

Κτίρια Σχεδόν Μηδενικής Κατανάλωσης - Διερεύνηση Σεναρίων για την Ενεργειακή Αναβάθμιση Χαμηλών Κτιρίων Κατοικίας σε Κτίρια Υψηλών Επιδόσεων στην Ελλάδα

Διονυσόπουλος Γεώργιος¹, Καντζιούρα Αθηνά¹

¹Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάροδος Αριστοτέλους 18, 26335 Πάτρα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σήμερα, η ιδέα των Κτιρίων Μηδενικής (ΚΜΕ) ή Σχεδόν Μηδενικής Κατανάλωσης Ενέργειας (ΚΣΜΚΕ) είναι ιδιαίτερα γνωστή και διαδεδομένη, παρόλα αυτά η μεταφορά της στις καινούργιες κατασκευές και στις ανακαινίσεις κτιρίων έχει μικρή απήχηση. Υπό αυτές τις συνθήκες, η παρούσα εργασία αφορά στην αναζήτηση και ανάδειξη ρεαλιστικών τεχνικών λύσεων, που μπορούν να εφαρμοστούν στην ανακαίνιση χαμηλών κτιρίων κατοικιών, σε χώρες με ήπιο Μεσογειακό κλίμα. Η μελέτη στοχεύει σε μονοκατοικίες και διπλοκατοικίες, καθώς αποτελούν το σημαντικότερο και πιο διαδεδομένο τύπο κατοικιών στην Νότια Ευρώπη. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως με την εφαρμογή λύσεων, όπως αυξημένη θερμομόνωση, υψηλών επιδόσεων κουφώματα με εξωτερικό σκιασμό, νυχτερινό δροσισμό, μηχανικό αερισμό, μικρές Α/Θ και παραγωγή ΖΝΧ με ηλιοθερμία, τα κτίρια κατοικιών μπορούν να περιορίσουν σημαντικά την ενεργειακή ζήτηση και επιπλέον να επιτύχουν τον στόχο του Μηδενικού Ισοζυγίου Ενέργειας (Net ZEB), με την προσθήκη μικρής επιφάνειας φωτοβολταϊκών.

Λέξεις κλειδιά: Παθητικό Κτίριο, Ανακαίνιση Κτιρίων, Εξοικονόμηση Ενέργειας, ΚΣΜΚΕ.

ABSTRACT

The concept of Zero (ZEB), Net Zero (Net ZEB) or nearly Zero (NZEB) energy buildings is very well known and widespread, but until this day this idea has a very small appeal in new constructions and retrofits of buildings. Under this conditions, this study tries to identify a series of realistic technical solutions, which can be adopted in the retrofit of low rise residential buildings, in Mediterranean countries. The focus of this study is in single and double storey detached houses as they represent one of the most widespread type of residential buildings in Mediterranean climates. The results of the study show that by implementing the suggested measures, such as increased levels of thermal insulation, high performance windows with exterior shading, night free cooling, heat recovery ventilation, small heat pumps and DHW production with solar thermal collectors - residential buildings can decrease significantly their energy demand and furthermore with the addition of a small area of PV, they can become Net Zero Energy Buildings (Net ZEB).

Keywords: Passive House, Low Rise Residential Building, Retrofit, Energy Saving, ZEB, NZEB, PHPP.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τον τελευταίο αιώνα, η κλιματική αλλαγή και η άνοδος των μέσων θερμοκρασιών παγκόσμια, έχουν εμφανή αντίκτυπο και επηρεάζουν την ζωή πάνω στον πλανήτη.

Η Ε.Ε αναγνωρίζοντας την αναγκαιότητα αντιμετώπισης του φαινομένου, με την συμφωνία των Παρισίων το 2015, δεσμεύτηκε στην μείωση των εκπομπών CO₂ κατά τουλάχιστον 40%, σε σχέση με το 1990, μείωση 32,5% της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας και τέλος, το 32% της ενεργειακής κατανάλωσης να καλύπτεται από ΑΠΕ ως το 2030 (EuP, 2018).

Τα κτίρια στην Ε.Ε είναι υπεύθυνα για το 40% περίπου της πρωτογενούς ενεργειακής κατανάλωσης και 36% τον εκπομπών CO₂. Σε μερικές χώρες-μέλη αυτό το ποσοστό ξεπερνά ακόμα και το 45%, νούμερο που προβλέπεται να αυξηθεί, οδηγώντας τον κτιριακό τομέα να αποτελεί τον μεγαλύτερο καταναλωτή τελικής ενέργειας στην Ευρώπη (DG Ener, 2019).

Στον κτιριακό τομέα της Ευρώπης, αναλογεί 25 δις τ.μ. δομημένης επιφάνειας, με τα 75% περίπου από αυτά να αντιστοιχούν σε κατοικίες, ενώ κάθε χρόνο το συνολικό κτιριακό απόθεμα αυξάνεται κατά περίπου 1%, ρυθμός σημαντικά μεγαλύτερος από αυτό με τον οποίο με τον οποίο ανανεώνεται το υφιστάμενο (BPIE, 2015). Περίπου το 40% των κτιρίων της Ε.Ε έχουν κατασκευαστεί πριν την δεκαετία του 1960 και το 90% πριν το 1990, ενώ αν αναλογιστούμε ότι ο μέσος όρος ζωής των κτιρίων είναι 50-100 χρόνια, τα περισσότερα από αυτά τα κτίρια θα υπάρχουν ακόμα μέχρι το 2050.

Αυτό οδήγησε την Ε.Ε να αναγνωρίσει ότι το υφιστάμενο κτιριακό απόθεμα είναι ο τομέας που έχει το μεγαλύτερο δυναμικό για εξοικονόμηση ενέργεια (EC, 2012) και η ανακαίνιση του αποτελεί επιτακτική ανάγκη για την επίτευξη των στόχων της ενεργειακής αποδοτικότητας και μείωσης των ρύπων, μέχρι το 2030 (EC, 2018)

Παρόμοια, στην Ελλάδα οι κατοικίες αποτελούν το 79% των διαθέσιμων κτιρίων, με τη πλειονότητα, περίπου 60%, να έχουν κατασκευαστεί πριν το 1980, χρονιά εφαρμογής του Κανονισμού Θερμομόνωσης Κτιρίων (Κ.Θ.Κ) και 18% μεταξύ 1980-1990, όπου υπήρξε πλημμελή εφαρμογή του. Το αποτέλεσμα είναι η δημιουργία ενός κτιριακού αποθέματος 3,1 εκατ. κτιρίων, με ανύπαρκτη ή ελάχιστη θερμομονωτική προστασία (ΕΛΣΤΑΤ, 2014).

Η βιβλιογραφική ανασκόπηση ανέδειξε πλήθος περιπτώσεων μελετών σε υλοποιήσεις νέων Κτίριων Σχεδόν Μηδενικής Κατανάλωσης (ΚΣΜΚΕ) (NZEB), με το μεγαλύτερο μέρος να συγκεντρώνεται σε χώρες της Κεντρικής Ευρώπης. Παραδόξως όμως ο αριθμός μελετών ενεργειακής αναβάθμισης κτιρίων κατοικίας, σε κτίρια υψηλών επιδόσεων είναι μικρός και ιδιαίτερα στο ήπιο Μεσογειακό κλίμα, όπου η προσέγγιση στον σχεδιασμό ΚΣΜΚΕ παρουσιάζει διαφορές σε σχέση με τα ψυχρότερα κλίματα.

