

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών *Διαχείρισης και
Προστασίας Περιβάλλοντος*

Μεταπτυχιακή Διατριβή



**Βιοκλιματικός Σχεδιασμός και Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων -
Βέλτιστο Κόστος Σχεδιασμού για Σχεδόν Μηδενικής
Ενέργειας Κτίριο (nZEB)**

Κυριάκος Σκενδερίδης

**Επιβλέπουσα Καθηγήτρια
Σίσσυ Ευθυμιάδου**

Ιανουάριος 2017

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών

**Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών Διαχείρισης και
Προστασίας Περιβάλλοντος**

Μεταπτυχιακή Διατριβή

**Βιοκλιματικός Σχεδιασμός και Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων -
Βέλτιστο Κόστος Σχεδιασμού για Σχεδόν Μηδενικής
Ενέργειας Κτίριο (nZEB)**

Κυριάκος Σκενδερίδης

**Επιβλέπουσα Καθηγήτρια
Σίσσυ Ευθυμιάδου**

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή υποβλήθηκε προς μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων για απόκτηση μεταπτυχιακού τίτλου σπουδών στη Διαχείριση και Προστασία Περιβάλλοντος από τη Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών του Ανοικτού Πανεπιστημίου Κύπρου.

Ιανουάριος 2017

Περίληψη

Σήμερα, ο κτιριακός τομέας στην Ε.Ε. ευθύνεται περίπου για το 40 % της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης και για το 36 % περίπου των συνολικών εκπομπών CO₂. Κατά την τελευταία δεκαετία, η Ε.Ε. με νέα νομοθεσία και μεθοδολογίες έχει θεσπίσει μέτρα για την προώθηση της ορθολογικής χρήσης της ενέργειας. Μια από τις πιο σημαντικές πρωτοβουλίες ενεργειακής πολιτικής είναι η αναδιατύπωση της Οδηγίας για την «Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων» (Directive 2010/31/EU), η οποία ορίζει ότι τα κράτη μέλη θα πρέπει να καθορίσουν εθνικές απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης με την εφαρμογή μιας εναρμονισμένης μεθοδολογίας υπολογισμού με σκοπό την επίτευξη των επιπέδων βέλτιστου κόστους.

Ο στόχος της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής είναι να παρέχει μια βαθύτερη ανάλυση και καθοδήγηση σχετικά με τη σωστή εφαρμογή της μεθοδολογίας του βέλτιστου κόστους στα κτίρια σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης (nZEB) και την αξιολόγηση των επιπτώσεων των διαφόρων κρίσιμων παραμέτρων. Αρχικά, γίνεται μια αναλυτική παρουσίαση των αρχών που διέπουν το βιοκλιματικό σχεδιασμό και των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που εφαρμόζονται στα ενεργειακά κτίρια. Στη συνέχεια, μελετήθηκαν τα επίπεδα βέλτιστου κόστους σχεδιασμού μιας μονοκατοικία στη Βόρεια Ελλάδα για μια περίοδο υπολογισμού 30 ετών. Διαφορετικά μέτρα ενεργειακής απόδοσης για τη θερμομόνωση του κελύφους και για τα τεχνικά συστήματα μελετήθηκαν, μέσω της δυναμικής ενεργειακής προσομοίωσης του προγράμματος EnergyPlus, προκειμένου να επιτευχθεί η λύση του βέλτιστου κόστους. Συνολικά εξετάστηκαν 90 διαφορετικά σενάρια που προέκυψαν από συνδυασμό των μέτρων ενεργειακής απόδοσης που μελετήθηκαν.

Η μελέτη έδειξε ότι τόσο τα επίπεδα βέλτιστου κόστους, όσο και οι λύσεις καθαρά μηδενικού ισοζυγίου, μπορούν να επιτευχθούν με σχετικά υψηλά επίπεδα θερμομόνωσης του κτιρίου, αλλά και με την απαραίτητη παράλληλη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως τα φωτοβολταϊκά συστήματα.

Λέξεις κλειδιά: βιοκλιματικός σχεδιασμός, nZEB, βέλτιστο κόστος, EnergyPlus.

Summary

Today, the building sector in the EU is responsible for about 40 % of total energy consumption and for about 36 % of total CO₂ emissions. Over the last decade, the EU has adopted measures to promote the rational use of energy with new legislation and methodologies. One of the most important energy policy initiatives is the recast of the Directive on "Energy in Buildings Performance» (Directive 2010/31/EU), which states that Member States should set national energy efficiency requirements in a harmonized calculation methodology with a view to achieving cost-optimal levels.

The goal of this master thesis is to provide a deeper analysis and guidance on the proper application of the cost-optimal methodology to nearly zero energy buildings (nZEB) and assess the impact of the various critical parameters. Initially, there is a detailed presentation of the principles of the bioclimatic design and renewable energy sources applied in energy buildings. Then, a study of the cost-optimal levels of a house in northern Greece for a 30 year period of calculation performed. Several energy efficiency measures to improve the thermal insulation of the building envelope and technical systems were studied by means of dynamic energy simulation of EnergyPlus program in order to achieve cost-optimal solution. A total of 90 different scenarios, which came from the combination of energy efficiency measures, was studied.

The study showed that both the cost-optimal levels, and net zero balance solutions can be achieved with relatively high levels of thermal insulation of the building, but also with the necessary simultaneous use of renewable energy sources such as photovoltaic systems.

Keywords: bioclimatic design, nZEB, cost-optimal, EnergyPlus.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά, πρωτίστως, την επιβλέπουσα καθηγήτρια μου, κα. Σίσσυ Ευθυμιάδου, για την πολύτιμη καθοδήγηση, υποστήριξη και βοήθειά της κατά τη διάρκεια της εκπόνησης και συγγραφής της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη σύζυγό μου Κατερίνα και την κόρη μου Ιόλη, για την κατανόηση και την ηθική στήριξη που μου παρείχαν όλα αυτά τα χρόνια των μεταπτυχιακών μου σπουδών.

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή	1
1.1	Σημασία και Αναγκαιότητα της Μελέτης.....	1
1.2	Σκοποί και Στόχοι της Μελέτης.....	3
1.3	Διασαφηνίσεις – Προσδιορισμός και Διατύπωση των Κεντρικών Εννοιών.....	3
2	Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	5
2.1	Ενεργειακή Κατανάλωση στην Ε.Ε.....	5
2.2	Ενεργειακή Κατανάλωση στην Ελλάδα.....	9
2.3	Πολιτικές της Ε.Ε. σχετικά με την Ενέργεια.....	12
2.4	Η Νομοθεσία της Ε.Ε. για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων.....	13
2.5	Η Νομοθεσία της Ελλάδας για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων.....	17
2.6	Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων (Κ.ΕΝ.Α.Κ).....	19
2.7	Το Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης στην Ελλάδα.....	20
2.8	Συνθήκες Άνεσης των Κτιρίων.....	23
2.8.1	Θερμική Άνεση.....	24
2.8.2	Οπτική Άνεση.....	25
2.8.3	Άνεση Εσωτερικού Αέρα.....	26
2.9	Βιοκλιματικός Σχεδιασμός.....	28
2.9.1	Βασικές Αρχές Βιοκλιματικού Σχεδιασμού.....	29
2.9.2	Βασικά Στοιχεία Βιοκλιματικού Σχεδιασμού.....	30
2.9.3	Παθητικά Ηλιακά Συστήματα Θέρμανσης.....	32
2.9.4	Παθητικά Συστήματα Δροσισμού.....	35
2.9.5	Θερμικά Ηλιακά Συστήματα - Φωτοβολταϊκά Συστήματα.....	39
2.10	Σχεδόν Μηδενικής Ενέργειας Κτίριο.....	41
3	Μεθοδολογία	45
3.1	Αντικείμενο της Μελέτης.....	47
3.2	Καθορισμός του Κτιρίου Αναφοράς.....	48
3.3	Προσδιορισμός Μέτρων Ενεργειακής Απόδοσης.....	50
3.4	Συντελεστής Θερμοπερατότητας των Δομικών Στοιχείων.....	56
3.5	Ενεργειακό Μοντέλο.....	58
3.6	Μέθοδος Υπολογισμού Συνολικού Κόστους.....	63
3.6.1	Το Αρχικό Κόστος Επένδυσης.....	65
3.6.2	Ενεργειακές Τιμές.....	67
3.6.3	Διάρκεια Ζωής των Δομικών Στοιχείων.....	67
3.6.4	Περίοδος Υπολογισμού, Κόστος Αντικατάστασης και Κόστος Συντήρησης.....	68
3.6.5	Κόστος Διάθεσης.....	69
3.6.6	Προεξοφλητικό Επιτόκιο.....	69
3.7	Ανάλυση Ευαισθησίας.....	70
3.8	Εκτιμώμενη Μακροπρόθεσμη Εξέλιξη των Ενεργειακών Τιμών.....	71
4	Αποτελέσματα	73
4.1	Αποτελέσματα Κτιρίου Αναφοράς.....	73
4.2	Αποτελέσματα Σεναρίων Μέτρων Ενεργειακής Απόδοσης.....	75
4.2.1	Κατανάλωση Τελικής και Πρωτογενούς Ενέργειας.....	75
4.2.2	Εκπομπές CO ₂	86
4.2.3	Υπολογισμός Βέλτιστου Κόστους Σχεδιασμού.....	89
4.3	Αποτελέσματα Ανάλυσης Ευαισθησίας.....	96
5	Συμπεράσματα	100
Παραρτήματα		105
A	Βασικά Στάδια Ενεργειακής Προσομοίωσης.....	105
B	Υπολογισμός Κατασκευαστικού Κόστους και Καθαρής Παρούσας Αξίας.....	124
Βιβλιογραφία		135

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός αποτελεί μέρος της πρακτικής γνώσης στην κατασκευή κτιρίων σε όλες τις ιστορικές περιόδους, συμπεριλαμβανομένης της πρόωρης σύγχρονης αρχιτεκτονικής. Όταν τα συστήματα κλιματισμού έγιναν ευρέως διαθέσιμα στα τέλη της δεκαετίας του 1950, το ενδιαφέρον για το βιοκλιματικό σχεδιασμό ατόνησε σε μεγάλο βαθμό. Το θέμα επανεμφανίστηκε ως απάντηση στην «ενεργειακή κρίση» της δεκαετίας του 1970, όταν ο «παθητικός ηλιακός σχεδιασμός» έγινε δημοφιλής όρος για να περιγράψει αρχικά την προσέγγιση στην ηλιακή θέρμανση, ενώ σύντομα επεκτάθηκε στην παθητική ψύξη και το φυσικό φωτισμό (Watson 2013: 16).

Με την εμφάνιση των παγκόσμιων περιβαλλοντικών ανησυχιών της δεκαετίας του 1990 και τη διεθνή αναγνώριση ότι η εξοικονόμηση ενέργειας έχει μεγάλη επίδραση και οφέλη στη μείωση της ρύπανσης και στον μετριασμό της υπερθέρμανσης του πλανήτη, το πεδίο εφαρμογής του βιοκλιματικού σχεδιασμού διευρύνθηκε για να συμπεριλάβει το τοπίο, το νερό, ακόμη και την ανάκτηση θρεπτικών συστατικών μέσω των αποβλήτων. Ο αιφόρος σχεδιασμός της αρχιτεκτονικής των κτιρίων και του δομημένου περιβάλλοντος καθιερώθηκε με βασικούς πυλώνες την προστασία και ανάδειξη του φυσικού περιβάλλοντος και την προσαρμογή στο τοπικό κλίμα, καθώς και την ενσωμάτωση στο κτίριο, συστημάτων εξοικονόμησης ενέργειας, ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και υλικών φιλικών προς το περιβάλλον.

1.1 Σημασία και Αναγκαιότητα της Μελέτης

Σήμερα, η κατανάλωση ενέργειας που προέρχεται από τα κτίρια στην Ε.Ε. αντιπροσωπεύει περίπου το 40 % της συνολικής παγκόσμιας κατανάλωσης

ενέργειας (Mlecnik 2012: 411), και επιπλέον ο κτιριακός τομέας είναι υπεύθυνος για το 36 % περίπου των συνολικών παγκόσμιων εκπομπών CO₂. Έτσι, προκειμένου να επιτευχθεί ο μακροπρόθεσμος στόχος της μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου (Green House Gas - GHG) σε επίπεδα εκπομπών κατά 80-95 % σε σχέση με τα επίπεδα του 1990 έως το 2050, θα χρειαστεί μεγάλη προσπάθεια για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων. Για αυτό το σκοπό θα πρέπει να διασφαλιστεί ότι τα νέα κτίρια και οι εργασίες ανακαίνισης των υφιστάμενων κτιρίων βελτιστοποιούν το δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο ο καθορισμός των απαιτήσεων ελάχιστης ενεργειακής απόδοσης για νέα και υφιστάμενα κτίρια αντιπροσωπεύει ένα βασικό στοιχείο των ευρωπαϊκών οικοδομικών κανονισμών.

Κατά την τελευταία δεκαετία, νέα νομοθεσία και μεθοδολογίες έχουν θεσπίσει τεχνικά και ρυθμιστικά μέτρα για την προώθηση της ορθολογικής χρήσης της ενέργειας και την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των πολιτικών. Μια από τις πιο σημαντικές πρωτοβουλίες ενεργειακής πολιτικής είναι η αναδιατύπωση της Οδηγίας για την «Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων» (OEAK) (Directive 2010/31/EU). Σύμφωνα με το άρθρο 9 της OEAK, όλα τα νέα κτίρια από το 2020 θα πρέπει να είναι σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης (near Zero Energy Building - nZEB). Επιπλέον, η OEAK ορίζει ότι θα πρέπει να καθοριστούν εθνικές απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης με σκοπό την επίτευξη των επιπέδων βέλτιστου κόστους με την εφαρμογή μιας εναρμονισμένης μεθοδολογίας υπολογισμού. Η Επιτροπή καλεί τα Κράτη Μέλη (ΚΜ) να χρησιμοποιήσουν και να εφαρμόσουν τη μεθοδολογία για τον υπολογισμό των απαιτούμενων επιπέδων βέλτιστου κόστους για τη χώρα τους και να τη συγκρίνουν με τις εθνικές απαιτήσεις που έχουν θέσει στους εθνικούς κανονισμούς κτιρίων.

Πλέον, η επίτευξη του στόχου nZEB έχει καταστεί προτεραιότητα όχι μόνο για τους σχεδιαστές, αρχιτέκτονες, μηχανικούς και ερευνητές που ασχολούνται με την οικοδόμηση, αλλά και τους φορείς χάραξης πολιτικής, τους οικονομολόγους και τους αναλυτές του περιβάλλοντος (Congedo et al. 2015: 967).

Μια συνεκτική και βιώσιμη αξιολόγηση των επενδυτικών δαπανών στον κτιριακό τομέα είναι σε θέση να προσφέρει μια νέα πλατφόρμα για το σχεδιασμό μακροπρόθεσμων στρατηγικών και πολιτικών και να απαντήσει στα υφιστάμενα εμπόδια στην αγορά, αλλάζοντας τον τρόπο σκέψης για την καλύτερη ενσωμάτωση των κτιριακού αποθέματος σε μια αειφόρο ανάπτυξη.

1.2 Σκοποί και Στόχοι της Μελέτης

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή γίνεται μια αναλυτική παρουσίαση των αρχών που διέπουν το βιοκλιματικό σχεδιασμό καθώς και των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που εφαρμόζονται στα ενεργειακά κτίρια, που έχουν σαν σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας και τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Ο στόχος της διατριβής είναι να παρέχει μια βαθύτερη ανάλυση και καθοδήγηση σχετικά με τη σωστή εφαρμογή της μεθοδολογίας του βέλτιστου κόστους στα κτίρια σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης (nZEB) και την αξιολόγηση των επιπτώσεων των διαφόρων κρίσιμων παραμέτρων.

1.3 Διασαφηνίσεις – Προσδιορισμός και

Διατύπωση των Κεντρικών Εννοιών

Βιοκλιματικός Σχεδιασμός: Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός ή βιοκλιματική αρχιτεκτονική αναφέρεται σε έναν εναλλακτικό τρόπο κατασκευής των κτιρίων, ώστε να λαμβάνονται υπόψη οι τοπικές κλιματικές συνθήκες, ενώ παράλληλα χρησιμοποιείται μια σειρά από παθητικά ηλιακά συστήματα με σκοπό τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσής τους και την εξασφάλιση συνθηκών θερμικής και οπτικής άνεσης, αξιοποιώντας την ηλιακή ενέργεια, αλλά και τα φυσικά φαινόμενα του κλίματος.

Κτίριο Σχεδόν Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης (near Zero Energy Building - nZEB): Το Κτίριο Σχεδόν Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης (nZEB) είναι ένα κτίριο που έχει μια πολύ υψηλή ενεργειακή απόδοση, με χαμηλή απαιτούμενη

ποσότητα ενέργειας, η οποία καλύπτεται σε πολύ σημαντικό βαθμό από ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές, συμπεριλαμβανομένης της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές που παράγεται στις εγκαταστάσεις του ή σε κοντινή απόσταση.

Κτίριο Αναφοράς: Το κτίριο αναφοράς είναι ένα κτίριο αντιπροσωπευτικό του τυπικού και μέσου κτιριακού αποθέματος μιας περιοχής σε περιφερειακό ή εθνικό επίπεδο, που επιλέγεται στα πλαίσια μιας μελέτης.

Μέτρα Ενεργειακής Απόδοσης: Πρόκειται για μια δέσμη μέτρων που απαιτούνται για την ενεργειακά αποδοτική εξυπηρέτηση ενός κτιρίου και μπορεί να περιλαμβάνουν μέτρα για το κέλυφος του κτιρίου, παθητικές τεχνικές, μέτρα για τα συστήματα του κτιρίου ή/και μέτρα που βασίζονται σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Συντελεστής Θερμοπερατότητας (U-value): Είναι η ποσότητα θερμότητας (σε Watt) που περνά μέσα από ένα τετραγωνικό ενός δομικού στοιχείου, ορισμένου πάχους d σε ορισμένο χρονικό διάστημα μίας ώρας, όταν μεταξύ των δύο επιφανειών υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας ενός βαθμού Κέλβιν. Μετρά δηλαδή με πόση ευκολία διαπερνά η θερμότητα ένα υλικό ή ένα σύστημα μέσα στα καθορισμένα πλαίσια.

Πρωτογενής Ενέργεια: Πρωτογενής ενέργεια ενός κτιρίου είναι η ενέργεια που χρησιμοποιείται για να πραχθεί η παρεχόμενη στο κτίριο ενέργεια και η οποία υπολογίζεται από τις παρεχόμενες και εξαγόμενες ποσότητες των φορέων ενέργειας, με τη χρήση συντελεστών μετατροπής της πρωτογενούς ενέργειας.

Κεφάλαιο 2

Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Το ενεργειακό πρόβλημα αποτελεί σήμερα ένα από τα σημαντικότερα θέματα της παγκόσμιας κοινότητας. Οι αυξανόμενες καταναλωτικές ανάγκες, η υπέρμετρη αύξηση του πληθυσμού και η βελτίωση του βιοτικού επιπέδου στις αναπτυσσόμενες χώρες, είναι μερικοί από τους σημαντικότερους παράγοντες που οδήγησαν στη ραγδαία αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης που παρατηρείται τις τελευταίες δεκαετίες. Η αλόγιστη χρήση συμβατικών πηγών ενέργειας έχει συμβάλει αισθητά στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος και στην εξάντληση των φυσικών πόρων. Σήμερα, υπό το βάρος της παγκόσμιας οικονομικής κρίσης, αναζητούνται διεθνώς πολιτικές προστασίας του περιβάλλοντος και αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής, με στόχο τη μετάβαση σε μια βιώσιμη ανάπτυξη.

2.1 Ενεργειακή Κατανάλωση στην Ε.Ε.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) και τα Κράτη Μέλη (ΚΜ) εργάζονται εντατικά τις τελευταίες δεκαετίες για τη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας σε όλους τους τομείς τελικής χρήσης και την αύξηση της εκμετάλλευσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι περιβαλλοντικές ανησυχίες που απορρέουν από την ενεργειακή κατανάλωση των ορυκτών καυσίμων, και να στηριχθεί η αυτάρκεια και η ενεργειακή ασφάλεια.

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Στατιστική Αρχή (EUROSTAT) η ακαθάριστη εγχώρια κατανάλωση στα κράτη μέλη της ΕΕ-28 για το έτος 2014 ήταν 1.606 εκατομμύρια τόνοι ισοδύναμου πετρελαίου (ΤΙΠ) μειωμένη κατά 12 % περίπου σε σχέση με το έτος 2005 (Πίνακας 2.1). Από την άλλη, η εγχώρια παραγωγή

πρωτογενούς ενέργειας έφθασε τα 770 εκατομμύρια ΤΙΠ το έτος 2014 μειωμένη κατά 15 % περίπου σε σχέση με το έτος 2005 (Πίνακας 2.2).

Πίνακας 2.1: Ετήσιες Καταναλώσεις Ενέργειας στις 28 χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης και στην Ελλάδα (Eurostat, 2016).

Ενεργειακή κατανάλωση (Χιλιάδες ΤΙΠ)		
Έτος	EU-28	Ελλάδα
2005	1.831.031,1	31.410,1
2006	1.839.586,3	31.584,7
2007	1.810.248,1	31.517,6
2008	1.805.402,7	31.836,4
2009	1.701.172,0	30.605,4
2010	1.763.704,4	28.838,0
2011	1.698.059,9	27.897,2
2012	1.684.704,5	27.650,1
2013	1.666.698,5	24.300,4
2014	1.605.930,7	24.429,6

Πίνακας 2.2: Ετήσια Πρωτογενής Παραγωγή Ενέργειας στις 28 χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης και στην Ελλάδα (Eurostat, 2016).

Πρωτογενής παραγωγή ενέργειας (Χιλιάδες ΤΙΠ)		
Έτος	EU-28	Ελλάδα
2005	903.776,7	10.325,5
2006	885.000,7	10.075,3
2007	861.944,0	10.176,9
2008	857.397,7	9.864,6
2009	821.629,6	10.081,3
2010	835.803,2	9.446,9
2011	802.222,9	9.630,7
2012	795.265,6	10.427,9
2013	790.505,0	9.312,4
2014	770.721,8	8.804,8

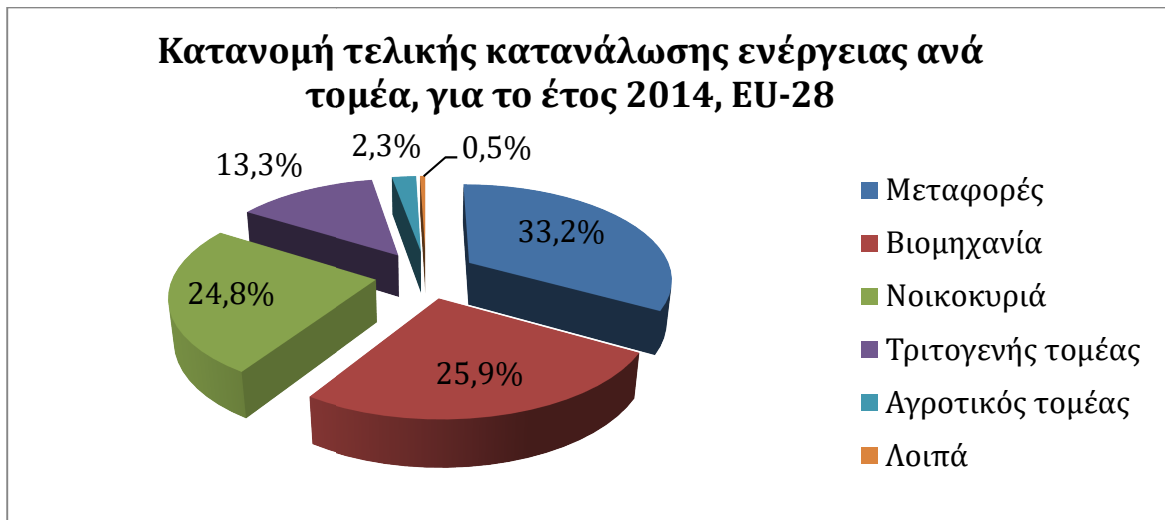
Η κατανομή της εγχώριας παραγωγής πρωτογενούς ενέργειας ανά πηγή για το έτος 2014 ήταν: πυρηνική ενέργεια 29,3 % (226 ΜΤΙΠ), ανανεώσιμες πηγές 25,4 % (196 ΜΤΙΠ), στερεά καύσιμα 19,3 % (149 ΜΤΙΠ), φυσικό αέριο 15,2 % (117 ΜΤΙΠ), πετρέλαιο 9,1 % (70 ΜΤΙΠ) και καύση αποβλήτων 1,6 % (12 ΜΤΙΠ) (Διάγραμμα 2.1).



Διάγραμμα 2.1: Κατανομή της εγχώριας παραγωγής πρωτογενούς ενέργειας ανά πηγή, για το έτος 2014 (Eurostat, 2016).

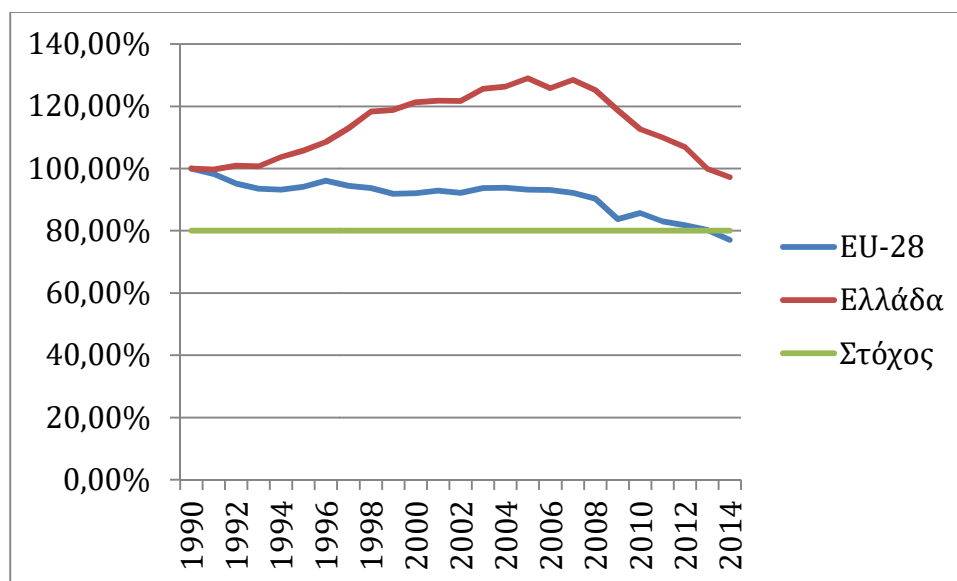
Τα κτίρια, τόσο κατά τη ανέγερσή τους όσο και κατά τη λειτουργία τους, καταναλώνουν μεγάλα ποσά ενέργειας. Στις Ευρωπαϊκές χώρες ο κτιριακός τομέας ευθύνεται περίπου για το 40 % της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης και για το 1/3 εκπομπών CO₂.

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Στατιστική Αρχή (EUROSTAT) το 2014 η τελική κατανάλωση ενέργειας οφείλεται στους τομείς: μεταφορές 33,2 %, βιομηχανία 25,9 %, νοικοκυριά 24,8 %, τριτογενής τομέας 13,3 %, αγροτικός τομέας 2,3%, λοιπά 0,5 % (Διάγραμμα 2.2).



Διάγραμμα 2.2: Κατανομή τελικής κατανάλωσης ενέργειας ανά τομέα, για το έτος 2014, EU-28 (Eurostat, 2016).

Τα κτίρια είναι επίσης μια σημαντική πηγή ρύπανσης. Το σημαντικότερο αέριο του θερμοκηπίου (GHG) με μεγάλη διαφορά είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) (Balaras et al. 2005:1299). Ο δείκτης σύμφωνα με τον οποίο αποτυπώνονται οι εκλύσεις του CO₂ στις χώρες της Ε.Ε είναι το ποσοστό σε σχέση με έτος βάσης το 1990 (100 %). Το ποσοστό αυτό για το έτος 2014 ήταν στο 77,05 %, πετυχαίνοντας για πρώτη φορά το στόχο μείωσης των αερίων θερμοκηπίου κατά 20 % σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990 (Διάγραμμα 2.3).



Διάγραμμα 2.3: Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, έτος βάσης 1990 (Eurostat, 2016).

2.2 Ενεργειακή Κατανάλωση στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα, ο συνολικός αριθμός των κτιρίων, σύμφωνα με τα στοιχεία της πιο πρόσφατης εθνικής απογραφής της Ελληνικής Στατιστικής Υπηρεσίας (ΕΛΣΤΑΤ), προσεγγίζει τα 4,1 εκατομμύρια εκ των οποίων τα 3,78 εκατομμύρια είναι κτίρια αποκλειστικής χρήσης, με το 79,2 % να είναι κτίρια κατοικιών (ΕΛΣΤΑΤ, 2011). Τα κτίρια μικτής χρήσης φτάνουν τα 330.000 περίπου εκ των οποίων η πλειοψηφία έχει κύρια χρήση κατοικία σε ποσοστό 77,5 % (Πίνακας 2.3).

Πίνακας 2.3: Κτίρια κατά αποκλειστική ή μικτή χρήση στη Ελλάδα (ΕΛΣΤΑΤ, 2011).

Χρήση κτιρίων	Κτίρια αποκλειστικής χρήσης	Κτίρια μικτής χρήσης	Σύνολο
Κατοικία	2.990.324	255.684	3.246.008
Εκκλησία - Μοναστήρι	47.872	515	48.387
Ξενοδοχείο	34.736	8.780	43.516
Εργοστάσιο - Εργαστήριο	30.731	3.031	33.762
Σχολικό κτίριο	19.474	2.379	21.853
Κατάστημα - Γραφείο	153.510	52.744	206.254
Σταθμός αυτοκινήτων	16.952	515	17.467
Νοσοκομείο, κλινική κλπ.	1.749	224	1.973
Άλλη χρήση	480.500	5.917	486.417
ΣΥΝΟΛΟ	3.775.848	329.789	4.105.637

Στον Πίνακα 2.4 και στο Διάγραμμα 2.4 εμφανίζονται οι χρονικές περίοδοι κατασκευής των κτιρίων της χώρας. Αν και οι βαθμομέρες θέρμανσης (Heating Degree Days - HDD) κυμαίνεται από 600 HDD στις νότιες και σε πάνω από 2600 HDD στις βόρειες περιοχές της Ελλάδα, περίπου το ήμισυ των Ελληνικών κτίρια δεν έχουν κανένα είδος θερμικής προστασίας, δεδομένου ότι η πλειοψηφία τους (δηλαδή 58,5 % του κτιριακού αποθέματος) κτίστηκαν πριν από το 1980, οπότε τέθηκε σε ισχύ ο Κανονισμός Θερμομόνωσης Κτηρίων (ΚΘΚ). Συγκεκριμένα, με βάση τις περιόδους κατασκευή του ελληνικού κτιριακού αποθέματος, το 41,3 % των κτιρίων έχουν κατασκευαστεί πριν από το 1970, το 17,2 % κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1970, το 17,5 % κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1980, το 12,5 % κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1990 και το υπόλοιπο 11,6

% μετά το 2001 [ΕΛΣΤΑΤ, 2011]. Η γήρανση του κτιριακού αποθέματος αποτελεί μια ζοφερή πραγματικότητα και σημαίνει ότι η πλειοψηφία των ελληνικών κατοικιών θα χρειαστούν κάποιο είδος ανακαίνισης του κελύφους και των εγκαταστάσεών τους για να ανταποκριθούν στις νέες προδιαγραφές ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων (Dascalaki et al. 2016: 6).

Πίνακας 2.4: Χρονικές περιόδους κατασκευής των κτιρίων στην Ελλάδα (ΕΛΣΤΑΤ, 2011).

Περίοδος κατασκευής κτιριακού αποθέματος στην Ελλάδα	Αριθμός κτιρίων	Ποσοστό επί του συνόλου
Προ του 1919	154.006	3,8 %
1919 - 1945	324.701	7,9 %
1946 - 1960	573.250	14,0 %
1961 - 1970	639.475	15,6 %
1971 - 1980	704.340	17,2 %
1981 - 1985	402.368	9,8 %
1986 - 1990	316.799	7,7 %
1991 - 1995	259.394	6,3 %
1996 - 2000	254.797	6,2 %
2001 - 2005	237.460	5,8 %
2006 και μετά	186.861	4,6 %
Υπό κατασκευή	52.186	1,3 %
ΣΥΝΟΛΟ	4.105.637	100,0 %

Η Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΤΑΤ) με τη συνδρομή του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ) διενήργησε για πρώτη φορά κατά το χρονικό διάστημα Οκτώβριος 2011 - Σεπτέμβριος 2012, την «Έρευνα Κατανάλωσης Ενέργειας στα Νοικοκυριά», με την οποία συλλέχθηκαν πληροφορίες σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας στον οικιακό τομέα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας, κάθε νοικοκυριό της χώρα καταναλώνει κατά μέσο όρο 13.994 kWh κάθε έτος για την κάλυψη των ενεργειακών του αναγκών (ΕΛΣΤΑΤ 2013: 1-2).



Διάγραμμα 2.4: Χρονικές περιόδους κατασκευής των κτιρίων στην Ελλάδα (ΕΛΣΤΑΤ, 2011).

Επιπλέον, από τα αποτελέσματα της έρευνας προέκυψε η κατανομή της ετήσιας συνολικής καταναλισκόμενης ενέργειας κατά τύπο χρησιμοποιούμενου καυσίμου καθώς και κατά είδος τελικής χρήσης (Πίνακας 2.5 και Πίνακας 2.6).

Πίνακας 2.5: Ποσοστιαία κατανομή της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας κατά τύπο χρησιμοποιούμενου καυσίμου (ΕΛΣΤΑΤ, 2013).

Χρησιμοποιούμενο καύσιμο	Ποσοστό
Πετρέλαιο θέρμανσης	44,1 %
Φυσικό αέριο	5,4 %
Τηλεθέρμανση	0,5 %
Κηροζίνη	0,3 %
Πυρήνας	0,3 %
Υγραέριο	1,8 %
Καυσόξυλα	17,4 %
Πελλέτες	0,5 %
Θερμικά ηλιακά συστήματα	2,9 %
Ηλεκτρισμός	26,8 %
Σύνολο	100,0 %

Συμφώνα με τα αποτελέσματα της έρευνας, οι ανάγκες ενός νοικοκυριού για θέρμανση και ψύξη χώρων αποτελούν το 65,0 % της συνολικής ετήσιας

καταναλισκόμενης ενέργειας, ενώ συνολικά για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του καταναλώνει κατά 44,1 % πετρέλαιο θέρμανσης, 26,8 % ηλεκτρισμό και 5,4 % φυσικό αέριο.

Πίνακας 2.6: Ποσοστιαία κατανομή της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας ανά τελική χρήση (ΕΛΣΤΑΤ, 2013).

Θέρμανση χώρων	63,7 %
Παραγωγή Ζεστού Νερού Χρήσης	5,7 %
Μαγείρεμα	17,3 %
Ψύξη Χώρων	1,3 %
Φωτισμός	1,7 %
Συσκευές (ηλεκτρικές/ηλεκτρονικές)	10,3 %
Σύνολο	100,0 %

2.3 Πολιτικές της Ε.Ε. σχετικά με την Ενέργεια

Η παραγωγή, μεταφορά και διανομή της ενέργειας αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους τομείς της παγκόσμιας οικονομίας. Σήμερα, η Ευρωπαϊκή Ένωση βρίσκεται αντιμέτωπη με σημαντικές προκλήσεις στον ενεργειακό τομέα και οι κύριοι άξονες της «Ευρωπαϊκής Ενεργειακής Στρατηγικής» της επικεντρώνονται στα θέματα (ΤΕΕ 2012α: 4):

- της ενεργειακής ασφάλειας,
- της κλιματικής αλλαγής,
- των τιμών ενέργειας,
- των διεθνών εξελίξεων,
- των οικονομικών εξελίξεων,
- των επενδύσεων σε υποδομές.

Η «Ευρωπαϊκή Ενεργειακή Πολιτική» καθορίζει το πρόγραμμα και το πλαίσιο δράσεων προκειμένου να επιτευχθούν οι ενεργειακοί στόχοι της Ε.Ε. Τα βασικότερα μέτρα σε αυτήν την κατεύθυνση είναι η βελτίωση λειτουργίας της εσωτερικής αγοράς ενέργειας καθώς και η ανάπτυξη αλληλεγγύης μεταξύ των κρατών μελών σε περιπτώσεις ενεργειακών κρίσεων. Επίσης, ιδιαίτερα σημαντική είναι η ανάπτυξη προγραμμάτων εξοικονόμησης ενέργειας σε ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο και η αύξηση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών

ενέργειας (ΑΠΕ) καθώς και η παράλληλη ανάπτυξη «καθαρών» τεχνολογιών χαμηλής εκπομπής CO₂.

Η Ε.Ε. έχει θέσει τους παρακάτω ενεργειακούς και κλιματικούς στόχους για το 2020, το 2030 και το 2050.

Στόχοι για το 2020:

- μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 20 % σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990,
- βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας κατά 20 %,
- αύξηση του ποσοστού διείσδυσης των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας στο 20 %.

Στόχοι για το 2030:

- μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 40 %,
- βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας κατά 27-30 %,
- αύξηση του ποσοστού διείσδυσης των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας στο 27 %,
- διασύνδεση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται στην Ε.Ε. σε ποσοστό 15 %.

Στόχος για το 2050:

- μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 80-95 %.

2.4 Η Νομοθεσία της Ε.Ε. για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων

Τα κτίρια στην Ε.Ε., όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ευθύνονται για το 40 % της τελικής ζήτησης ενέργειας και το 36 % των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (Rayment et al. 2009: 55), ενώ υπάρχει ένα σημαντικό δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας έως και 80 % σε υφιστάμενα και νέα κτίρια σε όλα τα κράτη μέλη (Lechtenböhrmer & Schüring 2011: 257), το οποίο επιβεβαιώνεται από το «Σχέδιο Δράσης Ενεργειακής Απόδοσης» της Ε.Ε. (2007 - 2012). Έτσι,

υπάρχουν σημαντικά περιθώρια εξοικονόμησης ενέργειας στον τομέα της θέρμανσης, του ζεστού νερού χρήσης, του φωτισμού, της ψύξης και του εξαερισμού του κτιριακού αποθέματος. Τέτοιες βελτιώσεις μπορεί να πραγματοποιηθούν μέσω της αειφόρου κατασκευής και των τεχνολογικών καινοτομιών, που μπορούν να μετριάσουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των κτιρίων (Spyridaki et al. 2016: 262). Οι κύριες νομοθετικές πράξεις της Ε.Ε. για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων είναι η Οδηγία για την «Ενεργειακή Απόδοση των Κτηρίων» (2002/91/ΕΕ) και η αναδιατύπωσή της το 2010 (2010/31/ΕΕ).

Η Οδηγία 2002/91/ΕΕ που εκδόθηκε το 2002 είχε ως βασικά σημεία της:

- Μια κοινή μεθοδολογία για τον υπολογισμό της ολοκληρωμένης ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων.
- Ελάχιστα πρότυπα για την ενεργειακή απόδοση των νέων κτιρίων και των υφιστάμενων κτιρίων που υπόκεινται σε ριζική ανακαίνιση.
- Συστήματα για την ενεργειακή πιστοποίηση των νέων και υφιστάμενων κτιρίων, και για τα δημόσια κτίρια την εμφανή παρουσίαση της πιστοποίησης αυτής και άλλων σχετικών πληροφοριών. Τα πιστοποιητικά θα έπρεπε να είναι μικρότερα των πέντε ετών.
- Τακτική επιθεώρηση των λεβήτων και των κεντρικών συστημάτων κλιματισμού κτιρίων και επιπλέον μια αξιολόγηση των εγκαταστάσεων θέρμανσης των οποίων οι λέβητες είναι παλαιότεροι των 15 ετών.

Η αναδιατύπωση της Οδηγίας για την «Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων» (2010/31/ΕΕ) εγκρίθηκε από το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και το Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, προκειμένου να ενισχυθούν οι απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης και για να διευκρινιστούν ορισμένες από τις διατάξεις της Οδηγίας 2002/91/ΕΕ που αντικαθιστά. Η πρόταση αναδιατύπωσης επιβεβαιώνει τη σημασία της αποτελεσματικής εφαρμογής σε επίπεδο κράτους μέλους, τη σημασία της συνεργασίας σε κοινοτικό επίπεδο και την ισχυρή μακροπρόθεσμη δέσμευση και το ρόλο της ίδιας της Επιτροπής να υποστηρίξει εφαρμογές τέτοιας σπουδαιότητας και αποτελεσματικότητας.

Η νέα Οδηγία (2010/31/ΕΕ) προωθεί τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων εντός της Ε.Ε., λαμβάνοντας υπόψη τις τοπικές εξωτερικές κλιματικές συνθήκες, τις διατάξεις που αφορούν τις εσωτερικές συνθήκες άνεσης καθώς και την αποτελεσματικότητα της βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης με κριτήρια κόστους (Nestico et al. 2014: 564). Τα κύρια σημεία της αναδιατύπωσης της Οδηγίας (2010/31/ΕΕ), είναι:

- Από το 2020 τα νέα κτίρια θα πρέπει είναι σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης και η ενέργεια θα πρέπει να προέρχεται «σε πολύ μεγάλο βαθμό» από ανανεώσιμες πηγές, ενώ τα δημόσια κτίρια θα πρέπει να δώσουν το παράδειγμα ήδη από το 2018.
- Το όριο των 1.000 m² που υπήρχε στην αρχική μορφή της οδηγίας για την ανακατασκευή των κτιρίων παύει να ισχύει.
- Τα κράτη μέλη θα πρέπει από το 2011 να λάβουν τα απαιτούμενα μέτρα προώθησης και χρηματοδότησης για την προώθηση των κτιρίων σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης.
- Η μεθοδολογία υπολογισμού της ενεργειακής αποδοτικότητας των κτιρίων θα πρέπει να είναι εναρμονισμένη στα κράτη μέλη, θα πρέπει να υπάρχουν μηχανισμοί ελέγχου ποιότητας της διαδικασίας και ποινές σε περιπτώσεις μη εφαρμογής.
- Τα κράτη μέλη θα πρέπει να ενσωματώσουν την νέα οδηγία στην εθνική τους νομοθεσία μέχρι τον Ιούλιο 2012.
- Μια εναρμονισμένη μεθοδολογία υπολογισμού για τις ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης προς ένα επίπεδο βέλτιστου κόστους προβλέπεται στην οδηγία και θα πρέπει να τελειοποιηθεί σε μια διαδικασία επιτροπολογίας.

Στη συνέχεια το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και το Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης θέσπισε με την Οδηγία για την «Ενεργειακή Απόδοση» (2012/27/ΕΕ) ένα σύνολο μέτρων που θα βοηθήσουν τα κράτη μέλη να επιτύχουν το στόχο βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης κατά 20 % έως το 2020. Σύμφωνα με την Οδηγία αυτή, όλες οι χώρες της Ε.Ε. οφείλουν να χρησιμοποιούν πιο αποτελεσματικά την ενέργεια σε όλα τα στάδια της ενεργειακής αλυσίδας, από την παραγωγή της μέχρι την τελική κατανάλωση. Οι χώρες της Ε.Ε. όφειλαν να

μεταφέρουν τις διατάξεις της Οδηγίας στο εθνικό τους δίκαιο μέχρι τις 5 Ιουνίου 2014.

Τα νέα εθνικά μέτρα πρέπει να εξασφαλίζουν σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας τόσο για τους καταναλωτές όσο και για τη βιομηχανία. Πιο συγκεκριμένα:

- Οι διανομείς ενέργειας ή εταιρείες λιανικής πώλησης ενέργειας πρέπει να επιτύχουν εξοικονόμηση ενέργειας 1,5 % ετησίως, μέσω της εφαρμογής των μέτρων ενεργειακής απόδοσης.
- Οι χώρες της Ε.Ε. μπορούν να επιλέξουν διαφορετικά μέτρα προκειμένου να επιτύχουν το ίδιο επίπεδο εξοικονόμησης, όπως η βελτίωση της αποτελεσματικότητας των συστημάτων θέρμανσης, η εγκατάσταση διπλών τζαμιών στα παράθυρα ή η τοποθέτηση μόνωσης στις στέγες.
- Ο δημόσιος τομέας στις χώρες της Ε.Ε. πρέπει να επενδύει σε ενεργειακά αποδοτικά κτίρια, προϊόντα και υπηρεσίες, ενώ οφείλει να πραγματοποιεί ενεργειακά αποδοτική ανακαίνιση, ετησίως, σε τουλάχιστον 3 % της συνολικής επιφάνειας των κτιρίων που κατέχει.
- Ενδυνάμωση των καταναλωτών ενέργειας για την καλύτερη διαχείριση της κατανάλωσης, μέσω της εύκολης και δωρεάν πρόσβασης σε δεδομένα σχετικά με την κατανάλωση.
- Εθνικά κίνητρα για τις μικρές και μεσαίες εταιρείες, ώστε να υποβάλλονται σε ενεργειακούς ελέγχους.
- Οι μεγάλες εταιρείες πρέπει να πραγματοποιούν ελέγχους της ενεργειακής τους κατανάλωσης, ώστε να εντοπίζουν τρόπους για τη μείωσή της.

Προκειμένου να επιτευχθεί ο στόχος βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης 20 % της Ε.Ε. έως το 2020, οι επιμέρους χώρες της Ε.Ε. έχουν θέσει τους δικούς τους ενδεικτικούς εθνικούς στόχους ενεργειακής απόδοσης. Ανάλογα με τις προτιμήσεις κάθε χώρας, οι στόχοι αυτοί μπορούν να βασίζονται σε πρωτογενή ή τελική κατανάλωση ενέργειας, σε πρωτοβάθμια ή τελική εξοικονόμηση ενέργειας, ή στην ενεργειακή ένταση.

2.5 Η Νομοθεσία της Ελλάδας για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων

Το πρώτο βήμα για την εναρμόνιση της χώρας μας στην ευρωπαϊκή οδηγία 2002/91/EK, πραγματοποιήθηκε με την έκδοση του νόμου 3661/2008 «Μέτρα για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτηρίων και άλλες διατάξεις». Πεδίο εφαρμογής του παραπάνω νόμου αποτελούν τα κτίρια κατοικίας και τριτογενούς τομέα. Οι βασικότερες ρυθμίσεις που προβλέπει ο νόμος είναι:

- Η έκδοση του «Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων» (Κ.ΕΝ.Α.Κ.), ο οποίος εκδόθηκε στις 9 Απριλίου 2010 (Φ.Ε.Κ. 407/09-04-2010).
- Η θέσπιση ελάχιστων απαιτήσεων ενεργειακής απόδοσης και η σύνταξη ενεργειακής μελέτης για όλα τα νέα κτίρια και τα υφιστάμενα άνω των 1.000 m² που ανακαινίζονται ριζικά.
- Η έκδοση πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης (Π.Ε.Α.) κτιρίου για όλα τα νέα και τα ριζικώς ανακαινιζόμενα, καθώς και σε περίπτωση αγοραπωλησίας ή μίσθωσης υφισταμένων, το οποίο ισχύει με μέγιστο όριο τα 10 χρόνια.
- Η τακτική επιθεώρηση λεβήτων και εγκαταστάσεων θέρμανσης, καθώς και εγκαταστάσεων ψύξης και κλιματισμού.
- Η έκδοση του σχετικού προεδρικού διατάγματος για τους ενεργειακούς επιθεωρητές, με το οποίο προβλέπονται θέματα σχετικά με την εκπαίδευση, τα απαιτούμενα προσόντα, τη διαδικασία εγγραφής στο σχετικό μητρώο των ενεργειακών επιθεωρητών, τις αμοιβές και τις κυρώσεις σε περίπτωση παραβάσεων.

Στη συνέχεια με το νόμο 3851/2010 «Επιτάχυνση της ανάπτυξης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής» (Φ.Ε.Κ. Α' 85), και πιο συγκεκριμένα με το άρθρο 10 τροποποιούνται ρυθμίσεις του νόμου 3661/2008. Τα βασικότερα σημεία που προστέθηκαν είναι τα εξής:

- Η κατάργηση του ορίου των 1.000 m², για την υποχρέωση σύνταξης και υποβολής της σχετικής ενεργειακής μελέτης κατά την έκδοση οικοδομικής άδειας.

- Η υποχρέωση κάλυψης του 60 % των αναγκών για ζεστό νερό χρήσης (Ζ.Ν.Χ.) από ηλιοθερμικά συστήματα ή συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ή συστήματα αντλιών θερμότητας με υψηλή απόδοση, κ.ά.
- Η διεξαγωγή ενεργειακής επιθεώρησης και η έκδοση Π.Ε.Α. σε τμήματα του κτιρίου, όπως οριζόντιες ιδιοκτησίες (π.χ. διαμερίσματα), που διαθέτουν κοινό κεντρικό σύστημα θέρμανσης.
- Η υποχρέωση το αργότερο έως τις 31-12-2019, όλα τα νέα κτίρια να καλύπτουν το σύνολο της πρωτογενούς ενεργειακής κατανάλωσής τους με συστήματα παροχής ενέργειας που βασίζονται σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, συμπαγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας, συστήματα τηλεθέρμανσης σε κλίμακα περιοχής ή οικοδομικού τετραγώνου, καθώς και σε αντλίες θερμότητας με εποχιακό συντελεστή επίδοσης SPF μεγαλύτερο από 3,3. Για τα νέα κτίρια που στεγάζουν υπηρεσίες του δημόσιου και ευρύτερου δημόσιου τομέα, αυτή η υποχρέωση θα πρέπει να τεθεί σε ισχύ το αργότερο έως τις 31-12-2014.
- Η δυνατότητα χρηματοδότησης εφαρμογής συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε κτίρια κατοικιών, μέσω ειδικών προγραμμάτων δημοσίων επενδύσεων (Π.Δ.Ε.).

Παράλληλα έχουν εκδοθεί από το Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας & Κλιματικής Αλλαγής (Υ.Π.Ε.Κ.Α.), μια σειρά σχετικών διευκρινιστικών εγκυκλίων, που αφορούν στην εφαρμογή του Κ.Ε.Ν.Α.Κ. και κυρίως σε πολεοδομικά θέματα.

Επίσης, ο Κανονισμός Θερμομόνωσης Κτηρίων (Φ.Ε.Κ. 362/4-7-79) που εφαρμόστηκε για 30 περίπου χρόνια στην Ελλάδα, καταργήθηκε και αντικαταστάθηκε με τη μελέτη θερμομονωτικής επάρκειας.

Το επόμενο βήμα ήταν η έκδοση του Νόμου 4122/2013 (Φ.Ε.Κ. Α' 42) «Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων – Εναρμόνιση με την Οδηγία 2010/31/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου και λοιπές διατάξεις», στον οποίο προβλέπονται:

- Οι απαιτήσεις της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων στη χώρα μας.

- Η έκδοση των Πιστοποιητικών Ενεργειακής Απόδοσης, καθώς και των Εκθέσεων Συστημάτων Θέρμανσης και Κλιματισμού.
- Η κατάρτιση του Μητρώου Ενεργειακών Επιθεωρητών και η διαδικασία επιβολής κυρώσεων στις περιπτώσεις παραβίασης σχετικών διατάξεων.

Τέλος, βάσει του άρθρου 58 του Νόμου 4342/09.11.2015 (Φ.Ε.Κ. Α' 143) «Συνταξιοδοτικές ρυθμίσεις, ενσωμάτωση στο Ελληνικό Δίκαιο της Οδηγίας 2012/27/ΕΕ (...) και άλλες διατάξεις», ορίζεται ότι για κάθε συμβολαιογραφική πράξη αγοραπωλησίας ακινήτου είναι υποχρεωτική η αναγραφή του αριθμού πρωτοκόλλου και η επισύναψη σε αυτό επίσημου αντίγραφου του ΠΕΑ.

