and-beam with close studding



Tooled cob with auxiliary structure of log post-and-beam with wattle

Εικόνα 5-4 : Συνδυασμός δόμησης με στοιβαχτό πηλό και άλλες τεχνοτροπίες ακατέργαστου πηλού.
(Πηγή: Dipasquale et al., 2011)



Εικόνα 5-5 : Κατασκευή ανοιγμάτων σε κτίσμα Cob ακατέργαστου πηλού (Πηγή: <https://www.cob.gr>).

5.4. Ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις

Η θέση των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων, όπως πρίζες και σωληνώσεις νερού και αποχέτευσης, θα πρέπει να έχει προβλεφθεί από την αρχή της κατασκευής.

Ως προς τα ηλεκτρολογικά μπορούν να τοποθετηθούν μετά το πέρας της κατασκευής, σκάβοντας τον τοίχο και σοβατίζοντας τον μετά τη διέλευση των ηλεκτρολογικών σωληνώσεων. Συνίσταται, όμως, να τοποθετηθούν κατά τη διάρκεια της κατασκευής ώστε να αποφευχθεί το σκάψιμο των τοίχων μετά. Για την κεντρική παροχή, τοποθετείται σωλήνας μέσα από το θεμέλιο στη θέση που θα μπει ο ηλεκτρολογικός πίνακας.

Ως προς τα υδραυλικά, η βέλτιστη πρακτική είναι να τρέχουν από την έξω πλευρά του κτίσματος και να εισέρχονται στις προβλεπόμενες θέσεις με διεύθυνση κάθετη ως προς τον τοίχο. Οι σωλήνες θα πρέπει να έχουν ελαφριά κλίση προς τα έξω ώστε να οδηγούνται τα νερά έξω από το κτίσμα, σε περίπτωση διαρροής. Επιπρόσθετα, δεν πρέπει οι συνδέσεις των σωληνώσεων να γίνονται μέσα στους τοίχους, γιατί αποτελούν πιθανά σημεία διαρροών. Αν χρειαστεί να τρέξουν υδραυλικοί σωλήνες παράλληλα σε τοίχο εντός του κτίσματος, θα πρέπει η τοποθέτησή τους να γίνει με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι επισκέψιμοι μελλοντικά. Για παράδειγμα, μπορεί να τοποθετηθεί ένα κούφιο σοβατεπί στη θέση που θα τρέχουν οι σωλήνες. (Χτίζοντας - Φυσική δόμηση Βιοκλιματική αρχιτεκτονική Cob.gr)



Εικόνα 5-6 : Τοποθέτηση ηλεκτρολογικών σωληνώσεων κατά την κατασκευή (Πηγή: <https://moreecological.wordpress.com>)

5.5.Κατασκευή στέγης

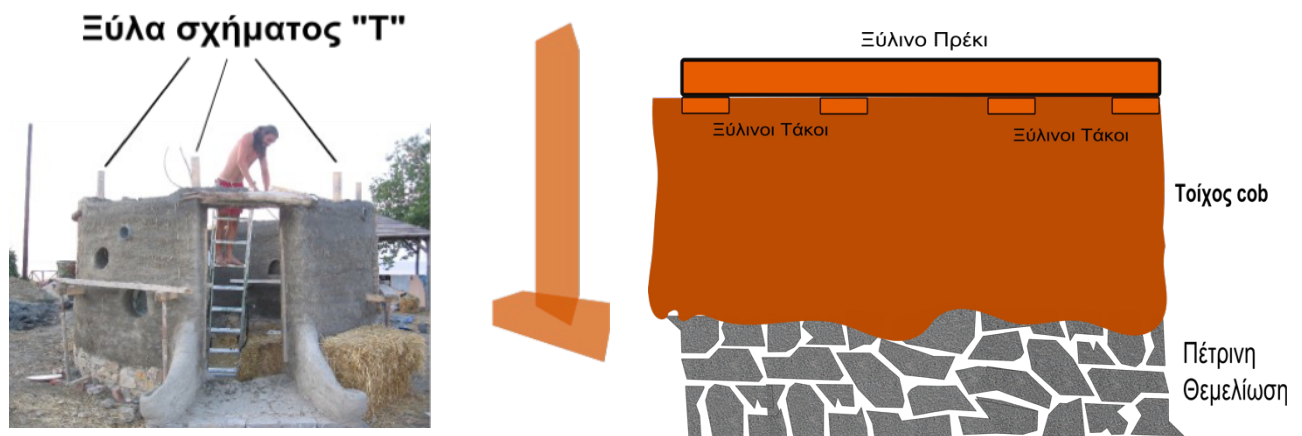
Η στέγη είναι πολύ σημαντικό μέρος της κατασκευής:

- Προστατεύει το εσωτερικό της κατασκευής από τον ήλιο, τη βροχή, το χιόνι και τον αέρα.
- Μονώνει το κτήριο, ώστε να διατηρούνται σταθερές οι εσωτερικές συνθήκες.
- Προστατεύει τους εξωτερικούς τοίχους από τη βροχή.
- Επηρεάζει την αισθητική της κατασκευής.

Επιπλέον, η στέγη μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εξώστης ή και να διαμορφωθεί σε έναν όμορφο κήπο. Επίσης, μπορεί να υποδεχτεί ηλιακό θερμοσίφωνα ή φωτοβολταϊκά.

Εάν τα φέροντα στοιχεία του κτίσματος είναι ξύλινα, τότε η στέγη μπορεί να κατασκευαστεί πριν από τους τοίχους, καθώς θα στηρίζεται σε αυτόν. Με αυτόν τον τρόπο, επιτυγχάνεται απρόσκοπτη σταδιακή ξήρανση των τοίχων που είναι και το πλέον επιθυμητό. Επιπρόσθετα, η ύπαρξη στέγης επιτρέπει την κατασκευή των τοίχων και όταν είναι βροχερός ο καιρός.

Στην περίπτωση της μονολιθικής κατασκευής, ενσωματώνονται στους τοίχους ξύλινες διατομές σε σχήμα "T", 1,5μ κάτω από το τελικό ύψος του κτηρίου. Αυτά αποτελούν την βάση πάνω στα οποία θα επικαθίσει ο σκελετός της ξύλινης στέγης. Εναλλακτικά μπορεί να τοποθετηθεί ξύλινο "πρέκι" περιμετρικά στο τελείωμα της μονολιθικής κατασκευής, οπότε να μοιραστεί το βάρος ομοιόμορφα στους τοίχους.



Εικόνα 5-7 : Κατασκευή ξύλινης στέγης(Πηγή: <https://www.cob.gr>).

Η στέγη πρέπει να προεξέχει τουλάχιστον 0,5μ από την επιφάνεια των εξωτερικών τοίχων, για να προσφέρει προστασία από τη βροχή και από τις πιτσιλιές που προκαλούνται από τα νερά της στέγης, όταν πέφτουν στο έδαφος.

Οι στέγες πρέπει να είναι ελαφριές, ώστε να μην επιβαρύνουν πολύ την κατασκευή και σε περίπτωση σεισμού να μην επηρεάζουν σημαντικά την υπόλοιπη κατασκευή. Επίσης, προτιμάται να είναι, όσο είναι δυνατόν, ανεξάρτητη από τους τοίχους, γιατί αν γίνει σεισμός θα συμπεριφερθεί διαφορετικά από αυτούς (Minke, 2001).

5.6.Κατασκευή δαπέδων

Η κατασκευή του δαπέδου ενός σπιτιού απαιτεί μια ελαφρώς διαφορετική τεχνική από την κατασκευή των τοίχων, αλλά μπορεί να γίνει από σχεδόν οποιονδήποτε. Το σπίτι χτισμένο με ακατέργαστο πηλό πρέπει να είναι άνετο, ενώ παράλληλα για πολλούς ανθρώπους, αυτό σημαίνει ότι πρέπει να αποφευχθούν οι σύγχρονες τεχνικές και τα σύγχρονα υλικά δαπέδων. Ένα χωμάτινο δάπεδο παρέχει μια ζεστή, ευχάριστη επιφάνεια, ακόμη και σε γυμνά πόδια. Μπορεί να χρειαστεί λίγος χρόνος για να κατασκευαστεί, αλλά θα διαρκέσει για πολλά χρόνια ακόμα (Evans, 2009).

Τα δάπεδα από ακατέργαστο πηλό έχουν μεγάλη θερμοχωρητικότητα. Το χειμώνα, αποθηκεύουν τη θερμότητα του ήλιου που προσπίπτει σε αυτά στη διάρκεια της ημέρας και την αποδίδουν στο χώρο το βράδυ. Έτσι, διατηρείται το σπίτι ζεστό.



Εικόνα 5-8 : Κατασκευή δαπέδων από Cob (Πηγή: Pinterest & <https://naturallivingschool.com/tag/earth-floor>)

Το χωμάτινο δάπεδο αποτελείται από πολλά επίπεδα. Αρχικά, αφαιρείται η οργανική ύλη και συμπιέζεται το έδαφος πάνω στο οποίο θα κατασκευαστεί το δάπεδο. Έπειτα, τοποθετούνται τουλάχιστον 30 πόντοι χαλίκι, οι οποίοι, επίσης, συμπιέζονται καλά. Η επόμενη στρώση (10εκ.) είναι πολύ σημαντική γιατί παρέχει θερμομόνωση στο δάπεδο. Αποτελείται από μείγμα στοιβαχτού πηλού, αλλά με περισσότερο άχυρο, άμμο και νερό. Το μείγμα πρέπει να είναι υδαρές και πρέπει να αφεθεί να ξεραθεί καλά πριν την επόμενη στρώση. Στη συνέχεια, τοποθετείται στρώση πάχους 10εκ., η οποία αποτελείται από μείγμα στοιβαχτού πηλού, όμως με περισσότερη άμμο και χαλίκι. Η συγκεκριμένη στρώση ευθύνεται για την θερμοχωρητικότητα του δαπέδου. Δεν πρέπει να ρηγματώσει, οπότε φροντίζουμε να μην περιέχει πολύ νερό. Πριν την τοποθέτηση της βρέχεται η επιφάνεια της προηγούμενης στρώσης, ώστε να μπορέσουν να κολλήσουν οι δύο μεταξύ τους. Έπειτα, εφαρμόζεται μείγμα (5εκ.) αποτελούμενο από αργιλόχωμα κοσκινισμένο, ψιλή άμμο, ψιλό χαλίκι και ψιλοκομμένο άχυρο ή γιδότριχες. Μετά τοποθετούνται 2 εκ. από το ίδιο μείγμα, αλλά χωρίς το χαλίκι και αφήνεται να στεγνώσει. Στη συνέχεια, εφαρμόζεται λινέλαιο (4 χέρια) το οποίο σκληραίνει και αδιαβροχοποιεί το δάπεδο. Τέλος, αναμιγνύεται λιωμένο κερί με λινέλαιο, σε αναλογία 1 προς 5, και απλώνεται στο δάπεδο. Η τελευταία διαδικασία επαναλαμβάνεται, όποτε χρειάζεται συντήρηση το δάπεδο.



Εικόνα 5-9 : Κατασκευή χωμάτινου δαπέδου (Πηγή: <https://www.cob.gr>).

5.7.Κατασκευή επιχρισμάτων

Το επίχρισμα έχει διπλή χρήση. Προσφέρει προστασία των τοίχων από τα καιρικά φαινόμενα (κυρίως το νερό) και αποτελεί το υπόστρωμα για την βαφή. Εσωτερικά το επίχρισμά παρέχει προστασία και από το τρίψιμο του χωμάτινου τοίχου, οπότε μειώνεται η σκόνη εντός του χώρου.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι χωμάτινοι τοίχοι απορροφούν και αποδίδουν υγρασία στο χώρο. Συνεπώς, το επίχρισμα που θα επιλεγεί θα πρέπει να επιτρέπει αυτή τη διαπνοή τους. Υπάρχουν 2 επιχρίσματα που επιτρέπουν τη λειτουργία αυτή: Το χωμάτινο επίχρισμα και το επίχρισμα ασβέστη. Σε περίπτωση που ο τοίχος επενδυθεί με υλικό που δεν επιτρέπει τη διαπνοή, όπως το τσιμεντένιο επίχρισμα, τότε ο τοίχος θα χάσει τις ιδιότητες του, θα ρηγματώσει και θα εγκλωβιστεί μέσα του νερό, οπότε σταδιακά θα διαλυθεί. Επιπρόσθετα, όταν ο τοίχος δεν διαπνέει, η παγιδευμένη υγρασία θα δημιουργήσει μούχλα, η οποία εκτός από το ότι θα καταστρέψει τον τοίχο, είναι και ανθυγιεινή για τους ένοικους του χώρου. Το ίδιο πρόβλημα θα προκύψει και από τη χρήση στεγανών μεμβρανών ή φραγμάτων υδρατμών στο δάπεδο, αν και είναι λιγότερο καταστροφικό από ότι στους τοίχους (Evans, 2009).

Οι πήλινοι σοβάδες μπορούν να κατασκευαστούν για να κολλήσουν σχεδόν σε οποιαδήποτε επιφάνεια (αν και για μη χωμάτινα υλικά όπως κόντρα πλακέ ή σκυρόδεμα απαιτείται μερικές φορές σημαντική προετοιμασία της επιφάνειας). Κατά συνέπεια, τα χωμάτινα επιχρίσματα

προτιμώνται για εφαρμογή σε εσωτερικούς χώρους γιατί έχουν καλύτερες υδραυλικές ιδιότητες, ενώ τα επιχρίσματα ασβέστη εφαρμόζονται κυρίως εξωτερικά, γιατί έχουν καλύτερες μηχανικές ιδιότητες στις καιρικές συνθήκες.

Στο Πόρτλαντ τα επιχρίσματα ασβέστη είναι αδιάβροχα, δηλαδή δεν μαλακώνουν όταν μουλιάζουν, παράλληλα βοηθάνε στην καλή αναπνοή. Παραδοσιακά διατηρούνται με περιοδικές εφαρμογές ασβεστόπλυσης. Κάποια κτίρια με cob πρόσφατα επιχρίστηκαν εκ νέου με τσιμεντοστόκο, αλλά αυτό προκάλεσε σοβαρά προβλήματα υγρασίας στους τοίχους από ακατέργαστο πηλό, με συνέπεια πολλοί από τους αρχαίους αυτούς τοίχους να καταρρεύσουν.

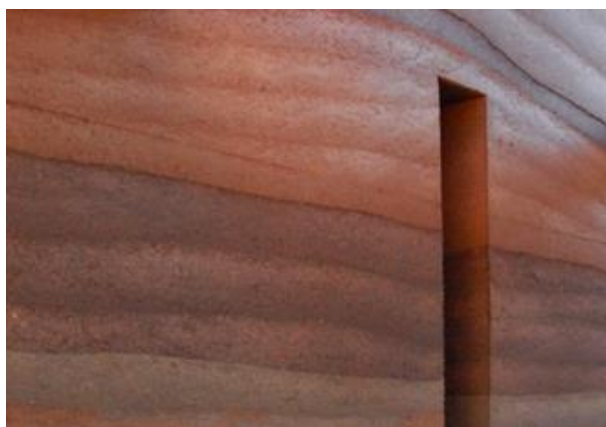
Είναι προτιμότερο οι τοίχοι από άχυρο και πηλό να μπορούν να «αναπνέουν» ή να απελευθερώνουν υδρατμούς και στις δύο πλευρές, επειδή τα σχετικά επίπεδα υγρασίας και θερμοκρασίας μέσα και έξω μπορούν να αντιστραφούν εποχιακά.



Εικόνα 5-10 : Επίχρισμα από πηλό (Πηγή: Minke, 2006).

5.8.Χρωματισμοί

Οι χρωματισμοί θα πρέπει να έχουν τις ίδιες ιδιότητες με τα επιχρίσματα. Δηλαδή θα πρέπει να επιτρέπουν στις κατασκευές από ακατέργαστο πηλό να διαπνέουν. Υπάρχουν δύο τύποι βαφών με αυτά τα χαρακτηριστικά: Οι βαφές από ασβέστη και οι βαφές από αργιλόχωμα. Οι βαφές από ασβέστη συνήθως εφαρμόζονται στα επιχρίσματα από ασβέστη, ενώ οι βαφές από αργιλόχωμα στα χωμάτινα επιχρίσματα, χωρίς να είναι απαγορευτικό το ανάποδο (Minke, 2012). Επειδή πρόκειται για φυσικά υλικά, συνίσταται να γίνονται κάποια δείγματα πριν την τελική εφαρμογή, ώστε να έχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα.



Εικόνα 5-11 : Τρίχρωμη καλουπωτή τοιχοποιία (Πηγή: Pinterest).

5.9.Ιδιότητες κελύφους από ακατέργαστη γη

5.9.1. Υγρασία

Ο ωμός, ακατέργαστος πηλός είναι ένα ακόρεστο πορώδες υλικό το οποίο έχει απορροφήσει νερό και περιέχει σταγονίδια τριχοειδούς μορφής. Η εσωτερική του υγρασία βρίσκεται σε ισορροπία με τη σχετική υγρασία της ατμόσφαιρας.

Ο πηλός έχει την ικανότητα να ισορροπεί την υγρασία των εσωτερικών χώρων, καθώς απορροφάει και να αποδίδει υγρασία στο περιβάλλον πιο γρήγορα και πιο πολύ από κάθε άλλο υλικό. Έτσι, δημιουργεί ένα πολύ υγιεινό περιβάλλον για τους χρήστες με μειωμένα ποσοστά υγρασίας το καλοκαίρι και περισσότερα το χειμώνα.

Σύμφωνα με τον Minke (2012), σε ένα δωμάτιο επιφανείας 12μ² και ύψους 3μ, εάν η υγρασία αυξάνονταν από 50% σε 80%, οι τοίχοι από ακατέργαστο πηλό (εφόσον δεν είναι επιχρισμένοι με κάποιο άλλο υλικό) θα απορροφήσουν σε 9lt νερό σε δύο μέρες. Στον ίδιο χώρο και για το

ίδιο χρονικό διάστημα, εάν οι τοίχοι ήταν από συμβατική οπτοπλινθοδομή θα απορροφούσαν 0,9lt νερού. Στην περίπτωση που η εσωτερική υγρασία μειώνονταν κατά τα ίδια ποσοστά, η αντίστοιχη ποσότητα υγρασίας θα εκλύονταν στο χώρο.

Πάντως, σε μελέτες που έχουν γίνει σε ιστορικά κτήρια έχουν δείξει ότι μία από τις βασικές αιτίες αστοχίας μιας κατασκευής από Cob, είναι η υγρασία (Historic Buildings Trust, Devon, 1993). Το μείγμα πρέπει να περιέχει αρκετό νερό ώστε να διασφαλιστεί ότι ο πηλός έχει καλύψει όλους τους κόκκους του μείγματος και κατά συνέπεια το μείγμα είναι ομοιόμορφο (Pearson, 1992). Η ποσότητα της υγρασίας μέσα στον πηλό, όμως, επηρεάζει τη συμπεριφορά του. Παρακάτω παρουσιάζονται οι επιδράσεις του σύμφωνα με τους Houben & Guillard:

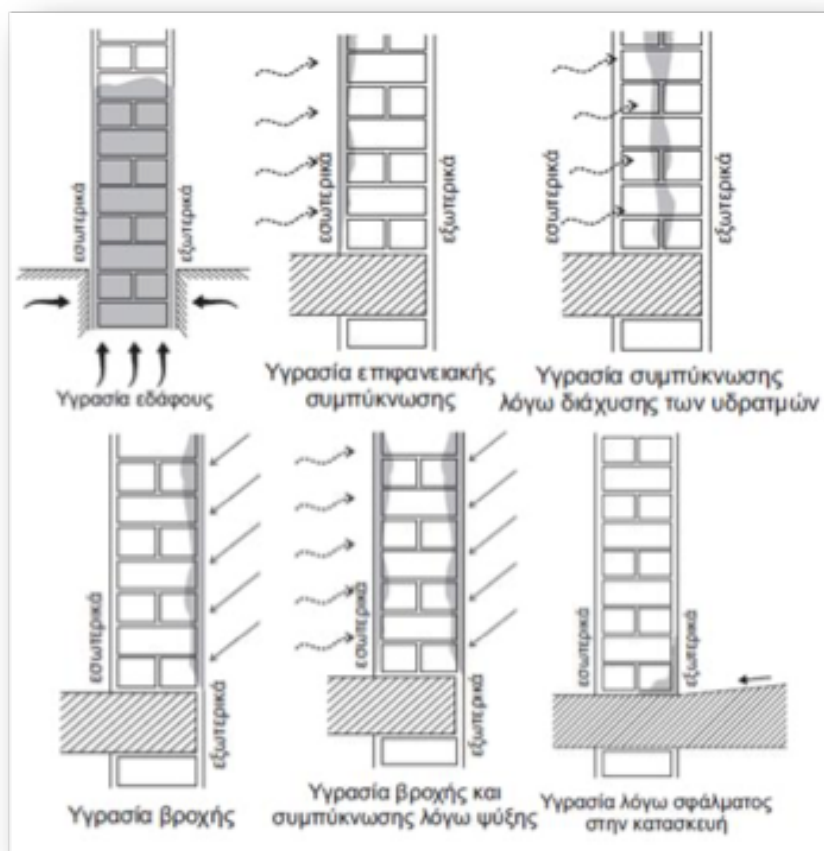
- Συνοχή: Προκαλείται από την τάση του νερού να καλύπτει τα κενά.
- Αναρρόφηση: Προξενείται από τις επιφανειακές δυνάμεις, όταν ο Πήλός στεγνώνει.
- Φούσκωμα: Ο όγκος του πηλού αυξάνει με την απορρόφηση του νερού.
- Συρρίκνωση: Προκαλείται από την εξάτμιση του νερού.
- Πλαστικότητα: Οφείλεται στην ιδιότητα του νερού να λειτουργεί ως λιπαντικό μεταξύ των σωματιδίων του πηλού.

Η βέλτιστη αντοχή του τοίχου επιτυγχάνεται όταν η ποσότητα του νερού στο υλικό παραμένει χαμηλή, δηλαδή από 1% έως 4% σε ξηρή κατάσταση, δηλαδή όταν πλέον έχει στεγνώσει (20% κατά τον κορεσμό). Αύξηση του ποσοστού υγρασίας από 2% έως 12%, θα μειώσει την αντοχή του τοίχου. Περαιτέρω αύξηση των ποσοστών μπορεί να οδηγήσει μέχρι και σε κατάρρευση του τοίχου (Morel et al., 2021).

Σε ανάλυση που έγινε από τους Scarato & Jeannet (2015), οι οποίοι μελέτησαν πάνω από 100 αρχαία κτίσματα κατασκευασμένα με την μέθοδο της συμπίεσμνης γης, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η βασική αιτία κατάρρευσης οφείλονταν σε ασυνήθιστη αύξηση των ποσοστών υγρασίας στο σημείο συναρμογής του τοίχου με το υπόγειο. Αυτό μπορεί να προκλήθηκε είτε από ανύψωση της στάθμης του περιβάλλοντος χώματος, είτε εξαιτίας της κλίσης του εδάφους, είτε από την τοποθέτηση κάποιου υδατοστεγούς υλικού πλησίον της κατασκευής (όπως είναι η άσφαλτος) εξαιτίας του οποίου ωθήθηκαν τα νερά προς την κατασκευή. Μάλιστα, η αυξημένη υγρασία είναι ακόμα πιο επιβλαβής σε συνθήκες ψύξης ή απόψυξης. Παραδείγματος χάριν, αναφέρουν ότι στις γαλλικές Άλπεις κατέρρευσαν πολλά κτίσματα από συμπίεσμένη γη ύστερα από περιόδους απόψυξης των πάγων. Επιπρόσθετα,

επισήμαναν την ανάγκη αποφυγής της κατασκευής κτισμάτων από ακατέργαστη γη κατά τη διάρκεια του χειμώνα, διότι υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να προκληθεί ζημιά εξαιτίας του πάγου σε πρώιμο στάδιο της κατασκευής κατα το όποιο μάλιστα η ποσότητα νερού στον τοίχο είναι μεγάλη.