Σε αυτό το πλαίσιο, η παρούσα εργασία στοχεύει στην διερεύνηση λύσεων για την ανακαίνιση χαμηλών κτιρίων, καθώς είναι ο πιο διαδεδομένος τύπος κατοικίας στην Ευρώπη, ενώ για να λάβει υπόψη την ιδιαιτερότητα του μεσογειακού κλίματος, επιλέχθηκε ως τοποθεσία του κτιρίου μελέτης η περιοχή της Δυτικής Ελλάδας και συγκεκριμένα η πόλη της Πάτρας. Η επιδίωξη της παρούσας μελέτης είναι να δείξει ότι με σχετικά απλές επεμβάσεις είναι εφικτός ο στόχος της χαμηλής ή ακόμα και μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας στα υφιστάμενα κτίρια.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

2.1 Πρότυπο Παθητικού Κτιρίου (ΠΚ) (Passive House)

Σε όλο τον κόσμο τα κτίρια χαμηλής ή μηδενικής ενέργειας αποτελούν ένα θέμα μεγάλου ενδιαφέροντος, όσον αφορά την

προστασία του περιβάλλοντος και των φυσικών πόρων.

Αν και η έννοια των κτιρίων χαμηλής ή μηδενικής κατανάλωσης είναι ευρέως γνωστή, μέχρι και σήμερα δεν υπάρχει ένας κοινά αποδεκτός ορισμός και αυτό δημιουργεί ερωτήματα όπως «τι είναι ένα ΚΣΜΚΕ», «πώς ή πόσο καλά προσδιορίζεται από τα διάφορα πρότυπα, νόμους ή μέτρα» και τέλος, «ποια κριτήρια πρέπει να πληροί» (Marszal et al., 2011).

Ως απάντηση στα παραπάνω, για το σκοπό της παρούσας εργασίας, επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί το διεθνές πρότυπο του Παθητικού Κτιρίου (ΠΚ) (Passive House ή Passivhaus). Το ΠΚ αποτελεί ένα από το πιο καλά τεκμηριωμένα εθελοντικά πρότυπα, όπου χρησιμοποιείται από πολλές χώρες σε συνέργεια με την έννοια των NZEB, καθώς πληροί τις απαιτήσεις όπως έχουν οριστεί από την Ε.Ε (Atanasiu et al., 2013)

Το ΠΚ θέτει περιορισμούς στην ενεργειακή κατανάλωση ενός κτιρίου, όπου η θερμότητα από την ηλιακή ακτινοβολία σε συνδυασμό με τα εσωτερικά θερμικά κέρδη, από χρήστες και συσκευές, είναι επαρκή για να διατηρήσουν τις συνθήκες εντός του κτιρίου άνετες, καθόλη την διάρκεια της περιόδου θέρμανσης (Feist, 2018). Επικεντρώνεται στην μείωση των θερμικών απωλειών, την υψηλή αεροστεγανότητα και την παροχή επαρκούς αερισμού με μηχανικά μέσα, με σκοπό την δημιουργία ποιοτικού περιβάλλοντος για τους χρήστες.

Σύμφωνα με το πρότυπο, ένα ΠΚ πρέπει να πληροί τρία κριτήρια, όπως (PHI, 2019):

1. Ετήσια ενεργειακή κατανάλωση κάτω από 15 kWh/(m²/έτος) για θέρμανση και ψύξη, αντίστοιχα.
2. Ετήσια πρωτογενή ενεργειακή κατανάλωση μέχρι 120 kWh/(m²/έτος), για θέρμανση, ψύξη, ΖΝΧ και λειτουργία συσκευών.
3. Υψηλή αεροστεγανότητα, όπου οι αλλαγές αέρα/ώρα δεν πρέπει να ξεπερνούν τις $n = 0,6$ ACH (Air Changes per Hour).

Όπως είναι φυσικό, η ανάγκη διενέργειας ενεργειακών προσομοιώσεων οδήγησε στην ανάπτυξη ενός υπολογιστικού εργαλείου, με την ονομασία Passive House Planning Package (PHPP). Το PHPP χρησιμοποιείται για την πιστοποίηση της συμμόρφωσης ενός κτιρίου με τις απαιτήσεις του ΠΚ, αλλά κυρίως προορίζεται στην υποβολή της επίτευξης των κριτηρίων του προτύπου, κατά την φάση σχεδιασμού. Διενεργεί στατικούς ελέγχους του ενεργειακού ισοζυγίου ενός κτιρίου, όπου βασίζεται στο άθροισμα θερμικών απωλειών και απωλειών λόγω αερισμού μείον το άθροισμα ηλιακών και εσωτερικών κερδών, με το αποτέλεσμα να αντιπροσωπεύει τις ετήσιες ενεργειακές ανάγκες (PHI, 2018).

Με την χρήση του PHPP, θα γίνουν προσομοιώσεις για την αξιολόγηση του αντίκτυπου των Μέτρων Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΜΕΕ) στην ετήσια τελική και πρωτογενή ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση, ψύξη και παραγωγή ΖΝΧ και την επακόλουθη μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων. Ο τελικός στόχος είναι η ανάδειξη μιας δέσμης ΜΕΕ που μπορεί να περιορίσει την ενεργειακή ζήτηση σε τόσο χαμηλά επίπεδα, όπου σύμφωνα με την εξίσωση (1), η προσθήκη μικρής επιφάνειας φωτοβολταϊκών θα μετατρέψει το κτίριο σε Μηδενικού Ισοζυγίου Ενέργειας (Net ZEB)

$$PE = \sum_{\text{έτος}} (PE_{\text{θέρμ}} + PE_{\text{ψύξη}} + PE_{\text{ΖΝΧ}} - PE_{\text{ΑΠΕ}}) \quad (1)$$

2.2 Κλιματικά Δεδομένα

Από μια ενεργειακή σκοπιά, οι κλιματικές συνθήκες είναι μια κρίσιμη παράμετρος στην μελέτη της συμπεριφοράς ενός κτιρίου. Στην παρούσα εργασία το κτίριο μελέτης τοποθετείται στην περιοχή της Πάτρας, που αντιστοιχεί στο μεσογειακό κλίμα, σύμφωνα με τον τρόπο που διαχωρίζει το πρότυπο την Ελληνική επικράτεια (PHI, 2017).

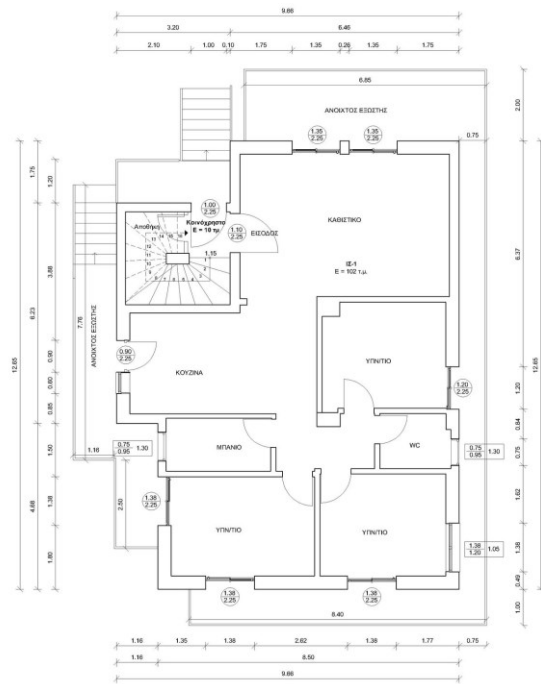
Η παραθαλάσσια πόλη της Πάτρα ανήκει στην περιφέρεια Δυτικής Ελλάδας και χαρακτηρίζεται από ήπιους υγρούς χειμώνες και θερμά υγρά καλοκαίρια (ΥΠΕΝ, 2017). Οι

μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες τον Ιανουάριο κυμαίνονται στους 7 °C και 27 °C αντίστοιχα τον Ιούλιο, με μέση ημερήσια διακύμανση 9,7 °C (PHI, n.d.). Παρουσιάζει υψηλά ποσοστά ηλιακής ακτινοβολίας τον χειμώνα, έτσι παθητικές στρατηγικές μπορούν να μειώσουν σημαντικά την ενεργειακή ζήτηση για θέρμανση. Σε αντίθεση, οι υψηλές καλοκαιρινές θερμοκρασίες, σε συνδυασμό με τα σχετικά υψηλά ποσοστά υγρασίας (θερμοκρασία δρόσου) κάνουν απαραίτητη την χρήση ενεργητικών συστημάτων για δροσισμό, τουλάχιστον κατά την διάρκεια της ημέρας.

