

Αξιολόγηση συστημάτων θερμομόνωσης σε κατοικία στο Πόρτο Ράφτη Αττικής.

Λ. ΜΠΕΗΣ και Μ. ΑΜΠΑΤΖΗ

SUSTAINABLE ARCHITECTURE ADVISORS HELLAS (SAA-H)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο κανονισμός ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων (ΚΕΝΑΚ) προβλέπει την ενσωμάτωση ενός ολοκληρωμένου ενεργειακού σχεδιασμού των κτιρίων με σκοπό τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσής τους, την εξοικονόμηση ενέργειας και την προστασία του περιβάλλοντος. Το κτιριακό κέλυφος αποτελεί το μέσο με το οποίο το κτίριο ανταλλάσσει θερμότητα με το εξωτερικό περιβάλλον. Η κατασκευαστική σύνθεση του κτιριακού κελύφους, δηλαδή η διάταξη των υλικών και των δομικών στοιχείων καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την κατανάλωση ενέργειας για την κάλυψη των αναγκών ψύξης και θέρμανσης του εσωτερικού χώρου. Για τον λόγο αυτό η θερμική προστασία του κτιριακού κελύφους αποτελεί βασική παράμετρο για την ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου. Στο άρθρο συγκρίνεται η χρήση εξωτερικής θερμομόνωσης, σε ένα νέο κτίριο κατοικίας στο Πόρτο Ράφτη Αττικής, σε σχέση με την συμβατική θερμομόνωση. Ο πρώτος στόχος της μελέτης είναι η αξιολόγηση των δύο συστημάτων θερμομόνωσης σε σχέση με την ενεργειακή ταξινόμηση της κατοικίας. Η προσομοίωση του κτιρίου πραγματοποιείται με το πιστοποιημένο λογισμικό Energy Building 2010 και η ενεργειακή κατάταξη με το λογισμικό TEE ΚΕΝΑΚ 1.28. Στη συνέχεια ο δεύτερος στόχος της μελέτης είναι η ανάδειξη και σύγκριση της πραγματικής συνεισφοράς των δύο τρόπων θερμομόνωσης στην ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου. Με την χρήση του εξειδικευμένου λογισμικού TAS (EDSL) πραγματοποιείται η προσομοίωση του μοντέλου και η παραμετρική μελέτη των διαφορετικών καταστάσεων. Στο άρθρο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της παραπάνω μελέτης.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το Πόρτο Ράφτη αποτελεί το παραλιακό μέτωπο του Δήμου Μαρκοπούλου Μεσογαίας. Περιβάλλει τον κόλπο του Πόρτο Ράφτη στην ανατολική ακτή της Αττικής. Απέχει μόλις 38 χμ από το κέντρο της Αθήνας και ο πληθυσμός του ανέρχεται περίπου στις 10.000 μόνιμους κατοίκους με πρόβλεψη σημαντικής αύξησης του πληθυσμού στις 45.000 μέχρι το 2030. Αυτό συνεπάγεται την απότομη αύξηση της ζήτησης για μόνιμη κατοίκηση. Τα κτίρια στο Πόρτο Ράφτη που ως επί το πλείστον έχουν χρήση κατοικίας, καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες ενέργειας για ψύξη κατά την θερινή περίοδο αλλά και για θέρμανση κατά την διάρκεια της ψυχρής περιόδου. Για τον λόγο αυτό επιβάλλεται να ληφθεί ιδιαίτερη μέριμνα για την εξοικονόμηση ενέργειας στον κτιριακό τομέα της περιοχής αυτής. Οι Σύμβουλοι Βιοκλιματικού Σχεδιασμού (SAA-H) ανέλαβαν την μελέτη

αξιολόγησης δύο συστημάτων θερμομόνωσης για μια κατοικία στο Πόρτο Ράφτη. Σκοπός της εργασίας είναι ανάδειξη της πιο ενδεδειγμένης λύσης όσον αφορά στην βελτίωση της ενεργειακής κατάταξης του κτηρίου (KENAK), αλλά και στην πραγματική συνεισφορά στην εξοικονόμηση ενέργειας.

