

Μηχανική-περιβαλλοντική συμπεριφορά και εφαρμογές της άψητης γης



Γ.-ΦΟΙΒΟΣ ΣΑΡΓΕΝΤΗΣ

Δρ. Μηχανικός



ΣΥΛΛΟΓΟΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΩΝ
ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΥΧΩΝ
ΑΝΩΤΑΤΩΝ ΣΧΟΛΩΝ/
ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΑ ΕΝΩΣΗ
ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΩΝ



ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ
ΤΗΣ ΓΗΣ

ΒΟΛΟΣ 2018

Μηχανική-περιβαλλοντική συμπεριφορά και εφαρμογές της άψητης γης

Σχετικές παρουσιάσεις:

Μηχανικοί της Γης (www.engoe.gr) σε συνεργασία με το Εργαστήριο Τεχνικών Υλικών Ε.Μ.Π.
Ιούλιος του 2014, Ιούλιος του 2015 και Ιούνιος του 2016

Δόμηση με Χώμα

Σεμινάριο
Κτήρια από χώμα

Διαλέξεις
+ Κατασκευές με τα χέρια



15:30 - 20:00 Παρασκευή 20/06/2014

Εργαστήριο Τεχνικών Υλικών (3^{ος} Όροφος) - Κτήριο Ανταρής Υλικών
Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου

FREE

Για περισσότερες πληροφορίες
www.engoe.gr
www.ntua.gr/vitruvius

ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ ΤΗΣ ΓΗΣ
ENGINEERS OF THE EARTH

Κατασκευές με Άψητη Γη

Διαλέξεις > Εργαστήριο



16:00-19:00 Παρασκευή 26/06/2015

Εργαστήριο Τεχνικών Υλικών
Σχολής Αρχιτεκτόνων Μηχανικών ΕΜΠ
Κτήριο Ανταρής Υλικών (3^{ος} Όροφος)
Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου

Για περισσότερες πληροφορίες
www.engoe.gr
www.ntua.gr/vitruvius

ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ ΤΗΣ ΓΗΣ
ENGINEERS OF THE EARTH

5^ο Σεμινάριο

Δόμηση με Χώμα

Διαλέξεις και ανοιχτό εργαστήριο
ανάλυσης και σύνθεσης γεωκοιμημάτων



Τετάρτη 1 Ιουνίου 2016, 16:00-19:00

Εργαστήριο Τεχνικών Υλικών, 3^{ος} όροφος κτηρίου
Ανταρής Υλικών, Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου

Για περισσότερες πληροφορίες
www.engoe.gr
www.ntua.gr/vitruvius

ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ ΤΗΣ ΓΗΣ
ENGINEERS OF THE EARTH



ΣΥΛΛΟΓΟΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΩΝ
ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΥΧΩΝ ΑΝΩΤΑΤΩΝ
ΣΧΟΛΩΝ/ ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΑ ΕΝΩΣΗ
ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΩΝ



ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ ΤΗΣ ΓΗΣ

Στοιχεία επικοινωνίας: fivos.sargentis@gmail.com

Περίοδος εκτέλεσης: 2014-2018

Ευχαριστίες: Στην Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών Ε.Μ.Π. και το Εργαστήριο Τεχνικών Υλικών του Ε.Μ.Π. στο οποίο εκπονήθηκαν τα πειράματα που συμπεριλαμβάνονται στην παρούσα εργασία.

Βόλος, 26.5.2018

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κατάλογος εικόνων	5
Εισαγωγή	6
1 Κατασκευές από άψητη γη	8
1.1 Γενικά.....	8
1.2 Κατασκευή με πλίνθους.....	8
1.3 Ξυλόπηκτοι τοίχοι (τσατμάς-μπαγδατί).....	9
1.4 Ζυμωτός πηλός (cob).....	10
1.5 Συμπυκνωμένη γη (rammed earth).....	10
1.6 Σάκοι με γη.....	10
1.7 Άλλες τεχνικές με άψητη γη.....	11
1.8 Κανονισμοί και προσαρμογή στην Ελληνική πραγματικότητα.....	11
2 Περιβαλλοντική συμπεριφορά	12
2.1 Γενικά.....	12
2.2 Αφθονία στη φύση.....	12
2.3 Μικρή ενσωματωμένη ενέργεια.....	12
2.4 Τοξική συμπεριφορά, αέριοι ρύποι.....	12
2.5 Ανακύκλωση.....	12
2.6 Συνθήκες εσωτερικού χώρου.....	12
3 Πρώτες ύλες	14
3.1 Η άψητη γη ως γεωκονίαμα.....	14
3.2 Χώμα.....	14
3.3 Άργιλος.....	14
3.4 Ιλύς.....	14
3.5 Αδρανή υλικά.....	14
3.6 Κανονικό νερό.....	15
3.7 Άλλα πρόσθετα.....	15

4	Εργαστηριακές δοκιμές	16
4.1	Γενικά.....	16
4.2	Άργιλος	16
4.3	Άμμος.....	18
4.4	Νερό	19
4.5	Σύνθεση των υλικών	19
4.6	Προσδιορισμός κατάλληλου ποσοστού αργίλου στο γεωκονίαμα	19
4.7	Εύρεση κανονικού νερού	20
4.8	Συστολές ξήρανσης και μηχανικές αντοχές	22
4.9	Πως μεταβάλλονται τα χαρακτηριστικά του υλικού.....	23
5	Συμπεράσματα	27
6	Βιβλιογραφία	28
7	Παράρτημα	1

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1.1: Κατοικία από πλίνθους στην περιοχή του Παλαιού Φαλήρου στην Αθήνα	9
Εικόνα 1.2: Πειραματικοί πλίνθοι στο εργαστήριο	9
Εικόνα 1.3: Πειραματικός ξυλόπηκτος τοίχος στο εργαστήριο	10
Εικόνα 4.1: Προσδιορισμός της μηχανικής σύστασης του εδάφους με την μέθοδο Βουγιούκου [πηγή Γασπαράτος 2011]	17
Εικόνα 4.2: Τριγωνικό πλέγμα απεικόνισης. Το κονίαμα του παραδείγματος κατατάσσεται στον «αργιλώδη πηλό»	17
Εικόνα 4.3: Σύγκριση της κοκκομετρικής διαβάθμισης ποιοτήτων άμμου	18
Εικόνα 4.4: Δοκιμή κοκκομετρικής ανάλυσης (φωτογραφίες Ramin Ant)	19
Εικόνα 4.5: Σύνθεση χρώματος και αδρανών	20
Εικόνα 4.6: Αναμικτήρας κονιαμάτων [πηγή Κορωναίος 2005]	21
Εικόνα 4.7: Τράπεζα εξαπλώσεως [πηγή Κορωναίος 2005]	21
Εικόνα 4.8: Εξέταση δοκιμίου στην τράπεζα εξαπλώσεως	22
Εικόνα 4.9: Μήτρες για πρίσματα 40*40 *160 mm (Feret) [πηγή Κορωναίος 2005]	22
Εικόνα 4.10: Εργαστηριακές μήτρες για διάφορες δοκιμές	23
Εικόνα 4.11: Πειραματικές διατάξεις και αποτελέσματα αντοχής σε θλίψη και κάμψη τριών σημείων κονιαμάτων άψητης γης	23
Εικόνα 4.12: Πειραματική διάταξη του δυναμικού μέτρου ελαστικότητας E	24
Εικόνα 4.13: Μεταβολή του δυναμικού μέτρου ελαστικότητας E κατά την διάρκεια ξήρανσης 5 εβδομάδων δοκιμίου άψητης γης	24
Εικόνα 4.14: Μεταβολή όγκου κονιαμάτων με άψητη γη $\Delta V/V$ (%)	25
Εικόνα 4.15: Αντοχή σε θλίψη και κάμψη τριών σημείων κονιαμάτων άψητης γης σε MPa	26

Εισαγωγή

"...συνέταξε δὲ Φαραὼ τοῖς ἐργοδιώκταις τοῦ λαοῦ καὶ τοῖς γραμματεῦσι λέγων· οὐκέτι προστεθήσεσθε διδόναι ἄχυρον τῷ λαῷ εἰς τὴν πλινθουργίαν καθάπερ χθὲς καὶ τρίτην ἡμέραν· ἀλλ' αὐτοὶ πορευέσθωσαν καὶ συναγαγέτωσαν ἑαυτοῖς ἄχυρα..."»

Π. Διαθήκη Έξοδος Κεφ. 5

Κατασκευές από άψητη γη δημιουργούνται από αρχαιοτάτων χρόνων, αλλά η χρήση σύγχρονων υλικών με τυποποίηση και καλύτερες μηχανικές αντοχές έχει βάλει την τεχνική αυτή στο περιθώριο της σύγχρονης κατασκευής.

Στον Ελλαδικό χώρο, οι κατασκευές από άψητη γη (κυρίως ωμές πλίνθους) έχουν ιστορία διάρκειας τουλάχιστον 7000 χρόνων, από τη μέση Νεολιθική περίοδο, ως τα τέλη της δεκαετίας του 1960 οπότε και ο πηλός αντικαταστάθηκε από σύγχρονα υλικά.