2.3 Κτίριο Μελέτης

Το κτίριο μελέτης που επιλέχθηκε είναι μια υπερυψωμένη διπλοκατοικία που αποτελείται από δυο πανομοιότυπες σε κάτοψη οριζόντιες ιδιοκτησίες. Αυτός ο τύπος κτιρίου παρουσιάζει ενδιαφέρον γιατί εκτός από το να αποτελεί τον πιο δεδομένο τύπο κατοικιών, εμφανίζει υψηλότερο λόγο επιφάνειας / όγκου από αντίστοιχα κτίρια, παράγοντας που αυξάνει τον ρόλο του κελύφους.

Η κάτοψη έχει ορθογώνιο σχήμα με τον επιμήκη άξονα να είναι προσανατολισμένο στον Βορρά-Νότο, συνολικής επιφάνειας 224 τ.μ.. Κάθε όροφος έχει επιφάνεια 112 τ.μ. από τα οποία τα 102 τ.μ. καταλαμβάνουν οι κατοικίες και 10 τ.μ. οι κοινόχρηστοι χώροι (Σχήμα 1).



Σχήμα 1: Κάτοψη τυπικού ορόφου

Το κτίριο ολοκληρώθηκε το 1990, μετά την εφαρμογή του ΚΘΚ, ενώ κάποια στοιχεία του κτιρίου, όπως τα παράθυρα και το σύστημα θέρμανσης, έχουν αλλαχθεί. Έχει κατασκευαστεί με το σύνηθες δομικό σύστημα, δηλαδή σκελετός και πρόβολοι από οπλισμένο σκυρόδεμα και τοίχοι πλήρωσης από δρομική οπτοπλινθοδομή. Η μόνωση περιορίζεται στο διάκενο των τοίχων πλήρωσης και αποτελείται από 3εκ. διογκωμένη πολυστερίνη (EPS), ενώ απουσιάζει τελείως από τα υπόλοιπα φέροντα στοιχεία (κολώνες, δοκάρια,

Πίνακας 1: Θερμικά χαρακτηριστικά του κτιριακού κελύφους και ανοιγμάτων του κτιρίου μελέτης.

Τύπος	Δομικό στοιχείο					
	Εξ. τοίχος σε επαφή με αέρα Οπλισμένο σκυρόδεμα και οπτοπλινθοδομή	Οροφή Οπλισμένο σκυρόδεμα	Εδαφόπλακα Οπλισμένο σκυρόδεμα	Διαφανείς επιφάνειες		
				Μονός υαλοπίνακας	Διπλός υαλοπίνακας	Μεταλ. πλαίσιο
Πάχος (μ.)	0,38	0,25	0,25	-	(4-12-4)	-
Συντ.Θερμ U (W/m ² K)	1,54 (α)	1,92 (α)	3,82	5,7 (β)	2,8 (γ)	7 (δ)

α) Ο υπολογισμός του σύνθετου δομικού στοιχείου έγινε με παραδοχή ότι ο φέρων οργανισμός καταλαμβάνει 18% ως ποσοστό επιφάνειας της όψης (ΤΟΤΕΕ 20701-1/2017, πίνακας. 3.1, σελ. 52)

(β) (γ) (δ): Τιμές από πίνακες ΤΟΤΕΕ 20701-1/2017 (σελ. 71)

οροφή, εδαφόπλακα). Τα παράθυρα των κατοικιών είναι συρόμενα εντός τους διάκενου του τοίχου και αποτελούνται από μεταλλικό πλαίσιο και διπλούς υαλοπίνακες με διάκενο αέρα.

Το κτίριο παρουσιάζει δυσμενή προσανατολισμό, καθώς ο επιμήκης άξονας του κτιρίου βρίσκεται στο Β-Ν, με μεγάλες επιφάνειες διαφανών ανοιγμάτων στη Δύση και Βορρά. Στο κτίριο μελέτης ηλιοπροστασία παρέχουν στα ανοίγματα συρόμενα εξώφυλλα καθώς και οι πρόβολοι, που με εξαίρεση στον βορεινή όψη, ο σκιασμός που παρέχουν κρίνεται ανεπαρκής.

Ο λόγος εξωτερικής επιφάνειας / όγκος (Area / Volume) είναι ένας καλός τρόπος για να εκτιμήσουμε την μορφή ενός κτιρίου, καθώς μια υψηλή αναλογία συνεπάγεται περισσότερη επιφάνεια για πιθανές θερμικές απώλειες τον χειμώνα και κέρδη το καλοκαίρι (Parasonis et al., 2012). Το κτίριο μελέτης έχει εξωτερική επιφάνεια 490 τ.μ., ενώ ο όγκος του είναι 667 κ.μ. παρουσιάζοντας ένα λόγο $A/V = 0,73$, που θεωρείται μεγάλος, αν λάβουμε υπόψη πως ένα πολυώροφο κτίριο παρουσιάζει λόγο $0,3 - 0,4$.

Για θέρμανση χρησιμοποιείται ένας απλός λέβητας πετρελαίου ισχύος 50.000 Kcal, με συντελεστή απόδοσης $COP=0,93$, με διατάξεις ελέγχου ανά ιδιοκτησία (θερμοστάτη) και σώματα άμεσης εκπομπής (καλοριφέρ), ενώ η ψύξη συντελείται από πολλαπλές τοπικές αντλίες θερμότητας (A/Θ)(A/C) με συντελεστή απόδοσης $EER=2$. Η παραγωγή ZNX, για κάθε ιδιοκτησία, πραγματοποιείται από τοπικό θερμαντήρα (boiler) με ηλεκτρική αντίσταση, υποβοηθούμενο από τον λέβητα πετρελαίου.

3. Συζήτηση και Συμπεράσματα

3.1 Ενεργειακή Ανάλυση Υφιστάμενου Κτιρίου

Σε αυτό το κομμάτι θα συζητηθεί τα αποτελέσματα από την προσομοίωση του

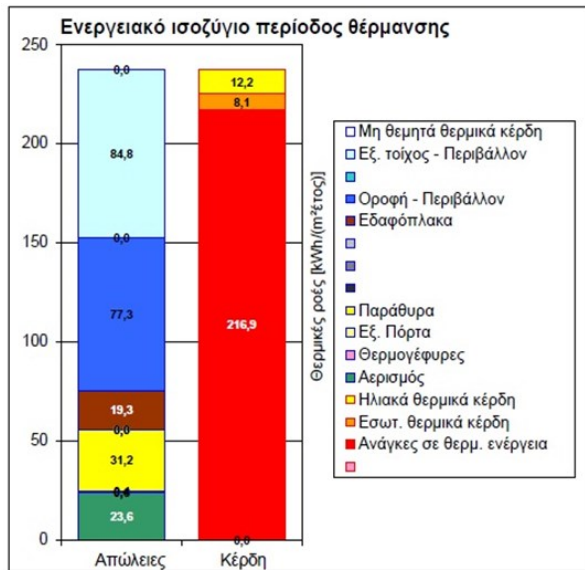
κτιρίου στην υπάρχουσα κατάσταση του, κάνοντας μια αποτίμηση των ετήσιων ενεργειακών αναγκών του, με την χρήση των προγραμμάτων ενεργειακών αναλύσεων TEE KENAK και PHPP.