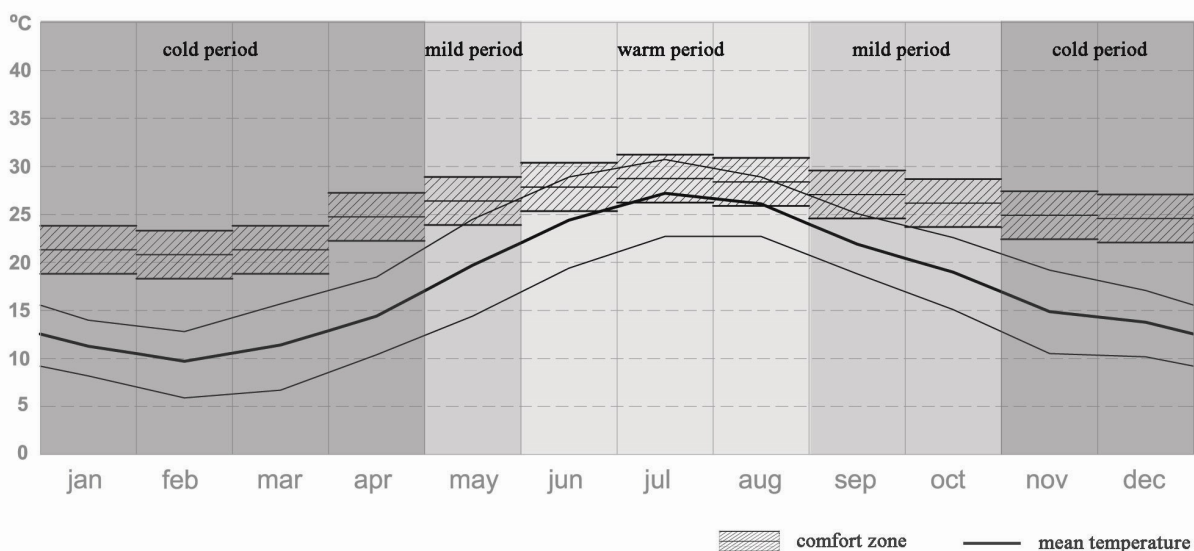
2. ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗ

Στο άρθρο επιχειρείται η σύγκριση συμβατικής και εξωτερικής θερμομόνωσης (θερμοπρόσοψης). Συμβατική θερμομόνωση ονομάζεται ο τρόπος θερμομόνωσης κατά τον οποίο η μόνωση εφαρμόζεται στο εσωτερικό της τοιχοποιίας, δηλαδή μεταξύ των δύο σειρών τούβλων ενός δρομικού τοίχου και στην εξωτερική παρειά του φέροντα οργανισμού. Με τον τρόπο αυτό η μόνωση διακόπτεται όταν αλλάζει ένα δομικό στοιχείο στην κατασκευή κι έτσι δημιουργούνται θερμογέφυρες. Ενώ ως θερμοπρόσοψη ορίζεται ένα σύστημα εξωτερικής θερμομόνωσης στο οποίο η μόνωση δεν διακόπτεται στα σημεία ένωσης των διαφορετικών δομικών στοιχείων (Παπαδόπουλος, 2008). Το βασικότερο πλεονέκτημα της θερμοπρόσοψης η σημαντική μείωση των θερμογεφυρών.

2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1 Κλίμα

Η κλιματική ανάλυση βασίστηκε σε κλιματικά δεδομένα για την περιοχή του Πόρτο Ράφτη τα οποία συλλέχτηκαν από ιδιωτικούς μετεωρολογικούς σταθμούς και ταυτίζονται με αυτά της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (EMY). Έτσι λοιπόν το Πόρτο Ράφτη έχει τυπικό Μεσογειακό κλίμα που χαρακτηρίζεται από ήπιους και βροχερούς χειμώνες και ζεστά και με ελάχιστες βροχές καλοκαίρια (Beis, 2010).



Εικόνα 1: Μηνιαίες μέσες τιμές εξωτερικής θερμοκρασίας στο Πόρτο Ράφτη, Αττικής

Η εικόνα 1 απεικονίζει την μηνιαία μέση θερμοκρασία η οποία κυμαίνεται από 5 – 30 °C. Στην εικόνα διακρίνονται τρεις ξεχωριστές περιόδους με διαφορετικά χαρακτηριστικά. Μία περίοδος έξι μηνών με κρύο, από τον Νοέμβριο μέχρι και τον Απρίλιο, με μέση ημερήσια θερμοκρασία

χαμηλότερη από 15 °C, μία ήπια περίοδος (Μάιος, Σεπτέμβριος και Οκτώβριος) με μέση θερμοκρασία μεταξύ 19°C και 22°C και μια ζεστή – πολύ ζεστή περίοδος (Ιούνιος έως και Αύγουστος) με μέση ημερήσια θερμοκρασία μεταξύ 24.4 - 27.2 °C. Παρόλα αυτά κατά την διάρκεια της ζεστής περιόδου υπάρχουν δύο μήνες (Ιούλιος και Αύγουστος) όπου η μέση ημερήσια θερμοκρασία μπορεί να κυμανθεί και σε εξαιρετικά υψηλά επίπεδα πάνω από 30 °C. Έτσι κατά την διάρκεια της ζεστής περιόδου το κτήριο μας αναμένεται να έχει αυξημένη ανάγκη για δροσισμό. Τέλος η μέση ημερήσια σχετική υγρασία καθ' όλη την διάρκεια του έτους κυμαίνεται μεταξύ 37% τον Ιούλιο και 70% τον Δεκέμβριο.