Η άψητη γη αποτελούσε βασικό υλικό δομής των κατασκευών, ως μέρος του φέροντος συστήματος μιας κατασκευής, ως στοιχείο πλήρωσης και ως τελική στρώση της κατασκευής (επίχρισμα). Χρησιμοποιήθηκε στις παραδοσιακές κατασκευές, στις αποκαταστάσεις κτηρίων αλλά και ως θεμελιώδες υλικό στη δόμηση.

Η αφθονία της στη φύση και η οικολογική της συμπεριφορά έχει προσελκύσει τα τελευταία χρόνια το ενδιαφέρον για τη χρήση του στην σύγχρονη αρχιτεκτονική. Η δόμηση με άψητη γη, με ωμές πλίνθους και ξηλόπηκτους τοίχους, συστήματα πολύ γνωστά στην παραδοσιακή αρχιτεκτονική, επανέρχονται στο προσκήνιο με αφετηρία την προώθηση των n- ZEB και Deep Green κατασκευών.

Επειδή όμως το υλικό αυτό δεν είναι τυποποιημένο και δεν υπάρχει κάποια βιομηχανική διαδικασία που να το υποστηρίζει, για να δημιουργήσουμε μία κατασκευή από άψητη γη, πρέπει να διακρίνουμε ότι αυτή είναι ένα κονίαμα (γεωκονίαμα) το οποίο αποτελείται από:

1. Την άργιλο (την συνδετική κονία του κονιάματος)
2. Την ιλύ (την εξαιρετικά λεπτόκοκκη αδρανή άμμο)
3. Τα αδρανή (άμμο, χαλίκια)
4. Το νερό που θα χρησιμοποιήσουμε για να γίνει το κονίαμα εργάσιμο και να διαμορφωθεί

Στα πλαίσια αυτά μπορούμε να ελέγξουμε το γεωκονίαμα που θα παρασκευάσουμε και θα χρησιμοποιήσουμε.

Υπάρχουν διάφορες εμπειρικές μέθοδοι (Σαργέντης 2010) και πολλές εργαστηριακές δοκιμές (Minke 2008) για να προσδιορίσουμε την αναλογία των πρώτων υλών που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε αλλά στόχος αυτής της εργασίας είναι, να παρουσιάσει τις κατάλληλες εργαστηριακές δοκιμές με τις οποίες προσδιορίζεται εύκολα και αξιόπιστα το ποσοστό της άργιλου στο χώμα, το ποσοστό των αδρανών υλικών και η ποσότητα του κανονικού νερού που είναι απαραίτητη για να παραχθεί ένα αξιόπιστο γεωκονίαμα το

οποίο θα ελεγχθεί με την παρασκευή δοκιμίων που θα σπάσουν μετά από 28 ημέρες, 3 και 6 μήνες σε εργαστηριακές συσκευές για να διαπιστωθούν οι μηχανικές αντοχές του.

1 Κατασκευές από άψητη γη

1.1 Γενικά

Η “Low-Tech architecture” (μία τεχνική και όχι τεχνολογική αρχιτεκτονική) είναι μια αρχιτεκτονική η οποία εστιάζει στην δημιουργία αρχιτεκτονημάτων που αποφεύγουν να χρησιμοποιούν «τεχνολογία» σε κάθε στάδιο του κύκλου ζωής τους (μέθοδος κατασκευής, υλικά και χρήση της κατασκευής).

Γενικά, πίσω από κάθε δομικό υλικό «κρύβεται» τεχνολογία και απαιτείται ενέργεια για να παραχθεί και να μεταφερθεί στον τόπο χρήσης του.

Έτσι, κάθε υλικό, έχει ενεργειακό, οικονομικό και περιβαλλοντικό κόστος.

Κριτήριο της “Low-Tech architecture” είναι η αποφυγή της χρήσης τεχνολογίας και της κατανάλωσης ενέργειας καθώς και η ελαχιστοποίηση του οικονομικού κόστους.

Ζητούμενο είναι: τα υλικά της να μην καταναλώνουν ενέργεια για την παραγωγή-μεταφορά τους, να είναι διαθέσιμα στην φύση, να έχουν υποστεί την ελάχιστη δυνατή επεξεργασία, ή να προέρχονται από επανάχρηση/ανακύκλωση για να έχουν το ελάχιστο οικονομικό κόστος.

Ανάλογα με την περιοχή, το κλίμα και τις διαθέσιμες πρώτες ύλες, οι κατασκευές “Low-Tech architecture” καθοδηγούνται και από τις κατασκευαστικές παραδόσεις του κάθε τόπου στις οποίες μπορεί να «κρύβονται» διάφορες ενδιαφέρουσες τεχνικές προτάσεις και λύσεις.

Όσον αφορά την δική μας περιοχή, μια χαρακτηριστική έκφραση της “Low-Tech architecture” είναι η αρχιτεκτονική με τη γη, η οποία παλαιότερα είχε ευρύ πεδίο εφαρμογής που σήμερα δεν υπάρχει. Στην απαξίωσή της συνέβαλε και το γεγονός ότι δεν υπάρχει η σχετική βιομηχανία παραγωγής τεχνικών υλικών που να την υποστηρίζει.

Εξάλλου, λόγω της ευκολίας της προμήθειας-χρήσης και εφαρμογής του υλικού, τα προϊόντα της αρχιτεκτονικής αυτής, έχουν χαρακτηριστεί και ως «αρχιτεκτονική για τους φτωχούς» (Fathy 2010).

Αλλά η αρχιτεκτονική με τη γη είναι μια διαδικασία η οποία δημιουργεί εύκολα-γρήγορα-οικονομικά και οικολογικά ένα κέλυφος ιδανικών συνθηκών για κάθε άνθρωπο έτσι, στην σύγχρονη κατασκευαστική σκέψη και στα πλαίσια της “Low-Tech architecture”, επικαιροποιούνται και εφευρίσκονται νέες τεχνικές έτσι ώστε η γη να γίνει υλικό και να βρει πεδίο εφαρμογής και στην σύγχρονη δόμηση.

Κυριότερες από τις τεχνικές αυτές είναι:

1.2 Κατασκευή με πλίνθους

Λάσπη και άχυρο μορφοποιείται σε καλούπι που ξεραίνεται στο περιβάλλον (αποφεύγεται η ταχεία ξήρανσή του στον ήλιο). Το δομικό στοιχείο που προκύπτει είναι ένα συμπαγές τούβλο, το οποίο ονομάζεται και ωμό τούβλο.

Η πλίνθος έχει χρησιμοποιηθεί σε διάφορες περιοχές στην ελληνική γη, αλλά σε παλαιότερες εποχές. Σε περιοχές όπως κοντά στην Φλώρινα, τα Κορέστια στο Νομό Καστοριάς, στην Ηλεία αλλά και στον Θεσσαλικό κάμπο, τα σπίτια από πλίνθο ήταν μια συνηθισμένη κατασκευή.

Κατά την διάρκεια της Μικρασιατικής καταστροφής, τα κτήρια από πλίνθο ήταν η τεχνολογική απάντηση για την στέγαση εκατομμυρίων προσφύγων.

Ακόμα σήμερα στην Αθήνα μπορεί να δει κανείς ορισμένα από τα λιγοστά-προσφυγικά που έχουν απομείνει και ήταν κατασκευασμένα από πλίνθο.



Εικόνα 1.1: Κατοικία από πλίνθους στην περιοχή του Παλαιού Φαλήρου στην Αθήνα



Εικόνα 1.2: Πειραματικοί πλίνθοι στο εργαστήριο

1.3 Ξυλόπηκτοι τοίχοι (τσατμάς-μπαγδατί)

Ξύλινος σκελετός που επενδύεται με πηχάκια ή καλάμια ή λεπτές σανίδες ή σπανιότερα με εύκαμπτα κλαδιά δέντρων.

Πολλές φορές το κενό ανάμεσα στα ξύλινα στοιχεία του σκελετού γεμίζεται με πλίνθους ή/και με λίθινα στοιχεία.

Οι επιφάνειες των όψεων επιχρίονται με πεταχτό σοβά ή λάσπη με πρόσμικτα από άχυρο ή

γιδότριχες για οπλισμό και καλύτερη πρόσφυση στο υπόστρωμα.

Με την τεχνική αυτή κατασκευάζονται διαχωριστικοί τοίχοι και εξωτερικά τοιχοπετάσματα κυρίως στους ορόφους.

Όταν η κατασκευή ενισχύεται με διαγώνια στοιχεία και συνδέεται κατάλληλα με τα υπόλοιπα δομικά στοιχεία, προσδίδει αντισεισμικότητα στο κτήριο.

Οι ξηλόπηκτοι τοίχοι χρησιμοποιούνται σε πολλά κτήρια της παραδοσιακής αρχιτεκτονικής (βλ. παραδοσιακά κτήρια στο Πήλιο στη Β. Ελλάδα κ.α.).



Εικόνα 1.3: Πειραματικός ξυλόπηκτος τοίχος στο εργαστήριο

1.4 Ζυμωτός πηλός (cob)

Μεγάλοι σβόλοι λάσπης τοποθετούνται ως «σβολιαστό» νωπό-μαλακό τούβλο, ο ένας πάνω απ' την άλλο. Οι σβόλοι «ζυμώνονται»-συσσωματώνονται, δημιουργώντας μια μονολιθική κατασκευή.