Με την χρήση της τελευταίας έκδοσης (1.31) του υπολογιστικού εργαλείου για την ενεργειακή επιθεώρηση κατά ΚΕΝΑΚ, εισήχθησαν τα δεδομένα του κτιρίου μελέτης για την εξαγωγή συμπερασμάτων, ως προς την ενεργειακή συμπεριφορά του. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα το κτίριο καταναλώνει 247 kWh/(m²/έτος) για θέρμανση, 44 kWh/(m²/έτος) για ψύξη και 42.5 kWh/(m²/έτος) για παραγωγή ZNX, με συνολική ενεργειακή κατανάλωση 333.4 kWh/(m²/έτος), κατατάσσοντας το στην ενεργειακή κλάση Η.

Παρόμοια, τα αποτελέσματα από την προσομοίωση για το ενεργειακό ισοζύγιο, με την χρήση του PHPP, παρουσιάζονται στο Σχήμα 2. Από τη ανάλυση προκύπτει ότι η συνολική ετήσια ανάγκη για θέρμανση είναι 226 kWh/m² έτος και για ψύξη 74 kWh/m² έτος, αποτέλεσμα πολύ κοντά σε αυτό προέκυψαν από την μελέτη σύμφωνα με τον ΚΕΝΑΚ.

Όπως παρατηρούμε οι απώλειες προέρχονται από τους εξωτερικούς τοίχους με 84,8 kWh/(m² έτος), την οροφή με 77,3 kWh/(m²/έτος), τα παράθυρα με 31,2 kWh/(m²/έτος), ο αθέλητος αερισμός με 23,6 kWh/(m²/έτος) και τέλος, προς το έδαφος 19,3 kWh/(m²/έτος). Τα θερμικά κέρδη από διαφανείς επιφάνειες είναι 12,2 kWh/(m²/έτος) καθώς και 8,1 kWh/(m²/έτος) από τους χρήστες και συσκευές, με την υπολειπόμενη ενέργεια να αντιστοιχεί στις ετήσιες θερμικές ανάγκες.

Σύμφωνα με το Σχήμα 3, οι μεγαλύτερες απώλειες του κτιρίου είναι προς τον εξωτερικό αέρα και ελάχιστες, συγκριτικά, προς το έδαφος με το 40% των συνολικών απωλειών να αντιστοιχεί στις κάθετες αδιαφανείς και μόλις το 9% προς το έδαφος. Η οροφή παρουσιάζει την μεγαλύτερη



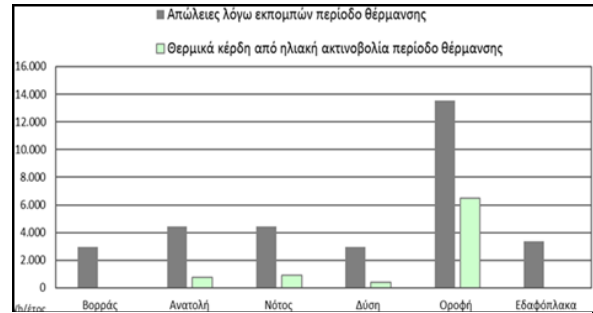
Σχήμα 2: Ενεργειακό ισοζύγιο κτιρίου μελέτης για την περίοδο θέρμανσης.

θερμοροή (36%), εξαιτίας του οριζώντιου προσανατολισμού της.

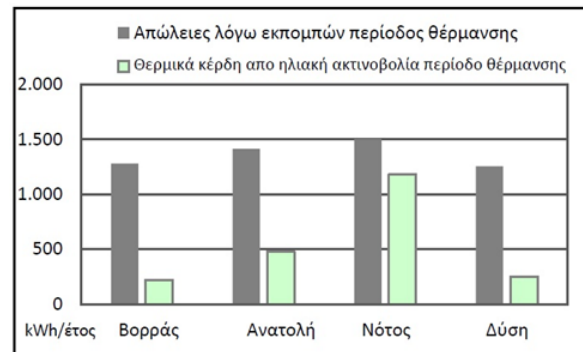
Όσο αφορά τις διαφανείς επιφάνειες από την ανάλυση του Σχήμα 4, παρατηρούμε πως με εξαίρεση τα νότια ανοίγματα που οι απώλειες – κέρδη είναι σχετικά ισορροπημένα, στους υπόλοιπους προσανατολισμούς οι απώλειες υπερिशύουν έναντι των ηλιακών κερδών, με τις χειρότερες επιδόσεις να παρουσιάζονται στον Βορρά και την Δύση.

Τέλος, θα πρέπει να επισημανθεί και ο σημαντικός ρόλος του αθέλητου αερισμού, ο οποίος για την συγκεκριμένη περίπτωση θεωρήθηκε ότι λαμβάνουν χώρα 5 αλλαγές/ώρα μιας και αποτελεί μια τυπική τιμή κτιρίων με αυτά τα χαρακτηριστικά. Σύμφωνα με τα παραπάνω οι απώλειες του κτιρίου είναι της τάξης του 10%, ποσοστό που πλησιάζει αυτές των διαφανών επιφανειών, καταδεικνύοντας την σημαντική επιβάρυνση στην ενεργειακή κατανάλωση.

Συμπερασματικά, βλέπουμε πως το κτίριο παρουσιάζει υψηλή ενεργειακή ζήτηση τόσο την περίοδο θέρμανσης, όσο και ψύξης. Αυτό οφείλεται σε λόγους όπως ο μη ιδανικός προσανατολισμός του κτιρίου, στις μεγάλες επιφάνειες διαφανών ανοιγμάτων



Σχήμα 3: Θερμικό ισοζύγιο αδιαφανών επιφανειών περίοδο θέρμανσης.



Σχήμα 4: Θερμικό ισοζύγιο διαφανών επιφανειών περίοδο θέρμανσης.

και στις χαμηλές επιδόσεις των θερμικών χαρακτηριστικών του κελύφους και των υποσυστημάτων του, που εκτός από τις μεγάλες ενεργειακές καταναλώσεις έχουν αντίκτυπο στο εσωτερικό περιβάλλον και στις συνθήκες άνεσης των χρηστών.

4. Προτεινόμενες Επεμβάσεις

Για τον σκοπό της παρούσας εργασίας επιλέχθηκε μια σειρά επεμβάσεων για την επίτευξη του στόχου την χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης. Στον Πίνακα 2 συνοψίζονται οι ιδιότητες των επιλεγμένων ΜΕΕ, ενώ στον Πίνακα 3 η ενεργειακή ζήτηση και οι εκπεμπόμενοι ρύποι όπως προέκυψαν από τις προσομοιώσεις, για την επιλεγμένη τοποθεσία. Στις παρακάτω ενότητες γίνεται μια ποιοτική περιγραφή των πιο σημαντικότερων παραγόντων για την επίτευξη των χαμηλών ενεργειακών στόχων.

Πίνακας 2: Ιδιότητες των υποσυστημάτων του κτιρίου μελέτης.

	Υπάρχον κτίριο	Επεμβάσεις
Τοίχος U – value (μ.ο.)	1.68 W/(m ² K)	0.249 W/(m ² K)
Οροφή U – value	3.82 W/(m ² K)	0.148 W/(m ² K)
Εδαφόπλακα U – value	3.72 W/(m ² K)	0.513 W/(m ² K)
Μείωση θερμογεφυρών προς έδαφος	-	Ναι
Συντελεστής απορροφητικότητας(α) / εκπεψιμότητας (ε) αδιαφανών	0.6/0.90	0.6/0.90
U-value πλαίσιο παραθύρου (μ.ό.)	5.05 W/(m ² K)	0.74 W/(m ² K)
U και g-value υαλοπίνακα (μ.ό.)	2.90 W/(m ² K); 0.77	1.12 W/(m ² K); 0.59
Σύστημα σκίασης	Εξώφυλλά	Εξ. σύστημα (τέντες)
Εναλλαγές αέρα n50	5 h ⁻¹	1 h ⁻¹
Ανάκτηση θερμότητας μηχ. αερισμού	-	75%
Νυχτερινός δροσισμός (καλοκαίρι)	Ναι	Ναι
Συν. θερμικές ανάγκες (για στόχο 20 C εσωτ. θερμοκρασία)	217 kWh/(m² έτος)	12,4 kWh/(m² έτος)
Συν. ψυκτικές ανάγκες (για στόχο 25 C εσωτ. θερμοκρασία)	74 kWh/(m² έτος)	13,1 kWh/(m² έτος)
Συν. ανάγκες αφύγρανσης (για διατήρηση κάτω από 70% RH εσωτ.)	0	0

Πίνακας 3: Συνολικά αποτελέσματα από τις προσομοιώσεις των επεμβάσεων στο κτίριο μελέτης.