2.2 Άνεση

Για να μειώσουμε την χρήση του κλιματισμού και άρα την κατανάλωση ενέργειας, πρωταρχικό στοιχείο αποτελεί μείωση της θερμοκρασιακής διαφοράς εξωτερικής και εσωτερικής θερμοκρασίας. Αυτό όμως συνεπάγεται την αποδοχή προσαρμοστικών δεδομένων για την θερμική άνεση.

Πίνακας 1: Θερμική άνεση

Month	$T_{mean} (T_m)$	$T_n - 2.5K$	$A_{uliciems}$ $T_n = 17.8 + 0.31 T_m$	$T_n + 2.5K$
jan	11.3	18.80	21.30	23.80
feb	9.7	18.31	20.81	23.31
mar	11.4	18.83	21.33	23.83
apr	14.4	19.76	22.26	24.76
may	19.7	21.41	23.91	26.41
jun	24.4	22.86	25.36	27.86
jul	27.2	23.73	26.23	28.73
aug	26.1	23.39	25.89	28.39
sep	21.9	22.09	24.59	27.09
oct	19	21.19	23.69	26.19
nov	14.9	19.92	22.42	24.92
dec	13.8	19.58	22.08	24.58

Σύμφωνα με τον Szokolay (Szokolay, 2008) τα θερμοκρασιακά όρια της θερμικής ζώνης μπορούν να συσχετισθούν με την θερμοκρασία ουδετερότητας T_n για 90 % αποδοχής χρηστών προσθαφαιρώντας 2.5 °C. Επομένως η ζώνη θερμικής άνεσης θα είναι από $(T_n - 2.5)$ °C έως $(T_n + 2.5)$ °C. Ο πίνακας 1 απεικονίζει την διακύμανση της ζώνης θερμικής άνεσης μέσα σε μια κατοικία στο Πόρτο Ράφτη. Όπως φαίνεται στον πίνακα 1, κατά την διάρκεια του έτους οι χρήστες της κατοικίας μπορούν να νιώθουν θερμική άνεση όταν η εσωτερική θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 18.31 °C και 28.73 °C. Έτσι όταν η εσωτερική θερμοκρασία του χώρου είναι χαμηλότερη από 18.31 °C, ο χρήστης θα αισθανθεί κρύο και έτσι η κατοικία θα έχει την ανάγκη θέρμανσης, ενώ όταν η εσωτερική θερμοκρασία ξεπεράσει την ζώνη θερμικής άνεσης, τότε το κτήριο θα απαιτήσει δροσισμό. Συμπερασματικά λοιπόν μία κατοικία στο Πόρτο Ράφτη μπορεί να παρέχει θερμική άνεση στους χρήστες όταν θερμαίνεται και ψύχεται έχοντας τον θερμοστάτη ρυθμισμένο σύμφωνα με την νέα ζώνη θερμικής άνεσης (18 – 28) °C. Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι ο KENAK γενικεύοντας δίνει ζώνη θερμικής άνεση στην κλιματική ζώνη B (20 – 25) °C.

3. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ

Το γήπεδο βρίσκεται στην θέση «Μπαλί» κτηματικής περιφέρειας Μαρκοπούλου στο Πόρτο Ράφτη και σε περιοχή B2 (ΠΔ 20/02/03, ΦΕΚ 199Δ). Το εμβαδόν του γηπέδου είναι 5287,15 μ² και αποτελείται εν μέρει από αμπέλι και εν μέρει από ελιές. Το οικόπεδο έχει ήπια κλίση με 5 μ. μέγιστη

υψομετρική διαφορά. Η θέση του οικοπέδου, σε σχέση με την ευρύτερη περιοχή, έχει επηρεάσει τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό μιας και από το κέντρο του οικοπέδου και το νησί του Ράφτη, διέρχεται μια ευθεία που διχотоμεί τον κόλπο (εικ.2). Η ευθεία αυτή αποτελεί βασικό άξονα των χαράξεων της αρχιτεκτονικής σύνθεσης.