Άλλη αιτία μείωσης της αντοχής του τοίχου είναι η σταδιακή διάβρωση που προκαλείται από την εναλλαγή ύγρανσης -ξηράνσης και ψύξης-απόψυξης εξαιτίας της έκθεσης της τοιχοποιίας σε βροχή. Η σημασία αυτών των εναλλαγών μελετήθηκε από τους Bui. et al, 2009 με τη μορφή πειραμάτων σε διαφορετικούς τύπους τοίχων από ακατέργαστη γη, οι οποίοι αφέθηκαν εκτεθειμένοι στα καιρικά φαινόμενα για 20 χρόνια σε υγρό ηπειρωτικό περιβάλλον (Grenoble, Γαλλία). Η μέση διάβρωση που παρατηρήθηκε ήταν 6,4mm ή 1,6% του πάχους του τοίχου σε βάθος 20 χρόνων. Βάσει αυτής της παρατήρησης εκτιμήθηκε ότι η μέση διάρκεια ζωής των τοίχων είναι γύρω στα 60 χρόνια.



Εικόνα 5-12: Μορφές ανάπτυξης υγρασίας σε εξωτερικούς τοίχους (Πηγή: Παπαδοπούλου, 2021)

Άλλος παράγοντας που επιδρά στη διάρκεια ζωής των τοίχων είναι η εσωτερική υγρασία του τοίχου από ακατέργαστο πηλό που επηρεάζεται επιπρόσθετα από τις διακυμάνσεις της σχετικής υγρασίας εξωτερικού και εσωτερικού χώρου, προκαλώντας απορρόφηση και εκρόφιση σταγονιδίων νερού στους πόρους του. Αυτό οφείλεται στην υψηλή διαπερατότητα τους (Fabbri et. al. 2019). Παρόλο που οι διακυμάνσεις που προκαλούνται στην υγρασία του τοίχου από αυτό το φαινόμενο είναι μικρές (της τάξεως του 1% έως 3%, όταν η σχετική υγρασία βρίσκεται σε ποσοστά 20-80%), οι διακυμάνσεις στην αντοχή του τοίχου ενδέχεται να είναι σημαντικές και μπορεί να προκληθεί συρρίκνωση ή διόγκωση (Xu et. al. 2018). Οι διακυμάνσεις αυτές ποικίλουν, ανάλογα στην περιεκτικότητα του τοίχου σε άργιλο και στην ποιότητα αυτού.

Από το φαινόμενο αυτό της αλληλεπίδρασης επηρεάζεται επιπλέον και η θερμοχωρητικότητα του τοίχου οπότε και η γενικότερη θερμική συμπεριφορά του κτίσματος.

5.9.2. Θερμοχωρητικότητα- Θερμική μάζα- Θερμική αγωγιμότητα

Η θερμοχωρητικότητα, η θερμική μάζα και η θερμική αγωγιμότητα των στοιχείων που πληρούν το κτηριακό κέλυφος, διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη θερμική συμπεριφορά του.

Η θερμοχωρητικότητα αφορά στην ικανότητα των υλικών να αποθηκεύουν θερμότητα. Η θερμότητα που έχει συσσωρευτεί είτε από την ακτινοβολία του ήλιου είτε από την θερμοκρασία του εξωτερικού ή εσωτερικού χώρου, αποθηκεύεται στη θερμική μάζα του κελύφους. Η θερμική αγωγιμότητα προσδιορίζει την ταχύτητα μετάδοσης της θερμότητας μέσω του υλικού. Στη θερμική μάζα και στη θερμική αγωγιμότητα οφείλεται η καθυστέρηση μετάδοσης της θερμότητας που έχει απορροφηθεί από τα στοιχεία πλήρωσης (π.χ. τοίχους, οροφές, δάπεδα που βρίσκονται σε επαφή με τον περιβάλλοντα χώρο), στο εσωτερικό του κτηρίου. Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμική μάζα και μικρότερη η θερμική αγωγιμότητα, τόσο περισσότερο καθυστερεί η μετάδοση της θερμότητας σε αυτόν.

ΥΛΙΚΟ		Πυκνότητα	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας	Ειδική θερμοχωρητικότητα	Συντελεστής αντίστασης σε διάχυση υδρατμών	
		ρ	λ	c_p	μ	
		kg/m^3	$\text{W/(m}\cdot\text{K)}$	$\text{J/(kg}\cdot\text{K)}$	ξηρό	υγρό
Συμπαγής πηλός	(G. MINKE)	1.800 - 2.000	0,95 - 1,2			
	(K.Εν.Α.Κ.)	1.990	0,8	1.000	10	
Πηλός μέσης πυκνότητας	(G. MINKE)	1.400 - 1.600	0,6 - 0,8			
	(K.Εν.Α.Κ.)	1.400	0,7			
Ελαφρύς πηλός	(G. MINKE)	800 - 1.200	0,3 - 0,5			
	(K.Εν.Α.Κ.)	660	0,19	1.500	5	
Μπομπίνα αχυροπηλού	(G. MINKE)		0,5			
Πεπιεσμένο άχυρο	(K.Εν.Α.Κ.)	200	0,040 - 0,070		2	
Ξυλόμαλλο		360 - 480	0,09 - 0,10	1.470	2 - 5	
Λινάρι		20 - 80	0,038 - 0,045	1.300 - 1.600		
Γρανίτης		2.500	2,8	1.000	10.000	10.000
		2.700				
Οπλισμένο Σκυρόδεμα		2.400	2,5	1.000	130	80
Οπτόπλινθοι διάτρητοι		1.200	0,45	1.000	5-10	
		1.700	0,58	1.000	5 - 10	
Αφρός Πολυουρεθένης		70	0,05	1.500		60
Εξηλασμένη πολυστερίνη		30 - 40	0,031 – 0,038	1.450	80 - 250	

Πίνακας 5-1: Σύγκριση θερμικών συντελεστών οικοδομικών στοιχείων. Πηγή: <https://anelixi2020.org>

Ο πηλός αλλά και άλλα οικοδομικά υλικά όπως οι ωμόπλινθοι, το οπλισμένο σκυρόδεμα και η πέτρα έχουν μεγάλη θερμοχωρητικότητα. Η θερμική αγωγιμότητα του πηλού, όμως, είναι αρκετά υψηλή ($\lambda=0,80\text{W/mK}$) με αποτέλεσμα την γρήγορη μετάδοση της θερμότητας μέσω αυτού. Αισθητή βελτίωση της αγωγιμότητας του παρατηρείται με την προσθήκη ινών, ζωικών τριχών (όπως κατσικότριχες) και άχυρου. Τα πρόσθετα αυτά περιλαμβάνονται ουτοσιάλλος στο κατασκευαστικό μείγμα καθώς εκτός από θερμομονωτικές ιδιότητες, βελτιώνουν και την αντοχή του σε καταπονήσεις (λειτουργούν ως φυσικός οπλισμός). Περαιτέρω βελτίωση της θερμομονωτικής του ικανότητας, μπορεί να επιτευχθεί με την αύξηση της μάζας του τοίχου. Στον πίνακα που ακολουθεί, παρατηρούμε ότι ένας τοίχος από Cob, πάχους 40cm έχει συντελεστή θερμοπερατότητας (U-value) $0,291\text{W/m}^2\text{K}$, αρκετά χαμηλότερο από τα μέγιστα όρια που ορίζει ο ΚΕΝΑΚ. Συνήθως ένας τοίχος από στοιβαχτό πηλό (Cob) έχει έχει μεγάλη θερμική μάζα, ήτοι τουλάχιστον 0,50m πάχος. Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι το καλοκαίρι η

εσωτερική θερμοκρασία του χώρου θα είναι πιο χαμηλή από την εξωτερική και ότι θα φτάνει στη μέγιστη τιμή της αρκετές ώρες μετά από την κορύφωση της εξωτερικής θερμοκρασίας. Επομένως, θα αποδώσει την θερμοκρασία που έχει απορροφήσει στο χώρο το βράδυ που θα έχει πέσει η θερμοκρασία του (Dong et al., 2014). Σε περιοχές όπου το κλίμα παρουσιάζει μεγάλες θερμοκρασιακές διακυμάνσεις μες στη μέρα, η μεγάλη θερμοχωρητικότητα βοηθάει στην εξισορρόπηση της εσωτερικής θερμοκρασίας του χώρου.

Σύμφωνα με την μελέτη του Soudani et. al. (2017), οι χωμάτινοι τοίχοι που δεν έχουν μονωθεί και έχουν νότιο προσανατολισμό μπορούν να «επανατοποθετήσουν» με διαφορά περίπου 12ωρών, ένα μέρος της ηλιακής θερμότητας που έχουν αποθηκεύσει, ακόμα και τον χειμώνα, εφόσον ο τοίχος έχει τη σωστή δομή. Εάν η δομή του τοίχου δεν είναι η ιδανική, τότε ενδέχεται η μεταφορά να μειωθεί κατά μία ώρα.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η θερμοχωρητικότητα του τοίχου επηρεάζεται, επιπρόσθετα, από την υγρασία του εσωτερικού και εξωτερικού χώρου. Κατά τη διαδικασία απορρόφησης ή εκκρόφησης υγρασίας που συντελείται μεταξύ του τοίχου και του περιβάλλοντα, δημιουργείται λανθάνουσα θερμότητα, η οποία επηρεάζει τη μεταφορά θερμοκρασίας εντός του τοίχου με συνέπεια την μεταβολή της θερμικής συμπεριφοράς του κτίσματος. Έχουν δημοσιευτεί πολλές μελέτες που έχουν ερευνήσει και αξιολογήσει εργαστηριακά τη συμπεριφορά της θερμότητας του αέρα και της μάζας ενός υγροσκοπικού τοίχου, όπως είναι ο τοίχος από άργιλο (π.χ. Labat & Woloszyn 2016).

Σύμφωνα με μελέτη των Gounni & Louahlia (2020), ένα σπίτι από ακατέργαστο πηλό, παρουσιάζει μείωση του θερμικού φορτίου κατά 20% με 50% σε σχέση με το ίδιο σπίτι αν αυτό ήταν κατασκευασμένο από τα πιο συνήθη συμβατικά υλικά. Στην ίδια μελέτη, παρατηρήθηκε ότι η εσωτερική θερμοκρασία ήταν υψηλότερη έως και 4°C τους χειμερινούς μήνες και μέχρι 2,5°C το καλοκαίρι.

Building component	Composition	Thickness (mm)	Thermal conductivity (W/m.K)	Density (kg/m ³)	Thermal capacity (J/kg.K)	U-Value (W/m ² .K)
External wall	Lime	15	1.98	1400	850	0.291
	Cob insulation	300	0.19	625	1408	
	Cob structure	400	0.24	1145	1121	
	Coated raw earth	15	0.75	1500	900	

Building component	Composition	Thickness (mm)	Thermal conductivity (W/m.K)	Density (kg/m ³)	Thermal capacity (J/kg.K)	U-Value (W/m ² .K)
Floor	fired earth	20	0.22	700	1000	0.271
	slab of lime	120	1.98	1400	850	
	Expanded clay balls	300	0.09	330	1000	
	Cob insulation	300	0.19	625	1408	
	Cob structure	120	0.24	1145	1121	
Ceiling	Cob Entrevous	70	0.24	1145	1121	0.390
	Coated raw earth	15	0.75	1500	900	

Πίνακας 5-2: Θερμικά χαρακτηριστικά και διατάσεις υλικών κατασκευής από στοιβαχτό πηλό (Gounni & Louahlia, 2020)

ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ	ΣΥΜΒΟΛΟ	Συντελεστής θερμοπερατότητας [W/m ² .K]			
		ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ			
		A	B	Γ	Δ
Εξωτερική οριζόντια επιφάνεια σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (οροφές)	k _D	0,50	0,40	0,38	0,35
Εξωτερικοί τοίχοι σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	k _W	0,60	0,50	0,44	0,33
Δάπεδα χώρων διαμονής σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (pilotis)	k _{DL}	0,50	0,40	0,40	0,30
Δάπεδα σε επαφή με το έδαφος ή με κλειστούς μη θερμαινόμενους χώρους	k _G	1,50	1,00	0,38	0,35
Διαχωριστικοί τοίχοι σε επαφή με μη θερμαινόμενους χώρους	k _{WE}	1,50	1,00	0,70	0,50
Ανοίγματα (παράθυρα, πόρτες μπαλκονιών κα)	k _F	3,20	3,00	2,80	2,60
Γυάλινες προσόψεις κτιρίων μη ανοιγόμενες και μερικώς ανοιγόμενες	k _{GF}	1,80	1,80	1,80	1,80

Πίνακας 5-3: Μέγιστος επιτρεπόμενος Συντελεστής Θερμοπερατότητας δομικών στοιχείων, για τις τέσσερις κλιματικές ζώνες στην Ελλάδα. Πηγή: KENAK

5.9.3. Ηχομόνωση

Ως πυκνό και πορώδες υλικό, η γη χρησιμοποιείται ως ηχομονωτικό υλικό σε εγκαταστάσεις με αυξημένη ένταση ήχου, όπως αίθουσες συναυλιών και στούντιο ηχογράφησης. Επιπλέον, ο ακατέργαστος πηλός έχει εξαιρετικά χαρακτηριστικά ηχητικής αντήχησης. Δεν δημιουργεί σκληρούς απόηχους που είναι χαρακτηριστικό πολλών συμβατικών υλικών τοίχων (Birznies, 2013).



Εικόνα 5-13: Επαγγελματικό στούντιο ηχογράφησης στην Santa Fe, Νέο Μεξικό κατασκευασμένο με τη μέθοδο του συμπιεσμένου πηλού (Πηγή: Birznies, 2013)

5.9.4. Οικονομικά Στοιχεία

Οι Gounni & Louahlia (2020), διενέργησαν θέρμο-οικονομική μελέτη για να συγκρίνουν δύο ίδια κτίσματα, το ένα κατασκευασμένο με τη μέθοδο του στοιβαχτού πηλού και το άλλο με συνήθη οικοδομικά υλικά, ως προς το συνολικό τους κόστος. Στο συνολικό κόστος αφορούσε στο κόστος ενέργειας, στο κόστος του εργατικού δυναμικού και στο κόστος των υλικών. Τα αποτελέσματα που διεξήγαγαν, παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες:

Empty Cell	Persons working	Hours of work/person	Total work time (hours)	Time/m ²	Cost per m ²
Cob	8	4 608	36,864	307.2	3028.9
Conventional	7	1 572	11,004	91.7	904.1

Πίνακας: 5-4 Κόστος εργατικού δυναμικού (Gounni & Louahlia, 2020)

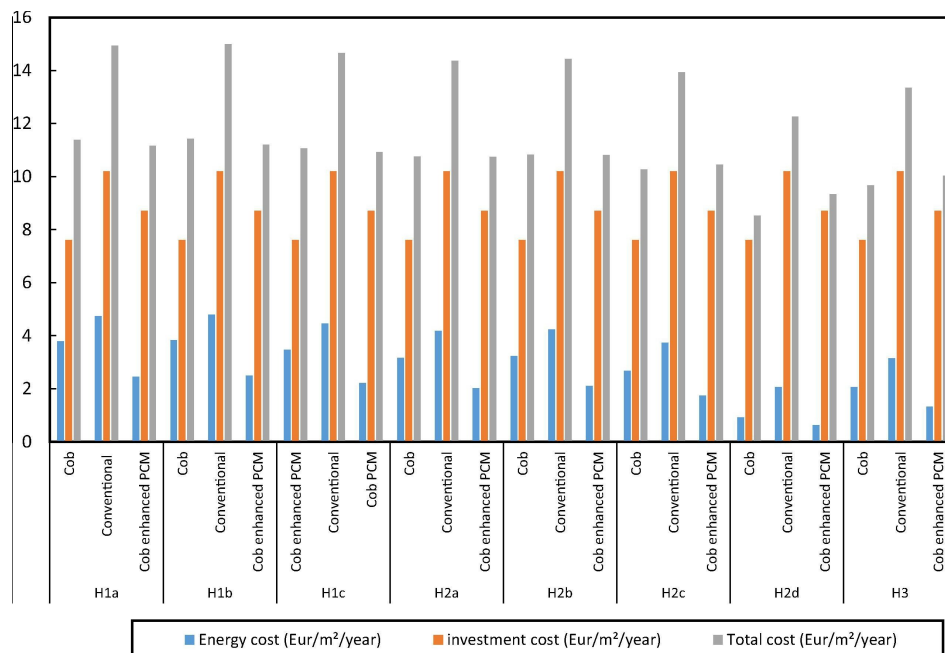
Empty Cell	Sum materials (Eur)	Sum materials (Eur/m ²)
Cob	5 356	44.6
Conventional	14 096	117.5

Πίνακας 5-5 Κόστος υλικών (Gounni & Louahlia, 2020)

Building technique	Cost/m ² (Eur)	Expected lifespan (years)	Cost/m ² per year (Eur)
Cob	3073.6	400	7.6
Conventional	1021.7	100	10.2

Πίνακας 5-6: Κόστος m2 ανά έτος εκτιμώμενης διάρκειας ζωής (Gounni & Louahlia, 2020)

Σύμφωνα με τους παραπάνω πίνακες, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι το κόστος επένδυσης για κατασκευή με τη μέθοδο Cob είναι κατά πολύ υψηλότερο από αυτό της αντίστοιχης συμβατικής κατασκευής κατά περίπου 2052Ευρώ/μ². Ωστόσο κατά τη διαίρεση αυτών των δαπανών στην αναμενόμενη διάρκεια ζωής (σε βάθος χρόνου), το επενδυτικό κόστος του σπιτιού από στοιβαχτό πηλό προκύπτει πολύ χαμηλότερο από το αντίστοιχο του συμβατικού. Αυτό οφείλεται κυρίως στο ότι το ενεργειακό κόστος του σπιτιού από Cob είναι χαμηλότερο από αυτό του συμβατικού, για όλες τις κλιματικές ζώνες, λόγω χαμηλών απαιτήσεων σε φορτία θέρμανσης και ψύξης.



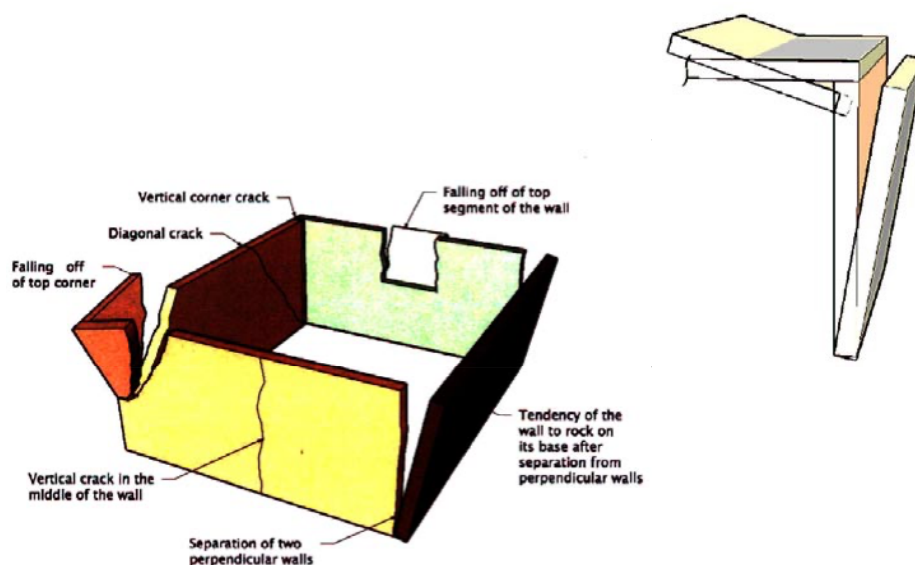
Πίνακας 5-7: Σύγκριση Cob έναντι αντίστοιχης συμβατικής κατασκευής ως προς το συνολικό κόστος για διαφορετικές κλιματικές ζώνες (Gounni & Louahlia, 2020)

5.9.5. Οφέλη στον άνθρωπο

Η ακατέργαστη γη, δεν περιλαμβάνει οργανικές πτητικές ενώσεις, σε αντίθεση με άλλα υλικά, όπως οι χρωματισμοί και τα στεγανωτικά. Οι πτητικές ενώσεις επηρεάζουν αρνητικά την ποιότητα του αέρα στον εσωτερικό χώρο εκθέτοντας σε κίνδυνο την υγεία των χρηστών (Akoni et. al. 2018). Έχει αποδειχθεί επιστημονικά ότι τα χωμάτινα κτήρια, εφόσον γίνει σωστή εφαρμογή κατά την κατασκευή, παρέχουν υγιές περιβάλλον για τον χρήστη. Η ποιότητα του αέρα που παρέχουν οφείλεται κυρίως στην ικανότητα του ακατέργαστου χώματος να ρυθμίζει την υγρασία του χώρου (Mac Gregor et. al. 2016). Μαζί με την υγρασία, όμως απορροφάει και δεσμεύει επιβλαβείς ουσίες, όπως είναι οι χημικές ενώσεις του θείου. Επιπλέον, έχει την ικανότητα να απομακρύνει τους ρύπους, λόγω των ιδιοτήτων των νανοσωματιδίων του αργίλου (Darling et. al. 2012).

5.9.6. Αντοχή, μηχανικές ιδιότητες, σεισμός

Βασικό μειονέκτημα των πηλοκατασκευών είναι η τρωτότητα τους στον σεισμό και τις ανεμοπιέσεις. Σύμφωνα με την Μπέη (2010), ο σεισμός προκαλεί κατακόρυφες ρηγματώσεις στις γωνίες και στα σημεία που ενώνονται οι εγκάρσιοι τοίχοι και διαγώνιες ρηγματώσεις στις τοιχοποιίες, στα υπέρθυρα και γενικά στις γωνίες των ανοιγμάτων (Μπατσούκα, (2016). Πρέπει να σημειωθεί ότι δεν επέρχεται άμεση κατάρρευση του κτίσματος αλλά αυτή προκαλείται μετά από πολλές ταλαντώσεις (Μπέη, 2010).



Εικόνα 5-14 : Βασικές μορφές αστοχίας σε σεισμικές δονήσεις. (Πηγή: Μπέη, 2010)

Η βασική παράμετρος που σχετίζεται με τις μηχανικές ιδιότητες του οικοδομικού υλικού είναι (Miccoli et al., 2019):

1. Η αντοχή του στη συμπίεση, δηλαδή η μέγιστη αξονική δύναμη που μπορεί να έχει το υλικό όταν σε αυτό υποβάλλονται μη αξονικές δυνάμεις
2. Η αντοχή του στην παραμόρφωση και το μέτρο της παραμόρφωσης του.

Είναι δύσκολο να εκτιμηθούν αυτές οι δυνάμεις γιατί εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό στον τύπο της ακατέργαστης γης και στη μέθοδο ελέγχου που ακολουθείται. Βέβαια, σε καμία περίπτωση δεν συγκρίνονται με την αντοχή του σκυροδέματος. Παρόλα αυτά μπορεί να είναι ικανοποιητικές για την κατασκευή ενός διώροφου κτίσματος με πάχος τοίχου 0,50μ. (Tera 2018).

Σύμφωνα με τα στοιχεία που παρουσιάζονται από τον μη κυβερνητικό οργανισμό, Ανέλιξη, όπου συγκρίνονται διάφοροι τύποι φερόντων τοιχοσωμάτων, η θλιπτική αντοχή των ωμόπλινθων είναι λίγο χαμηλότερη από αυτή των οπτόπλινθων, ενώ των συμπίεσμένων ωμόπλινθων είναι ισοδύναμη ή και καλύτερη από τους οπτόπλινθους.

ΘΛΙΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ	
Λιθοσώματα	(N/mm ²)
Κοινοί οπτόπλινθοι	2,00- 5,00
Θερμομπλόκ	3,72
Πωρόλιθοι	5,75
Τσιμεντόλιθοι	5,7
Ασβεστόλιθοι	9,2
Ωμόπλινθοι (παγκόσμια βιβλιογραφία)	1,50 – 3,00
Συμπιεσμένες ωμόπλινθοι	4,00 – 5,00
Κονιάματα	(N/mm ²)
Τσιμεντοκονίαμα	2,00 - 15,00
Πηλοκονίαμα	2,50 – 3,50

Πίνακας 5-8: Θλιπτική αντοχή διαφόρων τύπων τοιχοσωμάτων (Πηγή: symeon, 2020)

Όμως, για την εκτίμηση των σεισμικών επιδόσεων μιας κατασκευής και των δυνάμεων που ασκούνται από την πίεση του ανέμου, μεγάλη σημασία έχει η πρόβλεψη της μη γραμμικής συμπεριφοράς.

Έχουν διεξαχθεί πολλές μελέτες και πειράματα που αναλύουν την διατμητική συμπεριφορά των cob. Τα αποτελέσματα αυτών εξαρτώνται κυρίως από την ποιότητα του χώματος, τη περιεκτικότητα του σε ίνες και τον τύπο των ινών και την υγρασία του δείγματος.