	Ετήσια ενεργειακή ζήτηση kWh/(m ² έτος)		Τελική ενέργεια kWh/(m ² έτος)			Πρωτογενή ενέργεια (α) kWh/(m ² έτος)			Ισοδύναμες εκπομπές ρύπων (β) KgCO ₂ /(m ² έτος)				
	Θέρ	Ψύξ	Θέρ	Ψύξ	ZNX	Θέρ	Ψύξ	ZNX	Σύν.	Θέρ	Ψύξ	ZNX	Σύν.
Κατοικήσιμη επιφάνεια κατά PHPP 175 τ.μ.													
Υπάρχον κτίριο	225,8	88,8	244,2	54,4	27,8	272,5	157,7	80,5	510,7	66,0	53,8	27,5	147,3
Θερμ. τοίχοι													
5 Εκ	154,2	74,6	167,4	45,8	27,8	187,3	132,7	80,5	400,6	45,5	45,3	27,5	118,2
7 Εκ	147,3	73,2	160,1	44,9	27,8	179,1	130,2	80,5	389,9	43,5	44,4	27,5	115,4
10 Εκ	144,6	72,7	156,7	44,6	27,8	175,8	129,2	80,5	385,6	42,7	44,1	27,5	114,2
Θερμ. οροφής (20 εκ.)	75,5	22,4	83,0	12,3	27,8	93,0	35,7	80,5	209,3	22,6	12,2	27,5	62,2
Θερμ. δαπέδου (5εκ.)	55,0	32,7	61,1	18,1	27,8	68,4	52,6	80,5	201,5	16,6	17,9	27,5	62,0
Αντικατάσταση κουφωμάτων (2ACH)	25,8	24,5	29,7	13,3	27,8	33,3	38,5	80,5	152,3	8,1	13,1	27,5	48,7
Βελτίωση αεροστ/τητα (1 ACH)	23,2	24,4	26,9	13,3	27,8	30,1	38,5	80,5	149,1	7,3	13,1	27,5	47,9
Σκιασμός	23,2	16,8	26,6	9,0	27,8	30,1	26,1	80,5	136,7	7,3	8,9	27,5	43,7
Μηχ. Αερισμός	13,9	16,8	18,3	11,5	27,8	22,9	33,4	80,5	136,9	6,0	11,4	27,5	44,8
Γεω-εναλλάκτης	12,4	13,1	16,7	9,5	27,8	21,1	27,6	80,5	129,2	5,5	9,4	27,5	42,4
A/Θ (4 KW)	12,4	13,1	8,4	5,7	27,8	24,3	16,6	80,5	121,4	8,3	5,7	27,5	41,4
Ηλιοθερμία (8 τ.μ.)	12,4	13,1	8,4	5,7	9,2	24,3	16,6	20,1	61,0	8,3	5,7	6,9	20,8

(α) Συντελεστής μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια για το πετρέλαιο θέρμανσης 1,10 και ηλεκτρικής ενέργειας 2,90, σύμφωνα με την ΤΟΤΕΕ 20701-1/2017.

(β) Εκλυόμενοι ρύποι ανά μονάδα ενέργειας για το πετρέλαιο θέρμανσης 0,264 KgCO₂/kWh και ηλεκτρική ενέργεια 0,989 KgCO₂/kWh, σύμφωνα με την ΤΟΤΕΕ 20701-1/2017.

4.1 Βελτίωση Θερμικών Χαρακτηριστικών Κτιριακού κελύφους

Από την αρχική μελέτη φάνηκε πως οι μεγαλύτερες απώλειες του κτιρίου προέρχονταν από το κέλυφος, για το λόγο αυτό επιλέχθηκε να προστεθεί θερμομόνωση εξωτερικά. Για τους τοίχους η λύση που προτείνεται είναι η τοποθέτηση θερμομόνωσης εξωτερικά, που αποτελείτε πολυστερίνη (EPS) πάχους 10 εκ., με θερμική αγωγιμότητα $\lambda = 0,031 \text{ W/(m K)}$. Επίσης επιλέχθηκε να τοποθετηθεί άνω και κάτω του προβόλου, πολυστερίνη (XPS), πάχους 5 εκ. με θερμική αγωγιμότητα $\lambda = 0,035 \text{ W/(m K)}$ για την αποφυγή θερμογεφυρών στο σημείο επαφής.

Στην οροφή επιλέχθηκε να προστεθεί 20 εκ. EPS με $\lambda = 0,031 \text{ W/(m K)}$, καθώς είναι το στοιχείο με τις μεγαλύτερες απώλειες τον χειμώνα και κέρδη το καλοκαίρι, με σημαντική επιρροή στην ενεργειακή ζήτηση του κτιρίου.

Όσο αναφορά τις απώλειες του κτιρίου προς το έδαφος, επιλέχθηκε η τοποθέτηση θερμομόνωσης εσωτερικά στο δάπεδο της ισόγειας κατοικίας, πάχους 5 εκ. με θερμική αγωγιμότητα $\lambda = 0,031 \text{ W/(m K)}$ και παράλληλα η συνέχιση της θερμομόνωσης των εξωτερικών τοίχων κατά 1μ. μέσα στο υπέδαφος. Αυτό αποτελεί μια εύκολη λύση για την μείωση της ροής θερμότητας από τον εξ. αέρα προς το εσωτερικό του κτιρίου, μέσω του εδάφους.

Για την μελέτη της επίδρασης στις ενεργειακές επιδόσεις της παραπάνω επέμβασης, επιλέχθηκε να γίνουν δύο

ακόμα προσομοιώσεις για πάχη 5εκ. και 8εκ, με τα αποτελέσματα να φαίνονται στον Πίνακα 3. Όπως βλέπουμε η αύξηση του πάχους της εξ θερμομόνωσης έχει θετικό αντίκτυπο στην βελτίωση της ενεργειακής ζήτησης, ιδιαίτερα για θέρμανση, με την μείωση της πρωτογενούς ενέργειας να κυμαίνεται από 21% για τα 5 εκ. μέχρι και 25% για τα 10εκ.

4.2 Βελτίωση Θερμικών Χαρακτηριστικών Διαφανών Επιφανειών.

Κατά την μελέτη των επεμβάσεων ο στόχος για τις διαφανείς επιφάνειες ήταν η εξισορρόπηση κατά το δυνατό του ετήσιου ισοζυγίου απωλειών – κερδών του κτιρίου. Έτσι αποφασίστηκε να μειωθούν οι διαστάσεις των ανοιγμάτων στους δυσμενής προσανατολισμούς από την μία και παράλληλα να τοποθετηθούν κουφώματα υψηλότερων ενεργειακών επιδόσεων, με χαμηλότερους συντελεστές ηλιακών θερμικών κερδών (g – value). Στον Πίνακα 4 φαίνονται συγκεντρωτικά οι ιδιότητες των νέων ανοιγμάτων.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτή η επέμβαση μείωσε την ετήσια ενεργειακή ζήτηση για θέρμανση κατά 30 kWh/(m² έτος) και την ζήτηση για ψύξη κατά 8,3 kWh/(m² έτος) και παράλληλα η μείωση στην πρωτογενή ενέργεια για θέρμανση φτάνει στις 35 kWh/(m² έτος) και 14,1 kWh/(m² έτος) για ψύξη.

