

Δόμηση με Πηλό και Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ)

Δρ Ελευθερία Αλεξανδρή, Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ, MPhil Cambridge, PhD Cardiff

Εισαγωγή

Όσον αφορά την ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου, ο πηλός είναι ένα δομικό υλικό που μπορεί να προσδώσει ικανή θερμομόνωση στην κατασκευή, σε συνδυασμό με υλικά όπως άχυρο, κίσηρη κοκ, δυσκολεύοντας τη μεταφορά θερμότητας με το περιβάλλον, ευεργετική ιδιότητα και για την περίοδο θέρμανσης και για την περίοδο ψύξης. Έχει αυξημένη θερμική μάζα, που μπορεί να δώσει ικανή θερμοχωρητικότητα στην κατασκευή, η οποία λειτουργεί ευεργετικά τόσο την περίοδο θέρμανσης όσο και την περίοδο ψύξης. Χάρη στην αποθήκευση θερμότητας η θερμοκρασία εσωτερικού χώρου είναι πιο ομοιόμορφη, χωρίς μεγάλες εξάρσεις, που συνήθως προκαλούν θερμική δυσφορία.

Επιπλέον, αν κοιτάξουμε τον πηλό ως «τριχοειδές-πορώδες» υλικό, που βρίσκεται μέσα σε υγρό περιβάλλον (όπως άλλωστε είναι και η ατμόσφαιρα του πλανήτη μας) θα διαπιστώσουμε ότι δεν αρκεί απλά η μεταφορά θερμότητας για να μελετήσουμε τις θερμικές διακυμάνσεις του υλικού, αλλά η μεταφορά θερμότητας και μάζας, όπου λαμβάνεται υπόψη η επιρροή της αλλαγής φάσης του νερού στη μεταφορά θερμότητας. Μελετώντας δυναμικά τη θερμική συμπεριφορά του πηλού, θα δούμε, ότι, λόγω της χημικής του σύστασης, είναι ικανός να μειώνει το φορτίο ψύξης και το φορτίο θέρμανσης, λόγω της λανθάνουσας θερμότητας που εκλύεται ή απορροφάται, προκειμένου να διατηρεί την υγρασία του σε σταθερό ποσοστό, ιδιαίτερα όταν χρησιμοποιείται και ως επιφανειακό υλικό.

Εκτός αυτού έχει μικρή ενσωματωμένη ενέργεια, σε σχέση με άλλα δομικά υλικά, καθώς δεν απαιτούνται οι υψηλές θερμοκρασίες που απαιτούνται για τη δημιουργία π.χ. των τούβλων, που επίσης προέρχονται από τη γη.

Επιπλέον, το περιβαλλοντικό του αποτύπωμα από την εξόρυξή του ως τη φάση της κατεδάφισης του κτιρίου είναι σχετικά μικρό: προερχόμενος από το χώμα, δε χρειάζονται μεγάλα ποσά ενέργειας για την εξόρυξή του, ούτε έχει κατηγορηθεί για πρόκληση καρκίνου ή μεγάλα ποσά σκόνης. Έχοντας εκπληρώσει το ρόλο του ως δομικό υλικό, με την κατεδάφισή του, επιστρέφει στο χώμα και ξαναγίνεται χώμα, εφόσον δεν έχει τεχνητά πρόσμικτα, χωρίς να επιβαρύνει το περιβάλλον.

Από όλες αυτές του τις ιδιότητες, μόνο οι δύο πρώτες λαμβάνονται υπόψη στην ενεργειακή μελέτη και την ενεργειακή επιθεώρηση (θερμομονωτική ικανότητα και θερμοχωρητικότητα), όπως έχει ορισθεί η μεθοδολογία τους κατά ΚΕΝΑΚ.

