

Κανονισμοί για τη δόμηση με χώμα Παρουσίαση εφαρμογής στα Τρίκαλα



Κωνσταντίνος Καταβούτας

Πολιτικός Μηχανικός Ε.Μ.Π., MSc

Μηχανικοί της Γης

e-mail: costas.katavoutas@gmail.com

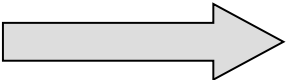


Στόχοι της παρουσίασης

- Παρουσίαση κανονισμών που ισχύουν σχετικά με τη δόμηση με χώμα, σε χώρες με έντονη σεισμική δραστηριότητα (Περού, Νέα Ζηλανδία).
- Παρουσίαση της κατασκευής μιας κατοικίας από ωμόπλινθους στην Κάτω Ελάτη Τρικάλων.
- Τι περιορισμούς θέτει η υφιστάμενη ελληνική τεχνική νομοθεσία, ποια προβλήματα παρουσιάστηκαν και σε ποιο βαθμό θα μπορούσε να επεκταθεί η χρήση του χώματος στην Ελλάδα;



Το χώμα ως δομικό υλικό

- Ιδιαιτερότητες:
 - Ανομοιομορφία του υλικού, διαφορετική σύσταση ανά περιοχή, μεγάλο φάσμα μεθόδων παραγωγής και διαστάσεων ωμόπλινθων.
 - Μικρή θλιπτική αντοχή, ελάχιστη εφελκυστική, προβληματική συμπεριφορά σε σεισμό (ξυλοδεσιές βελτιώνουν σημαντικά τη συμπεριφορά).
- 
- Δυσκολία τυποποίησης του υλικού. Δεν υπάρχει κανονισμός που να περιγράφει τη συμπεριφορά του υλικού στην Ελλάδα.
- Παρόλα αυτά γίνεται διεθνώς μεγάλη προσπάθεια θέσπισης κανονισμών σχετικών με το χώμα.
- Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η περίπτωση του Περού και της Νέας Ζηλανδίας, χωρών με έντονη σεισμική δραστηριότητα.



Σύγκριση 5 κανονισμών

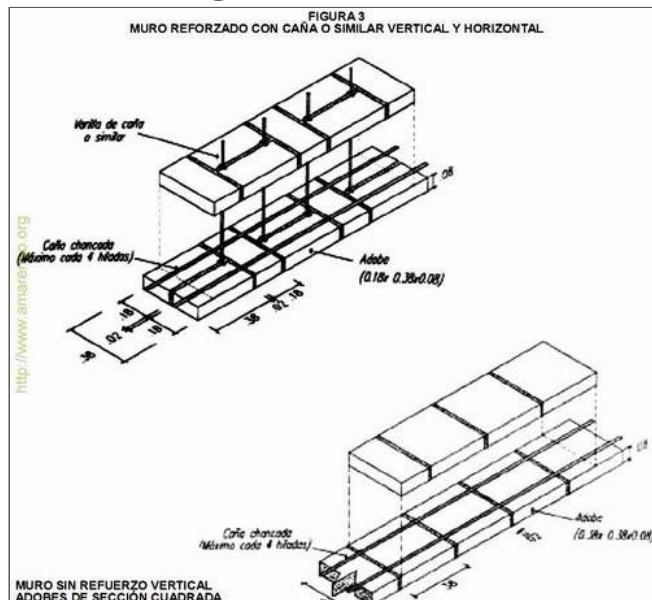
Guideline	Type	Features	Legal Status	Structural	Other tests	Seismic risk in the area
Peru	Adobe	Construction guidelines, soil selection	Part of the building code	Masonry's compressive and shear strength	-	High
Spain	CEB	Geometrical description	Standard	Masonry unit's compressive strength	Humectation and freezing cycles, erosion, water absorption	Medium
New Zealand	Adobe Pressed brick Rammed earth	Soil selection, construction guidelines	Set of standards	Ultimate limit state seismic out-of-plane resistance of masonry	-	High
Brazil	Cement-stabilised 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

• Μεγάλες διαφορές: α. στις τεχνικές, β. στη νομική τους ισχύ και γ. στις δοκιμές



Περού

- Το Περού είναι μια χώρα με υψηλή σεισμικότητα, που έχει εντάξει κανονισμό για πλινθόκτιστα στην τεχνική της νομοθεσία.



Πηγή: Norma tecnica de edificacion E.080, Peru



Νέα Ζηλανδία

Τρεις (3) κανονισμοί σε ισχύ:

NZS 4297: 1998 Engineering design of earth buildings.