Στην ανάλυση των Miccoli, Lorenzo, Rui A. Silva, Daniel V. Oliveira, and Urs Müller, που διενεργήθηκε τον Απρίλιο του 2019, κατασκευάστηκε δείγμα τοίχου cob αποτελούμενο από 21% πηλό, 61% λάσπη και 18% άμμο (εν μέρη χαλαζιακή) και χαλίκια. Στο δείγμα έγιναν εργαστηριακά τεστ που αφορούσαν στην αξονική πίεση, στην διαγώνιο πίεση και στην έλξη, σε ελεγχόμενο εργαστηριακό περιβάλλον.

Έχουν δημοσιευτεί πολλές μελέτες σχετικά με το πώς και γιατί αλλάζουν οι ιδιότητες του μείγματος με την προσθήκη φυτικών ινών. Στη μελέτη των Bouhicha, M., Aouissi, F., & Kenai, S., 2005 γίνεται ανάλυση των επιδόσεων του σύνθετου χώματος, έχοντας ως δεδομένη τη βέλτιστη αναλογία ινών οπλισμού σε συνάρτηση με την ελαχιστοποίηση της συρρίκνωσης, την ελάττωση του χρόνου σκλήρυνσης και την βελτίωση της αντοχής σε θλίψη.

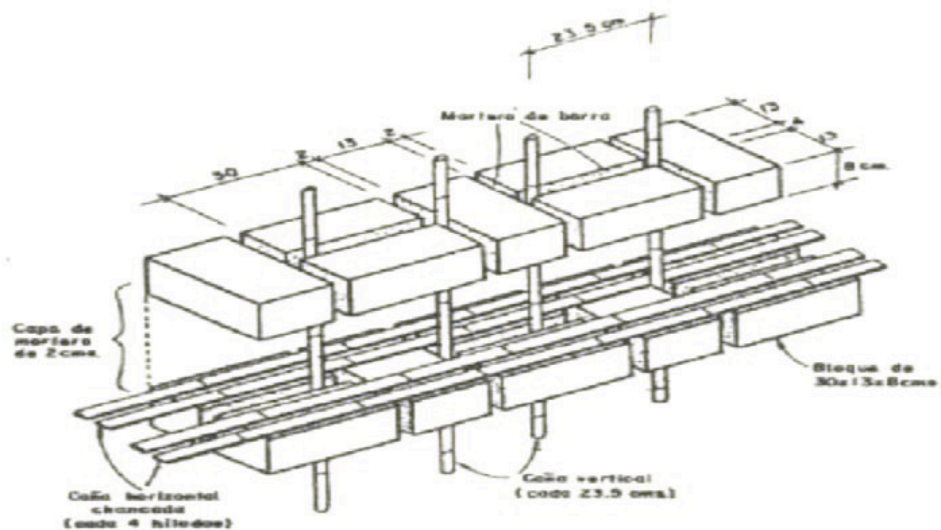


Εικόνα 5-15 : Εργαστηριακό πείραμα στη σεισμική συμπεριφορά δείγματος κατασκευής από στοιβαχτό πηλό (Πηγή: <https://www.buildinggreen.com/blog/earthen-architecture-earthquakes>)

Σύμφωνα με τον Minke (2001), υπάρχουν κάποια βασικά χαρακτηριστικά/ προδιαγραφές που πρέπει να ακολουθούνται στις χωμάτινες κατασκευές (και όχι μόνο) ώστε να επιτυγχάνεται η βέλτιστη συμπεριφορά στο σεισμό:

- Η κατασκευή δεν πρέπει να στέκεται πάνω σε λόφο ή να χτίζεται μέσα στην πλαγιά.
- Το σχήμα της κατασκευής δεν πρέπει να έχει μεγάλο μήκος ούτε το σχέδιό του να έχει σχήμα "L". Το ιδανικότερο σχήμα είναι ο κύκλος και μετά το τετράγωνο.
- Στο τελείωμα των τοίχων (κάτω από τη στέγη) πρέπει να τοποθετείται ένα περιμετρικό δοκάρι το οποίο θα είναι καλά συνδεδεμένο με τους τοίχους και τη στέγη.
- Τα παράθυρα καλύτερα να είναι μακρόστενα και καλύτερα να μην έχουν πρέκι, αλλά το ύψος του να καταλήγει στο περιμετρικό δοκάρι της οροφής.
- Το πάχος του τοίχου ως προς το ύψος του θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 1/8.
- Η στέγη θα πρέπει να είναι ελαφριά και καλά στερεωμένη στο περιμετρικό δοκάρι.

- Το τμήμα του τοίχου που παρεμβάλλεται μεταξύ ανοιγμάτων και μεταξύ ανοιγμάτων και γωνίας, θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 1μ και πάνω από το 1/3 του ύψους των τοίχων.
- Μέγιστο άνοιγμα κουφωμάτων 1μ.
- Οι αρμοί κονιάματος, σε περίπτωση ωμόπλινθων, δεν πρέπει να ξεπερνούν τη 1/2 ίντσα.
- Πρέπει να υπάρχουν δύο εξωτερικές πόρτες που ανοίγουν προς τα έξω σε αντιδιαμετρική θέση μεταξύ τους.



Εικόνα 5-16 : Κατακόρυφος και οριζόντιος οπλισμός από καλάμια (Πηγή: Μπέη, 2010)

Σε μελέτη που διεξήγαγε η Μπέη (2010), πρότεινε την χρήση κατακόρυφου και οριζόντιου οπλισμού στις φέρουσες τοιχοποιίες από ωμό πηλό ως μέθοδο βελτίωσης της συμπεριφοράς τους στον σεισμό.



Εικόνα 5-17 : Κατακόρυφος οπλισμός με καλάμια και θεμελίωση με πέτρες σε τοιχοποιία με την τεχνοτροπία του τσατμά (Πηγή: Προσωπικό αρχείο 2022)

Γενικά, οι μηχανικές ιδιότητες του ακατέργαστου πηλού στην κατασκευή έχουν μελετηθεί κυρίως εργαστηριακά και όχι διεξοδικά, ώστε να υπάρχουν ικανοποιητικά δεδομένα για την εφαρμογή του στην κατασκευή. Δεν έχουν «θεσμοθετηθεί» κάποια Standard, γι' αυτό και η σωστή εφαρμογή του εναπόκειται κυρίως στην εμπειρία του μηχανικού (Mužíková et al., 2018).

5.9.7. Πυραντίσταση

Ο ακατέργαστος πηλός παρόλο που περιέχει και μικρές ποσότητες άχυρου, είναι άκαυστος (Minke, 2012).

5.9.8. Ραδιενέργεια

Η ραδιενεργή ακτινοβολία του αργιλοχώματος στον εσωτερικό χώρο, είναι παρόμοια με των περισσότερων υλικών κατασκευής.

Από μετρήσεις που έχουν διεξαχθεί, σχετικά με την ακτινοβολία των ακτινών βήτα και γάμμα, προκύπτει ότι ο πηλός δεν έχει, κατά μέσο όρο, υψηλότερες τιμές από το σκυρόδεμα ή τα ψημένα τούβλα. Αντίθετα, ορισμένα τούβλα, που δοκιμάστηκαν σε αυτές τις μετρήσεις, εμφάνισαν πολύ περισσότερη ακτινοβολία, πιθανώς προκαλούμενη από πρόσθετα όπως ιπτάμενη τέφρα ή σκωρία υψικαμίνου. Πολύ πιο σημαντικές από τις ακτίνες βήτα και γάμμα είναι οι ακτίνες άλφα που εκπέμπονται από το ραδιενεργό αέριο ραδόνιο και τα βραχύβια προϊόντα διάσπασής του. Οι «μαλακές» ακτίνες δεν μπορούν να διεισδύσουν στο ανθρώπινο σώμα καθώς απορροφώνται από το δέρμα, αλλά μπορούν να εισπνευστούν με την αναπνοή και, ως εκ τούτου, μπορεί να προκαλέσουν καρκίνο του πνεύμονα. Ο παρακάτω πίνακας δείχνει τον ρυθμό εκπονής του ραδονίου που δίνεται

από τον ΟΟΣΑ (1979) για τη Γερμανία, μετρημένο σε m μπεκερέλ/kg h.

Φυσικός γύψος	25,2
Τσιμέντο	57,6
Άμμος	54,0
Τούβλα από ψημένο πηλό	5,0
Τούβλα από ασβέστη & άμμο	13,3
Πορώδες σκυρόδεμα	18,0

Πίνακας 5-9: Ρυθμός εκπονής ραδονίου (Πηγή: Minke, 2012)

Από τα παραπάνω στοιχεία, φαίνεται ότι τα τούβλα από πηλό εκκρίνουν πολύ λίγο ραδόνιο.

5.9.9. Ηλεκτρομαγνητικά κύματα

Ο πηλός απωθεί σε μεγάλο βαθμό την υψηλών συχνοτήτων ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, η οποία εκπέμπεται από τις κεραίες της κινητής τηλεφωνίας.

Από μελέτες που έγιναν στο Πανεπιστήμιο των Ομοσπονδιακών ένοπλων δυνάμεων στο Μόναχο, στην περιοχή των συχνοτήτων των 2 gigahertz, στην οποία λειτουργούν τα περισσότερα κινητά τηλέφωνα, ένας τοίχος από λάσπη πάχους 24 cm μειώνει την ακτινοβολία κατά 24 dB (ντεσιμπέλ), ενώ ένας ίσου πάχους τοίχος από ασβεστόλιθο απορροφά μόνο 7 dB

και μια συμβατική στέγη, επικαλυμμένη με κεραμίδι, δεν ξεπερνά τα 3 dB. Εάν, μάλιστα, επικαλύπτεται από φύτευση, μπορεί να φτάσει και τα 49 dB (Minke, 2012).

5.9.10. Βιωσιμότητα

Από τη φύση τους τα υλικά από ακατέργαστη γη είναι ολιστικά. Καθ' όλη τη διάρκεια της χρήσης τους, δεν αλλοιώνονται και βρίσκονται σε αρμονία με τον φυσικό κύκλο ζωής.

Το αργιλόχωμα βρίσκεται σε αφθονία στη φύση, επομένως θεωρητικά είναι ανεξάντλητο. Για την επεξεργασία του αργιλοχώματος, τη μείξη του με τα άλλα υλικά και τελικά την κατασκευή κτισμάτων από ακατέργαστο πηλό, δεν απαιτείται η χρήση μηχανικών μέσων ή θερμικής ενέργειας. Επιπρόσθετα, υπάρχει μεγάλη πιθανότητα ο πρώτες ύλες να είναι τοπικά διαθέσιμες, οπότε να μην καταναλώνεται ενέργεια ούτε για τη μεταφορά των υλικών. Αρά να ελαχιστοποιείται και η επιβάρυνση του περιβάλλοντος από επιβλαβή αέρια λόγω των μεταφορών. Συνεπώς, η ενσωματωμένη ενέργεια ενός τοίχου κατασκευασμένου από ακατέργαστο πηλό, είναι πολύ μικρότερη από αυτή της οπτοπλινθοδομής ή του σκυροδέματος (Birznies, 2013).

Επίσης, οι χωμάτινες κατασκευές λόγω της θερμοχωρητικότητας τους και της υγρασίας που μπορούν να απορροφήσουν, ρυθμίζουν το εσωτερικό περιβάλλον των χώρων σε επιθυμητά επίπεδα, με συνέπεια να απαιτείται η ελάχιστη δυνατή κατανάλωση τεχνητής ενέργειας για την θέρμανση ή ψύξη του χώρου. Τα χωμάτινα σπίτια είναι ζεστά τον χειμώνα και δροσερά τους ζεστούς μήνες του καλοκαιριού. Αντέχουν σε μεγάλο εύρος κλιματολογικών συνθηκών και γι' αυτό απαντώνται σε διάφορα γεωγραφικά πλάτη και μήκη του κόσμου.

Τα χωμάτινα κτήρια όταν εγκαταλειφθούν ή δεν είναι πλέον χρήσιμα, θα αποσυντεθούν και ενσωματωθούν με το περιβάλλον τους. Όλα τα προϊόντα της γης, τα οποία δεν έχουν υποστεί ιδιαίτερη επεξεργασία, όπως ψήσιμο ή χημική επεξεργασία, μπορούν να ανακτήσουν την αρχική φυσική τους κατάσταση και να επιστραφούν στη γη χωρίς καμία άλλη ενέργεια. Επομένως, μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν και να ανακυκλωθούν όσες φορές χρειαστεί, καταστρώνοντας τα απόλυτα συμβατά με τις αρχές της κυκλικής οικονομίας.

Συνεπώς, το υλικό πληρεί τους κανόνες για την αειφόρο ανάπτυξη:

- Δεν υπάρχουν ενδιάμεσα προϊόντα. Χρησιμοποιείται απευθείας το τελικό προϊόν.
- Ρυθμίζει το εσωτερικό περιβάλλον

- Είναι 100% ανακυκλώσιμο.
- Βρίσκεται τοπικά.

5.10. Μειονεκτήματα

Η χωμάτινες κατασκευές έχουν πολλά πλεονεκτήματα, όμως υπάρχουν κάποιες παράμετροι που θα πρέπει να προσέξει κανείς κατά τη μελέτη και κατασκευή ώστε να αποφευχθούν κακοτεχνίες και προβλήματα.

α. Η σύνθεση του χώματος και η ποιότητα του πηλού διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή. Επομένως, δεν γνωρίζουμε τις εκάστοτε ιδιότητες του, ώστε να επιτύχουμε το βέλτιστο μείγμα στην κατασκευή. Για αυτό πρέπει να γίνεται έλεγχος της σύστασης και δοκιμές των ιδιοτήτων του πριν την κατασκευή.

β. Το μείγμα συρρικνώνεται όταν στεγνώσει, με συνέπεια να δημιουργούνται ρωγμές. Από τις ρωγμές μπορεί να εισέρθει νερό στους πόρους του αργιλικού μείγματος και να προκαλέσει τη σταδιακή διάβρωση του, μείωση της αντοχής του και την ανάπτυξη εντόμων (Deboucha & Hashim, 2011). Το μέγεθος της συρρίκνωσης εξαρτάται από την ποσότητα της υγρασίας του μείγματος κατά την κατασκευή.



Εικόνα 5-18: Ανάπτυξη εντόμων σε τοίχο από ακατέργαστο πηλό

(Πηγή: <http://www.earthstructures.co.uk/retro.htm>)

γ. Έχει ευαισθησία στο νερό. Όπως προαναφέρθηκε η εισροή νερού στους πόρους του μπορεί να επιφέρει διάβρωση. Για αυτό πρέπει να ληφθούν κάποια μέτρα κατά τη μελέτη και κατασκευή, δηλαδή: Θα πρέπει να κατασκευαστούν ισχυρά θεμέλια, των οποίων η στέγη να προεξέχει από το διαμορφωμένο έδαφος ικανή απόσταση, ώστε να αποτρέπεται η άνοδος της υγρασίας στου χωμάτινους τοίχους. Επιπλέον, θα πρέπει η στέγη να προεξέχει των τοίχων, ώστε να τους παρέχει προστασία από τη βροχή.

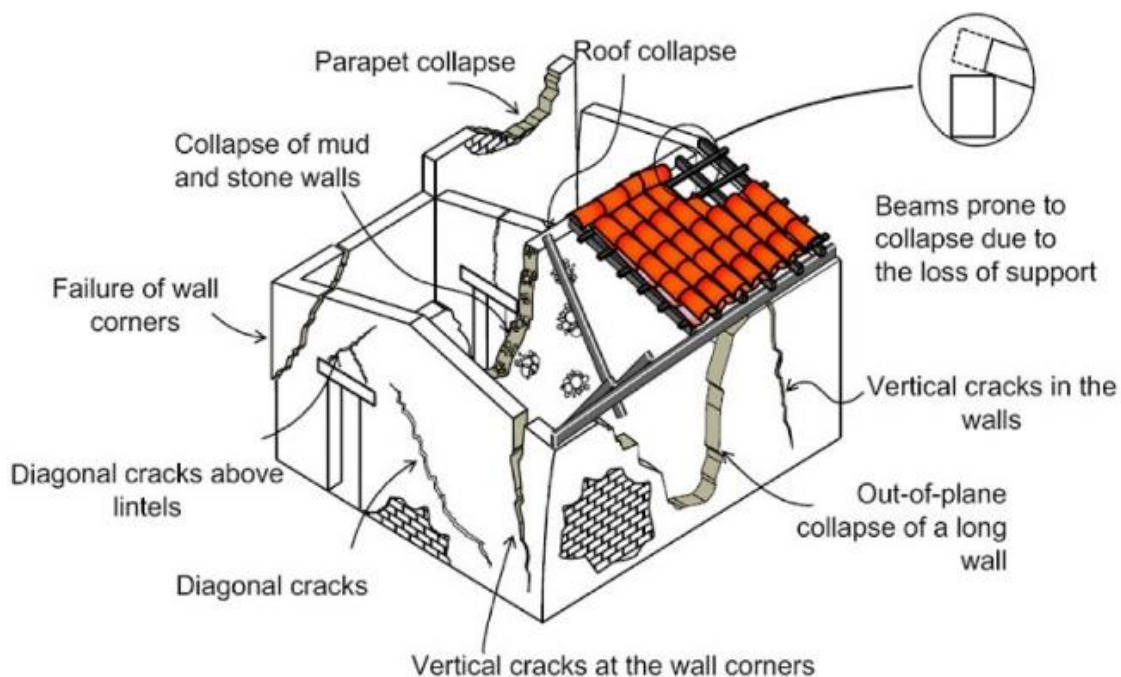
δ. Από τη γρήγορη ξήρανση των χωμάτινων στοιχείων προκαλούνται ρωγμές. Ιδανική περίοδος κατασκευής είναι πριν τον Νοέμβρη (που πιάνουν οι βροχές) και μετά τον Αύγουστο (που κάνει πολύ ζέστη), ώστε να επιτευχθεί σωστή και αργή ξήρανση και κατά συνέπεια μείωση των ρωγμών.

ε. Απαιτείται επιμελής συντήρηση. Δεν χρειάζεται πιο συχνή συντήρηση από τις κοινές κατασκευές, όμως αν αυτή αμεληθεί ή δεν γίνει σωστά, μπορεί να αποβεί αρκετά επιβλαβής για την κατασκευή.

ζ. Η αντοχή του στον σεισμό. Οι μελέτες που έχουν γίνει είναι κυρίως σε εργαστηριακό περιβάλλον και εξαρτώνται από τον τύπο του πηλού και τη σύσταση του μείγματος. Παρόλα αυτά και εφόσον μελετηθεί και κατασκευαστεί σωστά, ένα δώροφο κτίσμα με πάχος τοίχου 0,50μ έχει ικανοποιητική αντοχή στο σεισμό (Tera 2018).

ε. Δεν έχουν θεσπιστεί οι κατάλληλες προδιαγραφές και κανονισμοί δόμησης του.

Πάντως, η τρωτότητα του πηλού στο νερό και οι ρωγμές μπορούν να μειωθούν σημαντικά σταθεροποιώντας το χώμα με φυσικά και χημικά πρόσμικτα.



Εικόνα 5-19 : Τυπική Παθολογία κτιρίων από φέρουσες ομοπλινθοδομές (Πηγή: Μπατσούκα, 2016)

5.11. Τεχνικές βελτίωσης με πρόσμικτα

Για τη σταθεροποίηση του μείγματος δόμησης από ακατέργαστη γη, υπάρχουν κάποια πρόσμικτα που μπορούν να προστεθούν, όπως άμμος, ασβέστης, τσιμέντο, ίνες, ιπτάμενη τέφρα, υδραυλικές κονίες κ.α. Ο όρος σταθεροποίηση αφορά στη βελτίωση των ιδιοτήτων-συμπεριφοράς του τελικού προϊόντος στην κατασκευή. Τα δύο βασικά χαρακτηριστικά που πρέπει να αντιμετωπιστούν είναι:

- οι μηχανικές ιδιότητές του και ειδικά η μη γραμμική συμπεριφορά του σε περίπτωση σεισμού
- η αντοχή του στο νερό, δηλαδή η μείωση της συρρίκνωσης του κατά την ξήρανση και η βελτίωση της αδιαβροχοποίησης του όταν έρθει σε επαφή με το νερό, καθώς το νερό προκαλεί διάβρωση του μείγματος και κατά συνέπεια μείωση της αντοχής του.

Τα πρόσμικτα που θα χρησιμοποιηθούν πρέπει να είναι συμβατά με το μείγμα και να επιτρέπουν τη διαπνοή του. Η σύνθεση και αναλογία τους πρέπει να μελετηθεί με προσοχή ώστε να μην λειτουργήσουν εις βάρος του αρχικού κονιάματος και αντί για βελτίωση, επιφέρουν περεταίρω αποσταθεροποίηση.

Για την βελτίωση της μηχανικής συμπεριφοράς προτιμάται η προσθήκη υδραυλικών κονιών, όπως η υδραυλική άσβεστος, το τσιμέντο, η θηραϊκή γη, υδρόφοβα πρόσμικτα κ.α.

Για την εφελκυστική αντοχή (που προκαλείται από την συστολή του υλικού και τις εξωτερικές ωθήσεις) προστίθενται στο μείγμα φυτικές, ζωικές ή συνθετικές ίνες όπως άχυρα, ίνες ινδικής καρύδας, τρίχες ζώων, ίνες πολυπροπυλαινίου κ.α. Βασικός παράγοντας επιλογής των ινών είναι η αντοχή τους σε διαβρωτικούς παράγοντες και οι ιδιότητες τους σε υγρές και ξηρές συνθήκες (Μπέη, 2004).

Με την συμύκνωση του δομικού ακατέργαστου πηλού, αποβάλλεται ο αέρας που περιέχεται ανάμεσα στα συστατικά του και επιτυγχάνεται "τακτοποίηση" των αδρανών υλικών (κόκκοι), ελάττωση των σχετικών μετακινήσεων και μείωση της διαπερατότητας του. Η συμύκνωση, λοιπόν, επιφέρει βελτίωση των χαρακτηριστικών του (Μπέη, 2004).

Άλλη πρακτική, η οποία εφαρμόζονταν τα παλαιά χρόνια και είχε ως στόχο την ελάττωση των τριχοειδών ρωγμών, τη μείωση ανάγκης για συντήρηση και την αύξηση της διάρκειας ζωής των φυσικών κατασκευών από πηλό, είχε να κάνει με την ενσωμάτωση φυσικών πρόσθετων στο νερό του κονιάματος, όπως έλαια, κερί και ζωικά λίπη. Το πιο σύνηθες στη χρήση ήταν το λινέλαιο, το οποίο είναι υδροφοβικό, μειώνει τους πόρους και προστατεύει από τα άλατα. Άλλα υλικά που χρησιμοποιούνταν στο παρελθόν και βελτίωναν την υδατοαπόθεση και την αντοχή του κονιάματος, ήταν το ασπράδι αυγού, η κοπριά, το αίμα ζώου, η καζείνη κ.α. Ειδικά το αίμα είχε παρατηρηθεί ότι έκανε το μείγμα πιο ανθεκτικό (Παπαδοπούλου, 2021).

Επιπλέον απαραίτητη είναι η χρήση επιχρισμάτων στις εξωτερικές όψεις, τα οποία θα είναι υδατοαπωθητικά και υδρατμοδιαπερατά (Παπαδοπούλου, 2021). Σύμφωνα με μελέτη της

Πιτυτζόγια (2014) σε φυσικά, όμως τροποποιημένα, επιχρίσματα με βάση τον πηλό, η τριχοειδής απορρόφηση μειώθηκε κατά 65%. Επιπλέον, παρατήρησε ότι η μηχανική πίεση στην εφαρμογή αυτών των επιχρισμάτων βελτίωσε την στεγανότητα της επιφάνειας και τη συνοχή του επιχρίσματος. Το κόστος των επιχρισμάτων που χρησιμοποίησε ήταν σχετικά χαμηλό, περίπου 0,85 €/μ².

Η βελτίωση της συμπεριφοράς των κατασκευών από ωμό πηλό, επιτυγχάνεται και με τον σωστό σχεδιασμό, ο οποίος αναλύθηκε στο κεφάλαιο "5.9.6 Αντοχή, μηχανικές ιδιότητες, σεισμός", στο οποίο δίνονται κάποιες βασικές αρχές σχεδιασμού.