2.6 Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων (Κ.ΕΝ.Α.Κ)

Τον Απρίλιο του 2010 εκδόθηκε ο Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων με την Κοινή Υπουργική Απόφαση υπ' αριθμό Δ6/Β/οικ.5825/2010 «Έγκριση Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων (Κ.Εν.Α.Κ.)» (Φ.Ε.Κ. Β' 407). Οι βασικότερες ρυθμίσεις του κανονισμού είναι (ΤΕΕ 2012c: 4):

- Ορίζεται η μεθοδολογία υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης και ενεργειακής κατάταξης των κτιρίων, η οποία βασίζεται στα σχετικά ευρωπαϊκά πρότυπα που μέσω της αναθεώρησης της κοινοτικής οδηγίας (31/2010) είναι πλέον υποχρεωτικά.
- Καθορίζονται οι ελάχιστες απαιτήσεις (kWh/m²) για την ενεργειακή απόδοση και ενεργειακή κατάταξη των νέων και ριζικά ανακαινιζόμενων κτιρίων μέσω της μεθοδολογίας του «κτιρίου αναφοράς». Με την ίδια μεθοδολογία αξιολογούνται και κατατάσσονται ενεργειακά και τα υφιστάμενα προς πιστοποίηση κτίρια.
- Καθορίζονται οι ελάχιστες προδιαγραφές για τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό, τα θερμοφυσικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους και οι τεχνικές προδιαγραφές των ηλεκτρομηχανολογικών (Η/Μ) εγκαταστάσεων των υπό μελέτη νέων κτιρίων και των ριζικά ανακαινιζόμενων.
- Ορίζεται το περιεχόμενο της μελέτης ενεργειακής απόδοσης (Μ.Ε.Α) των κτιρίων.

- Καθορίζεται η μορφή του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης (Π.Ε.Α.) κτιρίου και τα στοιχεία που θα περιλαμβάνει.
- Καθορίζεται η διαδικασία των ενεργειακών επιθεωρήσεων των κτιρίων, καθώς και η διαδικασία των επιθεωρήσεων λεβήτων και εγκαταστάσεων θέρμανσης και κλιματισμού.

Για την υποστήριξη της εφαρμογής του ΚΕΝΑΚ εγκρίθηκαν με την υπ' αριθμό οικ. 2618/23-10-2014 Απόφαση Αναπληρωτή Υπουργού ΠΕΚΑ (Φ.Ε.Κ. Β' 2945), οι παρακάτω Τεχνικές Οδηγίες του ΤΕΕ:

- α) ΤΟΤΕΕ 20701-1/2010 «Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης»,
- β) ΤΟΤΕΕ 20701-2/2010 «Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτιρίων»,
- γ) ΤΟΤΕΕ 20701-3/2010 «Κλιματικά δεδομένα ελληνικών περιοχών»,
- δ) ΤΟΤΕΕ 20701-4/2010 «Οδηγίες και έντυπα ενεργειακών επιθεωρήσεων κτιρίων, λεβήτων και εγκαταστάσεων θέρμανσης και εγκαταστάσεων κλιματισμού»,
- ε) ΤΟΤΕΕ 20701-5/2012 «Συμπαράγωγή ηλεκτρισμού, θερμότητας και ψύξης: Εγκαταστάσεις σε κτήρια».

2.7 Το Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης στην Ελλάδα

Σύμφωνα με την ΟΕΑΚ και τις εθνικές διατάξεις του ΚΕΝΑΚ, το Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ) εκδίδεται στην Ελλάδα από τον Ιανουάριο του 2011 και έχει ισχύ έως και δέκα χρόνια. Το ΠΕΑ είναι υποχρεωτικό για όλα τα κτίρια που πωλούνται και για όλα τα κτίρια που εκμισθώνονται για πρώτη φορά σε νέο ενοικιαστή. Το ΠΕΑ για ένα τμήμα κτιρίου (π.χ. διαμέρισμα), το οποίο εκμισθώνεται για πρώτη φορά σε ένα νέο ενοικιαστή ξεκίνησε τον Ιανουάριο του 2012. Ένας πιστοποιημένος ενεργειακός επιθεωρητής εκτελεί στο κτίριο την ενεργειακή επιθεώρηση για να συλλέξει όλα τα σχετικά στοιχεία, τα οποία στη

συνέχεια υποβάλλονται στο επίσημο εθνικό ηλεκτρονικό μητρώο (www.buildingcert.gr) για την έκδοση ενός πιστοποιητικού.

The image shows two pages of a Building Energy Performance Certificate (PEA) form. The left page is titled 'ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ' and contains fields for building details, energy class determination (BAΘΜΟΛΟΓΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ), and energy consumption data. A bar chart shows energy class 'B' highlighted. The right page is titled 'ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ' and contains a table for energy sources (πηγή ενέργειας) and their final use (τελική χρήση), along with CO2 emissions and other technical details.

Εικόνα 2.1: Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης

Το ελληνικό ΠΕΑ είναι ένα έγγραφο δύο σελίδων (Εικόνα 2.1), το οποίο περιλαμβάνει τα γενικά στοιχεία του κτιρίου, την ενεργειακή κλάση του κτιρίου (με βάση την εκτίμηση των ενεργειακών στοιχείων και τη χρήση βαθμών κατάταξης, από «G» που χαρακτηρίζονται τα κτίρια με τις χαμηλότερες επιδόσεις, μέχρι «A+» που ορίζονται τα κτίρια με την καλύτερη απόδοση), την ετήσια υπολογιζόμενη και την πραγματική (εάν είναι διαθέσιμη) τελική και πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας, τις εκπομπές CO₂, μια προαιρετική αξιολόγηση της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος, την κατανομή των φορέων ενέργειας και τις διαφορετικές τελικές χρήσεις, και έως τρεις αποδοτικές συστάσεις για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου με την υπολογιζόμενη εξοικονόμηση ενέργειας και την περίοδο αποπληρωμής (Dascalaki et al. 2012: 472). Στους κανονιστικούς υπολογισμούς, η πρωτογενής ενέργεια υπολογίζεται με τη χρήση εθνικών συντελεστών μετατροπής σύμφωνα

με τον KENAK για τους διαφορετικούς φορείς ενέργειας, δηλαδή 2,90 για την ηλεκτρική ενέργεια, 1,10 για το πετρέλαιο θέρμανσης και 1,05 για το φυσικό αέριο. Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα υπολογίζεται με βάση τους ακόλουθους εθνικούς συντελεστές μετατροπής: 0,989 kgCO₂/kWh για την ηλεκτρική ενέργεια, 0,264 kgCO₂/kWh για το πετρέλαιο θέρμανσης και 0,196 kgCO₂/kWh για το φυσικό αέριο.

Η αξία των δεδομένων από τα ΠΕΑ αναγνωρίζεται σταδιακά ως πολύτιμος πόρος για την κατανόηση της απόδοσης που σχετίζεται με την ενέργεια και άλλα χαρακτηριστικά του περιφερειακού και εθνικού κτιριακού αποθέματος (Dall'O' et al. 2013: 3524), ιδίως σε χώρες όπου τα εν λόγω δεδομένα δεν ήταν προηγουμένως διαθέσιμα (Dineen et al. 2015:760). Κάποιες προσεγγίσεις έχουν επίσης καταφέρει να συζεύξουν διαθέσιμες συνήθως πληροφορίες για ένα περιφερειακό κτιριακό απόθεμα (π.χ. χαρτογραφικά ή γεωμετρικά δεδομένα) με δεδομένα από σύντομες ενεργειακές επιθεωρήσεις αντιπροσωπευτικών κτιρίων, χρησιμοποιώντας μια πλατφόρμα συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών (Geographic Information System - GIS) για την αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων (Dall'O' et al. 2012: 211), ενώ άλλες προσεγγίσεις χρησιμοποιούν σύντομες στοχευμένες έρευνες για τη συλλογή και την ανάλυση των δεδομένων χρήσης ενέργειας (Moran et al. 2012: 226).

Επιπλέον, το ΠΕΑ είναι ένα εργαλείο για την αξιολόγηση των διαφορετικών «Μέτρων Ενεργειακής Απόδοσης» (ΜΕΑ) (Gelegenis et al. 2014: 57), αλλά η μεγάλη πρόκληση παραμένει η ενθάρρυνση και η διευκόλυνση της εφαρμογής τους, ειδικά κάτω από αντίξοες οικονομικές συνθήκες (Gangoellis et al. 2016: 3901). Στην Ελλάδα, μια σειρά οικονομικών κινήτρων, με συγχρηματοδότηση από την Ευρωπαϊκή Ένωση, ξεκίνησε το 2011 για την εφαρμογή των ΜΕΑ σε κτίρια κατοικιών, μέσω του προγράμματος «Εξοικονόμηση κατ' οίκον» (<http://exoikonomisi.ypeka.gr>). Η κατοικία που δύναται να ενταχθεί στο πρόγραμμα μπορεί είναι μονοκατοικία, πολυκατοικία ή μια μονάδα κτιρίου (διαμέρισμα). Διάφορα κοινωνικά και οικονομικά κριτήρια ισχύουν για τους ιδιοκτήτες κτιρίων προκειμένου να πληρούν τις προϋποθέσεις για διαφορετικά κίνητρα (π.χ. 15-75 % επιχορηγήσεων και το υπόλοιπο ως άτοκα δάνεια).

Σχετικά με αυτό το έργο, είναι προαπαιτούμενο ότι ένα ΠΕΑ πρέπει να εκδοθεί πριν και ένα μετά το πέρας των εργασιών, προκειμένου αρχικά να τεκμηριωθεί ότι η ενεργειακή κλάση του κτιρίου είναι χαμηλότερη ή ίση της «D» στην υπάρχουσα κατάσταση, ενώ με τη δεύτερη επιθεώρηση και μετά την εκτέλεση των έργων να επαληθευτεί η επίτευξη του στόχου των ελάχιστων βελτιώσεων ενεργειακής απόδοσης που προβλέπονται από το πρόγραμμα, δηλαδή την αναβάθμιση κατά μία τουλάχιστον ενεργειακή κατηγορία ή ετήσια εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας μεγαλύτερη από το 30 %.

2.8 Συνθήκες Άνεσης των Κτιρίων

Σε ένα κτίριο πρέπει να εξασφαλίζεται ένα άνετο εσωτερικό κλίμα, καθώς οι άνθρωποι ξοδεύουν συνήθως το 80 % της ζωής τους εντός των κτιρίων (Kolokotsa et al. 2001: 531). Το εσωτερικό περιβάλλον των κτιρίων παρέχει προστασία από τις εξωτερικές καιρικές συνθήκες και έχει ως στόχο να υποβοηθήσει την ανθρώπινη δραστηριότητα, είτε αυτό εξυπηρετεί χώρους διαβίωσης είτε χώρους εργασίας. Παρόλα αυτά, συχνά στο εσωτερικό των κτιρίων εμφανίζονται φαινόμενα θερμικής δυσaráσκείας των χρηστών, που επηρεάζουν άμεσα τις συνθήκες άνετης διαβίωσης καθώς και την υγεία τους.

Η έννοια των συνθηκών του εσωκλίματος ενός κτιρίου είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τα χαρακτηριστικά κατασκευής και λειτουργίας του κτιρίου. Παράλληλα με τις θερμικές συνθήκες, παράγοντες όπως ο φωτισμός, ο θόρυβος και η ποιότητα του εσωτερικού αέρα (Dounis & Caraiscos 2009: 1247), επηρεάζουν επίσης την υγεία και την άνεση των ενοίκων.

Βέβαια, η πολυπλοκότητα της θερμικής και γενικότερης άνεσης εντός των κτιρίων αυξάνεται αν εισάγουμε τον παράγοντα του κόστους και της ελάχιστης κατανάλωσης ενέργειας. Καθώς τα κτίρια αποτελούν επενδύσεις εντάσεως κεφαλαίου, με υψηλό αρχικό κεφάλαιο και με μεγάλη διάρκεια ζωής, θα πρέπει η μελέτη και η κατασκευή τους να έχει στόχο την, κατά το δυνατόν, χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας με την εξασφάλιση της απαιτούμενης θερμικής άνεσης.

2.8.1 Θερμική Άνεση

Η θερμική άνεση, σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα (ASHRAE55, 1992) μπορεί να οριστεί ως «η κατάσταση του μυαλού που εκφράζει την ικανοποίησή του για τις θερμικές συνθήκες του περιβάλλοντος» (Fanger 1973: 314). Ο τρόπος που ο ορισμός αυτός ερμηνεύεται μπορεί να οδηγήσει σε πολλά διαφορετικά μοντέλα. Ωστόσο, ο ορισμός αυτός μπορεί να θεωρηθεί διφορούμενος, καθώς αφήνει την έννοια της κατάστασης του νου και της ικανοποίησης ανοιχτή, ενώ τονίζει ότι η άνεση είναι μια γνωστική διαδικασία που επηρεάζεται από τα διαφορετικά είδη των διαδικασιών (Castilla et al. 2014: 40).

Η μοντελοποίηση εξαρτάται από τον ποσοτικό ορισμό των παραγόντων που αντιπροσωπεύουν τη θερμο-υγρομετρική άνεση (Carlucci & Pagliano 2012: 197). Υπάρχουν τρεις διαφορετικές προσεγγίσεις σε αυτό το πρόβλημα, που αντιστοιχούν σε τρία διαφορετικά μοντέλα χρήσης:

- *Ψυχολογικό μοντέλο*: η άνεση αντιστοιχεί στην αντίληψη του θερμικού περιβάλλοντος ως μια ικανοποίηση, το οποίο ως εκ τούτου είναι εντελώς υποκειμενικό.
- *Θερμό-φυσιολογικό μοντέλο*: η άνεση καθορίζεται από τη μικρότερη δυνατή νευρωνική δραστηριότητα, ως αντίδραση στις διακυμάνσεις των περιβαλλοντικών συνθηκών.
- *Μοντέλο θερμικής ισορροπίας*: η άνεση αντιστοιχεί στην ισορροπία των ροών θερμότητας μεταξύ του περιβάλλοντος και του ενοίκου.

Η θερμική άνεση είναι προφανές ότι έχει έντονα υποκειμενικό χαρακτήρα, καθώς στον ίδιο χώρο είναι δυνατόν κάποιο άτομο να νιώθει ικανοποίηση για τις θερμικές συνθήκες, ενώ κάποιο άλλο να εκφράζει τη δυσαρέσκειά του. Προκειμένου η θερμική άνεση να αποκτήσει ένα πιο αντικειμενικό χαρακτήρα, έχει οριστεί μια σειρά από παραμέτρους. Οι σημαντικότερες παράμετροι, οι οποίες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε φυσικές, βιολογικές και εξωτερικές, είναι οι εξής:

1. Φυσικές παράμετροι:

- Η θερμοκρασία του αέρα.

- Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας των εσωτερικών επιφανειών.
- Η υγρασία και η σχετική υγρασία του αέρα.
- Η ταχύτητα του εσωτερικού αέρα.

2. Βιολογικές παράμετροι:

- Το φύλλο των χρηστών του χώρου.
- Η ηλικία των χρηστών του χώρου.
- Οι συνήθειες των χρηστών του χώρου.

3. Εξωτερικές παράμετροι:

- Το είδος των δραστηριοτήτων των χρηστών του χώρου.
- Ο τύπος ρουχισμού των χρηστών του χώρου.

Όλες οι παραπάνω παράμετροι, και κυρίως οι φυσικές, επηρεάζουν τη ροή ενέργειας υπό τη μορφή θερμότητας από τον άνθρωπο προς το περιβάλλον. Ο ανθρώπινος οργανισμός διαθέτει μηχανισμούς που έχουν ως στόχο τη σταθερή διατήρηση της θερμικής κατάστασης του σώματος και την προσαρμογή του στις συνθήκες του περιβάλλοντος. Η άνεση τελικά επιτυγχάνεται ανάλογα με την ευκολία που έχει το σώμα να εξισορροπήσει τα θερμικά κέρδη και τις απώλειες θερμότητας (αυτομείωση των καύσεων, εφίδρωση), ώστε να διατηρείται η θερμοκρασία του σώματος σταθερά στους 37°C (Παπαδόπουλος 2006: 4).

2.8.2 Οπτική Άνεση

Σε γενικές γραμμές, οι άνθρωποι λαμβάνουν τις περισσότερες πληροφορίες μέσω της αίσθησης της όρασης, και ως εκ τούτου, το φως είναι ένα πολύ σημαντικό στοιχείο, δεδομένου ότι επιτρέπει στους ανθρώπους να διακρίνει το σχήμα, το χρώμα και την προοπτική των διαφόρων αντικειμένων σε ένα συγκεκριμένο περιβάλλον (Guasch et al. 2001: 3).

Ο φωτισμός ενός ορισμένου εσωτερικού περιβάλλοντος θα πρέπει να ικανοποιεί τρεις βασικές εργασίες (CIBSE, 2002):

- Να εξασφαλίζει την ασφάλεια των ανθρώπων στο περιβάλλον.
- Να διευκολύνει την απόδοση των οπτικών λειτουργιών.

- Να βοηθάει στη δημιουργία ενός κατάλληλου οπτικού περιβάλλοντος.

Η οπτική άνεση μπορεί να οριστεί ως μια υποκειμενική κατάσταση της οπτικής ευεξίας που επάγεται από το οπτικό περιβάλλον (EN 12665, 2002). Από τον ορισμό αυτό, μπορεί να συναχθεί το συμπέρασμα ότι παρόλο που υπάρχει ένα ψυχολογικό στοιχείο στην αίσθηση της οπτικής άνεσης, μερικές φυσικές ιδιότητες του οπτικού περιβάλλοντος μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αξιολογηθεί με αντικειμενικό τρόπο (Frontczak & Wargocki 2011: 925). Πιο συγκεκριμένα, οι κύριες παράμετροι που καθορίζουν την οπτική άνεση μέσα σε ένα περιβάλλον είναι η κατανομή και ομοιομορφία της φωτεινότητας, η αντηλία, η απόδοση των χρωμάτων του φωτός και το ποσοστό «τρεμοπαίγματος». Οι βέλτιστες τιμές για τις παραμέτρους αυτές καθορίζονται σε διεθνείς έρευνες και δημοσιεύονται στα διεθνή πρότυπα (EN 12464-1, 2002), στα οποία γίνεται αναφορά στα βέλτιστα επίπεδα φωτισμού των εσωτερικών χώρων εργασίας.

Επιπλέον, για να επιτευχθούν οι κατάλληλες συνθήκες οπτικής άνεσης ως συνάρτηση των προηγούμενων παραμέτρων, πρέπει να ληφθούν υπόψη τρία σημαντικά στοιχεία: το φως της ημέρας, ο τεχνητός φωτισμός και οι συσκευές σκίασης. Ως εκ τούτου, οι οπτικές συνθήκες άνεσης μέσα σε ένα συγκεκριμένο κλειστό χώρο θα εξαρτηθούν επίσης από τις γεωγραφικές και ατμοσφαιρικές ιδιότητες της θέσης όπου βρίσκεται η εξεταζόμενη περιοχή (Castilla et al. 2014: 42).

2.8.3 Άνεση Εσωτερικού Αέρα

Τα τελευταία χρόνια, στο πλαίσιο της χρήσης των κτιρίων και της κατασκευής, υπάρχει μια σχετικά νέα έννοια, γενικά γνωστή ως «σύνδρομο άρρωστων κτιρίων» (Sick Building Syndrome - SBS) (Redlich et al. 1997: 1013). Η έννοια αυτή, μπορεί να θεωρηθεί ως συνώνυμη της κακής ποιότητας του αέρα των εσωτερικών χώρων, δηλαδή ορίζεται ως η πιθανή εμφάνιση προβλημάτων υγείας και η έλλειψη άνεσης για τους χρήστες (Awbi 2003: 287). Ως εκ τούτου, η ποιότητα του εσωτερικού αέρα ορίζεται ως συνάρτηση του βαθμού στον οποίο ικανοποιούνται οι ανθρώπινες ανάγκες. Οι χρήστες ενός συγκεκριμένου περιβάλλοντος κατά βάση απαιτούν δύο πράγματα: να αντιλαμβάνονται τον

αέρα ως καθαρό και φρέσκο, αντί μολυσμένου και ενοχλητικού, και να γνωρίζουν ότι ο κίνδυνος για την υγεία που θα μπορούσε να προέρχεται από την αναπνοή του αέρα είναι αμελητέος (Castilla et al. 2010: 39).

Η ποιότητα του εσωτερικού αέρα μπορεί να χαρακτηριστεί από τη συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) σε ένα κτίριο (Emmerich & Persily 2003: 4), όπως ορίζεται και από τα διεθνή πρότυπα (prEN 13779 2007, PrEN 15251 2007). Η συγκέντρωση CO₂ προέρχεται από την παρουσία των ενοίκων του κτιρίου καθώς είναι το κύριο απόβλητο της ανθρώπινης αναπνοής, αλλά και από διάφορες άλλες πηγές ρύπανσης (NO_x, πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs), αναπνεύσιμα σωματίδια, κλπ).

Για τον έλεγχο των επιπέδων του CO₂ μέσα σε ένα συγκεκριμένο περιβάλλον, η πλέον χρησιμοποιούμενη τεχνική είναι αυτή του εξαερισμού, η οποία μπορεί να οριστεί ως η παροχή ή/και εξαγωγή αέρα σε ένα συγκεκριμένο περιβάλλον, εγκατάσταση ή κτίριο, με φυσικό ή μηχανικό τρόπο (Fisk & Rosenfeld 1997: 167). Ο εξαερισμός είναι ένα σημαντικό μέσο για τον έλεγχο της ποιότητας του εσωτερικού αέρα στα κτίρια. Η προμήθεια φρέσκου υπαίθριου αέρα και η απομάκρυνση ρύπων και οσμών από τους εσωτερικούς χώρους είναι απαραίτητη για τη διατήρηση της ποιότητας του εσωτερικού αέρα σε αποδεκτά επίπεδα. Ωστόσο, τα ποσοστά αερισμού εντός των κτιρίων πρέπει να μειωθούν σημαντικά με σκοπό τον έλεγχο του ψυκτικού ή θερμικού φορτίου και τη μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας. Για τους λόγους αυτούς, η ποιότητα του εσωτερικού αέρα είναι πλέον μια σημαντική ανησυχία στο σχεδιασμό των κτιρίων.

Ο εξαερισμός ελεγχόμενης ζήτησης (Demand Controlled Ventilation - DCV) προσφέρει μια αποτελεσματική λύση για τη βελτιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας και την ποιότητα του εσωτερικού αέρα (Brandemuehl & Braun 1999: 39). Το κύριο χαρακτηριστικό των συστημάτων DCV είναι ότι τα ποσοστά αερισμού τροποποιούνται σύμφωνα με την τιμή μιας συγκεκριμένης παραμέτρου, όπως για παράδειγμα η συγκέντρωση του CO₂, η οποία είναι αντιπροσωπευτική του φορτίου ρύπου σε ένα δωμάτιο. Βασικό γνώρισμα του

ελεγχόμενου εξαερισμού με βάση τη ζήτηση CO₂ είναι ότι εξαερισμός του αέρα αυξάνεται όταν η ενασχόληση στο χώρο είναι σε υψηλό επίπεδο ώστε να εξασφαλίζεται αποδεκτή ποιότητα του εσωτερικού αέρα, ενώ αντίθετα, όταν η ενασχόληση είναι χαμηλή ο εξαερισμός του αέρα μειώνεται για εξοικονόμηση ενέργειας (Atthajariyakul & Leephakpreeda 2004: 721). Αυτή η τεχνική έχει ήδη εφαρμοστεί με επιτυχία σε πολλές περιπτώσεις με τη χρήση μηχανικού αερισμού (Dounis et al. 1996: 12).

2.9 Βιοκλιματικός Σχεδιασμός

Ο όρος βιοκλιματικός σχεδιασμός ή βιοκλιματική αρχιτεκτονική αναφέρεται σε έναν εναλλακτικό τρόπο κατασκευής των κτιρίων, ώστε να λαμβάνονται υπόψη οι τοπικές κλιματικές συνθήκες, ενώ παράλληλα χρησιμοποιείται μια σειρά από παθητικά ηλιακά συστήματα με σκοπό τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης τους (Tzikoroulos et al. 2005: 529) και την εξασφάλιση συνθηκών θερμικής και οπτικής άνεσης, αξιοποιώντας την ηλιακή ενέργεια, αλλά και τα φυσικά φαινόμενα του κλίματος. Ο όρος παθητικές ηλιακές τεχνολογίες αναφέρονται σε τεχνικές θέρμανσης ή δροσισμού που απορροφούν παθητικά την ενέργεια του ήλιου, με μείωση στο ελάχιστο της χρήσης τεχνητών μέσων που καταναλώνουν ενέργεια, προσφέροντας με αυτό τον τρόπο σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας με θετικές επιπτώσεις στην οικονομία και στο περιβάλλον. Ένα βιοκλιματικό κτίριο μπορεί να είναι οικονομικά αποδοτικό σε τέτοιο βαθμό ώστε να καταναλώνει ακόμη και 10 φορές λιγότερη ενέργεια για θέρμανση σε σχέση με ένα συμβατικό ευρωπαϊκό κτίριο (Badescu & Sicre 2003: 1077).

Οι βιοκλιματικές κατασκευές χτίζονται με τέτοιο τρόπο, ώστε κατά τους χειμερινούς μήνες η έκθεση σε χαμηλές θερμοκρασίες να ελαχιστοποιείται και τα ηλιακά κέρδη να μεγιστοποιούνται, ενώ κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού οι βιοκλιματικές κατασκευές σκιάζονται από τον ήλιο και χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνικές φυσικού δροσισμού (Γεωργιάδου 1996: 7), συχνά με τη βοήθεια ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

2.9.1 Βασικές Αρχές Βιοκλιματικού Σχεδιασμού

Οι βασικές αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού σχετίζονται κυρίως με τον προσανατολισμό, την αρχιτεκτονική δομή καθώς και τον περιβάλλοντα χώρο της κατασκευής.

Η γενικότερη αρχή του βιοκλιματικού σχεδιασμού θέτει ότι η νότια πλευρά του κτιρίου πρέπει να χρησιμοποιείται για παθητική ηλιακή θέρμανση, ενώ αντίθετα η βόρεια για προστασία από τους ανέμους και ανάσχεση της θερμότητας. Για να εφαρμοστεί αυτή η αρχή, θα πρέπει η μεγαλύτερη όψη της κατοικίας και τα μεγαλύτερα ανοίγματα να είναι προσανατολισμένα προς το νότο (Badescu & Staicovici 2006: 129), ενώ αντίστοιχα η βόρεια όψη του κτιρίου θα πρέπει να έχει όσο το δυνατόν μικρότερα ανοίγματα. Έτσι, το πιο κατάλληλο σχήμα για την κατοικία είναι το επίμηκες κατά τον άξονα ανατολής-δύσης, καθώς προσφέρει τη μεγαλύτερη επιφάνεια προς το νότο για τη συλλογή της ηλιακής θερμότητας κατά τους χειμερινούς μήνες. Τα ανοίγματα της κατοικίας πρέπει να προσφέρουν διαμπερή αερισμό (κυρίως στην κατεύθυνση Βορρά-Νότου), ώστε να δημιουργείται φυσικός δροσισμός κατά τους θερινούς μήνες, και για αυτό το λόγο δεν πρέπει να παραλείπονται τα βόρεια ανοίγματα στην κατοικία.

Παράλληλα με τον προσανατολισμό και τη χωροθέτηση του κτιρίου, μεγάλη βαρύτητα θα πρέπει να δίνεται στη διάταξη των εσωτερικών χώρων, οι οποίοι θα πρέπει να προσαρμόζονται ανάλογα με τη χρήση του κτιρίου και τις ανάγκες των ενοίκων. Έτσι, στη βόρεια πλευρά του κτιρίου, που είναι η πιο ψυχρή και λιγότερο φωτεινή, καθώς δεν δέχεται άμεση ηλιακή ακτινοβολία και είναι εκτεθειμένη στους ψυχρούς ανέμους, θα πρέπει να τοποθετούνται οι χώροι που προορίζονται για βοηθητική χρήση (π.χ. αποθήκες) και τα δωμάτια ολιγόωρης διαμονής (π.χ. λουτρό). Με αυτό τον τρόπο, αφενός οι κύριοι χώροι χρήσης (π.χ. σαλόνι) τοποθετούνται στις νοτιότερες και επομένως πιο ζεστές μεριές του κτιρίου, αφετέρου οι δευτερεύοντες χώροι λειτουργούν ως ζώνη προστασίας και ανάσχεσης των θερμικών απωλειών των κύριων χώρων χρήσης.

Για την επιτυχή εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, σημαντικό ρόλο παίζει επίσης η διαμόρφωση του κελύφους του κτιρίου που επιτρέπει τη μέγιστη

συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας, τη μέγιστη δυνατότητα για την αποθήκευση της θερμικής ενέργειας και τις ελάχιστες θερμικές απώλειες προς το εξωτερικό περιβάλλον. Έτσι, για τη σωστή εφαρμογή των στρατηγικών εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας βασικές προϋποθέσεις είναι τα μεγάλα νότια υαλοστάσια για τη μεγαλύτερη δυνατή διείσδυση της ηλιακής ακτινοβολίας στο κτίριο, παράλληλα όμως με μέτρα ενεργειακής απόδοσης (θερμομόνωση, αεροστεγανότητα, προστασία του κτιρίου από δυσμενείς χειμερινούς ανέμους), αλλά και χρήση υλικών με μεγάλη θερμική μάζα, ικανά να συγκρατήσουν και να αποθηκεύσουν τη θερμότητα που αποκτήθηκε. Το πιο πρόσφορο μέσο για την αποθήκευση της θερμότητας αποτελούν τα υλικά με υψηλή θερμοχωρητικότητα, όπως ορισμένα οικοδομικά υλικά (πέτρα, σκυρόδεμα, πλίνθοι, κεραμικά πλακίδια, μάρμαρο) ή νέας τεχνολογίας υλικά, όπως τα υλικά αλλαγής φάσης (Phase Change Materials - PCM) (TEE 2012b: 40). Προκειμένου να αποθηκευτεί η θερμότητα στα δομικά στοιχεία, θα πρέπει η θερμομόνωση του κελύφους να έχει τοποθετηθεί εξωτερικά στα δομικά στοιχεία ή έστω ενδιάμεσα για μη ολόσωμη κατασκευή, καθώς η εσωτερική θερμομόνωση έχει σαν αποτέλεσμα την εξουδετέρωση της δυνατότητας του στοιχείου να αποθηκεύσει θερμότητα. Η θερμότητα που έχει αποταμιευτεί στα δομικά οικοδομικά υλικά αποδίδεται στον εσωτερικό χώρο με χρονική υστέρηση, όταν η εσωτερική θερμοκρασία έχει μειωθεί, δηλαδή συνήθως το βράδυ.

Τέλος, βασική αρχή του βιοκλιματικού σχεδιασμού αποτελεί το μικροκλίμα γύρω από το κτίριο. Η βλάστηση μπορεί χρησιμοποιηθεί για ηλιοπροστασία, σκιασμό και προστασία από τους ανέμους. Συνήθης πρακτικές, είναι η φύτευση μεγάλων φυλλοβόλων δένδρων στις νότιες και στις δυτικές πλευρές του κτιρίου, ενώ αντίστοιχα στη βόρεια πλευρά η ύπαρξη αιθαλών δένδρων προσφέρει δροσισμό του αέρα τους καλοκαιρινούς μήνες και παράλληλα συνεισφέρει στην ανάσχεση των χειμερινών ανέμων.

2.9.2 Βασικά Στοιχεία Βιοκλιματικού Σχεδιασμού

Βασικά στοιχεία του βιοκλιματικού σχεδιασμού κτιρίων αποτελούν τα παθητικά ηλιακά συστήματα, τα οποία αποτελούν δομικά στοιχεία ενός κτιρίου και

λειτουργούν χωρίς μηχανολογικά εξαρτήματα ή πρόσθετη παροχή ενέργειας και με φυσικό τρόπο θερμαίνουν αλλά και δροσίζουν τα κτίρια (Βικιπαίδεια, 2016).

Τα παθητικά συστήματα χωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες:

- Τα παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης.
- Τα παθητικά συστήματα φυσικού δροσισμού.
- Τα συστήματα και οι τεχνικές φυσικού φωτισμού.

Ο ολοκληρωμένος βιοκλιματικός σχεδιασμός ενός κτιρίου προϋποθέτει τη συνύπαρξη και τη συνδυασμένη λειτουργία όλων των παραπάνω συστημάτων, ώστε τα θερμικά και οπτικά οφέλη να συνδυάζονται σε όλη τη διάρκεια του έτους. Σε διαφορετική περίπτωση, τα οφέλη που προκύπτουν από ένα παθητικό σύστημα για παράδειγμα τους χειμερινούς μήνες, είναι πιθανόν να αναιρούνται κατά τη θερινή περίοδο.

Εκτός από τα παθητικά συστήματα, μια πολύ σημαντική μέθοδος εξοικονόμησης ενέργειας σε ένα βιοκλιματικό κτίριο αποτελούν και τα ενεργητικά συστήματα, τα οποία χρησιμοποιούν μηχανικά μέσα για τη θέρμανση ή/και το δροσισμό των κτιρίων, αξιοποιώντας την ηλιακή ενέργεια ή τις φυσικές δεξαμενές ψύξης. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι ηλιακοί συλλέκτες θέρμανσης ή παροχής ζεστού νερού χρήσης, τα φωτοβολταϊκά στοιχεία, κ.λπ.

Τέλος, υπάρχουν και τα υβριδικά συστήματα τα οποία συνδυάζουν τη φυσική και τη μηχανική θερμική ροή. Η μετατροπή ενός παθητικού συστήματος σε υβριδικό μπορεί να γίνει εύκολα και με σημαντικά οφέλη. Έτσι, με την προσθήκη ενός ανεμιστήρα σε ένα παθητικό σύστημα διευκολύνεται η μεταφορά της θερμότητας στους πίσω χώρους του κτιρίου, ενώ με την προσθήκη ενός θερμοστάτη υπάρχει πλήρης έλεγχος της θερμότητας που αποδίδεται στους χώρους του κτιρίου.

Η εγκατάσταση των παραπάνω συστημάτων αυξάνει το συνολικό κόστος κατασκευής του κτιρίου, το οποίο όμως αποσβένεται με την περιορισμένη χρήση των μονάδων συμβατικής θέρμανσης και ψύξης.

2.9.3 Παθητικά Ηλιακά Συστήματα Θέρμανσης

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης αποτελούν βασικό στοιχείο του βιοκλιματικού σχεδιασμού και είναι τα συστήματα τα οποία βασίζονται στη χρήση της ηλιακής ενέργειας για τη θέρμανση ενός κτιρίου, χωρίς μηχανική ή ηλεκτρική ενέργεια. Η κατασκευή και η αρχιτεκτονική του κτιρίου εγκλωβίζουν, αποθηκεύουν και διανέμουν την ηλιακή ενέργεια. Κάθε κτίριο με παράθυρα που εκτίθενται στον ήλιο είναι παθητικά θερμαινόμενο, αλλά οι απώλειες θερμότητας μπορεί να υπερβαίνουν τα ηλιακά κέρδη. Κατά συνέπεια, αν το κέρδος της παθητικής θέρμανσης είναι η μείωση του κόστους θέρμανσης, τότε πρέπει να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες θερμότητας του συστήματος (Hastings 2013: 437). Στην ιδανική περίπτωση, η έννοια της παθητικής θέρμανσης περιλαμβάνει μια μάζα για την αποθήκευση της ηλιακής θερμότητας κατά τη διάρκεια της μέρας με σκοπό την εκμετάλλευση της τη νύχτα, για την αύξηση της χρησιμότητας των κερδών. Τέλος, το σύστημα θέρμανσης πρέπει να διακόπτεται όταν η ηλιακή θέρμανση επιτυγχάνει την επιθυμητή θερμοκρασία δωματίου. Οι δύο περιορισμοί των παθητικών ηλιακών συστημάτων είναι ο έλεγχος της αντηλιάς και η σκίαση κατά τη διάρκεια των μη θερμαινόμενων μηνών.

Η μεγιστοποίηση της χρησιμότητας των παθητικών ηλιακών κερδών είναι μια σημαντική πτυχή του σχεδιασμού, αλλά συχνά οι σχεδιαστές επικεντρώνονται μόνο στην ελαχιστοποίηση των απωλειών θερμότητας. Ωστόσο, δεν είναι απαραίτητη μόνο η μείωση της απώλειας θερμότητας για την χαμηλή ενεργειακή αρχιτεκτονική, αλλά εξίσου σημαντική είναι και η μεγιστοποίηση των ηλιακών κερδών.

Στον εικοστό αιώνα, ο όρος «ηλιακό σπίτι» έγινε δημοφιλής, ενώ στα μέσα της δεκαετίας του '70, επινοήθηκε ο όρος «παθητικά ηλιακά κτίρια» (Passiv Haus). Τρεις διαφορετικές έννοιες παθητικών ηλιακών συστημάτων θέρμανσης ορίστηκαν μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση του 1973 και εξακολουθούν να είναι χρήσιμες μέχρι και σήμερα, τα άμεσα ηλιακά κέρδη, τα έμμεσα ηλιακά κέρδη και τα απομονωμένα ηλιακά κέρδη.

- *Άμεσα ηλιακά κέρδη*: Πρόκειται για τον απλούστερο και συνηθέστερο τρόπο εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας, που πραγματοποιείται με τη δέσμευσή της μέσω των γυάλινων ανοιγμάτων στην εσωτερική κατασκευαστική μάζα ενός καλά μονωμένου κτιρίου, όπου απορροφάται και γίνεται θερμότητα. Βασική προϋπόθεση είναι η ύπαρξη μεγάλης νότιας επιφάνειας με διαφανή στοιχεία, ώστε η διείσδυση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της μέρας και η απόδοση της κατά τη διάρκεια της νύχτας να γίνεται σε ικανοποιητικό βαθμό. Παράλληλα, σημαντικό στοιχείο για τη σωστή λειτουργία του συστήματος είναι η επαρκής θερμομόνωση του κελύφους, προκειμένου να μην υπάρχουν απώλειες θερμικής ενέργειας. Επίσης, ο τύπος του υαλοπίνακα είναι καθοριστικό στοιχείο της απόδοσης του συστήματος. Έτσι, υαλοπίνακες με διπλό ή τριπλό τζάμι και επιλεκτική επίστρωση μειώνουν δραστικά την απώλεια θερμότητας, αλλά έχουν σαν αποτέλεσμα λιγότερη ηλιακή ακτινοβολία μέσα στο θερμαινόμενο χώρο. Ωστόσο, το όφελος της μικρότερης απώλειας θερμότητας αντισταθμίζει τη μειωμένη ηλιακή μετάδοση (Hastings 2013: 449).

Άλλοι σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη λειτουργία του συστήματος είναι η θέση και ο προσανατολισμός των ανοιγμάτων, το μέγεθος και η ηλιοπροστασία των υαλοστασίων, τα χαρακτηριστικά του υαλοπίνακα (διαπερατότητα, ανακλαστικότητα και απορροφητικότητα), η θέση και η ποσότητα της μάζας θερμικής αποθήκευσης (TEE 2012b: 45).

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των συστημάτων άμεσης ηλιακής προσόδου είναι η απλότητα της κατασκευής, η υψηλή απόδοση που σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να πλησιάσει το 100 %, η οικονομία καθώς μόνο το οριακό κόστος για μεγαλύτερα και ποιοτικότερα κουφώματα πρέπει να υπολογίζεται για την απόσβεση του συστήματος, και η υψηλή αισθητική που προσφέρουν τα μεγάλα ανοίγματα, δημιουργώντας φωτεινή και ζεστή ατμόσφαιρα στο χώρο, συνδυάζοντας την «προσωπικότητα» του κτιρίου με τη λειτουργικότητα. Από την άλλη υπάρχει ο κίνδυνος υπερθέρμανσης, οποίος ωστόσο με σωστή μελέτη του χώρου μπορεί να υπολογιστεί και να ελαχιστοποιηθεί, καθώς και το πρόβλημα της αντηλιάς, για την οποία είναι απαραίτητη η χρήση κινητών σκίαστρων (Krawietz 2009: 864)

- *Έμμεσα ηλιακά κέρδη*: Πρόκειται για την περίπτωση των παθητικών συστημάτων, στην οποία η συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας και η αποθήκευση της θερμότητας γίνεται σε κατάλληλα διαμορφωμένο νότιο τοίχο. Ο τοίχος πρέπει να είναι κατασκευασμένος από υλικά μεγάλης θερμοχωρητικότητας, η εξωτερική πλευρά του να είναι σκούρου χρώματος και να μην είναι θερμομονωμένος. Μπροστά από την εξωτερική πλευρά του τοίχου και σε μικρή απόσταση από αυτόν υπάρχει υαλοστάσιο, από όπου εισέρχεται η ηλιακή ακτινοβολία, μετατρέπεται σε θερμότητα και αποθηκεύεται στον τοίχο. Στη συνέχεια αυτή η αποθηκευμένη θερμότητα αποδίδεται σταδιακά στον εσωτερικό χώρο με αγωγιμότητα, ακτινοβολία ή/και με μεταφορά, ανάλογα με τον τύπο του συστήματος που χρησιμοποιείται, θερμαίνοντας τον με φυσικό τρόπο.

Τα χρησιμοποιούμενα συστήματα παθητικής θέρμανσης έμμεσου κέρδους καλύπτουν ένα ιδιαίτερα ευρύ φάσμα. Διάφορες παραλλαγές συστημάτων χρησιμοποιούνται, όπως ο τοίχος μάζας, ο ηλιακός τοίχος ανοιχτού βρόγχου και ο τοίχος Trombe.

Η πιο καθιερωμένη τεχνολογία στον τομέα της παθητικής θέρμανσης είναι ο τοίχος Trombe. Πήρε το όνομα του από τον καθηγητή F. Trombe και τον αρχιτέκτονα J. Michel στη Γαλλία και το 1967 εφαρμόστηκε για πρώτη φορά σε πειραματικά σπίτια στο Odeillo της Γαλλίας (Mazria 1979: 44). Πρόκειται για ένα τοίχο θερμικής αποθήκευσης ο οποίος έχει στο πάνω και στο κάτω μέρος του θυρίδες που επιτρέπουν την κυκλοφορία του αέρα μέσα από αυτές στο θερμαινόμενο χώρο (Bellos et al. 2016: 755). Η ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ του τοίχου Trombe και του εσωτερικού περιβάλλοντος γίνεται εν μέρει με αγωγή μέσα από τον τοίχο και εν μέρει από αερισμό μέσω των αεραγωγών με θερμοσιφωνική κυκλοφορία (Zalewski et al. 2002: 110). Πιο συγκεκριμένα ο ψυχρός αέρας του χώρου μεταφέρεται στο διάκενο μεταξύ τζαμιού και τοίχου από τη θυρίδα στο κάτω μέρος του τοίχου, θερμαίνεται και στη συνέχεια ανυψώνεται με φυσική μεταφορά και επαναποδίδεται στο χώρο μέσω της θυρίδας στο πάνω μέρος του τοίχου. Κατά τη διάρκεια της νύχτας, προκειμένου να αποτραπεί η αντίστροφη κίνηση του θερμού αέρα από τον εσωτερικό χώρο

προς την εξωτερική ψυχρή επιφάνεια του υαλοπίνακα, οι θυρίδες στο πάνω μέρος του τοίχου πρέπει να παραμένουν κλειστές (ΤΕΕ 2012b: 49). Κατά τη θερινή περίοδο, η άνω θυρίδα πρέπει να είναι μόνιμα κλειστές για να αποφευχθεί η υπερθέρμανση του κτιρίου, ενώ με κατάλληλο άνοιγμα στο πάνω μέρος της υαλοστασίου ο θερμός αέρας του δωματίου μπορεί να διοχετευθεί στο εξωτερικό περιβάλλον.

- *Απομονωμένα ηλιακά κέρδη*: Πρόκειται για ένα σύστημα, που συνδυάζει τη λειτουργία του παθητικού συστήματος άμεσου κέρδους και του τοίχου θερμικής αποθήκευσης, κατά το οποίο η ηλιακή ενέργεια μετατρέπεται σε θερμότητα έξω από το μονωμένο κέλυφος του κτιρίου και στη συνέχεια αποδίδεται ή αποθηκεύεται στο εσωτερικό του κτιρίου. Αυτό μπορεί να γίνει με αγωγή και ακτινοβολία μέσω των κοινών δομικών στοιχείων και με μεταφορά μέσω του θερμού αέρα που εισέρχεται στο θερμαινόμενο χώρο από κατάλληλα διαμορφωμένα ανοίγματα. Ένας προσαρτημένος ηλιακός χώρος ή θερμοκήπιο με ελεγχόμενο άνοιγμα στο κτίριο συνδυάζει την υψηλή απόδοση θερμικών κερδών και τη μείωση των απωλειών του κτιριακού κελύφους στο τμήμα του κτιρίου στο οποίο είναι προσαρτημένο. Τα συστήματα απομονωμένου κέρδους είναι τα πιο πολύπλοκα και ακριβά συστήματα, αλλά προσφέρουν τον καλύτερο έλεγχο για το πότε και πόση ηλιακή θερμότητα θα μεταφερθεί στο κτίριο.

2.9.4 Παθητικά Συστήματα Δροσισμού

Προκειμένου να εξασφαλιστούν οι συνθήκες θερμικής άνεσης σε ένα κτίριο, δεν αρκεί η κάλυψη των θερμικών αναγκών το χειμώνα, αλλά πρέπει να καλύπτονται και οι ανάγκες δροσισμού το καλοκαίρι, αποφεύγοντας έτσι τις συνθήκες υπερθέρμανσης. Συνήθως για την αντιμετώπιση του προβλήματος γίνεται χρήση του τεχνητού κλιματισμού, που όμως έχει αυξημένο οικονομικό κόστος, ενώ παράλληλα υπάρχει αλόγιστη σπατάλη ενέργειας, μόλυνση του περιβάλλοντος και υψηλός δείκτης ασθενειών σε κτίρια που κλιματίζονται. Εναλλακτική πρακτική για την εξασφάλιση καλύτερων συνθηκών, με σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας ακόμα και σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες, αποτελεί ο φυσικός δροσισμός. Ο φυσικός ή παθητικός δροσισμός βασίζεται στην εκμετάλλευση ή/και στον έλεγχο των φυσικών φαινομένων εντός του κτιρίου,

αλλά και στο εξωτερικό του περιβάλλον, με σκοπό τη βελτίωση των περιβαλλοντικών παραμέτρων στους εσωτερικούς χώρους του κτιρίου και τη δημιουργία του αισθήματος της θερμικής άνεσης. Οι βασικοί άξονες που ακολουθούνται στο σχεδιασμό των παθητικών συστημάτων δροσισμού είναι ο περιορισμός των θερμικών ηλιακών κερδών, ώστε να αποφευχθεί η υπερθέρμανση του κτιρίου, και η διοχέτευση της πλεονάζουσας θερμότητας από τον εσωτερικό χώρο στο περιβάλλον (Santamouris & Kolokotsa 2013: 75).

Παρακάτω περιγράφονται μερικά από τα σημαντικότερα συστήματα και τεχνικές φυσικού δροσισμού, όπως η βελτίωση του μικροκλίματος, η σκίαση των ανοιγμάτων και ο φυσικός αερισμός.

- *Βελτίωση μικροκλίματος:* Οι τροποποιήσεις του μικροκλίματος στην περιοχή γύρω από το κτίριο μπορεί να βοηθήσει στη βελτίωση των εσωτερικών συνθηκών άνεσης και στη μείωση των ψυκτικών φορτίων, ενώ παρέχει επίσης προστατευόμενους εξωτερικούς χώρους (Antinucci et al. 1992, 254). Η χωροθέτηση του κτιρίου καθώς και η βλάστηση αντιπροσωπεύουν τις δύο σημαντικές ομάδες στρατηγικών για τη βελτίωση του μικροκλίματος γύρω από τα κτίρια. Η κατάλληλη χωροθέτηση του κτιρίου μπορεί να προσφέρει φυσική ηλιακή προστασία και να βοηθήσει ώστε το κτίριο να επωφεληθεί των τοπικών ανέμων. Τα κοντινά βουνά, οι κοιλάδες, οι λίμνες και η θάλασσα μπορεί να ενισχύσουν αυτά τα φαινόμενα. Από την άλλη η επικάλυψη επιφανειών με βλάστηση εμποδίζει τις ανακλάσεις από την ηλιακή ακτινοβολία και παράλληλα συνεισφέρει στο δροσισμό του αέρα μέσω της εξατμισοδιαπνοής (TEE 2012b, 54). Η βλάστηση έχει την ικανότητα να βελτιώνει τη θερμοκρασία του αέρα στο αστικό περιβάλλον, ενώ η εξατμισοδιαπνοή από ένα δέντρο μπορεί να σώσει σημαντικές ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας από κλιματισμό ανά έτος (Taha et al. 1988: 281). Η αποτελεσματικότητα της βλάστησης εξαρτάται προφανώς από το είδος και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των δέντρων και των φυτών που χρησιμοποιούνται και για αυτό η επιλογή τους πρέπει να γίνεται μετά από μελέτη καταλληλότητας. Άλλες τεχνικές που εφαρμόζονται για τη βελτίωση του μικροκλίματος περιλαμβάνουν τη χρήση υδατοπερατών υλικών επίστρωσης σε συνδυασμό με επιφάνειες νερού, όπως λιμνούλες, σιντριβάνια, καταρράκτες, κ.ά.

- *Σκίαση ανοιγμάτων*: Η σκίαση των εξωτερικών ανοιγμάτων του κτιρίου αποτελεί ουσιαστικό μέσο ελέγχου της εισερχόμενης ακτινοβολίας και είναι βασική προϋπόθεση για την αποδοτική εφαρμογή κάθε άλλης τεχνικής για το δροσισμό του κτιρίου. Σωστά σχεδιασμένες ηλιοπροστασίες και σκίαστρα μπορούν να μειώσουν δραματικά τα θερμικά κέρδη και τις απαιτήσεις ψύξης κατά τους θερινούς μήνες, προστατεύοντας από την υπερθέρμανση του κτιρίου, και παράλληλα να βελτιώσουν την ποιότητα του φυσικού φωτισμού και να αποτρέψουν τη θάμβωση στους εσωτερικούς χώρους του κτιρίου. Ο σχεδιασμός της ηλιοπροστασίας εξαρτάται από τον προσανατολισμό της όψης του κτιρίου. Έτσι, τα νότια ανοίγματα προστατεύονται με οριζόντια σκίαστρα τους θερινούς μήνες, όταν και η ηλιακή ακτινοβολία βρίσκεται σε υψηλές γωνίες. Από την άλλη τα ανατολικά και δυτικά ανοίγματα προστατεύονται με κατακόρυφα σκίαστρα, καθώς τα οριζόντια σκίαστρα είναι αναποτελεσματικά στο να εμποδίσουν το χαμηλό πρωινό και απογευματινό ήλιο. Επιπλέον, τα εξωτερικά σκίαστρα είναι πιο αποτελεσματικά και προτιμώνται από τα εσωτερικά (π.χ. εσωτερικές περσίδες) καθώς σταματούν την ηλιακή ακτινοβολία πριν αυτή διεισδύσει στον εσωτερικό χώρο μέσω του ανοίγματος, ενώ τα κινητά σκίαστρα παρέχουν τη δυνατότητα ημερήσιας και εποχιακής προσαρμογής, ώστε το κτίριο να επωφελείται των ηλιακών κερδών μόνο όποτε αυτά είναι απαραίτητα (TEE 2012b, 57).