NZS 4298: 1998 Materials and workmanship for earth buildings.

NZS 4299: 1998 Earth buildings not requiring specific design.

- Εφαρμόζονται σε κτήρια από ωμόπλινθους, συμπιεσμένους ωμόπλινθους και καλουπωτό χώμα.
- Ορίζονται δύο κατηγορίες κατασκευών:
 - ✓ Standard grade earth wall: έχουν τις minimum προδιαγραφές αντοχής που προδιαγράφονται μέσα από μια σειρά δοκιμών πριν και κατά τη διάρκεια της κατασκευής. Οι ιδιότητές τους λαμβάνονται από πίνακα.
 - ✓ Special grade earth wall: μπορούν να καλύψουν αυξημένες απαιτήσεις αντοχών. Οι ιδιότητές τους προκύπτουν πειραματικά.



Νέα Ζηλανδία

NZS 4297: 1998 Engineering design of earth buildings

- Εφαρμόζεται σε κτήρια από ωμόπλινθους, συμπιεσμένες ωμόπλινθους (CEBs) και καλουπωτό χώμα (rammed earth).
- Το χώμα μπορεί να περιέχει σταθεροποιητές (π.χ. τσιμέντο).
- Ορίζεται μέγιστο ύψος 6.5μ μεταξύ του θεμελίου και της στέψης των τοίχων και μέγιστη επιφάνεια του κτηρίου (600μ² για μονώροφο, 200 μ² για διώροφο).

- Στην περίπτωση της κατηγορίας Standard grade earth wall οι μηχανικές ιδιότητες (θλιπτική, διατμητική αντοχή κλπ) λαμβάνονται από πίνακες.
- Η θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας για εκτός επιπέδου δράσεις είναι:

$$f_{ea} = K m f_e$$

- Όπου K_m 1.15 ή 1.30 αν η διασπορά των τιμών των θλιπτικών αντοχών των λιθοσωμάτων είναι μικρότερη του 0.3.
- f_e η θλιπτική αντοχή (0.5 Mpa από πίνακα).



Νέα Ζηλανδία

- Special grade earth constructions: βρίσκεται πειραματικά η θλιπτική αντοχή f_e και η εφελκυστική υπό καμπτική φόρτιση f_{et} .
- Με βάση αυτές υπολογίζονται η θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας, το μέτρο ελαστικότητας, η διατμητική αντοχή κ.λπ.
- Ισχύουν διαφορετικές σχέσεις για κάθε τύπο δόμησης (ωμόπλινθοι συμπίεσμένοι ή μη, καλουπωτό χώμα).

- Σε κάθε δομικό στοιχείο και για κάθε τύπου δράση, στην οριακή κατάσταση αστοχίας, ο έλεγχος γίνεται με τον τύπο:

$$S^* < \varphi S_n$$

Όπου:

- S^* η δράση
- φ μειωτικός συντελεστής που εξαρτάται από τον τύπο της φόρτισης.
- και S_n η αντίστοιχη αντοχή.



Νέα Ζηλανδία

- Κάμψη:

Για μονοαξονική κάμψη και θλίψη $N^* < k\phi N_o$, όπου $N_o = f_e A_b$ A_b η διατομή και ο K εξαρτάται από τη λυγηρότητα και την εκκεντρότητα της φόρτισης

- Διάτμηση:

$V^* < \phi(f_e s A_b + k_v f_d A_b)$ ή $V^* < 5\phi f_e s A_b$, όποιο είναι μικρότερο,

όπου: A_b η διατομή,
 $f_e s$ η διατμητική αντοχή,
 $K_v = 0,3$ για διεπιφάνειες με χωμάτινο κονίαμα

Αντίστοιχοι υπολογισμοί ισχύουν και στην περίπτωση οπλισμένης τοιχοποιίας.

Υπάρχει η δυνατότητα μερικώς πλάστιμης συμπεριφοράς ($\mu=2$).

Περιλαμβάνονται έλεγχοι θερμομόνωσης, πυροπροστασίας, προστασίας από διάβρωση.