Εικόνα 5-20 : The Great Mosque, στο Djenné, Μαλί
Επισκευή εξωτερικών τοίχων από ωμόπλινθους με μείγμα λάσπης, φλοιού ρυζιού και άχυρο (Πηγή: Πιτυτζόγια, 2014 & <http://www.naturalhomes.org/great-mosque-djenne.htm>)

5.12. Νομοθεσία

Οι διαφορετικές ιδιότητες της αργίλου, καταστούν δύσκολη την τυποποίηση των κονιαμάτων και των τεχνικών δόμησης της. Επιπλέον, η ζήτηση για κατασκευές από ακατέργαστο πηλό είναι πολύ περιορισμένη στην χώρα μας. Έτσι, δεν έχει παραστεί ουσιαστική ανάγκη για τη θέσπιση κανόνων δόμησης του. Η μόνη αναφορά στην Ελληνική νομοθεσία βρίσκεται στο Νέο Οικοδομικό Κανονισμό (ΝΟΚ), και αφορά στην αύξηση της επιτρεπόμενης κάλυψης και δόμησης, κατά όση επιφάνεια καταλαμβάνει ο τοίχος από φυσικά υλικά, εφόσον το πάχος του είναι μεγαλύτερο από 0,50μ. Δεν υπάρχουν θεσμοθετημένοι κανόνες σχεδιασμού, που να σχετίζονται με την ποιότητα και σύσταση του χώματος, την τεχνοτροπία κατασκευής, τις ιδιαίτερες συνθήκες που επικρατούν κατά τη κατασκευή, την αντοχή, τη συνοχή, την επιμέλεια, τη συντήρηση και πολλές άλλες ιδιαιτερότητες που πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν, ώστε να αποτελέσει ένα ασφαλές και υγιές οικοδομικό υλικό.

Υπάρχουν πολλές διεθνείς μελέτες και βιβλιογραφικές αναφορές πάνω στη διακύμανση στις ιδιότητες του μείγματος από ακατέργαστο πηλό, στα πρόσμικτα και στις τεχνικές βελτίωσης του. Οι μελέτες, οι έρευνες και τα πειράματα, αφορούν σε διαφορετικούς τύπους πηλού, σε διαφορετική σύσταση μείγματος, διαφορετικές κλιματικές συνθήκες και διαφορετικούς τρόπους και συνθήκες κατασκευής. Είναι δύσκολο, λοιπόν, να διεξαχθούν ασφαλή και ακριβή συμπεράσματα που θα αποτελέσουν βάση για βελτίωση των κατασκευών στο σύνολο τους. Ωστόσο, από τις βιβλιογραφικές αναφορές, φαίνεται ότι μπορούν να βρεθούν μέσες τιμές για όλες τις παραμέτρους, που προσεγγίζουν τις ιδιότητες του τελικού προϊόντος. Σύμφωνα με την έρευνα του Quinn M. Pullen το 2009, η μεταβλητότητα δεν είναι τόσο μεγάλη ώστε να μην μπορεί να ξεπεραστεί αν τεθούν αυξημένοι παράγοντες ασφάλειας και γίνει συντηρητικός σχεδιασμός.

Σε κάποιες χώρες όπως είναι η Νέα Ζηλανδία, το Περού και η Ισπανία, έχει ήδη ενταχθεί στη νομοθεσία τους η δόμηση με ακατέργαστο πηλό. Μάλιστα, οι δύο πρώτες είναι ιδιαίτερα σεισμογενείς. Παρόλη τη σεισμογένεια της Νέας Ζηλανδίας, το 1% του κτηριακού αποθέματος της είναι κατασκευασμένο είτε μερικώς, είτε εξολοκλήρου από ακατέργαστο πηλό.

Στη μελέτη του πάνω στο νομοθετικό πλαίσιο αυτών των χωρών, ο Καραβούτας (2012), διέκρινε ότι υπάρχουν μεγάλες διαφορές ως προς τις τεχνικές που εξετάζονται, τον αριθμό των δοκιμών που απαιτούνται και τη νομική τους ισχύ. Ειδικά ως προς τη Νέα Ζηλανδία, παρατηρεί ότι υπάρχουν τρεις κανονισμοί, που αφορούν σε διαφορετικές τεχνοτροπίες δόμησης και θέτουν δύο επίπεδα ασφαλείας.

Σε αντίθεση με τις παραπάνω χώρες, στην Ελλάδα δεν έχει θεσπιστεί κανονιστικό πλαίσιο, ούτε έχει υιοθετηθεί και ενσωματωθεί κάποιο από αυτά που ισχύουν σε άλλες χώρες, παρόλο που οι ωμόπλινθοι αποτελούν μέρος της αρχιτεκτονικής μας κληρονομιάς και υπάρχει ανάγκη αποκατάστασης τους. Επιπλέον, υπάρχουν και πολύ λίγες σύγχρονες κατασκευές στις οποίες ο πηλός κυρίως ενσωματώνεται στον οργανισμό πλήρωσης. Είναι λογικό ο αριθμός των κατασκευών να είναι περιορισμένος, όταν δεν υπάρχουν κανόνες για την ορθή δόμηση τους.

Η Μπέη (2010) υποστηρίζει ότι σύμφωνα με πρόσφατες έρευνες, οι κατασκευές από ακατέργαστο πηλό, θα μπορούσαν να ακολουθήσουν τους σύγχρονους κανόνες δόμησης.

Guideline	Type	Features	Legal Status	Structural	Other tests	Seismic risk in the area
Peru	Adobe	Construction guidelines, soil selection	Part of the building code	Masonry's compressive and shear strength	-	High
Spain	CEB	Geometrical description	Standard	Masonry unit's compressive strength	Humectation and freezing cycles, erosion water absorption	Medium
New Zealand	Adobe Presses brick Rammed earth	Soil selection, construction guidelines	Set of standards	Ultimate limit state seismic out-of-plane resistance of masonry	-	High
Brazil	Cement-stabilized CEB, rammed earth (non load-bearing)	Geometrical description soil selection, construction guidelines	Set of standards	Masonry unit's compressive strength	Water absorption	Low
New Mexico (USA)	All types	definition of each type, construction guidelines	Regional standard	Compressive strength	-	Low

Πίνακας 5-10 : Σύγκριση κανονισμών που αφορούν στη δόμηση με ακατέργαστο πηλό σε πέντε χώρες. Οι διαφορές εντοπίζονται στις χρησιμοποιούμενες τεχνικές, στη νομική ισχύ και στις δοκιμές [Πηγή: Καταβούτας, 2012]

ΜΕΡΟΣ Γ

6. ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ

Η ανάπτυξη πράσινων τεχνολογιών και υλικών δόμησης είναι ένα σημαντικό μέτρο για τη μείωση των εκπομπών άνθρακα που οφείλονται στον κατασκευαστικό τομέα.

Στα πλαίσια αναζήτησης εναλλακτικών υλικών και τεχνοτροπιών στην κατασκευή, με γνώμονα την βιώσιμη ανάπτυξη, αναπτύχθηκε ένα ερωτηματολόγιο μέσω της πλατφόρμας που παρέχεται από το Google Drive. Στόχος του ερωτηματολογίου είναι η παροχή πληροφοριών σχετικά με τη διάθεση, τις ανησυχίες και τις σκέψεις των ερωτηθέντων να κατοικήσουν σε ένα χώρο κατασκευασμένο από ακατέργαστο πηλό. Επιπρόσθετα, οι συμμετέχοντες κλήθηκαν να απαντήσουν σχετικά με τις περιβαλλοντικές τους ευαισθησίες, το κατά πόσο είναι ενήμεροι για τις αρνητικές επιπτώσεις του κατασκευαστικού κλάδου στο περιβάλλον και αν γνωρίζουν τις ευεργετικές επιδράσεις των φυσικών υλικών στην υγεία των χρηστών του δομημένου χώρου. Το ερωτηματολόγιο είναι μικρό σε έκταση, ωστόσο έχει χωριστεί σε πέντε ενότητες.

Στην πρώτη ενότητα συλλέγονται δημογραφικά στοιχεία των ερωτηθέντων, όπως ηλικία και επίπεδο εκπαίδευσης. Στη δεύτερη, διερευνάται η άποψη τους σχετικά με την υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Στόχος αυτής της ενότητας είναι να εντοπίσουμε το ποσοστό των συμμετεχόντων που είναι περιβαλλοντικά ευαισθητοποιημένοι. Στην τρίτη ενότητα εξετάζεται η επίγνωση των ερωτηθέντων σχετικά με την επιρροή της κατασκευής στο ανθρωπογενές περιβάλλον. Οι περισσότεροι άνθρωποι γνωρίζουν για την επίδραση της βιομηχανίας ή των μεταφορών. Πόσοι όμως συσχετίζουν την περιβαλλοντική υποβάθμιση και την εξάντληση των φυσικών πόρων με τα υλικά των οικοδομών; Στο τέταρτο μέρος, οι ερωτήσεις αφορούν στη γενικότερη δόμηση με φυσικά υλικά και τη πρόθεση των ερωτηθέντων να κατοικήσουν σε τέτοιους χώρους. Τέλος, στο τελευταίο μέρος του ερωτηματολογίου, οι ερωτήσεις έχουν στοιχειοθετηθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να γίνει παράλληλα ενημέρωση των συμμετεχόντων

σχετικά με τις ευεργετικές ιδιότητες του ακατέργαστου πηλού στο δομημένο περιβάλλον και τους δίνεται η δυνατότητα να εκφράσουν τις ανησυχίες τους.

Παρακάτω επιχειρείται να γίνει ποσοτική και ποιοτική ανάλυση των δειγματοληπτικών στοιχείων που συλλέχθηκαν από το ερωτηματολόγιο. Με την ποσοτική ανάλυση, θα εκτιμηθεί το ποσοστό του πληθυσμού που:

- είναι ευαισθητοποιημένο ως προς την καταστροφή του περιβάλλοντος
- είναι ενήμερο για την επίδραση του κατασκευαστικού κλάδου στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος,
- ενδιαφέρεται για εναλλακτικούς τρόπους δόμησης
- γνωρίζει για τη δόμηση με πηλό.

Με την ποιοτική ανάλυση θα γίνει προσπάθεια να ερμηνευτούν οι απαντήσεις.

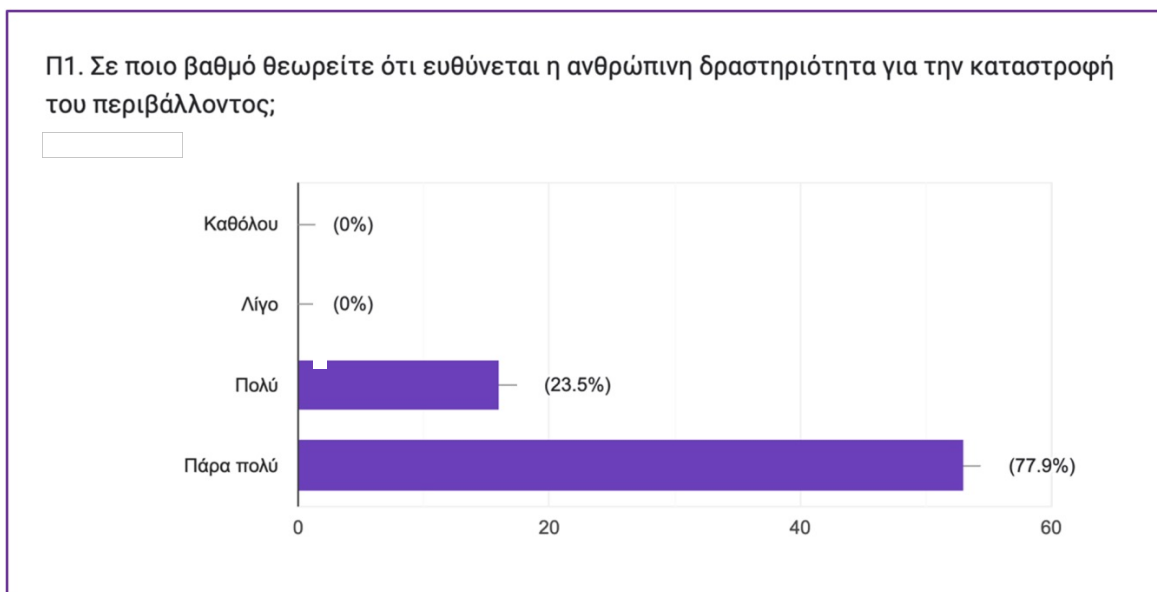
Για τη διευκόλυνση των ερωτηθέντων επιλέχθηκαν προκαθορισμένες απαντήσεις από τις οποίες επιτρέπονταν η επιλογή μόνο μίας. Οι περισσότερες από αυτές ήταν κλιμακωτού χαρακτήρα (καθόλου, λίγο, πολύ, πάρα πολύ). Σε κάποιες ερωτήσεις δόθηκε η δυνατότητα να εκφράσουν οι συμμετέχοντες την προσωπική τους άποψη (other). Επιπλέον, ο τρόπος ανάπτυξης τους ήταν επίσης κλιμακωτός. Το ερωτηματολόγιο ξεκινάει με γενικού τύπου προβληματισμούς, που αφορούν στο περιβάλλον, έπειτα επικεντρώνεται στον κατασκευαστικό τομέα. Στη συνέχεια εστιάζει στη δόμηση με φυσικά υλικά και τέλος καταλήγει στη δόμηση με ακατέργαστο πηλό.

6.1.Δημογραφικά στοιχεία

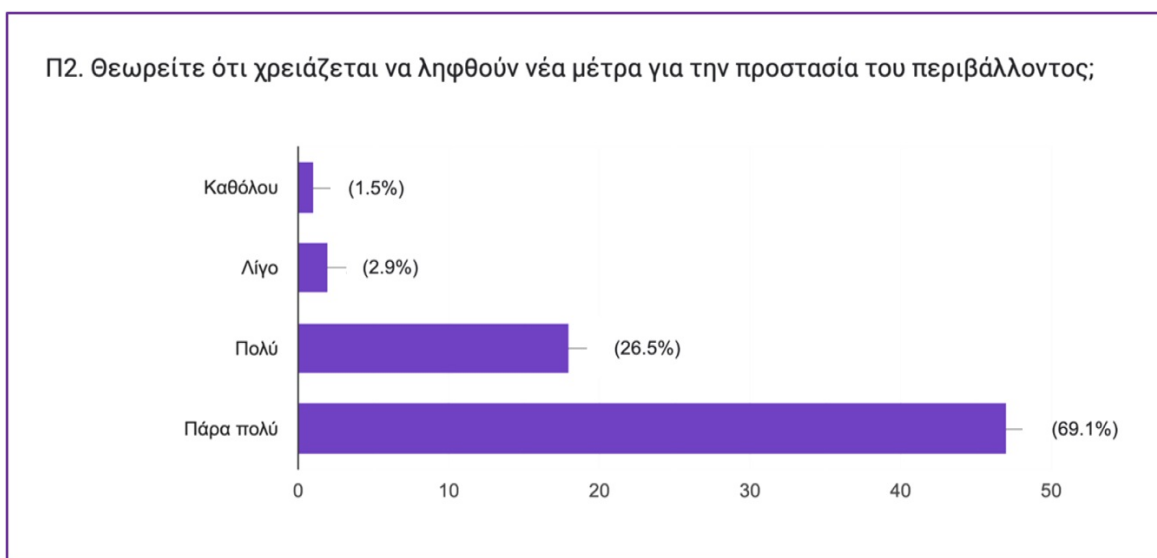
Στην έρευνα συμμετείχαν 96 άτομα. Από αυτά τα το 67% ήταν γυναίκες και το 33% άντρες. Η απόκριση των γυναικών, λοιπόν, ήταν διπλάσια από αυτή των αντρών. Το 56% των ερωτηθέντων ανήκε στην ηλικιακή ομάδα 31-49, το 33% ήταν μεγαλύτερο και μόλις το 11% κάτω των 30. Η συντριπτική πλειοψηφία των ερωτηθέντων έχουν τελειώσει το πανεπιστήμιο. Από αυτούς το 35% κατέχει μεταπτυχιακό τίτλο και το 12% διδακτορικό. Τέλος, το 95% των ερωτηθέντων κατοικεί σε πόλη. Συμπερασματικά, τα στοιχεία της έρευνας βασίστηκαν κυρίως σε άτομα πανεπιστημιακής εκπαίδευσης που κατοικούν σε πόλεις.

6.2.Περιβάλλον

Η δεύτερη ομάδα ερωτήσεων αφορούσε στο περιβάλλον και ειδικότερα στην καταστροφή του. Στη συγκεκριμένη ομάδα ερωτήσεων επιτράπηκε να δοθούν πολλές απαντήσεις.

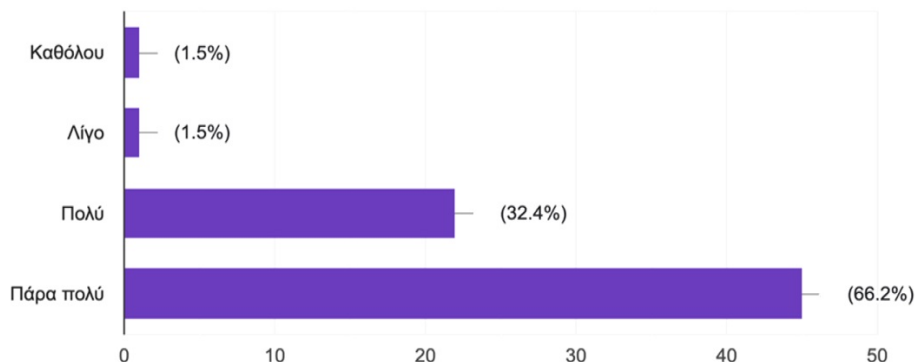


Το 78% των ερωτηθέντων πιστεύουν ότι ο άνθρωπος ευθύνεται σε μεγάλο βαθμό για την καταστροφή του περιβάλλοντος. Υπάρχει, όμως, και ένα μικρό ποσοστό (22%) το οποίο θεωρεί ότι η ανθρώπινη δραστηριότητα δεν είναι η μόνη αίτια.



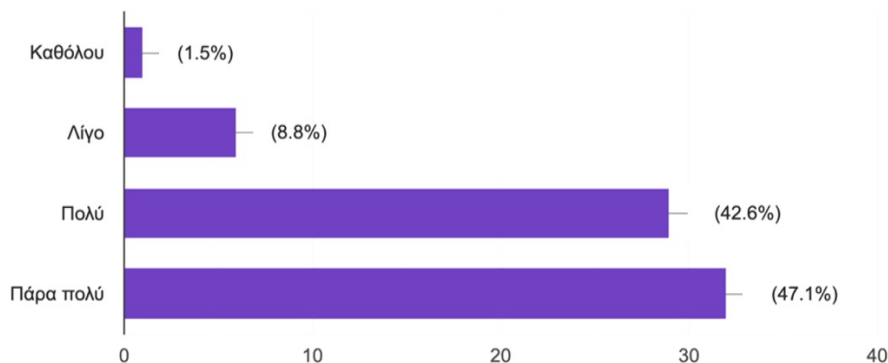
Η συντριπτική πλειοψηφία (94%) εκφράζουν την ανησυχία τους για το περιβάλλον και εκτιμούν ότι πρέπει να ληφθούν μέτρα για την προστασία του.

Π3. Πιστεύετε ότι γίνεται σπατάλη των διαθέσιμων φυσικών πόρων;



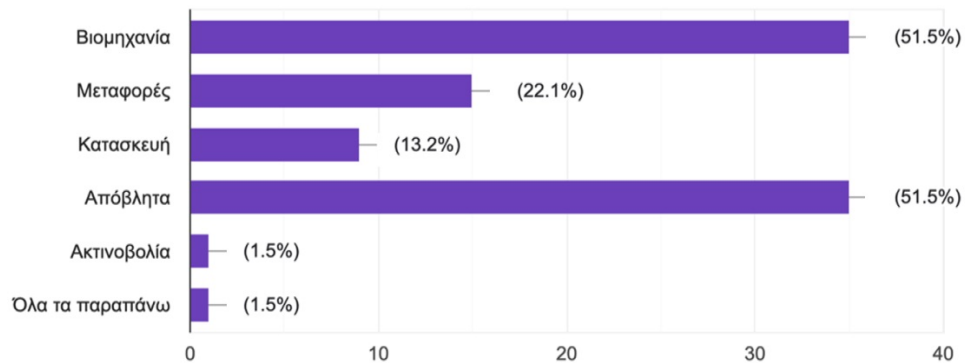
Ως προς την κατανάλωση των φυσικών πόρων, οι περισσότεροι (66%) υποστηρίζουν ότι γίνεται αλόγιστη σπατάλη. Το 32% αναγνωρίζει την ύπαρξη υπερκατανάλωσης αλλά δεν την θεωρεί και τόσο υπερβολική και μόλις το 2% πιστεύει ότι δεν γίνεται ουσιαστική σπατάλη.

Π4. Πιστεύετε ότι σχετίζεται η υποβάθμιση του περιβάλλοντος με την κλιματική αλλαγή;



Όπως φαίνεται από το παραπάνω γράφημα, το 88% υποστηρίζει ότι η υποβάθμιση του περιβάλλοντος ευθύνεται άμεσα για την κλιματική αλλαγή. Η αναγνώριση της ευθύνης είναι ένα πρώτο βήμα προς τη σωστή κατεύθυνση. Το 12% θεωρούν ότι η καταστρατήγηση του πλανήτη δεν είναι αποκλειστικά υπεύθυνη για την αλλαγή του κλίματος και επιρρίπτουν τις ευθύνες σε άλλους παράγοντες.

Π5. Ποια θεωρείτε ότι είναι η κυριότερη πηγή επιβάρυνσης του περιβάλλοντος

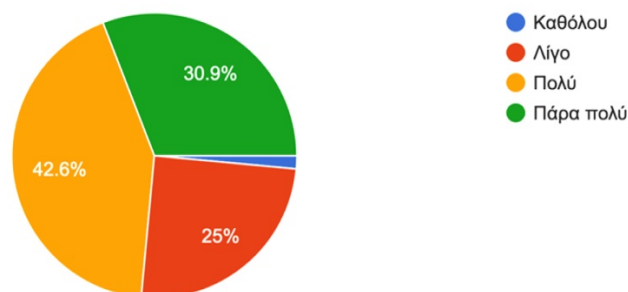


Ως κυριότερες πηγές περιβαλλοντικής υποτίμησης οι περισσότεροι αναγνωρίζουν τον βιομηχανικό κλάδο εξίσου με τα απόβλητα. Λιγότερη επιβάρυνση, εκτιμούν, ότι φέρουν οι μεταφορές και ακόμα λιγότερη οι κατασκευές. Η επίδραση της κατασκευής έχει υποτιμηθεί από τους ερωτηθέντες, καθώς σύμφωνα με τον Dixon (2010) το 23% της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, το 50% της παραγωγής αερίων του θερμοκηπίου, το 40% της ρύπανσης των υδάτων και το 40% των στερεών αποβλήτων στις πόλεις είναι περιβαλλοντικά προβλήματα που προκαλούνται από τα κτίρια.

6.3.Κατασκευαστικός Τομέας

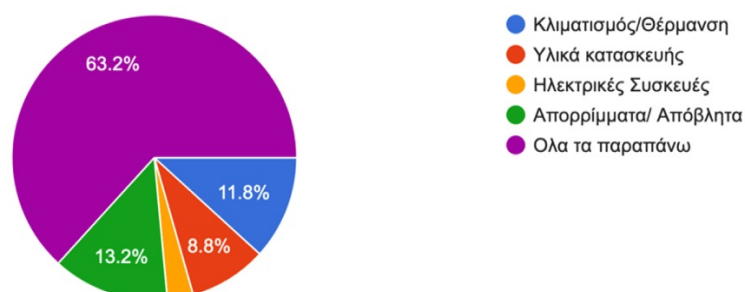
Η τρίτη ενότητα εστιάζει στον κατασκευαστικό τομέα.

K1. Πιστεύετε ότι η επιβάρυνση του περιβάλλοντος που οφείλεται στις κατασκευές πρέπει να αντιμετωπιστεί άμεσα;



Όπως προαναφέρθηκε (προηγούμενη ερώτηση) λίγοι είναι αυτοί που πιστεύουν ότι ο κατασκευαστικός κλάδος επιβαρύνει σημαντικά το περιβάλλον, ωστόσο το 31% του συνόλου των συμμετεχόντων θεωρούν ότι πρέπει να ληφθούν μέτρα άμεσα. Το 43% αν και πιστεύει ότι πρέπει να ληφθούν μέτρα, δεν θεωρεί ότι πρόκειται για άμεση ανάγκη. Το υπολειπόμενο 23% δεν είναι της άποψης ότι είναι κρίσιμο να γίνουν παρεμβάσεις.