- *Φυσικός αερισμός*: Ο φυσικός αερισμός αποτελεί το πιο διαδεδομένο παθητικό σύστημα αερισμού, το οποίο βασίζεται κυρίως στη διευκόλυνση της φυσικής κυκλοφορίας του αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου, είτε λόγω διαφοράς θερμοκρασίας στα στρώματα του αέρα, είτε λόγω ανεμοπίεσης στις θέσεις των ανοιγμάτων του κτιρίου. Ο αερισμός του κτιρίου είναι πολύ σημαντικός, διότι αφενός βοηθά στην απομάκρυνση της πλεονάζουσας θερμότητας και επομένως κρατάει το κτίριο δροσερό τους θερινούς μήνες, και αφετέρου διότι διατηρεί σε ικανοποιητικά επίπεδα την ποιότητα του εσωτερικού αέρα ανανεώνοντάς τον με φρέσκο αέρα από το περιβάλλον, πλούσιο σε οξυγόνο, και απομακρύνοντας τους εσωτερικούς ρύπους και τις οσμές. Επιπλέον, συντελεί στη δημιουργία της αίσθησης άνεσης στους ενοίκους αυξάνοντας την ανταλλαγή θερμότητας και την ταχύτητα ψύξης του ανθρώπινου σώματος μέσω της εξάτμισης του ιδρώτα.

Για τον επιτυχή σχεδιασμό ενός φυσικά αεριζόμενου κτιρίου απαιτείται γνώση του μοντέλου ροής του αέρα γύρω από το κτίριο, λαμβάνοντας υπόψη τη διεύθυνση των ανέμων, την επίδραση των γειτονικών κτιρίων και του περιβάλλοντα χώρου (βλάστηση, φράχτες, κλπ.). Η πίεση του ανέμου στην προσάνεμη πλευρά του κτιρίου είναι θετική, ενώ κατά μήκος των δύο πλευρών του και στην περιοχή πίσω από την υπήνεμη πλευρά δημιουργούνται αρνητικές πιέσεις. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, όταν υπάρχουν ανοίγματα στην προσάνεμη και στην υπήνεμη πλευρά του κτιρίου, να προκαλείται διαμπερής αερισμός, που είναι η πλέον διαδεδομένη μέθοδος φυσικού αερισμού.

Ο φυσικός αερισμός με «ηλιακή καμινάδα» (solar chimney) αποτελεί μία μέθοδο που αξιοποιεί το φαινόμενο της θερμικής άνωσης του αέρα που παρατηρείται μέσα σε μία καμινάδα. Η ηλιακή καμινάδα απορροφά την θερμική ενέργεια κατά τη διάρκεια της ημέρας και τη μετατρέπει σε κινητική ενέργεια ροής του αέρα, λόγω της διαφοράς πυκνότητας του αέρα στην είσοδο και την έξοδο της καμινάδας (Chan 2010: 785). Έτσι οι ηλιακές καμινάδες, που έχουν ένα σχετικά χαμηλό κόστος κατασκευής, μπορούν να προκαλέσουν την κίνηση του αέρα χωρίς την ανάγκη χρήσης συμβατικών μορφών ενέργειας, και να βοηθήσουν στην επίτευξη θερμικής άνεση μέσω της ψύξης και της ανανέωσης του εσωτερικού αέρα του κτιρίου.

Μια άλλη ενδιαφέρουσα τεχνική παθητικού αερισμού είναι ο «πύργος ανέμου» (wind tower). Πρόκειται για «πύργους» (π.χ. παλιές καμινάδες) που είναι τοποθετημένοι στην προσάνεμη πλευρά του κτιρίου και από τους οποίους διοχετεύεται ψυχρός αέρας που «διασχίζει» τους εσωτερικούς χώρους και διέρχεται από ανοίγματα στην υπήνεμη πλευρά του κτιρίου, προκαλώντας έτσι μια δροσερή κίνηση του αέρα εντός του κτιρίου.

Τέλος, μια τεχνική παθητικού αερισμού που εφαρμόζεται κυρίως σε κτίρια γραφείων, είναι το σύστημα του δικέλφου κτιρίου, κατά το οποίο δημιουργείται ένα κενό κυκλοφορίας αέρα μεταξύ των εξωτερικών κατακόρυφων επιφανειών του κτιρίου και ενός δεύτερου γυάλινου κελύφους που κατασκευάζεται σε μικρή απόσταση. Με τον τρόπο αυτό προκαλούνται

ελεγχόμενα ρεύματα αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου, ενώ ο θερμός αέρας απομακρύνεται μέσω ανοιγμάτων στην κορυφή του κελύφους.

2.9.5 Θερμικά Ηλιακά Συστήματα - Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Μια από τις πιο γνωστές ηλιακές θερμικές εφαρμογές είναι το ηλιακό σύστημα θέρμανσης νερού για χρήση ή θέρμανση. Το ηλιακό σύστημα θέρμανσης νερού χρησιμοποιεί τη φυσική ηλιακή θερμική τεχνολογία, κατά την οποία η ηλιακή ακτινοβολία μετατρέπεται σε θερμότητα και μεταδίδεται σε ένα μέσο, όπως το νερό και το αντιψυκτικό υγρό (Yan et al. 2015: 271). Αυτό το σύστημα είναι δυνατόν να αντικαταστήσει τη χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας και των ορυκτών καυσίμων που χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση του νερού. Γενικά, το σύστημα είναι πολύ απλό, διότι απαιτεί μόνο την ηλιακή ακτινοβολία για τη θέρμανση του ρευστού μέσου. Λειτουργεί όταν το εργαζόμενο ρευστό έρχεται σε επαφή με μια επιφάνεια υψηλής απορροφητικότητας (ηλιακός συλλέκτης) που είναι εκτεθειμένη στο φως του ηλίου, η οποία στη συνέχεια προκαλεί την αύξηση της θερμοκρασίας του ρευστού. Αυτά τα συστήματα μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο βασικές κατηγορίες, τα ενεργητικά και τα παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης (Shukla et al. 2009: 2120).

Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης νερού χρησιμοποιούν σύστημα συλλογής της ηλιακής ενέργειας (ηλιακοί συλλέκτες) για τη θέρμανση ενός ρευστού, σύστημα αποθήκευσης για την αποθήκευση της ηλιακής ενέργειας μέχρι αυτή να χρησιμοποιηθεί και δίκτυο διανομής που παρέχει την ηλιακή ενέργεια στους θερμαινόμενους χώρους με ελεγχόμενο τρόπο. Με έναν απλό ορισμό, το ενεργητικό σύστημα χρησιμοποιεί ηλεκτρικές αντλίες, βαλβίδες και ελεγκτές κυκλοφορίας του νερού ή άλλων υγρών μεταφοράς της θερμότητας (Chen et al. 2009: 1050). Το σύστημα αυτό είναι επίσης γνωστό ως σύστημα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας και μπορεί να είναι ένα ενεργητικό σύστημα ανοιχτού βρόγχου (άμεσο) ή ένα ενεργητικό σύστημα κλειστού βρόγχου (έμμεσο). Ένα ηλιακό σύστημα θέρμανσης νερού, όταν συνδυάζεται με ένα συμβατικό σύστημα θέρμανσης, προσφέρει τα ίδια επίπεδα άνεσης, σταθερότητας της θερμοκρασίας και αξιοπιστίας με το συμβατικό σύστημα, με το πλεονέκτημα της εξοικονόμησης ενέργειας.

Από την άλλη πλευρά, ένα παθητικό ηλιακό σύστημα θέρμανσης νερού μπορεί να καθοριστεί με σαφήνεια σε σύγκριση με το ενεργητικό σύστημα, καθώς σε αυτό δεν συμπεριλαμβάνονται ηλεκτρικά συστήματα (κυκλοφορητές ή αντλίες), αλλά το υγρό και η ενέργεια κινούνται δυνάμει της διαβάθμισης της θερμοκρασίας που καθορίζεται από την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας (Al-Abidi et al. 2012: 180). Με άλλα λόγια, στο παθητικό σύστημα χρησιμοποιείται η μέθοδος της μεταφοράς θερμότητας με φυσικό ελκυσμό και χωρίς μηχανικές συσκευές, με σκοπό την κυκλοφορία του ρευστού μεταξύ του συλλέκτη και ενός υπερυψωμένου δοχείου αποθήκευσης.

Η ηλιακή ενέργεια πέρα από την αξιοποίησή της για την παραγωγή θερμικής ενέργειας με τη χρήση ηλιακών συλλεκτών, μπορεί να αξιοποιηθεί και για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων (Φ/Β). Τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν τη δυνατότητα μετατροπής μέρους της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική, εκμεταλλευόμενα το φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Η ποσότητα ρεύματος που παράγει ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι ανάλογη της ποσότητας της ακτινοβολίας που προσπίπτει πάνω στο στοιχείο. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια μπορούν να εγκατασταθούν είτε στο έδαφος είτε πάνω στο κτίριο, ανάλογα με το σχεδιασμό του κτιρίου, το είδος της οροφής (δώμα, κεραμοσκεπή, κλπ.) και τη διαθέσιμη επιφάνεια. Η δυνατότητα εγκατάστασης των φωτοβολταϊκών στοιχείων στις επιφάνειες των κτιρίων περιορίζει τον απαιτούμενο χώρο εγκατάστασης και συμβάλλει στην κάλυψη των ενεργειακών τους αναγκών, με αποτέλεσμα τη δημιουργία κτιρίων μηδενικής (ZEBs) ή σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης (nZEB) (TEE 2012b: 49).

Παρόλο που η έντονη ηλιοφάνεια στη χώρα μας καθιστά τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα αποδοτικά υπάρχουν προβλήματα στην ενσωμάτωση τους στα κτίρια κυρίως του αστικού περιβάλλοντος. Τέτοια προβλήματα είναι ο σκιασμός των ηλιακών συλλεκτών και των φωτοβολταϊκών στοιχείων που προκαλείται από γειτονικά κτίρια, ο προσανατολισμός του κτιρίου, η διαθεσιμότητα χώρου για την εγκατάσταση των ηλιακών συστημάτων (Sick & Erge 1996: 83), η ρύπανση του αέρα που προκαλεί επικαθίσεις στις επιφάνειες των ηλιακών συλλεκτών, καθώς και η εξάρτηση της απόδοσης τους από τα καιρικά

φαινόμενα. Τέλος, το υψηλό κόστος των φωτοβολταϊκών συστημάτων αποτελεί, ακόμη και σήμερα, αποτρεπτικό παράγοντα για την εγκατάστασή τους.

2.10 Σχεδόν Μηδενικής Ενέργειας Κτίριο

Ο στόχος της Ε.Ε. για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας στον κτιριακό τομέα οδήγησε στη δημιουργία της ιδέας των κτιρίων με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας (nZEB). Η φιλοσοφία του κτιρίου μηδενικής ενέργειας, είναι μία εξέλιξη της έννοιας του «παθητικού κτιρίου» (Passiv Haus). Ο στόχος του κτιρίου μηδενικής κατανάλωσης δεν είναι μόνο να ελαχιστοποιηθεί η ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου με παθητικές μεθόδους σχεδιασμού, αλλά και να σχεδιαστεί ένα κτίριο που εξισορροπεί τις ενεργειακές του ανάγκες, με ενεργητικά συστήματα και τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και το αποτέλεσμα να μπορεί να μετρηθεί με βάση την πρωτογενή κατανάλωση ενέργειας ή τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (Wang et al. 2009: 1215).

Σύμφωνα με την αναδιατύπωση της Οδηγίας σχετικά με την «Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων», το nZEB είναι ένα κτίριο που «έχει μια πολύ υψηλή ενεργειακή απόδοση με χαμηλή απαιτούμενη ποσότητα ενέργειας, η οποία καλύπτεται σε πολύ σημαντικό βαθμό από την ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές, συμπεριλαμβανομένης της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές που παράγεται στις εγκαταστάσεις του ή σε κοντινή απόσταση» (Directive 2010/31/EU). Ωστόσο, ο παραπάνω ορισμός δεν δίνει τις ελάχιστες ή μέγιστες εναρμονισμένες απαιτήσεις, ούτε δίνει λεπτομέρειες όσον αφορά τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης και έτσι επαφίεται στα κράτη μέλη να ορίσουν τι ακριβώς σημαίνει «πολύ υψηλής ενεργειακής απόδοσης» και «καλύπτεται σε πολύ σημαντικό βαθμό από την ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές» για αυτά (D' Agostino 2015: 20). Έτσι, ακόμη και σήμερα, απουσιάζει ένα τυπικό, ολοκληρωμένο και αξιόπιστο πλαίσιο που να εξετάζει όλες τις σχετικές πτυχές που χαρακτηρίζουν ένα nZEB και να επιτρέπει σε κάθε κράτος μέλος να καθορίσει έναν συνεπή ορισμό σύμφωνα με τους στρατηγικούς στόχους και τις ειδικές συνθήκες κάθε χώρας.

Τα τελευταία χρόνια, το θέμα των nZEB έχει ευρέως αναλυθεί και συζητηθεί κυρίως εντός της Ε.Ε., αλλά εξακολουθεί να είναι αντικείμενο συζήτησης και σε διεθνές επίπεδο σχετικά με τα πιθανά όρια και τις μεθόδους υπολογισμού (Lund et al. 2011: 1646). Σύμφωνα με τους Torricellini et al. (2006: 5), ένα κτίριο μηδενικής ενέργειας μπορεί να οριστεί με διάφορους τρόπους, ανάλογα με τα όρια και τις μετρήσεις, ενώ οι διαφορετικοί ορισμοί μπορεί να είναι κατάλληλοι ανάλογα με τους στόχους του έργου, τις σχεδιαστικές αρχές, αλλά και τις ανάγκες του ιδιοκτήτη του κτιρίου. Οι συγκεκριμένοι βασικοί ορισμοί των nZEB είναι οι εξής:

- Μηδενικής τελικής ενέργειας (Net Zero Site Energy): Κτίρια τα οποία παράγουν από επί τόπου Α.Π.Ε. τόση ενέργεια όση καταναλώνουν ετησίως.
- Μηδενικής ενέργειας από την πηγή (Net Zero Source Energy): Κτίρια τα οποία παράγουν από Α.Π.Ε. τουλάχιστον όση ενέργεια χρησιμοποιούν σε ένα χρόνο. Η ενέργεια από την πηγή αναφέρεται στην πρωτογενή ενέργεια που χρησιμοποιείται για την παραγωγή και τη διανομή της απαιτούμενης ενέργειας στο χώρο του κτιρίου.
- Μηδενικού κόστους ενέργεια (Net Zero Energy Costs): Κτίρια στα οποία, τα χρήματα που το δίκτυο πληρώνει στον ιδιοκτήτη του κτιρίου για την ενέργεια που παράγει από Α.Π.Ε., πρέπει να είναι τουλάχιστον ίσα με αυτά που πληρώνει ο ιδιοκτήτης του κτιρίου στο δίκτυο σε ένα χρόνο.
- Καθαρής ενέργειας με μηδενικές εκπομπές (Net Zero Energy Emissions): Κτίρια τα οποία παράγουν τόση «καθαρή» ενέργεια από Α.Π.Ε., όση χρειάζεται για να αντισταθμίσει τις εκπομπές ρύπων από τη χρήση «μη καθαρής» ενέργειας σε ένα έτος.

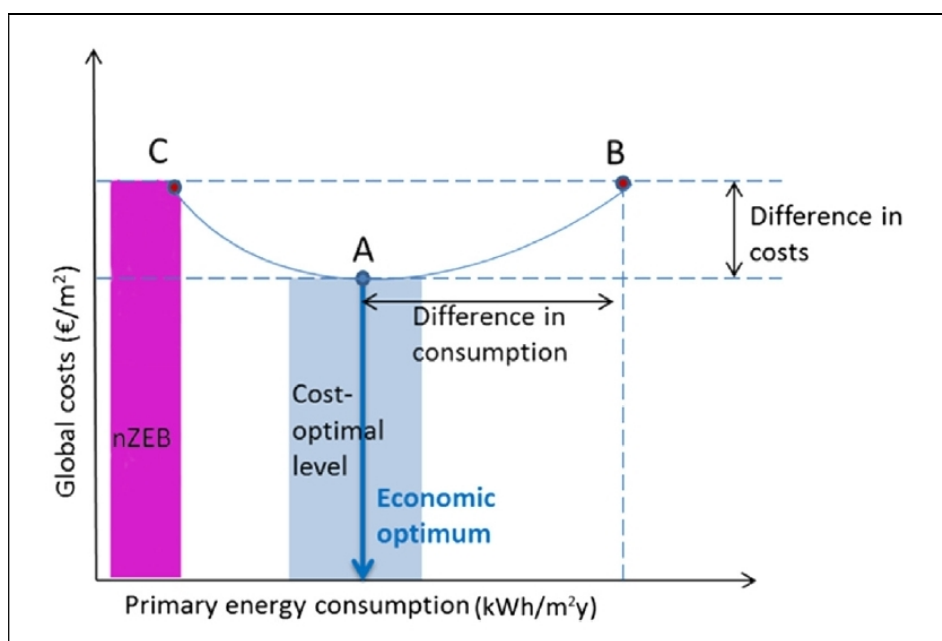
Βάσει των παραπάνω ορισμών, ο κύριος στόχος των nZEB, δηλαδή η μείωση της ζήτησης ενέργειας, μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση ενεργειακά αποδοτικών μέτρων και με την αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το σύνολο των μέτρων που εφαρμόζεται σε ένα nZEB μπορεί να είναι ένας συνδυασμός μέτρων σε σχέση με το κέλυφος του κτιρίου, τις παθητικές τεχνικές, τα τεχνικά συστήματα του κτιρίου καθώς και μέτρα που βασίζονται σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Οι συνδυασμοί των μέτρων αυτών, εφόσον είναι εύστοχοι, είναι

ικανοί να αποφέρουν συνέργειες με καλύτερα αποτελέσματα από ότι τα μεμονωμένα μέτρα (Οδηγία 2010/31/ΕΕ). Η εξοικονόμηση ενέργειας θεωρείται τις περισσότερες φορές ευκολότερη στρατηγική από την παραγωγή ενέργειας, και αυτή είναι η πιο λογική προσέγγιση για την επίτευξη ενός κτιρίου μηδενικής ενέργειας. Μια προσέγγιση που βασίζεται καταρχάς στην εξοικονόμηση ενέργειας για τη θέρμανση και τον κλιματισμό και στη συνέχεια στην εκμετάλλευση των ήπιων μορφών ενέργειας είναι πιο φιλική προς το περιβάλλον και τελικά πιο αποτελεσματική (Marszal et al. 2011: 978).

Προκειμένου να εξασφαλιστεί η ενεργειακή αποδοτικότητα των κτιρίων, θα μπορούσε να οριστεί μια σταθερή τιμή της μέγιστης επιτρεπόμενης χρήσης ενέργειας, παράλληλα με συγκεκριμένες απαιτήσεις εσωτερικού κλίματος. Η θέσπιση λεπτομερών κριτηρίων για τον κοινό ορισμό ενός κτιρίου μηδενικής ενέργειας θα διευκόλυνε την αξιολόγηση και τη σύγκριση των κτιρίων, όμως θα περιόριζε τη χρησιμότητα και την εφαρμογή του, καθώς δεν θα ήταν δυνατό να χρησιμοποιηθούν ίδιες τιμές για κτίρια διαφορετικού τύπου, μεγέθους, θέσης και για διαφορετικές τοπικές κλιματικές συνθήκες (Marszal et al. 2011: 978).

Το κόστος είναι ένα ζήτημα μεγάλης πρακτικής σημασίας που αγνοείται στους ορισμούς των nZEB, είναι όμως σημαντικό στοιχείο για τη μελλοντική ευρεία εφαρμογή της έννοιας. Μέχρι σήμερα, τα περισσότερα nZEB ήταν έργα επίδειξης και έρευνας, με ιδιαίτερα υψηλό κόστος, καθώς αυτό είχε δευτερεύουσα σημασία. Σύμφωνα όμως με την οδηγία 2010/31/ΕΕ, τα κράτη μέλη υποχρεούνται να προσδιορίσουν τα βέλτιστα, από πλευράς κόστους, επίπεδα των ελάχιστων απαιτήσεων ενεργειακής απόδοσης. Πιο συγκεκριμένα, συνίσταται να χρησιμοποιείται το ίδιο πλαίσιο ως προς τα όρια του συστήματος και τους ενεργειακούς υπολογισμούς, τόσο για τον υπολογισμό του βέλτιστου κόστους των κτιρίων μη μηδενικής κατανάλωσης όσο και για τα nZEB. Το επίπεδο απόδοσης βέλτιστου κόστους σημαίνει την ενεργειακή απόδοση σε όρους πρωτογενούς ενέργειας, που οδηγεί σε ελάχιστο κόστος κύκλου ζωής. Πρόκειται για το κατώτερο τμήμα της καμπύλης που παρουσιάζει το συνολικό κόστος και την κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 2.5. Η παρούσα πολιτική της Ε.Ε., δεν απαιτεί για τα nZEB να έχουν

το βέλτιστο κόστος, καθώς σύμφωνα με την παρούσα αντίληψη δεν βρίσκονται ακόμα σε οικονομικά αποδοτικά επίπεδα. Ως εκ τούτου, αυτές οι δύο απαιτήσεις (βέλτιστου κόστους και nZEB) θα πρέπει να συμβιβαστούν έτσι ώστε να υπάρξει στο εγγύς μέλλον μια ομαλή μετάβαση από τις απαιτήσεις βέλτιστου κόστους στα κτίρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης.



Διάγραμμα 2.5: Καμπύλη βέλτιστου κόστους (Congedo et al. 2015: 968)

Επί του παρόντος, ο καθορισμός του επιπέδου επίδοσης των nZEB πραγματοποιείται βάσει των οικονομοτεχνικά εφικτών λύσεων, παρά βάσει του πλαισίου βέλτιστου κόστους. Οι υπολογισμοί βέλτιστου κόστους είναι σχετικά απλοί για λύσεις με καθιερωμένες δαπάνες συμβατικών συστημάτων, γεγονός όμως που δεν ισχύει για τις τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπου οι ραγδαίες εξελίξεις αναμένεται να κάνουν αυτούς τους υπολογισμούς ιδιαίτερα αβέβαιους (Kurnitski 2013: 8).

Κεφάλαιο 3

Μεθοδολογία

Η Ευρωπαϊκή Οδηγία για την «Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων» (ΟΕΑΚ) όπως αναδιατυπώθηκε το 2010 αποτελεί μια ισχυρή δέσμευση για τη μείωση των ενεργειακών καταναλώσεων και τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του κτιριακού αποθέματος. Η οδηγία καθορίζει τις ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων και των δομικών στοιχείων και επιπλέον καθιερώνει με σαφήνεια τα κτίρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας (nZEB) ως πολιτικό στόχο. Λόγω της κρισιμότητας σχετικά με το κόστος των nZEB, η ΟΕΑΚ προσπάθησε να προχωρήσει ένα βήμα παρά πέρα στις οικονομικές εκτιμήσεις. Έθεσε έτσι ένα συγκριτικό μεθοδολογικό πλαίσιο για να καθοδηγήσει τα κράτη μέλη στον καθορισμό των ελάχιστων απαιτήσεων ενεργειακής απόδοσης κτιρίου από την οπτική του βέλτιστου κόστους. Ακόμα κι αν ο στόχος των nZEB είναι τεχνικά αποτελεσματικός για χαμηλά επίπεδα ανάπτυξης, τα nZEB αποδεικνύονται ότι εξακολουθούν να μην είναι συμφέροντα από άποψη βέλτιστου κόστους. Τα επίπεδα βέλτιστου κόστους, τα οποία μπορούν να θεωρηθούν ως ένα πρώτο βήμα προς την επίτευξη του στόχου nZEB, αναφέρονται στην ενεργειακή απόδοση, με όρους πρωτογενούς ενέργειας, που οδηγεί στο ελάχιστο κόστος κύκλου ζωής.

Πριν από την προσέγγιση του βέλτιστου κόστους από την ΟΕΑΚ, οι μελέτες κυρίως επικεντρώνονταν στην εξοικονόμηση ενέργειας, τη διερεύνηση και την αξιολόγηση της ανάλυσης κόστους ζωής (Gustavsson & Joelsson 2010: 210) ή το σύνολο της καθαρής παρούσας αξίας στο κύκλο ζωής ενός ορισμένου κτιρίου (Verbeeck & Hens 2010: 156). Επιπλέον, σε γενικούς οικονομικούς υπολογισμούς, μόνο το αρχικό κόστος επένδυσης λαμβάνονταν υπόψη (Dolmans 2011, 35), ενώ σύμφωνα με τις κατευθυντήριες γραμμές της ΟΕΑΚ

(European Parliament 2012: 25), το αρχικό κόστος επένδυσης, το κόστος λειτουργίας, το κόστος αντικατάστασης και το κόστος διάθεσης πρέπει να συμπεριλαμβάνονται στον κύκλο ζωής του κτιρίου.

Με την αναδιατύπωση της ΟΕΑΚ, αρκετές έρευνες επικεντρώθηκαν στην προσέγγιση του βέλτιστου κόστους, σε συνδυασμό με τη μελέτη των ενεργειακά μηδενικών λύσεων για νέα και υφιστάμενα κτίρια. Δύο υποδείγματα εκθέσεων σχετικά με τη μεθοδολογία βέλτιστου κόστους από το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Απόδοσης Κτιρίων (Buildings Performance Institute Europe – BPIE) εντόπισαν τα πλεονεκτήματα και τις αδυναμίες της προσέγγισης του βέλτιστου κόστους (BPIE 2010: 32) και παρείχαν αποτελέσματα από τις μελέτες περιπτώσεων σε τρεις διαφορετικές χώρες (Αυστρία, Γερμανία και Πολωνία) (BPIE 2013: 17). Η πρώτη έκθεση ανέλυσε την τρέχουσα ενεργειακή πολιτική και παρείχε καθοδήγηση και στήριξη με τη μεθοδολογία της που απευθύνεται κυρίως στους φορείς χάραξης πολιτικής. Ειδικότερα, ερευνήθηκαν διαφορετικά θέματα για κάθε χώρα σχετικά με τα επίπεδα βέλτιστου κόστους της ενεργειακής απόδοσης, λόγω των διαφορετικών εθνικών απαιτήσεων (π.χ. ορισμός U-τιμών του κτιριακού κελύφους).

Με σκοπό την εφαρμογή της μεθοδολογίας βέλτιστου κόστους χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικές προσεγγίσεις, που βασίζονται από την προσομοίωση μέχρι τη χρήση απλοποιημένων μοντέλων. Οι Kurnitski et al. (2011: 3279) παρουσίασαν μια ισχυρή και συστηματική επιστημονική διαδικασία για τον προσδιορισμό του βέλτιστου κόστους και των επιπέδων ενεργειακής απόδοσης των nZEB, μέσω της προσομοίωσης ενός κτιρίου αναφοράς κατοικιών στην Εσθονία, καθώς και ενός κτιρίου γραφείων (Pikas et al. 2014: 30) Μια μεθοδολογία πολλαπλών σταδίων μελετήθηκε για την εύρεση του βέλτιστου κόστους και των λύσεων nZEB για μια μονοκατοικία στη Φινλανδία (Hamdy et. al 2013: 189). Οι Ballarini et al. (2014: 443) μελέτησαν μια νέα διαδικασία για την καλύτερη προσέγγιση των επιπέδων βέλτιστου κόστους ενός κτιρίου αναφοράς κατοικιών στην Ιταλία, που βασίζεται σε μια τεχνική διαδοχικής αναζήτησης που μελετά μια σειρά διακριτών επιλογών. Οι Ferrara et al. (2014: 442) χρησιμοποίησαν μια μέθοδο προσομοίωσης με σκοπό τη μελέτη

λύσεων βέλτιστου κόστους για μια μονοκατοικία υψηλής απόδοσης, με σκοπό την επίτευξη αποδόσεων nZEB. Οι Ganic & Yilmaz (2014: 94) εφάρμοσαν τη μεθοδολογία βέλτιστου κόστους στην Τουρκία και διερεύνησαν την εγκυρότητα της διαδικασίας βάσει των εθνικών συνθηκών της αγοράς.

Λόγω της μεγάλης πίεσης που προέρχεται από τις ενεργειακές πολιτικές και από τη διεθνή συμφωνία για την κλιματική αλλαγή, προέκυψε πρόσφατα ένα παγκόσμιο ενδιαφέρον γύρω από τα nZEB (BPIE 2011: 5, Bojic et al. 2011: 2407, Fong & Lee 2012: 686, Aste et al. 2010: 629, Mohameda et al. 2014: 385), που τα καθιστά μόνιμο θέμα στη διεθνή ατζέντα. Η έννοια των nZEB έχει μελετηθεί ευρέως στην πραγματικότητα τόσο σε κρύα (Marszal et al. 2012: 154) όσο και σε θερμά κλίματα (Cellura et al. 2014: 371, Oliveira Panão et al. 2013: 161). Επιπλέον, η ανάλυση σχετικά με το σχεδιασμό των λύσεων για nZEB με σκοπό το βέλτιστο κόστος έχει επίσης δημοσιευθεί, σύμφωνα με τις απαιτήσεις της ΟΕΑΚ. Το BPIE ανέλυσε μια μονοκατοικία και μια πολυκατοικία, σε τρία διαφορετικά ευρωπαϊκά κλίματα (της Κοπεγχάγη, της Στουτγάρδης και της Μαδρίτης), αποκαλύπτοντας ότι τα nZEB είναι οικονομικά πιο κατάλληλα στη νότια Ευρώπη. Ωστόσο, προκειμένου να επιτευχθεί ο στόχος των nZEB, παρατηρήθηκε από τη βιβλιογραφία μια κοινή συμφωνία σχετικά με την ανάγκη προγραμμάτων επιδότησης και παροχής κινήτρων για την εγκατάσταση συστημάτων για την επί τόπου παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές.

3.1 Αντικείμενο της Μελέτης

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή επικεντρώθηκε στο πλαίσιο υπολογισμού του βέλτιστου κόστους και των λύσεων nZEB για μια μονοκατοικία στο Νομό της Θεσσαλονίκης. Ακολουθήθηκε το συγκριτικό μεθοδολογικό πλαίσιο της ΟΕΑΚ και ορίστηκαν διαφορετικοί συνδυασμοί μέτρων ενεργειακής απόδοσης (ΜΕΑ). Προκειμένου να δημιουργηθεί ένα υπόδειγμα βέλτιστου κόστους για συστήματα δόμησης που μπορεί να εφαρμοστεί σε νέα κτίρια κατοικιών, η μελέτη επικεντρώθηκε ιδιαίτερα στην έρευνα του κελύφους του κτιρίου, αλλά και στα τεχνικά συστήματα του κτιρίου, συμπεριλαμβανομένων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, με στόχο την επίτευξη επιδόσεων nZEB.

Η ενεργειακή αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του λογισμικού OpenStudio. Το OpenStudio είναι ένα μια συλλογή εργαλείων λογισμικού, ανοικτού πηγαίου κώδικα (Lesser General Public License - LGPL), για την πλήρη υποστήριξη κτιριακών ενεργειακών μοντέλων, που ουσιαστικά αποτελεί τη βοηθητική διεπαφή για το λογισμικό EnergyPlus που είναι το κύριο εργαλείο ενεργειακής προσομοίωσης. Στο πλαίσιο του προγράμματος OpenStudio, πραγματοποιήθηκε μια λεπτομερής μοντελοποίηση του κελύφους και των τεχνικών συστημάτων ενέργειας. Η εφαρμογή των συστημάτων για την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ήταν κρίσιμη και απαραίτητη για τη μελέτη του συνόλου των διαμορφώσεων του συστήματος δόμησης.

Προκειμένου να προσδιορίσει η δέσμη μέτρων με το χαμηλότερο συνολικό κόστος, πραγματοποιήθηκαν οικονομικοί υπολογισμοί με βάση τη μέθοδο του συνολικού κόστους σύμφωνα με το πρότυπο EN 15459. Επιλέχθηκε μια περίοδος υπολογισμού 30 ετών, δεδομένου ότι η μελέτη αναφέρεται σε μια νέα κατασκευή, πραγματοποιήθηκε μια λεπτομερής οικονομική αξιολόγηση για κάθε συνδυασμό ΜΕΑ και αξιολογήθηκαν τα επίπεδα βέλτιστου κόστους της ενεργειακής απόδοσης για τη μονοκατοικία που μελετήθηκε.

Μεταξύ των διαμορφώσεων του συστήματος για τη μονοκατοικία εφαρμόστηκαν λύσεις με καθαρό μηδενικό ενεργειακό ισοζύγιο. Η επιτόπου παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές αποδείχθηκε ότι είναι ένα βασικό στοιχείο για την επίτευξη των επιπέδων nZEB. Εν κατακλείδι, η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή παρέχει βέλτιστες λύσεις αναφοράς για το σχεδιασμό κατοικιών και κτιρίων σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης.

3.2 Καθορισμός του Κτιρίου Αναφοράς

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή έχει ως στόχο να παρέχει τις κατευθυντήριες γραμμές για το σχεδιασμό nZEB με χρήση κατοικίας, τα αποτελέσματα της οποίας να είναι σε θέση να γενικευθούν στο κτιριακό απόθεμα κατοικιών στην Ελλάδα. Για το σκοπό αυτό, ως κτίριο αναφοράς (KA), ορίζεται ένα υπάρχον κτίριο με τα πλέον συνήθη

χαρακτηριστικά, το οποίο είναι αντιπροσωπευτικό των ελληνικών κατοικιών. Στην Ελλάδα οι μονοκατοικίες και οι διπλοκατοικίες αντιπροσωπεύουν το πιο διαδεδομένο τύπο κτιρίου σε όλη την εθνική επικράτεια, με ποσοστό 67 % στο σύνολο του κτιριακού αποθέματος, όπως αναφέρεται στην εθνική απογραφή κατοικιών (ΕΛΣΤΑΤ, 2011). Έτσι, επιλέχθηκε μια μονοκατοικία ως μελέτη περίπτωσης και στη συνέχεια δημιουργήθηκε το ενεργειακό μοντέλο του κτιρίου.

Το επιλεγμένο ΚΑ είναι ένα διώροφο κτίριο κατοικίας που αποτελείται από το ισόγειο και έναν υπέργειο όροφο, οι οποίοι έχουν κοινή ορθογωνική κάτοψη και ίδιο ύψος ορόφου (τυπικός όροφος). Ο φέρων οργανισμός του κτιρίου είναι κατασκευασμένος από οπλισμένο σκυρόδεμα, ενώ η τοιχοποιία πλήρωσης από οπτόπλινθους. Το δάπεδό του έρχεται σε άμεση επαφή με το έδαφος ενώ η επιστέγασή του είναι κατασκευασμένη με αντεστραμμένο δώμα. Το κτίριο έχει συνολική επιφάνεια 160 m^2 , με ύψος ορόφου $3,0 \text{ m}$ και συνολικό όγκο 480 m^3 . Η αναλογία της επιφάνειας προς τον όγκο του κτιρίου (A/V) είναι $0,33 \text{ m}^{-1}$, ενώ η αναλογία των εξωτερικών ανοιγμάτων προς τοιχοποιία είναι 35 %.

Το κτίριο διαθέτει εξωτερική θερμομόνωση με εξηλασμένη πολυστερίνη (XPS) στο κέλυφος και στο δώμα, με πάχος 6 cm , ενώ στο δάπεδο σε επαφή με το έδαφος τοποθετήθηκε εξηλασμένη πολυστερίνη (XPS), με πάχος 10 cm .

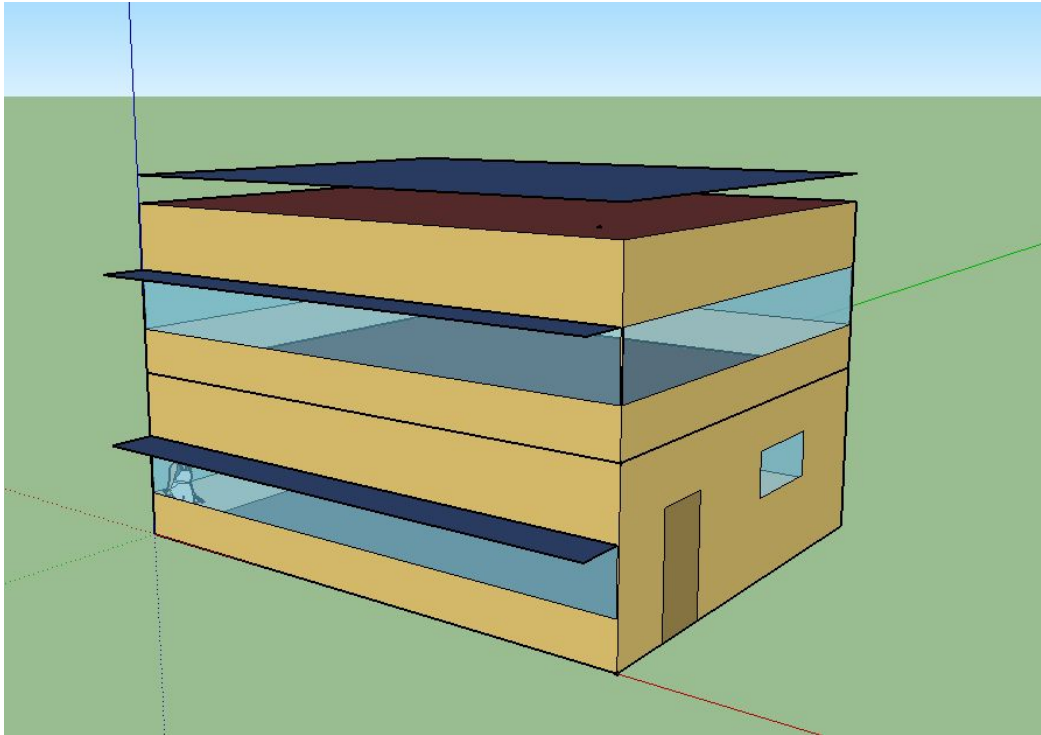
Τα κουφώματα του κτιρίου είναι μεταλλικά με θερμοδιακοπή και διπλή υάλωση και συντελεστή θερμοπερατότητας από τον κατασκευαστή $2,56 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$.

Για να αποφευχθεί η υπερθέρμανση το καλοκαίρι, τα παράθυρα στη νότια πρόσοψη είναι εξοπλισμένα με οριζόντιες προεξοχές, με γωνία σκίασης 60° .

Η θέρμανση των χώρων του ΚΑ παρέχεται από ένα λέβητα συμπύκνωσης αερίου. Το κτίριο διαθέτει θέρμανση σε όλους τους χώρους με θερμοανταλλάκτες (καλοριφέρ) τύπου πάνελ. Η ψύξη των χώρων παρέχεται από ένα κλιματιστικό τύπου multi-split με μονάδες άμεσης εκτόνωσης. Το ζεστό νερό

χρήσης (ZNX) παρέχεται από έναν ηλιακό θερμοσίφωνα με εφεδρική ηλεκτρική αντίσταση.

Μια άποψη του κτιρίου, όπως σχεδιάστηκε με το λογισμικό SketchUp, φαίνεται στην Εικόνα 3.1.



Εικόνα 3.1: Άποψη του υπό μελέτη κτιρίου όπως σχεδιάστηκε με το λογισμικό SketchUp.

3.3 Προσδιορισμός Μέτρων Ενεργειακής

Απόδοσης

Όπως απαιτείται από τις κατευθυντήριες γραμμές της ΟΕΑΚ, μια σειρά από μέτρα ενεργειακής απόδοσης (ΜΕΑ) ορίστηκαν και εφαρμόστηκαν στο κτίριο αναφοράς. Αρκετά μέτρα μελετήθηκαν αλλά οι σημαντικότερες προσπάθειες επικεντρώθηκαν στην ανάπτυξη διαφορετικών σεναρίων μόνωσης του κελύφους του κτιρίου και διαφορετικών διαμορφώσεων του συστήματος θέρμανσης/ψύξης. Επιπλέον, για τη μοντελοποίηση, την προσομοίωση και την οικονομική ανάλυση, μελετήθηκαν 90 διαφορετικά πακέτα μέτρων (σενάρια

εξοικονόμησης ενέργειας) που προέκυψαν από το συνδυασμό των 5 διαφορετικών ΜΕΑ που περιγράφονται στη συνέχεια.

Προκειμένου να μειωθούν οι ενεργειακές ανάγκες θέρμανσης και ψύξης του κτιρίου, προτάθηκαν πέντε διαφορετικά ΜΕΑ για τη βελτίωση της μόνωσης του κτιρίου με χαρακτηριστικά στοιχεία ΘΚ1, ΘΚ2, ΘΚ3, ΘΚ4 και ΘΚ5 και δύο ΜΕΑ για τα εξωτερικά κουφώματα της κατοικίας με χαρακτηριστικά στοιχεία ΕΚ1 και ΕΚ2.

Υψηλότερα επίπεδα μόνωσης των στοιχείων του κελύφους υλοποιήθηκαν με αύξηση του πάχους της μόνωσης. Πιο συγκεκριμένα, οι περιπτώσεις ΘΚ1, ΘΚ2, ΘΚ3, ΘΚ4 και ΘΚ5 προέκυψαν από την επιλογή τοποθέτησης εξωτερικής θερμομόνωσης στο κέλυφος και στο δώμα του κτιρίου, εξηλασμένης πολυστερίνης (XPS), με πάχος 8 cm, 9 cm, 10 cm, 12 cm και 14 cm αντίστοιχα. Για το δάπεδο σε επαφή με το έδαφος επιλέχθηκε για όλες τις υποπεριπτώσεις, όπως για το ΚΑ, εξηλασμένη πολυστερίνη (XPS), με πάχος 10 cm, αρκετά μεγαλύτερου πάχους για την τιμή θερμοπερατότητας που προβλέπει ο ΚΕΝΑΚ, λόγω έλλειψης δυνατότητας του προγράμματος OpenStudio να εξετάσει διαφορετικά σενάρια όσον αφορά το συγκεκριμένο μέτρο (Πίνακας 3.1).

Για τα εξωτερικά κουφώματα οι περιπτώσεις ΕΚ1 και ΕΚ2, αφορούν την επιλογή τοποθέτησης ενεργειακών ανοιγόμενων κουφωμάτων, με μεταλλικό πλαίσιο με θερμοδιακοπή και με διπλό (Τύπος Ι) και τριπλό υαλοπίνακα (Τύπος ΙΙ) αντίστοιχα. Για την εξωτερική πόρτα επιλέχθηκε για όλες τις περιπτώσεις πόρτα με μονωτικό υλικό πετροβάμβακα (Πίνακας 3.2).

Πίνακας 3.1: ΜΕΑ για τα δομικά στοιχεία - Πάχος θερμομόνωσης.

Δομικό στοιχείο	Πάχος εξηλασμένης πολυστερίνης (XPS)					
	ΘΚ0	ΘΚ1	ΘΚ2	ΘΚ3	ΘΚ4	ΘΚ5
Εξωτερική τοίχοι σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	7,0	8,0	9,0	10,0	12,0	14,0
Εξωτερική οριζόντια επιφάνεια σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	7,0	8,0	10,0	10,0	12,0	14,0
Δάπεδα σε επαφή με το έδαφος	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0

Πίνακας 3.2: ΜΕΑ για τα κουφώματα.

Εξωτερικά κουφώματα	Συντελεστής θερμοπερατότητας [W/(m ² ·K)]		
	EK0	EK1	EK2
Ανοίγματα (παράθυρα, μπαλκονόπορτες, κ.ά.)	Τύπος Ι	Τύπος ΙΙ	Τύπος ΙΙΙ
Εξωτερική πόρτα	Τύπος Ι	Τύπος Ι	Τύπος Ι

Για όλα τα σενάρια ΜΕΑ, που χρησιμοποιούν ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές, επιλέχθηκαν πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά πάνελ με ισχύς 255 kW_p, επιφάνειας 1,60 m² και απόδοση 15,5 %. Τα φωτοβολταϊκά πάνελ τοποθετήθηκαν στο δώμα και ο αριθμός τους αυξάνεται από το ελάχιστο των 6 πάνελ (ΦΒ1) με ισχύς 1,5 kW_p και καλυπτόμενη επιφάνεια 9,6 m², σε 12 πάνελ (ΦΒ2) με ισχύς 3,0 kW_p και καλυπτόμενη επιφάνεια 19,2 m² και σε 24 πάνελ (ΦΒ3) με ισχύς 6,1 kW_p και καλυπτόμενη επιφάνεια 38,4 m², όπου είναι και ο μέγιστος αριθμός των φωτοβολταϊκών πάνελ που μπορεί στην πράξη να τοποθετηθεί στο δώμα (Πίνακας 3.3).

Πίνακας 3.3: ΜΕΑ για τα φωτοβολταϊκά συστήματα.

Χαρακτηριστικά στοιχεία του φωτοβολταϊκού συστήματος	ΜΕΑ για φωτοβολταϊκά συστήματα		
	ΦΒ1	ΦΒ2	ΦΒ3
Αριθμός πάνελ	6	12	24
Επιφάνεια πάνελ (m ²)	9,6	19,2	38,4
Συνολική ισχύς (kW _p)	1,5	3,0	6,1

Η διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία στη θέση μελέτης, σε οριζόντια επιφάνεια, υπολογίστηκε στην τιμή των 1.466 kWh/m²/έτος (ΤΕΕ 2010b: 41), ενώ η ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια των φωτοβολταϊκών (γωνία κλίσης 30°) (ΤΕΕ 2010a: 144) υπολογίστηκε σε 1.659 kWh/m²/έτος (ΤΕΕ 2010b: 49).

Το σύστημα των φωτοβολταϊκών πάνελ λειτουργεί με την πολιτική της αυτοκατανάλωσης της παραγόμενης ενέργειας (net metering). Ουσιαστικά με το «net metering» γίνεται ενεργειακός συμψηφισμός της παραγόμενης ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά στο δώμα του κτιρίου (σε kWh) με την καταναλισκόμενη ενέργεια από το νοικοκυριό (Nikolaidis et al. 2015: 150).

Επιπλέον, τα σενάρια χωρίστηκαν σε 2 κατηγορίες ΜΕΑ, για τη διευκόλυνση της μελέτης και της παρουσίασης των αποτελεσμάτων. Η πρώτη κατηγορία αποτελείται από τα σενάρια ΜΕΑ1-ΜΕΑ45 (καθώς και το ΜΕΑ0 που αποτελεί το κτίριο αναφοράς), που αφορούν συνδυασμούς μέτρων με χρήση λέβητα συμπύκνωσης αερίου για θέρμανση και κλιματιστικού τύπου multi-split για ψύξη, ενώ τα σενάρια ΜΕΑ46-ΜΕΑ90 αφορούν τους αντίστοιχους συνδυασμούς μέτρων με χρήση, όμως, αντλίας θερμότητας για ψύξη και θέρμανση. Η αντλία θερμότητας που επιλέχθηκε ως εναλλακτικό μέτρο ψύξης-θέρμανσης, είναι αερόψυκτη αντλία θερμότητας με συντελεστή επίδοσης (COP) ίσο με 3 για ψύξη και 4 για θέρμανση.

Πιο αναλυτικά, τα ΜΕΑ1-ΜΕΑ15 και ΜΕΑ46-ΜΕΑ60 επιλέχθηκαν προκειμένου να αξιολογηθεί αποκλειστικά η επίδραση της θερμομόνωσης του κελύφους και των ενεργειακών κουφωμάτων στην ενεργειακή κατανάλωση και στο συνολικό κόστος. Τα ΜΕΑ16-45 και ΜΕΑ61-ΜΕΑ90 ορίστηκαν για την αξιολόγηση των φωτοβολταϊκών συστημάτων, σε συνδυασμό με υψηλά επίπεδα θερμομόνωσης (ΘΚ4/ΘΚ5 και ΕΚ3). Για τα σενάρια των ΜΕΑ31-ΜΕΑ45 και ΜΕΑ76-ΜΕΑ90 εκτελέστηκε και μελετήθηκε ένα επιπλέον ΜΕΑ, το ΠΑ1 που περιγράφει τη μείωση του ποσοστού ανοιγμάτων προς τοίχοποιία για τη βόρεια όψη του κτιρίου από 35 % σε 25 %, προκειμένου να επιτευχθούν ακόμη χαμηλότερα επίπεδα ενεργειακής ζήτησης. Στους Πίνακες 3.4 και 3.5 φαίνονται τα διαφορετικά σενάρια των ΜΕΑ που μελετήθηκαν.

Πίνακας 3.4: Σενάρια ΜΕΑ που εξετάστηκαν (λέβητας αερίου & a/c).

ΜΕΑ	θερμο- μόνωση	κουφώματα	φωτο- βολταικά	κούφωμα προς τοιχοποιία	τύπος ψύξης - θέρμανσης
ΜΕΑ0	ΘΚ0	ΕΚ0	-	-	ΦΑ-ΑC
ΜΕΑ 1	ΘΚ1	ΕΚ0	-	-	ΦΑ-ΑC
ΜΕΑ 2	ΘΚ2	ΕΚ0	-	-	ΦΑ-ΑC
ΜΕΑ 3	ΘΚ3	ΕΚ0	-	-	ΦΑ-ΑC
ΜΕΑ 4	ΘΚ4	ΕΚ0	-	-	ΦΑ-ΑC
ΜΕΑ 5	ΘΚ5	ΕΚ0	-	-	ΦΑ-ΑC
ΜΕΑ 6	ΘΚ1	ΕΚ1	-	-	ΦΑ-ΑC
ΜΕΑ 7	ΘΚ2	ΕΚ1	-	-	ΦΑ-ΑC
ΜΕΑ 8	ΘΚ3	ΕΚ1	-	-	ΦΑ-ΑC
ΜΕΑ 9	ΘΚ4	ΕΚ1	-	-	ΦΑ-ΑC
ΜΕΑ 10	ΘΚ5	ΕΚ1	-	-	ΦΑ-ΑC
ΜΕΑ 11	ΘΚ1	ΕΚ2	-	-	ΦΑ-ΑC
ΜΕΑ 12	ΘΚ2	ΕΚ2	-	-	ΦΑ-ΑC
ΜΕΑ 13	ΘΚ3	ΕΚ2	-	-	ΦΑ-ΑC
ΜΕΑ 14	ΘΚ4	ΕΚ2	-	-	ΦΑ-ΑC
ΜΕΑ 15	ΘΚ5	ΕΚ2	-	-	ΦΑ-ΑC
ΜΕΑ 16	ΘΚ1	ΕΚ2	ΦΒ1	-	ΦΑ-ΑC
ΜΕΑ 17	ΘΚ2	ΕΚ2	ΦΒ1	-	ΦΑ-ΑC
ΜΕΑ 18	ΘΚ3	ΕΚ2	ΦΒ1	-	ΦΑ-ΑC
ΜΕΑ 19	ΘΚ4	ΕΚ2	ΦΒ1	-	ΦΑ-ΑC
ΜΕΑ 20	ΘΚ5	ΕΚ2	ΦΒ1	-	ΦΑ-ΑC
ΜΕΑ 21	ΘΚ1	ΕΚ2	ΦΒ2	-	ΦΑ-ΑC
ΜΕΑ 22	ΘΚ2	ΕΚ2	ΦΒ2	-	ΦΑ-ΑC
ΜΕΑ 23	ΘΚ3	ΕΚ2	ΦΒ2	-	ΦΑ-ΑC
ΜΕΑ 24	ΘΚ4	ΕΚ2	ΦΒ2	-	ΦΑ-ΑC
ΜΕΑ 25	ΘΚ5	ΕΚ2	ΦΒ2	-	ΦΑ-ΑC
ΜΕΑ 26	ΘΚ1	ΕΚ2	ΦΒ3	-	ΦΑ-ΑC
ΜΕΑ 27	ΘΚ2	ΕΚ2	ΦΒ3	-	ΦΑ-ΑC
ΜΕΑ 28	ΘΚ3	ΕΚ2	ΦΒ3	-	ΦΑ-ΑC
ΜΕΑ 29	ΘΚ4	ΕΚ2	ΦΒ3	-	ΦΑ-ΑC
ΜΕΑ 30	ΘΚ5	ΕΚ2	ΦΒ3	-	ΦΑ-ΑC
ΜΕΑ 31	ΘΚ1	ΕΚ2	ΦΒ1	ΠΑ1	ΦΑ-ΑC
ΜΕΑ 32	ΘΚ2	ΕΚ2	ΦΒ1	ΠΑ1	ΦΑ-ΑC
ΜΕΑ 33	ΘΚ3	ΕΚ2	ΦΒ1	ΠΑ1	ΦΑ-ΑC
ΜΕΑ 34	ΘΚ4	ΕΚ2	ΦΒ1	ΠΑ1	ΦΑ-ΑC
ΜΕΑ 35	ΘΚ5	ΕΚ2	ΦΒ1	ΠΑ1	ΦΑ-ΑC
ΜΕΑ 36	ΘΚ1	ΕΚ2	ΦΒ2	ΠΑ1	ΦΑ-ΑC
ΜΕΑ 37	ΘΚ2	ΕΚ2	ΦΒ2	ΠΑ1	ΦΑ-ΑC
ΜΕΑ 38	ΘΚ3	ΕΚ2	ΦΒ2	ΠΑ1	ΦΑ-ΑC
ΜΕΑ 39	ΘΚ4	ΕΚ2	ΦΒ2	ΠΑ1	ΦΑ-ΑC
ΜΕΑ 40	ΘΚ5	ΕΚ2	ΦΒ2	ΠΑ1	ΦΑ-ΑC
ΜΕΑ 41	ΘΚ1	ΕΚ2	ΦΒ3	ΠΑ1	ΦΑ-ΑC
ΜΕΑ 42	ΘΚ2	ΕΚ2	ΦΒ3	ΠΑ1	ΦΑ-ΑC
ΜΕΑ 43	ΘΚ3	ΕΚ2	ΦΒ3	ΠΑ1	ΦΑ-ΑC
ΜΕΑ 44	ΘΚ4	ΕΚ2	ΦΒ3	ΠΑ1	ΦΑ-ΑC
ΜΕΑ 45	ΘΚ5	ΕΚ2	ΦΒ3	ΠΑ1	ΦΑ-ΑC

Πίνακας 3.5: Σενάρια ΜΕΑ που εξετάστηκαν (αντλία θερμότητας).