Η τεχνική αυτή ξεκίνησε από την Δυτική Ευρώπη και δεν έχει παραδοσιακά ερείσματα κατασκευών κτηρίων στην Ελλάδα μολονότι χρησιμοποιούνταν ευρέως για την δημιουργία βοηθητικών κατασκευών όπως φούρνοι κ.λπ.

Σήμερα δραστηριοποιούνται πολλές ομάδες και συλλογικότητες σχετικά με την διάδοση της.

1.5 Συμπυκνωμένη γη (rammed earth)

Κατασκευάζεται ξύλινο καλούπι κατάλληλων διαστάσεων.

Μέσα σε αυτό τοποθετείται την λάσπη η οποία συμπυκνώνεται. Μετά την συμπύκνωση και όταν το υλικό έχει ξεραθεί-στερεοποιηθεί, το καλούπι απομακρύνεται.

Η τεχνική αυτή ξεκίνησε από την Δυτική Ευρώπη, δεν έχει ευρεία «παραδοσιακά» ερείσματα στην Ελλάδα. Λόγω όμως του ότι δημιουργεί δομικά στοιχεία με εξαιρετική υφή, έχει παρατηρηθεί ότι υπάρχει γενικά η τάση αναζήτησης της εφαρμογής της στις σύγχρονες αρχιτεκτονικές κατασκευές.

1.6 Σάκοι με γη

Σάκοι (τσουβάλια) γεμίζονται με λάσπη. Τα τσουβάλια τοποθετούνται επάλληλα (σαν

μεγάλα τούβλα) και συμπυκνώνονται. Μεταξύ των τσουβαλιών τοποθετείται αγκαθωτό συρματόπλεγμα. Το συρματόπλεγμα «μπλέκεται» με το τσουβάλι και σταθεροποιεί την κατασκευή (λειτουργεί σαν τη λάσπη στο συνηθισμένο τούβλο).

Η τεχνική αυτή βρήκε πρώτη εφαρμογή στα μεγάλα οχυρωματικά έργα του πρώτου παγκοσμίου πολέμου. Επειδή δημιουργεί εύκολα και γρήγορα ευσταθή κελύφη, σήμερα υπάρχει τάση να βρει εφαρμογή σε φτηνές κατασκευές (Sargentis 2009, Khalili 1998, Khalili 2008).

1.7 Άλλες τεχνικές με άψητη γη

Εκτός των παραπάνω εφαρμογών, έχουν εφευρεθεί ποικίλες τεχνικές έτσι ώστε η λάσπη να μορφοποιείται μέσα σε διαφόρων τύπων «καλούπια» τα οποία ενδεχομένως να ενσωματώνονται τελικά και μέσα στην ίδια την κατασκευή.

Έτσι, έχουν χρησιμοποιηθεί πλαστικά μπουκάλια, παλαιά ελαστικά κ.α. που μπορεί να αντικαταστήσουν τα τούβλα και να γίνουν υλικό κατασκευής φτηνών σπιτιών.

Άλλα υλικά όπως αχυρόμπαλες, διάφορα άχρηστα υλικά μπορούν να συνδυαστούν μεταξύ τους, με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε, να δημιουργήσουν το κέλυφος που, καλυπτόμενο με λάσπη, να μορφοποιήσει το ζητούμενο χώρο.

1.8 Κανονισμοί και προσαρμογή στην Ελληνική πραγματικότητα

Ενώ η κατασκευή από άψητη γη είναι αποδεκτές ως φέρουσες κατασκευές από κανονισμούς άλλων χωρών (όπως π.χ. της Νέας Ζηλανδίας) **δεν περιλαμβάνονται στους Ελληνικούς κανονισμούς** και δεν γίνονται αποδεκτές ως φέρουσες κατασκευές.

Ως εκ τούτου, οι κατασκευές αυτές απαιτούν έναν άλλο, ανεξάρτητο φέροντα οργανισμό που θα φέρει ασφαλώς τα φορτία της κατασκευής.

Γενικά έχει παρατηρηθεί ότι συνήθως στις διεπιφάνειες μεταξύ της άψητης γης και του σκυροδέματος ή του μετάλλου, αναπτύσσονται ρωγμές και αστοχίες ενώ το κάθε κατασκευαστικό μέλος λειτουργεί, εν γένει, ανεξάρτητα από το άλλο.

Αντίθετα, φυσικά υλικά όπως το ξύλο, έχει αποδειχθεί ότι μπορούν να συνεργαστούν καλύτερα με την άψητη γη έτσι ώστε να λειτουργούν συνεργατικά μέσα σε μια κατασκευή.

Σημειώνεται ότι για να λειτουργεί η άψητη γη ως υλικό, απαραίτητο είναι, να μην υπάρχει διαβρέχεται από το νερό της βροχής, ούτε να επηρεάζεται από την ανερχόμενη υγρασία που προέρχεται από το έδαφος γιατί σε μια τέτοια περίπτωση, το υλικό θα πλαστικοποιηθεί, ενδεχομένως θα ρευστοποιηθεί και η κατασκευή θα αστοχήσει.

2 Περιβαλλοντική συμπεριφορά

2.1 Γενικά

Αξιολογώντας την περιβαλλοντική συμπεριφορά των κατασκευών από άψητη γη, μπορούμε να διακρίνουμε τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

Το υλικό, είναι άφθονο στη φύση, έχει μικρή ενσωματωμένη ενέργεια, δεν εμφανίζει τοξική συμπεριφορά, ανακυκλώνεται εξαιρετικά, έχει μεγάλη θερμική μάζα, ρυθμίζει την υγρασία του εσωτερικού χώρου και έχει μικρό οικολογικό αποτύπωμα.

2.2 Αφθονία στη φύση

Η άψητη γη είναι ένα υλικό που βρίσκεται σε αφθονία στη φύση. Έτσι δεν απαιτείται κάποιου είδους εξόρυξη, ή άλλες δραστηριότητες που θα προκαλούσαν περιβαλλοντικά προβλήματα κατά το στάδιο της συλλογής του.

2.3 Μικρή ενσωματωμένη ενέργεια

Η άψητη γη δεν απαιτεί κάποια βιομηχανικά στάδια για την επεξεργασία της, ούτε κάποια ενέργεια για να διαμορφωθεί ως υλικό, σε αντίθεση με τα συνήθη υλικά που απαιτούν ενέργεια για την παραγωγή τους.

2.4 Τοξική συμπεριφορά, αέριοι ρύποι

Η άψητη γη δεν εμφανίζει ούτε κατά την συλλογή, ούτε κατά την επεξεργασία, ούτε κατά την χρήση τοξική συμπεριφορά.

Δεν υπάρχει πουθενά κατά την διάρκεια του κύκλου ζωής της κάποιο τοξικό απόβλητο ενώ είναι εξαιρετικά φιλικό υλικό στον χρήστη δηλαδή: μπορεί και ένας ανειδίκευτος εργάτης να χρησιμοποιήσει αυτό το υλικό χωρίς φόβο (Edwards 2000, Minke 2000).

Σε όλη την διάρκεια του κύκλου ζωής της δεν υπάρχει διαδικασία να εμφανίζονται αέριοι ρύποι μόνο κατ' εξαίρεση αν απαιτηθεί η μεταφορά της.

2.5 Ανακύκλωση

Η άψητη γη είναι ένα υλικό που ανακυκλώνεται 100%.

Η ανακύκλωσή της γίνεται εξαιρετικά εύκολα ειδικά όταν θρυμματιστεί και βραχεί.

Σημειώνεται ότι δεν απαιτείται ενέργεια για την ανακύκλωσή της.

2.6 Συνθήκες εσωτερικού χώρου

Η άψητη γη είναι υλικό με μεγάλη θερμική μάζα. Λόγω αυτού, η κατάλληλη τοποθέτησή της στην κατασκευή λειτουργεί ως αποθήκη θερμότητας και ρυθμιστής της εσωτερικής

θερμοκρασίας του κελύφους.

Λόγω του ότι η άψητη γη είναι ένα διαπερατό υλικό από την υγρασία, έχει την ιδιότητα να ρυθμίζει και την υγρασία του εσωτερικού χώρου.

Για τους παραπάνω λόγους, έχει διαπιστωθεί ότι τα κελύφη με άψητη γη δημιουργούν συνθήκες θερμικής άνεσης με ελάχιστη υποστήριξη.

3 Πρώτες ύλες

3.1 Η άψητη γη ως γεωκονίαμα

3.2 Χώμα

Για να φτιάξουμε ένα γεωκονίαμα το πρώτο πράγμα που εξετάζουμε είναι η πρώτη ύλη δηλαδή το χώμα.

Γενικά, τα βασικά συστατικά του χώματος είναι η άργιλος, η ιλύς και τα αδρανή υλικά.

3.3 Άργιλος

Άργιλος είναι τα λεπτόκοκκα, **χημικώς ενεργά** συστατικά του χώματος (διαμέτρου $< 0,002$ mm), που λειτουργούν ως φυσική συγκολλητική ύλη στο μείγμα του πηλού.