K2. Ποια από τα παρακάτω στοιχεία σε ένα κτήριο θεωρείτε ότι επιβαρύνουν περισσότερο το περιβάλλον;



Σχετικά με τα στοιχεία της κατασκευής που επηρεάζουν το περιβάλλον, η πλειοψηφία των συμμετεχόντων (63%) πιστεύει ότι είναι απόρροια συνδυασμού παραγόντων όπως ο κλιματισμός, απορρίμματα, υλικά κατασκευής και ηλεκτρικές συσκευές. Μικρό ποσοστό (13%) επιρρίπτει το μεγαλύτερο μέρος της ευθύνης στα απορρίμματα και τα απόβλητα, ενώ το 12% στον κλιματισμό. Πολύ μικρό είναι το ποσοστό αυτών που θεωρούν ότι τα υλικά κατασκευής διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην καταστρατήγηση του πλανήτη. Πιθανόν γιατί το αντίκτυπο των υλικών είναι έμμεσο και όχι άμεσο. Λίγοι συνδέουν τα υλικά με τη κατανάλωση ενέργειας κατά την παρασκευή τους και ακόμα λιγότεροι με την εκπομπή επιβλαβών αερίων (κυρίως Co₂) κατά την παρασκευή και μεταφορά τους. Φαίνεται λοιπόν να υπάρχει ελλιπής πληροφόρηση.



Ως προς τη βελτίωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος του δομημένου χώρου η πλειοψηφία υποστηρίζει ότι πρόκειται για ένα συνδυασμό παραγόντων. Το παράδοξο είναι ότι το 19% των ερωτηθέντων, ενώ στην προηγούμενη ερώτηση δεν θεώρησαν ότι τα υλικά επιδρούν σημαντικά στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος, στον παρόντα προβληματισμό εξέφρασαν την πεποίθηση ότι η επιλογή υλικών κατασκευής διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στο περιβαλλοντικό αποτύπωμα της. Το 9% θεωρούν ότι η μείωση ή η επανάχρηση των απορριμμάτων μπορεί να επιφέρει βελτίωση. Ακόμα πιο λίγοι (6%) υποστηρίζουν ότι ο προσανατολισμός του κτίσματος μπορεί να επιδράσει θετικά, γεγονός που αποδεικνύει ότι κόσμος αγνοεί ότι ο σωστός προσανατολισμός και γενικότερα ο βιοκλιματικός σχεδιασμός παίζει καθοριστικό ρόλο στο ποσό της ενέργειας που καταναλώνεται για την εύρυθμη λειτουργία του δομημένου χώρου.

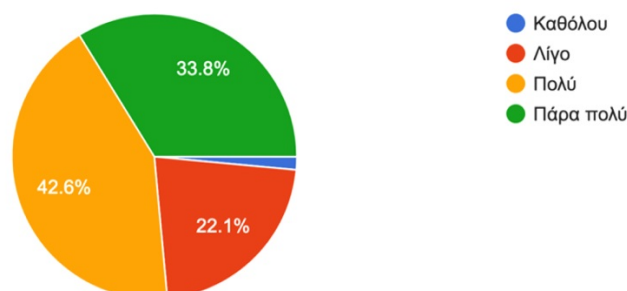
Κ4. Ποια από τα παρακάτω στοιχεία θεωρείτε ότι είναι επιβλαβή για την υγεία των χρηστών ενός κτηρίου;



Σχετικά με την επιρροή των υλικών του δομημένου χώρου στην υγεία των χρηστών, επικρατεί η πεποίθηση (53%) ότι ποικίλουν οι αιτίες. Το 16% υποστηρίζει ότι ο κλιματισμός διαδραματίζει ουσιαστικό ρόλο και το 10% θεωρεί πιο επιβλαβή τα καθαριστικά. Μάλιστα, καταγράφηκαν και κάποια σχόλια από τους ερωτηθέντες στα οποία εξέφρασαν την ανησυχία τους για την αλόγιστη χρήση καθαριστικών και την κακή συντήρηση του σπιτιού που επίσης μπορεί να αποβεί επιβλαβής για την υγεία του ανθρώπου.

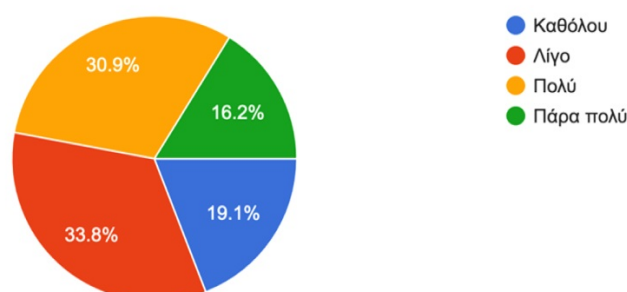
6.4. Φυσικά υλικά

Φ1. Θα σας ενδιέφερε να κατοικήσετε σε ένα χώρο κατασκευασμένο από φυσικά υλικά;



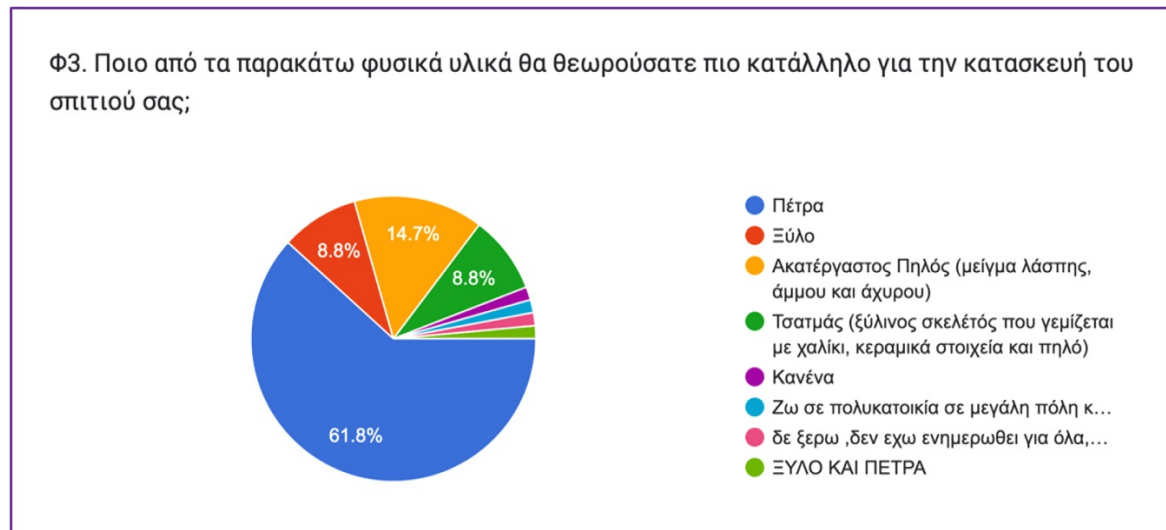
Στον προβληματισμό για κατοίκηση σε χώρο κατασκευασμένο από φυσικά υλικά, η θετική ανταπόκριση περιορίστηκε στο 34%. Η πλειοψηφία (43%) το αποδέχεται μεν ως ενδεχόμενο, αλλά όχι απόλυτα. Το 22% φαίνεται αρκετά επιφυλακτικό και μόλις το 1% δεν θα το επιχειρούσε. Τα αίτια του μειωμένου ενδιαφέροντος πιθανόν να πηγάζουν στο ότι τα φυσικά υλικά, συχνά κατηγορούνται ότι δεν συναρμολογούν με τις ανέσεις και τις ευκολίες που παρέχονται από τα σύγχρονα υλικά δόμησης. Αυτή η πεποίθηση λειτουργεί ανασταλτικά στην αποδοχή των φυσικών υλικών από το ευρύ κοινό.

Φ2. Γνωρίζετε ότι το κτήριο με τοίχους από φυσικά υλικά, μπορεί να έχει φέροντα στοιχεία (κολώνες, δοκάρια, πλάκες) από οπλισμένο σκυρόδεμα (μπετό) ή μεταλλικά στοιχεία;



Στην παρούσα ερώτηση, επιχειρείται η ταυτόχρονη ενημέρωση των ερωτηθέντων στην δυνατότητα συνδυασμού φυσικών υλικών με συμβατικά φέροντα δομικά στοιχεία. Κρίνοντας

από τις απαντήσεις, είναι φανερό ότι το 19% αγνοούσε πλήρως αυτό το ενδεχόμενο και το 34% ήταν υποψιασμένο. Μόνο το 16% φαίνεται να γνώριζε με σιγουριά το ενδεχόμενο συνδυασμού τεχνοτροπιών. Αυτό πιθανολογείται ότι πηγάζει στο γεγονός ότι το ερωτηματολόγιο συμπληρώθηκε και από κάποιους μηχανικούς, οι οποίοι είναι λόγω επαγγέλματος ενήμεροι.

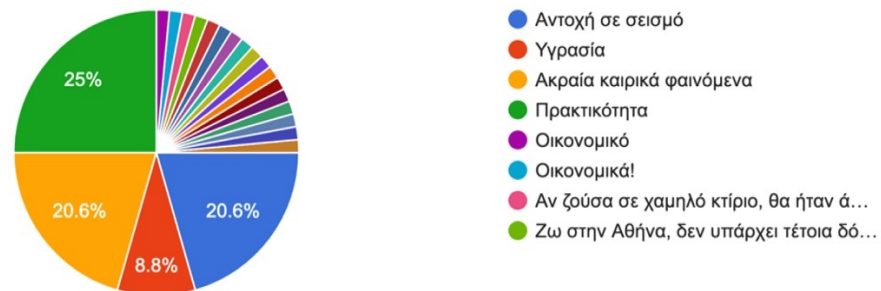


Από τα προτεινόμενα υλικά, φαίνεται ότι η προοπτική της χρήσης της πέτρας είναι η επικρατέστερη (62%). Στη δεύτερη θέση κατατάσσεται ο πηλός (15%) και στην τρίτη το ξύλο. Η προτίμηση της οφείλεται στην στατική της επάρκεια σε σχέση με τα άλλα υλικά. Επιπλέον, υπάρχουν πολλά παραδείγματα πετρόκτιστων κατασκευών, παλιών και νέων, στον Ελλαδικό χώρο, με συνέπεια ο κόσμος να είναι πιο εξοικειωμένος με αυτόν τον τρόπο δόμησης και την αισθητική του. Ως προς τον πηλό υπάρχει ελλιπής ενημέρωση ως προς τα χαρακτηριστικά και τις δυνατότητες του, παρόλα αυτά προτιμάται από το ξύλο.

Δύο από τους ερωτηθέντες εξέφρασαν τους προβληματισμούς τους. Ο πρώτος εξέφρασε την άγνοιά του για τη χρήση των παραπάνω υλικών και την αμφιβολία του για την καταλληλότητα τους. Ο δεύτερος, σχολίασε το γεγονός ότι στις σύγχρονες πόλεις όπου οι κατασκευές είναι πολυώροφες, δεν μπορεί να υπάρξει ουσιαστική εφαρμογή των φυσικών υλικών σε μεγάλη κλίμακα.



Φ4. Ποιος από τους παρακάτω παράγοντες λειτουργεί ανασταλτικά στο να κατοικήσετε σε ένα χώρο κτισμένο από φυσικά υλικά;



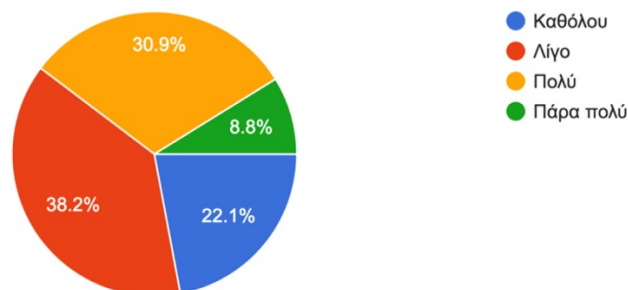
Η συγκεκριμένη ερώτηση, πυροδότησε πολλά σχόλια και παρατηρήσεις, γεγονός που αποδεικνύει ότι πρόκειται για ένα ζήτημα που γεννά πολλές ανησυχίες.

Το 25% θεωρεί σημαντικότερο πρόβλημα την πρακτικότητα και λιγότερο τα φυσικά φαινόμενα. Κάποιοι, μάλιστα, διατύπωσαν γραπτώς τον προβληματισμό τους σχετικά με την αδυναμία δόμησης ψηλών κτηρίων από φυσικά υλικά, γεγονός που τη καθιστά μη πρακτική στον σύγχρονό τρόπο ζωής στις μεγαλουπόλεις. Στη δεύτερη θέση των ανασταλτικών παραγόντων ισοβαθμούν 23% τα ακραία καιρικά φαινόμενα και η σεισμική αντοχή. Η αντοχή και ανθεκτικότητα των "φυσικών" κατασκευών, σε ιδιαίτερες συνθήκες απασχολεί πολλούς, καθώς στη σύγχρονη εποχή δεν υπάρχει επαρκής τεχνογνωσία και εξοικείωση από τους περισσότερους μηχανικούς. Έπεται η υγρασία, 9%. Το οικονομικό κομμάτι φαίνεται να μην απασχολεί ιδιαίτερα τους ερωτηθέντες. Πάντως, όπως αναφέρθηκε στην οικονομική ανάλυση που προηγήθηκε στο κεφάλαιο 4.5.3, το κόστος των "φυσικών" κατασκευών μπορεί να φαίνεται αρχικά υψηλό σε σχέση με τις αντίστοιχες συμβατικές, όμως σε βάθος χρόνου και εξαιτίας της εξοικονόμησης ενέργειας που επιτυγχάνεται από τη μείωση των απαιτήσεων κλιματισμού, αποβαίνουν αρκετά πιο οικονομικές.

6.5.Ακατέργαστος Πηλός

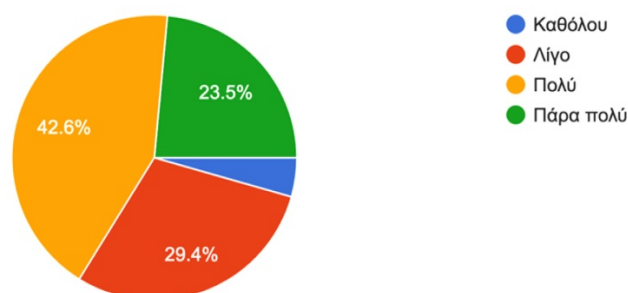
Στην τελευταία ομάδα ερωτήσεων, επιχειρείται ενημέρωση των ερωτηθέντων ταυτόχρονα με τον προβληματισμό που τους τίθεται, πάνω στη δόμηση με ακατέργαστο πηλό.

A1. Γνωρίζετε τι είναι οι κατασκευές από ακατέργαστο πηλό (κατασκευή τοίχων από μείγμα λάσπης, άμμου και άχυρου);



Διαπιστώνεται ότι μόνο το 40% είναι ενήμερο για τη δόμηση με ακατέργαστο πηλό. Το υπόλοιπο 60% δηλώνει είτε άγνοια είτε μερική και ελλιπή ενημέρωση.

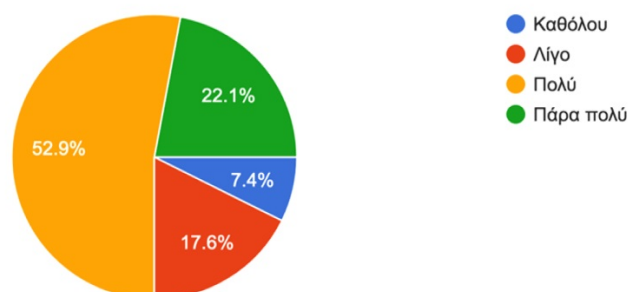
A2. Γνωρίζοντας ότι οι κατασκευές από ακατέργαστο πηλό ρυθμίζουν την εσωτερική υγρασία και θερμοκρασία του χώρου, διασφαλίζοντας έτ...βάλλον, θα σας ενδιέφερε ως υλικό κατασκευής;



Δίνεται στους συμμετέχοντες η πληροφορία ότι οι κατασκευές από ακατέργαστο πηλό προσφέρουν το πλεονέκτημα της εξισορρόπησης της υγρασίας και της θερμοκρασίας σε ένα χώρο, με όφελος τη δημιουργία ευχάριστων συνθηκών διαμονής σε αυτόν. Στα πλαίσια αυτά

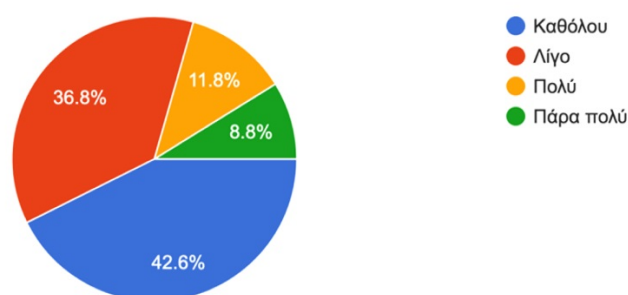
το 66% εκδήλωσε το ενδιαφέρον του να κατοικήσει σε έναν τέτοιο χώρο. Το υπόλοιπο 34% παραμένει διστακτικό.

A3. Γνωρίζοντας ότι ο ακατέργαστος πηλός μπορεί να δεσμεύσει επιβλαβείς ουσίες (πτητικές ενώσεις όπως: χρωματισμοί, σπρέι, επιχρίσματα...θρωπο, θα σας ενδιέφερε ως υλικό κατασκευής;



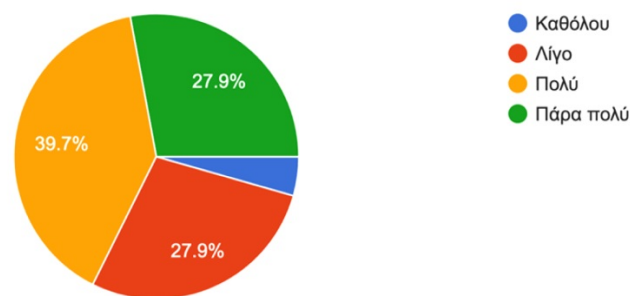
Στον παρόντα προβληματισμό γνωστοποιείται η ικανότητα του υλικού να δεσμεύσει πτητικές ενώσεις, που προέρχονται από χρωματισμούς, επιχρίσματα, σπρέι και άλλα σύγχρονα υλικά, οι οποίες είναι επιβλαβείς για την υγεία των ανθρώπων. Το ποσοστό των ενδιαφερόμενων ανέρχεται στο 75%. Το ποσοστό ανέβηκε, σε σχέση με την προηγούμενη ερώτηση, πιθανόν γιατί διαφαίνεται στους ερωτηθέντες ότι τα οφέλη είναι αρκετά και σημαντικά, εφόσον συνδυάζονται υγεία και ευχάριστες συνθήκες.

A4. Έχετε δει σπίτια κατασκευασμένα από ακατέργαστο πηλό;



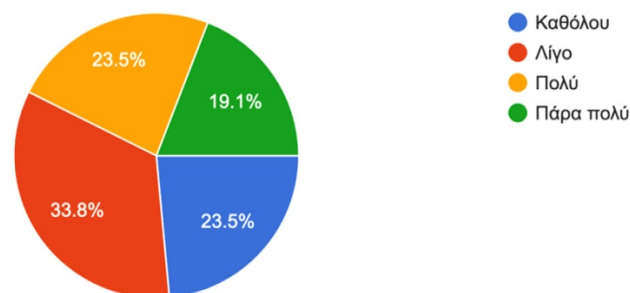
Το 80% έχει δει ελάχιστα ή καθόλου σπίτια κατασκευασμένα από ακατέργαστο πηλό, οπότε είναι λογικό να υπάρχει δυσπιστία ως προς αυτόν τον τρόπο δόμησης. Εκτιμάται πως αυτός είναι ένας από τους λόγους που οι συμμετέχοντες στην ερώτηση Φ.3, επέλεξαν τη δόμηση με πέτρα έναντι του ακατέργαστου πηλού. Επιπλέον, πολλά από τα κτίσματα με πηλό έχουν σοβατιστεί, οπότε δεν είναι αναγνωρίσιμα.

A5. Σας αρέσει η αισθητική των κτισμάτων από ακατέργαστο πηλό;

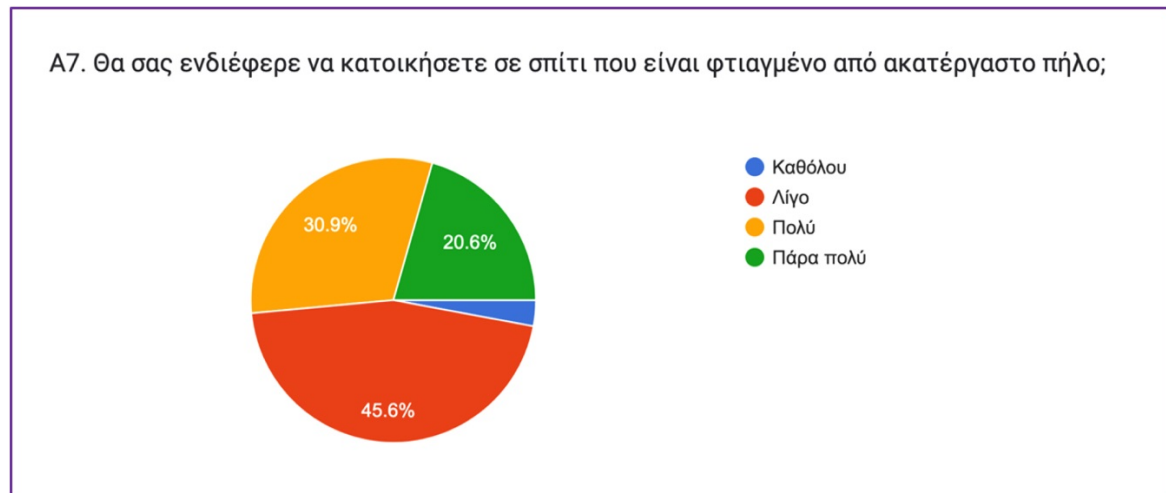


Η οικειότητα των ερωτηθέντων με κτίσματα από ακατέργαστο πηλό είναι μικρή, γι' αυτό επιλέχτηκε η επισύναψη χαρακτηριστικής συνοδευτικής φωτογραφίας, ώστε να μπορέσουν να εκφέρουν την προσωπική τους άποψη για το αισθητικό αποτέλεσμα τους. Το 68% εκφράζει ικανοποίηση με αυτήν την αισθητική.

A6. Γνωρίζετε ότι παγκοσμίως υπάρχουν κατασκευές από ακατέργαστο πηλό που διατηρήθηκαν εδώ και αιώνες;

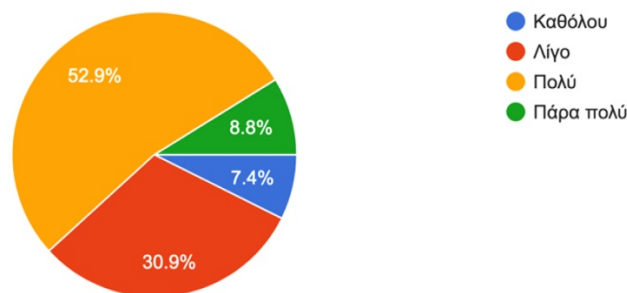


Η παρούσα ερώτηση τέθηκε ώστε να υπογραμμιστεί στους συμμετέχοντες ότι οι κατασκευές από ακατέργαστο πηλό έχουν αντέξει για πάρα πολλά χρόνια. Στόχος είναι να αποκτήσουν περισσότερη εμπιστοσύνη στο υλικό αυτό. Από τις απαντήσεις που δόθηκαν, εξάγεται το συμπέρασμα ότι λιγότεροι από τους μισούς το γνώριζαν.