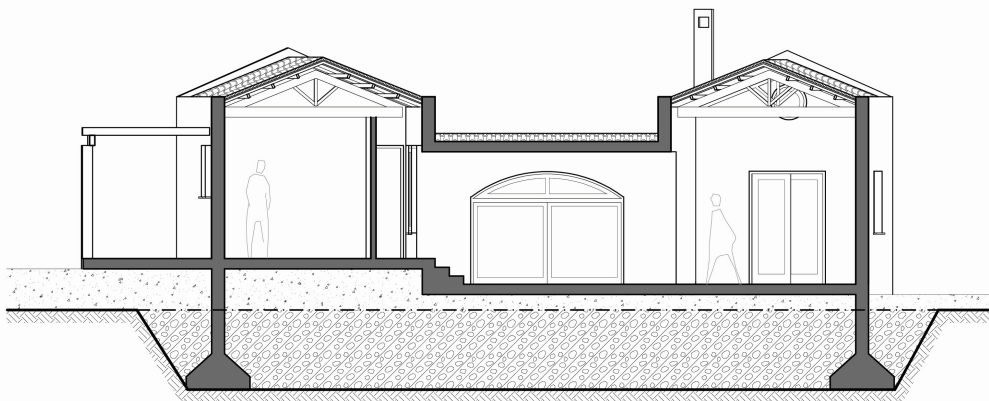


Εικόνα 2: Πόρτο Ράφτη

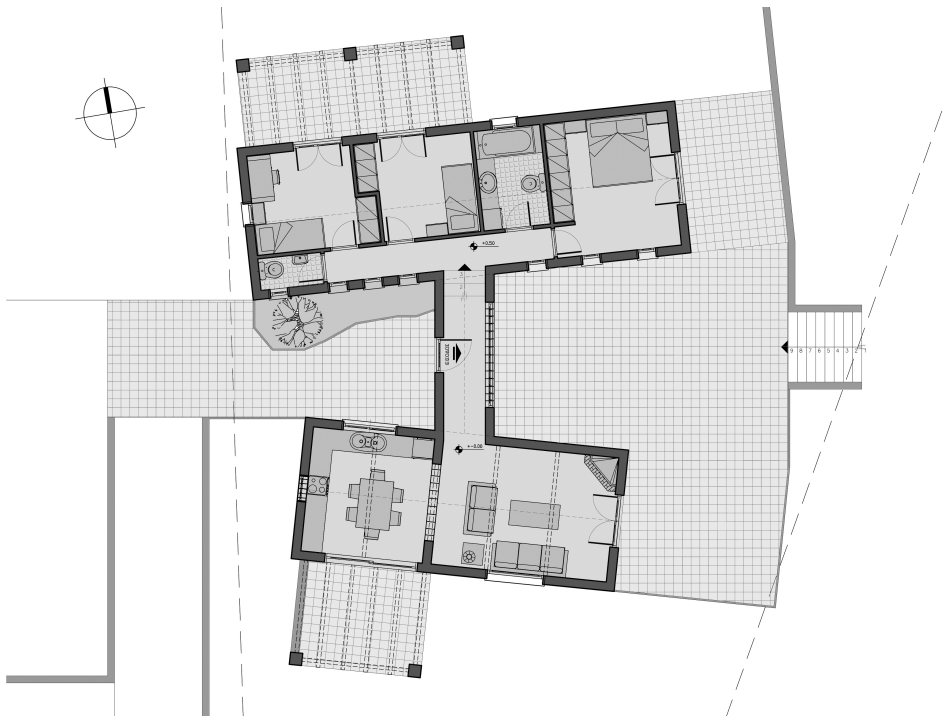


Εικόνα 3: Το γήπεδο

Η μελέτη του κτίσματος είναι για μια μικρή μονοκατοικία 100,0 μ². Αποτελείται από τρία υπνοδωμάτια, ένα μπάνιο και ένα καθημερινό. Οι χρήσεις διημέρευσης, τοποθετούνται στο νότιο κομμάτι της κατοικίας για την μέγιστη εκμετάλλευση των ηλιακών κερδών τον Χειμώνα και χωρίζονται από τις χρήσεις διανυκτέρευσης, με τον χώρο της εισόδου που φτιάχνει «δυο αγκαλιές» μια δυτική και μια ανατολική. Η ανατολική αγκαλιά είναι προσανατολισμένη στην θεά του οικοπέδου. Οι όψεις του κτηρίου έχουν σπυρωτό επίχρισμα σε μπεζ γήινη απόχρωση, ενώ κάποια τμήματά του επενδύονται με πέτρα. Τα κουφώματα είναι ξύλινα (φιλικά προς το περιβάλλον) και τα κεραμίδια στις στέγες είναι ελληνορωμαϊκού τύπου. Οι ορθοστάτες των περγκόλων είναι ξύλινοι καθώς και οι δοκίδες. Τα στοιχεία αυτά βάφονται σε άσπρο χρώμα.