Εξαιτίας της άργιλου, το χώμα απορροφά και συγκρατεί μεγάλες ποσότητες νερού. Όταν το νερό εξατμιστεί, το χώμα στερεοποιείται και εμφανίζει δυνάμεις συνοχής, μηχανικές αντοχές και έχει εξαιρετικές φυσικές ιδιότητες.

Με την εξάτμιση του νερού, η άργιλος εμφανίζει συρρίκνωση. Η συρρίκνωση αυτή περιορίζεται με την παρουσία αδρανών και άμμου με κατάλληλη αναλογία και κατάλληλη κοκκομετρική διαβάθμιση.

3.4 Ιλύς

Τα λεπτόκοκκα, **χημικώς αδρανή** συστατικά του χώματος είναι η ιλύς (διαμέτρου $0,06 - 0,002$ mm), που απορροφά μόνο μικρές ποσότητες νερού.

Η δράση της είναι η μείωση της τριβής μεταξύ των αδρανών υλικών κατά τη διαδικασία της συμπίκνωσης.

Η ιλύς αυξάνει τη σταθερότητα των κόκκων της άμμου καθώς γεμίζει τα μεταξύ τους κενά και δεν έχει συγκολλητικές ιδιότητες.

3.5 Αδρανή υλικά

Τα χονδρόκοκκα, **χημικώς αδρανή συστατικά** του χώματος είναι τα χαλίκια, (διαμέτρου > 2 mm) και η άμμος (διαμέτρου $2 - 0,06$ mm).

Αυτά προέρχονται από τη θραύση πετρωμάτων ή τις όχθες ποταμών.

Είναι συστατικά αδρανή και σταθερά, δεν απορροφούν νερό και δεν δεσμεύουν χημικά άλλα υλικά.

Εξασφαλίζουν την αντοχή του μείγματος σε πίεση και μειώνουν σημαντικά το βαθμό συρρίκνωσης που παρουσιάζουν τα δομικά στοιχεία του πηλού κατά την ξήρανση γιατί η άργιλος, όσο στεγνώνει συστέλλεται και οι τραχείς κόκκοι της άμμου και του χαλικιού, που

έχουν σταθερό όγκο, εμποδίζουν την συρρίκνωση του γεωκονιάματος.

3.6 Κανονικό νερό

Για την σύνθεση του κονιάματος και την ενεργοποίηση της αργίλου απαιτείται η προσθήκη νερού στο μείγμα.

Το νερό που πρέπει να χρησιμοποιηθεί στο κονίαμα πρέπει να καλύπτει τις απαιτήσεις της εργασιμότητας του κονιάματος αλλά και να μην είναι περισσότερο του κανονικού γιατί επηρεάζει την ρηγμάτωσή του και τελικά τις αντοχές του υλικού.

3.7 Άλλα πρόσθετα

Για την βελτίωση των ιδιοτήτων του υλικού, στο μίγμα προστίθενται και άλλα υλικά όπως άχυρο, ασβέστης, κοπριές αγελάδας κ.α.

Σημειώνεται όμως ότι κάθε υλικό που προστίθεται στο κονίαμα, μεταβάλλει τις μηχανικές αλλά και τις θερμικές ιδιότητες του υλικού, καθώς επίσης και την συμπεριφορά του υλικού απέναντι στο νερό και γι αυτό απαιτείται περεταίρω σχετική διερεύνηση.

4 Εργαστηριακές δοκιμές

4.1 Γενικά

Ανάλογα με την κατασκευή που θέλουμε να κάνουμε προσαρμόζονται και οι αντίστοιχες εργαστηριακές δοκιμές καθώς και τα αποτελέσματα που αποδεχόμαστε.

Έτσι, διαφορετικές ανάγκες απαιτούμε από ένα δομικό υλικό όταν αυτό εξετάζεται ως π.χ. για την κατασκευή τοιχοποιίας και διαφορετικές ανάγκες (μεγάλες μηχανικές αντοχές) όταν αυτό εξετάζεται π.χ. για την κατασκευή επιχρίσματος (ελάχιστη συστολή ξήρανσης).

4.2 Άργιλος

Η άργιλος είναι η κόνια (η κόλλα) του γεωκονιάματος της άψητης γης.

Η άργιλος συνδέει τα αδρανή και δημιουργεί το πλέγμα μέσω του οποίου δομείται το στερεό σώμα.

Η άργιλος βρίσκεται σε τρεις φάσεις:

1. ρευστή, όταν περιέχει πολύ νερό
2. εργάσιμη, όταν περιέχει κανονικό νερό
3. στερεά όταν έχει ξηρανθεί

Στην φάση της διαμόρφωσης του υλικού, η άργιλος είναι εργάσιμη ενώ όταν το υλικό έχει ξηρανθεί είναι στερεά.

Υπάρχουν διάφορες εμπειρικές δοκιμές για να δοκιμάσουμε αν ένα χώμα περιέχει άργιλο και αν είναι κατάλληλο για την δημιουργία ενός δομικού στοιχείου. Έχει παρατηρηθεί όμως ότι οι δοκιμές αυτές έχουν εξαιρετικά μεγάλα σφάλματα.

Για τον ακριβή προσδιορισμό της αργίλου χρησιμοποιούμε την συσκευή που ονομάζεται «αραιόμετρο» ή μέθοδος Βουγιούκου. (Γασπαράτος 2011)

Το χώμα που εξετάζεται ξηραίνεται τρίβεται και κοσκινίζεται μέχρι 2 mm.

Ζυγίζονται 50 gr χώματος και τοποθετούνται σε κύπελλο μαζί με 40 ml διάλυμα διασποράς, που απομακρύνει παράγοντες συσσωμάτωσης και απιονισμένο νερό.

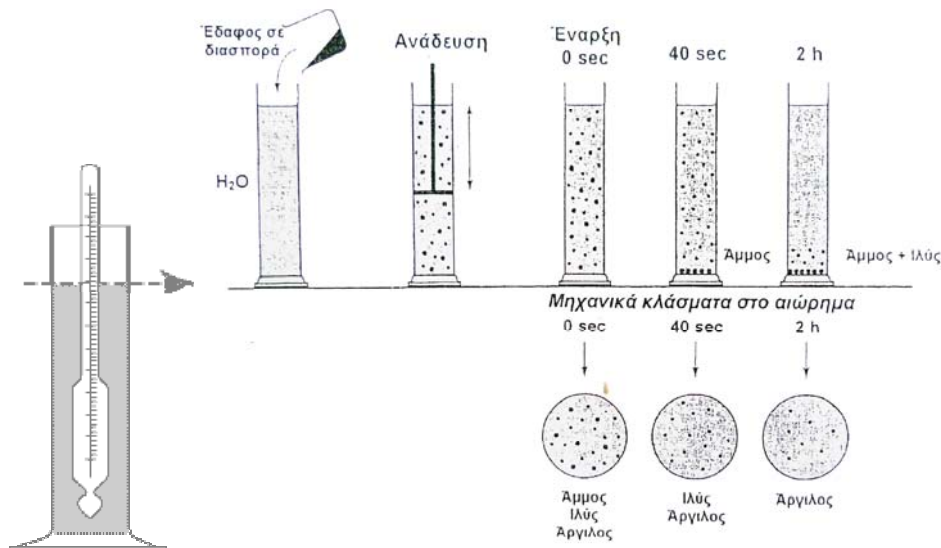
Αναδεύεται αυτό για 5 min και στην συνέχεια τοποθετείται στον βαθμονομημένο κύλινδρο όπου προστίθεται νερό μέχρι την 1η χαραγή του κυλίνδρου (1130ml) μαζί με το πυκνόμετρο.

Αφαιρείται το πυκνόμετρο από τον κύλινδρο, αναδεύεται το μείγμα και ορίζεται ο χρόνος μηδέν των μετρήσεων.

Επειδή τα χονδρόκοκα υλικά καθιζάνουν ταχύτερα απ' ό,τι τα λεπτόκοκκα εδαφικά υλικά, επιλέγονται οι χρόνοι μέτρησης της πυκνότητας με πυκνόμετρο σε κατάλληλο διάλυμα ώστε να καθιζάνει αρχικά η άμμος (μέτρηση μετά από 40 sec) και στην συνέχεια η ιλύς

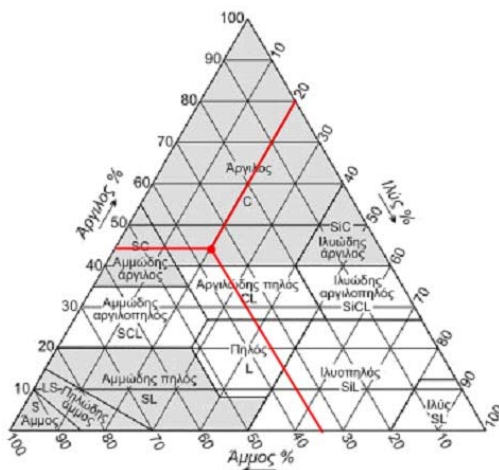
(μέτρηση μετά από 2h). Η άργιλος παραμένει σε αιώρηση.