ΜΕΑ	θερμο- μόνωση	κουφώματα	φωτο- βολταϊκά	κούφωμα προς τοιχοποιία	τύπος ψύξης - θέρμανσης
ΜΕΑ 46	ΘΚ1	ΕΚ0	-	-	ΑΘ
ΜΕΑ 47	ΘΚ2	ΕΚ0	-	-	ΑΘ
ΜΕΑ 48	ΘΚ3	ΕΚ0	-	-	ΑΘ
ΜΕΑ 49	ΘΚ4	ΕΚ0	-	-	ΑΘ
ΜΕΑ 50	ΘΚ5	ΕΚ0	-	-	ΑΘ
ΜΕΑ 51	ΘΚ1	ΕΚ1	-	-	ΑΘ
ΜΕΑ 52	ΘΚ2	ΕΚ1	-	-	ΑΘ
ΜΕΑ 53	ΘΚ3	ΕΚ1	-	-	ΑΘ
ΜΕΑ 54	ΘΚ4	ΕΚ1	-	-	ΑΘ
ΜΕΑ 55	ΘΚ5	ΕΚ1	-	-	ΑΘ
ΜΕΑ 56	ΘΚ1	ΕΚ2	-	-	ΑΘ
ΜΕΑ 57	ΘΚ2	ΕΚ2	-	-	ΑΘ
ΜΕΑ 58	ΘΚ3	ΕΚ2	-	-	ΑΘ
ΜΕΑ 59	ΘΚ4	ΕΚ2	-	-	ΑΘ
ΜΕΑ 60	ΘΚ5	ΕΚ2	-	-	ΑΘ
ΜΕΑ 61	ΘΚ1	ΕΚ2	ΦΒ1	-	ΑΘ
ΜΕΑ 62	ΘΚ2	ΕΚ2	ΦΒ1	-	ΑΘ
ΜΕΑ 63	ΘΚ3	ΕΚ2	ΦΒ1	-	ΑΘ
ΜΕΑ 64	ΘΚ4	ΕΚ2	ΦΒ1	-	ΑΘ
ΜΕΑ 65	ΘΚ5	ΕΚ2	ΦΒ1	-	ΑΘ
ΜΕΑ 66	ΘΚ1	ΕΚ2	ΦΒ2	-	ΑΘ
ΜΕΑ 67	ΘΚ2	ΕΚ2	ΦΒ2	-	ΑΘ
ΜΕΑ 68	ΘΚ3	ΕΚ2	ΦΒ2	-	ΑΘ
ΜΕΑ 69	ΘΚ4	ΕΚ2	ΦΒ2	-	ΑΘ
ΜΕΑ 70	ΘΚ5	ΕΚ2	ΦΒ2	-	ΑΘ
ΜΕΑ 71	ΘΚ1	ΕΚ2	ΦΒ3	-	ΑΘ
ΜΕΑ 72	ΘΚ2	ΕΚ2	ΦΒ3	-	ΑΘ
ΜΕΑ 73	ΘΚ3	ΕΚ2	ΦΒ3	-	ΑΘ
ΜΕΑ 74	ΘΚ4	ΕΚ2	ΦΒ3	-	ΑΘ
ΜΕΑ 75	ΘΚ5	ΕΚ2	ΦΒ3	-	ΑΘ
ΜΕΑ 76	ΘΚ1	ΕΚ2	ΦΒ1	ΠΑ1	ΑΘ
ΜΕΑ 77	ΘΚ2	ΕΚ2	ΦΒ1	ΠΑ1	ΑΘ
ΜΕΑ 78	ΘΚ3	ΕΚ2	ΦΒ1	ΠΑ1	ΑΘ
ΜΕΑ 79	ΘΚ4	ΕΚ2	ΦΒ1	ΠΑ1	ΑΘ
ΜΕΑ 80	ΘΚ5	ΕΚ2	ΦΒ1	ΠΑ1	ΑΘ
ΜΕΑ 81	ΘΚ1	ΕΚ2	ΦΒ2	ΠΑ1	ΑΘ
ΜΕΑ 82	ΘΚ2	ΕΚ2	ΦΒ2	ΠΑ1	ΑΘ
ΜΕΑ 83	ΘΚ3	ΕΚ2	ΦΒ2	ΠΑ1	ΑΘ
ΜΕΑ 84	ΘΚ4	ΕΚ2	ΦΒ2	ΠΑ1	ΑΘ
ΜΕΑ 85	ΘΚ5	ΕΚ2	ΦΒ2	ΠΑ1	ΑΘ
ΜΕΑ 86	ΘΚ1	ΕΚ2	ΦΒ3	ΠΑ1	ΑΘ
ΜΕΑ 87	ΘΚ2	ΕΚ2	ΦΒ3	ΠΑ1	ΑΘ
ΜΕΑ 88	ΘΚ3	ΕΚ2	ΦΒ3	ΠΑ1	ΑΘ
ΜΕΑ 89	ΘΚ4	ΕΚ2	ΦΒ3	ΠΑ1	ΑΘ
ΜΕΑ 90	ΘΚ5	ΕΚ2	ΦΒ3	ΠΑ1	ΑΘ

3.4 Συντελεστής Θερμοπερατότητας των Δομικών Στοιχείων

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας (U-τιμή) ενός αδιαφανούς δομικού στοιχείου, είναι ουσιαστικά ο βαθμός θερμομονωτικής του προστασίας, και ορίζεται ως το αντίστροφο του αθροίσματος των θερμικών αντιστάσεων που προβάλλουν οι διαδοχικές στρώσεις του δομικού στοιχείου στη θεωρούμενη κατά παραδοχή μονοδιάστατη και κάθετη στην επιφάνειά του ροή θερμότητας μέσω αυτού και των αντίστοιχων θερμικών αντιστάσεων που προβάλλουν οι εκατέρωθεν των όψεων του στρώσεις αέρα.

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας ενός αδιαφανούς δομικού στοιχείου n στρώσεων ορίζεται από τον τύπο:

$$U = \frac{1}{R_i + \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} + R_\delta + R_\alpha} \quad [W/(m^2 \cdot K)]$$

Όπου:

U [$W/(m^2 \cdot K)$] ο συντελεστής θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου,

n [-] το πλήθος των στρώσεων του δομικού στοιχείου,

d [m] το πάχος της κάθε στρώσεις του δομικού στοιχείου,

λ [$W/(m \cdot K)$] ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού της κάθε στρώσης,

R_δ [$m^2 \cdot K/W$] η θερμική αντίσταση στρώματος αέρα σε τυχόν υφιστάμενο διάκενο ανάμεσα στις στρώσεις του δομικού στοιχείου, με την προϋπόθεση ότι ο αέρας του διάκενου δεν επικοινωνεί με το εξωτερικό περιβάλλον και θεωρείται πρακτικά ακίνητος,

R_i [$m^2 \cdot K/W$] η αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση της θερμότητας από τον εσωτερικό χώρο προς το δομικό στοιχείο,

R_α [$m^2 \cdot K/W$] η αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση της θερμότητας από το δομικό στοιχείο προς το εξωτερικό περιβάλλον (TEE 2010b: 16).

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας ενός διάφανου δομικού στοιχείου (μονού κουφώματος) προκύπτει από τον τύπο:

$$U = \frac{A_f \cdot U_f + A_g \cdot U_g + l_g \cdot \Psi_g}{A_f + A_g} \quad [W/(m^2 \cdot K)]$$

Όπου:

U_w [W/(m²·K)] ο συντελεστής θερμοπερατότητας όλου του κουφώματος,

U_f [W/(m²·K)] ο συντελεστής θερμοπερατότητας πλαισίου του κουφώματος,

U_g [W/(m²·K)] ο συντελεστής θερμοπερατότητας του υαλοπίνακα του κουφώματος,

A_f [m²] το εμβαδόν επιφάνειας του πλαισίου του κουφώματος,

A_g [m²] το εμβαδόν επιφάνειας του υαλοπίνακα του κουφώματος,

l_g [m] το μήκος της θερμογέφυρας του υαλοπίνακα του κουφώματος,

Ψ_g [W/(m·K)] ο συντελεστής γραμμικής θερμοπερατότητας του υαλοπίνακα του κουφώματος (ΤΕΕ 2010b: 29).

Δεδομένου ότι το κτίριο βρίσκεται στη Θεσσαλονίκη (Βόρεια Ελλάδα), οι τιμές των συντελεστών θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων του κτιρίου (U-τιμές) καθορίζονται λαμβάνοντας υπόψη τις ελάχιστες τιμές που απαιτούνται από τον εθνικό Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.Ε.Ν.Α.Κ.) για την κλιματική ζώνη «Γ», με το επίπεδο θερμομόνωσης του ΚΑ να εκφράζεται ως ΘΚ0. Ο Πίνακας 3.6 παραθέτει την τιμή θερμοπερατότητας W/(m²·K) για κάθε δομικό στοιχείο του κελύφους του ΚΑ καθώς και για κάθε σενάριο που εξετάστηκε, όπως αυτές προέκυψαν από τον υπολογισμό των στρώσεων των δομικών στοιχείων.

Ο Πίνακας 3.7 παραθέτει την U-τιμή [W/m²·K] για τα εξωτερικά κουφώματα του ΚΑ και των σεναρίων που εξετάστηκαν. Πιο συγκεκριμένα, οι περιπτώσεις ΕΚ0, ΕΚ1 και ΕΚ2, αφορούν την επιλογή τοποθέτησης ενεργειακών ανοιγόμενων κουφωμάτων, με U-τιμή 2,56 W/(m²·K), 1,99 W/(m²·K) και 1,42 W/(m²·K) αντίστοιχα. Για την εξωτερική πόρτα επιλέχθηκε για όλα τα σενάρια πόρτα με μονωτικό υλικό πετροβάμβακα και συντελεστή θερμοπερατότητας 1,20 W/(m²·K).

Πίνακας 3.6: Τιμές συντελεστή θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων για το κτίριο αναφοράς και για τις υπόπεριπτώσεις που ελέχθηκαν.

Δομικό στοιχείο	Συντελεστής θερμοπερατότητας [W/(m ² ·K)]					
	ΘΚ0	ΘΚ1	ΘΚ2	ΘΚ3	ΘΚ4	ΘΚ5
Εξωτερική τοίχοι σε επαφή με εξωτερικό αέρα	0,45	0,40	0,36	0,32	0,27	0,23
Εξωτερική οριζόντια επιφάνεια σε επαφή με εξωτερικό αέρα	0,40	0,35	0,32	0,29	0,24	0,21
Δάπεδα σε επαφή με το έδαφος	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33

Πίνακας 3.7: Τιμές συντελεστή θερμοπερατότητας των εξωτερικών κουφωμάτων για το κτίριο αναφοράς και για τις υποπεριπτώσεις που ελέχθηκαν.

Δομικό στοιχείο	Συντελεστής θερμοπερατότητας [W/(m ² ·K)]		
	ΕΚ0	ΕΚ1	ΕΚ2
Ανοίγματα (παράθυρα, μπαλκονόπορτες, κ.ά.)	2,56	1,99	1,42
Εξωτερική πόρτα	0,80	0,80	0,80

3.5 Ενεργειακό Μοντέλο

Η ενεργειακή αξιολόγηση του κτιρίου έγινε με τη βοήθεια της δυναμικής προσομοίωσης του προγράμματος EnergyPlus (ver. 8.5) (Crawley et al. 2001: 319) μέσω της βοηθητικής διεπαφής του λογισμικού Openstudio (ver. 1.11.0). Το EnergyPlus είναι ένα πρόγραμμα ενεργειακής ανάλυσης κτιρίου και θερμικής προσομοίωσης φορτίου, που αναπτύχθηκε από τα ερευνητικά εργαστήρια του Τμήματος Ενέργειας των ΗΠΑ από το 2001. Έχει επιλεγεί για τον σκοπό αυτής της μεταπτυχιακής διατριβής καθώς είναι ένα ελεύθερο λογισμικό ανοικτού κώδικα, γνωστό και ευρέως χρησιμοποιούμενο σε όλο τον κόσμο, τόσο στους ακαδημαϊκούς όσο και στους εμπορικούς κύκλους, για το σχεδιασμό και τη δυναμική προσομοίωση στην κατασκευή και στα τεχνικά σύστημα του κτιρίου (Heating, Ventilation and Air Conditioning - HVAC). Μεταξύ των εργαλείων προσομοίωσης, το EnergyPlus είναι ένα λογισμικό όχι ιδιαίτερα φιλικό προς το

χρήστη, αλλά ένα από τα πιο ώριμα, από άποψη δυνατοτήτων (Crawley et al. 2008: 661). Η εφαρμογή του EnergyPlus καλύπτει στην πραγματικότητα ένα αρκετά ευρύ πεδίο που κυμαίνεται από τη μελέτη του κτιριακού κελύφους (Goia 2013: 515), τη μελέτη εξαερισμού (Zhang et al. 2013: 100) ή συγκεκριμένων κτιριακών συστημάτων (Zhou et al. 2010: 1041), την αξιολόγηση του κτιρίου αναφοράς (Fumo et al. 2010, 2331) και του κτιρίου μελέτης (Mateus et al. 2014: 511), μέχρι την ενεργειακή εκτίμηση διαφορετικών τύπων κτιρίων, όπως τα γεωργικά θερμοκήπια (Fabrizio 2012: 57).

Η μέθοδος υπολογισμού της «θερμικής ζώνης» του κτιρίου με το EnergyPlus είναι μια μέθοδος επίλυσης της θερμικής ισορροπίας του αέρα, με βάση τις παραδοχές ότι η θερμοκρασία του αέρα στη θερμική ζώνη και σε κάθε επιφάνεια είναι ομοιόμορφη, η ακτινοβολία μακρών και βραχέων κυμάτων είναι επίσης ομοιόμορφη, η επιφανειακή ακτινοβολία είναι διάχυτη και η θερμική αγωγιμότητα μέσω μιας επιφάνειας είναι μονοδιάστατη. Ο υπολογισμός της ισορροπίας της θερμότητας του αέρα, αμελώντας τη μεταφορά θερμότητας λόγω της διείδυσης και της ανάμιξης του αέρα μεταξύ των ζωνών, μπορεί να πραγματοποιηθεί ως εξής:

$$C_z \frac{d\theta_z}{dt} = \sum_{i=1}^N Q_{i,c} + \sum_{i=1}^{N_{surfaces}} h_i A_i (\theta_{s,i} - \theta_z) + m_v C_p (\theta_\infty - \theta_z) + Q_{sys}$$

Όπου:

N είναι ο αριθμός των εσωτερικών φορτίων συναγωγής $Q_{i,c}$,

$h_i A_i (\theta_{s,i} - \theta_z)$ είναι η μεταφορά θερμότητας συναγωγής από τις επιφάνειες της θερμικής ζώνης για θερμοκρασία $\theta_{s,i}$,

$m_v C_p (\theta_\infty - \theta_z)$ είναι η μεταφορά θερμότητας λόγω μηχανικού αερισμού με εξωτερικό αέρα,

$\theta_{s,i}$ είναι η έξοδος του συστήματος,

C_z είναι η χωρητικότητα που λαμβάνει υπόψη τη συνεισφορά του αέρα της θερμικής ζώνης καθώς και των θερμικών μαζών οι οποίες θεωρείται ότι είναι σε ισορροπία με τον αέρα ζώνης.

Η συναγωγή μεταξύ του αέρα και των επιφανειών του κελύφους υπολογίζεται με τη βοήθεια του εξαρτώμενου χρονικού συντελεστή. Η μεταφορά της θερμικής αγωγιμότητας μέσω των στοιχείων του κελύφους αντιμετωπίζεται με τη βοήθεια της μεθόδου «συντελεστών λειτουργίας μεταφοράς αγωγιμότητας» (Conduction Transfer Function - CTF) και λαμβάνει υπόψη τόσο τη θερμική αντίσταση όσο και την θερμική ικανότητα του κάθε στοιχείου του κελύφους. Το χρονικό βήμα υπολογισμού ορίστηκε ωριαίο.

Η ενεργειακή μοντελοποίηση πραγματοποιήθηκε σε τρία διαφορετικά στάδια. Το πρώτο στάδιο περιλάμβανε το σχεδιασμό του κτιρίου αναφοράς και τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων του χώρου με τη βοήθεια του προγράμματος «Openstudio SketchUp Plug-in» (Εικόνα Α.1). Το «OpenStudio SketchUp Plug-in» είναι μια επέκταση του δημοφιλούς εργαλείου μοντελοποίησης «SketchUp 3D Trimble» που επιτρέπει στους χρήστες να δημιουργούν γεωμετρία κτιρίων, η οποία είναι προαπαιτούμενη για την εκτέλεση της ενεργειακής προσομοίωσης από το λογισμικό OpenStudio και κατ' επέκταση από το EnergyPlus.

Το δεύτερο στάδιο περιλάμβανε τη μεταφόρτωση του σχεδιαστικού αρχείου, που δημιουργήθηκε με το «OpenStudio SketchUp Plug-in», στο πρόγραμμα του OpenStudio, όπου καθορίστηκαν αναλυτικά όλες οι παράμετροι για την ενεργειακή προσομοίωση του μοντέλου, όπως περιγράφονται στη συνέχεια.

Αρχικά, μεταφορτώθηκε στο OpenStudio, ένα αρχείο αναφοράς καιρού για τη Θεσσαλονίκη (Εικόνα Α.2), προερχόμενο από το διεθνή οργανισμό ASHRAE (International Weather for Energy Calculations - IWEC), το οποίο ανακτήθηκε από τη βάση μετεωρολογικών δεδομένων του EnergyPlus (<https://energyplus.net/weather>), με σκοπό τη λεπτομερή ωριαία προσομοίωση του ενεργειακού μοντέλου. Ένα αρχείο αναφοράς καιρικών συνθηκών, που αναφέρεται ως Τυπικό Μετεωρολογικό Έτος (TME), είναι ένα τυπικό έτος που αποτελείται από 12 τυπικούς μήνες που επιλέγονται από μία σειρά πολλών ετών (τουλάχιστον 20 καταγεγραμμένα έτη) (Pernigotto et al. 2014, 62). Ένα TME αποτελείται από 8.760 ωριαίες καταγραφές των διαφόρων κλιματικών παραμέτρων, όπως η θερμοκρασία ξηρού και υγρού βολβού, το σημείο δρόσου, η

κατεύθυνση και η ταχύτητα ανέμου, η βαρομετρική πίεση, η σχετική υγρασία, και είναι σε θέση να καλύψει τα δεδομένα της συνολικής οριζόντιας και άμεσης κανονικής ηλιακής ακτινοβολίας (Crawley 1998, 499). Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία αυτού του τύπου αρχείων καιρού είναι επίσης μέρος του Προτύπου ISO 15927-4.

Έπειτα καθορίστηκαν τα χρονοδιαγράμματα των δραστηριοτήτων και τα ωράρια λειτουργίας του κτιρίου αναφοράς για τη θέρμανση, τη ψύξη, το φωτισμό και τον εξοπλισμό (Εικόνα Α.3). Σε συμμόρφωση με την ελληνική νομοθεσία, για την «κλιματική ζώνη Γ», στην οποία ανήκει η Θεσσαλονίκη, η εσωτερική θερμοκρασία σχεδιασμού ενός κτιρίου είναι 20°C κατά τη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης, που τρέχει από 15 Οκτωβρίου έως 30 Απριλίου, και 26°C κατά την περίοδο ψύξης που τρέχει από 1 Ιουνίου έως 31 Αυγούστου, ενώ το ωράριο λειτουργίας ορίστηκε συνεχές 24ώρο για ολόκληρο το έτος. Οι καταναλώσεις για φωτισμό και εξοπλισμό επιλέχθηκαν από τα πρότυπα του προγράμματος για τυπική κατοικία.

Έχοντας ολοκληρωμένη τη γεωμετρία του κτιρίου αναφοράς, καθορίστηκαν οι στρώσεις των δομικών υλικών του κάθε στοιχείου του κτιριακού κελύφους και τα θερμικά χαρακτηριστικά τους (Εικόνα Α.4). Η τιμή θερμοπερατότητας τόσο των επιμέρους δομικών υλικών όσο και του κελύφους του κτιρίου ορίστηκε για το ΚΑ, σύμφωνα με τις ελάχιστες τιμές που απαιτούνται από τον εθνικό κανονισμό (Κ.Ε.Ν.Α.Κ.).

Έπειτα, έγινε ο καθορισμός και η παραμετροποίηση για τα φορτία (φωτισμός, εξοπλισμός, ΖΝΧ) του κτιρίου αναφοράς (Εικόνες Α.5 & Α.6). Η χωρητικότητα του ΚΑ ορίστηκε σε 0,03 άτομα/m², ενώ η ισχύς του φωτισμού και του εξοπλισμού ορίστηκαν σε 4,5 W/m² και 3,0 W/m² αντίστοιχα. Η ανάγκη ΖΝΧ υπολογίστηκε σύμφωνα με τον ΚΕΝΑΚ σε 85 m³/έτος. Αυτές οι μοναδιαίες τιμές συνδέθηκαν με τα χρονοδιαγράμματα των σχετικών δραστηριοτήτων. Η εξωτερική ροή του αέρα ορίστηκε σταθερά σε 0,3 ACH. Τα συστήματα σκίασης είναι ενεργά σε όλη τη διάρκεια του έτους.

Επίσης, έγινε ο καθορισμός της χρήσης των χώρων, του είδους των επιφανειών, των ανοιγμάτων, της σκίασης και λοιπών παραμέτρων (Εικόνες A.7 & A.8), ενώ το κτίριο χωρίστηκε σε 2 θερμικές ζώνες, μία ανά όροφο (Εικόνα A.9). Όλα τα ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα (HVAC) μοντελοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας το OpenStudio. Ο λέβητας συμπύκνωσης αερίου μοντελοποιήθηκε χρησιμοποιώντας κανονικοποιημένες καμπύλες απόδοσης, ενώ η ονομαστική θερμική απόδοση του ορίστηκε με τιμή 0,98. Το multi-split κλιματιστικό διαμορφώθηκε ως τερματικό κλιματιστικό, με στοιχείο ψύξης άμεσης εκτόνωσης με ονομαστική απόδοση 3. Το ZNX διαμορφώθηκε με συνδυασμό ηλιακού θερμοσίφωνα και εφεδρικής ηλεκτρικής αντίστασης (Εικόνα A.10). Επίσης, σχεδιάστηκε το εναλλακτικό σύστημα θέρμανσης-ψύξης με αντλία θερμότητας για τη χρήση του στα σενάρια των μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας (Εικόνα A.11).

Μετά την ολοκλήρωση της παραμετροποίησης του ενεργειακού μοντέλου ακολούθησε η εκτέλεση της ενεργειακής προσομοίωσης του κτιρίου αναφοράς (Εικόνα A.12) και η εξαγωγή των αποτελεσμάτων με βάση αναφοράς το Openstudio (Εικόνα A.13) αλλά και τα αποτελέσματα με βάση αναφοράς το EnergyPlus (Εικόνα A.14).

Το τρίτο στάδιο περιλάμβανε τη χρήση του λογισμικού ParametricAnalysisTool (PAT), το οποίο επιτρέπει τη μελέτη των επιπτώσεων της εφαρμογής πολλαπλών συνδυασμών μέτρων στο βασικό μοντέλο (κτίριο αναφοράς) που έχει σχεδιαστεί με την εφαρμογή του OpenStudio, καθώς και την εξαγωγή των αποτελεσμάτων της ανάλυσης.

Αρχικά, καθορίστηκαν οι παραλλαγές των ενεργειακών μέτρων (Εικόνα A.15), οι οποίες περιλάμβαναν:

1. Τη διαφοροποίηση της τιμής θερμοπερατότητας των αδιαφανών δομικών στοιχείων (τοιχοποιία, δώμα), λόγω της αλλαγής πάχους της θερμομόνωσης (8 cm, 9 cm, 10 cm, 12 cm, 14 cm).
2. Τη διαφοροποίηση της τιμής θερμοπερατότητας των διαφανών στοιχείων (κουφώματα), για τους τύπους των κουφωμάτων που μελετήθηκαν.

3. Τη διαφοροποίηση του ποσοστού ανοιγμάτων προς τοιχοποιία για τη βόρεια όψη του κτιρίου (25 %).
4. Τη χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων στο δώμα του κτιρίου (3 διαφορετικά σενάρια).

Παράλληλα καθορίστηκαν λεπτομερώς όλες οι παράμετροι των παραπάνω μέτρων, όπως τα επιπλέον κόστη, η διάρκεια του κύκλου ζωής, το κόστος συντήρησης και αντικατάστασης, η χρονική διάρκεια της μελέτης, αλλά και τα ενεργειακά κόστη για την ηλεκτρική ενέργεια και το φυσικό αέριο.

Έπειτα, έγινε ο καθορισμός των 90 διαφορετικών συνδυασμών ΜΕΑ (σενάρια), στους οποίους εφαρμόστηκαν οι παραλλαγές των ενεργειακών μέτρων σε σχέση με το βασικό μοντέλο, και οι επιπρόσθετες συνθήκες λειτουργίας και κόστους (Εικόνα Α.16).

Αφού ολοκληρώθηκε και ο καθορισμός των σεναρίων, ακολούθησε η ενεργειακή προσομοίωσή τους με το λογισμικό PAT (Εικόνα Α.17), και η εξαγωγή του συγκεντρωτικού πίνακα των αποτελεσμάτων (Εικόνα Α.18).

3.6 Μέθοδος Υπολογισμού Συνολικού Κόστους

Σύμφωνα με το Παράρτημα ΙΙΙ της Οδηγίας 2010/31/ΕΕ και το Παράρτημα Ι του Κανονισμού, το μεθοδολογικό πλαίσιο για το βέλτιστο κόστος βασίζεται στη μέθοδο της καθαρής παρούσας αξίας του συνολικού κόστους. Για τον υπολογισμό του συνολικού κόστους λαμβάνεται υπόψη η αρχική επένδυση, το άθροισμα των εκάστοτε ετησίων δαπανών και η τελική αξία, καθώς και το κόστος διάθεσης κατά περίπτωση, όλα με αναφορά στο έτος έναρξης. Για τον υπολογισμό του μακροοικονομικά βέλτιστου κόστους, σύμφωνα με τον κανονισμό, πρέπει στο συνολικό κόστος να συμπεριλαμβάνεται και η νέα κατηγορία του κόστους των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, που ορίζεται ως η χρηματική αξία των περιβαλλοντικών βλαβών τις οποίες προκαλούν οι εκπομπές CO₂ που σχετίζονται με την κατανάλωση ενέργειας σε κτίρια.

Πιο συγκεκριμένα, οι κατηγορίες κόστους που πρέπει να καθορίζονται και να χρησιμοποιούνται είναι:

1. Το αρχικό κόστος επένδυσης.
2. Το τρέχον κόστος. Σε αυτό περιλαμβάνεται το κόστος για την περιοδική αντικατάσταση των δομικών στοιχείων και ενδέχεται να περιλαμβάνονται τα έσοδα από παραγόμενη ενέργεια.
3. Το ενεργειακό κόστος. Σε αυτό πρέπει να αποτυπώνεται το συνολικό κόστος της ενέργειας, που περιλαμβάνει το κόστος με βάση τις ενεργειακές τιμές, τα τιμολόγια δυναμικότητας και τα τιμολόγια διασυνδεδεμένου δικτύου.
4. Το κόστος διάθεσης κατά περίπτωση.
5. Το κόστος των εκπομπών του θερμοκηπίου, για τον υπολογισμό του κόστους σε μακροοικονομικό επίπεδο.

Το αποτέλεσμα του υπολογισμού του συνολικού κόστους είναι η καθαρή παρούσα αξία των δαπανών που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια καθορισμένης περιόδου υπολογισμού, λαμβάνοντας υπόψη την υπολειμματική αξία του εξοπλισμού με μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Οι προβλέψεις του ενεργειακού κόστους και των επιτοκίων είναι δυνατόν να περιορίζονται στην περίοδο υπολογισμού.

Σύμφωνα με την Οδηγία 2010/31/ΕΕ, γίνεται ο υπολογισμός των βέλτιστων επιπέδων κόστους τόσο από χρηματοοικονομική όσο και από μακροοικονομική άποψη, και επαφίεται στα κράτη μέλη να καθορίσουν ποιος από αυτούς τους υπολογισμούς θα χρησιμοποιείται ως εθνικό μέτρο σύγκρισης για τον καθορισμό των βέλτιστων από πλευράς κόστους απαιτήσεων. Οι κύριες παράμετροι που διέπουν τη μεθοδολογία υπολογισμού του βέλτιστου κόστους είναι οι παρακάτω:

- Ως έτος έναρξης ορίζεται το έτος κατά το οποίο εκτελείται ο υπολογισμός.
- Για τα κτίρια οικιστικής χρήσης και τα δημόσια κτίρια εφαρμόζεται περίοδος υπολογισμού 30 ετών, ενώ για τα επαγγελματικής και μη οικιστικής χρήσης κτίρια εφαρμόζεται περίοδος υπολογισμού 20 ετών.

- Κατά τον υπολογισμό του συνολικού κόστους μπορούν να παραλείπονται δαπάνες που είναι ίδιες για όλα τα μέτρα που αξιολογούνται και δαπάνες που δεν έχουν καμιά επίδραση στην ενεργειακή απόδοση του κτιρίου.
- Πρέπει να διενεργηθεί ανάλυση ευαισθησίας με τουλάχιστον δύο τιμές για το προεξοφλητικό επιτόκιο.

Ο όρος «συνολικό κόστος» προέρχεται από το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 15459 και αντιστοιχεί σε ότι γενικά στη βιβλιογραφία ονομάζεται «ανάλυση του κόστους του κύκλου ζωής». Ο τύπος του συνολικού κόστους μπορεί να γραφεί ως εξής:

$$C_G(\tau) = C_I + \sum_J \left[\sum_{i=1}^{\tau} (C_{\alpha,i}(j) \times R_d(i) - V_{f,\tau}(j)) \right]$$

όπου:

$C_G(\tau)$ αντιστοιχεί στο συνολικό κόστος που αναφέρεται στο έτος έναρξης τ_0 ,

C_I το αρχικό κόστος επένδυσης,

$C_{\alpha,i}(j)$ είναι το ετήσιο κόστος για το στοιχείο j κατά το έτος i (συμπεριλαμβανομένων των δαπανών λειτουργίας και του κόστους αντικατάστασης),

$R_d(i)$ είναι το προεξοφλητικό επιτόκιο για το έτος i ,

$V_{f,\tau}(j)$ είναι η τελική τιμή του στοιχείου j στο τέλος της περιόδου υπολογισμού.

3.6.1 Το Αρχικό Κόστος Επένδυσης

Τα στοιχεία για το κόστος κατασκευής και συντήρησης βασίζονται κυρίως στην ανάλυση της αγοράς για το έτος 2016. Η ανάλυση αυτή χρησιμεύει για τον υπολογισμό του συνολικού κόστους των δομικών στοιχείων που εφαρμόζονται στο αρχικό στάδιο του σχεδιασμού.

Το αρχικό κόστος επένδυσης για τη θερμομόνωση του κτιρίου, εκτιμήθηκε μετά από έρευνα σε διάφορες εταιρείες εμπορίας θερμομονωτικού υλικού και τεχνικές εταιρείες τοποθέτησης, και περιλαμβάνει το κόστος προμήθειας και τοποθέτησης της θερμομόνωσης, με όλα τα απαραίτητα εξαρτήματα για την ασφαλή και ενδεδειγμένη εφαρμογή της (Πίνακας 3.8). Αντίστοιχα, εκτιμήθηκε

το κόστος προμήθειας και τοποθέτησης των εξωτερικών κουφωμάτων του κτιρίου (Πίνακας 3.9).

Πίνακας 3.8: Κόστη αγοράς και τοποθέτησης εξηλασμένης πολυστερίνης σε €/m² με Φ.Π.Α.

Πάχος θερμομόνωσης	7 cm	8 cm	9 cm	10 cm	12 cm	14 cm
Εξηλασμένη πολυστερίνη	8,2	9,4	10,8	12,2	17,6	21,5
Περιφερειακά υλικά	13,0	13,0	13,0	17,0	17,0	19,0
Εργατικά	15,0	15,0	15,0	17,0	17,0	19,0
Συνολικό κόστος	36,2	37,4	38,8	46,2	51,6	59,5

Πίνακας 3.9: Κόστη αγοράς και τοποθέτησης κουφωμάτων σε €/m² με Φ.Π.Α.

Κουφωμα	Τύπος I	Τύπος II	Τύπος III
Τιμή θερμοπερατότητας	2,56	1,99	1,42
Συνολικό κόστος	400	480	560

Το κόστος αγοράς και τοποθέτησης του φωτοβολταϊκού συστήματος, μετά από έρευνα στην αγορά, διαπιστώθηκε ότι τα τελευταία χρόνια έχει μειωθεί αισθητά. Στον Πίνακα 3.10 αποτυπώνεται προσεγγιστικά το κόστος προμήθειας και τοποθέτησης πολυκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών πάνελ απόδοσης 15,5 %, τα οποία εξετάστηκαν στα σενάρια της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής.

Πίνακας 3.10: Κόστη αγοράς και τοποθέτησης φωτοβολταϊκών πάνελ σε € με Φ.Π.Α.

Φωτοβολταϊκό σύστημα	ΦB1	ΦB2	ΦB3
Αριθμός πάνελ	6	12	24
Επιφάνεια πάνελ (m ²)	9,6	19,2	38,4
Συνολική ισχύς (kWp)	1,5	3	6,1
Συνολικό κόστος (€)	4.000	7.500	14.000

Τέλος, για το κόστος αγοράς και τοποθέτησης του λέβητα φυσικού αερίου και των κλιματιστικών μονάδων επιλέχτηκε συνολική τιμή 3.000 €, ενώ για την αντλία θερμότητας επιλέχτηκε τιμή 8.000 €, κόστη αντιπροσωπευτικά της σημερινής αγοράς (Πίνακας 3.11).

Πίνακας 3.11: Κόστη αγοράς και τοποθέτησης συστημάτων θέρμανσης και ψύξης σε € με Φ.Π.Α.

	Λέβητας αερίου - κλιμαστικό	Αντλία θερμότητας
Συνολικό κόστος (€)	3.000	8.000

3.6.2 Ενεργειακές Τιμές

Οι τρέχουσες τιμές, όσον αφορά το έτος έναρξης υπολογισμού, που χρησιμοποιούνται για τους υπολογισμούς, παρατίθενται αναλυτικά:

- Τιμή φυσικού αερίου: 0,070 €/kWh ή 0,798 €/m³ ή 2,053 €/therm. Η τιμή του φυσικού αερίου υπολογίστηκε για «Κατηγορία Τιμολόγησης T2» (χρήση αυτόνομης οικιακής θέρμανσης για καταναλώσεις μεγαλύτερες των 650 m³/έτος έως και τα 3.000 m³/έτος) για το έτος 2015 και προέκυψε βάσει της μέσης τιμής χρέωσης ενέργειας της (0,0438€/kWh), συνεκτιμώντας το συνολικό πάγιο τέλος ενός έτους (για κατανάλωση 1.000 m³ ή 11.485 kWh), τον ειδικό φόρο κατανάλωσης (Ε.Φ.Κ.), το ειδικό τέλος 5 % (Ειδ. Τέλος) και το φόρο προστιθέμενης αξίας 13 % (Φ.Π.Α.).

- Τιμή ηλεκτρικής ενέργειας: 0,186 €/kWh. Η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας υπολογίστηκε για «Οικιακό Τιμολόγιο Γ1» της Δ.Ε.Η. για το έτος 2015 και προέκυψε βάσει της μέσης τιμής χρέωσης ενέργειας (0,0985 €/kWh), συνεκτιμώντας τον ειδικό φόρο κατανάλωσης (Ε.Φ.Κ.), το ειδικό τέλος 5 % (Ειδ. Τέλος), το ειδικό τέλος μείωσης εκπομπών αερίων ρύπων (ΕΤΜΕΑΡ), τις λοιπές επιβαρύνσεις και το φόρο προστιθέμενης αξίας 13 % (Φ.Π.Α.).

3.6.3 Διάρκεια Ζωής των Δομικών Στοιχείων

Η διάρκεια ζωής των δομικών στοιχείων του κτιρίου διαφοροποιείται ανάλογα με το κάθε στοιχείο. Αυτό σημαίνει ότι σημαντικά στοιχεία του συστήματος μπορούν να έχουν διαφορετική διάρκεια ζωής. Ο Πίνακας 3.12 παρουσιάζει τις πιο σημαντικές υποθέσεις σε σχέση με τη διάρκεια ζωής των δομικών και τεχνικών στοιχείων.

Πίνακας 3.12: Διάρκεια ζωής δομικών και τεχνικών στοιχείων.

Στοιχείο	Έτη υπολογισμού
Θερμομόνωση	50
Κουφώματα	30
Φωτοβολταϊκά	20
Λέβητας φυσικού αερίου	20
Κλιματιστικό	20
Αντλία θερμότητας	20

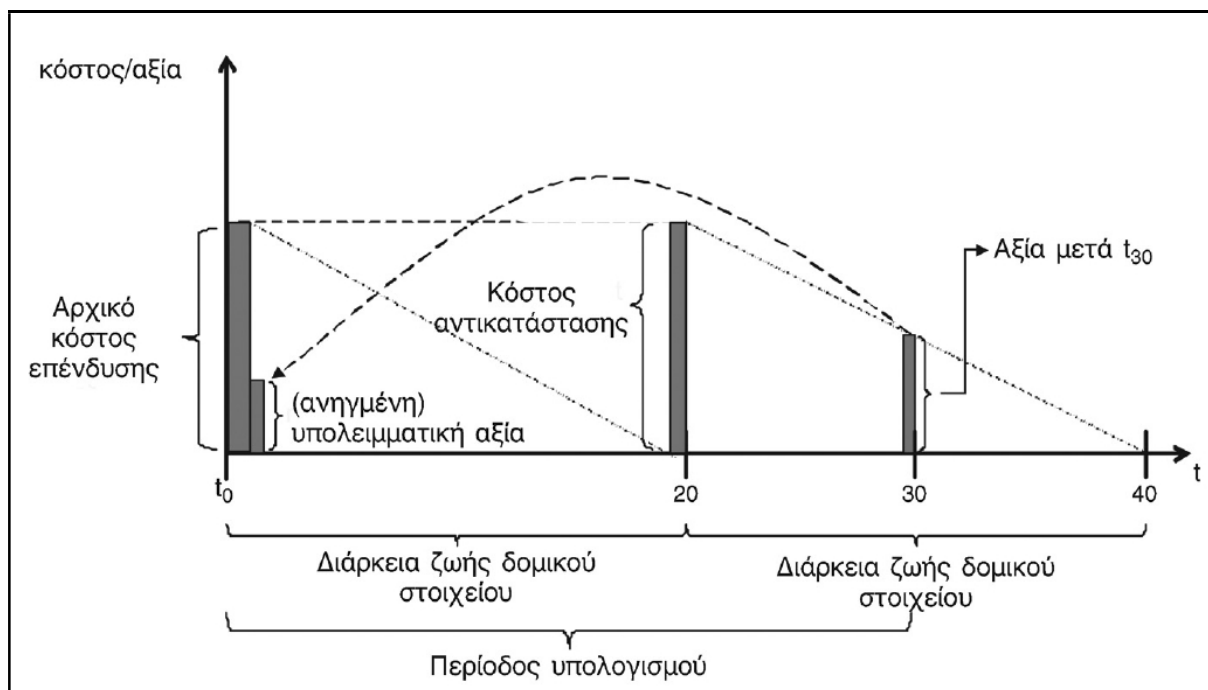
3.6.4 Περίοδος Υπολογισμού, Κόστος Αντικατάστασης και Κόστος Συντήρησης

Η περίοδος υπολογισμού, που προβλέπεται στον κανονισμό της Ε.Ε. για κτίρια κατοικιών, ορίζεται ως μια περίοδος 30 ετών.

Πέρα από το αρχικό κόστος επένδυσης, ο έτερος σημαντικός παράγοντας κόστους είναι το κόστος περιοδικής αντικατάστασης. Η περιοδική αντικατάσταση αναφέρεται στην απαραίτητη αντικατάσταση ολόκληρου δομικού στοιχείου, λόγω της παλαίωσης του κτιρίου, και ως εκ τούτου αντιμετωπίζεται ως χωριστή κατηγορία κόστους. Η χρονική στιγμή της περιοδικής αντικατάστασης εξαρτάται από τη διάρκεια ζωής του δομικού στοιχείου (Πίνακας 3.11). Έτσι, για τα δομικά στοιχεία με διάρκεια ζωής βραχύτερη από την περίοδο υπολογισμού (πχ. λέβητας φυσικού αερίου), προβλέπεται το κόστος αντικατάστασής τους στο τέλος της διάρκειας ζωής τους και εκτιμάται η υπολειμματική αξία τους. Με την παραδοχή διάρκειας ζωής 20 ετών, το στοιχείο πρέπει να αντικατασταθεί αφού παρέλθουν 20 έτη. Μετά την αντικατάσταση του δομικού στοιχείου αρχίζει νέα περίοδος απόσβεσης. Στην περίπτωση αυτή, μετά από 30 χρόνια (τέλος της περιόδου υπολογισμού) η υπολειμματική αξία του στοιχείου είναι το 50 % του κόστους αντικατάστασης (Σχήμα 3.1). Και σε αυτή την περίπτωση, η αξία πρέπει να αναχθεί στην αρχή της περιόδου υπολογισμού (καθαρή παρούσα αξία).

Οι δαπάνες του κόστους συντήρησης για τα τεχνικά στοιχεία του κτιρίου, υπολογίστηκαν ως ποσοστό του αρχικού κόστους επένδυσης.

Σχήμα 3.1: Υπολογισμός της υπολειμματικής αξίας δομικού στοιχείου κτιρίου με βραχύτερη διάρκεια από την περίοδο υπολογισμού (Πηγή: European Parliament 2012: 22).



3.6.5 Κόστος Διάθεσης

Το κόστος διάθεσης, σύμφωνα με τον κανονισμό της Ε.Ε., δεν απαιτείται να συμπεριλαμβάνεται στον υπολογισμό του συνολικού κόστους, καθώς δεν υπάρχουν αξιόπιστα διαθέσιμα δεδομένα. Επιπλέον, στην περίπτωση των νέων κτιρίων, όπου η υποθετική διάρκεια ζωής του κτιρίου είναι μεγαλύτερη από 50 χρόνια, η επιρροή του κόστους διάθεσης στο τελικό αποτέλεσμα θα είναι οριακή λόγω της αναγωγής με το προεξοφλητικό επιτόκιο.

3.6.6 Προεξοφλητικό Επιτόκιο

Όσον αφορά το προεξοφλητικό επιτόκιο, ο κανονισμός της Ε.Ε. παρέχει στα κράτη μέλη ένα ευρύ πεδίο εφαρμογής των εθνικών διατάξεων. Στην παρούσα ανάλυση, το προεξοφλητικό επιτόκιο καθορίστηκε σε 4 % σε πραγματικούς όρους. Η προσέγγιση αυτή αντικατοπτρίζει τα τρέχοντα επιτόκια για τα μακροπρόθεσμα εξασφαλισμένα δάνεια και πρέπει να θεωρηθεί ως ένα ρεαλιστικό περιουσιακό στοιχείο, ανάλογα με την πιστοληπτική ικανότητα και την προσδοκία κέρδους από τον πελάτη. Αυτό είναι σύμφωνο με τις ισχύουσες

κατευθυντήριες οδηγίες της Επιτροπής (2009) για την εκτίμηση επιπτώσεων, στις οποίες προτείνεται το 4 % ως κοινωνικά αποδεκτό προεξοφλητικό επιτόκιο.

Για να είναι εφαρμόσιμο το προεξοφλητικό επιτόκιο, πρέπει κατά κανόνα να προκύπτει επιτόκιο που να είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του συνολικού κόστους. Ο $R_d(i)$, δηλαδή ο συντελεστής προεξόφλησης για το έτος i με βάση το προεξοφλητικό επιτόκιο r , υπολογίζεται με τον παρακάτω τύπο:

$$R_d(i) = \left(\frac{1}{1 + r/100} \right)^i$$

Όπου:

i είναι ο αριθμός των ετών από την έναρξη της περιόδου υπολογισμού,

r είναι το πραγματικό προεξοφλητικό επιτόκιο.

3.7 Ανάλυση Ευαισθησίας

Προκειμένου να αξιολογηθεί το αποτέλεσμα του ενεργειακού μοντέλου που εξετάζεται στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή γίνεται χρήση της πρακτικής της ανάλυσης ευαισθησίας.

Καθώς σε παρόμοια μοντέλα πολλές παράμετροι εισόδου σχετίζονται με έναν ορισμένο βαθμό αβεβαιότητας, λόγω μεταβλητών συνθηκών ή έλλειψης γνώσεων σχετικά με την ακριβή τιμή της παραμέτρου, η ανάλυση ευαισθησίας των παραμέτρων του μοντέλου αποτελεί ένα σημαντικό βήμα στη διαδικασία μοντελοποίησης, προκειμένου να ληφθούν αξιόπιστα αποτελέσματα και πολύτιμες πληροφορίες, καθώς και να αυξηθεί η εμπιστοσύνη στα αποτελέσματα (Campolongo et al. 2007: 1509, Saltelli et al. 2008: 1). Ο πιο σημαντικός λόγος για την εφαρμογή της ανάλυσης ευαισθησίας είναι ο προσδιορισμός των παραμέτρων εισόδου που έχουν μεγάλο αντίκτυπο στα αποτελέσματα του μοντέλου σε συνδυασμό με μια ανάλυση της αβεβαιότητας των παραμέτρων αυτών (Yang & Becerik-Gerber 2015: 417, Dominguez-Munoz

et al. 2010: 1016). Άλλες πιθανές εφαρμογές περιλαμβάνουν την αξιολόγηση των παραμέτρων αβεβαιότητας που έχουν αμελητέα επίπτωση στα αποτελέσματα μοντέλου, έτσι ώστε να μπορούσαν να αγνοηθούν σε μελλοντικά μοντέλα αξιολογήσεων ή να μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να απλοποιηθεί ένα συγκεκριμένο μοντέλο (Spitz et al. 2012: 459, Peles et al. 2012: 4). Επιπλέον, η ανάλυση ευαισθησίας μπορεί να είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για τη διάγνωση σφαλμάτων της μοντελοποίησης, την αναγνώριση των αδύνατων συνιστωσών του μοντέλου και τη βελτίωση της κατανόησης της σχέσης μεταξύ εισροών και εκροών του μοντέλου (Menberg et al. 2016: 433, Mara & Tarantola 2008: 291).

Κατά τον κανονισμό απαιτείται από τα κράτη μέλη να διενεργούν ανάλυση ευαισθησίας ως προς τα σενάρια εξέλιξης των τιμών όλων των φορέων ενέργειας που χρησιμοποιούνται σε σημαντικό βαθμό σε εθνική κλίμακα, καθώς και ως προς το προεξοφλητικό επιτόκιο που χρησιμοποιείται στους υπολογισμούς από μακροοικονομική και από χρηματοοικονομική σκοπιά.

Για την ανάλυση ευαισθησίας ως προς το προεξοφλητικό επιτόκιο που αφορά τον υπολογισμό από μακροοικονομική άποψη, ένα από τα προεξοφλητικά επιτόκια πρέπει να είναι 3 % σε πραγματικούς όρους και αυτό πρέπει να χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του βέλτιστου κόστους.

3.8 Εκτιμώμενη Μακροπρόθεσμη Εξέλιξη των Ενεργειακών Τιμών

Οι τάσεις εξέλιξης των ενεργειακών τιμών προέρχονται από τα σενάρια εξέλιξης στον ενεργειακό τομέα που αναπτύχθηκαν με το μοντέλο PRIMES (σύστημα που προσομοιώνει λύση ισοζυγίου της προσφοράς και ζήτησης στην αγορά ενέργειας της ΕΕ των 27 και των κρατών μελών της) και παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τις εκτιμώμενες μακροπρόθεσμες εξελίξεις των τιμών του πετρελαίου, του φυσικού αερίου, του άνθρακα και της ηλεκτρικής ενέργειας. Τα κράτη μέλη οφείλουν να λαμβάνουν υπόψη τις πληροφορίες αυτές όταν καθορίζουν το κόστος των φορέων ενέργειας για τους υπολογισμούς του βέλτιστου κόστους. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Ένωση προβλέπεται 2,8 %

ετήσια αύξηση τιμών για το φυσικό αέριο, 2,8 % ετήσια αύξηση των τιμών για το πετρέλαιο και 2 % ετήσια αύξηση των τιμών για τον άνθρακα. Παρόμοια ετήσια αύξηση αναμένεται και για την ηλεκτρική ενέργεια.

Κεφάλαιο 4

Αποτελέσματα

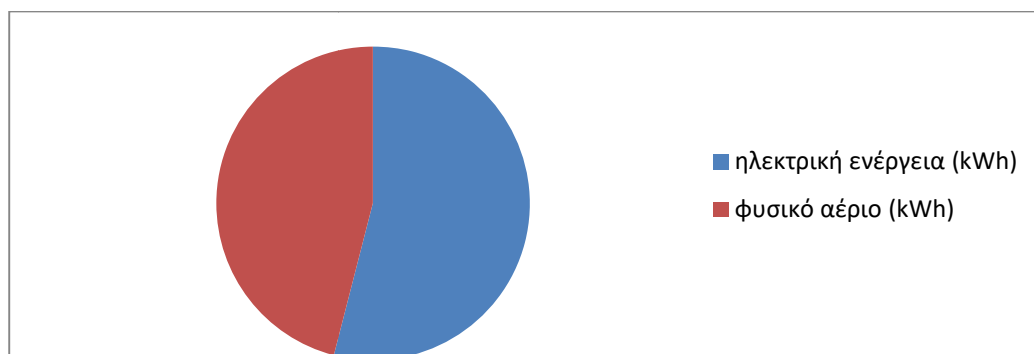
Στον παρόν κεφάλαιο, αρχικά, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ενεργειακής προσομοίωσης του κτιρίου αναφοράς, με τη χρήση των λογισμικών Openstudio και EnergyPlus. Στη συνέχεια γίνεται η συγκριτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων για τα 90 διαφορετικά σενάρια MEA που μελετήθηκαν με τη χρήση του λογισμικού ParametricAnalysisTool (PAT).