Από την αντικατάσταση των παραθύρων, υπάρχουν και πρόσθετα οφέλη στην αεροστεγανότητα του κτιρίου, μειώνοντας

Πίνακας 4: : Ειδικά χαρακτηριστικά των προτεινόμενων παρεμβάσεων για τις διαφανείς επιφάνειες.

	Πλαίσιο		Υαλοπίνακας		
	U-value W/(m ² K)	Τύπος	U-value W/(m ² K)	g-value	Ειδικά χαρακτηριστικά
Βορράς	0,60	4-12-4-12-4	0,49	0,53	Low-e
Ανατολή	0.78	4-16-4	1.30	0.64	Low-e
Νότος	0.78	4-16-4	1.30	0.64	Low-e
Δύση	0.78	4-16-4	1.30	0.54	Loe-e

τις απώλειες λόγω αθέλητου αερισμού. Στην περίπτωση αυτή, έγινε μια μετριοπαθή πρόβλεψη ότι αυτές μειώθηκαν στις 1 εναλλαγές/ώρα, από 5 του υφιστάμενου. Η επέμβαση αυτή φέρεται να μειώνει την ετήσια θερμική ανάγκη κατά 7,6 kWh/m² και την πρωτογενή ενεργειακή ζήτηση κατά 13,7 kWh/(m² έτος).

4.3 Διατάξεις Εξωτερικού Σκιασμού

Για την μείωση της ροής θερμικών φορτίων, που οφείλεται στα ηλιακά κέρδη, από τις διαφανείς επιφάνειες επιλέχθηκε η προστασία των ανοιγμάτων με εξωτερικά συστήματα σκιασμού. Για τον έλεγχο της αποδοτικότητας αυτής της λύσης, εκτελέστηκε μια προσομοίωση, όπου σε όλα τα παράθυρα στην Ανατολή, Νότο και Δύση τοποθετήθηκαν κινούμενα εξωτερικά σκίαστρα που χρησιμοποιούνται κατά τις ώρες με τα υψηλότερη ηλιακή ακτινοβολία.

Αυτή η λύση είναι πολύ συνηθισμένη στα μεσογειακά και θερμά κλίματα, καθώς μειώνει την απευθείας ακτινοβολία, επιτρέπει την κίνηση του αέρα, προσφέρει ιδιωτικότητα, ενώ παράλληλα επιτρέπει τον αερισμό και είσοδο διάχυτης ακτινοβολίας, παράγοντες σημαντικοί για τον εσωτερική ποιότητα περιβάλλοντος και μείωση ενεργειακών αναγκών για φωτισμό. Σύμφωνα με την προσομοίωση αυτή η επέμβαση μείωσε την ετήσια ψυκτική ανάγκη κατά 7,6 kWh/ (m² έτος).

4.4 Μηχανικός Αερισμός

Ο ελεγχόμενος ισορροπημένος αερισμός με ανάκτηση θερμότητας αποτελεί τον πυρήνα των ΠΚ, στις περισσότερες κλιματικές ζώνες και αποτελεί απαραίτητη

συνθήκη για την επίτευξη υψηλού επιπέδου συνθηκών υγιεινής.

Στο κτίριο επιλέχθηκε να τοποθετηθεί ένα σύστημα αερισμού με ανάκτηση θερμότητας (HRV) για κάθε ιδιοκτησία για την διατήρηση ικανοποιητικών εσωτερικών συνθηκών, με τα τεχνικά χαρακτηριστικά να αποτυπώνονται στον Πίνακα 5. Αυτή η προσθήκη μείωσε την ενεργειακή ζήτηση για θέρμανση κατά 9 kWh/(m² έτος) και την πρωτογενή ενεργειακή κατανάλωση κατά 7 kWh/(m² έτος), αντίστοιχα, σε σχέση με το αερισμό μέσω των ανοιγμάτων.

Τέλος, μελετήθηκε η επίδραση στη ενεργειακή κατανάλωση, από την προσθήκη ενός γεωεναλλάκτη εδάφους - αέρα στον μηχανικό αερισμό. Αποτελεί μια απλή παθητική τεχνική, όπου εκμεταλλεύεται την θερμοκρασία του εδάφους για να θερμάνει ή ψύξει τον νωπό αέρα, προτού εισέλθει στο κτίριο, μέσω του μηχανικού αερισμού. Η λύση που προτάθηκε είναι η βύθιση στο 1 μ., πλαστικού αγωγού Ø 150 mm, μήκους 50μ.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, αυτή η επέμβαση μείωσε τις θερμικές ανάγκες κατά σχεδόν 1,5 kWh/(m² έτος) και παράλληλα, τις ψυκτικές ανάγκες κατά 3,6 kWh/(m² έτος) και την πρωτογενή ενέργεια κατά 5,8 kWh/(m² έτος).

4.5 Ελεύθερη Ψύξη μέσω Νυχτερινού Δροσισμού

Η μεγάλη ημερήσια θερμοκρασιακή διακύμανση που παρουσιάζει η Πάτρα το καλοκαίρι (10 °C) σε συνδυασμό με το ότι ο μέσος μηνιαίος λόγος υγρασίας είναι κάτω από 12g/Kg, συνεπάγεται ότι τις πρωινές και τις βραδινές ώρες η εξωτερική θερμοκρασία είναι εντός των επιθυμητών εσωτερικών συνθηκών. Αυτή η συνθήκη επιτρέπει να

Πίνακας 5: Ειδικά χαρακτηριστικά του συστήματος μηχανικού αερισμού.

Χαρακτηριστικά				
Τύπος	Αποδοτικότητα ανάκτησης θερμότητας	Ειδική Κατανάλωση	Παροχή αέρα	Εξαγωγή αέρα
HRV	75%	0,45 (wh/m ³)	80-160 (m ³ /h)	80-160 (m ³ /h)

διερευνηθεί η ικανότητα του νυχτερινού δροσισμού στην μείωση της θερμοκρασίας εσωτερικού περιβάλλοντος.

Για να αναγνωρισθεί η αποδοτικότητα εκτελέστηκε μια προσομοίωση όπου όλα τα ανοίγματα, με εξαίρεση της πόρτας εισόδου, έχουν ικανότητας ανάκλησης, επιτρέποντας τους χρήστες να τα χρησιμοποιούν τις νυχτερινές ώρες, τους μήνες ψύξης (Μάιος – Σεπτέμβριος). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι είναι εφικτό με την χρήση της ανάκλησης να επιτευχθεί διαμπερής αερισμός, με ρυθμό 0,26 αλλαγών αέρα/ώρα, με αποτέλεσμα να μειωθεί η πρωτογενή ενέργεια για ψύξη κατά 2,6 Kwh/(m² έτος), και την ενεργειακή ζήτηση κατά 1,6 Kwh/(m² έτος).

4.6 Προσθήκη Αντλιών Θερμότητας (Α/Θ)

Στα Μεσογειακά κλίματα η χρήση σωμάτων εκπομπής, συνδεδεμένα με λέβητες πετρελαίου αποτελεί κοινή πρακτική για θέρμανση, αν και η απόδοση ενός τέτοιου κλασικού συστήματος δεν είναι τόσο υψηλή, σε σύγκριση με αντίστοιχα που στηρίζονται στον ηλεκτρισμό.

Στο σενάριο αυτό διερευνήθηκε η αντικατάσταση του υπάρχοντος συστήματος θέρμανσης με μια Α/Θ αέρα/αέρα (Α/С), ανά ιδιοκτησία, μορφής multi-split, με μεταβλητή παροχή αέρα (inverter), για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης και ψύξης. Οι τελικές μονάδες τοποθετήθηκαν στα υπν/τια και καθιστικό, τακτική που επιτρέπει τον έλεγχο των συνθηκών ανά ζώνη.