Τέλος, μετά από τα αποτελέσματα της δοκιμής, κατατάσσεται το υλικό σύμφωνα με τα ποσοστά των διαφόρων συστατικών σε τριγωνικό πλέγμα απεικόνισης.



Εικόνα 4.1: Προσδιορισμός της μηχανικής σύστασης του εδάφους με την μέθοδο Βουγιούκου [πηγή Γασπαράτος 2011]

Αν π.χ. έχουμε 45% άργιλο, 20% ιλύς και 35% άμμο, θα είχαμε το παρακάτω διάγραμμα.



Εικόνα 4.2: Τριγωνικό πλέγμα απεικόνισης. Το κονίαμα του παραδείγματος κατατάσσεται στον «αργιλωδη πηλό»

Ξέρουμε ότι για να είναι κατάλληλο το κονίαμα για κατασκευές με άψητη γη πρέπει να περιέχει ~15% έως ~20% άργιλο (Μπέη 2004). Άρα στο χώμα του παραδείγματος, θα προσθέταμε άμμο έτσι ώστε να μειωθεί το ποσοστό της αργίλου σε αυτό.

Σημειώνεται ότι παράγοντας, που παίζει ρόλο στην μηχανική συμπεριφορά του πηλού,

είναι το είδος της αργίλου που περιέχει, αλλά αυτό δεν περιγράφεται στην παρούσα εργασία.

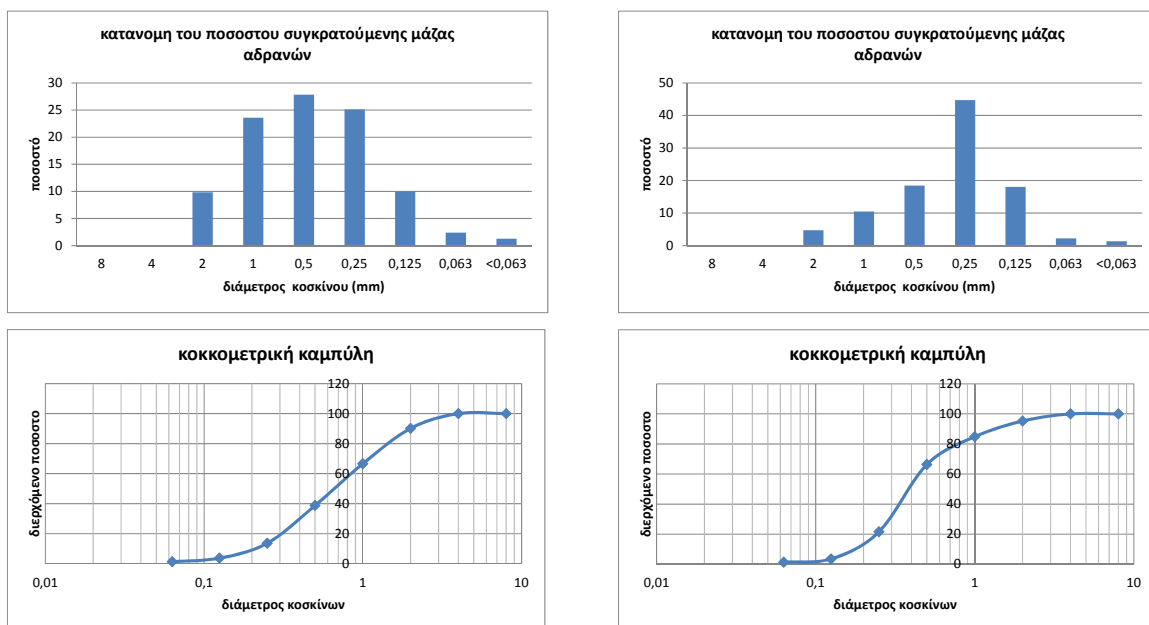
4.3 Άμμος

Η άμμος που χρησιμοποιούμε στα κονιάματα, πρέπει να είναι απαλλαγμένη από άλατα και άλλες ανεπιθύμητες προσμίξεις και να έχει καλή διαβάθμιση.

Ο προσδιορισμός της κοκκομετρικής σύνθεσής της είναι αναγκαίος για τη διαπίστωση των μηχανικών χαρακτηριστικών του χώματος και της καταλληλότητας του σε δομικές εφαρμογές και γίνεται με το πρότυπο DIN 4188.

Έτσι στα κόσκινα που χρησιμοποιούνται για να την κοσκινίσουμε [2, 1, 0,5, 0,25, 0,125, 0,062] όταν θέλουμε να φτιάξουμε π.χ. ένα συνδετικό κονίαμα, πρέπει να υπάρχει κάποια σχετική συγκράτηση, δηλαδή να μην συγκρατείται όλη η άμμος σε ένα-δύο κόσκινα.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται συγκριτικά μια καλή και μια κακή κοκκομετρική καμπύλη.

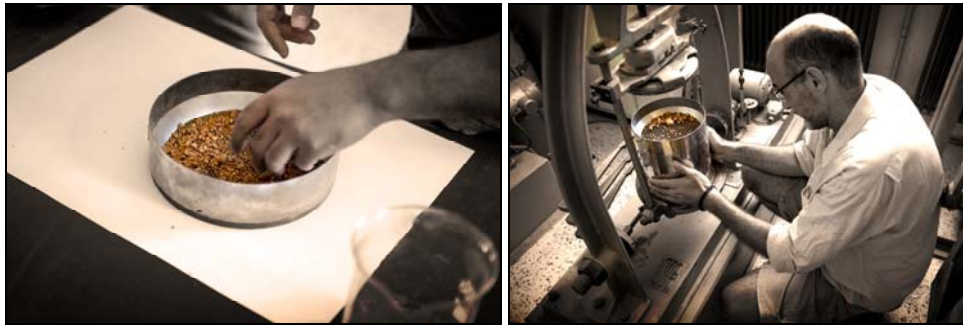


Άμμος με καλή κοκκομετρική διαβάθμιση

Άμμος με κακή κοκκομετρική διαβάθμιση

Εικόνα 4.3: Σύγκριση της κοκκομετρικής διαβάθμισης ποιοτήτων άμμου

Σημειώνεται ότι για την δημιουργία πλιθίων και άλλων δομικών στοιχείων είναι δυνατόν ο κόκκος του μεγαλύτερου αδρανούς να διαφέρει και μπορεί να είναι αποδεκτά και χαλίκια.



Εικόνα 4.4: Κοκκομετρική ανάλυση (φωτογραφίες Ραμίν Αντωνιάδης)

4.4 Νερό

Το νερό ενεργοποιεί την άργιλο του χώματος και την κάνει εργάσιμη.

Η πλασιμότητα της αργίλου επιτρέπει την διαμόρφωση του υλικού σε επιφάνειες, μάζες ή καλούπια και ανάλογα με την χρήση του, το υλικό πρέπει να είναι σφιχτό (με λίγο νερό) ή περισσότερο εργάσιμο (με περισσότερο νερό).

Όταν η άργιλος ενεργοποιηθεί με το νερό και γίνει εργάσιμη, συσσωματώνεται με άλλα υλικά και ενοποιείται με άλλα κομμάτια αργίλου.

Σημειώνεται όμως ότι απαιτείται το κατάλληλο νερό και όχι περισσότερο γιατί, αν προστεθεί περισσότερο νερό απ' ό τι χρειάζεται στην άψητη γη, δεν αυξάνονται ουσιαστικά οι μηχανικές αντοχές του υλικού, ενώ αυξάνονται οι συστολές που παρατηρούνται κατά την ξήρανσή του, με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται ρωγμές στο υλικό.

4.5 Σύνθεση των υλικών

Ανάλογα με την μορφή του κατασκευαστικού μέλλους και την εργασιμότητα του μείγματος που απαιτείται, δημιουργούνται διάφορες συνθέσεις.

Για το δομικό υλικό της άψητης γης συλλέγεται χώμα με κατά το δυνατόν λιγότερα οργανικά (ρίζες κ.λπ), κατά προτίμηση κοντά στην κατασκευή.

Το χώμα πρέπει να κοσκινιστεί και να έχει διάμετρο κόκκων μικρότερη των 2 mm. Στην συνέχεια πρέπει να βρεθεί το ποσοστό της αργίλου με την μέθοδο Βουγιούκου.

Ένα χώμα κατάλληλο για δομική χρήση υλικού με ικανοποιητικές μηχανικές αντοχές περιέχει άργιλο μεταξύ 15-20%. Αν βρεθεί π.χ. ένα ενδεικτικό αποτέλεσμα ποσοστού αργίλου έστω 25%. Πρέπει να προστεθεί άμμος η οποία θα μειώσει το ποσοστό της αργίλου.

Έρευνες και πειράματα έχουν δείξει πως το ποσοστό αργίλου του χώματος που χρησιμοποιείται σε επίχρισμα πρέπει να βρίσκεται μεταξύ 5- 12 % για να έχει μικρές συστολές ξηράνσεως και να μην εμφανίζει ρωγμές.