Παραδοχές του ΚΕΝΑΚ

Σύμφωνα με τον ΚΕΝΑΚ η ενεργειακή ζήτηση του κτιρίου για θέρμανση και ψύξη υπολογίζεται μόνο βάσει της μεταφοράς θερμότητας (κι όχι και μάζας), με τη μέθοδο ημι-σταθερής κατάστασης μηνιαίου βήματος, όπως αναπτύσσεται στο πρότυπο EN 13790.

Τα στοιχεία ενός δομικού στοιχείου που χρειάζονται για τον υπολογισμό της ενεργειακής ζήτησης είναι:

1. Συντελεστής θερμοπερατότητας (U-value ή το k του Κανονισμού Θερμομόνωσης): εκφράζει το πόσο δύσκολα περνά η θερμότητα από ένα δομικό στοιχείο. Όσο πιο μικρός είναι ο συντελεστής θερμοπερατότητας ενός δομικού στοιχείου, τόσο πιο δύσκολα γίνεται μεταφορά θερμότητας μέσω αυτού και άρα τόσο πιο πολύ θερμομονωμένο είναι το δομικό στοιχείο.
2. Θερμοχωρητικότητα: Θερμοχωρητικότητα είναι η ικανότητα των δομικών υλικών του κτιρίου να αποθηκεύει θερμότητα. Καθορίζει τη θερμική αδράνεια του κτιρίου, δηλαδή το κατά πόσο το κτίριο ανταποκρίνεται αργά ή γρήγορα στις θερμικές μεταβολές (κλιματικές ή τεχνητές).
3. Θερμογέφυρες: Θερμογέφυρες ονομάζονται τα τμήματα ενός κατασκευαστικού στοιχείου που παρουσιάζουν σημαντικά μεγαλύτερες θερμικές απώλειες από το σύνολο του στοιχείου, λόγω ασυνεχειών (κατασκευαστικών, γεωμετρικών ή και συνδυασμού των δύο).

Πρόκειται δηλαδή για περιοχές που παρουσιάζεται ασυνέχεια του στοιχείου, παρεμβολή κάποιου άλλου στοιχείου, κακοτεχνίες κοκ, με αποτέλεσμα να αλλάζει σημειακά ή γραμμικά ο συντελεστής θερμοπερατότητας του στοιχείου κι έτσι μεταβάλλεται η ροή θερμότητας τοπικά.

Στη θερμογέφυρα παρουσιάζεται, στις περισσότερες περιπτώσεις, μειωμένη θερμική αντίσταση σε σχέση με το υπόλοιπο κέλυφος, επιτρέποντας έτσι αυξημένη θερμική ροή.

4. Ανακλαστικότητα και ικανότητα εκπομπής εξωτερικής επιφάνειας: Ανακλαστικότητα: πρόκειται για το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που ανακλάται από την επιφάνεια προς εκείνη που προσπίπτει. Όσο πιο μεγάλη η ανακλαστικότητα μιας επιφάνειας, τόσο λιγότερη ηλιακή ακτινοβολία απορροφά. Ως ικανότητα εκπομπής (ε) ενός σώματος ορίζεται ο λόγος της θερμικής ακτινοβολίας που εκπέμπει το σώμα προς την ακτινοβολία που εκπέμπει ένα μαύρο σώμα που βρίσκεται στην ίδια θερμοκρασία, στο ίδιο μήκος κύματος. Όσο μεγαλύτερη είναι η ικανότητα εκπομπής, τόσο μεγαλύτερα ποσά θερμότητας από ακτινοβολία ανταλλάσσει το σώμα με το περιβάλλον του.

Πριν εξετάσουμε πώς η κάθε μία από τις παραπάνω ιδιότητες απαιτείται από τις κατασκευές για πηλό, ας δούμε τις κλιματικές ζώνες της χώρας κατά ΚΕΝΑΚ.