Με την χρήση των δεδομένων που δίνεται από τους κατασκευαστές επιλέχθηκε μια μονάδα με μέγιστη ισχύ 4 KW (7000 BTU) με συντελεστή COP = 3.4 και EER= 4.2. Αυτή η επέμβαση προσθήκη μείωσε την τελική

ενεργειακή ζήτηση κατά σχεδόν 50% για θέρμανση, αλλά αύξησε την πρωτογενή ενεργειακή ζήτηση κατά 20% και εκπομπές ρύπων κατά 70%. Αυτό συμβαίνει γιατί ο συντελεστής μετατροπής πετρελαίου και ηλεκτρισμού σε πρωτογενή ενέργεια είναι 1,1 και 2,9 αντίστοιχα και για τους εκλούμενους ρύπους είναι 0,264 KgCO₂/kWh για το πετρέλαιο και 0,989 για τον ηλεκτρισμό (ΥΠΕΝ, 2017). Αντίθετα, για την περίοδο ψύξης η αυξημένη ενεργειακή αποδοτικότητα της Α/Θ, σε σχέση με την υπάρχουσα (EER= 2), μείωσε τόσο την ενεργειακή ζήτηση, όσο και τις εκπομπές ρύπων.

4.7 Ηλιοθερμικά συστήματα για την παραγωγή ΖΝΧ

Η προετοιμασία ΖΝΧ αποτελεί μία από τις πιο ενεργοβόρες δραστηριότητες, ιδιαίτερα στην περίπτωση των ΠΚ που έχουν πολύ μικρές ενεργειακές καταναλώσεις για θέρμανση και ψύξη, στο ήπιο Μεσογειακό κλίμα, όπως μπορούμε να το διαπιστώσουμε και από την ανάλυση του Πίνακα 3

Σε αυτό το σενάριο, επιλέχθηκε για την μείωση της τελικής ενεργειακής κατανάλωσης να προστεθεί ένα ηλιοθερμικό σύστημα βασισμένο σε απλούς επίπεδους συλλέκτες, με εφεδρική ηλεκτρική αντίσταση 4 KW, τοποθετημένο στην οροφή της κατοικίας, προσανατολισμένο προς τον Νότο, με κλίση 52 μοίρες για την μέγιστη συλλογή ηλιακής ακτινοβολίας την περίοδο του χειμώνα

Από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης στον Πίνακα 6 προκύπτει ότι, με την προσθήκη 4 τ.μ. συλλεκτών, η συμμετοχή στην παραγωγή ΖΝΧ ανέρχεται στο 56% της

Πίνακας 6: Μεταβολές στην ενεργειακή ζήτηση και εκπομπές ρύπων ανάλογα την επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη.

	Τελική ενέργεια kWh/(m ² έτος)			Πρωτ. Ενέργεια kWh/(m ² έτος)			Ισοδύναμες εκπομπές ρύπων KgCO ₂ / (m ² έτος)		
	0	4	8	0	4	8	0	4	8
Επιφάνεια συλλέκτη (τ.μ.)	0	4	8	0	4	8	0	4	8
Ηλεκτρισμός	27,8	13,6	6,9	80,5	39,5	20,1	27,5	13,5	6,9
Ηλιοθερμία	0	14,6	21,3	-	-	-	-	-	-

συνολικής ζήτησης και με 8 τ.μ. συμμετέχει κατά 71% στην ζήτηση, μειώνοντας την πρωτογενή ενεργειακή κατανάλωση κατά 41 και 60,5 kWh/(m² έτος), αντίστοιχα. Τέλος, αυτή η μείωση στην κατανάλωση ενέργειας, έχει σαν επακόλουθο και την μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων από 27,5 σε 6,9 KgCO₂/(m² έτος)

4.8. Το Νέο Ενεργειακό Ισοζύγιο και η Δυνητική Συνεισφορά των Φωτοβολταϊκών Συστημάτων.

Οι προηγούμενες προσομοιώσεις απέδειξαν ότι υπάρχει ένα σημαντικό δυναμικό για βελτίωση του υφιστάμενου κτιρίου. Οι επεμβάσεις, όπως επιγράφησαν στα προηγούμενα κεφάλαια και αποτυπώνονται συνολικά στον Πίνακα 3, πετυχαίνοντας τους στόχους, κατάφεραν να μειώσουν την ετήσια ενεργειακή ζήτηση κατά 94%, κάτω από το ανώτατο μέγιστο όριο των 15 kWh/(m² έτος) για θέρμανση και ψύξη, όπως απαιτείται από το πρότυπο του ΠΚ, κατατάσσοντας το κτίριο στην κατηγορία EnerPHit Classic (Πίνακας 7).

Για την βελτίωση του ενεργειακού ισοζυγίου του κτιρίου επιλέχθηκε να γίνει μια ακόμα προσομοίωση, για την διερεύνηση της επίδρασης σε αυτό από την προσθήκη παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ. Σύμφωνα με την εξίσωση (1), η προσθήκη ΑΠΕ βελτιώνει το πρωτογενές ενεργειακό ισοζύγιο και εκτός από το να μειώσει την

ζήτηση, μπορεί να μετατρέψει το κτίριο σε μηδενικού (Net Zero) ή και θετικού πρωτογενούς ισοζυγίου (Net Plus), ανάλογα την παραγόμενη ενέργεια.

Η διαθέσιμη επιφάνεια στο κτίριο για την προσθήκη φωτοβολταϊκών είναι 111 τ.μ. (Σχήμα 1). Για την προσομοίωση επιλέχθηκαν μονοκρυσταλλικά πάνελ, προσανατολισμένα στον Νότο, με κλίση 32° και inverter με απόδοση 97%. Σύμφωνα με τον Πίνακα 3, η ετήσια πρωτογενή ενεργειακή ζήτηση για θέρμανση, ψύξη και παραγωγή ΖΝΧ, χωρίς την κατανάλωση ενέργειας για την λειτουργία των κατοικιών (φωτισμός, συσκευές, κλπ.) είναι 61 kWh/(m² έτος) που συνεπάγεται σε απόλυτα νούμερα 10.475 kWh/έτος ή 10.4 MWh/έτος, για το κτίριο συνολικά.

Για τον σκοπό της παρούσας εργασίας μελετήθηκαν δυο επιλογές, καθώς ο συντελεστή μετατροπής πρωτογενούς ενέργειας από φωτοβολταϊκά δεν είναι καθορισμένος στην ελληνική νομοθεσία. Στο πρώτο σενάριο αυτός λήφθηκε ως 1, δηλαδή η παραγόμενη ΑΠΕ χρησιμοποιήθηκε για την κάλυψη των ίδιων αναγκών του κτιρίου, ενώ στο δεύτερο θεωρούμε πως η ενέργεια που παράγεται από ΑΠΕ ισοδυναμεί με ενέργεια που δεν καταναλώνεται από το δίκτυο και για το λόγο αυτό ο συντελεστής είναι ίδιος με τον αντίστοιχο για την ηλεκτρική, δηλαδή 2.9 (ΥΠΕΝ, 2017).

Πίνακας 7: Κατάταξη του κτιρίου ως αναφορά την ενεργειακή ζήτηση, σύμφωνα με το πρότυπο ΠΚ για ανακαινιζόμενα κτίρια.