Οι προβληματισμοί A.2, A.3, A.5 και A.6, τέθηκαν με στόχο να αποτελέσουν τη βάση για της απαντήσεις των συμμετεχόντων στο παρόν ερώτημα (A.7). Σύμφωνα με τις απαντήσεις που δόθηκαν, το 52% των ατόμων που συμπλήρωσαν το ερωτηματολόγιο, εφόσον πλέον είναι υποψιασμένοι για την ποιότητα της ατμόσφαιρας που παρέχεται στο χώρο, τις ευεργετικές ιδιότητες στην υγεία των χρηστών, την αισθητική του και την αντοχή του στο χρόνο, δήλωσαν ότι θα τους ενδιέφερε να κατοικήσουν σε ένα σπίτι κατασκευασμένο από ακατέργαστο πηλό. Το 46 %, όμως δεν πείστηκε αρκετά ώστε να το τολμήσει και ένα μικρό ποσοστό (2%) το απορρίπτει πλήρως.

A8. Αν για την κατασκευή του χωμάτινου τοίχου χρησιμοποιούνταν νέες καινοτόμες μέθοδοι, π.χ. με μηχανικά μέσα θα νιώθατε πιο ασφαλείς με την κατασκευή;



Η εμπιστοσύνη των ερωτηθέντων στα φυσικά υλικά φαίνεται να βελτιώνεται (64%), έναντι των απαντήσεων στον προβληματισμό A.7 (52%), όταν στην "εξίσωση" προστίθεται η τεχνολογία και τα μηχανικά μέσα. Συμπεραίνουμε, λοιπόν ότι η τεχνολογία εμπνέει περισσότερη εμπιστοσύνη, ίσως γιατί ζούμε στην εποχή της τεχνολογίας και μας είναι πιο γνώριμη ως μέθοδος κατασκευής.

A.9

Στην τελευταία ερώτηση δόθηκε η δυνατότητα στους συμμετέχοντες να εκφράσουν τους προβληματισμούς και τις σκέψεις τους. Συνοψίζοντας, οι περισσότεροι διατύπωσαν την άποψη ότι τα κτίσματα από ακατέργαστο πηλό δεν μπορούν να έχουν εφαρμογή στις μεγαλουπόλεις, αλλά μόνο σε περιοχές χαμηλής δόμησης, όπως είναι τα νησιά και ότι λόγω της τάσης για εγκατάλειψη της υπαίθρου, αυτά θα εκλείψουν ακόμα περισσότερο. Επίσης, επισημάνθηκε ότι η πρόοδος και η τεχνολογία εκτόπισαν το υλικό, παρόλη την μακροχρόνια εφαρμογή του στο παρελθόν και ότι οι ειδικές απαιτήσεις σχεδιασμού, κατεργασίας και δόμησης του, το καταστούν λιγότερο ελκυστικό και ότι υπάρχουν νέα υλικά και τεχνολογίες που σχετίζονται με την προστασία του περιβάλλοντος. Τέλος, τονίστηκε η ανάγκη για τη παροχή αίσθησης ασφάλειας στους χρήστες του δομημένου χώρου. Ιδιαίτερα ανησυχητική είναι η παρατήρηση ενός από τους ερωτηθέντες, ο οποίος σημείωσε ότι έχει δει πολλά κτίσματα από ακατέργαστο πηλό, όπως εξωτερικές κουζίνες, φούρνους κ.α. να χαλούν αρκετά γρήγορα. Επισήμανε, βέβαια ότι δεν ήταν στεγασμένα, αλλά παρόλα αυτά δεν θα ένιωθε ασφαλής σε ένα τέτοιο σπίτι.

Πάντως, πολλοί εξέφρασαν το ενδιαφέρον τους για τη μεταστροφή προς καινοτόμες κατασκευές λιγότερο επιβλαβείς και ενεργοβόρες, που θα εναρμονίζονται και σέβονται το περιβάλλον γύρω τους.

6.6.Συγκεντρωτική Ανάλυση Αποτελεσμάτων

Το ερωτηματολόγιο συντάχθηκε στα πλαίσια της διερεύνησης της ανταπόκρισης του Ελληνικού κοινού σε πιο βιώσιμες λύσεις στην κατασκευή, και ειδικότερα στις τεχνοτροπίες δόμησης με ακατέργαστο πηλό, όπως είναι τα COB (στοιβαχτός πηλός). Το έναυσμα, για αυτή την αναζήτηση, δόθηκε από την ανησυχία που γεννάει η κλιματική αλλαγή, τον βαθμό που αυτή επηρεάζεται από την ανθρώπινη δραστηριότητα και πιο συγκεκριμένα από τις κατασκευές.

Το ερωτηματολόγιο απαντήθηκε κυρίως από γυναίκες πανεπιστημιακής εκπαίδευσης που κατοικούν σε μεγάλες πόλεις και ανήκουν στην ηλικιακή ομάδα 30-50. Κατά συνέπεια, θεωρούνται ενδεικτικές (αν και το δείγμα είναι μικρό) για τις πεποιθήσεις της παραγωγικής ηλικιακής ομάδας μεταξύ 30 και 50ετών που κατοικεί στις μεγαλουπόλεις του ελλαδικού χώρου.

Σύμφωνα με τις απαντήσεις που δόθηκαν, φαίνεται να υπάρχει μια γενικότερη ανησυχία σχετικά με την υποβάθμιση του περιβάλλοντος και μια μικρότερη σχετικά με την υπέρμετρη κατανάλωση φυσικών πόρων. Συγκεκριμένα, οι περισσότεροι συμμετέχοντες στην παρούσα έρευνα (78%), πιστεύουν ότι η ανθρώπινη δραστηριότητα είναι υπεύθυνη, κατά κύριο λόγο, για την υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Η συντριπτική πλειοψηφία, μάλιστα, υποστηρίζει ότι η κλιματική αλλαγή, που παρατηρείται τις τελευταίες δεκαετίες, είναι σε μεγάλο βαθμό απόρροια αυτού του εκφυλισμού. Υπάρχουν, βέβαια, και άλλοι παράγοντες, όπως άλλωστε εικάζει ένα μικρό ποσοστό των ερωτηθέντων (φυσικά φαινόμενα όπως η ηφαιστειακή δραστηριότητα, η ηλιακή ακτινοβολία κ.α.), η επιρροή των οποίων είναι μικρή σε σχέση με τις ανθρωπογενής φύσεως επιβαρύνσεις. Πάντως, σχεδόν όλοι συμφωνούν ότι πρέπει να ληφθούν άμεσα μέτρα, ώστε να περιοριστεί το φαινόμενο προτού γίνει ανεξέλεγκτο.

Εκτός από τη κλιματική αλλαγή και την κακή ποιότητα του περιβάλλοντος (μόλυνση ατμόσφαιρας, υδάτων κ.α.), σημαντικό πρόβλημα αποτελεί και η εξάντληση των φυσικών πόρων. Η αλόγιστη χρήση πεπερασμένων πόρων ελλοχεύει προβλήματα για τις επόμενες γενιές, καθώς θα πρέπει να βρουν νέες πηγές ή να επινοήσουν νέες λύσεις. Εντωμεταξύ, η

ζήτηση πρωτογενών πόρων ολοένα αυξάνεται εξαιτίας της αύξησης του πληθυσμού και του βιοτικού επιπέδου των ανθρώπων. Έτσι, οδηγούμαστε σε σταδιακή εξάντληση των φυσικών πόρων και κατά συνέπεια, στην αύξηση του ανταγωνισμού για την εξασφάλιση τους. Ο ανταγωνισμός με τη σειρά του ενδέχεται να επιφέρει αστάθεια μεταξύ των κρατών. Τρανταχτό παράδειγμα αποτελεί η ενεργειακή κρίση που ήδη βιώνουμε τα τελευταία χρόνια και οι πόλεμοι που διεξάγονται για την κυριαρχία επί των εδαφών που είναι πλούσια σε κοιτάσματα ορυκτών καυσίμων.

Από τους ερωτηθέντες, μόνο το 66% αναγνωρίζει το πρόβλημα της εξάντλησης των φυσικών πόρων στην πλήρη έκταση του. Το 32% παραδέχεται ότι γίνεται υπερκατανάλωση χωρίς να αντιλαμβάνεται την απόλυτη διάσταση των επιπτώσεων της, ενώ υπάρχει και ένα ελάχιστο ποσοστό (2%) το οποίο δεν διακρίνει ότι συντελείται σπατάλη. Τα ποσοστά αυτά δεν είναι ιδιαίτερα ενθαρρυντικά, καθώς είναι σημαντικό καταρχήν να αναγνωριστεί ο κίνδυνος σε όλη την έκταση του, ώστε να γίνει ουσιαστική και καθολική προσπάθεια προς την αντιμετώπιση του σε ατομικό και συλλογικό επίπεδο. Πιθανόν η ενημέρωση των πολιτών να μην είναι επαρκής όσον αφορά στην εξάντληση των φυσικών πόρων. Ίσως επίσης να φέρουν μερίδιο ευθύνης και οι εταιρείες που επωφελούνται των πόρων και δεν προσανατολίζονται σε πιο βιώσιμες πρακτικές.

Ως κυριότερες πηγές υποτίμησης του περιβάλλοντος, από τις δοθείσες στο ερωτηματολόγιο, προκρίθηκαν τα απόβλητα και η βιομηχανία. Έπονται οι μεταφορές, ακολουθούμενες από τις κατασκευές. Αναμφίβολα, η βιομηχανία και τα απόβλητα (στις περισσότερες περιπτώσεις απόρροια της βιομηχανικής δραστηριότητας) είναι σημαντικοί παράγοντες ρύπανσης. Εδώ, πρέπει να σημειωθεί το φάσμα που καλύπτει η βιομηχανία, από τρόφιμα και υλικά κατασκευής έως φάρμακα, ενέργεια κ.α. Τα στοιχεία του περιβάλλοντος που επιβαρύνονται περισσότερο είναι η ατμόσφαιρα και τα ύδατα. Η μόλυνση του αέρα που αναπνέουμε και των υδάτων, είναι άμεσα επιβλαβής για την υγεία των ανθρώπων που εκτίθενται σε αυτή. Την επηρεάζει, όμως και έμμεσα, μέσω της διατροφής, καθώς οι επιβλαβείς ουσίες επικάθονται ή και απορροφώνται από τη γη και τα προϊόντα της (φρούτα, λαχανικά) και στη συνέχεια εισέρχονται στην τροφική αλυσίδα. Σύμφωνα με τον παγκόσμιο οργανισμό υγείας (ΠΟΥ), η κακή ποιότητα του περιβάλλοντος (κυρίως η ατμοσφαιρική ρύπανση) ευθύνεται για το 12% με 18% των θανάτων στην Ευρώπη, ήτοι 400,000 άνθρωποι ετησίως (*Το ευρωπαϊκό περιβάλλον — Κατάσταση και*

προοπτικές, 2015, n.d.). Η ποιότητα του περιβάλλοντος, λοιπόν, επηρεάζει την υγεία και κατ' επέκταση την ευημερία των ανθρώπων.

Όσων αφορά στις κατασκευές, σύμφωνα με τη γνώμη των ερωτηθέντων, οι παράγοντες που πλήττουν το περιβάλλον ποικίλουν, με κυρίαρχο ρόλο να διαδραματίζουν τα απορρίμματα και ο κλιματισμός.

Υπολογίζεται ότι το 33% του συνόλου των αποβλήτων σε ευρωπαϊκό επίπεδο προέρχονται από τις κατασκευές. Ως κατασκευαστικά απόβλητα νοούνται τα υπολείμματα τροφών, τα λύματα και η απόρριψη συσκευασιών, συσκευών και κατασκευαστικών υλικών. Το περιβάλλον επιβαρύνεται πολλαπλά από τα τελευταία, καθώς χρησιμοποιούνται πεπερασμένοι φυσικοί πόροι ως πρώτη ύλη, έπειτα καταναλώνεται ενέργεια για την επεξεργασία και μεταφορά τους και όταν πλέον δεν χρειάζονται, απορρίπτονται σε χωματερές χωρίς να υπάρχει δυνατότητα ανακύκλωσης ή επανάχρησής τους. Πράγματι, η έκταση του προβλήματος είναι μεγάλη και για αυτό προβάλλει επιτακτική η ανάγκη να στραφούμε σε υλικά με χαμηλό περιβαλλοντικό αποτύπωμα που σέβονται τις αρχές της κυκλικής οικονομίας.

Ο κλιματισμός είναι πλέον απαραίτητος στην καθημερινότητα μας. Μάλιστα, όσο αυξάνεται η μέση θερμοκρασία του πλανήτη, τόσο πιο απαραίτητος γίνεται. Με τη χρήση του κλιματισμού, ωστόσο, επιβαρύνεται το περιβάλλον, γιατί απαιτείται ενέργεια για τη λειτουργία του, η οποία συνήθως παράγεται από τα ορυκτά καύσιμα. Επιπρόσθετα, κατά τη λειτουργία του παράγεται θερμότητα η οποία αποδίδεται στον εξωτερικό χώρο. Παρατηρείται λοιπόν ένας φαύλος κύκλος, στον οποίο ο κλιματισμός επιβαρύνει το περιβάλλον, συμβάλλοντας στην παραγωγή αερίων του θερμοκηπίου, τα οποία με τη σειρά τους συντελούν στην κλιματική αλλαγή, εξαιτίας της οποίας είναι πλέον απαραίτητη η χρήση του κλιματισμού.

Τα υλικά κατασκευής ενώ συμμετέχουν και αυτά στην καταπόνηση του περιβάλλοντος, δεν θεωρούνται εξίσου σημαντικά με τα απορρίμματα και τον κλιματισμό από τους ερωτηθέντες. Αυτό συμβαίνει γιατί λίγοι τα συσχετίζουν με την κατανάλωση ενέργειας κατά την παραγωγή και μεταφορά τους και ακόμα λιγότεροι ασχολούνται με τον κύκλο ζωής τους. Με άλλα λόγια δεν υπάρχει ουσιαστική ενημέρωση, γνώση και ενδιαφέρον για την ενσωματωμένη ενέργεια των υλικών. Το ίδιο ισχύει και για τις ηλεκτρικές συσκευές με τη διαφορά ότι καταναλώνεται ενέργεια και κατά τη χρήση τους.

Το περιβαλλοντικό αποτύπωμα του συνόλου της κατασκευής είναι σημαντικό και ως εκ τούτου πρέπει να ληφθούν μέτρα για τον περιορισμό του. Οι ερωτηθέντες υποστηρίζουν ότι απαιτείται πολύπλευρη αντιμετώπιση, αρχής γενομένης από τα υλικά κατασκευής και τα απορρίμματα. Πράγματι, όλοι οι παράγοντες που αναφέρονται στο ερωτηματολόγιο έχουν σημασία. Παρόλα αυτά ο προσανατολισμός και γενικότερα ο βιοκλιματικός σχεδιασμός έχουν υποτιμηθεί. Ο σωστός προσανατολισμός, η μελέτη και τοποθέτηση των κατάλληλων ανοιγμάτων με γνώμονα τις ιδιαίτερες συνθήκες κάθε τόπου και η χρήση παθητικών και ενεργητικών ηλιακών συστημάτων μπορούν να οδηγήσουν στην ενεργειακή αυτονομία ενός κτίσματος και να ελαχιστοποιήσουν ή και μηδενίσουν την κατανάλωση συμβατικής ενέργειας που απαιτείται για την εύρυθμη λειτουργία του. Οι λόγοι που δεν εκτιμώνται οι ευεργετικές ιδιότητες της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής πιθανόν να οφείλονται στην έλλειψη ικανών παραδειγμάτων στον Ελλαδικό χώρο, στον κακό σχεδιασμό πολλών κτηρίων, στην έλλειψη τεχνογνωσίας από κάποιους μηχανικούς και στην έλλειψη ενημέρωσης των πολιτών.

Πέρα από το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των κατασκευών, ο δομημένος χώρος κρύβει και άμεσους κινδύνους για την υγεία των χρηστών. Τα κλιματιστικά κατηγορούνται για την δημιουργία ξηρού περιβάλλοντος, πονόλαιμου, πονοκέφαλου, ξηροφθαλμίας, ρινίτιδας, κρυολογήματος, άσθματος και αλλεργιών. Ευθύνονται για τις απότομες αλλαγές στη θερμοκρασία ενός χώρου. Οι απότομες εναλλαγές είναι βλαβερές για το αναπνευστικό μας σύστημα. Επίσης, ανακυκλώνουν τον υπάρχοντα αέρα του χώρου, με συνέπεια να αναπτύσσονται μικρόβια και βακτήρια. Αν, μάλιστα, δεν γίνεται σωστή συντήρηση μπορεί να προκαλέσουν τη νόσο των λεγεωνάριων. Δίκαια, λοιπόν ψηφίστηκαν με ποσοστό 20% στη δεύτερη θέση. Την πρώτη θέση κατέλαβε το σύνολο των στοιχείων που προτάθηκαν και απαρτίζουν τον δομημένο χώρο με ποσοστό 46% (όπως κλιματισμός, χρωματισμοί, ηλεκτρικές συσκευές και καθαριστικά). Τα σύγχρονα συμβατικά υλικά κατασκευής και διακόσμησης εκπέμπουν πτητικές οργανικές ενώσεις (ΠΟΕ) που είναι επιβλαβείς για την ανθρώπινη υγεία και προκαλούν μέχρι και καρκίνο. Δυστυχώς στην Ελλάδα, δεν γίνεται σωστή ενημέρωση των καταναλωτών για αυτά και επιτρέπεται να αναγράφονται οι εκπομπές ΠΟΕ με ψιλά γράμματα στο πίσω μέρος των συσκευασιών, σε αντίθεση με τις ευρωπαϊκές χώρες που επιβάλουν ετικέτες μεγάλων διατάσεων. Στην τρίτη θέση ψηφίστηκαν τα καθαριστικά με την επισήμανση κάποιων, στα σχόλια, ότι γίνεται αλόγιστη χρήση τους.

Στην τέταρτη ενότητα οι ερωτήσεις επικεντρώθηκαν στη δόμηση με φυσικά υλικά. Επειδή το ερωτηματολόγιο συμπληρώθηκε κυρίως από ανθρώπους που δεν εργάζονται στον κατασκευαστικό κλάδο, κρίθηκε σκόπιμο να δοθούν κάποιες πληροφορίες για τα φυσικά υλικά με τη μορφή ερωτήσεων. Γενικά, από τις απαντήσεις που δόθηκαν, διακρίνεται μια επιφυλακτικότητα από το κοινό. Κύριος προβληματισμός φαίνεται να είναι η πρακτικότητα και έπεται η αντοχή. Η πρακτικότητα αφορά, από τη μία, στις ανέσεις και τις ευκολίες που παρέχονται από τα σύγχρονα υλικά και από την άλλη, στη δυνατότητα να κατασκευαστούν χαμηλά κτίσματα στις μεγαλουπόλεις, όπου συγκεντρώνεται ο περισσότερος πληθυσμός και επομένως υπάρχει μεγαλύτερη ανάγκη και ζήτηση δομημένου χώρου. Οι ερωτηθέντες παραμένουν διστακτικοί και ως προς την αντοχή τους, παρόλο που προτάθηκε ως εναλλακτική λύση τα φυσικά υλικά να χρησιμοποιηθούν μόνο για την πλήρωση του χώρου και τα φέροντα στοιχεία να κατασκευαστούν από συμβατικά υλικά, όπως είναι το οπλισμένο σκυρόδεμα ή μεταλλικές διατομές. Περισσότερο μάλιστα τους προβληματίζει η αντοχή στις ακραίες καιρικές συνθήκες, οι οποίες εντείνονται τα τελευταία χρόνια και λιγότερο η αντοχή στο σεισμό. Πάντως από τα διαθέσιμα φυσικά υλικά και τις τεχνοτροπίες υπάρχει σαφώς προτίμηση στην πέτρα. Πιθανόν να εμπνέει περισσότερη εμπιστοσύνη γιατί είναι πιο σκληρό υλικό από τα άλλα. Άλλωστε, βάσει ευρωκώδικα, έχει αρκετή αντοχή ώστε να κατασκευαστούν διώροφα κτήρια. Άλλη αιτία μπορεί να είναι η οικειότητα που έχουμε με τα πετρόκτιστα κτίσματα έναντι των άλλων φυσικών υλικών, καθώς υπάρχουν πολλά παραδείγματα, παλαιών και πιο πρόσφατων κατασκευών. Παραδοσιακά πετρόκτιστα κτίσματα απαντώνται κυρίως σε ορεινές περιοχές, όπου η πέτρα ήταν άμεσα διαθέσιμη. Υπάρχουν όμως και σύγχρονα παραδείγματα γιατί αυτός ο παραδοσιακός τρόπος δόμησης προβάλλεται περισσότερο έναντι των πλινθόκτιστων από μελετητές, ιστορικούς και ερευνητές και βρίσκεται σε πολύ περισσότερες βιβλιογραφικές αναφορές. Δικαίως λοιπόν και εξαιτίας της υπέρμετρης πριμοδότησης των πετρόκτιστων κατασκευών, ο ακατέργαστος πηλός έρχεται δεύτερος μεν στις προτιμήσεις του κοινού αλλά με πολύ μικρότερο ποσοστό. Απαντάται κυρίως σε πεδινές περιοχές, όπου η άργιλος βρίσκεται σε πληθώρα. Παρόλο που και αυτός αποτελεί δομικό υλικό της παράδοσης μας, θεωρείται πιο απλή, πρόχειρη, ευτελής και φθηνή κατασκευή. Τρίτο κατά σειρά ψηφίστηκε το ξύλο. Ο ακατέργαστος πηλός φαίνεται να προτιμάται έναντι του ξύλου. Εδώ, εκτιμάται ότι υπάρχει φοβία στην ελληνική κοινωνία σχετικά με την ξυλεία, ως προς την αντοχή της στα έντομα, την υγρασία και τη φωτιά. Όμως, με τη χρήση της κατάλληλης ξυλείας

(όπως κέδρος και κυπαρίσσι) και τη σωστή επεξεργασία και συντήρηση της, τα παραπάνω προβλήματα αντιμετωπίζονται.

Ο πηλός ως παραδοσιακό υλικό δόμησης δεν είναι γνωστό στο ευρύ κοινό. Μόνο το 40% των ερωτηθέντων, εκ των οποίων και κάποιοι μηχανικοί, γνώριζαν ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υλικό δόμησης. Μάλιστα, το 37% δήλωσε ότι έχει δει ελάχιστα και το 43% δεν έχει δει ποτέ κτίσματα από πηλό. Παραδείγματα, βέβαια, υπάρχουν αρκετά στον Ελλαδικό χώρο, ίσως όμως να μην γνωρίζουμε το υλικό κατασκευής τους γιατί έχει ασβεστωθεί ή σοβατιστεί, οπότε δεν είναι εμφανές όπως η πέτρα. Πρόκειται για υλικό παρεξηγημένο γιατί προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα στο δομημένο χώρο: όπως είναι η ρύθμιση της θερμοκρασίας, η εξισορρόπηση της υγρασίας και η δέσμευση των πτητικών ενώσεων. Τα χαρακτηριστικά του αυτά, σε συνδυασμό με το αισθητικό αποτέλεσμα του, το καταστούν πιο ελκυστικό στον κόσμο. Το 52%, λοιπόν, δήλωσε ότι θα το ενδιέφερε η κατοίκηση σε έναν χώρο με τις παραπάνω ιδιότητες. Ωστόσο, υπάρχει διστακτικότητα, καθώς δεν παρέχει την αίσθηση της ασφάλειας. Η χρήση τεχνολογικών μέσων στις κατασκευές από ακατέργαστο πηλό, φαίνεται να λειτουργεί ενθαρρυντικά ως προς την εμπιστοσύνη που δείχνουν οι ερωτηθέντες σε αυτές, καθώς αυτή η προοπτική αυτή βελτίωσε το ποσοστό των ενδιαφερόμενων στο 64%.