4.6 Προσδιορισμός κατάλληλου ποσοστού αργίλου στο γεωκονίαμα

Έστω ότι έχουμε κοσκινισμένο χώμα με διάμετρο μικρότερη των 4 mm και το

χαρκτηρίζουμε ως: x χώμα (πηλός + αδρανή)

Στο εξεταζόμενο χώμα x , έχει βρεθεί ποσοστό αργίλου = 22.5% το οποίο είναι πολύ για να είναι κατάλληλο το υλικό μας, άρα πρέπει να προσθέσουμε αδρανή (συνήθως άμμο).

Με y χαρακτηρίζουμε την ποσότητα της άμμου που πρέπει να προσθέσουμε για να γίνει κατάλληλο το κονίαμα.

Στο τελικό μείγμα ($x + y$) θα ισχύουν:

$$0.225 \cdot x \Rightarrow \text{άργιλος}$$

$$0.775 \cdot x + y \Rightarrow \text{αδρανή}$$

Επομένως για να πετύχουμε το απαιτούμενο ποσοστό αργίλου που επιλέγεται να είναι 17.5% (μέσος όρος ποσοστού καταλληλότητας του υλικού) πρέπει :

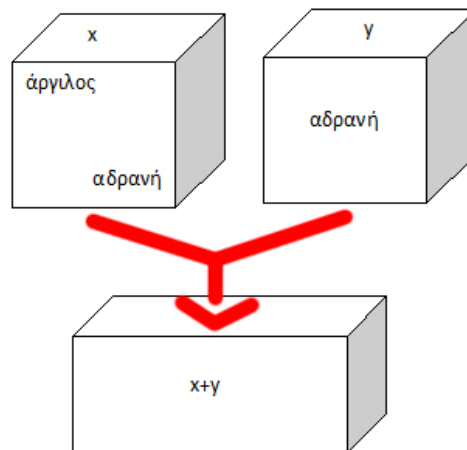
$$\frac{0.225 \cdot x}{x + y} = 0.175 \quad (1)$$

ενώ ο υπολογισμός των αδρανών προκύπτει από την σχέση :

$$\frac{(0.775 \cdot x) + y}{x + y} = 0.825 \quad (2)$$

Από τις σχέσεις (1) και (2) προκύπτει ότι $x \approx 3.5 y$ ή $y \approx 0,3 x$

Με τον τρόπο αυτό υπολογίζεται η ποσότητα των απαιτούμενων πρόσθετων αδρανών (άμμου) που πρέπει να προστεθεί στο κονίαμα έτσι ώστε αυτό να έχει περιεκτικότητα $\approx 17,5\%$ σε άργιλο.

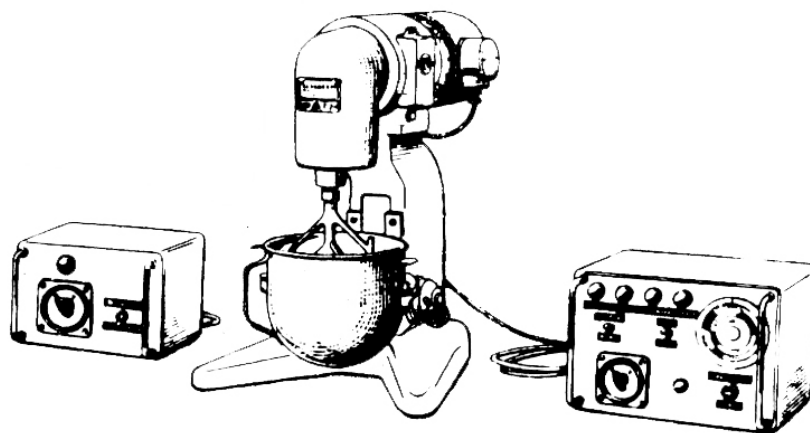


Εικόνα 4.5: Σύνθεση χώματος και αδρανών

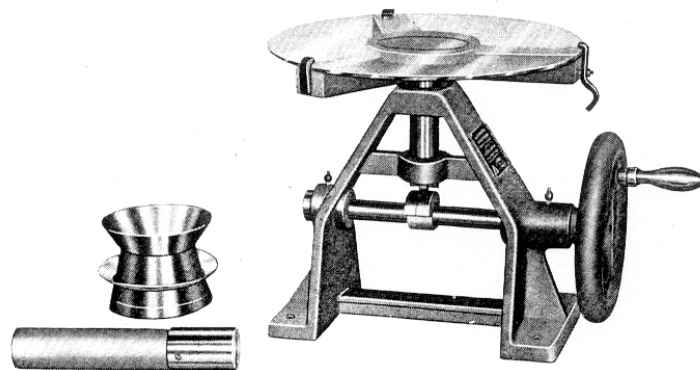
4.7 Εύρεση κανονικού νερού

Για τον προσδιορισμό του κατάλληλου-κανονικού νερού, παρασκευάζεται κονίαμα το οποίο αναμιγνύεται στον αναμικτήρα και προστίθεται σταδιακά νερό σε αυτό (περίπου 15-20%). Η ανάμιξη πρέπει να συνεχιστεί μέχρι το κονίαμα να έχει ομογενοποιηθεί και μπορεί να γίνει και με πάτημα ή και ζύμωμα.

Για να προσδιοριστεί το κανονικό νερό, τοποθετείται το κονίαμα στην τράπεζα εξάπλωσης όπου βρίσκεται κολουροκωνικό δοχείο και από πάνω η χοάνη.



Εικόνα 4.6: Αναμικτήρας κονιαμάτων [πηγή Κορωναίος 2005]



Εικόνα 4.7: Τράπεζα εξαπλώσεως [πηγή Κορωναίος 2005]

Γεμίζεται μέχρι τη μέση με κονίαμα από τον αναμικτήρα και κτυπάται ελαφρά με τον ξύλινο κόπανο 15 φορές, μετά γεμίζεται μέχρι πάνω και κτυπάται άλλες 15 φορές, οπότε αφαιρείται η χοάνη και η επιφάνεια του κονιάματος επιπεδώνεται με τη βοήθεια μεταλλικού κανόνα.

Ακολουθώς, αφαιρείται το μεταλλικό δοχείο και ο μοχλός περιστρέφεται με το χέρι 15 φορές, οπότε και γίνονται 15 κτυπήματα στην τράπεζα εξαπλώσεως. Το κονίαμα απλώνεται και η μέση τιμή δύο κάθετων διαμέτρων α_1 και α_2 είναι το μέτρο εξάπλωσης α .

Δηλαδή είναι :

$$\alpha = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} \text{ cm}$$

Η ποσότητα του νερού θεωρείται κανονική, όταν είναι $13 < \alpha < 15$ (Μπέη 2004).



Εικόνα 4.8: Εξέταση δοκιμίου στην τράπεζα εξαπλώσεως

4.8 Συστολές ξήρανσης και μηχανικές αντοχές

Για να εξεταστούν οι μηχανικές αντοχές ενός υλικού παρασκευάζονται δοκίμια, τα οποία αποτιμούνται μέσω κατάλληλων εργαστηριακών συσκευών σε 28 ημέρες, 3 και 6 μήνες..

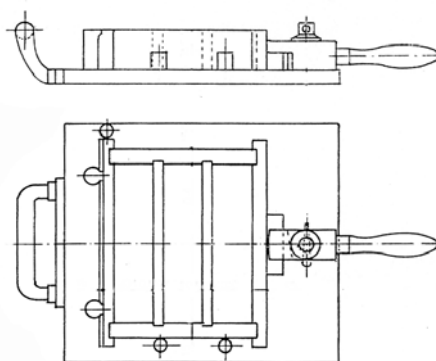
Τα δοκίμια πρέπει να έχουν διαστάσεις 40*40 *160 mm και ονομάζονται πρίσματα Feret .

Για την παρασκευή τους χρησιμοποιούνται κατάλληλες μήτρες με αντίστοιχες εσωτερικές διαστάσεις. Οι μήτρες κατασκευάζονται από σκληρό χάλυβα, και είναι τρίδομες για να είναι δυνατή η παρασκευή τριών δοκιμίων ταυτόχρονα (εικόνα 6).

Η συντήρηση των δοκιμίων γίνεται στον αέρα.

Ο προσδιορισμός των μηχανικών αντοχών γίνεται με το πρότυπο EN 1015 11:1999

Για τον προσδιορισμό της αντοχής σε κάμψη, το πρισματικό δοκίμιο του κονιάματος (διαστάσεων 4x4x16 cm), τοποθετείται στη συσκευή δοκιμής με την πλάγια πλευρά του επαπτόμενη στους κυλίνδρους στήριξης (ώστε να εξασφαλίζεται καλή επαφή των κυλίνδρων στο δοκίμιο) και με τον επιμήκη άξονά του κάθετο προς τα στηρίγματα.



Εικόνα 4.9: Μήτρες για πρίσματα 40*40 *160 mm (Feret) [πηγή Κορωναίος 2005]



Εικόνα 4.10: Εργαστηριακές μήτρες για διάφορες δοκιμές

Το δοκίμιο φορτίζεται κατακόρυφα με εφαρμογή του κυλίνδρου φόρτισης στην απέναντι πλάγια πλευρά του πρίσματος.