Η χώρα χωρίζεται σε τέσσερις κλιματικές ζώνες, βάσει των βαθμοημερών θέρμανσης, όπως φαίνεται στο χάρτη (Εικόνα 1). Η Α είναι η πιο θερμή, ενώ η Δ είναι η πιο ψυχρή. Επιπλέον, οι περιοχές που βρίσκονται σε υψόμετρο άνω

των 500 μέτρων, εντάσσονται στην επόμενη ψυχρότερη κλιματική ζώνη από εκείνη στην οποία ανήκουν, προκειμένου να καλυφθεί η ποικιλομορφία του Ελληνικού κλίματος.

Αναλόγως με τις κλιματικές ζώνες, διαμορφώνονται και οι απαιτήσεις του συντελεστής θερμοπερατότητας κάθε δομικού στοιχείου. Όσο αυξάνει η θερμική ζώνη, τόσο μικραίνουν τα ανώτατα επιτρεπτά όρια του συντελεστής θερμοπερατότητας (Πίνακας 1).



Εικόνα 1. Κλιματικές ζώνες κατά ΚΕΝΑΚ (ΚΕΝΑΚ, 2010)

Πίνακας 1. Μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας ανά δομικό στοιχείο και κλιματική ζώνη κατά ΚΕΝΑΚ (ΚΕΝΑΚ, 2010)

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

Πηλός και ΚΕΝΑΚ

Οι Τεχνικές Οδηγίες του ΤΕΕ που αφορούν τον ΚΕΝΑΚ είναι η σειρά 20701 από 1 έως 4. Στην ΤΟΤΕΕ 20701-2:2010 δίνονται τιμές σχετικά με το συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (που συνδέεται με το συντελεστή θερμοπερατότητας), της πυκνότητας και της ειδικής θερμότητας (που συνδέονται με τη θερμοχωρητικότητα) για διάφορα είδη κατασκευών από πηλό (Πίνακας 2). Επίσης, αναφέρεται ότι αν το υλικό μας έχει μετρημένες τις θερμοφυσικές του ιδιότητες από πιστοποιημένα εργαστήρια, μπορούμε να θεωρήσουμε τις πιστοποιημένες τιμές κι όχι εκείνες του πίνακα της ΤΟΤΕΕ 20701-2:2010.

Σύμφωνα όμως με τις τιμές που μας δίνονται από τις ΤΟΤΕΕ, ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας (το λ) της κατεργασμένης αργίλου, κυμαίνεται από 0.1W/mK για ωμόπλινθους με πρόσμειξη άχυρου (χωρίς να αναφέρονται τα ποσοστά) ως 1.5W/mK για τον απλό πηλό, σε μορφή λάσπης. Συγκριτικά, το σκυρόδεμα έχει πολύ μεγαλύτερο λ (2.500W/mK) και η οπτοπλινθοδομή παρουσιάζει παραπλήσιο λ με εκείνο του μπαγδατί.

Αν εξετάσουμε τα ελάχιστα πάχη που χρειάζονται για να πιάσει μια επιχρισμένη κατασκευή από πηλό τους μέγιστους επιτρεπόμενους συντελεστές θερμοπερατότητας για κάθε κλιματική ζώνη, για την εξωτερική τοιχοποιία, παρατηρούμε ότι για τις πιο θερμομονωτικές κατηγορίες πηλού ($\lambda < 0.250\text{W/mK}$ – κίσηρη με πηλό και πηλό με άχυρο) τα 15-50 εκ καλύπτουν και τις 4 κλιματικές ζώνες. Για τους υπόλοιπους τύπους δόμησης με πηλό ($\lambda > 0.250\text{W/mK}$), θα χρειαστεί τοποθέτηση θερμομονωτικού υλικού, από 3 έως 8 εκ, ανάλογα με την κλιματική ζώνη, τον τύπο του πηλού και το συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας του θερμομονωτικού υλικού.