Στο τέλος του ερωτηματολογίου δόθηκε η δυνατότητα για σχολιασμό. Πολλοί συμμετέχοντες εξέφρασαν τον προβληματισμό τους για την εφαρμογή της φυσικής δόμησης στο αστικό τοπίο, διότι εξαιτίας της λιγοστής διαθέσιμης αστικής γης στις μεγαλουπόλεις, η καθ' ύψος εκμετάλλευση της δόμησης είναι μονόδρομος. Επιπλέον, σχολίασαν ότι μπορεί να εφαρμοστεί μόνο σε περιοχές χαμηλής δόμησης, όπως είναι τα νησιά. Λόγω, όμως, της τάσης για εγκατάλειψη της υπαίθρου, τελικά θα εκλείψουν ακόμα περισσότερο. Επίσης, επισημάνθηκε ότι η πρόοδος και η τεχνολογία εκτόπισαν το υλικό, παρόλη την μακροχρόνια εφαρμογή του στο παρελθόν, και ότι οι ειδικές απαιτήσεις σχεδιασμού, κατεργασίας και δόμησης του, το καταστούν λιγότερο ελκυστικό. Τέλος, τονίστηκε η ανάγκη για τη παροχή αίσθησης ασφάλειας στους χρήστες του δομημένου χώρου. Σημαντική είναι και η παρατήρηση ενός από τους συμμετέχοντες, ο οποίος δήλωσε ότι έχει δει σύγχρονες κατασκευές από ακατέργαστο πηλό (όπως εξωτερικές κουζίνες και φούρνους) να καταρρέουν πολύ σύντομα. Οι κατασκευές αυτές δεν ήταν στεγασμένες, οπότε πιθανόν για αυτό και να αστόχησαν. Πάντως, όλα όσα εκφράστηκαν είναι υπαρκτά εμπόδια. Οι κατασκευές αυτές συνίστανται για χαμηλά κτήρια, έως δυο ορόφους, απαιτείται ειδικός σχεδιασμός τους, προστασία τους από τα καιρικά

φαινόμενα και συχνή και επιμελής συντήρηση του κελύφους τους. Επίσης, απαιτείται χρόνος και εργατικά χέρια για την κατασκευή τους. Αυτά είναι εμπόδια που μελλοντικά θα πρέπει να εξεταστούν, μελετηθούν και αντιμετωπιστούν ώστε οι κατασκευές από φυσικά υλικά να αποκτήσουν ένα ευρύτερο πεδίο εφαρμογής και να κερδίσουν την εμπιστοσύνη του κοινού. Ίσως η λύση να βρίσκεται στο συνδυασμό τεχνοτροπιών δόμησης, δηλαδή στην κατασκευή φερόντων στοιχείων με σύγχρονες συμβατικές μεθόδους (οπλισμένο σκυρόδεμα ή μεταλλικό σκελετό) και τοίχους πλήρωσης, οροφές και δάπεδα από φυσικά υλικά με χρήση μηχανικών μέσων. Σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να εξεταστεί η συμβατότητα των διαφορετικών υλικών μεταξύ τους και η συστολή και διαστολή το κάθε μέλους.

7. ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Τα έντονα καιρικά φαινόμενα που παρατηρούνται τα τελευταία χρόνια έδωσαν το έναυσμα για να γίνει έρευνα ως προς τα αίτια πρόκλησης τους. Η κλιματική αλλαγή και κατ' επέκταση η ένταση και πύκνωση των ακραίων φαινομένων, οφείλεται στην αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη (1°C σε βάθος 20αετίας, 1990 – 2010), (Jones, 2022) και έχει προκληθεί κυρίως από την ανθρώπινη δραστηριότητα και λιγότερο από φυσικά φαινόμενα (ηφαιστειακή δραστηριότητα, πυρκαγιές κ.α.).

Μελετώντας την επίδραση της ανθρώπινης δραστηριότητας, διαπιστώθηκε ότι ο κλάδος της κατασκευής είναι από τους βασικότερους συντελεστές υποβάθμισης του περιβάλλοντος. Οι κτηριακές εγκαταστάσεις προκαλούν πολλά περιβαλλοντικά προβλήματα κατά την κατασκευή, λειτουργία και κατεδάφιση τους. Πιο συγκεκριμένα, οι κτηριακές υποδομές ευθύνονται για:

- Επιβάρυνση της ατμόσφαιρας (33% όλων των εκπομπών επιβλαβών αερίων, όπως είναι το CO_2).
- Σπατάλη πεπερασμένων φυσικών πόρων (30% της εξαγωγής φυσικών πόρων και 40% όλων των υλικών που καταναλώνονται, Benachio et al., 2020).
- Σπατάλη συμβατικών μορφών ενέργειας (45% της παγκόσμιας ενέργειας, Dixon 2010)..
- Δημιουργία στερεών, υγρών και αέριων απόβλητων (40% ρύπανσης υδάτων & στερεών αποβλήτων στις πόλεις, Dixon, 2010).

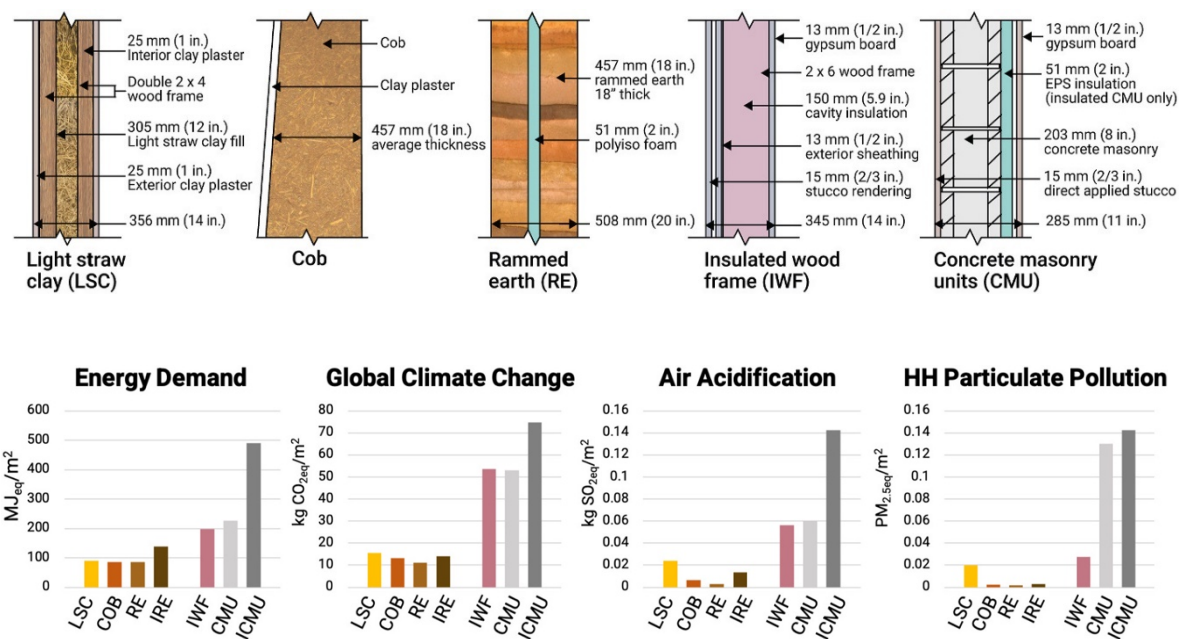
Παρατηρείται, λοιπόν, πως οι κατασκευές επηρεάζουν ποικιλοτρόπος το περιβάλλον.

Στη σύγχρονη εποχή, της έντονης περιβαλλοντικής υποβάθμισης, είναι σημαντικό στην κατασκευή να υπάρχει μια πιο ολιστική προσέγγιση του κτίσματος, ειδικά όσων αφορά στο κόστος, τη διαχείριση του έργου, την κατανάλωση ενέργειας, την εκπομπή ρύπων και την εναρμόνιση με τους κανόνες της κυκλικής οικονομίας. Τα κτήρια θα πρέπει να σχεδιάζονται με γνώμονα την βιοκλιματική αρχιτεκτονική και τη χαμηλή εμπεριεχόμενη ενέργεια, την επανάχρηση και την ανακύκλωση των υλικών κατασκευής.

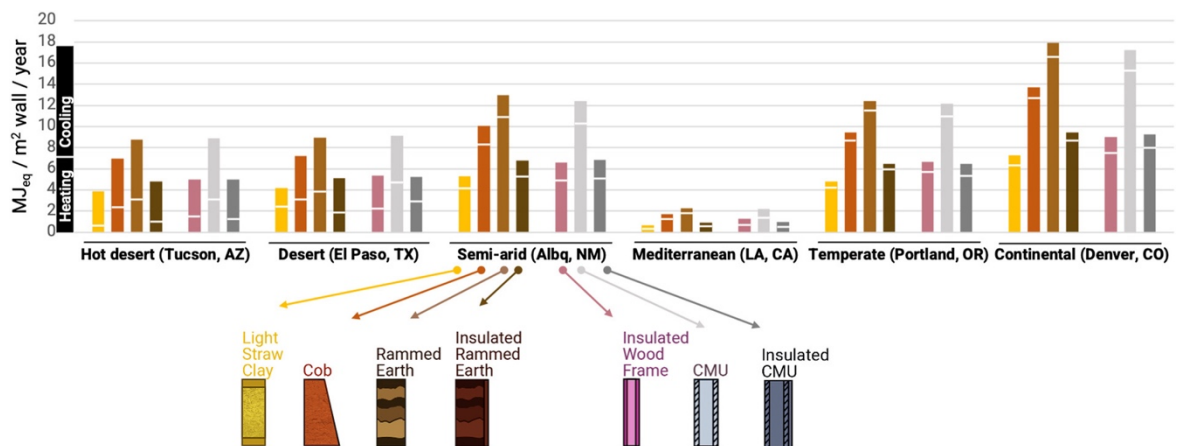
Στην Ελλάδα, με την θέσπιση του ΚΕΝΑΚ (εφαρμόζεται από 01/01/2021), έχουν τεθεί όρια που αφορούν στον βιοκλιματικό σχεδιασμό των κτιρίων, τα θερμικά χαρακτηριστικά του κελύφους τους και τις ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις τους. Όμως, ως προς την σπατάλη φυσικών πόρων, την ενεργειακή κατανάλωση και την περιβαλλοντική επιβάρυνση κατά την

επεξεργασία και μεταφορά των υλικών και την δημιουργία απορριμμάτων, δεν έχουν γίνει ουσιαστικά βήματα.

Στα πλαίσια εύρεσης κατάλληλου κατασκευαστικού υλικού, χαμηλής εμπεριεχόμενης ενέργειας που να βρίσκεται σε αφθονία στη φύση, πραγματοποιήθηκε αναζήτηση στην παραδοσιακή αρχιτεκτονική. Η παραδοσιακή αρχιτεκτονική έχει να επιδείξει πολλά παραδείγματα κατασκευών από βιώσιμα, τοπικά διαθέσιμα υλικά και έχει βασιστεί στην παρατήρηση, την εμπειρία, τις ανάγκες και τις ιδιαίτερες συνθήκες του κάθε τόπου. Από τα διαθέσιμα υλικά επιλέχθηκε ο ακατέργαστος πηλός. Στόχο της παρούσας εργασίας αποτέλεσε η διερεύνηση της καταλληλότητας του ακατέργαστου πηλού ως μέσο σύγχρονης δόμησης και η αποδοχή του από το Ελληνικό κοινό.



Διάγραμμα 7-1: Συγκριτικό διάγραμμα περιβαλλοντικών επιπτώσεων διαφόρων τύπων τοιχοποιίας. Πηγή: Ben-Alon et al., 2021



Διάγραμμα 7-2: Ετήσιες απαιτήσεις σε θέρμανση και ψύξη διαφορετικών τύπων τοιχοποιιών σε 6 διαφορετικές τοποθεσίες . Πηγή: Ben-Alon et al., 2021

Τα βασικά συστατικά του μείγματος που χρησιμοποιείται στην κατασκευή είναι: άργιλος, αδρανή υλικά (όπως η άμμος), φυτικές ίνες (π.χ. άχυρο) και νερό.

Από τη βιβλιογραφική έρευνα που διεξήχθει, διαπιστώθηκε ότι ο ακατέργαστος πηλός παρουσιάζει κάποια ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, τα οποία προσδίδουν σημαντικά πλεονεκτήματα στις κατασκευές, έναντι των συμβατικών σύγχρονων υλικών:

- Ρυθμίζει την εσωτερική υγρασία του χώρου.
- Καθυστερεί τη μετάδοση της θερμότητας στο χώρο.
- Έχει εξαιρετικές ακουστικές ιδιότητες, καθώς απορροφάει τον ήχο και περιορίζει την αντανάκλαση του.
- Απορροφάει και δεσμεύει τις πτητικές ενώσεις και τους ρύπους.
- Είναι πυράντοχο υλικό.
- Αποωθεί την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπεται από τις κεραίες της κινητής τηλεφωνίας.
- Προστατεύει τα ξύλινα στοιχεία, που βρίσκονται σε επαφή μαζί του, από τους μύκητες καθώς τα διατηρεί ξηρά.
- Υπάρχει σε αφθονία στο περιβάλλον.
- Έχει χαμηλή εμπεριεχόμενη ενέργεια.
- Είναι 100% ανακυκλώσιμος.
- Παράγει μηδενικούς ρύπους, καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του.

- Αποβαίνει πιο οικονομικός από τα συμβατικά υλικά σε βάθος χρόνου, καθώς μειώνει τα λειτουργικά κόστη των κατασκευών.
- Εναρμονίζεται με το περιβάλλον.

Παρουσιάζει όμως και σημαντικά μειονεκτήματα:

- Η σύνθεση και η ποιότητα της αργίλου ποικίλει από περιοχή σε περιοχή, με συνέπεια να ποικίλουν και τα εκάστοτε χαρακτηριστικά της.
- Παρουσιάζει ιδιαίτερη ευαισθησία όταν βρίσκεται σε επαφή με το νερό, διαβρώνεται, αποσταθεροποιείται και αναπτύσσονται έντομα στο εσωτερικό του.
- Κατά την ξήρανση του, συρρικνώνεται και δημιουργούνται ρωγμές από τις οποίες μπορεί να εισέρθει νερό στους πόρους του.
- Μειωμένη αντοχή σε μη γραμμικές καταπονήσεις (σεισμός, ανεμοπιέσεις).
- Απαιτείται επιμελής και τακτική συντήρηση.
- Δεν έχουν θεσπιστεί κανόνες και προδιαγραφές για την ασφαλή δόμηση του.

Τα πλεονεκτήματα της δόμησης με ακατέργαστο πηλό είναι σημαντικά και ως εκ τούτου αξίζει να γίνει προσπάθεια αντιμετώπισης των αρνητικών της στοιχείων, με στόχο να αποτελέσει μελλοντικά σύγχρονη βιώσιμη εναλλακτική στην κατασκευή.

Προτείνεται, λοιπόν να γίνουν οργανωμένες μελέτες και πειράματα, βασισμένες στα κατά τόπους διαφορετικά κοιτάσματα που βρίσκονται στον Ελλαδικό χώρο, ώστε να δημιουργηθεί μια βάση δεδομένων. Έπειτα θα πρέπει να προσδιοριστεί το κατάλληλο χαρμάνι για κάποιες βασικές τεχνοτροπίες δόμησης του και να οριστούν σαφείς και αυστηρές προδιαγραφές και απαιτήσεις σχεδίασης, κατασκευής και συντήρησης, ώστε να αποφεύγονται οι αστοχίες των κατασκευών.

Επιπλέον, θα πρέπει να διερευνηθεί περεταίρω η δυνατότητα συνδυασμού υλικών, όπως για παράδειγμα:

- η χρήση σιδηρού οπλισμού στην τοιχοποιία (Μπέη, 2010),
- η προσθήκη βελτιωτικών πρόσμεικτων, με προσοχή, όμως, ώστε να μην εμποδίζεται η διαπνοή και η κίνηση των υδρατμών στη μάζα του χαρμανιού.

- Ο συνδυασμός παραδοσιακών και σύγχρονων τρόπων δόμησης (οργανισμός πλήρωσης από ακατέργαστο πηλό και φέρον οργανισμός από οπλισμένο σκυρόδεμα ή μεταλλικά στοιχεία).

Βάσει όλων των παραπάνω, θα πρέπει να θεσπιστεί νομικό πλαίσιο δόμησης με ακατέργαστο πηλό, ώστε να δοθούν κατευθυντήριες γραμμές και να αποτελέσει βιώσιμη πρακτική στην κατασκευή.

Εκτός, όμως, από το κανονιστικό κομμάτι, σημασία έχει και η αποδοχή του εναλλακτικού αν και παραδοσιακού αυτού τρόπου δόμησης από το κοινό.

Συντάχθηκε, λοιπόν ένα ερωτηματολόγιο μέσω της πλατφόρμας του google drive και διανεμήθηκε μέσω ηλεκτρονικού ταχυδρομείου σε πολίτες διάφορων ηλικιακών ομάδων, ώστε να αποτυπωθεί η γνώμη του Ελληνικού κοινού. Στόχος του ερωτηματολογίου αποτέλεσε η παροχή πληροφοριών σχετικά με τη διάθεση, τις ανησυχίες και τις σκέψεις των ερωτηθέντων να κατοικήσουν σε ένα χώρο κατασκευασμένο από ακατέργαστο πηλό.

Τα συμπεράσματα είναι θετικά από πλευράς περιβαλλοντικής ευαισθητοποίησης των συμμετεχόντων. Επιπλέον, σύμφωνα με τις σκέψεις που διατυπώθηκαν, διακρίνεται έντονο ενδιαφέρον για μεταστροφή σε υλικά πιο βιώσιμα και λιγότερο επιβλαβή για το περιβάλλον. Όμως, παρόλο που οι ιδιότητες του χώρου, που περιεγραφήκαν, στο ερωτηματολόγιο φαίνονται ελκυστικές, εκφράστηκε από τους συμμετέχοντες η αμφιβολία για την εφαρμογή της δόμησης με ακατέργαστο πηλό στις σύγχρονες πόλεις, όπου υπάρχουν μεγάλες απαιτήσεις σε καθ' ύψος δόμηση. Επιπλέον, διατυπώθηκε ανησυχία για την αντοχή των φυσικών κατασκευών σε βάθος χρόνου και σχολιάστηκε η ελλιπής ενημέρωση ως προς τη φυσική δόμηση, τις δυνατότητες, τις ιδιαιτερότητες και τα μειονεκτήματα της. Ενώ λοιπόν διακρίνεται το ενδιαφέρον του κοινού ως προς πιο βιώσιμες κατασκευές, πρέπει πρώτα να μελετηθούν πιο διεξοδικά και να δοθούν ουσιαστικές λύσεις ώστε να μπορέσουν να ενταχθούν στο αστικό περιβάλλον και να τις αποδεχτεί ο κόσμος. Επιπλέον, θα πρέπει το κράτος να μεριμνήσει παρέχοντας κίνητρα και θεσμοθετώντας κανόνες/προδιαγραφές με γνώμονα την ασφάλεια των κατασκευών και κατ' επέκταση των χρηστών.

Βιβλιογραφία

Ξενόγλωσσες Βιβλιογραφικές Αναφορές

- Abeyesundara, U. G. Y., Babel, S., & Gheewala, S. (2009). A matrix in life cycle perspective for selecting sustainable materials for buildings in Sri Lanka. *Building and Environment*, 44(5), 997–1004. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.07.005>
- Allen, L., Lindberg, F., & Grimmond, C. S. B. (2011). Global to city scale urban anthropogenic heat flux: Model and variability. *International Journal of Climatology*, 31(13), 1990–2005. <https://doi.org/10.1002/joc.2210>
- Alhumayani, H., Gomaa, M., Soebarto, V., & Jabi, W. (2020). Environmental assessment of large-scale 3D printing in construction: A comparative study between cob and concrete. *Journal of Cleaner Production*, 270, 122463. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122463>
- Benachio, G. L. F., Freitas, M. do C. D., & Tavares, S. F. (2020). Circular economy in the construction industry: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 260, 121046. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121046>
- Ben-Alon, L., Loftness, V., Harries, K. A., DiPietro, G., & Hameen, E. C. (2019). Cradle to site Life Cycle Assessment (LCA) of natural vs conventional building materials: A case study on cob earthen material. *Building and Environment*, 160, 106150. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.05.028>
- Ben-Alon, L., Loftness, V., Harries, K. A., & Cochran Hameen, E. (2021). Life cycle assessment (LCA) of natural vs conventional building assemblies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 144, 110951. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110951>

Birznieks, L. (2013). *Designing and Building with Compressed Earth*.

<https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A9e28a7a6-34b0-461b-b898-a9081b51c015>

Brand, K.-W. (2015). Sustainable Development. In *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences* (pp. 812–816). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-097086-8.91094-8>

Bouhicha, M., Aouissi, F., & Kenai, S. (2005). Performance of composite soil reinforced with barley straw. *Cement and Concrete Composites*, 27(5), 617–621.
<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2004.09.013>

Building with Straw Bales by Barbara Jones—Ebook | Scribd. (n.d.). Retrieved June 15, 2022, from <https://www.scribd.com/book/371466278/Building-with-Straw-Bales-A-practical-manual-for-self-builders-and-architects>

Chan, D., & Wu, Q. (2015). Significant anthropogenic-induced changes of climate classes since 1950. *Scientific Reports*, 5, 13487. <https://doi.org/10.1038/srep13487>

Deboucha, S., & Hashim, R. (2011). *A review on bricks and stabilized compressed earth blocks*.
<https://doi.org/10.5897/SRE09.356>

Dipasquale, L., Correia, M., Mecca, S., Mileto, C., Morot-Sir, P., Vegas, F., Akermann, K., Andersson, J., Bavay, G., Bei, G., Benža, M., Berescu, C., Bertašius, R., Blums, P., Braxén-Frommer, A.-M., Bronchart, S., Buch, P., Buzás, M., Castro, A., & Guérin, R. (2011). *TERRA EUROPAE Earthen Architecture in the European Union*.

Dong, X., Soebarto, V., & Griffith, M. (2014). Strategies for reducing heating and cooling loads of uninsulated rammed earth wall houses. *Energy and Buildings*, 77, 323–331.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.03.031>

Earth construction: Field variabilities and laboratory reproducibility | Elsevier Enhanced Reader.

(n.d.). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125591>

Egenti, C., & Khatib, J. M. (2016). Sustainability of compressed earth as a construction material.

In *Sustainability of Construction Materials* (pp. 309–341). Elsevier.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100370-1.00013-5>

Effects of fibre reinforcements on properties of extruded alkali activated earthen building

materials | Elsevier Enhanced Reader. (n.d.).

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116778>

Engineering Properties of Cob as a Building Material. (n.d.). Science Alert.

<https://doi.org/10.3923/jas.2006.1882.1885>

Environment, U. N. (2021, October 25). *Emissions Gap Report 2021*. UNEP - UN Environment

Programme. <http://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2021>

Gomaa, M., Vaculik, J., Soebarto, V., Griffith, M., & Jabi, W. (2021). Feasibility of 3DP cob walls under compression loads in low-rise construction. *Construction and Building Materials*, 301,

124079. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124079>

Goodhew, S., Boutouil, M., Streiff, F., Le Guern, M., Carfrae, J., & Fox, M. (2021). Improving the thermal performance of earthen walls to satisfy current building regulations. *Energy and*

Buildings, 240, 110873. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110873>

Goodhew, S., & Griffiths, R. (2005). Sustainable earth walls to meet the building regulations.

Energy and Buildings, 37(5), 451–459. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.08.005>

Gounni, A., & Louahlia, H. (2020). Dynamic behavior and economic analysis of sustainable

building integrating cob and phase change materials. *Construction and Building Materials*, 262, 120795. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120795>

- Hall, M. R., & Swaney, W. (2012). European modern earth construction. In *Modern Earth Buildings* (pp. 650–687). Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9780857096166.5.650>
- Hamard, E., Cazacliu, B., Razakamanantsoa, A., & Morel, J.-C. (2016). Cob, a vernacular earth construction process in the context of modern sustainable building. *Building and Environment*, 106, 103–119. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.06.009>
- Hamard, E., Cammas, C., Lemercier, B., Cazacliu, B., & Morel, J.-C. (2020). Micromorphological description of vernacular cob process and comparison with rammed earth. *Frontiers of Architectural Research*, 9(1), 203–215. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2019.06.007>
- Hema, C., Messan, A., Lawane, A., Soro, D., Nshimiyimana, P., & van Moeseke, G. (2021). Improving the thermal comfort in hot region through the design of walls made of compressed earth blocks: An experimental investigation. *Journal of Building Engineering*, 38, 102148. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102148>
- Houben, H. & Guillard, H., 1989. *Earth Construction: A comprehensive guide*. 1st Edition ed. Marseille: Editions Parenthese.
- Ioannou, I., & Illampas, R. (2019). Earth masonry. In *Long-term Performance and Durability of Masonry Structures* (pp. 89–127). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102110-1.00004-2>
- Jaquin, P. (2012). History of earth building techniques. In *Modern Earth Buildings* (pp. 307–323). Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9780857096166.3.307>
- Jones, N. (2022). A lifetime of climate change. *Knowable Magazine | Annual Reviews*. <https://doi.org/10.1146/knowable-051322-1>

- Labarta, A. G. (2015). *Rammed Earth as a Construction Building Material*. Universitat Politècnica de Catalunya. Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona. Departament d'Enginyeria de la Construcció, 2015 (Grau en Enginyeria Civil).
- Laborel-Préneron, A., Aubert, J. E., Magniont, C., Tribout, C., & Bertron, A. (2016). Plant aggregates and fibers in earth construction materials: A review. *Construction and Building Materials*, 111, 719–734. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.119>
- Laborel-Préneron, A., Magniont, C., & Aubert, J.-E. (2018). Hygrothermal properties of unfired earth bricks: Effect of barley straw, hemp shiv and corn cob addition. *Energy and Buildings*, 178, 265–278. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.08.021>
- Lüthi, D., Le Floch, M., Bereiter, B., Blunier, T., Barnola, J.-M., Siegenthaler, U., Raynaud, D., Jouzel, J., Fischer, H., Kawamura, K., & Stocker, T. F. (2008). High-resolution carbon dioxide concentration record 650,000–800,000 years before present. *Nature*, 453(7193), 379–382. <https://doi.org/10.1038/nature06949>
- Maoeng, M., Edoun, E. I., & Mbohwa, C. (2020). *Sustainable development practices in the South African Construction Industry: A review of Related Literature*. 9.
- Mathur, V., Farouq, M., & Labaran, Y. H. (2021). The carbon footprint of construction industry: A review of direct and indirect emission. *Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies*, 6, 101–115. <https://doi.org/10.29187/jscmt.2021.66>
- Miccoli, Lorenzo, Rui A. Silva, Daniel V. Oliveira, and Urs Müller. “Static Behavior of Cob: Experimental Testing and Finite-Element Modeling.” *Journal of Materials in Civil Engineering* 31, no. 4 (April 2019): 04019021. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0002638](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002638).