		Χρήσιμη ενέργεια				Αεροστεγανότητα
		Ετήσια θερμική ζήτηση	Θερμικό φορτίο	Ετήσια ψυκτική ζήτηση	Ψυκτικό φορτίο	
		Κατοικήσιμη επιφάνεια κατά PHPP 175 τ.μ.				n50
		kWh/(m ² έτος)	W/m ²	kWh/(m ² έτος)	W/m ²	1/h
Απαιτηση	EnerPHit Premium					
	EnerPHit Plus	15	-	15	11	1
	EnerPHit Classic					
Υπάρχον κτίριο		226	140	89	83	5
Κτίριο μετά τις επεμβάσεις		12	14	13	14	1
Μεταβολή		94%	90%	85%	83%	75%

Σύμφωνα με την ανάλυση η επίτευξη μηδενικού ισοζυγίου στην πρώτη περίπτωση προκύπτει από την προθήκη 30 πάνελ, συνολικής επιφάνειας 49 τ.μ. καθώς το σύστημα παράγει 10.5 MWh/έτος, ενώ αντίστοιχα για την δεύτερη με την προσθήκη 11 πάνελ, επιφάνειας 18 τ.μ., καθώς παράγει 3,8 MWh/έτος.

5. Συμπεράσματα

Η μελέτη στην παρούσα εργασία στοχεύει στην διερεύνηση και ανάδειξη ρεαλιστικών και δοκιμασμένων λύσεων, βασισμένη στην βιβλιογραφική ανασκόπηση, για την ανακαίνιση χαμηλών κτιρίων κατοικιών σε Κτίρια Σχεδόν Μηδενικής Κατανάλωσης Ενέργειας (Nearly Zero Energy Building) ή και Μηδενικού Ισοζυγίου Κατανάλωσης Ενέργειας (Net ZEB), εφαρμοσμένη σε μονοκατοικίες / διπλοκατοικίες μιας και αποτελούν τον πιο διαδεδομένο τύπο κτιρίων στην Μεσογειακή Ευρώπη.

Ο αρχικός ελλιπής σχεδιασμός του κτιρίου οδήγησε στην εφαρμογή μιας σειράς αλλαγών στο κτιριακό κέλυφος που θα περιορίζαν την ενεργειακή κατανάλωση και το αρχικό κόστος επένδυσης, ενώ στην συνέχεια προσομοιώθηκαν τα αποτελέσματα στην ενεργειακή ζήτηση του κτιρίου από μια σειρά ΜΕΕ.

Τα αποτελέσματα απέδειξαν ότι ο συγκεκριμένος τύπος κτιρίου κατοικιών, μπορεί να φτάσει τον επιθυμητό στόχο των NZEB, ενσωματώνοντας απλές διορθωτικές λύσεις όπως: σχετικά υψηλά επίπεδα θερμομόνωσης, υψηλών επιδόσεων παράθυρα με εξωτερικό σκιασμό, νυχτερινό δροσισμό, μηχανικό αερισμό, ηλιοθερμικά συστήματα για ΖΝΧ και μικρές Α/Θ για θέρμανση/ψύξη.

Οι παραπάνω λύσεις μείωσαν την ενεργειακή ζήτηση κατά 94%, την πρωτογενή ενεργειακή κατανάλωση κατά 88% και τις επακόλουθες εκπομπές ρύπων κατά 85%, κάνοντας την προσθήκη στην οροφή του κτιρίου μόλις 18 τ.μ. δηλαδή 9

τ.μ./οριζόντια ιδιοκτησία, επαρκή για να μηδενιστεί το ισοζύγιο ζήτησης πρωτογενούς ενέργειας / παραγωγής από ΑΠΕ, μετατρέποντας το κτίριο σε Net ZEB.

Παρόλα αυτά θα πρέπει να τονιστεί ότι, η λήψη αποφάσεων για τα ΜΕΕ που πρέπει να εφαρμοστούν για την μείωση των ενεργειακών αναγκών θα πρέπει να γίνεται υπό το πρίσμα κόστους-ωφέλειας, πράγμα που δεν κατέστη εφικτό κατά την διάρκεια της μελέτης. Παρόλα αυτά είναι άποψη του συγγραφέα ότι, σύμφωνα με τις απαιτήσεις που έχει θέσει ο τελευταίος εθνικός Κανονισμός Ενεργειακής Αποδοτικότητας Κτιρίων (ΚΕνΑΚ), το κόστος κατασκευής/ανακαίνισης ενός κτιρίου στο πρότυπο του ΠΚ βρίσκεται πολύ κοντά σε αυτό των συμβατικών κατασκευών, ενώ οι μελλοντικές αναθεωρήσεις, στο πλαίσιο σύγκλισης των χωρών της Ε.Ε με τις ευρωπαϊκές οδηγίες, θα μηδενίσουν αυτή τη διαφορά.

Βιβλιογραφία

- Atanasiu, S., Kunkel, S., Kouloumpi, E., Straub, A., Visscher, H. J., & Mlecnik, E. (2013). COHERENO - nZEB criteria for typical single-family home renovations in various countries. *Version 3.5*. Retrieved from <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A0473d019-a18f-4a32-81d3-93ea98a71503>
- BPIE. (2015). *EUROPE'S BUILDINGS UNDER THE MICROSCOPE*. Retrieved from http://bpie.eu/wp-content/uploads/2015/10/HR_EU_B_under_microscope_study.pdf
- DG Ener. (2019). Energy performance of buildings | Energy. Retrieved November 5, 2019, from <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/energy-performance-of-buildings/overview>
- EC. European Commission: Directive 2012/27/EU of the European Parliament

- and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC Text with EEA relevance, Pub. L. No. 32012L0027, OJ L 315 (2012). Retrieved from <http://data.europa.eu/eli/dir/2012/27/oj/eng>
- EC. European Commission: Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources (Text with EEA relevance.), Pub. L. No. 32018L2001, OJ L 328 (2018). Retrieved from <http://data.europa.eu/eli/dir/2018/2001/oj/eng>
- EuP. (2018). *European Parliament: Directive (EU) 2018/2002 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 amending Directive 2012/27/EU on energy efficiency (Text with EEA relevance.)* (No. 32018L2002). Retrieved from <http://data.europa.eu/eli/dir/2018/2002/oj/eng>
- Feist, W. (2018). The Passive House—Definition []. Retrieved December 10, 2019, from https://passipedia.org/basics/the_passive_house_-_definition
- Marszal, A. J., Heiselberg, P., Bourrelle, J. S., Musall, E., Voss, K., Sartori, I., & Napolitano, A. (2011). Zero Energy Building – A review of definitions and calculation methodologies. *Energy and Buildings*, 43(4), 971–979. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.12.022>
- Parasonis, J., Keizikas, A., & Kalibatiene, D. (2012). The relationship between the shape of a building and its energy performance. *Architectural Engineering and Design Management*, 8(4), 246–256. <https://doi.org/10.1080/17452007.2012.675139>
- PHI. (2017). Building certification guide. Retrieved from http://passivhaustrust.org.uk/UserFiles/File/2017_PHI_03_building_certification_guide.pdf
- PHI. (2018). PHPP – Passive House Planning Package. Retrieved December 11, 2019, from https://passipedia.org/planning/calculating_energy_efficiency/phpp_-_the_passive_house_planning_package
- PHI. (2019). Passive House windows—Requirements. Retrieved January 25, 2020, from https://passipedia.org/planning/thermal_protection/windows/requirements_for_windows
- PHI. (n.d.). Passive House Institute: Climate data tool. Retrieved February 26, 2020, from https://passipedia.org/planning/calculating_energy_efficiency/phpp_-_the_passive_house_planning_package/climate_data_tool
- ΕΛΣΤΑΤ. (2014). Απογραφή Πληθυσμού-Κατοικιών 2011—ELSTAT. Retrieved November 4, 2019, from <http://www.statistics.gr/2011-census-pop-hous>
- ΥΠΕΝ. (2017). *TOTEE_20701-1/2017: ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΕΘΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΤΗΡΙΩΝ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΚΔΟΣΗ ΤΟΥ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ. Α΄ Έκδοση*. Retrieved from http://portal.tee.gr/portal/page/portal/SCIENTIFIC_WORK/GR_ENERGEIAS/kenak/files/TOTEE_20701-1_2017_TEE_1st_Edition.pdf