Πίνακας 2. Θερμικές ιδιότητες πηλού (ΤΟΤΕΕ 20701-2:2010)

Δομικά υλικά	Πυκνότητα	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας. Τιμές σχεδιασμού.	Ειδική θερμοχωρητικότητα	Συντελεστής αντίστασης σε διάχυση υδρατμών	
				μ	
	ρ kg/m ³	λ W/(m·K)	c_p J/(kg·K)	ξηρό	υγρό
1. Ανόργανα δομικά υλικά					
1.3. Κατεργασμένη αργίλος (πηλός)					
1.3.1. Ελαφρός πηλός (κίσηρη + πηλός)	760	0,230	1 000	6	
1.3.2. Πηλός μπαγδατί		0,470			
1.3.3. Πηλός λάσπη	1200 - 1800	1,500	1670 - 2500	50	50
1.3.4. Ωμόπλινθοι συμπαγείς	1990	0,800	1 000	10	
1.3.5. Ωμόπλινθοι με πρόσμειξη άχυρου	300	0,100	1 500	5	
	660	0,190	1 500	5	
	1400	0,700			

Όσον αφορά τη θερμοχωρητικότητα της κατασκευής, δίνεται στην ΤΟΤΕΕ 20701-1:2010 πίνακας, στον οποίο καθορίζεται μια ανοιγμένη θερμοχωρητικότητα, ανάλογα με τον τύπο της κατασκευής (Πίνακας 3). Από τη μία έχουμε τους «βαριούς» πηλούς (μεγάλο γινόμενο πυκνότητας επί ειδική θερμότητα, δηλαδή μεγάλη θερμοχωρητικότητα), όπως πηλό και λάσπη, συμπαγείς ωμόπλινθους κοκ κι από την άλλη τους «ελαφριούς» πηλούς (πιο μικρό γινόμενο πυκνότητας επί ειδική θερμότητα, δηλαδή πιο μικρή θερμοχωρητικότητα), όπως κίσηρη με πηλό, πηλό με μεγάλη πρόσμειξη άχυρου κοκ. Οι «βαριοί» πηλοί θα περιγραφούν ως βαριά υλικά, με στοιχεία πλήρωσης

οπτόπλινθους, ομόπλινθους κοκ με μια ανηγμένη θερμοχωρητικότητα 370 kJ/m²K, ενώ οι «ελαφριοί» πηλοί θα περιγραφούν με μικρότερη ανηγμένη θερμοχωρητικότητα. Αυτή η έκφραση είναι πολύ απλοποιητική, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη η ακριβής θερμοχωρητικότητα της κατασκευής (κέλυφος και εσωτερικά χωρίσματα) καθώς και οι ιδιαιτερότητές της.

Πίνακας 3. Ανηγμένη θερμοχωρητικότητα για τυπικές κατασκευές ανά m² δαπέδου (ΤΟΤΕΕ 20701-1:2010)

Κατηγορία	Περιγραφή	Ανηγμένη θερμοχωρητικότητα (kJ/(m ² .K))
1	Ελαφριά κατασκευή με ξύλινο σκελετό και στοιχεία πλήρωσης από γυψοσανίδα ή ξύλο και εσωτερική θερμομόνωση σε όλα τα δομικά στοιχεία (τοιχοποιία, οροφή, δάπεδο).	80
2	Φέρων οργανισμός από ελαφριά μεταλλική κατασκευή, πλήρωση από υαλοπετάσματα ή ελαφριά πετάσματα με θερμομόνωση.	110
3	Φέρων οργανισμός από σκυρόδεμα, στοιχεία πλήρωσης από ελαφροβαρείς τσιμεντόλιθους ή γυψοσανίδα και ύπαρξη ψευδοροφών.	165
4	Φέρων οργανισμός από σκυρόδεμα και στοιχεία πλήρωσης από διάτρητες οπτόπλινθους.	260
5	Φέρων οργανισμός από σκυρόδεμα και στοιχεία πλήρωσης από βαριά υλικά, όπως πέτρα, συμπαγείς οπτόπλινθους, ωμόπλινθους ή σκυρόδεμα.	370