Νέα Ζηλανδία

NZS 4298: 1998 Materials and workmanship for earth buildings:

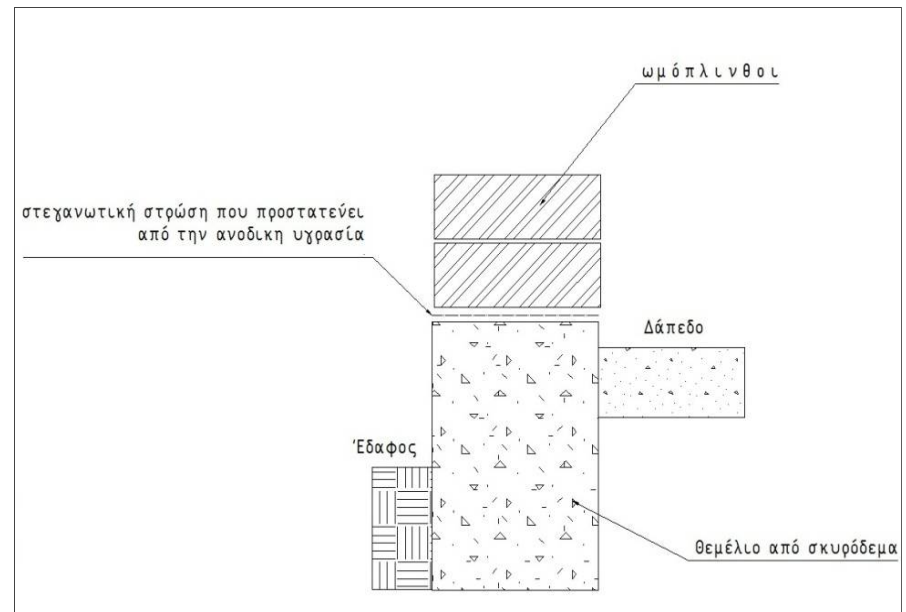
- Προδιαγράφει τα αποδεκτά υλικά και διαδικασίες για την παραγωγή κτηρίων από ωμόπλινθους και καλουπτωτό χώμα. Υπάρχει ένα ενημερωτικό παράρτημα και για cob.
- Συγκεκριμένα περιλαμβάνει προδιαγραφές για:
 - το εδαφικό μείγμα
 - τους πιθανούς σταθεροποιητές (π.χ. μέγιστο 15% κατά βάρος για τσιμέντο)
 - την ξήρανση και την αποθήκευση
 - αναλογίες, σύνθεση και ιδιότητες των κονιαμάτων
 - ενδεχόμενο οπλισμό της τοιχοποιίας
 - Κατασκευαστικές ανοχές (απόκλιση από την κατακόρυφο, μήκος/εύρος ρωγμών κ.λπ).



Νέα Ζηλανδία

NZS 4299: 1998 Earth buildings not requiring specific design.

- Προδιαγράφει τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά που θα πρέπει να πληρούν τα κτήρια, για να απαλλαγούν από την υπολογιστική μέθοδο αντοχής (πρότυπο 4297).
- Δίνει κατασκευαστικές λεπτομέρειες για τα επιμέρους τμήματα της κατασκευής (θεμέλια, ανώφλια κ.λπ.).



Πλινθόκτιστη κατοικία στην Κάτω Ελάτη Τρικάλων

Μέχρι το 1960 περίπου η πλειοψηφία των κτηρίων στο Θεσσαλικό κάμπο κτιζόταν με ωμόπλινθους. Στο συγκεκριμένο χωριό σώζεται μεγάλος αριθμός από τέτοια κτήρια, συχνά διώροφα.

Στόχοι του εγχειρήματος:

- Να εφαρμοστεί ξανά αυτή η παραδοσιακή τεχνική
- Να κατασκευαστεί μια μικρή κατοικία που να πληροί τις σύγχρονες απαιτήσεις λειτουργικότητας και ασφάλειας.
- Να διερευνηθεί το κατά πόσο είναι τεχνικά και οικονομικά εφικτή μια τέτοια κατασκευή αυτή τη στιγμή στην Ελλάδα.

Διαδικασία:

- Φέρων οργανισμός από ξύλο (μελέτη σύμφωνα με τους ευρωκώδικες, ωμόπλινθοι για τοιχοπλήρωση).
- Έκδοση οικοδομικής άδειας.
- Παραγωγή των ωμόπλινθων χειρονακτικά, με περιορισμένη χρήση μηχανημάτων.



Στάδιο 1: Παραγωγή πλιθιών



- Φρεζάρισμα του χώματος και πρώτο ανακάτεμα με μηχανικά μέσα.



Στάδιο 1: Παραγωγή πλιθιών



- Ανάμιξη με άχυρο το οποίο προηγουμένως είχαμε από πριν κόψει σε ίνες μικρού μήκους



Στάδιο 1: Παραγωγή πλιθιών

- Πετάμε το χώμα στο ένα καλούπι, ενώ καθαρίζουμε και βρέχουμε το άλλο.
- Χρειάζεται πολύ νερό για την παραγωγή του μίγματος και τον καθαρισμό της μήτρας.