Εικόνα 4: Τομή κατοικίας

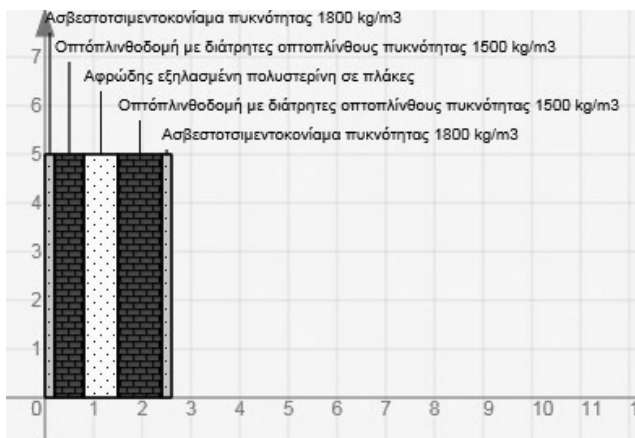


Εικόνα 5: Κάτοψη ισογείου

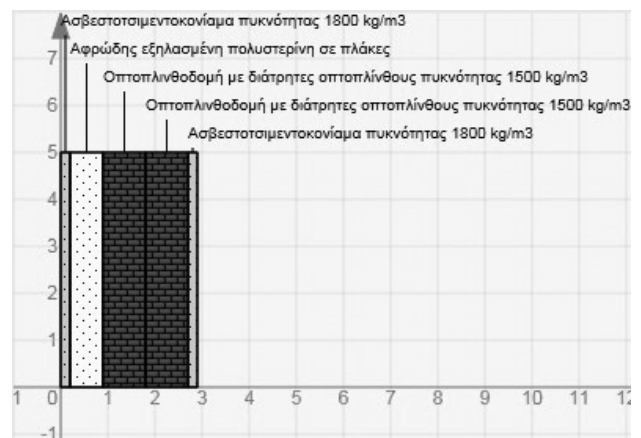
4. ΘΕΡΜΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ

4.1 Μεθοδολογία

Όπως προαναφέρθηκε, σκοπός του άρθρου είναι η σύγκριση δύο συστημάτων θερμομόνωσης, δηλαδή της συμβατικής θερμομόνωσης (Base Case) με την εξωτερική θερμομόνωση (Case 1) και η αξιολόγηση της ενεργειακής τους συνεισφοράς.



Εικόνα 6: Base Case



Εικόνα 7: Case 1

Ο πρώτος στόχος της μελέτης είναι η αξιολόγηση των δύο συστημάτων θερμομόνωσης σε σχέση με την ενεργειακή ταξινόμηση της κατοικίας. Η προσομοίωση του κτιρίου πραγματοποιείται με το πιστοποιημένο λογισμικό Energy Building 2010 και η ενεργειακή κατάταξη με το λογισμικό TEE KENAK 1.28. Στη συνέχεια για την επίτευξη του δεύτερου στόχου της μελέτης που είναι η ανάδειξη και σύγκριση της πραγματικής συνεισφοράς των δύο τρόπων θερμομόνωσης στην ενεργειακή

συμπεριφορά του κτιρίου, πραγματοποιείται η προσομοίωση του μοντέλου με την χρήση του εξειδικευμένου λογισμικού EDSL TAS v.9.1.1 και η παραμετρική μελέτη των διαφορετικών καταστάσεων.

Οι θερμοφυσικές ιδιότητες των δομικών στοιχείων ανατέθηκαν στους εξωτερικούς τοίχους και στα δύο λογισμικά με βάση τις προδιαγραφές του ΚΕΝΑΚ. Οι πίνακες 2, 3 παρουσιάζουν τα χαρακτηριστικά των δύο περιπτώσεων.

Πίνακας 2: Συμβατική θερμομόνωση (Base Case) με συντελεστή θερμοπερατότητας $U=0.385 \text{ W/m}^2\text{K}$