Οι θερμογέφυρες υπολογίζονται ως το γινόμενο του μήκους της θερμογέφυρας επί ένα γραμμικό συντελεστή Ψ, που έχει εκτιμηθεί για κατασκευές από σκυρόδεμα και οπτόπλινθο, βάσει κατασκευαστικών λεπτομερειών, βάσει των αντίστοιχων προτύπων EN14683 και EN10211. Στην ΤΟΤΕΕ 20701-2:2010 δίνονται τιμές του συντελεστή Ψ για τις συνήθεις ελληνικές κατασκευές. Δεν έχει γίνει κάποια εργασία για τις θερμογέφυρες μεταξύ άλλων δομικών υλικών (ξύλου και πηλού ή μεταλλικές κατασκευές κοκ). Απλοποιητικά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι συντελεστές που έχουν υπολογισθεί για την οπτοπλινθοδομή¹.

Η ανακλαστικότητα λαμβάνεται απλοποιητικά από τον πίνακα 3.14 της ΤΟΤΕΕ 1, ανάλογα με το πόσο σκούρα είναι η εξωτερική επιφάνεια του πηλού.

Η ικανότητα εκπομπής λαμβάνεται παντελώς απλοποιητικά ως 0.8, για τα συνήθη δομικά υλικά.

Ο ΚΕΝΑΚ ορίζει και την ενεργειακή πιστοποίηση των κτιρίων, την έκδοση Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης (το λεγόμενο ΠΕΑ), η οποία βρίσκεται σε ισχύ από τον Οκτώβρη του 2010, ενώ θα έπρεπε να βρισκόταν σε εφαρμογή από το 2006, σύμφωνα με την ευρωπαϊκή οδηγία 91 για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων της ΕΕ (2002/91)

Βασίζεται μόνο στο λόγο της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου σε σχέση με το ίδιο το κτίριο με συγκεκριμένα τεχνικά χαρακτηριστικά (κτίριο αναφοράς), έχοντας πρακτικά βγάλει εκτός του ενεργειακού σχεδιασμό των κτιρίων.

Η μέθοδος υπολογισμού της ενεργειακής ζήτησης, όπως αναπτύσσεται στο EN13790 δε λαμβάνει υπόψη της την επιρροή της υγρασίας στη μεταφορά

¹ Προσωπική επικοινωνία με Καθ. Δημήτρη Αραβαντινό.

θερμότητας, κάτι που δεν μπορεί να περιγράψει σε βάθος τη θερμική συμπεριφορά ενός υλικού όπως ο πηλός.

Επιπλέον για το ΠΕΑ (το Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης που θέσπισε ο ΚΕΝΑΚ) δε λαμβάνει υπόψη η τοξικότητα των υλικών, το περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα, η ενσωματωμένη τους ενέργεια, τα απορρίμματα, η κατανάλωση νερού, σημαντικές ιδιότητες ως προς την οικολογικότητα της οικοδομής.

Αν πάμε παραπέρα στον κόσμο, θα δούμε ότι υπάρχουν πιστοποιητικά σχετικά με την «οικολογική» αποδοτικότητα των κτιρίων, πιο απαιτητικά από το ΠΕΑ, σε όλο τον κόσμο.

Στη Γερμανία το passive hous, στον Καναδά το BOMA, στην Αμερική το LEED, στην Αγγλία το BREEAM, στην Ιαπωνία το CASBEE.

Πρόκειται για πιστοποιητικά κτιρίων, τα οποία εξετάζουν,

- πέρα από την ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου
- Ποιότητα αέρα εσωτερικών χώρων
- Οικοτοξικότητα και περιβαλλοντικό αποτύπωμα υλικών (κελύφους και Η/Μ συστημάτων)
- Κατανάλωση νερού
- Ανάλυση κύκλου ζωής υλικών και κτιρίου

Κάτι που το ΠΕΑ δεν κάνει, το οποίο είναι εις βάρος των κατασκευών από πηλό.

Ας σταθούμε λίγο στην Ενσωματωμένη ενέργεια, που είναι μέρος της ανάλυσης κύκλου ζωής των κτιρίων.