4.1 Αποτελέσματα Κτιρίου Αναφοράς

Βάσει των αποτελεσμάτων, που προέκυψαν από τη συνδυαστική χρήση των λογισμικών Openstudio και EnergyPlus, το κτίριο καταναλώνει ετησίως 52.452 kbtu ή 15.375 kWh. Η τελική κατανάλωση ενέργειας ανά πηγή είναι 28.330 kbtu (8.304 kWh) για ηλεκτρισμό και 24.122 kbtu (7.071kWh) για φυσικό αέριο (Πίνακας 4.1 και Διάγραμμα 4.1). Η κατανάλωση του φυσικού αερίου αφορά αποκλειστικά τη θέρμανση της κατοικίας, ενώ η ηλεκτρική ενέργεια, βάσει των δεδομένων εισαγωγής, υπολογίστηκε για τη ψύξη, το φωτισμό, τον εξοπλισμό, τους ανεμιστήρες και τις αντλίες της κατοικίας. Στον Πίνακα 4.2 και στο Διάγραμμα 4.2 παρουσιάζεται η μηνιαία κατανομή κατανάλωσης τελικής ενέργειας ανά χρήση του κτιρίου αναφοράς.

Πίνακας 4.1: Κατανάλωση τελικής ενέργειας ανά πηγή.

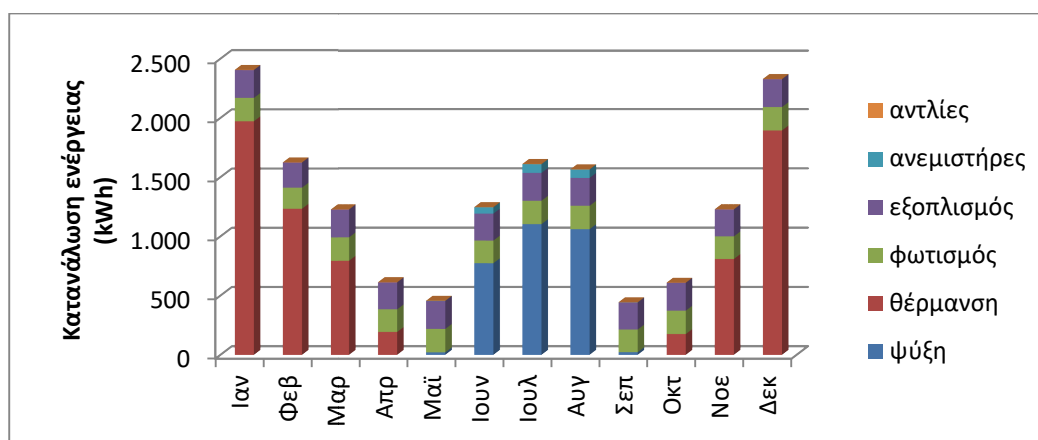
Κατανάλωση	Φυσικό αέριο	Ηλεκτρική ενέργεια	Συνολική κατανάλωση
kWh	7.071	8.304	15.375
kWh/m ²	44,2	51,9	96,1



Διάγραμμα 4.1: Κατανάλωση τελικής ενέργειας ανά πηγή.

Πίνακας 4.2: Μηνιαία κατανομή κατανάλωσης τελικής ενέργειας ανά χρήση (kWh) του κτιρίου αναφοράς.

Μήνας	θέρμανση	ψύξη	φωτισμός	εξοπλισμός	ανεμιστήρες	αντλίες
Ιανουάριος	1972,3	-	197,5	235,0	-	2,4
Φεβρουάριος	1233,9	-	178,3	212,2	-	2,2
Μάρτιος	794,1	-	197,5	235,0	-	2,4
Απρίλιος	193,3	-	191,1	227,4	-	2,3
Μάιος	-	21,7	197,5	235,0	1,8	2,4
Ιούνιος	-	773,5	191,1	227,4	53,4	2,3
Ιούλιος	-	1103,0	197,5	235,0	73,7	2,4
Αύγουστος	-	1060,6	197,5	235,0	71,3	2,4
Σεπτέμβριος	-	23,0	191,1	227,4	1,8	2,3
Οκτώβριος	175,6	-	197,5	235,0	-	2,4
Νοέμβριος	808,7	-	191,1	227,4	-	2,3
Δεκέμβριος	1893,1	-	197,5	235,0	-	2,4
Σύνολο	7071,0	2981,8	2325,2	2766,8	202,0	28,2



Διάγραμμα 4.2: Μηνιαία κατανομή κατανάλωσης τελικής ενέργειας ανά χρήση (kWh) του κτιρίου αναφοράς.

Η ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας, καθώς και οι ετήσιες εκπομπές CO₂ προκύπτουν από το γινόμενο της τελικής κατανάλωσης ανά τελική χρήση και τους συντελεστές μετατροπής σε πρωτογενής ενέργεια όπως δίνονται στην ΤΟΤΕΕ 20701-1/2010 και παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.3. Βάσει των παραπάνω συντελεστών προκύπτουν η πρωτογενής κατανάλωση και οι εκπομπές CO₂ για το κτίριο αναφοράς (Πίνακας 4.4).

Πίνακας 4.3: Συντελεστές μετατροπής σε πρωτογενής ενέργεια και σε εκπεμπόμενους ρύπους.

Πηγή ενέργειας	Πρωτογενής ενέργεια	Εκλυόμενοι ρύποι
Φυσικό αέριο	1,05	0,196
Ηλεκτρική ενέργεια	2,90	0,989

Πίνακας 4.4: Πρωτογενής κατανάλωση και εκπομπές CO₂ για το κτίριο αναφοράς.

Πηγή ενέργειας	Πρωτογενής ενέργεια (kWh/m ²)	Εκλυόμενοι ρύποι (kgCO ₂ /kWh/m ²)
Φυσικό αέριο	46,4	8,7
Ηλεκτρική ενέργεια	150,5	51,3
Σύνολο	196,9	60,0

4.2 Αποτελέσματα Σεναρίων ΜΕΑ

Μετά την δημιουργία των σεναρίων για τα Μέτρα Ενεργειακής Απόδοσης (ΜΕΑ) στο λογισμικό ParametricAnalysisTool (PAT) και την εκτέλεση της ενεργειακής προσομοίωσής τους συνδυαστικά με το λογισμικό EnergyPlus, προέκυψαν τα αποτελέσματα των σεναρίων, τα οποία κατόπιν κατάλληλης επεξεργασίας παρουσιάζονται παρακάτω.

Τα σενάρια ΜΕΑ, για τη διευκόλυνση της μελέτης και της παρουσίασης των αποτελεσμάτων, χωρίστηκαν σε 2 κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία αποτελείται από τα σενάρια ΜΕΑ1-ΜΕΑ45 (καθώς και το ΜΕΑ0 που αποτελεί το κτίριο αναφοράς), που αφορούν συνδυασμούς μέτρων με χρήση λέβητα συμπύκνωσης αερίου για θέρμανση και κλιματιστικού τύπου multi-split για ψύξη, ενώ τα σενάρια ΜΕΑ46-ΜΕΑ90 αφορούν τους αντίστοιχους συνδυασμούς μέτρων με χρήση, όμως, αντλίας θερμότητας για ψύξη και θέρμανση.

4.2.1 Κατανάλωση Τελικής και Πρωτογενούς Ενέργειας

Στους Πίνακες 4.5 και 4.6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της κατανάλωσης τελικής ενέργειας ανά πηγή ενέργειας (ηλεκτρική ενέργεια, φυσικό αέριο) σε kWh/m²/έτος, η παραγόμενη ενέργεια από το φωτοβολταϊκό σύστημα και ο ενεργειακός συμψηφισμός (net metering), δηλαδή η διαφορά της παραγόμενης ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά του κτιρίου με την καταναλισκόμενη ενέργεια από το νοικοκυριό. Αντίστοιχα, στους Πίνακες 4.7 και 4.8 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας σε kWh/m²/έτος.

Όπως ήταν αναμενόμενο, η κατανάλωση τελικής ενέργειας μειώνεται στα ΜΕΑ με μεγαλύτερη θερμική προστασία του κτιρίου (μεγαλύτερο πάχος θερμομόνωσης κελύφους, κουφώματα με χαμηλότερη τιμή θερμοπερατότητας), καθώς και στα σενάρια με μικρότερο ποσοστό ανοιγμάτων προς τοιχοποιία στις βόρειες όψεις του κτιρίου, με τη μείωση της κατανάλωσης να φτάνει στο μέγιστο βαθμό των 96,1 kWh/m²/έτος.

Βάσει του προγράμματος «net metering» σε περίπτωση που ο συμψηφισμός παρουσιάζει πλεόνασμα ενέργειας (μεγαλύτερη παραγωγή ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά σε σχέση με την κατανάλωση ενέργειας από το νοικοκυριό), η περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας «χαρίζεται» στο δίκτυο διανομής ενέργειας και έτσι θεωρούμε ότι η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από την κατοικία είναι μηδενική. Αυτό συμβαίνει στα σενάρια ΜΕΑ25-ΜΕΑ30, ΜΕΑ41-ΜΕΑ45, ΜΕΑ71-ΜΕΑ75 και ΜΕΑ86-ΜΕΑ90, που εξετάζεται φωτοβολταϊκό σύστημα ισχύος 6,1 kWp.

Σημαντική διαφοροποίηση παρατηρείται στην κατανάλωση τελικής ενέργειας μεταξύ των σεναρίων ΜΕΑ1-ΜΕΑ45 και ΜΕΑ46-ΜΕΑ90, καθώς στις περιπτώσεις που χρησιμοποιείται αντλία θερμότητας η κατανάλωση τελικής ενέργειας είναι αισθητά χαμηλότερη (11,2 έως 31,3 kWh/m²/έτος). Μάλιστα, στα σενάρια ΜΕΑ71-ΜΕΑ75 και ΜΕΑ86-ΜΕΑ90, δηλαδή στις περιπτώσεις με φωτοβολταϊκό σύστημα ισχύος 6,1 kWp, και λόγω της μη χρήσης άλλου καυσίμου πέρα της ηλεκτρικής ενέργειας, η συνολική κατανάλωση τελικής ενέργειας είναι μηδενική.

Η διαφοροποίηση που παρατηρείται στην κατανάλωση τελικής ενέργειας μεταξύ των σεναρίων MEA1-MEA45 και MEA46-MEA90, είναι μικρότερη για την κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας, λόγω της χρήση φυσικού αερίου, το οποίο έχει μικρότερο συντελεστή μετατροπής πρωτογενούς ενέργειας (1,05) σε σχέση με την ηλεκτρική ενέργεια (2,90). Η διαφοροποίηση στην κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας μεταξύ των σεναρίων MEA1-MEA45 και MEA46-MEA90 κυμαίνεται από 5,4 έως 23,3 kWh/m²/έτος.

Οι Πίνακες 4.9 και 4.10 καθώς και τα Διαγράμματα 4.3 έως 4.6 δείχνουν την κατανάλωση τελικής ενέργειας ανά χρήση. Όπως μπορεί να διαπιστώσει κανείς, η κατανάλωση ενέργειας για φωτισμό και εξοπλισμό είναι σταθερή σε όλα τα σενάρια MEA, καθώς δεν μελετήθηκε κανένα μέτρο ενεργειακής απόδοσης για τα συστήματα φωτισμού και εξοπλισμού. Σημαντικές μειώσεις επιτεύχθηκαν για τη ζήτηση θέρμανσης, με αποτέλεσμα τη μείωση της πρωτογενούς ενέργειας κατανάλωσης για θέρμανση από 44,2 σε 14,6 kWh/m²/έτος για τα MEA1-MEA45 και από 9,2 σε 3,1 kWh/m²/έτος για τα MEA46-MEA90. Η κατανάλωση ενέργειας για ψύξη δεν έχει μεγάλες επιπτώσεις στη συνολική ενεργειακή κατανάλωση λόγω της βαριάς κατασκευής του κτιρίου και δεν υπόκειται σε μεγάλες διακυμάνσεις. Η κατανάλωση τελικής ενέργειας για ψύξη έχει εύρος από 20,2 έως 18,1 kWh/m²/έτος για όλα τα σενάρια που εξετάστηκαν.

Η κατανάλωση ενέργειας για ζεστό νερό χρήσης (ZNX) δεν αποτυπώνεται στα αποτελέσματα καθώς θεωρήθηκε ότι το ZNX καλύπτεται πλήρως από έναν ηλιακό θερμοσίφωνα με εφεδρική ηλεκτρική αντίσταση σε όλα τα σενάρια.

Πίνακας 4.5: Κατανάλωσης τελικής ενέργειας ανά πηγή (kWh/m²/έτος), παραγόμενη ενέργεια από το φωτοβολταϊκό σύστημα και ενεργειακός συμψηφισμός (net metering).
Σενάρια ΜΕΑ0-ΜΕΑ45.

Σενάρια	Κατανάλωση Τελικής Ενέργειας				Σύνολο
	Φυσικό αέριο	Ηλεκτρική ενέργεια	Φωτο-βολταϊκά	Net metering	
ΜΕΑ 0	44,2	51,9	-	-	96,1
ΜΕΑ 1	41,3	51,8	-	-	93,0
ΜΕΑ 2	39,6	51,7	-	-	91,2
ΜΕΑ 3	37,9	51,6	-	-	89,5
ΜΕΑ 4	35,7	51,4	-	-	87,1
ΜΕΑ 5	33,9	51,3	-	-	85,3
ΜΕΑ 6	31,7	52,6	-	-	84,3
ΜΕΑ 7	30,1	52,5	-	-	82,5
ΜΕΑ 8	28,5	52,4	-	-	80,9
ΜΕΑ 9	26,3	52,3	-	-	78,6
ΜΕΑ 10	24,7	52,2	-	-	76,9
ΜΕΑ 11	22,2	53,5	-	-	75,8
ΜΕΑ 12	20,7	53,4	-	-	74,1
ΜΕΑ 13	19,2	53,4	-	-	72,6
ΜΕΑ 14	17,2	53,3	-	-	70,4
ΜΕΑ 15	15,6	53,2	-	-	68,8
ΜΕΑ 16	22,2	53,5	17,6	35,9	59,0
ΜΕΑ 17	20,7	53,4	17,6	35,8	57,4
ΜΕΑ 18	19,2	53,4	17,6	35,7	55,8
ΜΕΑ 19	17,2	53,3	17,6	35,6	53,7
ΜΕΑ 20	15,6	53,2	17,6	35,5	52,1
ΜΕΑ 21	22,2	53,5	35,2	18,3	42,2
ΜΕΑ 22	20,7	53,4	35,2	18,2	40,6
ΜΕΑ 23	19,2	53,4	35,2	18,1	39,1
ΜΕΑ 24	17,2	53,3	35,2	18,0	37,0
ΜΕΑ 25	15,6	53,2	35,2	17,9	35,3
ΜΕΑ 26	22,2	53,5	70,5	-17,0	22,2
ΜΕΑ 27	20,7	53,4	70,5	-17,1	20,7
ΜΕΑ 28	19,2	53,4	70,5	-17,1	19,2
ΜΕΑ 29	17,2	53,3	70,5	-17,3	17,2
ΜΕΑ 30	15,6	53,2	70,5	-17,3	15,6
ΜΕΑ 31	21,3	53,0	17,6	35,4	57,6
ΜΕΑ 32	19,7	52,9	17,6	35,3	55,9
ΜΕΑ 33	18,2	52,8	17,6	35,2	54,3
ΜΕΑ 34	16,1	52,7	17,6	35,1	52,1
ΜΕΑ 35	14,6	52,7	17,6	35,0	50,5
ΜΕΑ 36	21,3	53,0	35,2	17,8	40,8
ΜΕΑ 37	19,7	52,9	35,2	17,7	39,1
ΜΕΑ 38	18,2	52,8	35,2	17,6	37,5
ΜΕΑ 39	16,1	52,7	35,2	17,5	35,4
ΜΕΑ 40	14,6	52,7	35,2	17,4	33,8
ΜΕΑ 41	21,3	53,0	70,5	-17,5	21,3
ΜΕΑ 42	19,7	52,9	70,5	-17,6	19,7
ΜΕΑ 43	18,2	52,8	70,5	-17,7	18,2
ΜΕΑ 44	16,1	52,7	70,5	-17,8	16,1
ΜΕΑ 45	14,6	52,7	70,5	-17,8	14,6

Πίνακας 4.6: Κατανάλωσης τελικής ενέργειας ανά πηγή (kWh/m²/έτος), παραγόμενη ενέργεια από το φωτοβολταϊκό σύστημα και ενεργειακός συμψηφισμός (net metering).
Σενάρια ΜΕΑ46-ΜΕΑ90.

Σενάρια	Κατανάλωση Τελικής Ενέργειας				Σύνολο
	Φυσικό αέριο	Ηλεκτρική ενέργεια	Φωτο-βολταϊκά	Net metering	
ΜΕΑ 46	0,0	61,7	-	-	61,7
ΜΕΑ 47	0,0	61,3	-	-	61,3
ΜΕΑ 48	0,0	60,9	-	-	60,9
ΜΕΑ 49	0,0	60,3	-	-	60,3
ΜΕΑ 50	0,0	59,9	-	-	59,9
ΜΕΑ 51	0,0	60,2	-	-	60,2
ΜΕΑ 52	0,0	59,8	-	-	59,8
ΜΕΑ 53	0,0	59,3	-	-	59,3
ΜΕΑ 54	0,0	58,8	-	-	58,8
ΜΕΑ 55	0,0	58,7	-	-	58,7
ΜΕΑ 56	0,0	58,3	-	-	58,3
ΜΕΑ 57	0,0	58,3	-	-	58,3
ΜΕΑ 58	0,0	57,9	-	-	57,9
ΜΕΑ 59	0,0	57,3	-	-	57,3
ΜΕΑ 60	0,0	56,9	-	-	56,9
ΜΕΑ 61	0,0	58,7	17,6	41,1	41,9
ΜΕΑ 62	0,0	58,3	17,6	40,6	41,5
ΜΕΑ 63	0,0	57,9	17,6	40,2	41,1
ΜΕΑ 64	0,0	57,3	17,6	39,7	40,6
ΜΕΑ 65	0,0	56,9	17,6	39,3	40,2
ΜΕΑ 66	0,0	58,7	35,2	23,4	25,2
ΜΕΑ 67	0,0	58,3	35,2	23,0	24,8
ΜΕΑ 68	0,0	57,9	35,2	22,6	24,4
ΜΕΑ 69	0,0	57,3	35,2	22,1	23,8
ΜΕΑ 70	0,0	56,9	35,2	21,7	23,4
ΜΕΑ 71	0,0	58,7	70,5	-11,8	0,0
ΜΕΑ 72	0,0	58,3	70,5	-12,3	0,0
ΜΕΑ 73	0,0	57,9	70,5	-12,7	0,0
ΜΕΑ 74	0,0	57,3	70,5	-13,2	0,0
ΜΕΑ 75	0,0	56,9	70,5	-13,6	0,0
ΜΕΑ 76	0,0	57,9	17,6	40,3	41,2
ΜΕΑ 77	0,0	57,5	17,6	39,9	40,7
ΜΕΑ 78	0,0	57,1	17,6	39,5	40,3
ΜΕΑ 79	0,0	56,5	17,6	38,9	39,8
ΜΕΑ 80	0,0	56,1	17,6	38,5	39,3
ΜΕΑ 81	0,0	57,9	35,2	22,7	24,4
ΜΕΑ 82	0,0	57,5	35,2	22,2	24,0
ΜΕΑ 83	0,0	57,1	35,2	21,8	23,6
ΜΕΑ 84	0,0	56,5	35,2	21,3	23,0
ΜΕΑ 85	0,0	56,1	35,2	20,8	22,6
ΜΕΑ 86	0,0	57,9	70,5	-12,6	0,0
ΜΕΑ 87	0,0	57,5	70,5	-13,0	0,0
ΜΕΑ 88	0,0	57,1	70,5	-13,4	0,0
ΜΕΑ 89	0,0	56,5	70,5	-14,0	0,0
ΜΕΑ 90	0,0	56,1	70,5	-14,4	0,0

Πίνακας 4.7: Κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας ανά πηγή (kWh/m²/έτος), παραγόμενη πρωτογενής ενέργεια από το φωτοβολταϊκό σύστημα και ενεργειακός συμψηφισμός (net metering). Σενάρια ΜΕΑ0-ΜΕΑ45.

Σενάρια	Φυσικό αέριο	Ηλεκτρική ενέργεια	Φωτο-βολταϊκά	Net metering	Σύνολο
ΜΕΑ 0	46,4	150,5	-	-	196,9
ΜΕΑ 1	43,3	150,1	-	-	193,4
ΜΕΑ 2	41,5	149,8	-	-	191,3
ΜΕΑ 3	39,8	149,5	-	-	189,3
ΜΕΑ 4	37,4	149,2	-	-	186,7
ΜΕΑ 5	35,6	148,9	-	-	184,5
ΜΕΑ 6	33,3	152,5	-	-	185,8
ΜΕΑ 7	31,6	152,2	-	-	183,8
ΜΕΑ 8	29,9	152,0	-	-	181,9
ΜΕΑ 9	27,7	151,6	-	-	179,3
ΜΕΑ 10	25,9	151,4	-	-	177,3
ΜΕΑ 11	23,3	155,2	-	-	178,6
ΜΕΑ 12	21,7	155,0	-	-	176,7
ΜΕΑ 13	20,2	154,7	-	-	174,9
ΜΕΑ 14	18,0	154,4	-	-	172,5
ΜΕΑ 15	16,4	154,2	-	-	170,6
ΜΕΑ 16	23,3	155,2	51,1	104,1	127,5
ΜΕΑ 17	21,7	155,0	51,1	103,9	125,6
ΜΕΑ 18	20,2	154,7	51,1	103,6	123,8
ΜΕΑ 19	18,0	154,4	51,1	103,3	121,4
ΜΕΑ 20	16,4	154,2	51,1	103,1	119,5
ΜΕΑ 21	23,3	155,2	102,2	53,0	76,4
ΜΕΑ 22	21,7	155,0	102,2	52,8	74,5
ΜΕΑ 23	20,2	154,7	102,2	52,5	72,7
ΜΕΑ 24	18,0	154,4	102,2	52,2	70,3
ΜΕΑ 25	16,4	154,2	102,2	52,0	68,4
ΜΕΑ 26	23,3	155,2	204,5	-49,2	23,3
ΜΕΑ 27	21,7	155,0	204,5	-49,5	21,7
ΜΕΑ 28	20,2	154,7	204,5	-49,7	20,2
ΜΕΑ 29	18,0	154,4	204,5	-50,0	18,0
ΜΕΑ 30	16,4	154,2	204,5	-50,3	16,4
ΜΕΑ 31	22,4	153,8	51,1	102,7	125,0
ΜΕΑ 32	20,7	153,5	51,1	102,4	123,1
ΜΕΑ 33	19,1	153,2	51,1	102,1	121,2
ΜΕΑ 34	16,9	152,9	51,1	101,8	118,8
ΜΕΑ 35	15,3	152,7	51,1	101,6	116,9
ΜΕΑ 36	22,4	153,8	102,2	51,6	73,9
ΜΕΑ 37	20,7	153,5	102,2	51,3	71,9
ΜΕΑ 38	19,1	153,2	102,2	51,0	70,1
ΜΕΑ 39	16,9	152,9	102,2	50,7	67,7
ΜΕΑ 40	15,3	152,7	102,2	50,5	65,8
ΜΕΑ 41	22,4	153,8	204,5	-50,7	22,4
ΜΕΑ 42	20,7	153,5	204,5	-51,0	20,7
ΜΕΑ 43	19,1	153,2	204,5	-51,2	19,1
ΜΕΑ 44	16,9	152,9	204,5	-51,5	16,9
ΜΕΑ 45	15,3	152,7	204,5	-51,7	15,3

Πίνακας 4.8: Κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας ανά πηγή (kWh/m²/έτος), παραγόμενη πρωτογενής ενέργεια από το φωτοβολταϊκό σύστημα και ενεργειακός συμψηφισμός (net metering). Σενάρια ΜΕΑ46-ΜΕΑ90.

Σενάρια	Φυσικό αέριο	Ηλεκτρική ενέργεια	Φωτο-βολταϊκά	Net metering	Σύνολο
ΜΕΑ 46	0,0	179,1	-	-	179,1
ΜΕΑ 47	0,0	177,8	-	-	177,8
ΜΕΑ 48	0,0	176,6	-	-	176,6
ΜΕΑ 49	0,0	175,0	-	-	175,0
ΜΕΑ 50	0,0	173,7	-	-	173,7
ΜΕΑ 51	0,0	174,5	-	-	174,5
ΜΕΑ 52	0,0	173,3	-	-	173,3
ΜΕΑ 53	0,0	172,1	-	-	172,1
ΜΕΑ 54	0,0	170,5	-	-	170,5
ΜΕΑ 55	0,0	170,2	-	-	170,2
ΜΕΑ 56	0,0	169,2	-	-	169,2
ΜΕΑ 57	0,0	168,9	-	-	168,9
ΜΕΑ 58	0,0	167,8	-	-	167,8
ΜΕΑ 59	0,0	166,2	-	-	166,2
ΜΕΑ 60	0,0	165,0	-	-	165,0
ΜΕΑ 61	0,0	170,2	51,1	119,1	119,1
ΜΕΑ 62	0,0	168,9	51,1	117,8	117,8
ΜΕΑ 63	0,0	167,8	51,1	116,7	116,7
ΜΕΑ 64	0,0	166,2	51,1	115,1	115,1
ΜΕΑ 65	0,0	165,0	51,1	113,9	113,9
ΜΕΑ 66	0,0	170,2	102,2	67,9	67,9
ΜΕΑ 67	0,0	168,9	102,2	66,7	66,7
ΜΕΑ 68	0,0	167,8	102,2	65,6	65,6
ΜΕΑ 69	0,0	166,2	102,2	64,0	64,0
ΜΕΑ 70	0,0	165,0	102,2	62,8	62,8
ΜΕΑ 71	0,0	170,2	204,5	-34,3	0,0
ΜΕΑ 72	0,0	168,9	204,5	-35,5	0,0
ΜΕΑ 73	0,0	167,8	204,5	-36,7	0,0
ΜΕΑ 74	0,0	166,2	204,5	-38,2	0,0
ΜΕΑ 75	0,0	165,0	204,5	-39,5	0,0
ΜΕΑ 76	0,0	168,0	51,1	116,9	116,9
ΜΕΑ 77	0,0	166,7	51,1	115,6	115,6
ΜΕΑ 78	0,0	165,5	51,1	114,4	114,4
ΜΕΑ 79	0,0	163,9	51,1	112,8	112,8
ΜΕΑ 80	0,0	162,6	51,1	111,6	111,6
ΜΕΑ 81	0,0	168,0	102,2	65,8	65,8
ΜΕΑ 82	0,0	166,7	102,2	64,5	64,5
ΜΕΑ 83	0,0	165,5	102,2	63,3	63,3
ΜΕΑ 84	0,0	163,9	102,2	61,7	61,7
ΜΕΑ 85	0,0	162,6	102,2	60,4	60,4
ΜΕΑ 86	0,0	168,0	204,5	-36,5	0,0
ΜΕΑ 87	0,0	166,7	204,5	-37,7	0,0
ΜΕΑ 88	0,0	165,5	204,5	-38,9	0,0
ΜΕΑ 89	0,0	163,9	204,5	-40,6	0,0
ΜΕΑ 90	0,0	162,6	204,5	-41,8	0,0

Πίνακας 4.9: Κατανάλωση τελικής ενέργειας ανά τελική χρήση (kWh/m²/έτος).

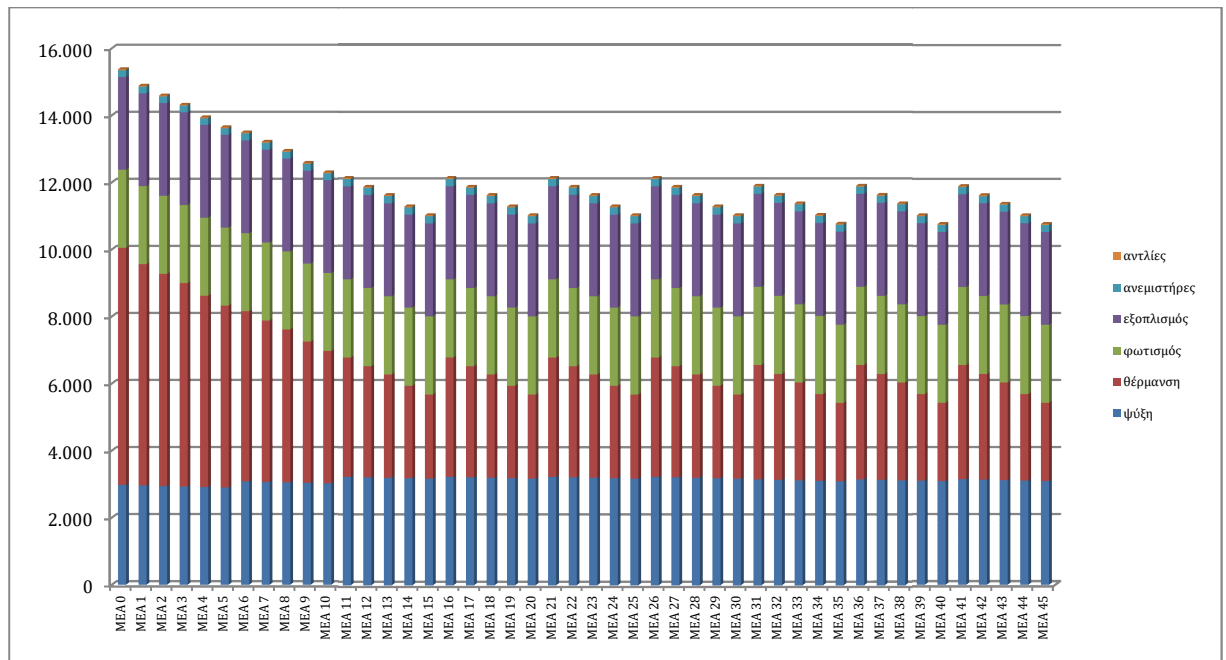
Σενάρια MEA0-MEA45.

	θέρμανση (kWh)	ψύξη (kWh)	φωτισμός (kWh)	εξοπλισμός (kWh)	ανεμιστήρες (kWh)	αντλίες (kWh)
MEA 0	44,2	18,6	14,6	17,3	1,2	0,2
MEA 1	41,3	18,5	14,6	17,3	1,2	0,2
MEA 2	39,6	18,4	14,6	17,3	1,2	0,2
MEA 3	37,9	18,3	14,6	17,3	1,2	0,2
MEA 4	35,7	18,2	14,6	17,3	1,2	0,2
MEA 5	33,9	18,1	14,6	17,3	1,2	0,2
MEA 6	31,7	19,3	14,6	17,3	1,3	0,2
MEA 7	30,1	19,2	14,6	17,3	1,3	0,2
MEA 8	28,5	19,1	14,6	17,3	1,3	0,2
MEA 9	26,3	19,0	14,6	17,3	1,3	0,2
MEA 10	24,7	18,9	14,6	17,3	1,3	0,2
MEA 11	22,2	20,2	14,6	17,3	1,4	0,2
MEA 12	20,7	20,1	14,6	17,3	1,4	0,2
MEA 13	19,2	20,0	14,6	17,3	1,4	0,2
MEA 14	17,2	19,9	14,6	17,3	1,4	0,2
MEA 15	15,6	19,8	14,6	17,3	1,3	0,2
MEA 16	22,2	20,2	14,6	17,3	1,4	0,2
MEA 17	20,7	20,1	14,6	17,3	1,4	0,2
MEA 18	19,2	20,0	14,6	17,3	1,4	0,2
MEA 19	17,2	19,9	14,6	17,3	1,4	0,2
MEA 20	15,6	19,8	14,6	17,3	1,3	0,2
MEA 21	22,2	20,2	14,6	17,3	1,4	0,2
MEA 22	20,7	20,1	14,6	17,3	1,4	0,2
MEA 23	19,2	20,0	14,6	17,3	1,4	0,2
MEA 24	17,2	19,9	14,6	17,3	1,4	0,2
MEA 25	15,6	19,8	14,6	17,3	1,3	0,2
MEA 26	22,2	20,2	14,6	17,3	1,4	0,2
MEA 27	20,7	20,1	14,6	17,3	1,4	0,2
MEA 28	19,2	20,0	14,6	17,3	1,4	0,2
MEA 29	17,2	19,9	14,6	17,3	1,4	0,2
MEA 30	15,6	19,8	14,6	17,3	1,3	0,2
MEA 31	21,3	19,7	14,6	17,3	1,3	0,2
MEA 32	19,7	19,6	14,6	17,3	1,3	0,2
MEA 33	18,2	19,5	14,6	17,3	1,3	0,2
MEA 34	16,1	19,4	14,6	17,3	1,3	0,2
MEA 35	14,6	19,3	14,6	17,3	1,3	0,2
MEA 36	21,3	19,7	14,6	17,3	1,3	0,2
MEA 37	19,7	19,6	14,6	17,3	1,3	0,2
MEA 38	18,2	19,5	14,6	17,3	1,3	0,2
MEA 39	16,1	19,4	14,6	17,3	1,3	0,2
MEA 40	14,6	19,3	14,6	17,3	1,3	0,2
MEA 41	21,3	19,7	14,6	17,3	1,3	0,2
MEA 42	19,7	19,6	14,6	17,3	1,3	0,2
MEA 43	18,2	19,5	14,6	17,3	1,3	0,2
MEA 44	16,1	19,4	14,6	17,3	1,3	0,2
MEA 45	14,6	19,3	14,6	17,3	1,3	0,2

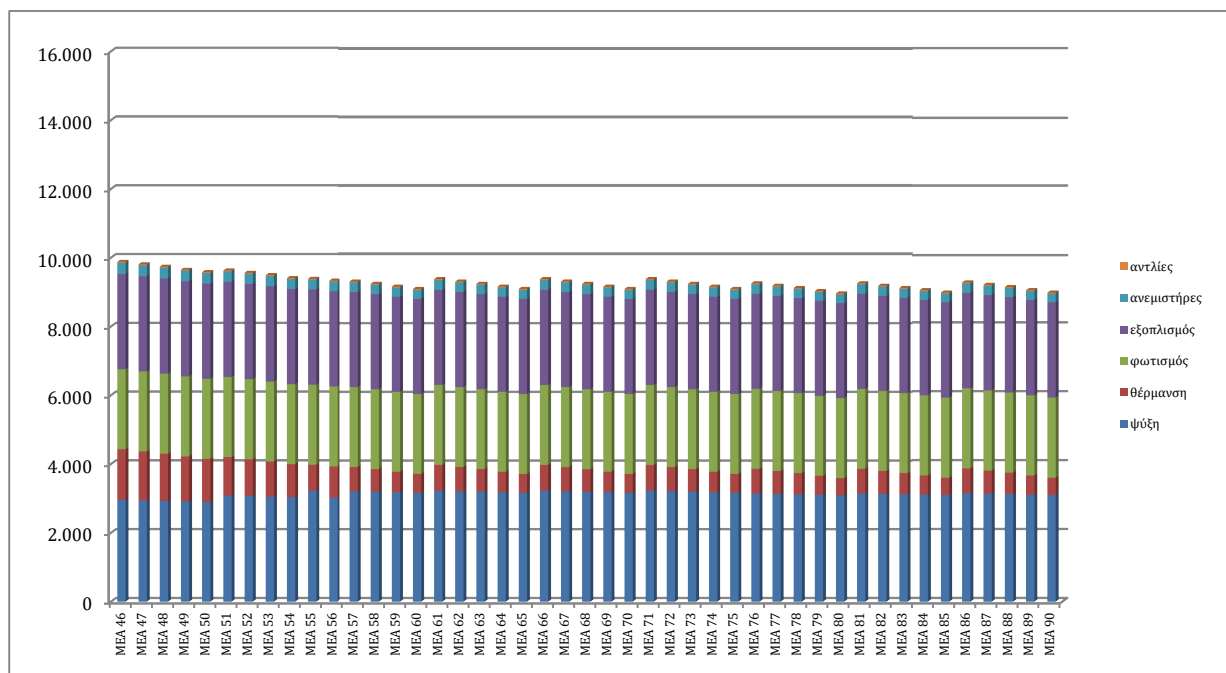
Πίνακας 4.10: Κατανάλωση τελικής ενέργειας ανά τελική χρήση (kWh/m²/έτος).

Σενάρια MEA46-MEA90.

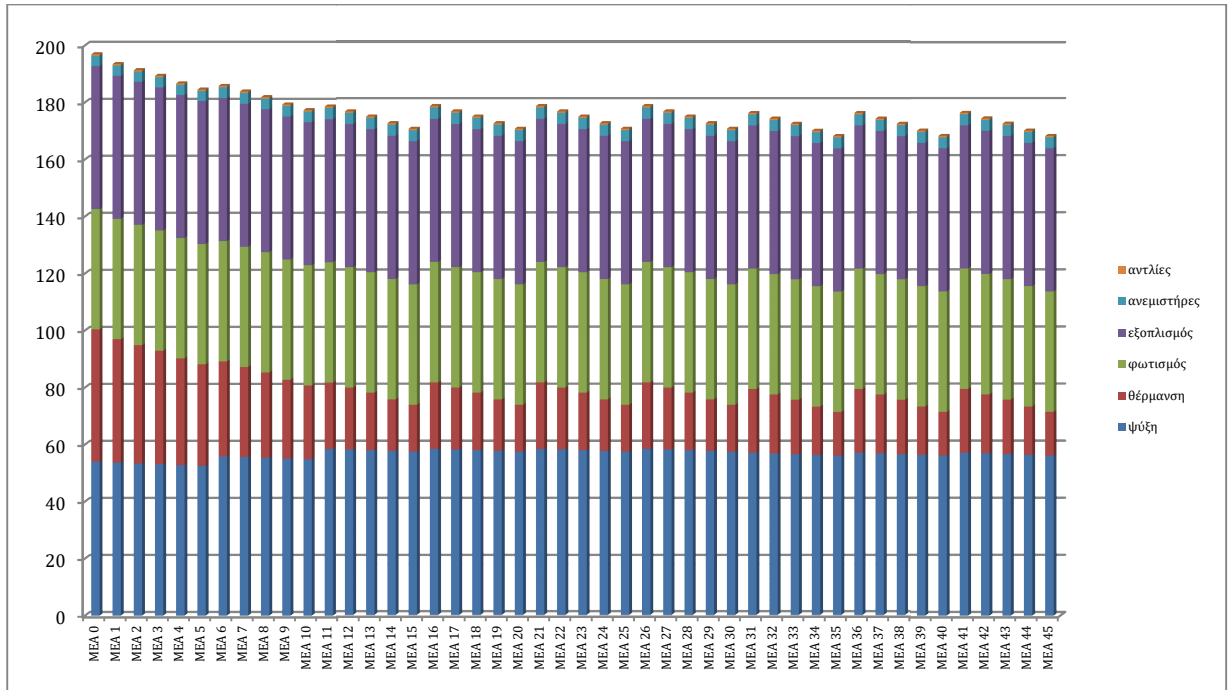
	θέρμανση (kWh)	ψύξη (kWh)	φωτισμός (kWh)	εξοπλισμός (kWh)	ανεμιστήρες (kWh)	αντλίες (kWh)
MEA 46	9,2	18,5	14,6	17,3	2,0	0,2
MEA 47	8,9	18,4	14,6	17,3	2,0	0,2
MEA 48	8,6	18,3	14,6	17,3	2,0	0,2
MEA 49	8,2	18,2	14,6	17,3	1,9	0,2
MEA 50	7,9	18,1	14,6	17,3	1,9	0,2
MEA 51	7,0	19,3	14,6	17,3	1,9	0,2
MEA 52	6,7	19,2	14,6	17,3	1,9	0,2
MEA 53	6,4	19,1	14,6	17,3	1,9	0,2
MEA 54	6,0	19,0	14,6	17,3	1,8	0,2
MEA 55	4,7	20,2	14,6	17,3	1,8	0,2
MEA 56	5,7	18,9	14,6	17,3	1,8	0,2
MEA 57	4,4	20,1	14,6	17,3	1,8	0,2
MEA 58	4,1	20,0	14,6	17,3	1,7	0,2
MEA 59	3,7	19,9	14,6	17,3	1,7	0,2
MEA 60	3,4	19,8	14,6	17,3	1,6	0,2
MEA 61	4,7	20,2	14,6	17,3	1,8	0,2
MEA 62	4,4	20,1	14,6	17,3	1,8	0,2
MEA 63	4,1	20,0	14,6	17,3	1,7	0,2
MEA 64	3,7	19,9	14,6	17,3	1,7	0,2
MEA 65	3,4	19,8	14,6	17,3	1,6	0,2
MEA 66	4,7	20,2	14,6	17,3	1,8	0,2
MEA 67	4,4	20,1	14,6	17,3	1,8	0,2
MEA 68	4,1	20,0	14,6	17,3	1,7	0,2
MEA 69	3,7	19,9	14,6	17,3	1,7	0,2
MEA 70	3,4	19,8	14,6	17,3	1,6	0,2
MEA 71	4,7	20,2	14,6	17,3	1,8	0,2
MEA 72	4,4	20,1	14,6	17,3	1,8	0,2
MEA 73	4,1	20,0	14,6	17,3	1,7	0,2
MEA 74	3,7	19,9	14,6	17,3	1,7	0,2
MEA 75	3,4	19,8	14,6	17,3	1,6	0,2
MEA 76	4,5	19,7	14,6	17,3	1,7	0,2
MEA 77	4,2	19,6	14,6	17,3	1,7	0,2
MEA 78	3,9	19,5	14,6	17,3	1,7	0,2
MEA 79	3,5	19,4	14,6	17,3	1,6	0,2
MEA 80	3,1	19,3	14,6	17,3	1,6	0,2
MEA 81	4,5	19,7	14,6	17,3	1,7	0,2
MEA 82	4,2	19,6	14,6	17,3	1,7	0,2
MEA 83	3,9	19,5	14,6	17,3	1,7	0,2
MEA 84	3,5	19,4	14,6	17,3	1,6	0,2
MEA 85	3,1	19,3	14,6	17,3	1,6	0,2
MEA 86	4,5	19,7	14,6	17,3	1,7	0,2
MEA 87	4,2	19,6	14,6	17,3	1,7	0,2
MEA 88	3,9	19,5	14,6	17,3	1,7	0,2
MEA 89	3,5	19,4	14,6	17,3	1,6	0,2
MEA 90	3,1	19,3	14,6	17,3	1,6	0,2



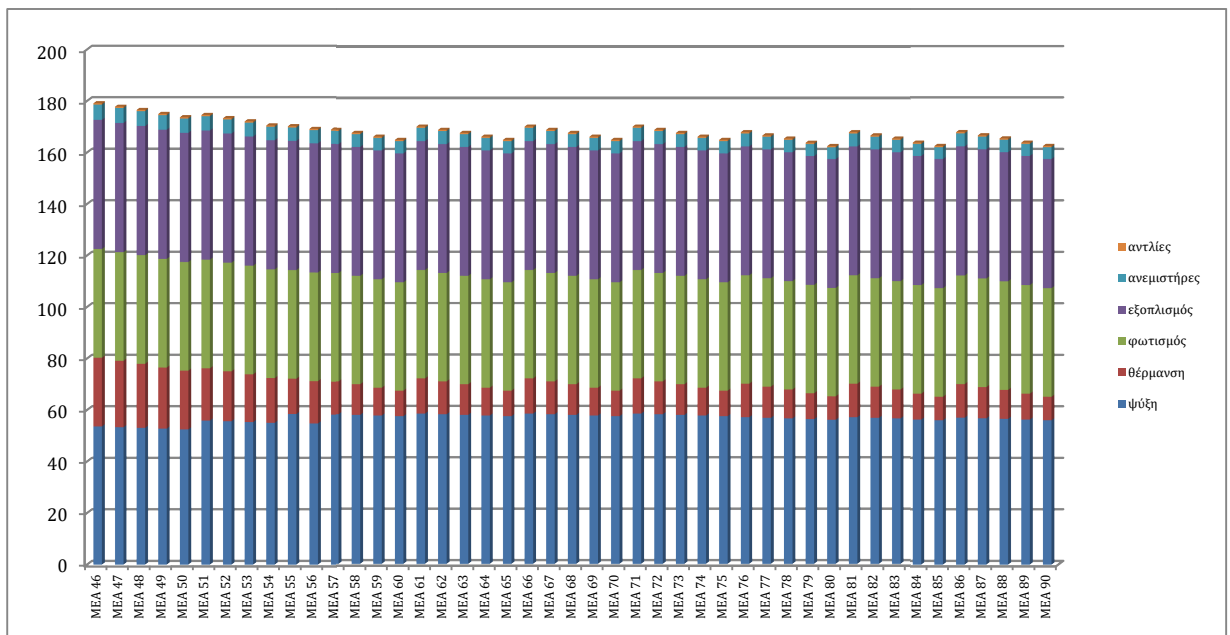
Διάγραμμα 4.3: Κατανάλωση τελικής ενέργειας ανά τελική χρήση (kWh/έτος). Σενάρια MEA0-MEA45.



Διάγραμμα 4.4: Κατανάλωση τελικής ενέργειας ανά τελική χρήση (kWh/έτος). Σενάρια MEA46-MEA90.



Διάγραμμα 4.5: Κατανάλωση τελικής ενέργειας ανά τελική χρήση (kWh/m²/έτος).
Σενάρια MEA0-MEA45.



Διάγραμμα 4.6: Κατανάλωση τελικής ενέργειας ανά τελική χρήση (kWh/m²/έτος).
Σενάρια MEA46-MEA90.

4.2.2 Εκπομπές CO₂

Στους Πίνακες 4.11 και 4.12 παρουσιάζεται η συνολική και η ανά πηγή ενέργειας εκπομπή ρύπων (CO₂) για τα σενάρια των MEA1-45 και MEA46-90 αντίστοιχα. Η μείωση της κατανάλωσης τελικής ενέργειας συμβάλει στη μείωση των εκπομπών CO₂, από 60,0 kg/m² που υπολογίστηκε για το κτίριο αναφοράς στα 55,6 kg/m² και στα 56,3 kg/m² για τα σενάρια με λέβητα φυσικού αερίου και αντλία θερμότητας αντίστοιχα, χωρίς χρήση φωτοβολταϊκού συστήματος. Στα σενάρια με χρήση φωτοβολταϊκών οι εκπομπές ρύπων μειώνονται μέχρι και στα 2,9 kg/m² για τα σενάρια με λέβητα φυσικού αερίου, ενώ για τα σενάρια με αντλίες θερμότητας οι εκπομπές φτάνουν ακόμη και σε μηδενικό επίπεδο.

Στα σενάρια που ο συμψηφισμός (net metering) παρουσιάζει πλεόνασμα ενέργειας, δηλαδή έχουμε αρνητικές τιμές εκπομπών CO₂ για κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, αποτυπώνεται στους πίνακες με μηδενικές τιμές. Παρόλα αυτά η περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας που διοχετεύεται στο δίκτυο διανομής ενέργειας είναι «καθαρή» από εκπομπές ρύπων με σημαντικό περιβαλλοντικό όφελος για την κοινωνία.

Πίνακας 4.11: Εκπεμπόμενοι ρύποι (CO₂) ανά πηγή ενέργειας. Σενάρια ΜΕΑ0-45.

Σενάρια	Ηλεκτρική ενέργεια (kg/m ²)	Φυσικό αέριο (kg/m ²)	Σύνολο εκλυόμενων ρύπων (kg/m ²)
ΜΕΑ 0	51,3	8,7	60,0
ΜΕΑ 1	51,2	8,1	59,3
ΜΕΑ 2	51,1	7,8	58,8
ΜΕΑ 3	51,0	7,4	58,4
ΜΕΑ 4	50,9	7,0	57,9
ΜΕΑ 5	50,8	6,6	57,4
ΜΕΑ 6	52,0	6,2	58,2
ΜΕΑ 7	51,9	5,9	57,8
ΜΕΑ 8	51,8	5,6	57,4
ΜΕΑ 9	51,7	5,2	56,9
ΜΕΑ 10	51,6	4,8	56,5
ΜΕΑ 11	52,9	4,4	57,3
ΜΕΑ 12	52,9	4,0	56,9
ΜΕΑ 13	52,8	3,8	56,5
ΜΕΑ 14	52,7	3,4	56,0
ΜΕΑ 15	52,6	3,1	55,6
ΜΕΑ 16	35,5	4,4	39,9
ΜΕΑ 17	35,4	4,0	39,5
ΜΕΑ 18	35,3	3,8	39,1
ΜΕΑ 19	35,2	3,4	38,6
ΜΕΑ 20	35,2	3,1	38,2
ΜΕΑ 21	18,1	4,4	22,4
ΜΕΑ 22	18,0	4,0	22,1
ΜΕΑ 23	17,9	3,8	21,7
ΜΕΑ 24	17,8	3,4	21,2
ΜΕΑ 25	17,7	3,1	20,8
ΜΕΑ 26	0,0	4,4	4,4
ΜΕΑ 27	0,0	4,0	4,0
ΜΕΑ 28	0,0	3,8	3,8
ΜΕΑ 29	0,0	3,4	3,4
ΜΕΑ 30	0,0	3,1	3,1
ΜΕΑ 31	35,0	4,2	39,2
ΜΕΑ 32	34,9	3,9	38,8
ΜΕΑ 33	34,8	3,6	38,4
ΜΕΑ 34	34,7	3,2	37,9
ΜΕΑ 35	34,7	2,9	37,5
ΜΕΑ 36	17,6	4,2	21,8
ΜΕΑ 37	17,5	3,9	21,3
ΜΕΑ 38	17,4	3,6	21,0
ΜΕΑ 39	17,3	3,2	20,5
ΜΕΑ 40	17,2	2,9	20,1
ΜΕΑ 41	0,0	4,2	4,2
ΜΕΑ 42	0,0	3,9	3,9
ΜΕΑ 43	0,0	3,6	3,6
ΜΕΑ 44	0,0	3,2	3,2
ΜΕΑ 45	0,0	2,9	2,9

Πίνακας 4.12: Εκπεμπόμενοι ρύποι (CO₂) ανά πηγή ενέργειας. Σενάρια ΜΕΑ46-90.