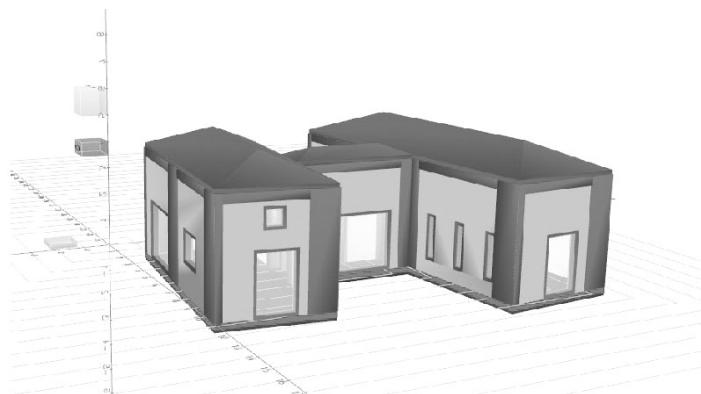
A/A	Περιγραφή	ρ (kg/m^3)	d (m)	λ (W/mK)	d/ λ ($\text{m}^2\text{K/W}$)	C_p ($\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$)
1	Ασβεστοτσιμεντοκονίαμα πυκνότητας 1800 kg/m^3	1,800	0.02	0.87	0.02	1,000
2	Οπτοπλινθοδομή με διάτρητες οπτοπλίνθους πυκνότητας 1500 kg/m^3	1,500	0.09	0.51	0.18	1,000
3	Αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη σε πλάκες	0	0.07	0.0345	2.03	1,450
2	Οπτοπλινθοδομή με διάτρητες οπτοπλίνθους πυκνότητας 1500 kg/m^3	1,500	0.09	0.51	0.18	1,000
5	Ασβεστοτσιμεντοκονίαμα πυκνότητας 1800 kg/m^3	1,800	0.02	0.87	0.02	1,000

Πίνακας 3: Εξωτερική Θερμομόνωση (Case 1) με συντελεστή θερμοπερατότητας $U=0.385 \text{ W/m}^2\text{K}$

A/A	Περιγραφή	ρ (kg/m^3)	d (m)	λ (W/mK)	d/ λ ($\text{m}^2\text{K/W}$)	C_p ($\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$)
1	Ασβεστοτσιμεντοκονίαμα πυκνότητας 1800 kg/m^3	1800	0.02	0.87	0.02	1,000
2	Αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη σε πλάκες	0	0.07	0.0345	2.03	1,450
3	Οπτοπλινθοδομή με διάτρητες οπτοπλίνθους πυκνότητας 1500 kg/m^3	1500	0.09	0.51	0.18	1,000
2	Οπτοπλινθοδομή με διάτρητες οπτοπλίνθους πυκνότητας 1500 kg/m^3	1500	0.09	0.51	0.18	1,000
5	Ασβεστοτσιμεντοκονίαμα πυκνότητας 1800 kg/m^3	1800	0.02	0.87	0.02	1,000

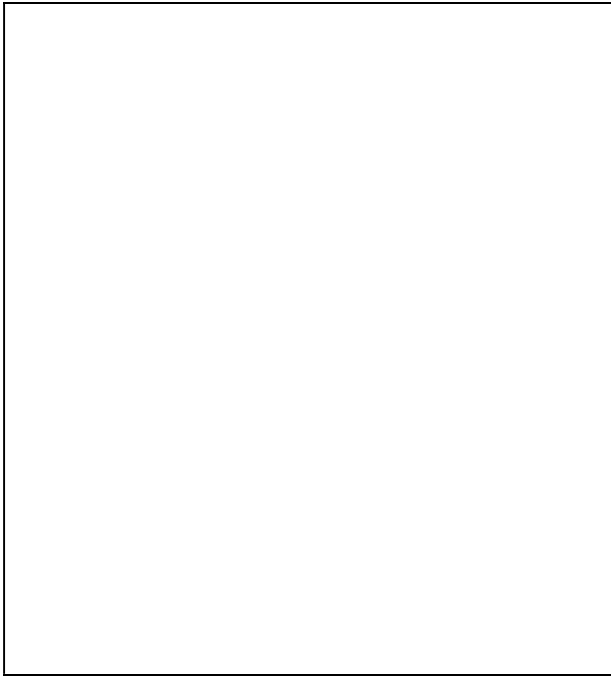
4.2 Ενεργειακή ταξινόμηση

Για την ενεργειακή ταξινόμηση της κατοικίας με τις διαφορετικές περιπτώσεις έγινε η προσομοίωση του κτηριακού μοντέλου στο Energy Building 2010 και αφού προσδιορίστηκαν όλα τα απαιτούμενα στοιχεία πραγματοποιήθηκαν δύο διαφορετικές μελέτες. Η πρώτη αφορούσε στο Base case και η δεύτερη στο Case 1. Η μέθοδος που επιλέχτηκε για την σύγκριση είναι παραμετρική αφού η μόνη διαφορά μεταξύ των δύο περιπτώσεων είναι η θέση της θερμομόνωσης.