Στάδιο 1: Παραγωγή πλιθιών



- Απαιτείται μεγάλη επιφάνεια για στέγνωμα και αποθήκευση των πλιθιών. Στην περίπτωση μας (8000 πλιθιά) χρειάστηκε 1 στρέμμα.
- Συνεργείο 3 ατόμων (με εμπειρία στην οικοδομή, αλλά όχι φυσικά στην παραγωγή πλιθιών κατασκεύασαν 500 πλιθιά την ημέρα με τη συγκεκριμένη διαδικασία (7 ώρες εργασία)



Στάδιο 2: Ξύλινος σκελετός

- Υποστυλώματα πακτωμένα στο θεμέλιο.
- Υγρομόνωση από διαπνέουσα μεμβράνη.
- Θερμομόνωση από πολυεστερικά φύλλα (ανακυκλώσιμα τα οποία περιέχουν και ανακυκλωμένο υλικό).

Στην περίπτωση μας:

- Αύξηση του κόστους μόνο 5% σε σύγκριση με απλή ξύλινη στέγη χωρίς υποστυλώματα.

Συμπέρασμα: Δεν είναι τόσο σημαντικό αν η χωμάτινη κατασκευή θα είναι φέρουσα.



Στάδιο 3: Κτίσιμο

- Απαραίτητη η ύπαρξη οριζόντιων διαζωμάτων (ξυλοδεσιών).
- Σημαντικό στην ταχύτητα: να είναι επίπεδα τα πλιθιά και εύκολα στο να τα πιάσει ο τεχνίτης.



Μετά την ολοκλήρωση του κτισίματος Δεκέμβριος 2011



«Δοντάκι» που προστατεύει από
ανοδικές υγρασίες



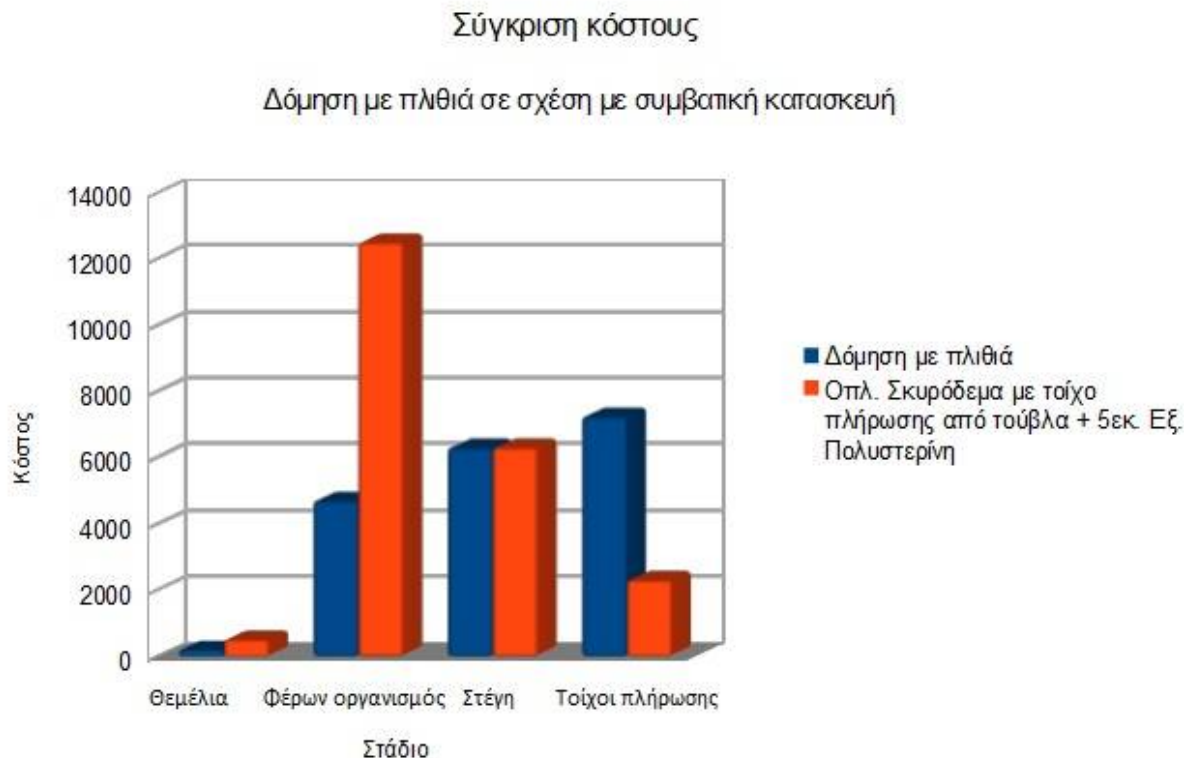
Επιχρίσματα

- Ασβεστοκονίαμα (ασβέστης, άμμος, και συνθετικές ίνες για αύξηση της αντοχής). Χωρίς προσθήκη τσιμέντου.