Σενάρια	Ηλεκτρική ενέργεια (kg/m ²)	Φυσικό αέριο (kg/m ²)	Σύνολο εκλυόμενων ρύπων (kg/m ²)
ΜΕΑ 46	61,1	0,0	61,1
ΜΕΑ 47	60,6	0,0	60,6
ΜΕΑ 48	60,2	0,0	60,2
ΜΕΑ 49	59,7	0,0	59,7
ΜΕΑ 50	59,2	0,0	59,2
ΜΕΑ 51	59,5	0,0	59,5
ΜΕΑ 52	59,1	0,0	59,1
ΜΕΑ 53	58,7	0,0	58,7
ΜΕΑ 54	58,1	0,0	58,1
ΜΕΑ 55	58,0	0,0	58,0
ΜΕΑ 56	57,7	0,0	57,7
ΜΕΑ 57	57,6	0,0	57,6
ΜΕΑ 58	57,2	0,0	57,2
ΜΕΑ 59	56,7	0,0	56,7
ΜΕΑ 60	56,3	0,0	56,3
ΜΕΑ 61	40,6	0,0	40,6
ΜΕΑ 62	40,2	0,0	40,2
ΜΕΑ 63	39,8	0,0	39,8
ΜΕΑ 64	39,3	0,0	39,3
ΜΕΑ 65	38,9	0,0	38,9
ΜΕΑ 66	23,2	0,0	23,2
ΜΕΑ 67	22,8	0,0	22,8
ΜΕΑ 68	22,4	0,0	22,4
ΜΕΑ 69	21,8	0,0	21,8
ΜΕΑ 70	21,4	0,0	21,4
ΜΕΑ 71	0,0	0,0	0,0
ΜΕΑ 72	0,0	0,0	0,0
ΜΕΑ 73	0,0	0,0	0,0
ΜΕΑ 74	0,0	0,0	0,0
ΜΕΑ 75	0,0	0,0	0,0
ΜΕΑ 76	39,9	0,0	39,9
ΜΕΑ 77	39,4	0,0	39,4
ΜΕΑ 78	39,0	0,0	39,0
ΜΕΑ 79	38,5	0,0	38,5
ΜΕΑ 80	38,0	0,0	38,0
ΜΕΑ 81	22,4	0,0	22,4
ΜΕΑ 82	22,0	0,0	22,0
ΜΕΑ 83	21,6	0,0	21,6
ΜΕΑ 84	21,0	0,0	21,0
ΜΕΑ 85	20,6	0,0	20,6
ΜΕΑ 86	0,0	0,0	0,0
ΜΕΑ 87	0,0	0,0	0,0
ΜΕΑ 88	0,0	0,0	0,0
ΜΕΑ 89	0,0	0,0	0,0
ΜΕΑ 90	0,0	0,0	0,0

4.2.3 Υπολογισμός Βέλτιστου Κόστους Κατασκευής

Οι οικονομικοί υπολογισμοί περιλαμβάνουν τον υπολογισμό του κόστους κατασκευής και του κόστους καταναλισκόμενης ενέργειας για 30 χρόνια (Πίνακες Β.1-Β.4). Για το κόστος κατασκευής δεν υπολογίστηκε το συνολικό κατασκευαστικό κόστος του κτιρίου, αλλά μόνο το κόστη για τα δομικά στοιχεία και συστατικά που σχετίζονται με την ενεργειακή απόδοσή του (σχετικό κατασκευαστικό κόστος ενεργειακής απόδοσης). Τα κόστη που υπολογίστηκαν αφορούν:

- τη θερμομόνωση,
- τα εξωτερικά κουφώματα,
- τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης (λέβητες, αντλίες θερμότητας, a/c),
- και τα φωτοβολταϊκά συστήματα.

Σε όλες τις περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκε ένα δίκτυο διανομής και τερματικών μονάδων για θέρμανση καθώς και ένας ηλιακός θερμοσίφωνας για παροχή ζεστού νερού χρήσης, τα οποία είναι κοινά για όλα τα σενάρια και δεν συμπεριλήφθηκαν στο σχετικό κατασκευαστικό κόστος της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου. Για τα δομικά στοιχεία με διάρκεια ζωής βραχύτερη από την περίοδο υπολογισμού (πχ. λέβητας φυσικού αερίου), προβλέπεται το κόστος αντικατάστασής τους στο τέλος της διάρκειας ζωής τους και εκτιμάται η υπολειμματική αξία τους.

Οι δαπάνες που προέρχονται από την επίδραση του κόστους συντήρησης για τα τεχνικά στοιχεία του κτιρίου, υπολογίστηκαν ως ποσοστό του αρχικού κόστους επένδυσης, ενώ το κόστος διάθεσης, δεν συμπεριλήφθηκε στον υπολογισμό του συνολικού κόστους, καθώς δεν υπάρχουν αξιόπιστα διαθέσιμα δεδομένα.

Το κόστος εργασίας, το κόστος υλικών, τα γενικά έξοδα, το μερίδιο των δαπανών διαχείρισης και σχεδιασμού του έργου, καθώς και το Φ.Π.Α. συμπεριλαμβάνονται στο σχετικό κατασκευαστικό κόστος της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου.

Το συνολικό κόστος της ενεργειακής απόδοσης υπολογίζεται ως το άθροισμα του κόστους κατασκευής, συντήρησης και αντικατάστασης των δομικών και τεχνικών στοιχείων που σχετίζονται με την ενεργειακή απόδοση, και του ενεργειακού κόστους για 30 χρόνια, συμπεριλαμβανομένης της καταναλισκόμενης ενέργειας για όλους τους τύπους τελικής χρήσης (θέρμανση, ψύξη, φωτισμός, εξοπλισμός, κτλ), ενώ το προεξοφλητικό επιτόκιο καθορίστηκε σε 4 % σε πραγματικούς όρους. Η καθαρή παρούσα αξία (NPV) του συνολικού κόστους ενεργειακής απόδοσης των σεναρίων υπολογίστηκε βάσει του προτύπου EN 15459 (Πίνακες B.5 & B.6), και παρουσιάζεται συνοπτικά σε σχέση με το αρχικό κόστος της επένδυσης και την κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας στον Πίνακα 4.13.

Με βάση τους υπολογισμούς για τη χρήση πρωτογενούς ενέργειας και για το συνολικό κόστος των διαφορετικών σεναρίων MEA που αξιολογήθηκαν, σχεδιάστηκε το Διάγραμμα 4.7, όπου ο άξονας τετμημένων αφορά την κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας προς την ωφέλιμη επιφάνεια δαπέδου ανά έτος ($\text{kWh/m}^2/\text{έτος}$) και ο άξονας τεταγμένων το συνολικό κόστος προς την ωφέλιμη επιφάνεια δαπέδου (€/m^2). Για λόγους ευκολότερης μελέτης τα σενάρια διαχωρίστηκαν στο Διάγραμμα 4.8 για τα σενάρια MEA0-MEA45 και στο Διάγραμμα 4.9 για τα σενάρια MEA49-MEA90. Όπως μπορεί εύκολα να διαπιστωθεί τα σενάρια μπορούν να διαχωριστούν σε 4 υποσύνολα, όπου εντός κάθε υποσυνόλου παρατηρείται μικρή μείωση κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας για σημαντική αύξηση του συνολικού κόστους. Κάθε υποσύνολο αντιπροσωπεύει μια ομάδα μέτρων. Έτσι, το υποσύνολο με τη μεγαλύτερη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας αποτελείται από τα σενάρια MEA που αφορούν μόνο τη θερμομόνωση του κελύφους και τα ενεργειακά κουφώματα, ενώ ακολουθούν τα υποσύνολα με τα σενάρια, στα οποία γίνεται χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων. Όσο μεγαλύτερη η ισχύς του φωτοβολταϊκού συστήματος τόσο μειώνεται, όπως είναι αναμενόμενο, η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας. Επίσης, εντός των υποσυνόλων, παρατηρείται ότι τα σενάρια με θερμομόνωση ΘΚ1 και ΘΚ2 παρουσιάζουν βέλτιστα κόστη σε σχέση με τα μέτρα που χρησιμοποιούν θερμομόνωση με μεγαλύτερα πάχη, γεγονός που δείχνει ότι η χρήση θερμομόνωσης με πάχος μεγαλύτερο των 10 cm είναι

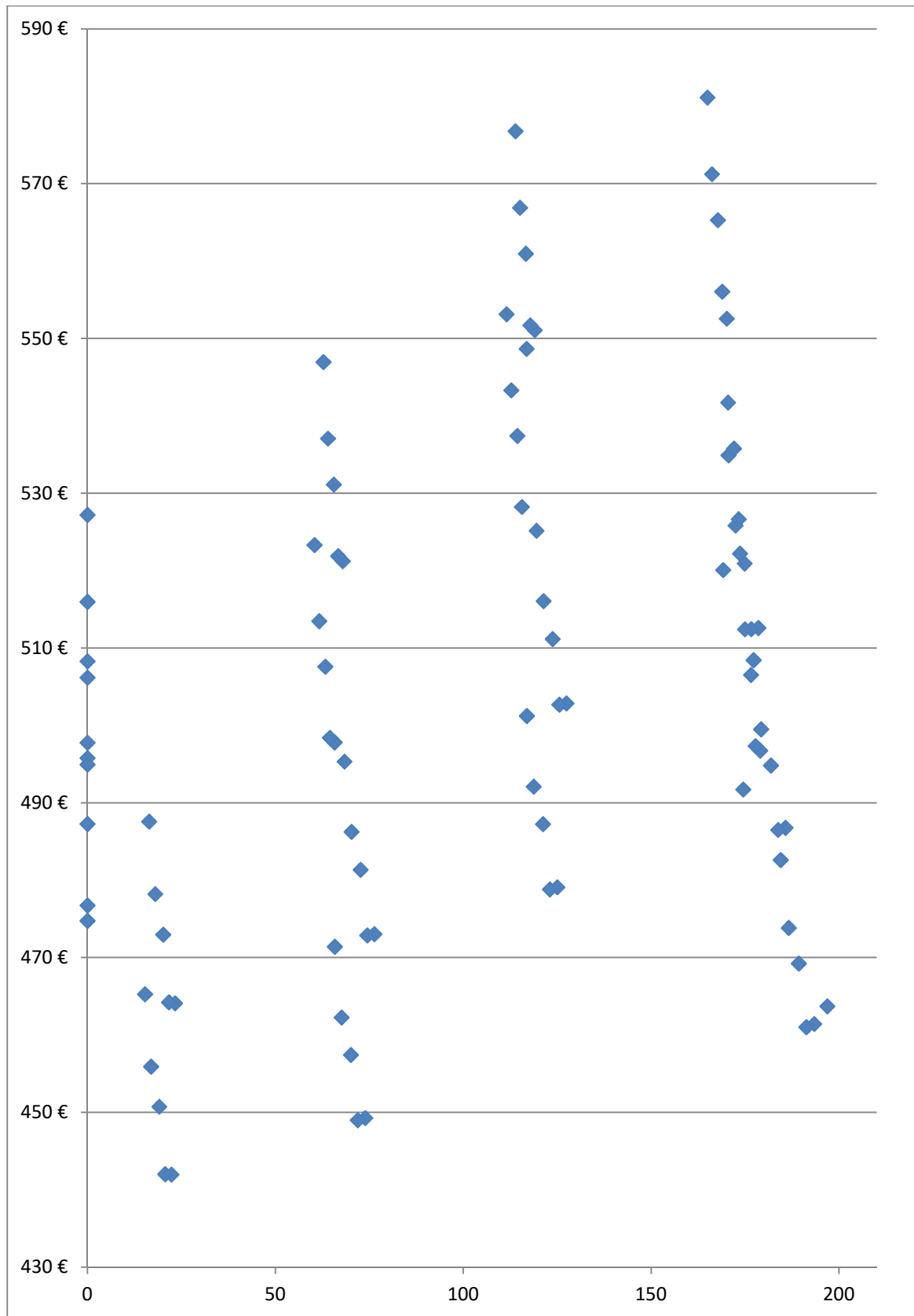
οικονομικά ασύμφορη σε σχέση με την εξοικονόμηση ενέργειας που προσφέρουν. Χαμηλότερα συνολικά κόστη παρουσιάζουν επίσης τα σενάρια με μικρότερη αναλογία ανοιγμάτων προς τοιχοποιία για τη βόρεια όψη. Τέλος, παρατηρείται ότι η λύση των σεναρίων με χρήση αντλίας θερμότητας παρουσιάζει μεγαλύτερα κόστη σε σχέση με τα σενάρια που χρησιμοποιούν λέβητες φυσικού αερίου και κλιματιστικές μονάδες, λόγω του μεγάλου αρχικού κόστους επένδυσης των αντλιών θερμότητας, που με τις σημερινές συνθήκες της αγοράς κρίνονται ασύμφωρες.

Εν κατακλείδι, το σενάριο MEA42, για το οποίο έχει επιλεγθεί θερμομόνωση ΘΚ2, κουφώματα ΕΚ2, φωτοβολταϊκό σύστημα ΦΒ3, αναλογία ανοιγμάτων προς τοιχοποιία για τη βόρεια όψη ΠΑ1 και τεχνικό σύστημα με λέβητα φυσικού αερίου και κλιματιστικές μονάδες για θέρμανση και ψύξη, αποτελεί τη βέλτιστη οικονομικά λύση, με συνολικό κατασκευαστικό κόστος ενεργειακής απόδοσης 442,0 €/m² και κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας 20,7 kWh/m²/έτος.

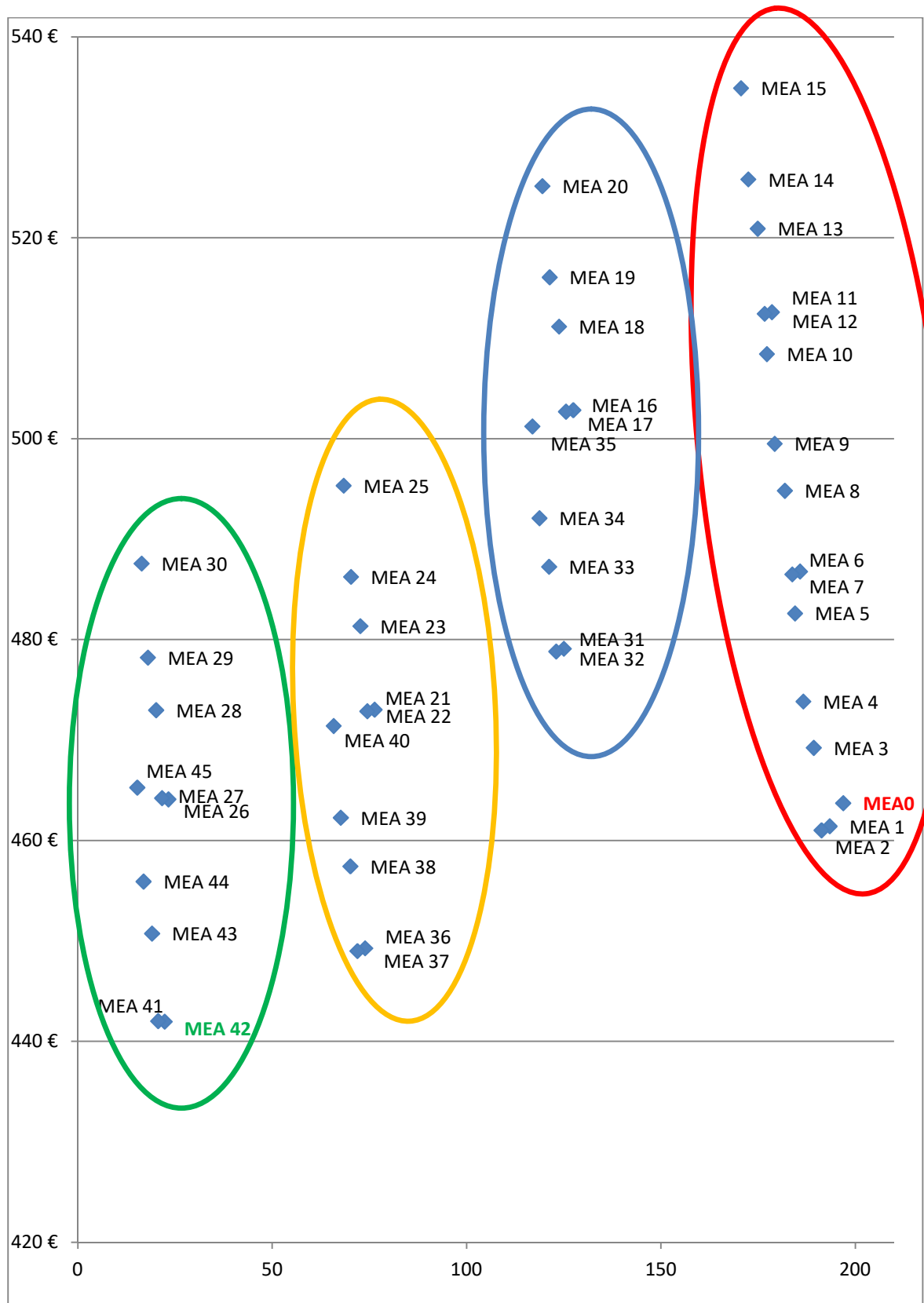
Από την άλλη, το βέλτιστο από άποψη κόστους σενάριο για κτίριο μηδενικής κατανάλωσης (ZEB) είναι το MEA86, για το οποίο έχει επιλεγθεί θερμομόνωση ΘΚ1, κουφώματα ΕΚ2, φωτοβολταϊκό σύστημα ΦΒ3, αναλογία ανοιγμάτων προς τοιχοποιία για τη βόρεια όψη ΠΑ1 και τεχνικό σύστημα αντλίας θερμότητας για θέρμανση και ψύξη, με συνολικό κατασκευαστικό κόστος ενεργειακής απόδοσης 474,8 €/m² και μηδενική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας. Αξίζει να σημειωθεί ότι παρόλο το ότι τα σενάρια με φωτοβολταϊκό σύστημα ΦΒ3 είναι τα χαμηλότερα από άποψη κατανάλωσης ενέργειας, η περίσσεια ενέργειας που διοχετεύεται στο δίκτυο παροχής ενέργειας, είναι σημαντική. Έτσι, με ακριβέστερη μελέτη και διαστασιολόγηση του φωτοβολταϊκού συστήματος, είναι δυνατόν να επιτευχθούν λύσεις καθαρά μηδενικής ενέργειας, με ακόμη χαμηλότερο συνολικό κατασκευαστικό κόστος ενεργειακής απόδοσης, καθώς το αρχικό κεφάλαιο επένδυσης θα είναι μειωμένο.

Πίνακας 4.13: Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας, συνολικό κόστος ενεργειακής απόδοσης (NPV) και αρχικό κόστος επένδυσης.

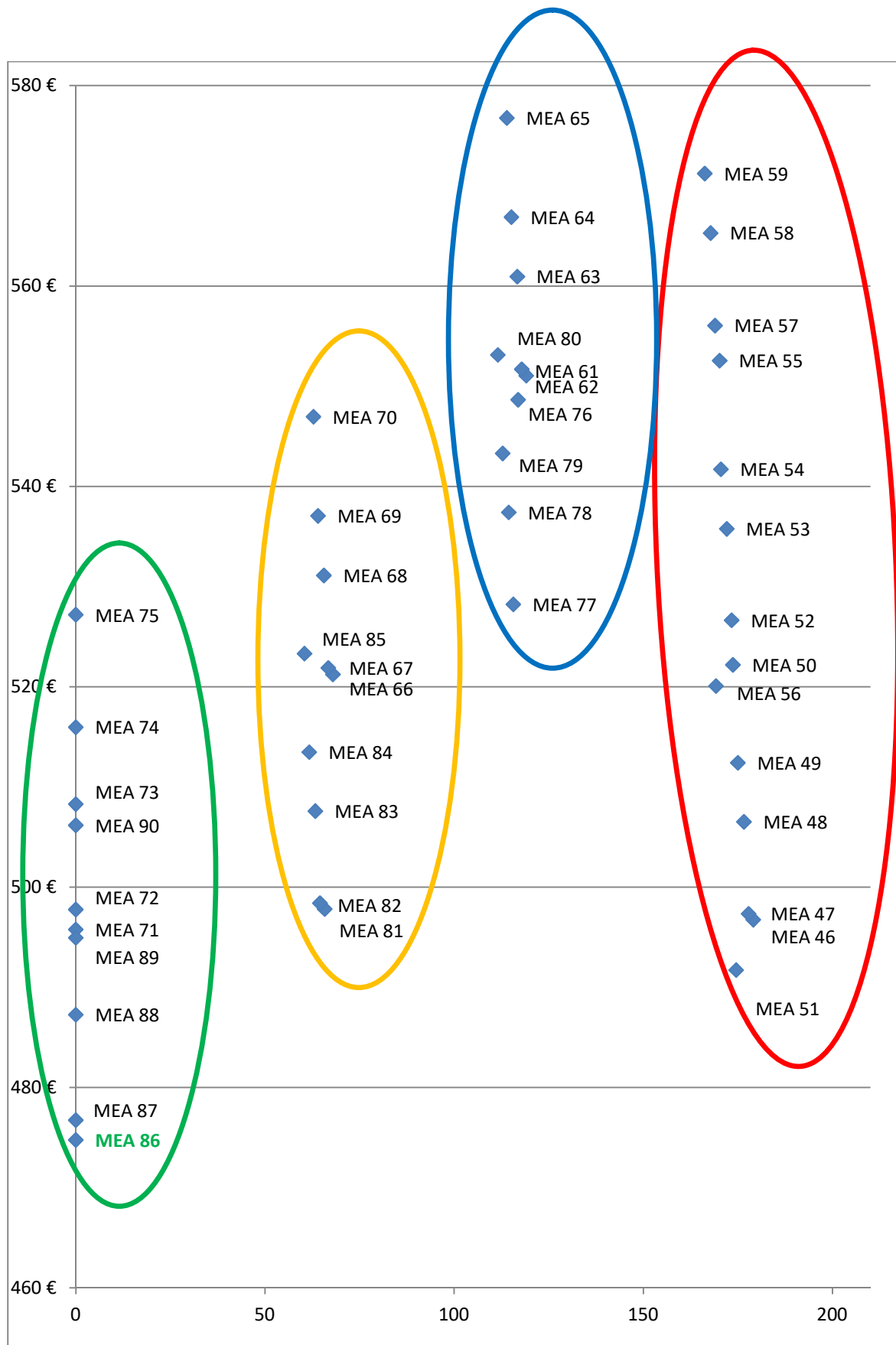
Σενάριο	Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m ²)	NPV (€/m ²)	Αρχικό κόστος επένδυσης (€/m ²)	Σενάριο	Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m ²)	NPV (€/m ²)	Αρχικό κόστος επένδυσης (€/m ²)
MEA0	196,9	463,7	222,8	-	-	-	-
MEA 1	193,4	461,4	224,5	MEA 46	179,1	496,7	274,5
MEA 2	191,3	461,0	226,5	MEA 47	177,8	497,3	276,5
MEA 3	189,3	469,2	237,0	MEA 48	176,6	506,5	287,0
MEA 4	186,7	473,8	244,7	MEA 49	175,0	512,4	294,7
MEA 5	184,5	482,6	255,9	MEA 50	173,7	522,2	305,9
MEA 6	185,8	486,8	258,8	MEA 51	174,5	491,7	274,5
MEA 7	183,8	486,5	260,8	MEA 52	173,3	526,6	310,8
MEA 8	181,9	494,8	271,3	MEA 53	172,1	535,8	321,3
MEA 9	179,3	499,5	279,0	MEA 54	170,5	541,7	329,0
MEA 10	177,3	508,4	290,2	MEA 55	170,2	552,6	340,2
MEA 11	178,6	512,6	293,1	MEA 56	169,2	520,1	308,8
MEA 12	176,7	512,4	295,0	MEA 57	168,9	556,1	345,0
MEA 13	174,9	520,9	305,6	MEA 58	167,8	565,3	355,6
MEA 14	172,5	525,8	313,2	MEA 59	166,2	571,2	363,2
MEA 15	170,6	534,9	324,5	MEA 60	165,0	581,1	374,5
MEA 16	127,5	502,8	318,1	MEA 61	119,1	551,1	368,1
MEA 17	125,6	502,7	320,0	MEA 62	117,8	551,7	370,0
MEA 18	123,8	511,2	330,6	MEA 63	116,7	560,9	380,6
MEA 19	121,4	516,1	338,2	MEA 64	115,1	566,9	388,2
MEA 20	119,5	525,1	349,5	MEA 65	113,9	576,8	399,5
MEA 21	76,4	473,0	339,9	MEA 66	67,9	521,2	389,9
MEA 22	74,5	472,9	341,9	MEA 67	66,7	521,9	391,9
MEA 23	72,7	481,3	352,4	MEA 68	65,6	531,1	402,4
MEA 24	70,3	486,2	360,1	MEA 69	64,0	537,1	410,1
MEA 25	68,4	495,3	371,3	MEA 70	62,8	547,0	421,3
MEA 26	23,3	464,1	380,6	MEA 71	0,0	495,8	430,6
MEA 27	21,7	464,2	382,5	MEA 72	0,0	497,8	432,5
MEA 28	20,2	473,0	393,1	MEA 73	0,0	508,3	443,1
MEA 29	18,0	478,2	400,7	MEA 74	0,0	516,0	450,7
MEA 30	16,4	487,6	412,0	MEA 75	0,0	527,2	462,0
MEA 31	125,0	479,1	297,0	MEA 76	116,9	548,7	368,1
MEA 32	123,1	478,8	299,0	MEA 77	115,6	528,2	349,0
MEA 33	121,2	487,3	309,5	MEA 78	114,4	537,4	359,5
MEA 34	118,8	492,1	317,2	MEA 79	112,8	543,3	367,2
MEA 35	116,9	501,2	328,5	MEA 80	111,6	553,1	378,5
MEA 36	73,9	449,3	318,9	MEA 81	65,8	497,8	368,9
MEA 37	71,9	449,0	320,9	MEA 82	64,5	498,4	370,9
MEA 38	70,1	457,4	331,4	MEA 83	63,3	507,6	381,4
MEA 39	67,7	462,3	339,1	MEA 84	61,7	513,5	389,1
MEA 40	65,8	471,4	350,3	MEA 85	60,4	523,3	400,3
MEA 41	22,4	442,0	359,5	MEA 86	0,0	474,8	409,5
MEA 42	20,7	442,0	361,5	MEA 87	0,0	476,7	411,5
MEA 43	19,1	450,7	372,0	MEA 88	0,0	487,3	422,0
MEA 44	16,9	455,9	379,7	MEA 89	0,0	494,9	429,7
MEA 45	15,3	465,3	391,0	MEA 90	0,0	506,2	441,0



Διάγραμμα 4.7: Τιμές βέλτιστου κόστους για όλα τα εξεταζόμενα σενάρια.



Διάγραμμα 4.8: Τιμές βέλτιστου κόστους. Σενάρια MEA1-MEA45.



Διάγραμμα 4.9: Τιμές βέλτιστου κόστους. Σενάρια MEA46-MEA90.

4.3 Αποτελέσματα Ανάλυσης Ευαισθησίας

Μια σειρά από αναλύσεις ευαισθησίας διεξήχθησαν προκειμένου να ελεγχθεί η αξιοπιστία και η σταθερότητα των αποτελεσμάτων των 90 σεναρίων ΜΕΑ που εξετάστηκαν παραπάνω (Πίνακες Β.7-Β.10). Με την ανάλυση ευαισθησίας δοκιμάζεται το αντίκτυπο των σημαντικών όρων του πλαισίου, όπως το προεξοφλητικό επιτόκιο και η εξέλιξη των τιμών της ενέργειας.

Οι Πίνακες 4.13 και 4.14 δείχνουν τα αποτελέσματα των αναλύσεων ευαισθησίας σε συνοπτική μορφή για προεξοφλητικό επιτόκιο 3,0 % και για αύξηση των ενεργειακών τιμών κατά 2,8 % ανά έτος. Στο Διάγραμμα 4.10 φαίνονται συγκριτικά τα αποτελέσματα για το βασικό σενάριο και για την ανάλυση ευαισθησίας των παραπάνω σεναρίων. Με μπλε χρώμα φαίνονται τα αποτελέσματα για το βασικό σενάριο, ενώ με κόκκινο φαίνονται τα αποτελέσματα για το σενάριο στο οποίο επιλέχθηκε προεξοφλητικό επιτόκιο 3,0 % και με πράσινο φαίνονται τα αποτελέσματα για το σενάριο στο οποίο επιλέχθηκε αύξηση των ενεργειακών τιμών κατά 2,8 % ανά έτος.

Πρέπει να σημειωθεί ότι, ως αποτέλεσμα των θεμελιωδών αρχών του υπολογισμού από χρηματοοικονομική άποψη, το ποσό του συνολικού κόστους είναι μεγαλύτερο όταν εφαρμόζονται χαμηλότερα προεξοφλητικά επιτόκια, επειδή το μελλοντικό κόστος (κυρίως το ενεργειακό κόστος) υπολογίζεται με χαμηλότερο προεξοφλητικό επιτόκιο, με αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη παρούσα αξία του συνολικού κόστους.

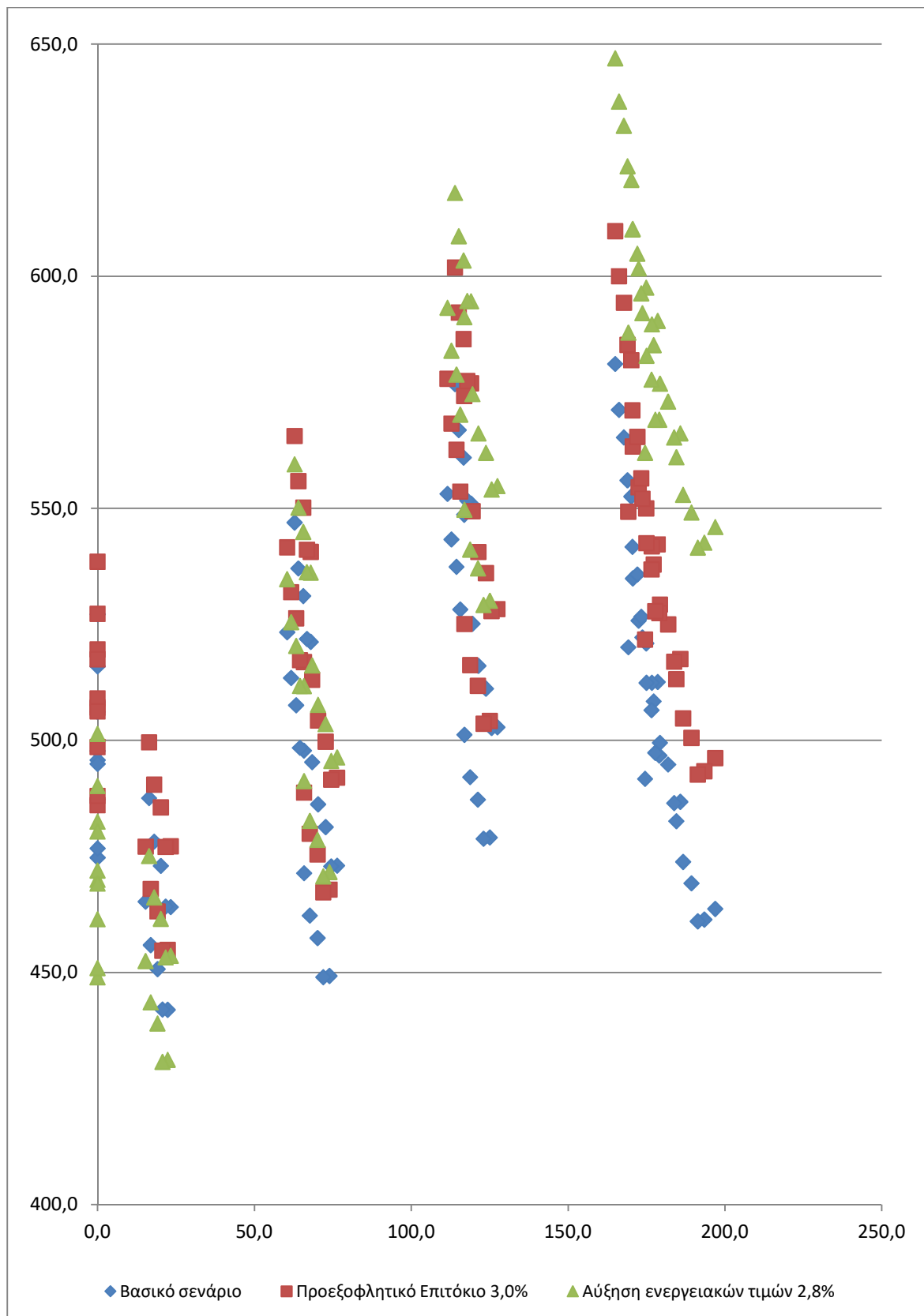
Σε γενικές γραμμές, μπορεί να συνοψιστεί ότι η επίδραση των υπό δοκιμή παραμέτρων εισόδου είναι σχεδόν αμελητέα κυρίως σε σχέση με τη μορφή της καμπύλης του κόστους και σε σχέση με την αξιοσημείωτη μετατόπιση του βέλτιστου κόστους.

Πίνακας 4.13: Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας και συνολικό κατασκευαστικό κόστος ενεργειακής απόδοσης (NPV) για προεξοφλητικό επιτόκιο 3 %.

MEA	Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m ²)	NPV (€/m ²)	MEA	Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m ²)	NPV (€/m ²)
MEA0	196,9	496,2 €	-	-	-
MEA 1	193,4	493,4 €	MEA 46	527,4 €	496,7
MEA 2	191,3	492,7 €	MEA 47	527,8 €	497,3
MEA 3	189,3	500,6 €	MEA 48	536,9 €	506,5
MEA 4	186,7	504,8 €	MEA 49	542,5 €	512,4
MEA 5	184,5	513,2 €	MEA 50	552,1 €	522,2
MEA 6	185,8	517,6 €	MEA 51	521,7 €	491,7
MEA 7	183,8	517,0 €	MEA 52	556,5 €	526,6
MEA 8	181,9	525,0 €	MEA 53	565,4 €	535,8
MEA 9	179,3	529,3 €	MEA 54	571,1 €	541,7
MEA 10	177,3	537,9 €	MEA 55	581,9 €	552,6
MEA 11	178,6	542,3 €	MEA 56	549,3 €	520,1
MEA 12	176,7	541,8 €	MEA 57	585,2 €	556,1
MEA 13	174,9	550,0 €	MEA 58	594,3 €	565,3
MEA 14	172,5	554,5 €	MEA 59	600,0 €	571,2
MEA 15	170,6	563,3 €	MEA 60	609,7 €	581,1
MEA 16	127,5	528,3 €	MEA 61	577,0 €	551,1
MEA 17	125,6	527,9 €	MEA 62	577,4 €	551,7
MEA 18	123,8	536,1 €	MEA 63	586,5 €	560,9
MEA 19	121,4	540,6 €	MEA 64	592,2 €	566,9
MEA 20	119,5	549,4 €	MEA 65	601,9 €	576,8
MEA 21	76,4	492,0 €	MEA 66	540,6 €	521,2
MEA 22	74,5	491,5 €	MEA 67	541,1 €	521,9
MEA 23	72,7	499,7 €	MEA 68	550,2 €	531,1
MEA 24	70,3	504,3 €	MEA 69	555,9 €	537,1
MEA 25	68,4	513,1 €	MEA 70	565,6 €	547,0
MEA 26	23,3	477,2 €	MEA 71	507,1 €	495,8
MEA 27	21,7	477,1 €	MEA 72	509,1 €	497,8
MEA 28	20,2	485,6 €	MEA 73	519,6 €	508,3
MEA 29	18,0	490,5 €	MEA 74	527,3 €	516,0
MEA 30	16,4	499,6 €	MEA 75	538,5 €	527,2
MEA 31	125,0	504,2 €	MEA 76	574,2 €	548,7
MEA 32	123,1	503,6 €	MEA 77	553,6 €	528,2
MEA 33	121,2	511,8 €	MEA 78	562,6 €	537,4
MEA 34	118,8	516,2 €	MEA 79	568,3 €	543,3
MEA 35	116,9	525,1 €	MEA 80	577,9 €	553,1
MEA 36	73,9	467,9 €	MEA 81	516,9 €	497,8
MEA 37	71,9	467,3 €	MEA 82	517,3 €	498,4
MEA 38	70,1	475,4 €	MEA 83	526,3 €	507,6
MEA 39	67,7	479,9 €	MEA 84	532,0 €	513,5
MEA 40	65,8	488,8 €	MEA 85	541,6 €	523,3
MEA 41	22,4	454,9 €	MEA 86	486,1 €	474,8
MEA 42	20,7	454,7 €	MEA 87	488,1 €	476,7
MEA 43	19,1	463,2 €	MEA 88	498,6 €	487,3
MEA 44	16,9	468,0 €	MEA 89	506,3 €	494,9
MEA 45	15,3	477,1 €	MEA 90	517,5 €	506,2

Πίνακας 4.14: Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας και συνολικό κατασκευαστικό κόστος ενεργειακής απόδοσης (NPV) για αύξηση των ενεργειακών τιμών 2,8 %/έτος.

MEA	Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m ²)	NPV (€/m ²)	MEA	Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m ²)	NPV (€/m ²)
MEA0	196,9	546,0 €	-	-	-
MEA 1	193,4	542,6 €	MEA 46	569,1 €	496,7
MEA 2	191,3	541,6 €	MEA 47	569,1 €	497,3
MEA 3	189,3	549,1 €	MEA 48	577,7 €	506,5
MEA 4	186,7	552,9 €	MEA 49	582,9 €	512,4
MEA 5	184,5	561,0 €	MEA 50	592,1 €	522,2
MEA 6	185,8	566,2 €	MEA 51	562,0 €	491,7
MEA 7	183,8	565,3 €	MEA 52	596,4 €	526,6
MEA 8	181,9	573,0 €	MEA 53	604,9 €	535,8
MEA 9	179,3	576,9 €	MEA 54	610,1 €	541,7
MEA 10	177,3	585,2 €	MEA 55	620,8 €	552,6
MEA 11	178,6	590,4 €	MEA 56	587,9 €	520,1
MEA 12	176,7	589,7 €	MEA 57	623,7 €	556,1
MEA 13	174,9	597,6 €	MEA 58	632,4 €	565,3
MEA 14	172,5	601,7 €	MEA 59	637,7 €	571,2
MEA 15	170,6	610,2 €	MEA 60	647,0 €	581,1
MEA 16	127,5	554,8 €	MEA 61	594,6 €	551,1
MEA 17	125,6	554,1 €	MEA 62	594,7 €	551,7
MEA 18	123,8	562,0 €	MEA 63	603,4 €	560,9
MEA 19	121,4	566,1 €	MEA 64	608,6 €	566,9
MEA 20	119,5	574,6 €	MEA 65	618,0 €	576,8
MEA 21	76,4	496,4 €	MEA 66	536,2 €	521,2
MEA 22	74,5	495,6 €	MEA 67	536,3 €	521,9
MEA 23	72,7	503,5 €	MEA 68	545,0 €	531,1
MEA 24	70,3	507,7 €	MEA 69	550,2 €	537,1
MEA 25	68,4	516,2 €	MEA 70	559,5 €	547,0
MEA 26	23,3	453,6 €	MEA 71	470,0 €	495,8
MEA 27	21,7	453,3 €	MEA 72	472,0 €	497,8
MEA 28	20,2	461,6 €	MEA 73	482,5 €	508,3
MEA 29	18,0	466,2 €	MEA 74	490,2 €	516,0
MEA 30	16,4	475,1 €	MEA 75	501,4 €	527,2
MEA 31	125,0	530,1 €	MEA 76	591,2 €	548,7
MEA 32	123,1	529,2 €	MEA 77	570,2 €	528,2
MEA 33	121,2	537,1 €	MEA 78	578,8 €	537,4
MEA 34	118,8	541,1 €	MEA 79	584,0 €	543,3
MEA 35	116,9	549,7 €	MEA 80	593,2 €	553,1
MEA 36	73,9	471,6 €	MEA 81	511,7 €	497,8
MEA 37	71,9	470,7 €	MEA 82	511,7 €	498,4
MEA 38	70,1	478,6 €	MEA 83	520,4 €	507,6
MEA 39	67,7	482,7 €	MEA 84	525,5 €	513,5
MEA 40	65,8	491,3 €	MEA 85	534,8 €	523,3
MEA 41	22,4	431,2 €	MEA 86	449,0 €	474,8
MEA 42	20,7	430,8 €	MEA 87	451,0 €	476,7
MEA 43	19,1	439,0 €	MEA 88	461,5 €	487,3
MEA 44	16,9	443,6 €	MEA 89	469,2 €	494,9
MEA 45	15,3	452,5 €	MEA 90	480,4 €	506,2



Διάγραμμα 4.10: Τιμές βέλτιστου κόστους για την ανάλυση ευαισθησίας.

Κεφάλαιο 5

Συμπεράσματα

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή ερευνήθηκαν τα επίπεδα βέλτιστου κόστους σχεδιασμού για μια μονοκατοικία στη Βόρεια Ελλάδα. Διαφορετικά μέτρα ενεργειακής απόδοσης για τη θερμομόνωση του κελύφους και για τα τεχνικά συστήματα, συμπεριλαμβανομένων και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, μελετήθηκαν, προκειμένου να επιτευχθεί η λύση του βέλτιστου κόστους. Συνολικά εξετάστηκαν 90 διαφορετικά σενάρια που προέκυψαν από συνδυασμό των μέτρων ενεργειακής απόδοσης που μελετήθηκαν.

Μια ορθά καθορισμένη διαδικασία, με βάση το συγκριτικό μεθοδολογικό πλαίσιο των κατευθυντήριων γραμμών της ΟΕΑΚ, ακολουθήθηκε, προκειμένου να καθοριστούν τεχνικά και οικονομικά εφικτές λύσεις ΜΕΑ. Μεγάλη προσοχή δόθηκε στη μελέτη του βέλτιστου κόστους καθώς και των λύσεων καθαρά μηδενικού ισοζυγίου για το σύστημα δόμησης και το κτιριακό κέλυφος. Ήταν επομένως αναγκαίο να ελαχιστοποιηθεί η ανάγκη θέρμανσης και ψύξης του χώρου της μελέτης του κτιρίου αναφοράς, προκειμένου να ξεκινήσει ο σχεδιασμός των τεχνικών συστημάτων του κτιρίου με καλή απόδοση κτιριακού κελύφους και, κατά συνέπεια, να βελτιστοποιηθεί η διαμόρφωση του συστήματος.

Αυτή η μελέτη έδειξε ότι τα επίπεδα βέλτιστου κόστους για κτίρια σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης μπορούν να επιτευχθούν με συμβατικά τεχνικά συστήματα (λέβητας συμπύκνωσης αερίου και κλιματιστικές μονάδες) με ένα σχετικά υψηλό επίπεδο μόνωσης (9 cm θερμομόνωση εξηλασμένης πολυστερίνης και ενεργειακά κουφώματα χαμηλής θερμοπερατότητας), προσθέτοντας ένα σχετικά μεγάλο αριθμό φωτοβολταϊκών πάνελ (ισχύος 6,1

kWp). Ωστόσο, προκειμένου να επιτευχθούν λύσεις καθαρά μηδενικού ισοζυγίου, τα υψηλά επίπεδα θερμομόνωσης και ο μεγάλος αριθμός φωτοβολταϊκών πάνελ θα πρέπει να συνδυαστούν με πιο αποδοτικά ενεργειακά τεχνικά συστήματα εξ ολοκλήρου βασισμένα σε αντλίες θερμότητας υψηλής απόδοσης, δηλαδή σε συστήματα που δεν χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα παρά μόνο ηλεκτρική ενέργεια.

Τόσο οι λύσεις βέλτιστου κόστους, όσο και οι λύσεις μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης τείνουν να έχουν ένα μεγάλο ποσοστό ανανεώσιμων πηγών. Αυτό το υψηλό ποσοστό ΑΠΕ μπορεί να επιτευχθεί αυξάνοντας την επιτόπια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω φωτοβολταϊκών συστημάτων, για την οποία εφαρμόζεται η πρακτική του συμψηφισμού ενέργειας με το δίκτυο (net metering). Έτσι, η ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται από το νοικοκυριό μειώνεται όσο αυξάνεται η αυτοπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και μηδενίζεται στην περίπτωση χρήσης αποκλειστικά αντλιών θερμότητας. Πρέπει να τονιστεί ότι στο ενεργειακό μοντέλο που εξετάστηκε λήφθηκε υπόψη, πέρα από την κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη του χώρου, και η κατανάλωση ενέργειας για τον φωτισμό, τον εξοπλισμό, τους ανεμιστήρες και τις αντλίες της εξεταζόμενης μονοκατοικίας. Καθώς όμως δεν εξετάστηκαν επιπλέον μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας για τις παραπάνω καταναλώσεις, αυτές παρέμειναν σταθερές για όλα τα σενάρια που μελετήθηκαν.

Τα προγράμματα ενεργειακής προσομοίωσης που χρησιμοποιήθηκαν (OpenStudio, EnergyPlus, ParametricAnalysisTool) παρόλο που πρόκειται για λογισμικά ιδιαίτερα ώριμα, από άποψη δυνατοτήτων, χρήζουν περαιτέρω αναβαθμίσεων προκειμένου να καλύπτουν ακόμη ευρύτερο φάσμα ενεργειακών και κατασκευαστικών επιλογών καθώς και εξαγόμενων αποτελεσμάτων. Έτσι, μελλοντικές εργασίες θα είναι σε θέση να εξετάσουν ακόμη περισσότερες επιλογές μέτρων ενεργειακής απόδοσης με τη χρήση αυτοματοποιημένων μεθόδων βελτιστοποίησης, είτε με μοντέλα ημι-μόνιμης κατάστασης είτε με τη δυναμική προσομοίωση της ενεργειακής κατάστασης του κτιρίου.

Οι οικονομικοί υπολογισμοί που εκτελέστηκαν στα πλαίσια της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής, σύμφωνα με τη χρηματοοικονομική προσέγγιση των κατευθυντήριων γραμμών της ΟΕΑΚ, διερεύνησαν ουσιαστικά την προοπτική των επενδυτών προς το στόχο nZEB. Τα σενάρια για τα κτίρια καθαρά μηδενικής ενέργειας που μελετήθηκαν, επιλέχθηκαν ώστε να είναι τεχνικά εφικτά. Παρατηρήθηκε, όσον αφορά τη σκοπιμότητα των nZEB λύσεων, ότι τα λαμβανόμενα αποτελέσματα είναι συνεπή ως προς το «state of the art». Στην πραγματικότητα, τα κτίρια καθαρά μηδενικής ενέργειας δεν απέχουν μακριά, από άποψη βέλτιστου κόστους, ώστε να αποτελέσουν βέλτιστες λύσεις. Η διαφορά από άποψη συνολικού κατασκευαστικού κόστους ενεργειακής απόδοσης, ανάμεσα στο σενάριο MEA86 (λύση καθαρά μηδενικής ενέργειας), και του σεναρίου MEA42 (λύση βέλτιστου κόστους), είναι σχετικά χαμηλή (32,8 €/m²). Θα πρέπει να τονιστεί ότι οι δαπάνες που υπολογίστηκαν αφορούν τα κόστη του κύκλου ζωής για ολόκληρη την περίοδο υπολογισμού των 30 ετών. Η διαφορά του αρχικού κόστους επένδυσης, όσον αφορά τα μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας, του κτιρίου αναφοράς (ελάχιστες απαιτήσεις βάσει KENAK) από το MEA86 και MEA42 είναι περίπου 187 €/m² και 139 €/m² αντίστοιχα.

Θα πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη η κρισιμότητα των τιμών των οικονομικών παραγόντων που χρησιμοποιήθηκαν για την οικονομική αξιολόγηση του συνολικού κόστους. Για παράδειγμα, η τιμή του επιτοκίου προεξόφλησης που καθορίστηκε σε 4 % σε πραγματικούς όρους, αντικατοπτρίζοντας τα τρέχοντα επιτόκια για το μακροπρόθεσμο δανεισμό, όπως και οι τιμές της ενέργειας, υποβάλλονται σε εξέλιξη κατά τη διάρκεια της περιόδου εφαρμογής του υπολογισμού, γεγονός που αποτελεί επίσης ένα σημαντικό ζήτημα. Στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή πραγματοποιήθηκε ανάλυση ευαισθησίας ως προς τα σενάρια εξέλιξης του κόστους της ενέργειας σε εθνική κλίμακα καθώς και ως προς το προεξοφλητικό επιτόκιο, που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του συνολικού κόστους. Σε γενικές γραμμές, τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας ήταν θετικά καθώς η επίδραση των υπό δοκιμή παραμέτρων εισόδου είναι σχεδόν αμελητέα κυρίως σε σχέση με τη μορφή της καμπύλης του κόστους και σε σχέση με την αξιοσημείωτη μετατόπιση του βέλτιστου κόστους.

Λόγω της σημαντικότητας της αξιολόγησης των αποτελεσμάτων, περαιτέρω μελέτες βέλτιστου κόστους θα πρέπει να επικεντρωθούν σε αναλύσεις ευαισθησίας και ως προς άλλους παράγοντες, όπως ως προς τις αναμενόμενες εξελίξεις του κόστους των μελλοντικών επενδύσεων σε τεχνολογίες κτιρίων (φωτοβολταϊκά πάνελ, αντλίες θερμότητας, κ.ά.) ή ως προς κάθε άλλο εισερχόμενο στον υπολογισμό παράγοντα που κρίνεται ότι έχει σημαντική επιρροή στο αποτέλεσμα (συντελεστές πρωτογενούς ενέργειας κ.λπ.).

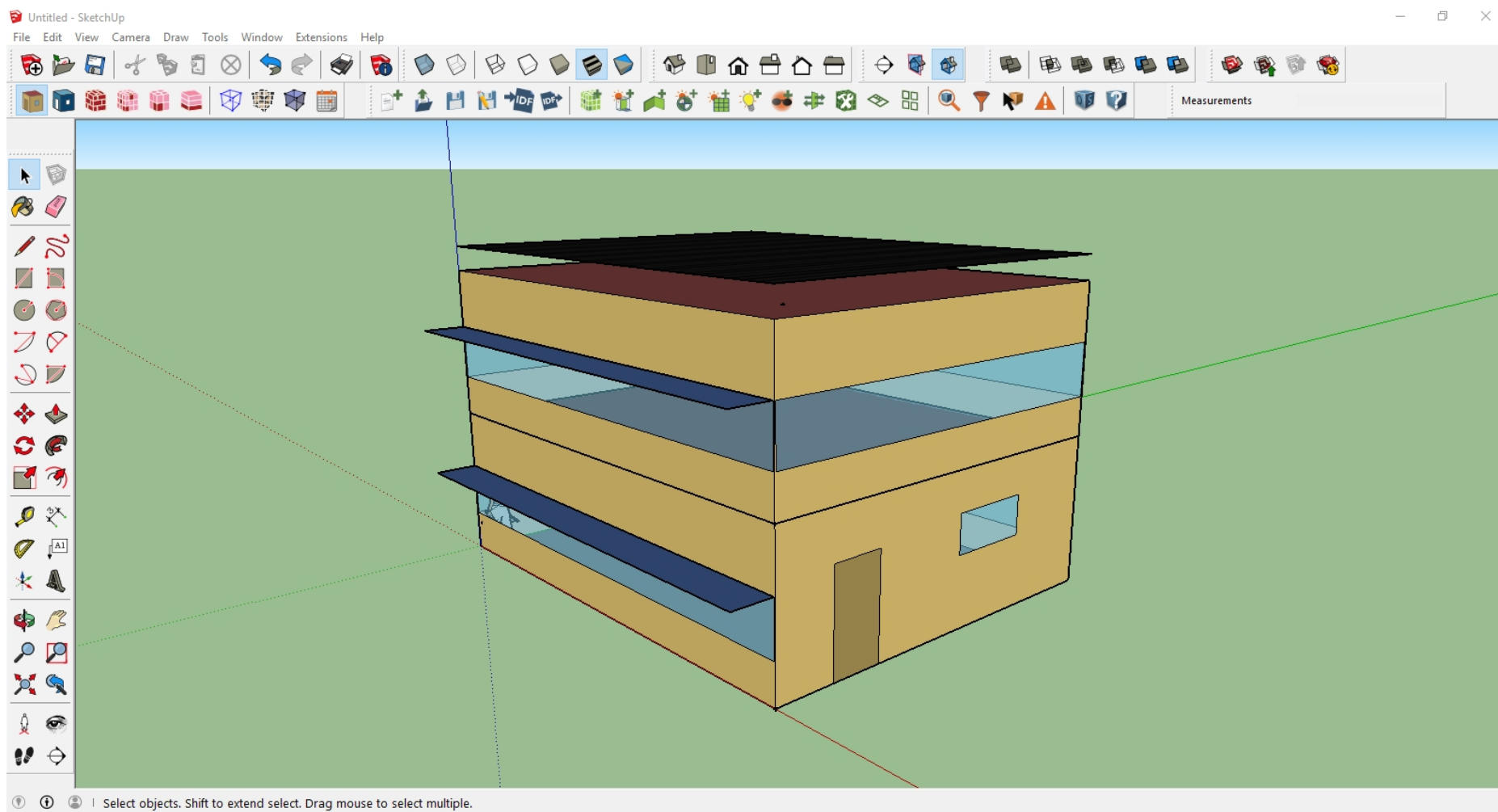
Πέρα από τη χρηματοοικονομική σκοπιά, ο υπολογισμός του βέλτιστου κόστους θα πρέπει να επεκταθεί και σε μακροοικονομικό επίπεδο. Ο υπολογισμός σε μακροοικονομικό επίπεδο, βάσει των κατευθυντήριων γραμμών της ΟΕΑΚ, έχει ως στόχο την προετοιμασία και την τεκμηρίωση καθορισμού γενικώς εφαρμοστέων ελάχιστων απαιτήσεων ενεργειακής απόδοσης, από την ευρύτερη προοπτική του δημοσίου συμφέροντος, σύμφωνα με την οποία η επένδυση σε ενεργειακή απόδοση, το συναφές κόστος και τα οφέλη της αξιολογούνται σε σχέση με άλλες εναλλακτικές πολιτικές και συνεκτιμούνται οι εξωτερικότητες. Οι επενδύσεις στην ενεργειακή απόδοση των κτιρίων συγκρίνονται με άλλα μέτρα πολιτικής για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, της εξάρτησης από την εισαγόμενη ενέργεια και τη μείωση των εκπομπών CO₂. Επιπλέον, αυτή η ευρύτερη προοπτική των επενδύσεων ταιριάζει με την ιδέα θεώρησης της πρωτογενούς ενέργειας ως «νομίσματος» της ενεργειακής απόδοσης, ενώ μια καθαρά ιδιωτική επενδυτική προοπτική είναι δυνατόν να βασιστεί στην πρωτογενή ενέργεια ή στην παρεχόμενη ενέργεια. Παρόλα αυτά, στην πράξη δεν είναι δυνατόν να συνεκτιμηθούν όλα τα κοινωνικά άμεσα και έμμεσα οφέλη, καθώς κάποια από αυτά είναι άυλα ή μη μετρήσιμα, ή δεν είναι δυνατόν να αποτιμηθούν σε χρήμα. Είναι όμως δυνατόν να συνεκτιμηθούν ορισμένα εξωτερικά οφέλη και στοιχεία κόστους για τα οποία υπάρχουν αναγνωρισμένες μέθοδοι ποσοτικοποίησης και κοστολόγησής τους, όπως οι ανθρακούχες εκπομπές.