Για τον προσδιορισμό της αντοχής σε θλίψη, χρησιμοποιούνται τα δύο θραυσμένα μέρη των δοκιμίων που έχουν υποστεί κάμψη. Η τοποθέτησή τους γίνεται κατά το μήκος τους, στο κέντρο των πλακών της συσκευής θλίψης, με τέτοιο τρόπο ώστε το άκρο του πρίσματος να προεξέχει περίπου 10 mm από τα άκρα των πλακών.



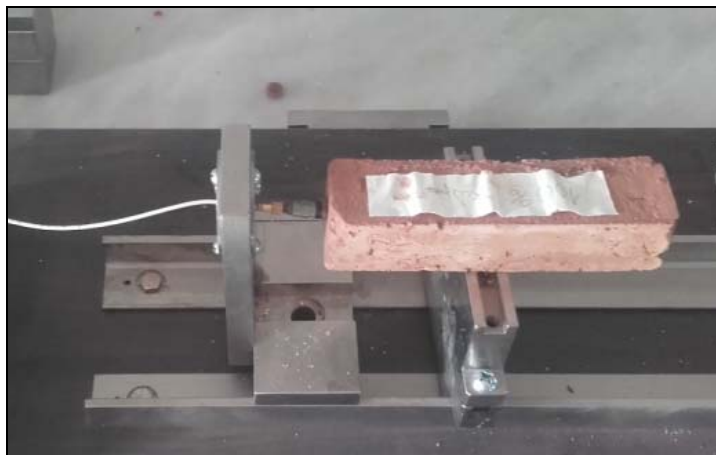
Εικόνα 4.11: Πειραματικές διατάξεις και αποτελέσματα αντοχής σε θλίψη και κάμψη τριών σημείων κονιαμάτων άψητης γης

4.9 Πως μεταβάλλονται τα χαρακτηριστικά του υλικού

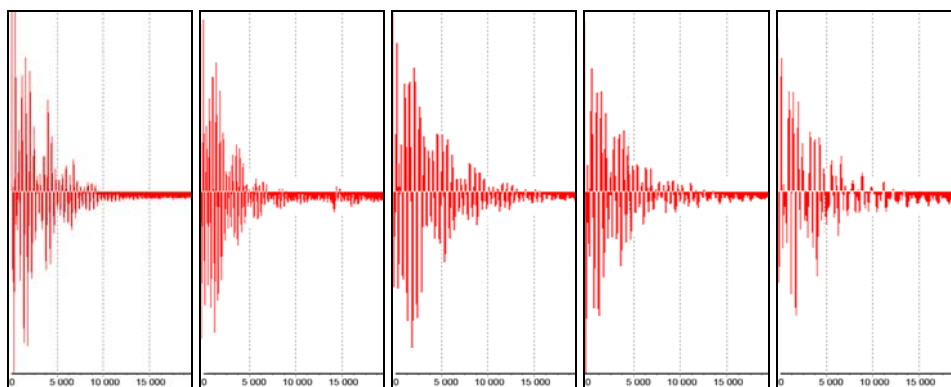
Στην φάση παρασκευής του υλικού της άψητης γης, το υλικό είναι εργάσιμο και βρίσκεται στην πλάσιμη κατάσταση.

Κατά την διάρκεια της ξήρανσης του υλικού, το υλικό στερεοποιείται σταδιακά και αποκτά μηχανικές αντοχές. Ένας χαρακτηριστικός δείκτης ο οποίος μεταβάλλεται στη φάση της

στερεοποίησης του υλικού είναι το δυναμικό μέτρο ελαστικότητας του υλικού.



Εικόνα 4.12: Πειραματική διάταξη του δυναμικού μέτρου ελαστικότητας E



1^η E: 2.2 GPa 2^η E: 3.1 GPa 3^η E: 3.3 GPa 4^η E: 3.3 GPa 5^η E: 3.6 GPa

Εικόνα 4.13: Μεταβολή του δυναμικού μέτρου ελαστικότητας E κατά την διάρκεια ξήρανσης 5 εβδομάδων δοκιμίου άψητης γης

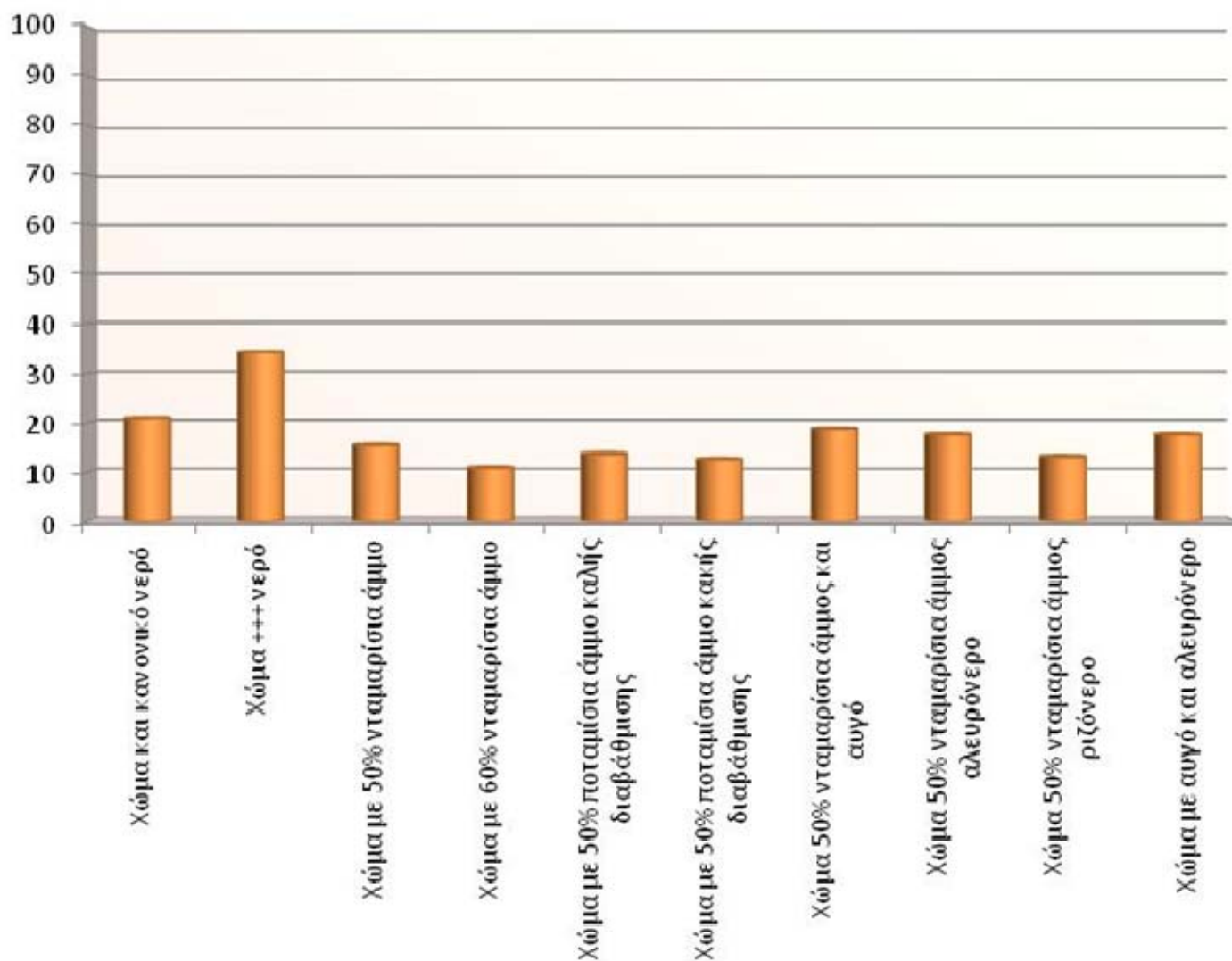
Ο προσδιορισμός του δυναμικού μέτρου ελαστικότητας είναι μια μη καταστρεπτική μέθοδος και στα σχετικά διαγράμματα παρουσιάζεται η μεταβολή του σε ένα τυπικό δοκίμιο άψητης γης στην φάση της ξήρανσής του (5 εβδομάδες) με περιεκτικότητα σε άργιλο 17,5%.

Για να ερμηνευθούν οι μεταβολές που έχει ένα χώμα ανάλογα με τη μορφή των αδρανών και των άλλων στοιχείων που περιέχει, επιλέχθηκε ένα χώμα πλούσιο σε άργιλο (~40%) στο οποίο έγιναν δοκιμές με κανονικό νερό, με περισσότερο από το κανονικό νερό, με προσθήκη διαφόρων τύπων αδρανών υλικών και με φυσικά πρόσθετα όπως είναι το χτυπημένο αυγό (μαρέγκα), νερό με αλεύρι και νερό με ρύζι βρασμένα για αρκετή ώρα.