- Miccoli, L., Müller, U., & Fontana, P. (2014). Mechanical behaviour of earthen materials: A comparison between earth block masonry, rammed earth and cob. *Construction and Building Materials*, 61, 327–339. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.03.009>
- Mills, G. (2007). Cities as agents of global change: CITIES AS AGENTS OF GLOBAL CHANGE. *International Journal of Climatology*, 27(14), 1849–1857. <https://doi.org/10.1002/joc.1604>
- Minke, G. (2001). Construction manual for earthquake-resistant houses built of earth, Eschborn: Basin.
- Minke, G. (2012). *Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture* (3rd rev. ed. edition). Birkhäuser.
- Mužíková, B., Otcovská, T. P., & Padevět, P. (2018). MODULUS OF ELASTICITY OF UNFIRED RAMMED EARTH. *Acta Polytechnica CTU Proceedings*, 15, 63–68. <https://doi.org/10.14311/APP.2018.15.0063>
- Moallemi, E. A., Malekpour, S., Hadjidakou, M., Raven, R., Szetey, K., Moghadam, M. M., Bandari, R., Lester, R., & Bryan, B. A. (2019). Local Agenda 2030 for sustainable development. *The Lancet Planetary Health*, 3(6), e240–e241. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(19\)30087-7](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(19)30087-7)
- Morel, J.-C., Bui, Q.-B., & Hamard, E. (2012). Weathering and durability of earthen material and structures. In *Modern Earth Buildings* (pp. 282–303). Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9780857096166.2.282>
- Morel, J.-C., Charef, R., Hamard, E., Fabbri, A., Beckett, C., & Bui, Q. B. (2021). Earth as construction material in the circular economy context: Practitioner perspectives on barriers to

overcome. *Philosophical Transactions of The Royal Society B Biological Sciences*, 376.

<https://doi.org/10.1098/rstb.2020.0182>

Morel, J. C., Mesbah, A., Oggero, M., & Walker, P. (2001). Building houses with local materials:

Means to drastically reduce the environmental impact of construction. *Building and*

Environment, 36(10), 1119–1126. [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(00\)00054-8](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(00)00054-8)

Mousourakis, A., Arakadaki, M., Kotsopoulos, S., Sinamidis, I., Mikrou, T., Frangedaki, E., &

Lagaros, N. D. (2020). Earthen Architecture in Greece: Traditional Techniques and

Revaluation. *Heritage*, 3(4), 1237–1268. <https://doi.org/10.3390/heritage3040068>

Nagaraj, H. B., Sravan, M. V., Arun, T. G., & Jagadish, K. S. (2014). Role of lime with cement in

long-term strength of Compressed Stabilized Earth Blocks. *International Journal of*

Sustainable Built Environment, 3(1), 54–61. <https://doi.org/10.1016/j.ijsbe.2014.03.001>

Ness, D. A., & Xing, K. (2017). Toward a Resource-Efficient Built Environment: A Literature

Review and Conceptual Model: Towards a Resource Efficient Built Environment. *Journal of*

Industrial Ecology, 21(3), 572–592. <https://doi.org/10.1111/jiec.12586>

Ngwira, S., & Watanabe, T. (2019). An Analysis of the Causes of Deforestation in Malawi: A Case

of Mwazisi. *Land*, 8(3), 48. <https://doi.org/10.3390/land8030048>

Niroumand, H., Zain, M. F. M., & Jamil, M. (2013). A guideline for assessing of critical

parameters on Earth architecture and Earth buildings as a sustainable architecture in various

countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 130–165.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.07.020>

Nouri, H., Safehian, M., & Mir Mohammad Hosseini, S. M. (2021). Life cycle assessment of

earthen materials for low-cost housing a comparison between rammed earth and fired clay

bricks. *International Journal of Building Pathology and Adaptation*, ahead-of-print(ahead-of-print). <https://doi.org/10.1108/IJBPA-02-2021-0021>

Oikonomou, A., & Bougiatioti, F. (2011). Architectural structure and environmental performance of the traditional buildings in Florina, NW Greece. *Building and Environment*, 46(3), 669–689. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.09.012>

Pacheco-Torgal, F., & Jalali, S. (2012). Earth construction: Lessons from the past for future eco-efficient construction. *Construction and Building Materials*, 29, 512–519. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.10.054>

Painuly, J. P., Park, H., Lee, M.-K., & Noh, J. (2003). Promoting energy efficiency financing and ESCOs in developing countries: Mechanisms and barriers. *Journal of Cleaner Production*, 11(6), 659–665. [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(02\)00111-7](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(02)00111-7)

Pearson, G. T., 1992. Conservation of Clay and Chalk Buildings. 1st Edition ed. London: Donhead Publishing.

Pullen, Quinn M. 2009. Strength and Composition of Willamette Valley Cob: An Earthen Building Material. : Oregon State University.

Rossi, J., Bianchini, A., & Guarnieri, P. (2020). Circular Economy Model Enhanced by Intelligent Assets from Industry 4.0: The Proposition of an Innovative Tool to Analyze Case Studies. *Sustainability*, 12(17), 7147. <https://doi.org/10.3390/su12177147>

Sangma, S., & Tripura, D. D. (2020). Experimental study on shrinkage behaviour of earth walling materials with fibers and stabilizer for cob building. *Construction and Building Materials*, 256, 119449. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119449>

- Sangma, S., & Tripura, D. D. (2021). Flexural strength of cob wallettes reinforced with bamboo and steel mesh. *Construction and Building Materials*, 272, 121662.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121662>
- Saxton, R. H. (1995). *Performance of cob as a building material*. 73, 111–115.
- Schroeder, H. (2012). Modern earth building codes, standards and normative development. In *Modern Earth Buildings* (pp. 72–109). Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9780857096166.1.72>
- Spence, R., & Mulligan, H. (1995). Sustainable development and the construction industry. *Habitat International*, 19(3), 279–292. [https://doi.org/10.1016/0197-3975\(94\)00071-9](https://doi.org/10.1016/0197-3975(94)00071-9)
- Stazi, F., Nacci, A., Tittarelli, F., Pasqualini, E., & Munafò, P. (2016). An experimental study on earth plasters for earthen building protection: The effects of different admixtures and surface treatments. *Journal of Cultural Heritage*, 17, 27–41.
<https://doi.org/10.1016/j.culher.2015.07.009>
- Turco, C., Paula Junior, A. C., Teixeira, E. R., & Mateus, R. (2021). Optimisation of Compressed Earth Blocks (CEBs) using natural origin materials: A systematic literature review. *Construction and Building Materials*, 309, 125140.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125140>
- Uzoegbo, H. C. (2020). Dry-stack and compressed stabilized earth-block construction. In *Nonconventional and Vernacular Construction Materials* (pp. 305–350). Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102704-2.00012-3>
- Vyncke, J., Kupers, L., & Denies, N. (2018). Earth as Building Material – an overview of RILEM activities and recent Innovations in Geotechnics. *MATEC Web of Conferences*, 149, 02001.
<https://doi.org/10.1051/mateconf/201814902001>

- Yahya, K., & Boussabaine, H. (2010). Quantifying Environmental Impacts and Eco-costs from Brick Waste. *Architectural Engineering and Design Management*, 6(3), 189–206.
<https://doi.org/10.3763/aedm.2009.0106>
- Yang, F., Ye, B., He, H., Ma, Y., Cadle, S., Chan, T., & Mulawa, P. (2005). Characterization of Atmospheric Mineral Components of PM_{2.5} in Beijing and Shanghai, China. *The Science of the Total Environment*, 343, 221–230. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.10.017>

Ελληνόγλωσσες Βιβλιογραφικές Αναφορές

- Αργυρίου Α., Γιαννούλη Μ., (2010), Ενεργειακή Περιβαλλοντική & Φυσική, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις: ΑΡΑΚΥΝΘΟΣ.
- Ιγνατάκης, Χ. (1991). *Αναλυτική έρευνα της απόκρισης τοιχοποιίας υπό μονότονη επίπεδη καταπόνηση μέχρις αστοχίας* [Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο
- Καραβούτας, Κ. (2012). *Κανονισμοί για τη δόμηση με χώμα. Παρουσίαση εφαρμογής στα Τρίκαλα*. Retrieved May 12, 2022, from <https://www.teemag.gr/ftp/2012/Katavoutas.pdf>
- Σπυροπούλου, Π., Spyropoulou, P., Τσακαλάκη, Ε., & Tsakalaki, E. (2013). *Διερεύνηση πρακτικών δόμησης στις χωμάτινες κατασκευές*. <https://doi.org/10.26240/heal.ntua.517>
- Χατζηβακαλέλης Γ. (2018). *Κλιματική Αλλαγή: πολιτικές και συνέπειες τους. Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας, πολεοδομίας & περιφερειακής ανάπτυξης*.
- Ιγνατάκης, Χ. (1991). *Αναλυτική Έρευνα της Απόκρισης Τοιχοποιίας υπό Μονότονη Επίπεδη Καταπόνηση Μέχρις Αστοχίας* [Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (ΑΠΘ). Σχολή Πολυτεχνική. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών].
<http://hdl.handle.net/10442/hedi/1725>

Κορωναίος Γ. Α., Σαργέντης Γ. Φ., “Δομικά Υλικά και Οικολογία”, Ερευνητικό Έργο, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2005.

Κοτρώτσιου Β., Φραντζεσκάκη Ε., “Μελέτη της επίδρασης του φαινομένου της αναζύμωσης στις μηχανικές ιδιότητες των αργιλικών εδαφών”, Πτυχιακή Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Δομικών Έργων, ΤΕΙ Πειραιά, 2011.

Μαχαίρας, Π. (2006). Κλιματικές Αλλαγές (Σημειώσεις). *auth.gr. Θεσσαλονίκη: Τμήμα Εκδόσεων ΑΠΘ*. Ανακτήθηκε στις 1 Δεκεμβρίου 2017

Μπέη, Γ. (2004). *Διατριβή: Τοιχοποιία από πηλό: Πειραματική διερεύνηση μηχανικών και φυσικών χαρακτηριστικών δομικών μονάδων και τοίχων από συμπιεσμένες ωμοπλίνθους. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Θεσσαλονίκη.*

Μποχλου, Α. (2019). *Καινοτόμα Δομικά Υλικά για Κτίρια Χαμηλού Περιβαλλοντικού Αποτυπώματος*. <https://apothesis.eap.gr/handle/repo/42305>

Παπαδοπούλου, Α. (2021). *Χρήση προσμίκτων για έλεγχο της αδιαβροχοποίησης σε σύγχρονα και παραδοσιακά κονιάματα.*

Διαδικτυακοί Τόποι

Climate Action. (n.d.). Retrieved December 12, 2021, from https://ec.europa.eu/clima/index_en

Climate Change: Vital Signs of the Planet. (n.d.). Climate Change: Vital Signs of the Planet.

Retrieved December 12, 2021, from <https://climate.nasa.gov/>

DHBT | Devon Historic Buildings Trust Devon Historic Buildings trust. (n.d.). DHBT. Retrieved December 12, 2021, from <https://www.dhbt.org.uk>

Maslowski, D. (2021, May 24). How To Build a Cob House with Cob Construction. *DIY Natural*. <https://www.diynatural.com/cob-house-construction/>

PricewaterhouseCoopers. (n.d.). The circular economy model. PwC. Retrieved December 12, 2021, from <https://www.pwc.com/gr/en/advisory/risk-assurance/sustainability-climate-change/circular-economy-model.html>

symeon. (2020, October 23). ΣΥΝΘΕΣΗ – ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ. *ΑΝΕΛΙΞΗ*.
<https://anelixi2020.org/domisi-piloy/synthesi-michanika-charaktiristika/>

THE 17 GOALS | Sustainable Development. (n.d.). Retrieved December 12, 2021, from
<https://sdgs.un.org/goals>

The Paris Agreement | UNFCCC. (n.d.). Retrieved November 7, 2021, from
<https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>

USGCRP. (n.d.). *Climate Science Special Report* (pp. 1–470). U.S. Global Change Research Program, Washington, DC. Retrieved December 12, 2021, from
<https://science2017.globalchange.gov/>

Building with EcoCocon. (n.d.). EcoCocon. Retrieved April 26, 2022, from
<https://ecococon.eu/se/blog/2020/building-with-ecococon-panels>

Environment, U. N. (2021, October 25). *Emissions Gap Report 2021*. UNEP - UN Environment Programme. <http://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2021>

Αίτια της κλιματικής αλλαγής. (n.d.). Retrieved November 7, 2021, from
https://ec.europa.eu/clima/climate-change/causes-climate-change_el

Ευρωπαϊκή Επιτροπή, επίσημος ιστότοπος. (n.d.). [Text]. Ευρωπαϊκή Επιτροπή - European Commission. Retrieved December 12, 2021, from https://ec.europa.eu/info/index_el

Το Ευρωπαϊκό περιβάλλον Κατασταση και προοπτικές 2020 Συνοπτική έκθεση—Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος. (n.d.). [Έκδοση/ Δημοσίευση]. Retrieved July 3, 2022, from
<https://www.eea.europa.eu/www/el/publications/to-eyropaiko-periballon-katastasi-kai>

Τρύπα Οζόντος. (n.d.). Retrieved December 12, 2021, from

<http://users.sch.gr/xtsamis/OkosmosMas/Ozon.htm>

Φυσική Δόμηση. (n.d.). Retrieved December 12, 2021, from <http://fysiki-domisi.blogspot.com/>

Φυσική δόμηση Βιοκλιματική αρχιτεκτονική Cob.gr. (n.d.). Retrieved April 26, 2022, from

<https://www.cob.gr/>

Παράρτημα Α: «Ακατέργαστος Πηλός Ερωτηματολόγιο»

Ερωτηματολόγιο με θέμα την "Δόμηση με Ακατέργαστο Πηλό"

- Το παρόν ερωτηματολόγιο συντάχθηκε στα πλαίσια της εκπόνησης μεταπτυχιακής εργασίας για το ΕΑΠ.
- Το ερωτηματολόγιο είναι ανώνυμο.
- Δεν υπάρχουν λάθος απαντήσεις.
- Μπορείτε να σταματήσετε την συμπλήρωση του ερωτηματολογίου οποιαδήποτε στιγμή.

* Required

Δημογραφικά Στοιχεία

1. Δ1. Φύλο

Mark only one oval.

- ☐ Άρρεν
- ☐ Θήλυ

2. Δ2. Ηλικία *

Mark only one oval.

- ☐ <30
- ☐ 31-49
- ☐ >50

3. Δ3. Εκπαίδευση *

Mark only one oval.

- ☐ Απόφοιτος Λυκείου
- ☐ Απόφοιτος Πανεπιστημίου
- ☐ Κάτοχος Μεταπτυχιακού
- ☐ Κάτοχος Διδακτορικού
- ☐ Other: _____

4. Δ4. Τόπος κατοικίας *

Mark only one oval.

- ☐ Πόλη
- ☐ Κωμόπολη
- ☐ Χωριό
- ☐ Νησί

Περιβάλλον

5. Π1. Σε ποιο βαθμό θεωρείτε ότι ευθύνεται η ανθρώπινη δραστηριότητα για την καταστροφή του περιβάλλοντος; *

Check all that apply.

- ☐ Καθόλου
- ☐ Λίγο
- ☐ Πολύ
- ☐ Πάρα πολύ

6. Π2. Θεωρείτε ότι χρειάζεται να ληφθούν νέα μέτρα για την προστασία του περιβάλλοντος; *

Check all that apply.

- ☐ Καθόλου
☐ Λίγο
☐ Πολύ
☐ Πάρα πολύ

7. Π3. Πιστεύετε ότι γίνεται σπατάλη των διαθέσιμων φυσικών πόρων; *

Check all that apply.

- ☐ Καθόλου
☐ Λίγο
☐ Πολύ
☐ Πάρα πολύ

8. Π4. Πιστεύετε ότι σχετίζεται η υποβάθμιση του περιβάλλοντος με την κλιματική αλλαγή; *

Check all that apply.

- ☐ Καθόλου
☐ Λίγο
☐ Πολύ
☐ Πάρα πολύ

9. Π5. Ποια θεωρείτε ότι είναι η κυριότερη πηγή επιβάρυνσης του περιβάλλοντος *

Check all that apply.

- ☐ Βιομηχανία
☐ Μεταφορές
☐ Κατασκευή
☐ Απόβλητα
☐ Other: _____

Κατασκευή

10. Κ1. Πιστεύετε ότι η επιβάρυνση του περιβάλλοντος που οφείλεται στις κατασκευές πρέπει να αντιμετωπιστεί άμεσα; *

Mark only one oval.

- ☐ Καθόλου
☐ Λίγο
☐ Πολύ
☐ Πάρα πολύ

11. Κ2. Ποια από τα παρακάτω στοιχεία σε ένα κτήριο θεωρείτε ότι επιβαρύνουν περισσότερο το περιβάλλον; *

Mark only one oval.

- ☐ Κλιματισμός/Θέρμανση
☐ Υλικά κατασκευής
☐ Ηλεκτρικές Συσκευές
☐ Απορρίμματα/ Απόβλητα
☐ Όλα τα παραπάνω
☐ Other: _____

12. K3. Ποια από τα παρακάτω στοιχεία θεωρείτε ότι μπορούν να βελτιώσουν *
το περιβαλλοντικό αποτύπωμα (σύνολο επιπτώσεων στο περιβάλλον)
ενός κτηρίου ;

Mark only one oval.

- ☐ Προσανατολισμός
- ☐ Μέγεθος και τύπος ανοιγμάτων
- ☐ Υλικά κατασκευής
- ☐ Απορρίμματα/ Απόβλητα
- ☐ Όλα τα παραπάνω
- ☐ Other: _____

13. K4. Ποια από τα παρακάτω στοιχεία θεωρείτε ότι είναι επιβλαβή για την *
υγεία των χρηστών ενός κτηρίου;

Mark only one oval.

- ☐ Κλιματισμός
- ☐ Χρωματισμοί/ Επιχρίσματα
- ☐ Ηλεκτρικές συσκευές
- ☐ Καθαριστικά
- ☐ Όλα τα παραπάνω
- ☐ Other: _____

Δόμηση με Φυσικά Υλικά

14. Φ1. Θα σας ενδιέφερε να κατοικήσετε σε ένα χώρο κατασκευασμένο από φυσικά υλικά; *

Mark only one oval.

- ☐ Καθόλου
☐ Λίγο
☐ Πολύ
☐ Πάρα πολύ

15. Φ2. Γνωρίζετε ότι το κτήριο με τοίχους από φυσικά υλικά, μπορεί να έχει φέροντα στοιχεία (κολώνες, δοκάρια, πλάκες) από οπλισμένο σκυρόδεμα (μπετό) ή μεταλλικά στοιχεία; *

Mark only one oval.

- ☐ Καθόλου
☐ Λίγο
☐ Πολύ
☐ Πάρα πολύ

16. Φ3. Ποιο από τα παρακάτω φυσικά υλικά θα θεωρούσατε πιο κατάλληλο για την κατασκευή του σπιτιού σας; *

Mark only one oval.

- ☐ Πέτρα
☐ Ξύλο
☐ Ακατέργαστος Πηλός (μείγμα λάσπης, άμμου και άχυρου)
☐ Τσατμάς (ξύλινος σκελετός που γεμίζεται με χαλίκι, κεραμικά στοιχεία και πηλό)
☐ Κανένα
☐ Other: _____

17. Φ4. Ποιος από τους παρακάτω παράγοντες λειτουργεί ανασταλτικά στο να κατοικήσετε σε ένα χώρο κτισμένο από φυσικά υλικά; *

Mark only one oval.

- ☐ Αντοχή σε σεισμό
- ☐ Υγρασία
- ☐ Ακραία καιρικά φαινόμενα
- ☐ Πρακτικότητα
- ☐ Other: _____

Ακατέργαστος πηλός

18. A1. Γνωρίζετε τι είναι οι κατασκευές από ακατέργαστο πηλό (κατασκευή τοίχων από μείγμα λάσπης, άμμου και άχυρου); *

Mark only one oval.

- ☐ Καθόλου
- ☐ Λίγο
- ☐ Πολύ
- ☐ Πάρα πολύ

19. A2. Γνωρίζοντας ότι οι κατασκευές από ακατέργαστο πηλό ρυθμίζουν την εσωτερική υγρασία και θερμοκρασία του χώρου, διασφαλίζοντας έτσι ένα ευχάριστο περιβάλλον, θα σας ενδιέφερε ως υλικό κατασκευής; *

Mark only one oval.

- ☐ Καθόλου
- ☐ Λίγο
- ☐ Πολύ
- ☐ Πάρα πολύ

20. A3. Γνωρίζοντας ότι ο ακατέργαστος πηλός μπορεί να δεσμεύσει επιβλαβείς ουσίες (πτητικές ενώσεις όπως: χρωματισμοί, σπρέι, επιχρίσματα κτλ.), παρέχοντας ένα πιο υγιές περιβάλλον για τον άνθρωπο, θα σας ενδιέφερε ως υλικό κατασκευής; *

Mark only one oval.

- ☐ Καθόλου
- ☐ Λίγο
- ☐ Πολύ
- ☐ Πάρα πολύ

21. A4. Έχετε δει σπίτια κατασκευασμένα από ακατέργαστο πηλό; *

Mark only one oval.

- ☐ Καθόλου
- ☐ Λίγο
- ☐ Πολύ
- ☐ Πάρα πολύ

22. Α5. Σας αρέσει η αισθητική των κτισμάτων από ακατέργαστο πηλό; *



Mark only one oval.

- ☐ Καθόλου
- ☐ Λίγο
- ☐ Πολύ
- ☐ Πάρα πολύ

23. Α6. Γνωρίζετε ότι παγκοσμίως υπάρχουν κατασκευές από ακατέργαστο πηλό που διατηρήθηκαν εδώ και αιώνες; *

Mark only one oval.

- ☐ Καθόλου
- ☐ Λίγο
- ☐ Πολύ
- ☐ Πάρα πολύ

24. A7. Θα σας ενδιέφερε να κατοικήσετε σε σπίτι που είναι φτιαγμένο από * ακατέργαστο πήλο;

Mark only one oval.

- ☐ Καθόλου
- ☐ Λίγο
- ☐ Πολύ
- ☐ Πάρα πολύ

25. A8. Αν για την κατασκευή του χωμάτινου τοίχου χρησιμοποιούνταν νέες * καινοτόμες μέθοδοι, π.χ. με μηχανικά μέσα θα νιώθατε πιο ασφαλείς με την κατασκευή;

Mark only one oval.

- ☐ Καθόλου
- ☐ Λίγο
- ☐ Πολύ
- ☐ Πάρα πολύ

26. A9. Θέλετε να συμπληρώσετε κάτι άλλο; *

.....

.....

.....

.....

.....

Υπεύθυνη Δήλωση Συγγραφέα:

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν.1599/1986, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης.