

# Αποδοχή παραδοσιακών υλικών σε σύγχρονες κατασκευές και συμβατότητα με τον ισχύοντα ενεργειακό κανονισμό

ΒΟΓΙΑΤΖΗ Κ.,  
ΔΗΜΟΥΔΗ Α., ΚΟΣΜΟΠΟΥΛΟΣ Π.,  
ΖΩΡΑΣ Σ.

Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης  
Βασ. Σοφίας 12, 67 100 Ξάνθη

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η αύξηση του πληθυσμού απαιτεί συνεχώς την κατασκευή έργων. Ο κατασκευαστικός τομέας σε σύγκριση με άλλες βιομηχανικές δραστηριότητες υπερέχει σε μέγεθος και συγχρόνως συνδέεται στενά με ποικίλες δραστηριότητες εξαιρετικά κρίσιμες για το κοινωνικό σύνολο. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση τα κτίρια ευθύνονται για το 40% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας και ο κατασκευαστικός τομέας στο σύνολό του ευθύνεται για το 40% των συνολικά παραγόμενων αποβλήτων.

Τα τελευταία χρόνια γίνεται λόγος για τα «εναλλακτικά δομικά υλικά». Δεν υπάρχει στην βιβλιογραφία σαφής ορισμός για τα δομικά αυτά υλικά. Ωστόσο γίνεται κατανοητό πως πρόκειται για τα υλικά τα οποία δεν ανήκουν στα συμβατικά, εμπορικά υλικά αλλά έχουν τις ρίζες τους στην παραδοσιακή αρχιτεκτονική. Η παρούσα εργασία είχε ως στόχο την παρουσίαση των εναλλακτικών δομικών υλικών και των τεχνικών δόμησης τους και τη διερεύνηση της δυνατότητας εφαρμογής των εναλλακτικών υλικών στις σύγχρονες κατασκευές.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Παραδοσιακά υλικά, θερμικά χαρακτηριστικά

## 1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αύξηση του πληθυσμού απαιτεί συνεχώς την κατασκευή έργων. Ο κατασκευαστικός τομέας σε σύγκριση με άλλες βιομηχανικές δραστηριότητες υπερέχει σε μέγεθος και συγχρόνως συνδέεται στενά με ποικίλες δραστηριότητες εξαιρετικά κρίσιμες για το κοινωνικό σύνολο. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση τα κτίρια ευθύνονται για το 40% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας και ο κατασκευαστικός τομέας στο σύνολό του ευθύνεται για το 40% των συνολικά παραγόμενων αποβλήτων (Ευαγγελινός, Ζαχαρόπουλος, 2008).

Σύμφωνα με την περιβαλλοντική επίπτωση των δομικών υλικών στο φυσικό περιβάλλον έχουν υποδειχθεί εκείνα τα υλικά τα οποία είναι βιώσιμα (Berge, 2009). Τα βιώσιμα δομικά υλικά είναι τα τοπικά υλικά, τα υλικά με χαμηλή ενσωματωμένη ενέργεια, τα μη τοξικά υλικά και τα επαναχρησιμοποιημένα υλικά (Κορωναίος, Σαργέντης, 2005).

Τα τελευταία χρόνια γίνεται λόγος για τα «εναλλακτικά δομικά υλικά». Δεν υπάρχει στην βιβλιογραφία σαφής ορισμός για τα δομικά αυτά υλικά. Ωστόσο γίνεται κατανοητό πως πρόκειται για τα υλικά τα οποία δεν ανήκουν στα συμβατικά, εμπορικά υλικά αλλά έχουν τις ρίζες τους στην παραδοσιακή αρχιτεκτονική. Πρόκειται για εκείνα τα υλικά που έχουν φυτική και ζωική προέλευση. Υπάρχουν διάφοροι όροι οι οποίοι χαρακτηρίζουν αυτά τα υλικά και τον τρόπο δόμησης τους όπως: «καθαρά υλικά» και «καθαρές τεχνολογίες δόμησης», «φυσικά υλικά» και «φυσική δόμηση». (natural building) (Σαργέντης, Συμεωνίδης, 2010). Η Ευρωπαϊκή παραδοσιακή αρχιτεκτονική διαθέτει μια μεγάλη ποικιλία από εναλλακτικά υλικά και τεχνικές δόμησης, οι οποίες έχουν ως πρώτη ύλη το αργιλόχωμα.

Η παρούσα εργασία είχε ως στόχο την μελέτη των εναλλακτικών δομικών υλικών και των τεχνικών δόμησης τους. Κάποιες από τις τεχνικές δόμησης με πρώτη ύλη το αργιλόχωμα οι οποίες μελετήθηκαν στην εργασία είναι οι εξής:

- Ωμόπλινθος (adobe)
- Συμπιεσμένοι ωμόπλινθοι (compressed earth)
- Ρευστή γη (rammed earth)
- Cob

Στόχος επίσης της έρευνας αποτέλεσε η διερεύνηση της δυνατότητας εφαρμογής των εναλλακτικών υλικών στις σύγχρονες κατασκευές καθώς επίσης και η διεξαγωγή έρευνας για την γνώση και την αποδοχή αυτών των υλικών από τον τεχνικό κόσμο της Ελλάδας.

## 2. Εναλλακτικά Υλικά

### 2.1. Πρώτη ύλη

Η πρώτη ύλη των περισσότερων από τα εναλλακτικά υλικά που μελετήθηκαν σε αυτήν την εργασία είναι το αργιλόχωμα. Πρόκειται για ένα υλικό που προέρχεται από την μίξη αργίλου, ιλύος, άμμου και μερικές φορές μεγαλύτερων σωματιδίων όπως χαλίκι και πέτρας (Γεωργακοπούλου, 2010). Οι κόκκοι της αργίλου προσδίδουν διάφορες ιδιότητες στο αργιλικό έδαφος. Η πιο σημαντική από αυτές τις ιδιότητες είναι η συνεκτικότητα, που εκδηλώνεται μέσω της εφελκυστικής τους αντοχής. Αυτή η αντίσταση οφείλεται στην παρουσία των δομικών δεσμών μεταξύ των στερεών κόκκων. Η αντοχή και τα χαρακτηριστικά παραμόρφωσης των αργιλικών εδαφών εξαρτώνται από την ισχύ των δεσμών μεταξύ των μορίων, δηλαδή από την ισχύ των επαφών τους (Gernot, 2006).

### 2.2. Ωμόπλινθοι και συμπιεσμένοι Ωμόπλινθοι

Οι πλίνθοι που κατασκευάζονται χειρονακτικά από χώμα μέσα σε καλούπια, ονομάζονται ωμόπλινθοι ή adobes (Gernot, 2009). Η λέξη adobe προέρχεται από την αραβική λέξη «attob», η οποία σημαίνει ξηραμένη πλίνθος στον ήλιο (Pacheco – Torgal, Jalali, 2012). Όταν το μορφοποιημένο χώμα συμπιέζεται, το αποτέλεσμα ονομάζεται συμπιεσμένη γη (compressed earth blocks).

Σαν γενικός κανόνας οι ωμόπλινθοι κατασκευάζονται από 75% άμμο (ή άμμο με λίγη ιλύς ή χαλίκι) και 25% άργιλο (Schroder, Ogletree, 2010). Η κατασκευή των ωμόπλινθων γίνεται χειρονακτικά σε καλούπια διαστάσεων 12\*25\*50cm (25 κιλών) και 10\*30\*45cm (23 κιλών) (εικόνα 1). Μέτα από 1-2 λεπτά τα καλούπια απομακρύνονται και τα δοκίμια τοποθετούνται σε σκιερό μέρος για δύο μέχρι τέσσερις μέρες. Μόλις οι ωμόπλινθοι είναι αρκετά δυνατοί ώστε να σηκώνονται δίχως να φθείρονται, τοποθετούνται στο πλάι, ώστε να τελειώσει η ωρίμανση. Στο τέλος της διαδικασίας στοιβάζονται σε μια άκρη (Walfskill, 2005).

Οι συμπιεσμένοι ωμόπλινθοι είναι η σύγχρονη εκδοχή των ωμόπλινθων (adobe). Ωστόσο η ιδέα της συμπίεσης των ωμόπλινθων έρχεται από πολύ παλιά, όταν οι ωμόπλινθοι συμπιέζονταν με σανίδες (Doat, 1985). Οι συμπιεσμένοι ωμόπλινθοι συμπιέζονται είτε χειρονακτικά είτε με μηχανική πίεση. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν πρέσες ελαφριές, υδραυλικές ή μηχανικές, που η απόδοσή τους είναι περίπου 300 πλιθιά την ημέρα. Στην δεύτερη κατηγορία ανήκουν μηχανές που μπορούν να παράγουν 800 συμπιεσμένα πλιθιά την ημέρα (Guillaud et al, 1985).

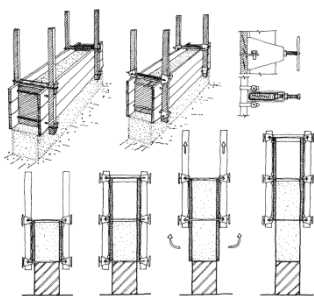


**Εικ.1:** Χειρονακτικός τρόπος κατασκευής ωμόπλινθων, Πηγή: [www.flickr.com](http://www.flickr.com)

#### 2.4. Ρευστή Γή

Η μέθοδος της ρευστής γης είναι ουσιαστικά η χύτευση νωπού χύματος σε καλούπι, το οποίο στην συνέχεια συμπιέζεται. Στη Γαλλία η τεχνική αυτή είναι γνωστή ως «*pisé de terre*» ή «*terre pisé*», στην Ισπανία ως «*barro apisonado or tapial*» και τέλος στη Γερμανία ως «*Stampflehm*» (Rostam, 2008).

Η καλύτερη αναλογία μεταξύ των συστατικών είναι 70% άμμος και χαλίκι και 30% ιλύς και άργιλος που λειτουργούν σαν κονίαμα. Ωστόσο δεν έχει αποδειχτεί πως υπάρχει ιδανική αναλογία μεταξύ των συστατικών του μίγματος. Για αυτόν τον λόγο ερευνητές από όλον τον κόσμο συνήθως δημοσιεύουν τα κατώτερα και τα ανώτερα όρια για το κάθε ένα από τα βασικά συστατικά (Maniatidis, Walker, 2003). Παραδοσιακές τεχνικές δόμησης με ρευστή γη, ακόμα εφαρμόζονται σε πολλές αναπτυσσόμενες χώρες. Ηλεκτρικά ή κρουστά έμβολα μειώνουν την απαιτούμενη εργασία σημαντικά και κάνουν την αναφερόμενη τεχνική δόμησης γνωστή σε βιομηχανικές πόλεις, όπως στην Νοτιοδυτική Αμερική και στην Αυστραλία (Green, 2009). Η διαδικασία ανέγερσης μιας τοιχοποιίας από ρευστή γη ακολουθεί τα παρακάτω βήματα (εικόνα 2). Αρχικά κατασκευάζεται το τοίχιο θεμελίωσης ή τα πέδιλα θεμελίωσης από τούβλα, πέτρες ή σκυρόδεμα. Έπειτα, στην περίπτωση που ο τοίχος από ρευστή γη είναι φερόμενος, κατασκευάζεται ο ξύλινος σκελετός της κατασκευής. Στην συνέχεια τα ξύλινα καλούπια στερεώνονται πάνω στην θεμελίωση. Χύνεται η πρώτη στρώση της ρευστή γης. Αφού τοποθετηθεί η πρώτη στρώση, το μίγμα συμπιέζεται με έμβολο, έτσι ώστε να αναπτυχθούν οι κατάλληλοι δεσμοί των κόκκων του μίγματος. Αμέσως μετά το καλούπι ξεβιδώνεται από αυτή τη θέση και τοποθετείται στο τέλος της πρώτης στρώσης. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να φτάσει ο τοίχος στο επιθυμητό ύψος (David, Cynthia, 2007, Gernot, 2001).



**Εικ. 2:** Η διαδικασία ανέγερσης μιας τοιχοποιίας από ρευστή γη

## 2.6. Cob

Η λέξη cob προέρχεται από την αρχαία Αγγλική ονομασία που περιγράφει τους σβώλους από λάσπη (McCann, 2004). Οι πρώτες κατασκευές από cob χρονολογούνται στον 13<sup>ο</sup> αιώνα στην Αγγλία (εικόνα 3). Η ποσότητα της αργίλου μέσα στο μίγμα κυμαίνονταν από 3% μέχρι 20%. Συνήθως το πατούσαν οι άνθρωποι με τα πόδια τους, προκειμένου να αναπτυχθούν οι κατάλληλοι δεσμοί και η κατάλληλη αντοχή ([www.cob.gr](http://www.cob.gr)).



**Εικ.3:** Παλιές κατοικίες (13<sup>ος</sup> αιώνας) από cob στην Devon, [www.devonperspectives.co.uk](http://www.devonperspectives.co.uk)

Κατά την κατασκευή από cob το χώμα μορφοποιείται σε σβώλους και τοποθετείται σε στρώσεις πάνω σε πέτρινη βάση (Evans, 2002). Ένας άλλος τρόπος που ανέπτυξε ο G. Minke είναι σε συνδυασμό με υφασμάτινες θήκες. Οι θήκες αυτές έχουν μεγάλο μήκος σε σχέση με την διάμετρο τους. Γεμίζουν με το μίγμα και τοποθετούνται η μια πάνω στην άλλη. Το ύφασμα βοηθάει ώστε να αναπτυχθεί η κατάλληλη συμπίεση στο μίγμα (Berge, 2009).

## 2.8. Δέματα με άχυρο

Στις κατασκευές από δέματα άχυρου χρησιμοποιείται άχυρο από σιτάρι, βρώμη, κριθάρι, σίκαλη, ρύζι σε τοίχους οι οποίοι είναι καλυμμένοι από σοβά (Corringer, 2009). Το άχυρο αποτελούσε ανέκαθεν ένα απόβλητο, το οποίο οι αγρότες το χρησιμοποιούσαν είτε για τροφή ζώων, είτε το καίγανε δημιουργώντας προβλήματα μόλυνσης.

Στην Ευρώπη οι κατασκευές με άχυρο εφαρμόζονται πλέον με μια νέα μέθοδο δόμησης κατά την οποία το άχυρο τοποθετείται μέσα σε ξύλινα πλαίσια (εικόνα 4) ([www.modcell.com](http://www.modcell.com)). Αυτά τα ξύλινα πλαίσια κουμπώνουν μεταξύ τους και ολοκληρώνουν την κατασκευή. Σε αυτό τον τρόπο δόμησης, τα ξύλινα πλαίσια μπορούν να λειτουργούν είτε ως φέρον είτε ως φέρουσα κατασκευή του κτιρίου ([www.systemhausbau.at](http://www.systemhausbau.at)).



**Εικ. 4:** Το panel όπου τοποθετείται το άχυρο (Πηγή: [www.modcell.com](http://www.modcell.com))

### 3. Θερμική αξιολόγηση των εναλλακτικών δομικών υλικών

#### 3.1. Θερμική συμπεριφορά εναλλακτικών υλικών

Στο παρόν μέρος της πρώτης ενότητας, έγινε προσπάθεια διερεύνησης των θερμοφυσικών χαρακτηριστικών των υλικών φιλικών προς το περιβάλλον και των εναλλακτικών υλικών. Η έρευνα χωρίζεται σε δύο μέρη. Στο πρώτο μέρος διεξήχθη βιβλιογραφική έρευνα με σκοπό να συγκεντρωθούν οι συντελεστές θερμοπερατότητας μεμονωμένων υλικών που ανήκουν στην κατηγορία των φιλικών προς το περιβάλλον και των εναλλακτικών. Έτσι δημιουργήθηκε ένας πίνακας με τις τιμές που αναφέρονται στην βιβλιογραφία για διάφορα υλικά. Στα πλαίσια αυτού του πίνακα υπολογίστηκε το πάχος του υλικού το οποίο ικανοποιεί τα επιτρεπτά όρια του συντελεστή θερμοπερατότητας, όπως ορίζονται από την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-1/2010 (ΤΟΤΕΕ, 2010) για την δυσμενέστερη κλιματική ζώνη της Ελλάδας. Στο τέλος έγινε έρευνα όπου παρουσιάζονται συνθέσεις τοιχοποιίας από υλικά που επιλέχθηκαν από τον παραπάνω πίνακα. Σκοπός αυτού του μέρους ήταν να μελετηθούν οι συνδυασμοί των εναλλακτικών υλικών που επιτυχαίνουν τιμή συντελεστή θερμοπερατότητας κοντά στα επιτρεπτά όρια όπως ορίζονται από την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-1/2010.

#### 3.1.1. Συντελεστής θερμοπερατότητας εναλλακτικών υλικών

Σε αυτό το μέρος της έρευνας παρουσιάστηκε ο συγκεντρωτικός πίνακας των συντελεστών θερμοπερατότητας υλικών εναλλακτικών, όπως αναφέρονται στην βιβλιογραφία. Ταυτόχρονα υπολογίστηκε το πάχος του υλικού το οποίο ικανοποιεί τα επιτρεπτά όρια του συντελεστή θερμοπερατότητας, όπως ορίζονται από την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-1/2010 για την δυσμενέστερη κλιματική ζώνη της Ελλάδας. Ποιο συγκεκριμένα λαμβάνεται ως όριο η τιμή  $0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$  όπως ορίζεται για την Δ κλιματική ζώνη για οριζόντια ή κεκλιμένη επιφάνεια σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα.

*Πίν.1: Ανασκόπηση συντελεστών θερμοπερατότητας εναλλακτικών υλικών*

Υλικά	Πυκνότητα (kg/m <sup>3</sup> )	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ (W/mK)	Πάχος τοίχου (μ)	Θερμοπερατότητα U-Value (W/m <sup>2</sup> K)	Πηγή
<b>Ωμόπλινθοι</b>					
	1550	0.837	2.25	0.35	Algefri et al, 1992
		0.24	0.64	0.35	(Garcia
συμπαγείς ωμοί		0.93	0.25	0.35	(Collet et al, 2005)
	1990	0.8	2.15	0.35	(ΤΟΤΕΕ 20701-2)
με άχυρο ωμοί		0.7	1.88	0.35	(*)
	660	0.19	0.51	0.35	(ΤΟΤΕΕ 20701-2; Goodhew, 2004)
με άχυρο		0.18	0.48	0.35	(Garcia)
<b>Αργίλος</b>					

με άχυρο	440	0.18	0.48	0.35	(Goodhew, 2004)
<b>Cob</b>					
	1450	0.40	1.21	0.35	(Goodhew, 2004)
		0.73	1.96	0.35	
		0.95	2.55	0.35	( ** )
leightweight plaster		0.55	0.60	0.35	
<b>Βαμβάκι</b>					
	140	0.038			(Szokolay, 2008)
		0.03			(Bags, 2006)
<b>Φελλός</b>					
		0.065			(Bags, 2006)
	144	0.038			(Bouguerra, 2001)
	150	0.044			(Szokolay, 2008)

\* [www.earth.sustainableources.com](http://www.earth.sustainableources.com).

\*\* [www.engineeringtoolbox.com](http://www.engineeringtoolbox.com).

### 3. Υπολογισμός συντελεστών θερμοπερατότητας σεναρίων από τοιχοποιίες με εναλλακτικά υλικά.

Στα πλαίσια της θερμικής αξιολόγησης των εναλλακτικών υλικών δημιουργήθηκαν σενάρια τοιχοποιίας από εναλλακτικά υλικά με σκοπό να υπολογιστεί ο συντελεστής θερμοπερατότητας τους. Στόχος αυτής της έρευνας ήταν να μελετηθούν οι συνδυασμοί των εναλλακτικών υλικών που επιτυχαίνουν συντελεστή θερμοπερατότητας κοντά στα επιτρεπτά όρια για τις τέσσερις κλιματικές ζώνες της Ελλάδας, όπως ορίζονται από την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-1/2010. Οι συντελεστές θερμικής αγωγιμότητας ( $\lambda$ ) των εναλλακτικών υλικών που μελετήθηκαν προήλθαν από τον πίνακα 1. Τα εναλλακτικά δομικά υλικά που επιλέχθηκαν είναι: ο ωμόπλινθος με άχυρο, ο ωμόπλινθος, η ρευστή γη, η άργιλος με άχυρο και το cob. Το κάθε ένα από τα εναλλακτικά υλικά συνδυάζεται κάθε φορά με διαφορετικά υλικά μόνωσης, δημιουργώντας με αυτόν τον τρόπο τα διαφορετικά σενάρια. Τα υλικά που επιλέχθηκαν για μόνωση είναι το: άχυρο, μαλλί, βαμβάκι, λινάρι, άχυρο.

Η έρευνα αυτή είχε ως αναφορά την έρευνα των Steven Goodhew και Richard Griffiths, με τίτλο “Sustainable earth walls to meet the building regulations” (Goodhew, Griffiths, 2004), όπου προσπάθησαν να μελετήσουν σύνθεση δομικών υλικών τα οποία θα χαρακτηρίζονταν από θερμοπερατότητα μικρότερη της τιμής  $0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$  (σύμφωνα με τους κτιριακούς κανονισμούς της Αγγλίας).

Πίνακας 2. Υπολογισμός συντελεστών θερμοπερατότητας σεναρίων από τοιχοποιίες με εναλλακτικά υλικά

Τοιχοποιία	R (m <sup>2</sup> K/W)	d1 (m)	d2 (m)	d3 (m)	U-Value (W/m <sup>2</sup> K)	$\lambda$ 1 (W/mK)	$\lambda$ 2 (W/mK)	$\lambda$ 3 (W/mK)
<b>ωμόπλινθοι με άχυρο</b>								
ωμόπλινθοι με άχυρο + φελλό + ωμόπλινθοι με άχυρο	3.40	0.25	0.05	0.25	0.28	0.19(30)	0.065(38)	0.19

	4.72	0.50	0.05	0.25	<b>0.20</b>	0.19	0.065	0.19
	4.17	0.25	0.10	0.25	<b>0.23</b>	0.19	0.065	0.19
ωμόπλινθοι με άχυρο + μαλλί + ωμόπλινθοι με άχυρο	5.20	0.25	0.10	0.25	<b>0.19</b>	0.19	0.039(29)	0.19
	5.23	0.50	0.05	0.25	<b>0.19</b>	0.19	0.039	0.19
ωμόπλινθοι με άχυρο + βαμβάκι + ωμόπλινθοι με άχυρο	5.26	0.25	0.10	0.25	<b>0.18</b>	0.19	0.038(29)	0.19
ωμόπλινθοι με άχυρο + λινάρι + ωμόπλινθοι με άχυρο	5.26	0.25	0.10	0.25	<b>0.18</b>	0.19	0.038(29)	0.19
ωμόπλινθοι με άχυρο	10.53	2.00			<b>0.09</b>	0.19		
<b>ρευστή γη</b>								
ρευστή γη + φελλός + ρευστή γη	1.25	0.20	0.05	0.20	<b>0.71</b>	0.84(30)	0.065	0.84
	2.02	0.20	0.10	0.20	<b>0.46</b>	0.84	0.065	0.84
ρευστή γη + μαλλί + ρευστή γη	1.76	0.20	0.05	0.20	<b>0.52</b>	0.84	0.039	0.84
	2.80	0.10	0.10	0.10	<b>0.34</b>	0.84	0.039	0.84
ρευστή γη + βαμβάκι + ρευστή γη	2.98	0.20	0.10	0.20	<b>0.32</b>	0.84	0.040	0.84
ρευστή γη + λινάρι + ρευστή γη	3.11	0.20	0.10	0.20	<b>0.30</b>	0.84	0.038	0.84
ρευστή γη	2.80	0.30	0.00	0.00	<b>0.34</b>	0.84	0.000	0.00
<b>άργιλος με άχυρο</b>								
άργιλος με άχυρο+φελλό+άργιλο με άχυρο	1.88	0.10	0.05	0.10	<b>0.49</b>	0.18(35)	0.065	0.18
	2.98	0.15	0.05	0.15	<b>0.32</b>	0.18	0.038	0.18
άργιλος με άχυρο+μαλλί+άργιλο με άχυρο	2.39	0.10	0.05	0.10	<b>0.39</b>	0.18	0.039	0.18
άργιλος με άχυρο+βαμβάκι+άργιλο με άχυρο	2.92	0.15	0.05	0.15	<b>0.32</b>	0.18	0.040	0.18
άργιλος με άχυρο+λινάρι+άργιλο με άχυρο	2.98	0.15	0.05	0.15	<b>0.32</b>	0.18	0.038	0.18
άργιλος με άχυρο	2.78	0.50			<b>0.34</b>	0.18		
<b>cob</b>								
cob + φελλός + γυψοσανίδα	2.25	0.40	0.05	0.10	<b>0.41</b>	0.40	0.065	0.21
cob + μαλλί + γυψοσανίδα	2.76	0.40	0.05	0.10	<b>0.34</b>	0.40	0.039	0.21
cob +βαμβάκι + γυψοσανίδα	2.73	0.40	0.05	0.10	<b>0.35</b>	0.40	0.040	0.21
cob + λινάρι + γυψοσανίδα	2.79	0.40	0.05	0.10	<b>0.34</b>	0.40	0.038	0.21
cob	3.00	1.20			<b>0.32</b>	0.40		

Όπως παρουσιάζονται τα σενάρια στον πίνακα 2, γίνεται ευκρινές πως στα περισσότερα από τα παραπάνω σενάρια των δομικών υλικών οι συντελεστές θερμοπερατότητας είναι πολύ χαμηλότεροι από τα όρια που ορίζουν οι Τεχνικές Οδηγίες (ΤΟΤΕΕ, 2010). Διακρίνονται σενάρια τα οποία ικανοποιούν και τον δυσμενέστερο συντελεστή θερμοπερατότητας 0,35 W/m<sup>2</sup>K για εξωτερική οριζόντια ή κεκλιμένη επιφάνεια σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα για την Δ κλιματική ζώνη. Ωστόσο η πλειοψηφία των σεναρίων καλύπτει την απαίτηση για συντ.

θερμοπερατότητας  $0,70 \text{ W/m}^2\text{K}$  για τοίχους σε επαφή με το έδαφος ή με μη θερμαινόμενους χώρους. Επίσης αξιολογήθηκε ο φελλός παρατηρήθηκαν οι μεγαλύτεροι συντελεστές θερμοπερατότητας (U-Value). Εν αντιθέσει, το λινάρι είναι το υλικό με το πιο χαμηλό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας.