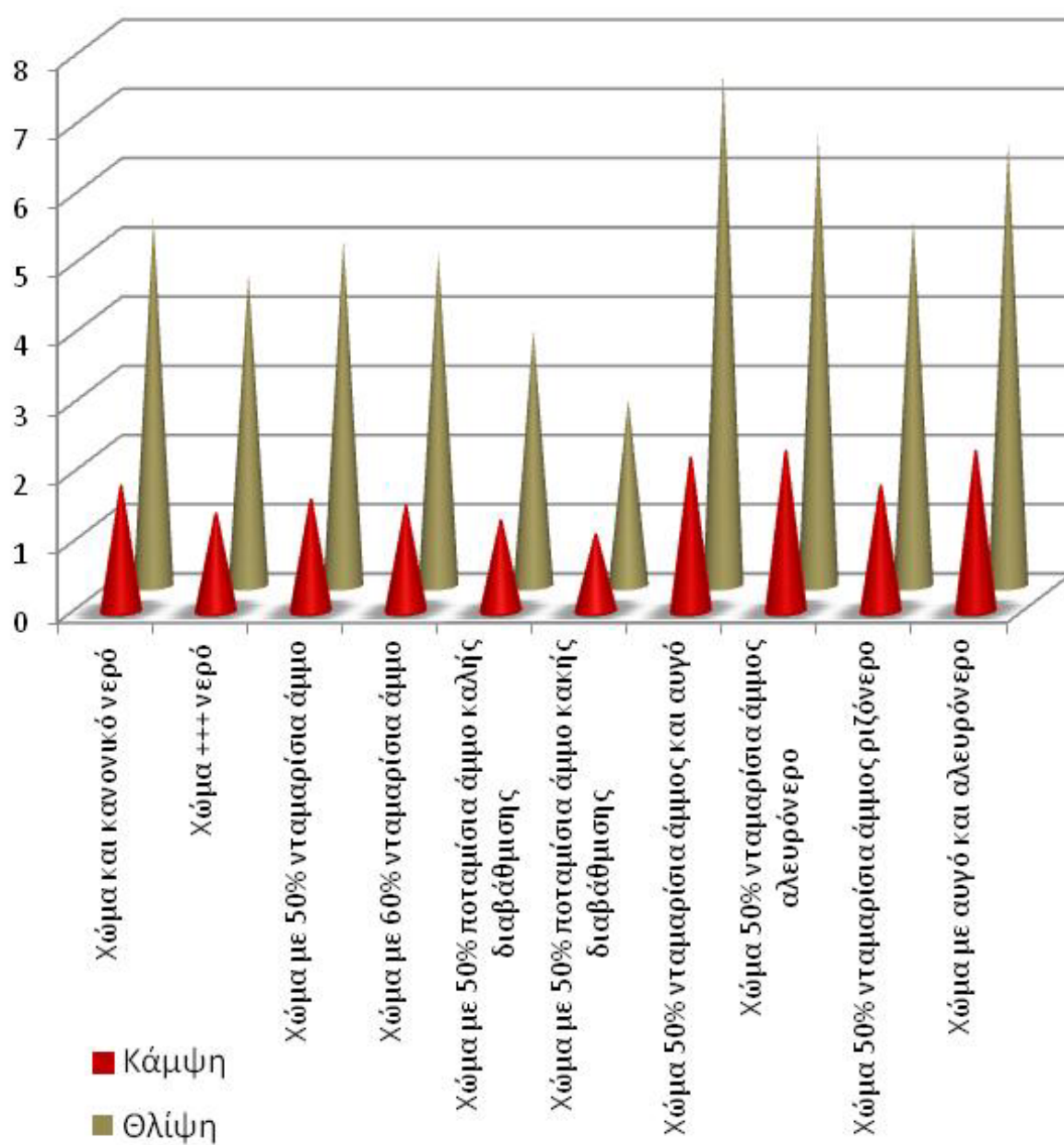
Έχει παρατηρηθεί ότι τα αποτελέσματα των μηχανικών αντοχών των γεωκονιαμάτων εξαρτώνται από την υγρασία του περιβάλλοντος. Έτσι μπορεί να υπάρχουν ανεπαίσθητες μεταβολές (της τάξης του 5-10%) μεταξύ των δοκιμών μια ξηρής περιόδου του καλοκαιριού

και μιας υγρής περιόδου του χειμώνα (μικρότερες αντοχές)

Ενδεικτικά αποτελέσματα της μεταβολής του όγκου και των μηχανικών αντοχών παρουσιάζονται στα παρακάτω διαγράμματα.



Εικόνα 4.14: Μεταβολή όγκου κονιαμάτων με άψητη γη $\Delta V/V$ (%)



Εικόνα 4.15: Αντοχή σε θλίψη και κάμψη τριών σημείων κονιαμάτων άψητης γης σε MPa

5 Συμπεράσματα

Είναι βέβαιο ότι υπάρχουν πολλές δοκιμές με τις οποίες μπορεί να γίνει ο έλεγχος ενός γεωκονιάματος, αλλά η έρευνα σε ένα υλικό είναι δυνατόν να γίνεται αέναα.

Στην παρούσα εργασία, διατυπώθηκαν κάποιες τυπικές, εργαστηριακές και αξιόπιστες δοκιμές που μπορούν να αξιολογήσουν αυτό το υλικό για την χρήση του σε κατασκευές από άψητη γη.

Αν τελικά η αρχιτεκτονική σκέψη, αποφασίσει να ενσωματώσει αυτό το υλικό στις κατασκευές της, τότε ο έλεγχος και η προτυποποίηση του υλικού αυτού είναι μονοσήμαντος, μιας και έχει διαπιστωθεί ότι οι εμπειρικές μέθοδοι εμπεριέχουν μεγάλα σφάλματα για να θεωρηθούν ως επαρκείς στην διαπίστευσή του.

6 Βιβλιογραφία

1. Ανέλιξη, έρευνα προώθηση και διάδοση οικολογικής αρχιτεκτονικής, [Online] Available, <http://www.anelixi.org/>, (πρόσβαση: 30 Σεπτεμβρίου 2015).
2. Γασπαράτος Δ., Στ. Καραβασίλης και Φ. Γιαννακοπούλου, Ασκήσεις Γενικής Εδαφολογίας, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, Αθήνα 2011.
3. Κορωνάιος Αιμ., Γ. Πουλάκος, Τεχνικά Υλικά τόμος 3, εκδ. Ε.Μ.Πολυτεχνείο, Αθήνα 2005.
4. Μπέη Γ., Τοιχοποιία από πηλό: πειραματική διερεύνηση μηχανικών και φυσικών χαρακτηριστικών δομικών μονάδων και τοίχων από Συμπιεσμένες Ωμόπλινθους, Διδακτορική διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη 2004..
5. Σαργέντης Γ.-Φοίβος και Ν. Συμεωνίδης, Η Γη ως Υλικό, eco-dome (αστική μη-κερδοσκοπική εταιρεία για την αειφόρο αρχιτεκτονική), Αθήνα 2010.
6. Edwards B. & D. Turrent, Sustainable Housing, Spon, London 2000
7. Fathy H., Architecture for the Poor: An Experiment in Rural Egypt, University of Chicago Press, 2010.
8. Khalili N., Ceramic Houses and Earth Architecture: How to Build Your Own, Chelsea Green Publishing Co, USA, 1996.
9. Khalili N., Emergency Sandbag Shelter and Eco-Village, CalEarth Press, USA, 2008
10. Minke G., Earth construction handbook: the building material earth in modern architecture, WIT Press, Southhampton [UK], 2000.
11. Minke G., Building with Earth, Birkhauser, Publishers for Architecture, Basel, 2006.
12. Sargentis, G.-F., V. C. Kapsalis and N. Symeonidis, Earth building. models, technical aspects, tests and environmental evaluation, 11th International Conference on Environmental Science and Technology, Crete, Department of Environmental Studies, University of the Aegean, 2009.
13. <http://vinopedia.hr/> (πρόσβαση 3 Οκτωβρίου 2015)

7 Παράρτημα, τεχνικές δόμησης με χώμα



Ε.Μ.Π ΣΧΟΛΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΝΘΕΣΕΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗΣ ΑΙΧΜΗΣ

ΔΟΜΗΣΗ ΜΕ ΧΩΜΑ

ΣΕΝΑΡΙΟ

ΠΕΤΡΑΚΗΣ ΠΕΤΡΟΣ

ΣΠΑΝΟΛΙΟΣ ΙΣΙΔΩΡΟΣ

ΧΑΒΑΚΗΣ ΚΥΡΙΑΚΟΣ

ΕΙΚΟΝΟΓΡΑΦΗΣΗ

ΜΙΧΑΛΑΙΝΑΣ ΒΑΣΙΛΗΣ

Εργασία στα πλαίσια του μαθήματος
Ειδικά Θέματα Τεχνολογίας Δομήσιμων Υλών
5ου εξαμήνου

Περίοδος εκτέλεσης: 20016-2017

Στοιχεία επικοινωνίας των συγγραφέων:
petros--petrakis@hotmail.com,
bolzano93@hotmail.com,
kikos_h@hotmail.com,
billmih@hotmail.com

Διδάσκοντες: Φλωρα-Μαρια Μπουγιατιωτη, Επ. Καθηγήτρια

Γ.-Φοίβος Σαργεντης, Ε.ΔΙ.Π.

Πλιθιά



Συμπυκνωμένη γη (rammed earth)



Ευλόπηκτοι τοίχοι (τσατμάς)



Σάκοι με γη (earth bags)



Ζυμωτός πηλός (cob)