Συμπερασματικά, θα μπορούσε να αναφερθεί ότι τα μέτρα ενεργειακής απόδοσης που προσδίδουν τα κύρια χαρακτηριστικά των κτιρίων σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας, δηλαδή υψηλή ενεργειακή απόδοση και

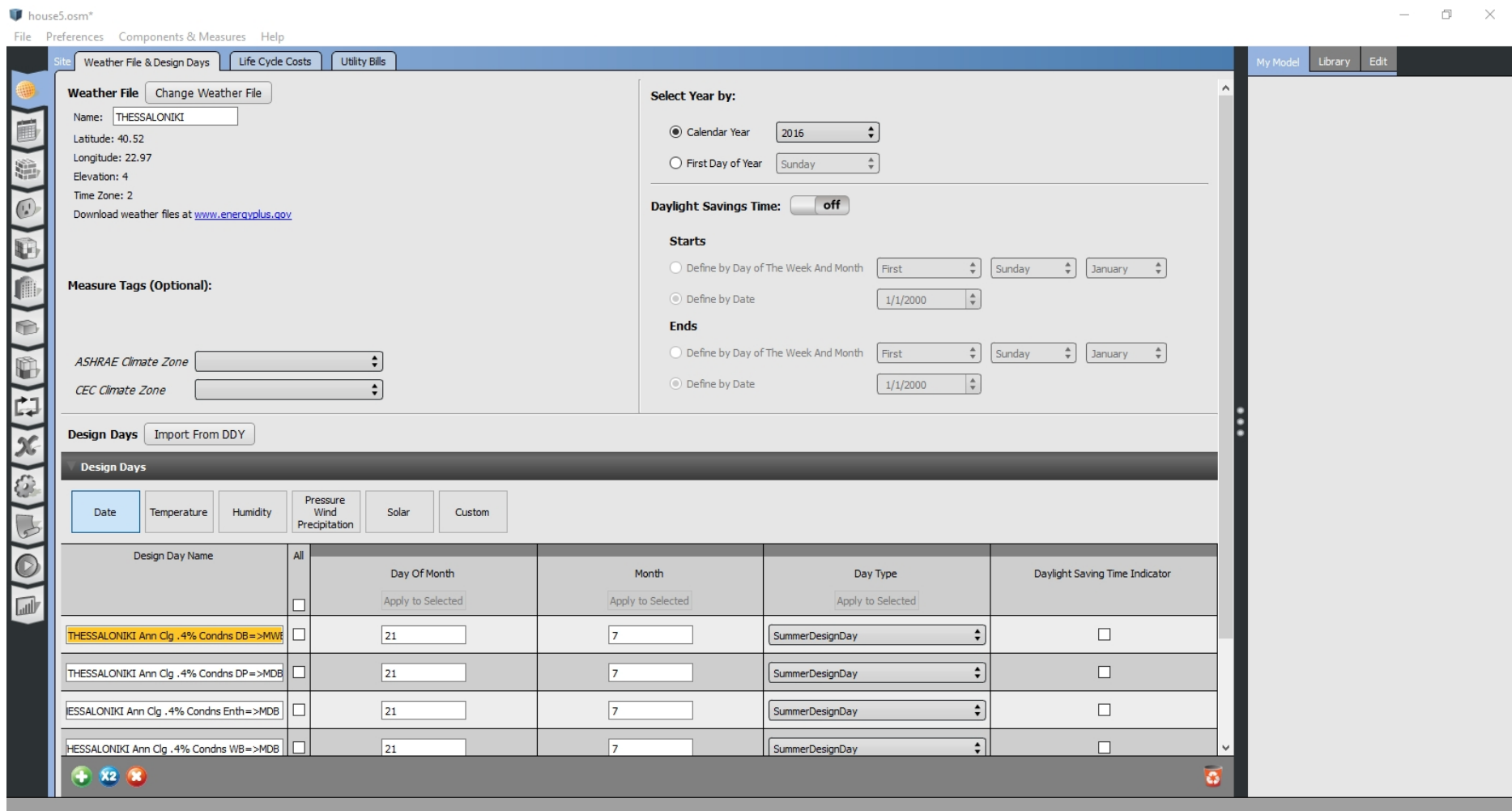
χαμηλή ποσότητα καταναλισκόμενης ενέργειας που καλύπτεται σε πολύ υψηλό ποσοστό από ανανεώσιμες πηγές, προσεγγίζουν σε μεγάλο βαθμό το βέλτιστο κόστος. Για αυτό το λόγο μια περαιτέρω αυστηροποίηση των υφιστάμενων ελάχιστων απαιτήσεων του ΚΕΝΑΚ, θα μπορούσε να υλοποιηθεί χωρίς να πραγματοποιηθούν σημαντικές αυξήσεις του συνολικού κόστους για μια περίοδο υπολογισμού 30 ετών. Το αυξημένο ποσό του αρχικού κόστους επένδυσης δύναται να αποσβεστεί εξ ολοκλήρου από τη μείωση των λειτουργικών δαπανών κατά την περίοδο λειτουργίας. Επιπλέον, η καλή οικονομική απόδοση των μοντέλων με ηλιακά συστήματα θερμικής ενέργειας μπορεί να θεωρηθεί ως μια ισχυρή απόδειξη για την υποχρεωτική εγκατάστασή τους. Πάντως και λόγω της δυσμενούς οικονομικής συγκυρίας, και προκειμένου να καταστεί ο σχεδιασμός των nZEB μια πραγματική κατάσταση, όπως απαιτείται και από την ΟΕΑΚ, κρίνεται απαραίτητη η παροχή κινήτρων σε εθνικό ή περιφερειακό επίπεδο.

Παράρτημα Α

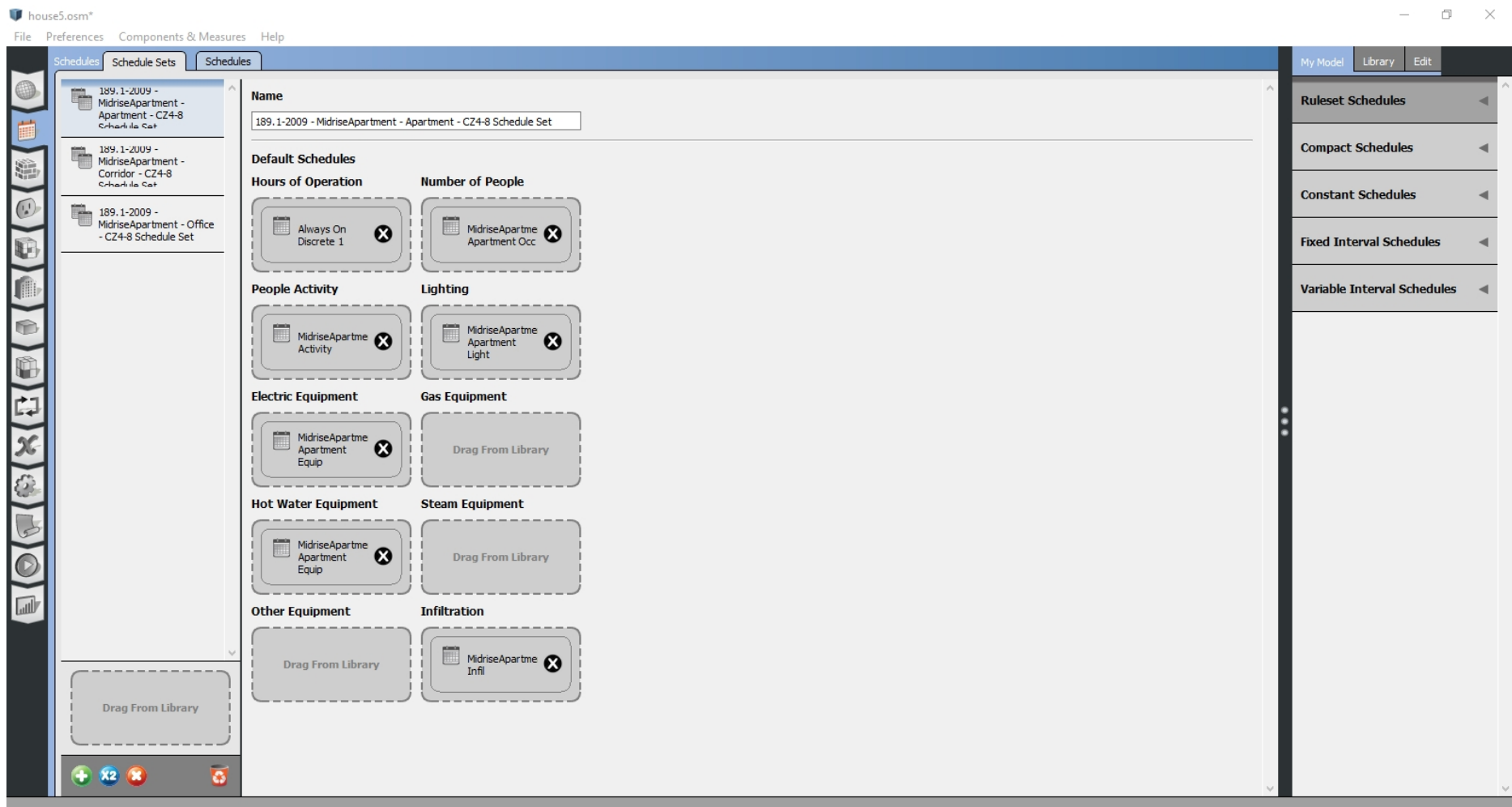
Βασικά Στάδια Ενεργειακής Προσομοίωσης



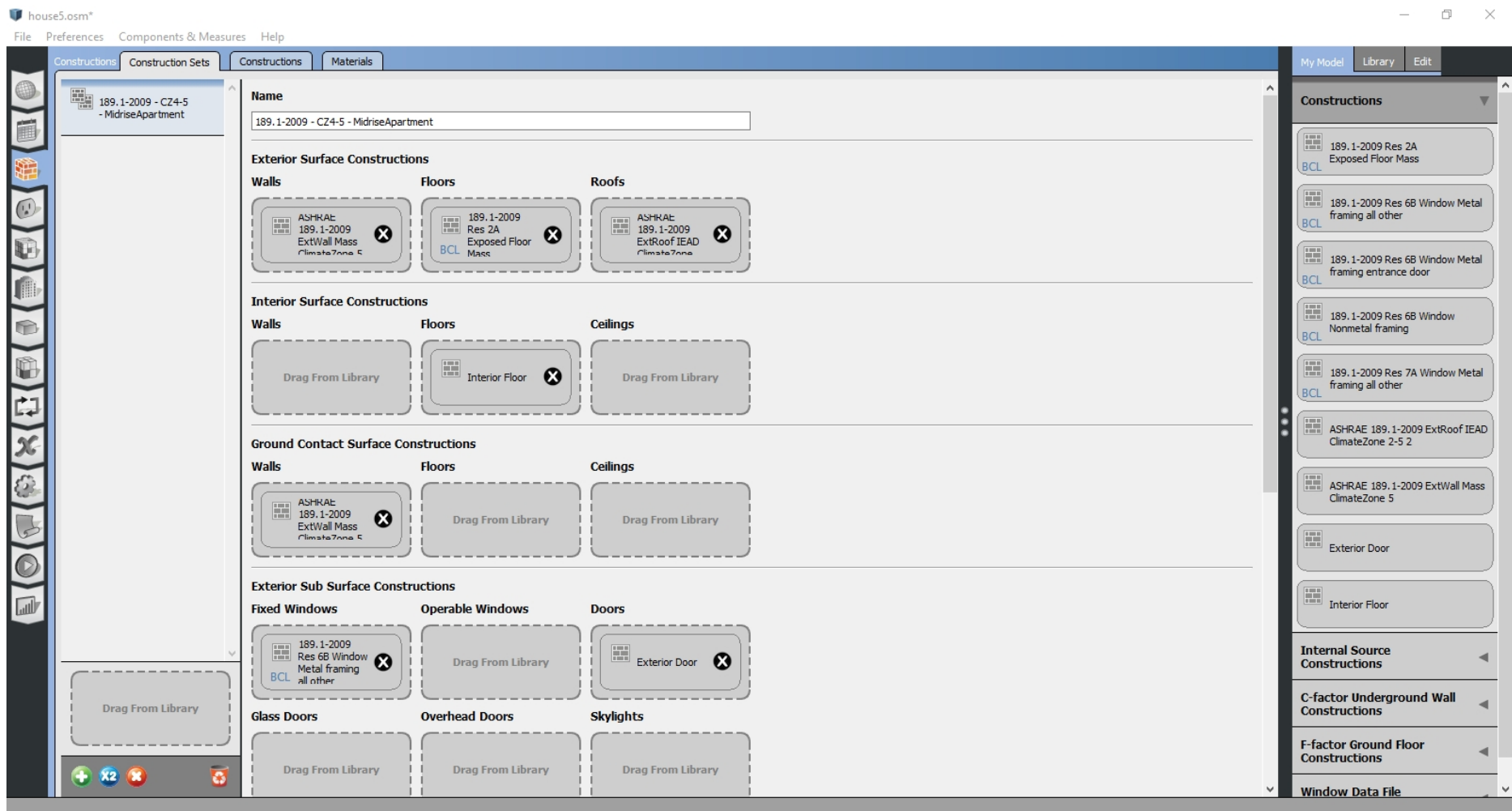
Εικόνα Α.1: Σχεδιασμός του κτιρίου αναφοράς με το λογισμικό «Openstudio SketchUp Plug-in».



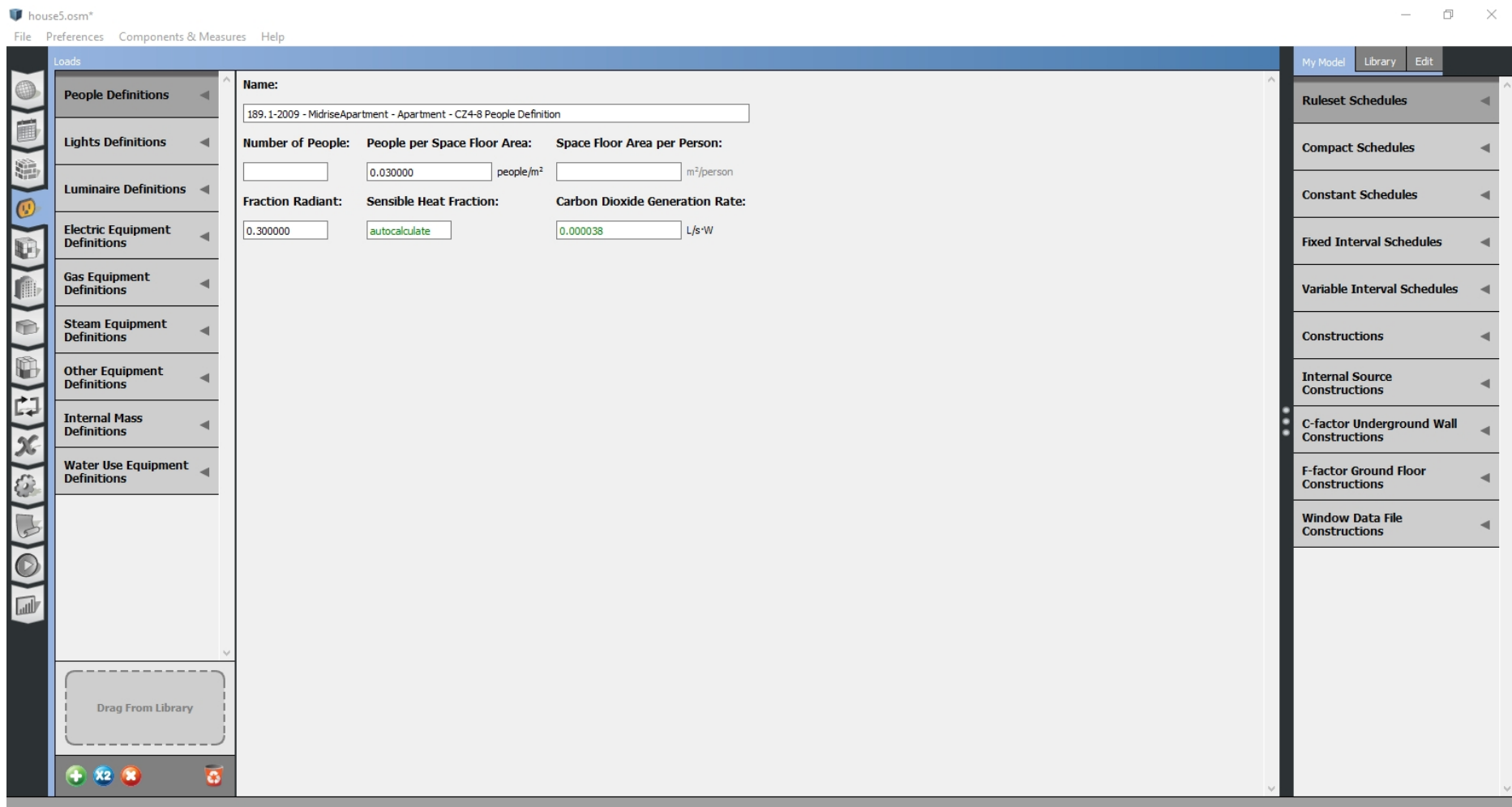
Εικόνα Α.2: Εισαγωγή του αρχείου αναφοράς καιρού για τη Θεσσαλονίκη στο «OpenStudio» (energyplus.net/weather).



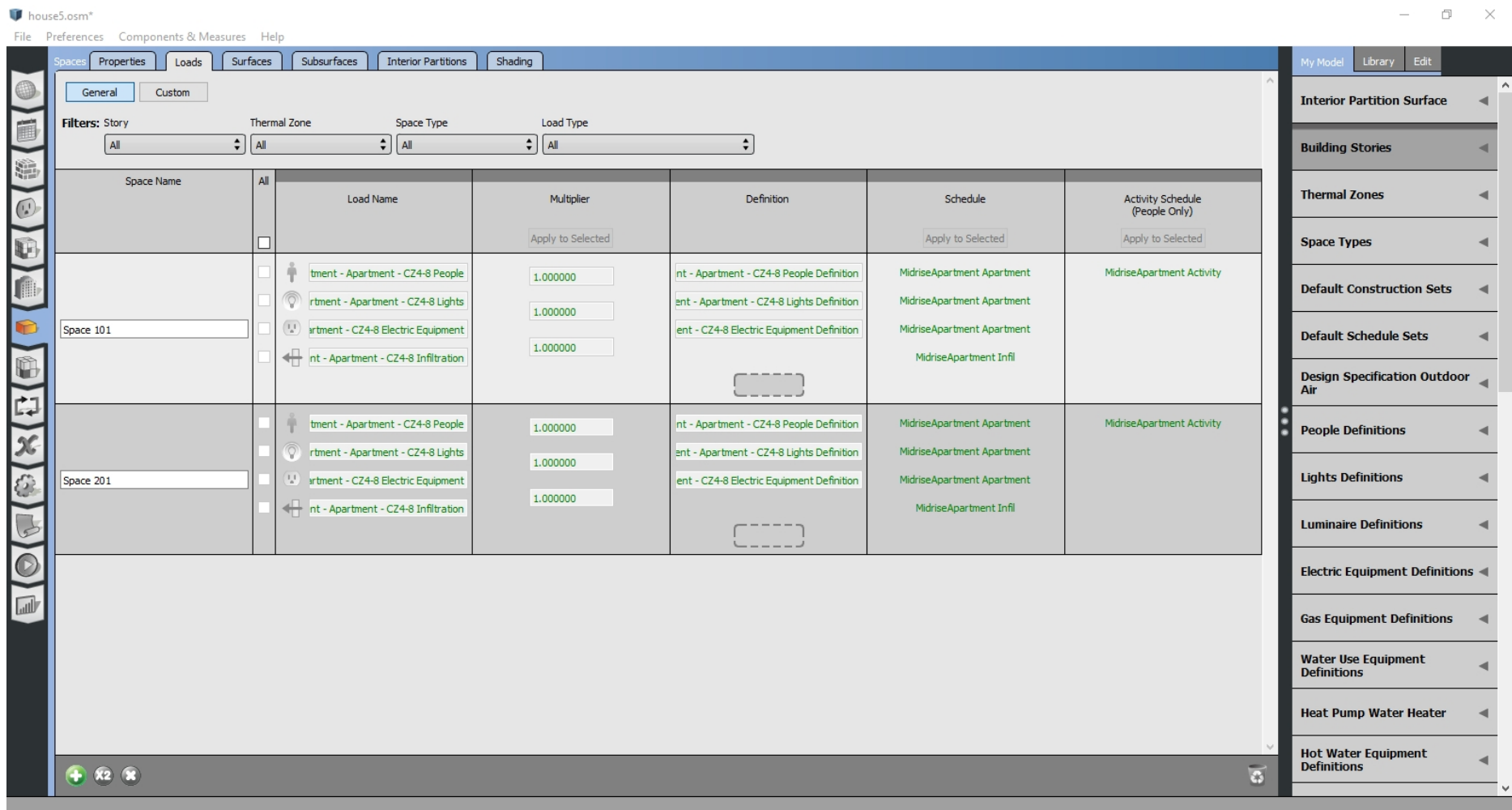
Εικόνα Α.3: Καθορισμός των ωραρίων λειτουργίας του ΚΑ στο «OpenStudio».



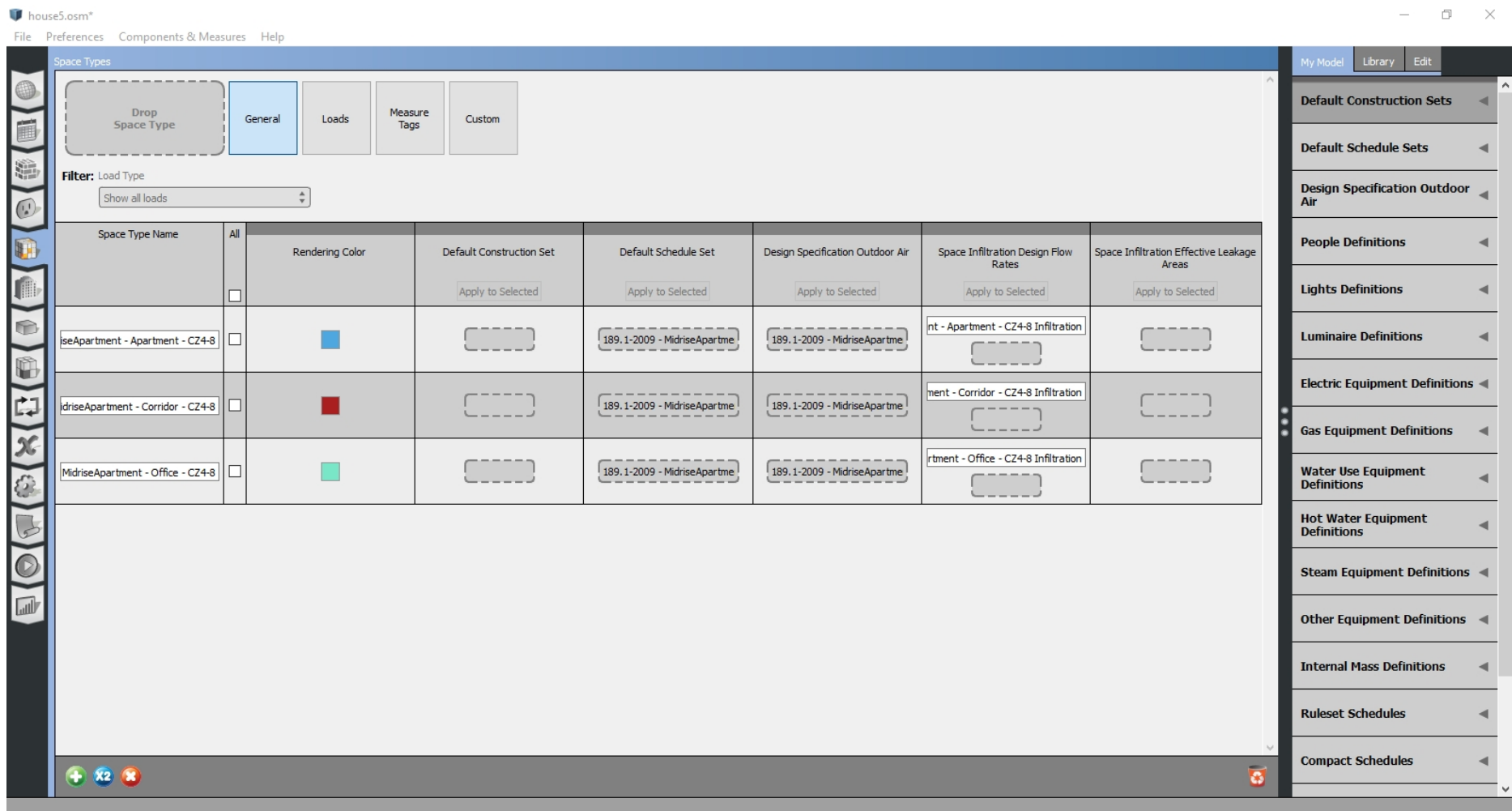
Εικόνα Α.4: Καθορισμός των παραμέτρων για τα δομικά υλικά του ΚΑ στο «OpenStudio».



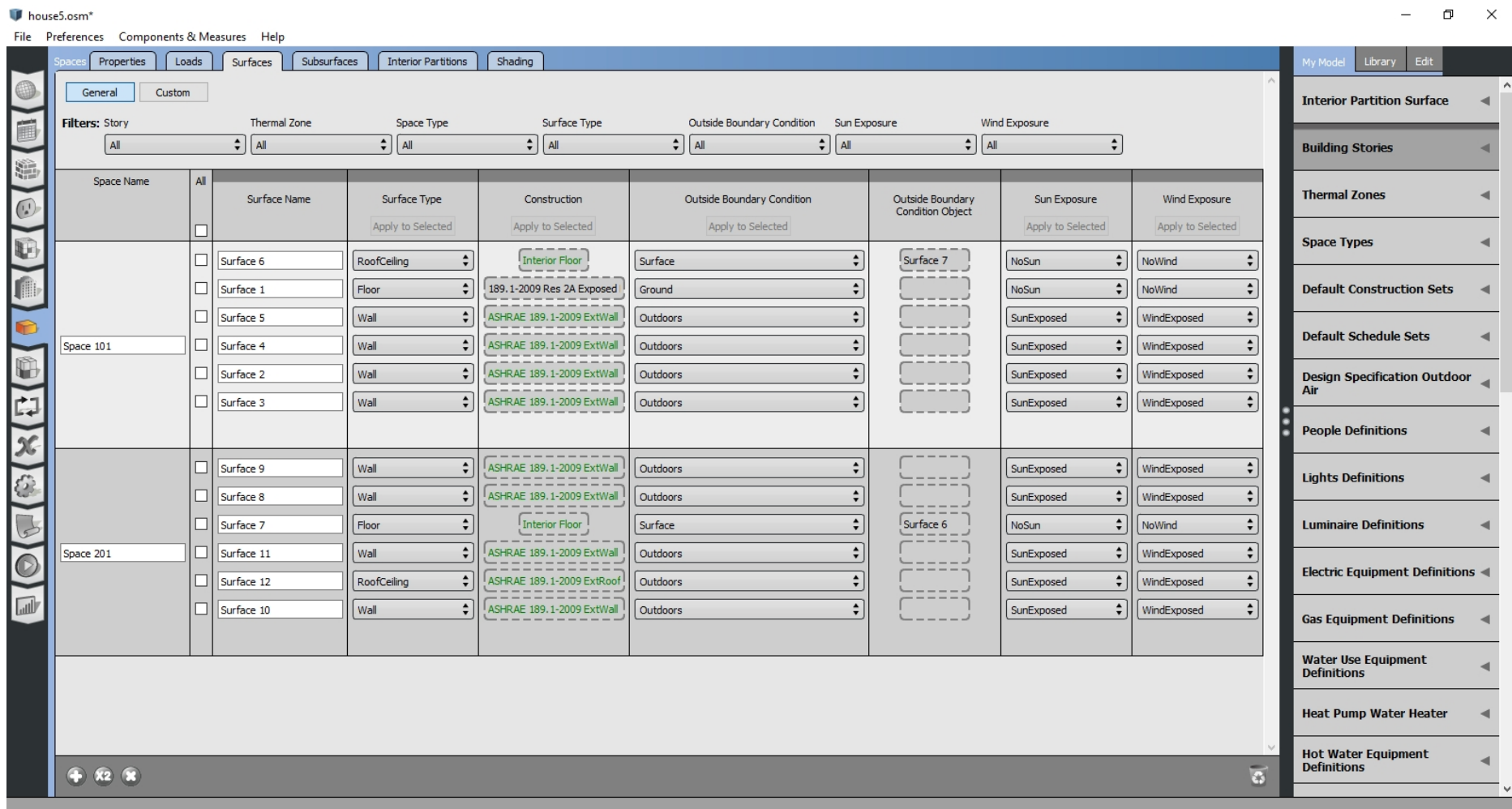
Εικόνα Α.5: Καθορισμός των παραμέτρων των φορτίων (φωτισμού, εξοπλισμού, ΖΝΧ) για το ΚΑ στο «OpenStudio».



Εικόνα Α.6: Παραμετροποίηση των φορτίων για το ΚΑ στο «OpenStudio».



Εικόνα Α.7: Καθορισμός των χρήσεων των χώρων για το ΚΑ στο «OpenStudio».



Εικόνα Α.8: Καθορισμός του τύπου των επιφανειών για το ΚΑ στο «OpenStudio».

house5.osm* File Preferences Components & Measures Help

Thermal Zones

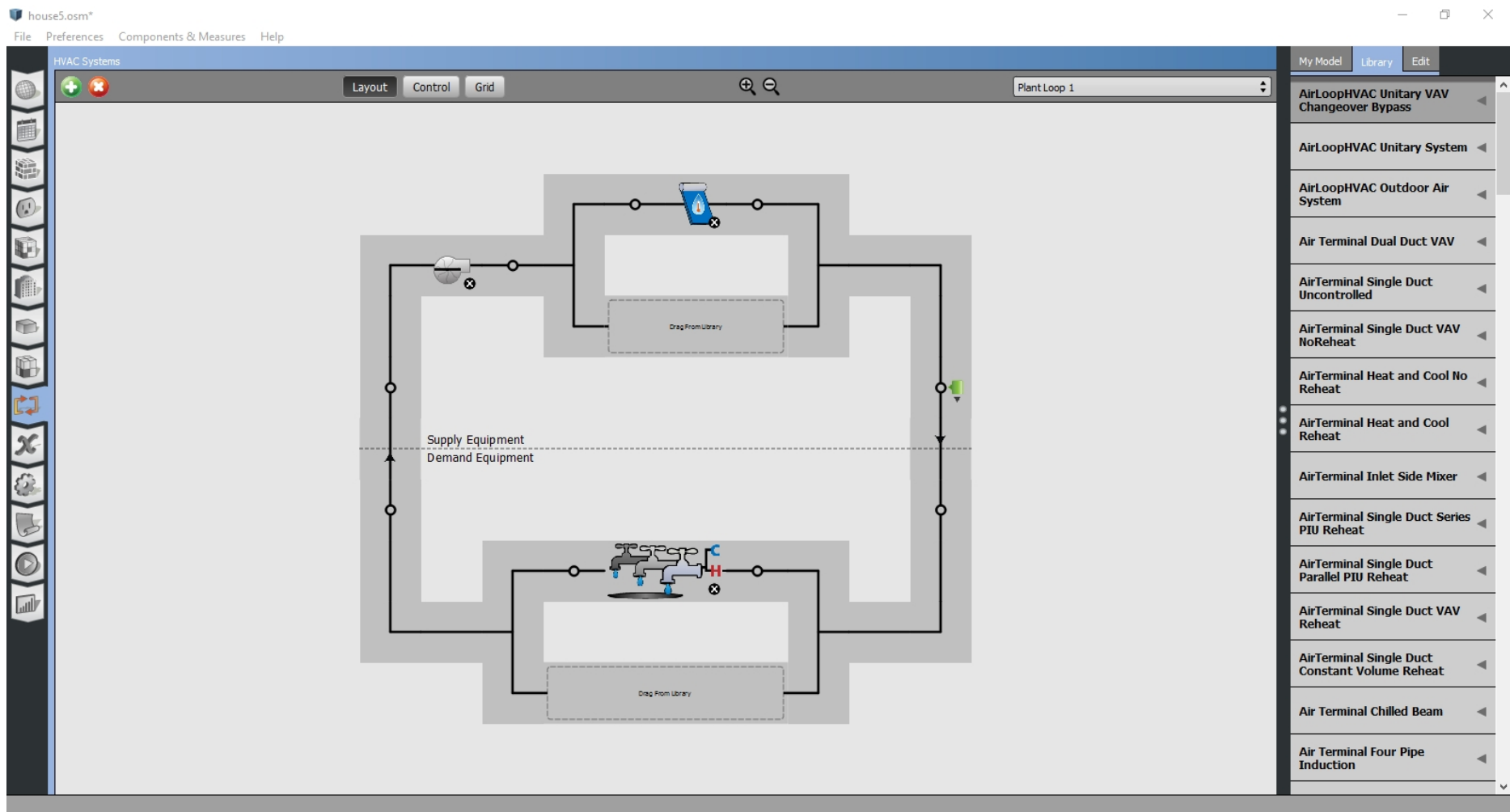
HVAC Systems Cooling Sizing Parameters Heating Sizing Parameters Custom

Name	All	Turn On Ideal Air Loads	Air Loop Name	Zone Equipment	Cooling Thermostat Schedule	Heating Thermostat Schedule	Humidifying Setpoint Schedule	Dehumidifying Setpoint Schedule	Multiplier
Thermal Zone: Space 101	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Air Loop HVAC 1	High Temp Radiant Diffuser	Apply to Selected MidriseApartment Apartment	Apply to Selected MidriseApartment Apartment	Apply to Selected	Apply to Selected	1
Thermal Zone: Space 201	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Air Loop HVAC 1	High Temp Radiant 1 Diffuser 1	Apply to Selected MidriseApartment Apartment	Apply to Selected MidriseApartment Apartment	Apply to Selected	Apply to Selected	1

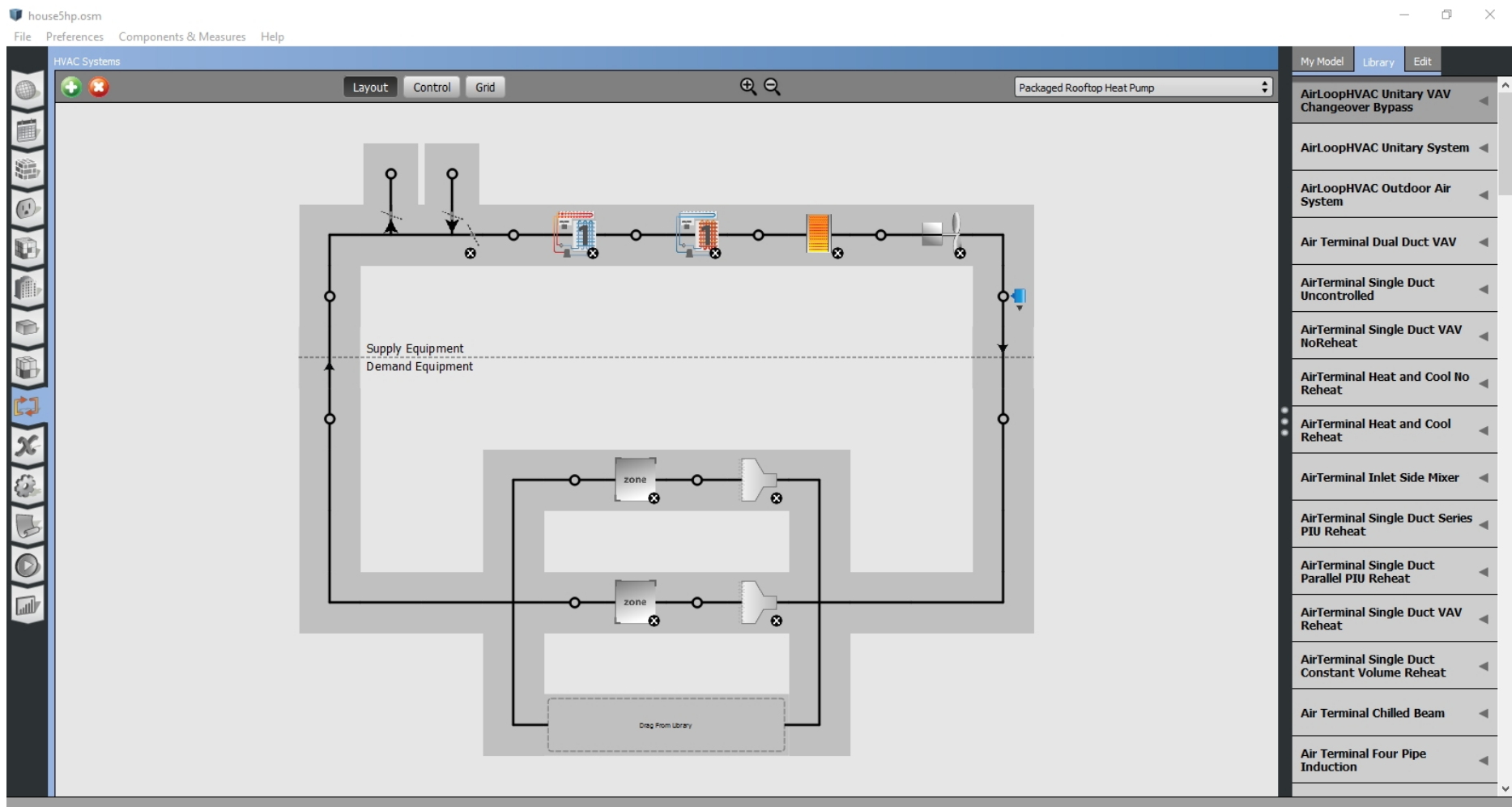
My Model Library Edit

- Schedule Rulesets
- Compact Schedules
- Zone Ventilation Design Flow Rate
- Unit Ventilator
- Unit Heater
- High Temp Radiant
- Low Temp Radiant Electric
- Low Temp Radiant Variable Flow
- Low Temp Radiant Constant Flow
- PTAC
- Water To Air HP
- PTHP
- Heat Pump Water Heater
- Fan Zone Exhaust
- Four Pipe Fan Coil

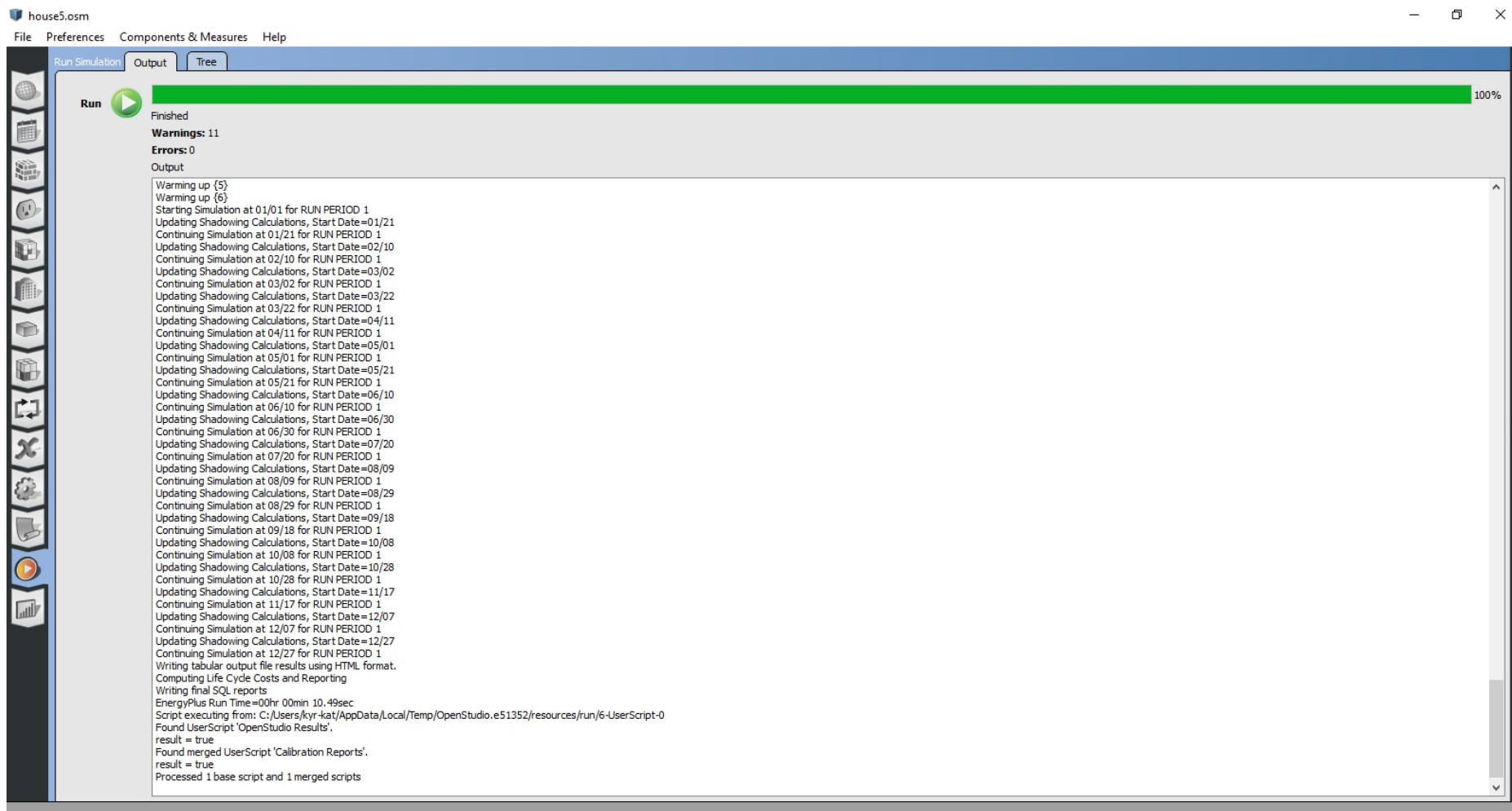
Εικόνα Α.9: Καθορισμός των θερμικών ζωνών για το ΚΑ στο «OpenStudio».



Εικόνα Α.10: Σχεδιασμός του συστήματος ζεστού νερού χρήσης για το ΚΑ στο «OpenStudio».



Εικόνα A.11: Σχεδιασμός του εναλλακτικού συστήματος αντλίας θερμότητας στο «OpenStudio».



Εικόνα Α.12: Εκτέλεση της ενεργειακής προσομοίωσης για το ΚΑ στο «OpenStudio».

house5.osm File Preferences Components & Measures Help

Results Summary Reports: OpenStudio Results Open ResultsViewer for Detailed Reports

OpenStudio Results

Model Summary

Model Summary

- Annual Overview
- Monthly Overview
- Utility Bills/Rates
- Envelope
- Space Type Breakdown
- Space Type Summary
- Interior Lighting Summary
- Plug Loads Summary
- Exterior Lighting
- Water Use Equipment
- HVAC Load Profiles
- Zone Conditions
- Zone Overview
- Zone Equipment Detail
- Air Loops Detail
- Plant Loops Detail
- Outdoor Air
- Cash Flow
- Site and Source Summary

Building Summary

Information	Value	Units
Building Name	Building 1	building_name
Net Site Energy	52,452	kBtu
Total Building Area	1,722	ft^2
EUI (Based on Net Site Energy and Total Building Area)	30.46	kBtu/ft^2
OpenStudio Standards Building Type	MidriseApartment	

Weather Summary

	Value
Weather File	THESSALONIKI - GRC IWECC Data WMO#=166220
Latitude	40.52
Longitude	22.97
Elevation	13 (ft)
Time Zone	2.00

Εικόνα Α.13: Αποτελέσματα της ενεργειακής προσομοίωσης για το ΚΑ στο «OpenStudio».

house5.osm File Preferences Components & Measures Help

Results Summary

Reports: EnergyPlus Results Open ResultsViewer for Detailed Reports

Program Version: EnergyPlus, Version 8.5.0-c87e61b44b, YMD=2016.11.22 22:13 [Table of Contents](#)

Tabular Output Report in Format: HTML

Building: Building 1

Environment: RUN PERIOD 1 ** THESSALONIKI - GRC IWEC Data WMO#=166220

Simulation Timestamp: 2016-11-22 22:13:51

Report: Annual Building Utility Performance Summary [Table of Contents](#)

For: Entire Facility

Timestamp: 2016-11-22 22:13:51

Values gathered over 8760.00 hours

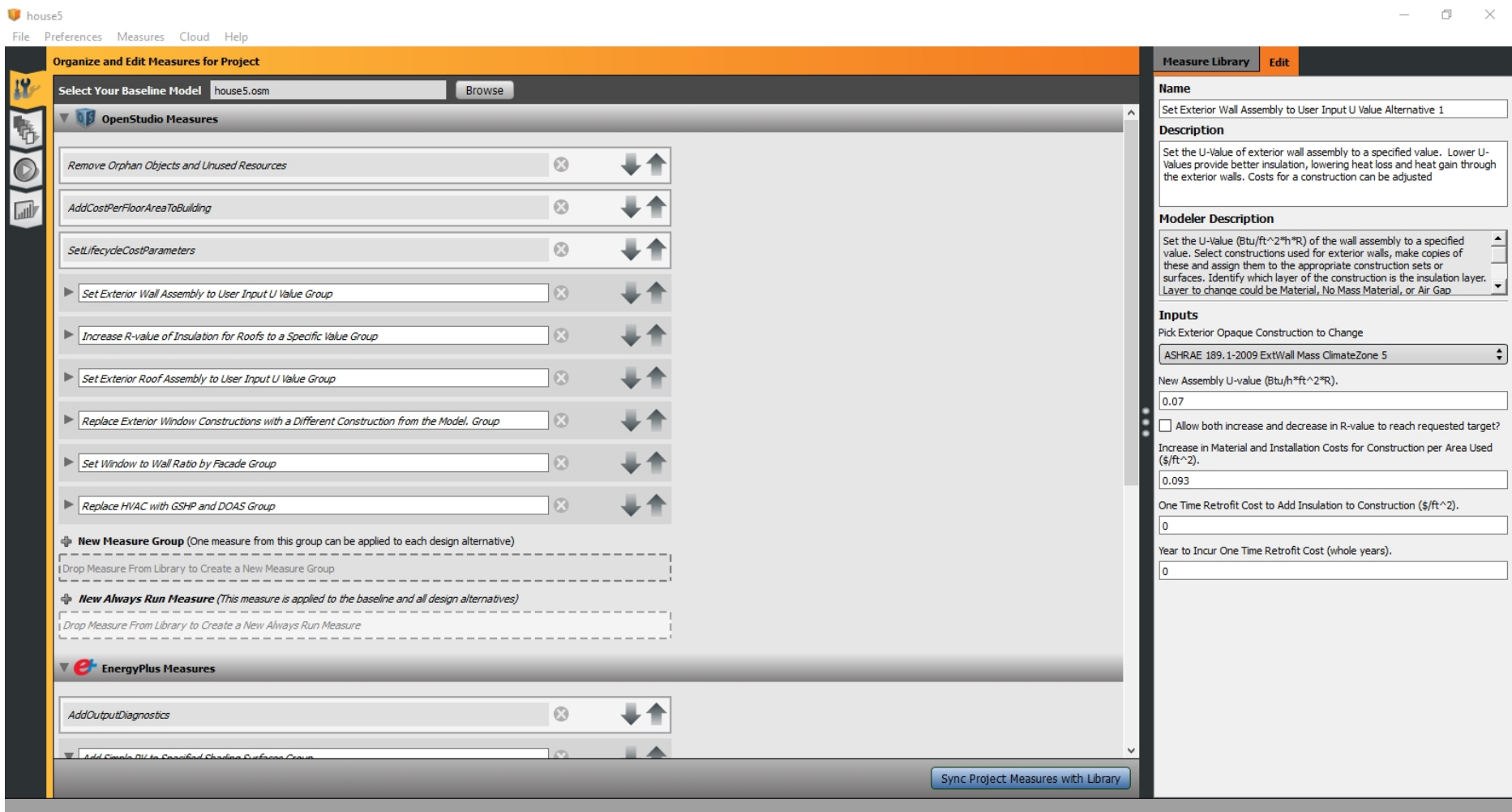
Site and Source Energy

	Total Energy [GJ]	Energy Per Total Building Area [MJ/m2]	Energy Per Conditioned Building Area [MJ/m2]
Total Site Energy	55.34	345.85	345.85
Net Site Energy	55.34	345.85	345.85
Total Source Energy	122.24	764.01	764.01
Net Source Energy	122.24	764.01	764.01

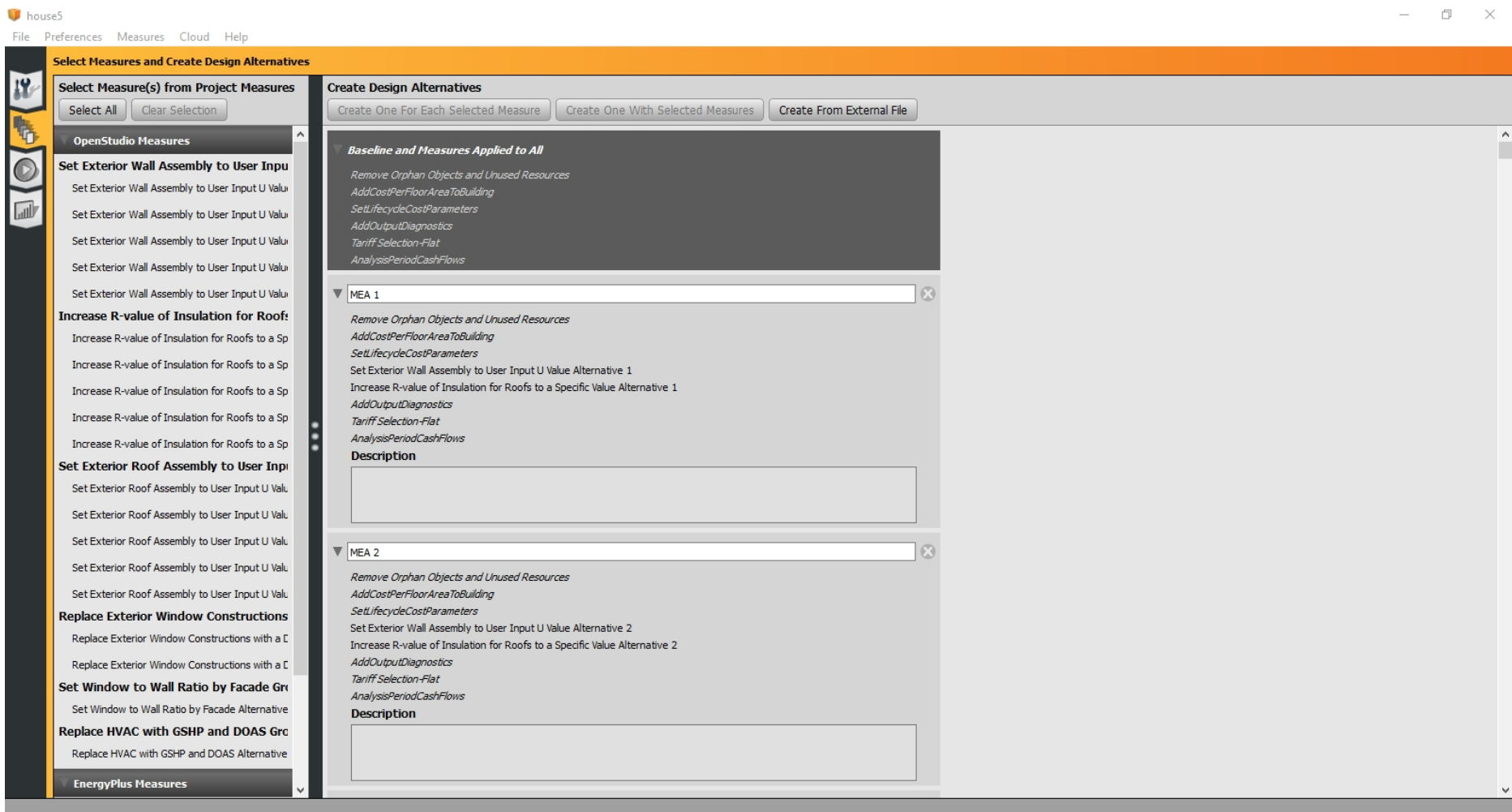
Site to Source Energy Conversion Factors

Site=>Source Conversion Factor

Εικόνα Α.14: Αποτελέσματα (βάση αναφοράς EnergyPlus) της ενεργειακής προσομοίωσης για το ΚΑ στο «OpenStudio».