## 5. Συμπεράσματα

Από την εκτενή βιβλιογραφική έρευνα που έγινε πάνω στα εναλλακτικά δομικά υλικά και τις τεχνικές κατασκευής τους, συμπεραίνεται πως πρόκειται για υλικά με μεγάλη ιστορία στον τομέα της κατασκευής. Στη διεθνή βιβλιογραφία αναφέρονται αξιόλογες σύγχρονες κατασκευές, όπου ως δομικά υλικά έχουν χρησιμοποιηθεί τα εναλλακτικά υλικά. Οι περισσότερες από τις τεχνικές δόμησης βασίζονται σε εμπειρικούς κανόνες. Κατά την έρευνα της θερμικής αγωγιμότητας σεναρίων τοιχοποιίας από εναλλακτικά υλικά διαπιστώθηκε πως σε όλα τα σενάρια των δομικών υλικών οι συντελεστές θερμοπερατότητας είναι πολύ χαμηλότεροι από τα όρια που ορίζουν οι Τεχνικές Οδηγίες.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΑ

- Γεωργακοπούλου Ο. (2010). Δόμηση με πηλό. Διπλωματική Εργασία, ΑΠΘ. Ευαγγελινός Ε. Ζαχαρόπουλος Ι. (2008). Αειφορία και Δόμηση. Στο Κοσμόπουλος Π. (Επιμ. Έκδ). Κτίρια, Ενέργεια και Περιβάλλον, Θεσσαλονίκη, University Studio Press.
- Berge B. (2009). The Ecology of Building Materials, Architectural Press, 2nd Edition. Κορωνέος Εμ., Σαργέντης Φ. (2005). Δομικά Υλικά και Οικολογία, Αθήνα, ΕΜΠ.
- Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-1/2010, Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής επίδοσης των κτιρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού απόδοσης.
- Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-2/2010, Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος θερμομονωτικής επάρκειας των κτιρίων.
- Σαργέντης Φ., Συμεωνίδης Ν. (2010). Η γη ως δομικό υλικό. eco-dome, Αθήνα.
- Algefri A.H., Bin Gadhi S.M., Nuaguna B.T., (1992). Thermal behaviour of adobe and concrete houses in Yemen, Renewable Energy. Τόμ. 2.
- Baggs D., Mortensen N., (2006). Thermal mass in Building Design. In BDP Environment Design Guide.
- Bouguerra A., Ait-Mokhtar A., Amari O., Diop M.B. (2001). Measurement of Thermal Conductivity, Thermal Diffusivity and Heat Capacity of Highly Porous Building Materials Using Transient Plane Source Technique, Pergamon. Elsevier, 28.
- Collet F., Serres L., Miriel J., Bart M., Study of thermal behaviour of clay wall facing south. Building and Environment, Elsevier, 2006, 41, 307-315.
- Coppinger J. (2009). A Bit About Bale Walls, The Last Straw Journal.
- David E., Cynthia W., (2007). The Rammed Earth House, Chelsea Green Publishing Company.
- Doat P., Hays A., Houben H., Matouk H., Vitoux F. (1985). Building with Earth, CRATerre, France.
- Evans I., (2002). The Hand-Sculpted house.
- Gernot M. (2001). Construction Manual for Earthquake-Resistant Houses Built of Earth. Kassel, Basin.
- Gernot M. (2006). Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture. Publishers for Architecture.
- Gernot M. (2009). Rammed Earth, Material Concept Research.
- Green B. (2009). Material Concept Research, Rammed Earth. Research.org.
- Guillaud H., Joffroy T., Odu P. (1985). Compressed Earth Blocks (Volume II), CRATerre- EAG, France.
- Goodhew St., Griffiths R., (2004). Sustainable earth walls to meet the building regulations, Energy and Buildings, 451-459
- Maniatidis V., Walker P. (2003). A Review of Rammed Earth Construction, University of Bath.
- McCann J., (2004). Clay and Cob Buildings. UK.
- Pacheco – Torgal F., Said Jalali, (2012). Earth Construction from the Past for Future Eco-Efficient Construction, Construction and Building Materials.
- Revuelta- Acosta J.D., A. Garcia- Diaz, G.M. Soto- Zarazua and E. Rico- Garcia (2010). Adobe as a Sustainable Material: A Thermal Performance. Journal of Applied Science, 10 (19), 2210-2216.



Revuelta- Acosta J.D., A. Garcia- Diaz, G.M. Soto- Zarazua and E. Rico- Garcia (2010). *Adobe as a Sustainable Material: A Thermal Performance. Journal of Applied Science*, 10 (19), 2210-2216.

Rostam C. (2008). *Rammed earth Construction*, USC School of Architecture.

Schroder L., Ogletree V. (2010). *Adobe Homes for All Climates: Simple, Affordable, and Earthquake-Resistant*, USA, Adobe Building Systems.

Szokolay S.V. (2008). *Introduction to architectural science: the basis of sustainable design*.

Walfskill L., A. (2005). *Handbook for Building Homes of Earth*. Washington.

[www.cob.gr](http://www.cob.gr)

[www.earth.sustainable-sources.com](http://www.earth.sustainable-sources.com).

[www.engineeringtoolbox.com](http://www.engineeringtoolbox.com).