Η ενσωματωμένη ενέργεια, δηλαδή η ενέργεια που έχει δαπανηθεί για την παραγωγή των υλικών που αποτελούν το κτίριο και για την κατασκευή του κτιρίου μπορεί να φτάσει και το 60% της ενέργειας του κύκλου ζωής ενός κτιρίου, ιδιαίτερα για κτίρια υψηλής ενεργειακής απόδοσης (Blengini & Di Carlo, 2010).

Αν εξετάσουμε την ενσωματωμένη ενέργεια του πηλού, είναι το 1/6 της ενσωματωμένης ενέργειας του τούβλου και το 1/14 της ενσωματωμένης ενέργειας του σκυροδέματος (Berge, 2009). Αυτό σημαίνει, ότι αν αντικαταστήσουμε σε μια μονοκατοικία τα αδιαφανή στοιχεία από τούβλα και σκυρόδεμα με πηλό, μπορεί να επιφέρει εξοικονόμηση ενέργειας στην ενσωματωμένη ενέργεια της κατασκευής της τάξης του 95%.

Λαμβάνοντας υπόψη τον κύκλο των υλικών, αντιλαμβανόμαστε ότι

- Ως υλικό ο πηλός έχει χαμηλή ενσωματωμένη ενέργεια και χαμηλό περιβαλλοντικό αποτύπωμα.
- Η ενέργεια που θα καταναλώσουν τα κτίρια από πηλό κατά τη διάρκεια της ζωής τους εξαρτάται από το σχεδιασμό και την κατασκευή τους καθώς κι από τη συμπεριφορά του χρήστη.
- Μετά το πέρας της ζωής του κτιρίου, ο πηλός μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί ή να βιοαποικοδομηθεί.

Συμπεράσματα

Αντιλαμβάνεται λοιπόν κανείς, ότι προκειμένου να αποδοθούν στην κατασκευή από πηλό οι ευεργετικές ενεργειακές του δυνατότητες από τον ΚΕΝΑΚ και το ΠΕΑ, θα πρέπει στο μέλλον να ληφθούν υπόψη τα εξής:

- Πιο αναλυτικός τρόπος υπολογισμού του φορτίου θέρμανσης και ψύξης, ώστε να λαμβάνεται υπόψη και ο ρόλος της λανθάνουσας θερμότητας (μεταφορά θερμότητας και μάζας)
- Πιο αναλυτική έκφραση της θερμικής μάζας, λαμβάνοντας υπόψη και τα εσωτερικά χωρίσματα
- Εμπλουτισμός των πινάκων των θερμοφυσικών ιδιοτήτων των κατασκευών από πηλό
- Υπολογισμός του συντελεστή Ψ θερμογεφυρών αναλυτικά για διάφορες κατασκευαστικές λεπτομέρειες (ξύλο με πηλό κοκ)

Αναφορές

1. B. Berge (2009) *The Ecology o Building Materials*. Elsevier, Amsterdam.
2. G. A. Blengini & T. Di Carlo (2010) *The changing role of life cycle phases, subsystems and materials in the LCA of low energy buildings*. Energy and Buildings Vol 42 (2010), pp 869–880.
3. ΚΕΝΑΚ (2010) Έγκριση Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων. ΦΕΚ 407/9.4.2010, Αριθμ. Δ6/Β/οικ. 5825.
4. Οδηγία 2010/31/ΕΕ Για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων (Αναδιατύπωση). Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, 18.6.2010, L 153/13-35.
5. ΤΟΤΕΕ 20701-1 (2010) Αναλυτικές Εθνικές Προδιαγραφές Παραμέτρων για τον Υπολογισμό της Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων και την Έκδοση του Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης. Α' έκδοση, ΤΕΕ, Αθήνα.
6. ΤΟΤΕΕ-20701-2 (2010) Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτηρίων. Α' έκδοση, ΤΕΕ, Αθήνα.