Συμπεράσματα

- Σύγκριση κόστους κατασκευής με συμβατική (οπλισμένο σκυρόδεμα με θεμελίωση, με πέδιλα και τοιχοπλήρωση, διπλοί δρομικοί και μόνωση 5εκ. εξηλασμένη πολυστερίνη στον πυρήνα).
- Μικρότερο κόστος κατά 10%, κυρίως λόγω του ξύλινου φορέα. Θα μπορούσε να είναι μεγαλύτερο αν υπήρχε μεγαλύτερη εμπειρία στην παραγωγή πλιθιών και στο κτίσιμο τους.



Συμπεράσματα

- Έκδοση οικοδομικής άδειας:

Στατικά:

- Ξύλινος φέρων οργανισμός, σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 5.
- Οι χωμάτινοι τοίχοι είναι πλήρωσης.

ΚΕΝΑΚ:

- Δεν απαιτήθηκε γιατί ήταν $<50\mu^2$.
- Αν απαιτούνταν θα χρειαζόταν επιπλέον θερμομόνωση (εξωτερικά).
- Η συνεισφορά της θερμικής αδράνειας στη θερμική συμπεριφορά του κτηρίου, πιθανώς, υποεκτιμάται.



Συμπεράσματα

- Απαιτήσεις για ένα νέο σπίτι από χώμα αυτή τη στιγμή στην Ελλάδα:
 - Μικρό ύψος κτιρίου, με κανονική κάτοψη και φέροντα οργανισμό από άλλο υλικό.
 - Μεγάλος χώρος για στέγνωμα των πλιθιών.
 - Πρόσβαση σε άφθονο νερό.
 - Χρονοβόρα διαδικασία.
 - Απαιτεί εργατικά χέρια, αλλά όχι ιδιαίτερη εξειδίκευση.
 - Εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες (προστασία από νερό, όχι εργασίες το χειμώνα).



Πού θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σήμερα ένα σπίτι από χώμα;

- Σε ισόγεια το πολύ διώροφα κτήρια.
- Σε αγροτικές περιοχές, όπου δεν υπάρχει πρόβλημα χώρου.
- Δυνατότητα συμμετοχής του ιδιοκτήτη ή και φίλων του σε στάδια της κατασκευής (π.χ. παραγωγή μείγματος, γύρισμα, αποθήκευση των πλιθιών, λάσπωμα) για τη μείωση του κόστους.



Πώς θα μπορούσε να επεκταθεί η χρήση του χώματος στη δόμηση;

- 1η κατεύθυνση: Προσαρμογή του συμβατικού τρόπου δόμησης στις απαιτήσεις της δόμησης με χώμα, με προϋπόθεση:
 - Τη θέσπιση κανονισμών που να προδιαγράφουν προϊόντα και τρόπους δόμησης.
 - Μερική, τουλάχιστον, βιομηχανοποίηση προϊόντων έτσι ώστε να έχουμε οικονομία κλίμακας και μείωση του κόστους.
- 2η κατεύθυνση: Κατασκευές στις οποίες μέρος της εργασίας γίνεται εθελοντικά ή σε μειωμένο κόστος (π.χ. οικο-κοινότητες). Ωστόσο μέρος της κατασκευής δεν μπορεί παρά να γίνεται από εξειδικευμένους τεχνίτες (ξύλινος φορέας, κτίσιμο, κουφώματα κλπ). Οι μελέτες (αρχιτεκτονικές, στατικές κλπ) δεν θα πρέπει να παραλείπονται, ώστε να έχουμε ασφαλείς και λειτουργικές κατασκευές. **Συνεπώς η δυνατότητα μείωσης του κόστους δεν θα πρέπει να υπερεκτιμάται.**



Ευχαριστώ για την προσοχή σας!

Χρήσιμα links:

- www.engoe.gr – Μηχανικοί της Γης (ΜτΓ)
- www.adobehousegreece.wordpress.com - Ιστολόγιο που περιγράφει τις εργασίες του πλινθόκτιστου στην Κάτω Ελάτη Τρικάλων (στα αγγλικά).
- www.euroearth.eu Πανευρωπαϊκό δίκτυο για τη δόμηση με χώμα