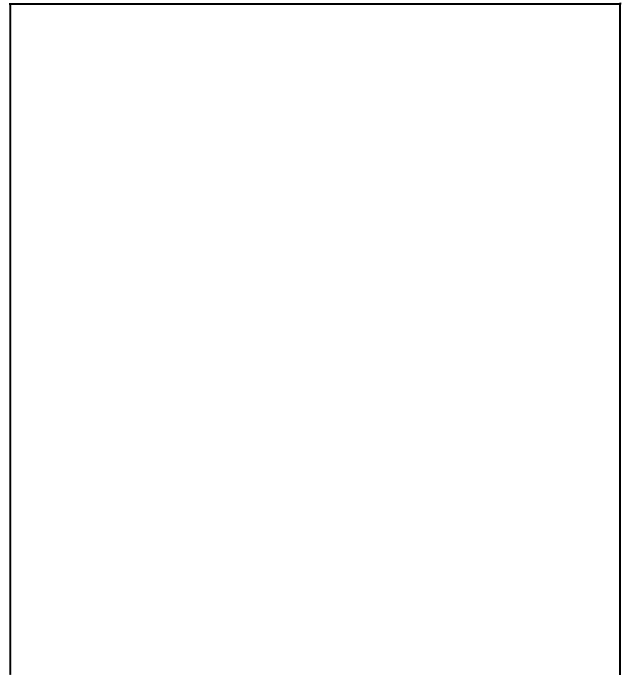


Εικόνα 8: Τρισδιάστατο μοντέλο στο Energy Building 2010

Όπως φαίνεται και στις εικόνες 9 και 10, το κτήριο κατατάσσεται στην ενεργειακή κατηγορία B και στις δύο περιπτώσεις και μάλιστα 0.84 του κτηρίου αναφοράς. Η προβλεπόμενη κατανάλωση ενέργειας είναι ελάχιστα μικρότερη στην περίπτωση με την θερμοπρόσοψη και διαφέρει μόλις 1.85 % ενώ το U_m κτηρίου από 0.61 W/m²K γίνεται 0.58 W/m²K (U_m max 0,73 W/m²K).



Εικόνα 9: Base Case (U_m κτηρίου 0,61 W/m²K)

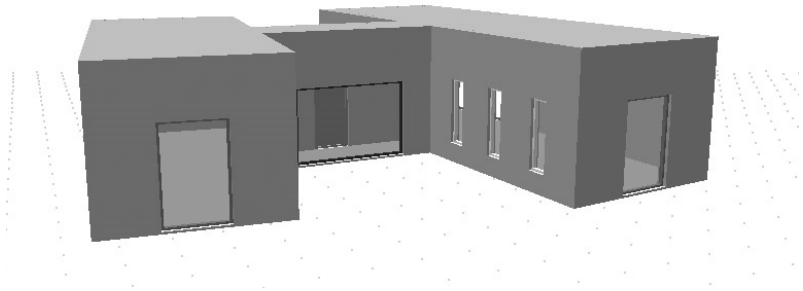


Εικόνα 10: Case 1 (U_m κτηρίου 0,58 W/m²K)

Συμπερασματικά λοιπόν όσον αφορά στην ενεργειακή κατάταξη οι δύο περιπτώσεις με ίδια πάντα πάχη θερμομόνωσης έχουν σχεδόν το ίδιο αποτέλεσμα. Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι η περίπτωση της εξωτερικής θερμομόνωσης προσφέρει μεγαλύτερη ευκολία στην κατασκευή και «λύνει» αρκετά κατασκευαστικά προβλήματα που δημιουργούνται μοιραία λόγω του αυξημένου πάχους της πολυστερίνης σε σχέση με το παρελθόν.