[www.modcell.com](http://www.modcell.com)

[www.systemhausbau.at](http://www.systemhausbau.at)

## **ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ**

### **Βογιατζή Αικατερίνη**

Η Βογιατζή Αικατερίνη είναι Αρχιτέκτων Μηχανικός (ΔΠΘ) και κάτοχος του μεταπτυχιακού τίτλου σπουδών 'Περιβαλλοντική Μηχανική και Επιστήμη', του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του ΔΠΘ. Συνεργάστηκε με αρχιτεκτονικά γραφεία στην Ξάνθη και σήμερα εργάζεται σε αρχιτεκτονικό γραφείο στη Γερμανία.

### **Δημούδη Αργυρώ**

Η Δημούδη Αργυρώ είναι πολιτικός μηχανικός με εξειδίκευση (MSc, PhD) σε θέματα εξοικονόμησης και ορθολογικής χρήσης ενέργειας, εφαρμογής ΑΠΕ στο δομημένο περιβάλλον, φαινόμενο θερμικής νησίδας και γενικότερα σε θέματα περιβαλλοντικού σχεδιασμού. Επίκουρη καθηγήτρια στο Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος στο ΔΠΘ από το 2010 (Λέκτορας στο διάστημα 2005-2010), με γνωστικό αντικείμενο 'Επιστήμη και τεχνολογία κατασκευών με έμφαση στον περιβαλλοντικό σχεδιασμό'. Έχει επαγγελματική εμπειρία στη Διεύθυνση Οικιστικής Πολιτικής και Κατοικίας του ΥΠΕΧΩΔΕ, σαν Ειδικό Επιστημονικό Προσωπικό για ενεργειακά θέματα στον κτιριακό τομέα (2001-05). Διετέλεσε Υπεύθυνη του Τμήματος Παθητικών Ηλιακών και Υβριδικών Συστημάτων και του Τμήματος Ενεργητικών Ηλιακών Συστημάτων στη Διεύθυνση Εφαρμοσμένης Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ) (1998-01) και επιστημονικός συνεργάτης του ΚΑΠΕ (1997-98). Εργάστηκε σαν επιστημονικός συνεργάτης στο Κέντρο Ενεργειακής Εκπαίδευσης (ΚΕΝΕ) του Πανεπιστημίου Αθηνών (1993-96). Το ερευνητικό της έργο έχει δημοσιευτεί σε βιβλία, διεθνή περιοδικά, διεθνή και εθνικά συνέδρια.

### **Κοσμόπουλος Πάνος**

Ο Δρ Π Κοσμόπουλος (Δίπλωμα Αρχιτ. Μηχανικού, MSc, PhD), είναι αναπληρωτής Καθηγητής στο Τμήμα Μηχαν. Περιβάλλοντος του ΔΠΘ και ο Διευθυντής του Εργαστηρίου Περιβαλλοντικού και Ενεργειακού Σχεδιασμού Κτιρίων και Οικισμών, Τμ. Μηχανικών Περιβάλλοντος (ΔΠΘ). Είναι ο συγγραφέας ή επιμελητής εννέα (9) βιβλίων, έχει δημοσιεύσει μεγάλο αριθμό άρθρων σε επιστημονικά περιοδικά και Συνέδρια και διαλέξεις σε προπτυχιακά και μεταπτυχιακά προγράμματα (3 στο ΔΠΘ, ΕΑΠ, ΕΚΠΑ, ΕΜΠ, ΠΘ) στο γνωστικό αντικείμενο της αειφορίας στο δομημένο περιβάλλον.

### **Ζώρας Σταμάτης**

Σταμάτης Ζώρας (Φυσικός, MSc, PhD) είναι Επίκουρος Καθηγητής στο Τμήμα Μηχαν. Περιβάλλοντος του ΔΠΘ. Έχει εργαστεί στον τομέα της ενεργειακής απόδοσης, σύμφωνα με CIBSE καθοδήγηση σε Senior θέση στο WYG Consulting Engineers στο Λονδίνο. Η επιστημονική γνωστική περιοχή του περιλαμβάνει την υπολογιστική ρευστοδυναμική του περιβάλλοντος, προσομοίωση του αστικού περιβάλλοντος, εταφοράς θερμότητας στο έδαφος. Έχει συμμετάσχει σε πολλά Εθνικά και Ευρωπαϊκά ερευνητικά προγράμματα στον τομέα των περιβαλλοντικών επιστημών και της αστικής προσομοίωσης ως συντονιστή ή ως ερευνητής. Είναι συγγραφέας ή συν-συγγραφέας σε πάνω από 50 δημοσιεύσεις σε επιστημονικά περιοδικά, πρακτικά συνεδρίων, βιβλία, εκθέσεις, κ.α.