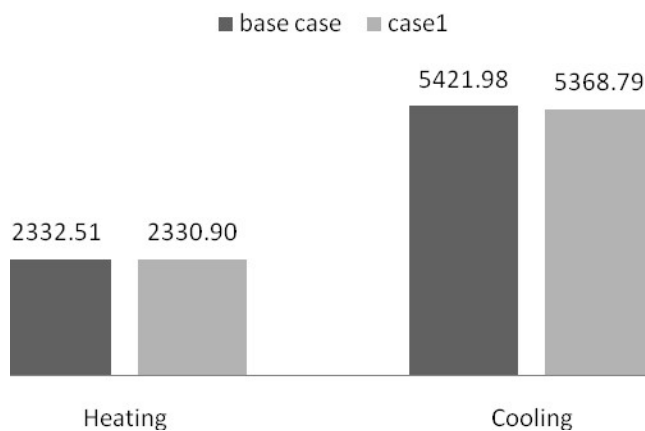
4.3 Ενεργειακή συμπεριφορά

Η ενεργειακή συμπεριφορά της κατοικίας αξιολογήθηκε με το λογισμικό TAS EDSL v.9.1.1. Μετά την εισαγωγή του τρισδιάστατου μοντέλου, ακολούθησε ο καθορισμός των υλικών και άλλων παραμέτρων όπως ο ακούσιος και εκούσιος αερισμός, το πρόγραμμα χρήσης του κτηρίου, τα εσωτερικά φορτία και οι χρήστες της κατοικίας σύμφωνα με το πραγματικό σενάριο κατοίκησης. Κατόπιν ρυθμίστηκε και ο θερμοστάτης του κτηρίου (20° C για θέρμανση και 25° C για ψύξη) με στόχο την σύγκριση των αντίστοιχων φορτίων για θέρμανση και δροσισμό της κατοικίας κατά τις δύο περιπτώσεις. Σημειώνεται πως στην προσομοίωση όλα τα ανοίγματα της κατοικίας παραμένουν κλειστά καθ όλη την διάρκεια του έτους για να αναδειχθεί η ακριβής συνεισφορά της θέσης της θερμομόνωσης στην ενεργειακή συμπεριφορά του κτηρίου. Η μέθοδος που επιλέχτηκε για την σύγκριση είναι και πάλι η παραμετρική.



Εικόνα 11: Τρισδιάστατο μοντέλο στο Tas

Στην εικόνα 12 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της παραμετρικής μελέτης όσον αφορά στη θέση της θερμομόνωσης στο κτήριο. Τα ετήσια θερμικά φορτία είναι ίδια και στις δύο περιπτώσεις, ενώ τα ετήσια ψυκτικά φορτία διαφέρουν ελάχιστα. Πιο συγκεκριμένα τα ετήσια φορτία ψύξης για στην περίπτωση της θερμοπρόσοψης (Case 1) είναι 0.02% μικρότερα από την περίπτωση της συμβατικής κατασκευής (Base case). Τα ετήσια φορτία δροσισμού και στις δύο περιπτώσεις είναι σχεδόν διπλάσια από τα ετήσια φορτία θέρμανσης. Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι οι τιμές των ετήσιων ενεργειακών απαιτήσεων του κτηρίου δεν μπορούν σε καμία περίπτωση να ταυτισθούν αντίστοιχες καταναλώσεις ενέργειας. Η κατανάλωση της ενέργειας για θέρμανση και δροσισμό εξαρτάται πάντα από τον συντελεστή απόδοσης του εκάστοτε συστήματος.



Εικόνα 12: Ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση και δροσισμό (σε kWh)

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή επιχειρήθηκε η σύγκριση δύο συστημάτων θερμομόνωσης σε μια κατοικία στο Πόρτο Ράφτη Αττικής. Με την χρήση κατάλληλων και πιστοποιημένων λογισμικών για την ενεργειακή κατάταξη και ενεργειακή απόδοση ενός κτηρίου αποδείχτηκαν τα εξής:

- τα δύο συστήματα θερμομόνωσης έχουν σχεδόν παρόμοια συνεισφορά στην ενεργειακή κατάταξη του κτηρίου και δεν την επηρεάζουν.
- τα δύο συστήματα θερμομόνωσης έχουν σχεδόν παρόμοια συνεισφορά στα θερμαντικά και ψυκτικά φορτία του κτηρίου.

Συμπερασματικά λοιπόν η επιλογή συστήματος θερμομόνωσης δεν επηρεάζει την ενεργειακή κατάταξη του κτηρίου όσον αφορά στον ΚΕΝΑΚ και ουσιαστικά δεν διαφοροποιεί την κατανάλωση ενέργειας και επομένως οι δύο λύσεις συμβάλουν το ίδιο στην εξοικονόμηση ενέργειας. Τα κριτήρια

για την επιλογή συστήματος θερμομόνωσης θα πρέπει να είναι κυρίως κατασκευαστικά, οικονομικά αλλά και οι επιπτώσεις στην θερμική άνεση των χρηστών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Παπαδόπουλος Α., Θεοδοσίου Θ., Οξυζίδης (2008). Ολοκληρωμένη αξιολόγηση συστημάτων θερμομόνωσης κατακόρυφων δομικών στοιχείων.

Beis, L.(2010). “Terpsithea” sustainable housing project in Porto Rafti, Greece. Rhodes, Palenc 2010.

Givoni, B. (1994). Passive and Low Energy Cooling of Buildings. Van Nostrand Reinhold

Szokolay, S. (2008). Introduction to Architectural Science. The basis of Sustainable design. Architectural Press. Pp.20

Yannas, S., E. Erell and J. L. Molina. (2006). Roof Cooling Techniques: A Design Handbook. Earthscan. James and James. Publishing. London.