Εικόνα A.15: Καθορισμός παραλλαγών ενεργειακών μέτρων, συνθηκών λειτουργίας και κόστους με το «ParametricAnalysisTool».



Εικόνα A.16: Καθορισμός των 90 σεναρίων (δέσμες μέτρων ενεργειακής απόδοσης) με το «ParametricAnalysisTool».



Εικόνα Α.17: Εκτέλεση της ενεργειακής προσομοίωσης των 90 σεναρίων ενεργειακής απόδοσης με το «ParametricAnalysisTool».

house5

File Preferences Measures Cloud Help

Create and View Reports

View: Standard Calibration

Design Alternative Name	Energy Use Intensity (kBtu/ft ² -yr)	Peak Electric Demand (kW)	Electricity Consumption (kWh)	Natural Gas Consumption (Million Btu)	District Cooling Consumption (Million Btu)	District Heating Consumption (Million Btu)	First Year Capital Cost (\$)	Annual Utility Cost (\$)	Total LCC (\$)
Baseline	30	4	8,303	24	0	0	120,556	2,040	157,466

Design Alternative Name	Energy Use Intensity Reduction (kBtu/ft ² -yr)	Peak Electric Demand Reduction (kW)	Electricity Savings (kWh)	Natural Gas Savings (Million Btu)	District Cooling Savings (Million Btu)	District Heating Savings (Million Btu)	First Year Capital Cost Increase (\$)	Annual Utility Cost Savings (\$)	Simple Payback (years)	Total LCC Savings (\$)
MEA 1	1 3%	0 1%	22 0%	2 7%	0 --	0 --	228 0%	37 2%	6	627 0%
MEA 2	2 5%	0 1%	39 0%	3 10%	0 --	0 --	492 0%	59 3%	8	799 1%
MEA 3	2 7%	0 1%	56 1%	3 14%	0 --	0 --	1,896 2%	80 4%	24	(766) (0%)
MEA 4	3 9%	0 2%	72 1%	5 19%	0 --	0 --	2,920 2%	109 5%	27	(1,560) (1%)
MEA 5	3 11%	0 2%	89 1%	6 23%	0 --	0 --	4,419 4%	132 6%	34	(3,235) (2%)
MEA 6	4 12%	0 1%	(108) (1%)	7 28%	0 --	0 --	6,223 5%	119 6%	52	(2,701) (2%)

Open File in the OpenStudio Application

Εικόνα Α.18: Συγκεντρικά αποτελέσματα της ενεργειακής προσομοίωσης των 90 σεναρίων με το «ParametricAnalysisTool».

Παράρτημα Β

Υπολογισμός Καθαρής Παρούσας Αξίας

Πίνακας Β.1: Αρχικά κόστη επένδυσης - κόστη αντικατάστασης (20 χρόνια). Σενάρια ΜΕΑ0-ΜΕΑ45.

ΜΕΑ	θερμομόνωση	κουφώματα	φωτο-βολταϊκά	αντλία θερμότητας	αρχικό κόστος επένδυσης	κόστος αντικατάστασης (20 χρόνια)
ΜΕΑ0	8.234 €	27.415 €	0 €	0 €	35.649 €	1.500 €
ΜΕΑ 1	8.507 €	27.415 €	0 €	0 €	35.922 €	1.500 €
ΜΕΑ 2	8.826 €	27.415 €	0 €	0 €	36.241 €	1.500 €
ΜΕΑ 3	10.509 €	27.415 €	0 €	0 €	37.924 €	1.500 €
ΜΕΑ 4	11.737 €	27.415 €	0 €	0 €	39.152 €	1.500 €
ΜΕΑ 5	13.534 €	27.415 €	0 €	0 €	40.949 €	1.500 €
ΜΕΑ 6	8.507 €	32.898 €	0 €	0 €	41.405 €	1.500 €
ΜΕΑ 7	8.826 €	32.898 €	0 €	0 €	41.724 €	1.500 €
ΜΕΑ 8	10.509 €	32.898 €	0 €	0 €	43.407 €	1.500 €
ΜΕΑ 9	11.737 €	32.898 €	0 €	0 €	44.635 €	1.500 €
ΜΕΑ 10	13.534 €	32.898 €	0 €	0 €	46.432 €	1.500 €
ΜΕΑ 11	8.507 €	38.381 €	0 €	0 €	46.888 €	1.500 €
ΜΕΑ 12	8.826 €	38.381 €	0 €	0 €	47.207 €	1.500 €
ΜΕΑ 13	10.509 €	38.381 €	0 €	0 €	48.890 €	1.500 €
ΜΕΑ 14	11.737 €	38.381 €	0 €	0 €	50.118 €	1.500 €
ΜΕΑ 15	13.534 €	38.381 €	0 €	0 €	51.915 €	1.500 €
ΜΕΑ 16	8.507 €	38.381 €	4.000 €	0 €	50.888 €	3.500 €
ΜΕΑ 17	8.826 €	38.381 €	4.000 €	0 €	51.207 €	3.500 €
ΜΕΑ 18	10.509 €	38.381 €	4.000 €	0 €	52.890 €	3.500 €
ΜΕΑ 19	11.737 €	38.381 €	4.000 €	0 €	54.118 €	3.500 €
ΜΕΑ 20	13.534 €	38.381 €	4.000 €	0 €	55.915 €	3.500 €
ΜΕΑ 21	8.507 €	38.381 €	7.500 €	0 €	54.388 €	5.250 €
ΜΕΑ 22	8.826 €	38.381 €	7.500 €	0 €	54.707 €	5.250 €
ΜΕΑ 23	10.509 €	38.381 €	7.500 €	0 €	56.390 €	5.250 €
ΜΕΑ 24	11.737 €	38.381 €	7.500 €	0 €	57.618 €	5.250 €
ΜΕΑ 25	13.534 €	38.381 €	7.500 €	0 €	59.415 €	5.250 €
ΜΕΑ 26	8.507 €	38.381 €	14.000 €	0 €	60.888 €	8.500 €
ΜΕΑ 27	8.826 €	38.381 €	14.000 €	0 €	61.207 €	8.500 €
ΜΕΑ 28	10.509 €	38.381 €	14.000 €	0 €	62.890 €	8.500 €
ΜΕΑ 29	11.737 €	38.381 €	14.000 €	0 €	64.118 €	8.500 €
ΜΕΑ 30	13.534 €	38.381 €	14.000 €	0 €	65.915 €	8.500 €
ΜΕΑ 31	8.507 €	35.018 €	4.000 €	0 €	47.525 €	3.500 €
ΜΕΑ 32	8.826 €	35.018 €	4.000 €	0 €	47.844 €	3.500 €
ΜΕΑ 33	10.509 €	35.018 €	4.000 €	0 €	49.527 €	3.500 €
ΜΕΑ 34	11.737 €	35.018 €	4.000 €	0 €	50.755 €	3.500 €
ΜΕΑ 35	13.534 €	35.018 €	4.000 €	0 €	52.552 €	3.500 €
ΜΕΑ 36	8.507 €	35.018 €	7.500 €	0 €	51.025 €	5.250 €
ΜΕΑ 37	8.826 €	35.018 €	7.500 €	0 €	51.344 €	5.250 €
ΜΕΑ 38	10.509 €	35.018 €	7.500 €	0 €	53.027 €	5.250 €
ΜΕΑ 39	11.737 €	35.018 €	7.500 €	0 €	54.255 €	5.250 €
ΜΕΑ 40	13.534 €	35.018 €	7.500 €	0 €	56.052 €	5.250 €
ΜΕΑ 41	8.507 €	35.018 €	14.000 €	0 €	57.525 €	8.500 €
ΜΕΑ 42	8.826 €	35.018 €	14.000 €	0 €	57.844 €	8.500 €
ΜΕΑ 43	10.509 €	35.018 €	14.000 €	0 €	59.527 €	8.500 €
ΜΕΑ 44	11.737 €	35.018 €	14.000 €	0 €	60.755 €	8.500 €
ΜΕΑ 45	13.534 €	35.018 €	14.000 €	0 €	62.552 €	8.500 €

Πίνακας Β.2: Αρχικά κόστη επένδυσης - κόστη αντικατάστασης (20 χρόνια). Σενάρια ΜΕΑ46-ΜΕΑ90.

ΜΕΑ	θερμομόνωση	κουφώματα	φωτο-βολταικά	αντλία θερμότητας	αρχικό κόστος επένδυσης	κόστος αντικατάστασης (20 χρόνια)
ΜΕΑ 46	8.507 €	27.415 €	0 €	8.000 €	43.922 €	4.500 €
ΜΕΑ 47	8.826 €	27.415 €	0 €	8.000 €	44.241 €	4.500 €
ΜΕΑ 48	10.509 €	27.415 €	0 €	8.000 €	45.924 €	4.500 €
ΜΕΑ 49	11.737 €	27.415 €	0 €	8.000 €	47.152 €	4.500 €
ΜΕΑ 50	13.534 €	27.415 €	0 €	8.000 €	48.949 €	4.500 €
ΜΕΑ 51	8.507 €	27.415 €	0 €	8.000 €	43.922 €	4.500 €
ΜΕΑ 52	8.826 €	32.898 €	0 €	8.000 €	49.724 €	4.500 €
ΜΕΑ 53	10.509 €	32.898 €	0 €	8.000 €	51.407 €	4.500 €
ΜΕΑ 54	11.737 €	32.898 €	0 €	8.000 €	52.635 €	4.500 €
ΜΕΑ 55	13.534 €	32.898 €	0 €	8.000 €	54.432 €	4.500 €
ΜΕΑ 56	8.507 €	32.898 €	0 €	8.000 €	49.405 €	4.500 €
ΜΕΑ 57	8.826 €	38.381 €	0 €	8.000 €	55.207 €	4.500 €
ΜΕΑ 58	10.509 €	38.381 €	0 €	8.000 €	56.890 €	4.500 €
ΜΕΑ 59	11.737 €	38.381 €	0 €	8.000 €	58.118 €	4.500 €
ΜΕΑ 60	13.534 €	38.381 €	0 €	8.000 €	59.915 €	4.500 €
ΜΕΑ 61	8.507 €	38.381 €	4.000 €	8.000 €	58.888 €	6.500 €
ΜΕΑ 62	8.826 €	38.381 €	4.000 €	8.000 €	59.207 €	6.500 €
ΜΕΑ 63	10.509 €	38.381 €	4.000 €	8.000 €	60.890 €	6.500 €
ΜΕΑ 64	11.737 €	38.381 €	4.000 €	8.000 €	62.118 €	6.500 €
ΜΕΑ 65	13.534 €	38.381 €	4.000 €	8.000 €	63.915 €	6.500 €
ΜΕΑ 66	8.507 €	38.381 €	7.500 €	8.000 €	62.388 €	8.250 €
ΜΕΑ 67	8.826 €	38.381 €	7.500 €	8.000 €	62.707 €	8.250 €
ΜΕΑ 68	10.509 €	38.381 €	7.500 €	8.000 €	64.390 €	8.250 €
ΜΕΑ 69	11.737 €	38.381 €	7.500 €	8.000 €	65.618 €	8.250 €
ΜΕΑ 70	13.534 €	38.381 €	7.500 €	8.000 €	67.415 €	8.250 €
ΜΕΑ 71	8.507 €	38.381 €	14.000 €	8.000 €	68.888 €	11.500 €
ΜΕΑ 72	8.826 €	38.381 €	14.000 €	8.000 €	69.207 €	11.500 €
ΜΕΑ 73	10.509 €	38.381 €	14.000 €	8.000 €	70.890 €	11.500 €
ΜΕΑ 74	11.737 €	38.381 €	14.000 €	8.000 €	72.118 €	11.500 €
ΜΕΑ 75	13.534 €	38.381 €	14.000 €	8.000 €	73.915 €	11.500 €
ΜΕΑ 76	8.507 €	38.381 €	4.000 €	8.000 €	58.888 €	6.500 €
ΜΕΑ 77	8.826 €	35.018 €	4.000 €	8.000 €	55.844 €	6.500 €
ΜΕΑ 78	10.509 €	35.018 €	4.000 €	8.000 €	57.527 €	6.500 €
ΜΕΑ 79	11.737 €	35.018 €	4.000 €	8.000 €	58.755 €	6.500 €
ΜΕΑ 80	13.534 €	35.018 €	4.000 €	8.000 €	60.552 €	6.500 €
ΜΕΑ 81	8.507 €	35.018 €	7.500 €	8.000 €	59.025 €	8.250 €
ΜΕΑ 82	8.826 €	35.018 €	7.500 €	8.000 €	59.344 €	8.250 €
ΜΕΑ 83	10.509 €	35.018 €	7.500 €	8.000 €	61.027 €	8.250 €
ΜΕΑ 84	11.737 €	35.018 €	7.500 €	8.000 €	62.255 €	8.250 €
ΜΕΑ 85	13.534 €	35.018 €	7.500 €	8.000 €	64.052 €	8.250 €
ΜΕΑ 86	8.507 €	35.018 €	14.000 €	8.000 €	65.525 €	11.500 €
ΜΕΑ 87	8.826 €	35.018 €	14.000 €	8.000 €	65.844 €	11.500 €
ΜΕΑ 88	10.509 €	35.018 €	14.000 €	8.000 €	67.527 €	11.500 €
ΜΕΑ 89	11.737 €	35.018 €	14.000 €	8.000 €	68.755 €	11.500 €
ΜΕΑ 90	13.534 €	35.018 €	14.000 €	8.000 €	70.552 €	11.500 €

Πίνακας Β.3: Ετήσια κόστη ενεργειακής κατανάλωσης - κόστη συντήρησης Η/Μ. Σενάρια ΜΕΑ0-ΜΕΑ45.

ΜΕΑ	κόστος ηλεκτρικής ενέργειας	κόστος φυσικού αερίου	συνολικό κόστος καυσίμων	κόστος συντήρησης	συνολικό ετήσιο κόστος
ΜΕΑ0	1.545 €	495 €	2.039 €	150 €	2.189 €
ΜΕΑ 1	1.540 €	462 €	2.002 €	150 €	2.152 €
ΜΕΑ 2	1.537 €	443 €	1.980 €	150 €	2.130 €
ΜΕΑ 3	1.534 €	425 €	1.959 €	150 €	2.109 €
ΜΕΑ 4	1.531 €	399 €	1.931 €	150 €	2.081 €
ΜΕΑ 5	1.528 €	380 €	1.908 €	150 €	2.058 €
ΜΕΑ 6	1.565 €	355 €	1.920 €	150 €	2.070 €
ΜΕΑ 7	1.562 €	337 €	1.899 €	150 €	2.049 €
ΜΕΑ 8	1.560 €	319 €	1.879 €	150 €	2.029 €
ΜΕΑ 9	1.556 €	295 €	1.851 €	150 €	2.001 €
ΜΕΑ 10	1.553 €	276 €	1.830 €	150 €	1.980 €
ΜΕΑ 11	1.593 €	249 €	1.842 €	150 €	1.992 €
ΜΕΑ 12	1.591 €	231 €	1.822 €	150 €	1.972 €
ΜΕΑ 13	1.588 €	215 €	1.803 €	150 €	1.953 €
ΜΕΑ 14	1.585 €	193 €	1.777 €	150 €	1.927 €
ΜΕΑ 15	1.582 €	175 €	1.757 €	150 €	1.907 €
ΜΕΑ 16	1.069 €	249 €	1.318 €	300 €	1.618 €
ΜΕΑ 17	1.066 €	231 €	1.298 €	300 €	1.598 €
ΜΕΑ 18	1.064 €	215 €	1.279 €	300 €	1.579 €
ΜΕΑ 19	1.061 €	193 €	1.253 €	300 €	1.553 €
ΜΕΑ 20	1.058 €	175 €	1.233 €	300 €	1.533 €
ΜΕΑ 21	544 €	249 €	793 €	300 €	1.093 €
ΜΕΑ 22	542 €	231 €	773 €	300 €	1.073 €
ΜΕΑ 23	539 €	215 €	754 €	300 €	1.054 €
ΜΕΑ 24	536 €	193 €	729 €	300 €	1.029 €
ΜΕΑ 25	533 €	175 €	709 €	300 €	1.009 €
ΜΕΑ 26	0 €	249 €	249 €	300 €	549 €
ΜΕΑ 27	0 €	231 €	231 €	300 €	531 €
ΜΕΑ 28	0 €	215 €	215 €	300 €	515 €
ΜΕΑ 29	0 €	193 €	193 €	300 €	493 €
ΜΕΑ 30	0 €	175 €	175 €	300 €	475 €
ΜΕΑ 31	1.054 €	238 €	1.292 €	300 €	1.592 €
ΜΕΑ 32	1.051 €	221 €	1.271 €	300 €	1.571 €
ΜΕΑ 33	1.048 €	204 €	1.252 €	300 €	1.552 €
ΜΕΑ 34	1.045 €	181 €	1.226 €	300 €	1.526 €
ΜΕΑ 35	1.043 €	163 €	1.206 €	300 €	1.506 €
ΜΕΑ 36	529 €	238 €	768 €	300 €	1.068 €
ΜΕΑ 37	526 €	221 €	747 €	300 €	1.047 €
ΜΕΑ 38	524 €	204 €	727 €	300 €	1.027 €
ΜΕΑ 39	520 €	181 €	701 €	300 €	1.001 €
ΜΕΑ 40	518 €	163 €	682 €	300 €	982 €
ΜΕΑ 41	0 €	238 €	238 €	300 €	538 €
ΜΕΑ 42	0 €	221 €	221 €	300 €	521 €
ΜΕΑ 43	0 €	204 €	204 €	300 €	504 €
ΜΕΑ 44	0 €	181 €	181 €	300 €	481 €
ΜΕΑ 45	0 €	163 €	163 €	300 €	463 €

Πίνακας Β.4: Ετήσια κόστη ενεργειακής κατανάλωσης - κόστη συντήρησης Η/Μ. Σενάρια ΜΕΑ46-ΜΕΑ90.

ΜΕΑ	κόστος ηλεκτρικής ενέργειας	κόστος φυσικού αερίου	συνολικό κόστος καυσίμων	κόστος συντήρησης	συνολικό ετήσιο κόστος
ΜΕΑ 46	1.838 €	0 €	1.838 €	100 €	1.938 €
ΜΕΑ 47	1.825 €	0 €	1.825 €	100 €	1.925 €
ΜΕΑ 48	1.812 €	0 €	1.812 €	100 €	1.912 €
ΜΕΑ 49	1.796 €	0 €	1.796 €	100 €	1.896 €
ΜΕΑ 50	1.782 €	0 €	1.782 €	100 €	1.882 €
ΜΕΑ 51	1.791 €	0 €	1.791 €	100 €	1.891 €
ΜΕΑ 52	1.779 €	0 €	1.779 €	100 €	1.879 €
ΜΕΑ 53	1.766 €	0 €	1.766 €	100 €	1.866 €
ΜΕΑ 54	1.750 €	0 €	1.750 €	100 €	1.850 €
ΜΕΑ 55	1.746 €	0 €	1.746 €	100 €	1.846 €
ΜΕΑ 56	1.736 €	0 €	1.736 €	100 €	1.836 €
ΜΕΑ 57	1.734 €	0 €	1.734 €	100 €	1.834 €
ΜΕΑ 58	1.722 €	0 €	1.722 €	100 €	1.822 €
ΜΕΑ 59	1.706 €	0 €	1.706 €	100 €	1.806 €
ΜΕΑ 60	1.693 €	0 €	1.693 €	100 €	1.793 €
ΜΕΑ 61	1.222 €	0 €	1.222 €	300 €	1.522 €
ΜΕΑ 62	1.209 €	0 €	1.209 €	300 €	1.509 €
ΜΕΑ 63	1.197 €	0 €	1.197 €	300 €	1.497 €
ΜΕΑ 64	1.181 €	0 €	1.181 €	300 €	1.481 €
ΜΕΑ 65	1.169 €	0 €	1.169 €	300 €	1.469 €
ΜΕΑ 66	697 €	0 €	697 €	300 €	997 €
ΜΕΑ 67	685 €	0 €	685 €	300 €	985 €
ΜΕΑ 68	673 €	0 €	673 €	300 €	973 €
ΜΕΑ 69	657 €	0 €	657 €	300 €	957 €
ΜΕΑ 70	645 €	0 €	645 €	300 €	945 €
ΜΕΑ 71	0 €	0 €	0 €	300 €	300 €
ΜΕΑ 72	0 €	0 €	0 €	300 €	300 €
ΜΕΑ 73	0 €	0 €	0 €	300 €	300 €
ΜΕΑ 74	0 €	0 €	0 €	300 €	300 €
ΜΕΑ 75	0 €	0 €	0 €	300 €	300 €
ΜΕΑ 76	1.200 €	0 €	1.200 €	300 €	1.500 €
ΜΕΑ 77	1.187 €	0 €	1.187 €	300 €	1.487 €
ΜΕΑ 78	1.174 €	0 €	1.174 €	300 €	1.474 €
ΜΕΑ 79	1.158 €	0 €	1.158 €	300 €	1.458 €
ΜΕΑ 80	1.145 €	0 €	1.145 €	300 €	1.445 €
ΜΕΑ 81	675 €	0 €	675 €	300 €	975 €
ΜΕΑ 82	662 €	0 €	662 €	300 €	962 €
ΜΕΑ 83	650 €	0 €	650 €	300 €	950 €
ΜΕΑ 84	633 €	0 €	633 €	300 €	933 €
ΜΕΑ 85	620 €	0 €	620 €	300 €	920 €
ΜΕΑ 86	0 €	0 €	0 €	300 €	300 €
ΜΕΑ 87	0 €	0 €	0 €	300 €	300 €
ΜΕΑ 88	0 €	0 €	0 €	300 €	300 €
ΜΕΑ 89	0 €	0 €	0 €	300 €	300 €
ΜΕΑ 90	0 €	0 €	0 €	300 €	300 €

Πίνακας Β.5: Υπολογισμός καθαρής παρούσας αξίας (NPV). Βασικό σενάριο. Σενάρια ΜΕΑ0-ΜΕΑ45.

ΜΕΑ	αρχικό κόστος	1ο έτος	2ο έτος	...	20ο έτος	...	30ο έτος	NPV
ΜΕΑ0	35.649 €	2.189 €	2.105 €	...	1.751 €	...	702 €	74.194 €
ΜΕΑ 1	35.922 €	2.152 €	2.070 €	...	1.734 €	...	690 €	73.827 €
ΜΕΑ 2	36.241 €	2.130 €	2.048 €	...	1.723 €	...	683 €	73.763 €
ΜΕΑ 3	37.924 €	2.109 €	2.028 €	...	1.713 €	...	676 €	75.077 €
ΜΕΑ 4	39.152 €	2.081 €	2.001 €	...	1.700 €	...	667 €	75.814 €
ΜΕΑ 5	40.949 €	2.058 €	1.979 €	...	1.689 €	...	660 €	77.218 €
ΜΕΑ 6	41.405 €	2.070 €	1.990 €	...	1.695 €	...	664 €	77.885 €
ΜΕΑ 7	41.724 €	2.049 €	1.970 €	...	1.685 €	...	657 €	77.839 €
ΜΕΑ 8	43.407 €	2.029 €	1.951 €	...	1.675 €	...	650 €	79.171 €
ΜΕΑ 9	44.635 €	2.001 €	1.924 €	...	1.662 €	...	642 €	79.920 €
ΜΕΑ 10	46.432 €	1.980 €	1.904 €	...	1.652 €	...	635 €	81.349 €
ΜΕΑ 11	46.888 €	1.992 €	1.915 €	...	1.657 €	...	639 €	82.016 €
ΜΕΑ 12	47.207 €	1.972 €	1.896 €	...	1.648 €	...	632 €	81.991 €
ΜΕΑ 13	48.890 €	1.953 €	1.878 €	...	1.639 €	...	626 €	83.346 €
ΜΕΑ 14	50.118 €	1.927 €	1.853 €	...	1.627 €	...	618 €	84.132 €
ΜΕΑ 15	51.915 €	1.907 €	1.834 €	...	1.617 €	...	612 €	85.584 €
ΜΕΑ 16	50.888 €	1.618 €	1.555 €	...	2.429 €	...	519 €	80.456 €
ΜΕΑ 17	51.207 €	1.598 €	1.536 €	...	2.420 €	...	512 €	80.431 €
ΜΕΑ 18	52.890 €	1.579 €	1.518 €	...	2.411 €	...	506 €	81.786 €
ΜΕΑ 19	54.118 €	1.553 €	1.493 €	...	2.398 €	...	498 €	82.571 €
ΜΕΑ 20	55.915 €	1.533 €	1.474 €	...	2.389 €	...	492 €	84.024 €
ΜΕΑ 21	54.388 €	1.093 €	1.051 €	...	3.011 €	...	350 €	75.685 €
ΜΕΑ 22	54.707 €	1.073 €	1.032 €	...	3.001 €	...	344 €	75.659 €
ΜΕΑ 23	56.390 €	1.054 €	1.014 €	...	2.992 €	...	338 €	77.015 €
ΜΕΑ 24	57.618 €	1.029 €	989 €	...	2.980 €	...	330 €	77.800 €
ΜΕΑ 25	59.415 €	1.009 €	970 €	...	2.971 €	...	323 €	79.253 €
ΜΕΑ 26	60.888 €	549 €	528 €	...	4.295 €	...	176 €	74.256 €
ΜΕΑ 27	61.207 €	531 €	511 €	...	4.287 €	...	170 €	74.275 €
ΜΕΑ 28	62.890 €	515 €	495 €	...	4.279 €	...	165 €	75.676 €
ΜΕΑ 29	64.118 €	493 €	474 €	...	4.268 €	...	158 €	76.514 €
ΜΕΑ 30	65.915 €	475 €	457 €	...	4.260 €	...	152 €	78.012 €
ΜΕΑ 31	47.525 €	1.592 €	1.531 €	...	2.417 €	...	511 €	76.655 €
ΜΕΑ 32	47.844 €	1.571 €	1.511 €	...	2.407 €	...	504 €	76.610 €
ΜΕΑ 33	49.527 €	1.552 €	1.492 €	...	2.398 €	...	498 €	77.960 €
ΜΕΑ 34	50.755 €	1.526 €	1.467 €	...	2.385 €	...	489 €	78.735 €
ΜΕΑ 35	52.552 €	1.506 €	1.448 €	...	2.376 €	...	483 €	80.197 €
ΜΕΑ 36	51.025 €	1.068 €	1.027 €	...	2.999 €	...	342 €	71.884 €
ΜΕΑ 37	51.344 €	1.047 €	1.006 €	...	2.989 €	...	336 €	71.839 €
ΜΕΑ 38	53.027 €	1.027 €	988 €	...	2.980 €	...	329 €	73.189 €
ΜΕΑ 39	54.255 €	1.001 €	963 €	...	2.967 €	...	321 €	73.963 €
ΜΕΑ 40	56.052 €	982 €	944 €	...	2.958 €	...	315 €	75.425 €
ΜΕΑ 41	57.525 €	538 €	518 €	...	4.290 €	...	173 €	70.715 €
ΜΕΑ 42	57.844 €	521 €	501 €	...	4.282 €	...	167 €	70.724 €
ΜΕΑ 43	59.527 €	504 €	484 €	...	4.274 €	...	162 €	72.118 €
ΜΕΑ 44	60.755 €	481 €	462 €	...	4.263 €	...	154 €	72.946 €
ΜΕΑ 45	62.552 €	463 €	446 €	...	4.255 €	...	149 €	74.444 €

Πίνακας Β.6: Υπολογισμός καθαρής παρούσας αξίας (NPV). Βασικό σενάριο. Σενάρια ΜΕΑ46-ΜΕΑ90.

ΜΕΑ	αρχικό κόστος	1ο έτος	2ο έτος	...	20ο έτος	...	30ο έτος	NPV
ΜΕΑ 46	43.922 €	1.938 €	1.863 €	...	3.056 €	...	621 €	79.480 €
ΜΕΑ 47	44.241 €	1.925 €	1.851 €	...	3.049 €	...	617 €	79.575 €
ΜΕΑ 48	45.924 €	1.912 €	1.839 €	...	3.044 €	...	613 €	81.044 €
ΜΕΑ 49	47.152 €	1.896 €	1.823 €	...	3.036 €	...	608 €	81.987 €
ΜΕΑ 50	48.949 €	1.882 €	1.810 €	...	3.029 €	...	604 €	83.551 €
ΜΕΑ 51	43.922 €	1.891 €	1.818 €	...	3.034 €	...	606 €	78.676 €
ΜΕΑ 52	49.724 €	1.879 €	1.806 €	...	3.028 €	...	602 €	84.263 €
ΜΕΑ 53	51.407 €	1.866 €	1.794 €	...	3.022 €	...	598 €	85.723 €
ΜΕΑ 54	52.635 €	1.850 €	1.779 €	...	3.014 €	...	593 €	86.674 €
ΜΕΑ 55	54.432 €	1.846 €	1.775 €	...	3.012 €	...	592 €	88.409 €
ΜΕΑ 56	49.405 €	1.836 €	1.766 €	...	3.008 €	...	589 €	83.212 €
ΜΕΑ 57	55.207 €	1.834 €	1.763 €	...	3.006 €	...	588 €	88.968 €
ΜΕΑ 58	56.890 €	1.822 €	1.752 €	...	3.001 €	...	584 €	90.446 €
ΜΕΑ 59	58.118 €	1.806 €	1.736 €	...	2.993 €	...	579 €	91.397 €
ΜΕΑ 60	59.915 €	1.793 €	1.724 €	...	2.987 €	...	575 €	92.980 €
ΜΕΑ 61	58.888 €	1.522 €	1.463 €	...	3.808 €	...	488 €	88.169 €
ΜΕΑ 62	59.207 €	1.509 €	1.451 €	...	3.802 €	...	484 €	88.273 €
ΜΕΑ 63	60.890 €	1.497 €	1.440 €	...	3.796 €	...	480 €	89.750 €
ΜΕΑ 64	62.118 €	1.481 €	1.424 €	...	3.788 €	...	475 €	90.701 €
ΜΕΑ 65	63.915 €	1.469 €	1.413 €	...	3.783 €	...	471 €	92.284 €
ΜΕΑ 66	62.388 €	997 €	959 €	...	4.389 €	...	320 €	83.398 €
ΜΕΑ 67	62.707 €	985 €	947 €	...	4.383 €	...	316 €	83.501 €
ΜΕΑ 68	64.390 €	973 €	936 €	...	4.378 €	...	312 €	84.979 €
ΜΕΑ 69	65.618 €	957 €	920 €	...	4.370 €	...	307 €	85.930 €
ΜΕΑ 70	67.415 €	945 €	908 €	...	4.364 €	...	303 €	87.513 €
ΜΕΑ 71	68.888 €	300 €	288 €	...	5.601 €	...	96 €	79.324 €
ΜΕΑ 72	69.207 €	300 €	288 €	...	5.601 €	...	96 €	79.643 €
ΜΕΑ 73	70.890 €	300 €	288 €	...	5.601 €	...	96 €	81.326 €
ΜΕΑ 74	72.118 €	300 €	288 €	...	5.601 €	...	96 €	82.554 €
ΜΕΑ 75	73.915 €	300 €	288 €	...	5.601 €	...	96 €	84.351 €
ΜΕΑ 76	58.888 €	1.500 €	1.442 €	...	3.797 €	...	481 €	87.784 €
ΜΕΑ 77	55.844 €	1.487 €	1.429 €	...	3.791 €	...	477 €	84.517 €
ΜΕΑ 78	57.527 €	1.474 €	1.418 €	...	3.785 €	...	473 €	85.986 €
ΜΕΑ 79	58.755 €	1.458 €	1.402 €	...	3.777 €	...	467 €	86.927 €
ΜΕΑ 80	60.552 €	1.445 €	1.389 €	...	3.771 €	...	463 €	88.501 €
ΜΕΑ 81	59.025 €	975 €	938 €	...	4.379 €	...	313 €	79.650 €
ΜΕΑ 82	59.344 €	962 €	925 €	...	4.373 €	...	308 €	79.745 €
ΜΕΑ 83	61.027 €	950 €	913 €	...	4.367 €	...	305 €	81.214 €
ΜΕΑ 84	62.255 €	933 €	897 €	...	4.359 €	...	299 €	82.156 €
ΜΕΑ 85	64.052 €	920 €	885 €	...	4.353 €	...	295 €	83.730 €
ΜΕΑ 86	65.525 €	300 €	288 €	...	5.601 €	...	96 €	75.961 €
ΜΕΑ 87	65.844 €	300 €	288 €	...	5.601 €	...	96 €	76.280 €
ΜΕΑ 88	67.527 €	300 €	288 €	...	5.601 €	...	96 €	77.963 €
ΜΕΑ 89	68.755 €	300 €	288 €	...	5.601 €	...	96 €	79.191 €
ΜΕΑ 90	70.552 €	300 €	288 €	...	5.601 €	...	96 €	80.988 €

Πίνακας Β.7: Υπολογισμός καθαρής παρούσας αξίας (NPV) για προεξοφλητικό επιτόκιο 3,0 %.
Σενάρια ΜΕΑ0-ΜΕΑ45.

ΜΕΑ	αρχικό κόστος	1ο έτος	2ο έτος	...	20ο έτος	...	30ο έτος	NPV
ΜΕΑ0	35.649 €	2.189 €	2.126 €	...	2.104 €	...	929 €	79.395 €
ΜΕΑ 1	35.922 €	2.152 €	2.090 €	...	2.083 €	...	913 €	78.942 €
ΜΕΑ 2	36.241 €	2.130 €	2.068 €	...	2.070 €	...	904 €	78.827 €
ΜΕΑ 3	37.924 €	2.109 €	2.048 €	...	2.058 €	...	895 €	80.091 €
ΜΕΑ 4	39.152 €	2.081 €	2.020 €	...	2.042 €	...	883 €	80.763 €
ΜΕΑ 5	40.949 €	2.058 €	1.998 €	...	2.029 €	...	873 €	82.114 €
ΜΕΑ 6	41.405 €	2.070 €	2.010 €	...	2.036 €	...	878 €	82.809 €
ΜΕΑ 7	41.724 €	2.049 €	1.989 €	...	2.024 €	...	869 €	82.715 €
ΜΕΑ 8	43.407 €	2.029 €	1.970 €	...	2.012 €	...	861 €	84.000 €
ΜΕΑ 9	44.635 €	2.001 €	1.943 €	...	1.997 €	...	849 €	84.685 €
ΜΕΑ 10	46.432 €	1.980 €	1.922 €	...	1.984 €	...	840 €	86.065 €
ΜΕΑ 11	46.888 €	1.992 €	1.934 €	...	1.991 €	...	845 €	86.760 €
ΜΕΑ 12	47.207 €	1.972 €	1.915 €	...	1.980 €	...	837 €	86.689 €
ΜΕΑ 13	48.890 €	1.953 €	1.896 €	...	1.969 €	...	829 €	88.001 €
ΜΕΑ 14	50.118 €	1.927 €	1.871 €	...	1.955 €	...	818 €	88.727 €
ΜΕΑ 15	51.915 €	1.907 €	1.852 €	...	1.943 €	...	809 €	90.133 €
ΜΕΑ 16	50.888 €	1.618 €	1.570 €	...	2.918 €	...	686 €	84.530 €
ΜΕΑ 17	51.207 €	1.598 €	1.551 €	...	2.907 €	...	678 €	84.459 €
ΜΕΑ 18	52.890 €	1.579 €	1.533 €	...	2.896 €	...	670 €	85.771 €
ΜΕΑ 19	54.118 €	1.553 €	1.508 €	...	2.882 €	...	659 €	86.497 €
ΜΕΑ 20	55.915 €	1.533 €	1.489 €	...	2.870 €	...	651 €	87.904 €
ΜΕΑ 21	54.388 €	1.093 €	1.061 €	...	3.617 €	...	464 €	78.718 €
ΜΕΑ 22	54.707 €	1.073 €	1.042 €	...	3.606 €	...	455 €	78.647 €
ΜΕΑ 23	56.390 €	1.054 €	1.023 €	...	3.595 €	...	447 €	79.959 €
ΜΕΑ 24	57.618 €	1.029 €	999 €	...	3.581 €	...	436 €	80.685 €
ΜΕΑ 25	59.415 €	1.009 €	979 €	...	3.569 €	...	428 €	82.092 €
ΜΕΑ 26	60.888 €	549 €	533 €	...	5.160 €	...	233 €	76.350 €
ΜΕΑ 27	61.207 €	531 €	516 €	...	5.150 €	...	226 €	76.329 €
ΜΕΑ 28	62.890 €	515 €	500 €	...	5.141 €	...	219 €	77.692 €
ΜΕΑ 29	64.118 €	493 €	478 €	...	5.128 €	...	209 €	78.478 €
ΜΕΑ 30	65.915 €	475 €	461 €	...	5.118 €	...	202 €	79.936 €
ΜΕΑ 31	47.525 €	1.592 €	1.546 €	...	2.904 €	...	676 €	80.671 €
ΜΕΑ 32	47.844 €	1.571 €	1.525 €	...	2.892 €	...	667 €	80.578 €
ΜΕΑ 33	49.527 €	1.552 €	1.507 €	...	2.881 €	...	659 €	81.883 €
ΜΕΑ 34	50.755 €	1.526 €	1.481 €	...	2.866 €	...	647 €	82.597 €
ΜΕΑ 35	52.552 €	1.506 €	1.462 €	...	2.855 €	...	639 €	84.014 €
ΜΕΑ 36	51.025 €	1.068 €	1.037 €	...	3.603 €	...	453 €	74.859 €
ΜΕΑ 37	51.344 €	1.047 €	1.016 €	...	3.591 €	...	444 €	74.766 €
ΜΕΑ 38	53.027 €	1.027 €	997 €	...	3.580 €	...	436 €	76.071 €
ΜΕΑ 39	54.255 €	1.001 €	972 €	...	3.565 €	...	425 €	76.785 €
ΜΕΑ 40	56.052 €	982 €	953 €	...	3.554 €	...	417 €	78.202 €
ΜΕΑ 41	57.525 €	538 €	523 €	...	5.154 €	...	228 €	72.785 €
ΜΕΑ 42	57.844 €	521 €	505 €	...	5.144 €	...	221 €	72.752 €
ΜΕΑ 43	59.527 €	504 €	489 €	...	5.135 €	...	214 €	74.108 €
ΜΕΑ 44	60.755 €	481 €	467 €	...	5.122 €	...	204 €	74.883 €
ΜΕΑ 45	62.552 €	463 €	450 €	...	5.112 €	...	197 €	76.340 €

Πίνακας Β.8: Υπολογισμός καθαρής παρούσας αξίας (NPV) για προεξοφλητικό επιτόκιο 3,0 %.

Σενάρια ΜΕΑ46-ΜΕΑ90.

ΜΕΑ	αρχικό κόστος	1ο έτος	2ο έτος	...	20ο έτος	...	30ο έτος	NPV
ΜΕΑ 46	43.922 €	1.938 €	1.881 €	...	3.671 €	...	822 €	84.390 €
ΜΕΑ 47	44.241 €	1.925 €	1.869 €	...	3.664 €	...	817 €	84.455 €
ΜΕΑ 48	45.924 €	1.912 €	1.857 €	...	3.657 €	...	811 €	85.896 €
ΜΕΑ 49	47.152 €	1.896 €	1.840 €	...	3.647 €	...	804 €	86.801 €
ΜΕΑ 50	48.949 €	1.882 €	1.827 €	...	3.640 €	...	799 €	88.334 €
ΜΕΑ 51	43.922 €	1.891 €	1.836 €	...	3.645 €	...	802 €	83.479 €
ΜΕΑ 52	49.724 €	1.879 €	1.824 €	...	3.638 €	...	797 €	89.038 €
ΜΕΑ 53	51.407 €	1.866 €	1.811 €	...	3.630 €	...	792 €	90.468 €
ΜΕΑ 54	52.635 €	1.850 €	1.796 €	...	3.621 €	...	785 €	91.382 €
ΜΕΑ 55	54.432 €	1.846 €	1.792 €	...	3.619 €	...	783 €	93.108 €
ΜΕΑ 56	49.405 €	1.836 €	1.783 €	...	3.613 €	...	779 €	87.889 €
ΜΕΑ 57	55.207 €	1.834 €	1.780 €	...	3.612 €	...	778 €	93.639 €
ΜΕΑ 58	56.890 €	1.822 €	1.769 €	...	3.605 €	...	773 €	95.089 €
ΜΕΑ 59	58.118 €	1.806 €	1.753 €	...	3.596 €	...	766 €	96.003 €
ΜΕΑ 60	59.915 €	1.793 €	1.741 €	...	3.589 €	...	761 €	97.558 €
ΜΕΑ 61	58.888 €	1.522 €	1.477 €	...	4.575 €	...	646 €	92.314 €
ΜΕΑ 62	59.207 €	1.509 €	1.465 €	...	4.568 €	...	640 €	92.389 €
ΜΕΑ 63	60.890 €	1.497 €	1.454 €	...	4.561 €	...	635 €	93.839 €
ΜΕΑ 64	62.118 €	1.481 €	1.438 €	...	4.552 €	...	629 €	94.754 €
ΜΕΑ 65	63.915 €	1.469 €	1.426 €	...	4.545 €	...	623 €	96.308 €
ΜΕΑ 66	62.388 €	997 €	968 €	...	5.274 €	...	423 €	86.502 €
ΜΕΑ 67	62.707 €	985 €	956 €	...	5.266 €	...	418 €	86.577 €
ΜΕΑ 68	64.390 €	973 €	945 €	...	5.260 €	...	413 €	88.028 €
ΜΕΑ 69	65.618 €	957 €	929 €	...	5.251 €	...	406 €	88.942 €
ΜΕΑ 70	67.415 €	945 €	917 €	...	5.244 €	...	401 €	90.496 €
ΜΕΑ 71	68.888 €	300 €	291 €	...	6.729 €	...	127 €	81.136 €
ΜΕΑ 72	69.207 €	300 €	291 €	...	6.729 €	...	127 €	81.454 €
ΜΕΑ 73	70.890 €	300 €	291 €	...	6.729 €	...	127 €	83.137 €
ΜΕΑ 74	72.118 €	300 €	291 €	...	6.729 €	...	127 €	84.366 €
ΜΕΑ 75	73.915 €	300 €	291 €	...	6.729 €	...	127 €	86.162 €
ΜΕΑ 76	58.888 €	1.500 €	1.456 €	...	4.562 €	...	636 €	91.878 €
ΜΕΑ 77	55.844 €	1.487 €	1.443 €	...	4.555 €	...	631 €	88.581 €
ΜΕΑ 78	57.527 €	1.474 €	1.431 €	...	4.548 €	...	626 €	90.021 €
ΜΕΑ 79	58.755 €	1.458 €	1.415 €	...	4.538 €	...	619 €	90.925 €
ΜΕΑ 80	60.552 €	1.445 €	1.403 €	...	4.531 €	...	613 €	92.468 €
ΜΕΑ 81	59.025 €	975 €	947 €	...	5.261 €	...	414 €	82.704 €
ΜΕΑ 82	59.344 €	962 €	934 €	...	5.254 €	...	408 €	82.769 €
ΜΕΑ 83	61.027 €	950 €	922 €	...	5.246 €	...	403 €	84.209 €
ΜΕΑ 84	62.255 €	933 €	906 €	...	5.237 €	...	396 €	85.113 €
ΜΕΑ 85	64.052 €	920 €	893 €	...	5.230 €	...	390 €	86.656 €
ΜΕΑ 86	65.525 €	300 €	291 €	...	6.729 €	...	127 €	77.773 €
ΜΕΑ 87	65.844 €	300 €	291 €	...	6.729 €	...	127 €	78.091 €
ΜΕΑ 88	67.527 €	300 €	291 €	...	6.729 €	...	127 €	79.774 €
ΜΕΑ 89	68.755 €	300 €	291 €	...	6.729 €	...	127 €	81.003 €
ΜΕΑ 90	70.552 €	300 €	291 €	...	6.729 €	...	127 €	82.799 €

Πίνακας Β.9: Υπολογισμός καθαρής παρούσας αξίας (NPV) για αύξηση των ενεργειακών τιμών κατά 2,8 % ανά έτος. Σενάρια ΜΕΑ0-ΜΕΑ45.

ΜΕΑ	αρχικό κόστος	1ο έτος	2ο έτος	...	20ο έτος	...	30ο έτος	NPV
ΜΕΑ0	35.649 €	2.458 €	2.364 €	...	2.976 €	...	788 €	87.359 €
ΜΕΑ 1	35.922 €	2.420 €	2.327 €	...	2.930 €	...	776 €	86.820 €
ΜΕΑ 2	36.241 €	2.396 €	2.304 €	...	2.902 €	...	768 €	86.651 €
ΜΕΑ 3	37.924 €	2.374 €	2.283 €	...	2.875 €	...	761 €	87.863 €
ΜΕΑ 4	39.152 €	2.344 €	2.254 €	...	2.839 €	...	752 €	88.469 €
ΜΕΑ 5	40.949 €	2.321 €	2.231 €	...	2.810 €	...	744 €	89.765 €
ΜΕΑ 6	41.405 €	2.338 €	2.248 €	...	2.831 €	...	750 €	90.590 €
ΜΕΑ 7	41.724 €	2.316 €	2.227 €	...	2.804 €	...	743 €	90.446 €
ΜΕΑ 8	43.407 €	2.295 €	2.207 €	...	2.779 €	...	736 €	91.683 €
ΜΕΑ 9	44.635 €	2.266 €	2.179 €	...	2.744 €	...	727 €	92.301 €
ΜΕΑ 10	46.432 €	2.244 €	2.157 €	...	2.717 €	...	719 €	93.630 €
ΜΕΑ 11	46.888 €	2.262 €	2.175 €	...	2.739 €	...	725 €	94.465 €
ΜΕΑ 12	47.207 €	2.241 €	2.155 €	...	2.713 €	...	719 €	94.346 €
ΜΕΑ 13	48.890 €	2.221 €	2.136 €	...	2.689 €	...	712 €	95.612 €
ΜΕΑ 14	50.118 €	2.194 €	2.110 €	...	2.657 €	...	704 €	96.277 €
ΜΕΑ 15	51.915 €	2.173 €	2.090 €	...	2.632 €	...	697 €	97.636 €
ΜΕΑ 16	50.888 €	1.801 €	1.732 €	...	2.181 €	...	577 €	88.770 €
ΜΕΑ 17	51.207 €	1.780 €	1.712 €	...	2.155 €	...	571 €	88.652 €
ΜΕΑ 18	52.890 €	1.760 €	1.693 €	...	2.131 €	...	564 €	89.917 €
ΜΕΑ 19	54.118 €	1.733 €	1.667 €	...	2.099 €	...	556 €	90.583 €
ΜΕΑ 20	55.915 €	1.713 €	1.647 €	...	2.074 €	...	549 €	91.942 €
ΜΕΑ 21	54.388 €	1.190 €	1.144 €	...	1.441 €	...	382 €	79.416 €
ΜΕΑ 22	54.707 €	1.169 €	1.124 €	...	1.415 €	...	375 €	79.297 €
ΜΕΑ 23	56.390 €	1.149 €	1.105 €	...	1.391 €	...	368 €	80.563 €
ΜΕΑ 24	57.618 €	1.122 €	1.079 €	...	1.359 €	...	360 €	81.229 €
ΜΕΑ 25	59.415 €	1.102 €	1.059 €	...	1.334 €	...	353 €	82.587 €
ΜΕΑ 26	60.888 €	556 €	534 €	...	673 €	...	178 €	72.578 €
ΜΕΑ 27	61.207 €	538 €	517 €	...	651 €	...	172 €	72.522 €
ΜΕΑ 28	62.890 €	521 €	501 €	...	631 €	...	167 €	73.852 €
ΜΕΑ 29	64.118 €	498 €	479 €	...	603 €	...	160 €	74.592 €
ΜΕΑ 30	65.915 €	480 €	462 €	...	581 €	...	154 €	76.015 €
ΜΕΑ 31	47.525 €	1.773 €	1.705 €	...	2.147 €	...	568 €	84.817 €
ΜΕΑ 32	47.844 €	1.751 €	1.683 €	...	2.120 €	...	561 €	84.672 €
ΜΕΑ 33	49.527 €	1.731 €	1.664 €	...	2.095 €	...	555 €	85.931 €
ΜΕΑ 34	50.755 €	1.703 €	1.638 €	...	2.062 €	...	546 €	86.583 €
ΜΕΑ 35	52.552 €	1.683 €	1.618 €	...	2.038 €	...	540 €	87.955 €
ΜΕΑ 36	51.025 €	1.162 €	1.117 €	...	1.407 €	...	372 €	75.463 €
ΜΕΑ 37	51.344 €	1.140 €	1.096 €	...	1.380 €	...	365 €	75.318 €
ΜΕΑ 38	53.027 €	1.120 €	1.076 €	...	1.356 €	...	359 €	76.577 €
ΜΕΑ 39	54.255 €	1.092 €	1.050 €	...	1.322 €	...	350 €	77.228 €
ΜΕΑ 40	56.052 €	1.072 €	1.031 €	...	1.298 €	...	344 €	78.601 €
ΜΕΑ 41	57.525 €	545 €	524 €	...	660 €	...	175 €	68.992 €
ΜΕΑ 42	57.844 €	527 €	506 €	...	638 €	...	169 €	68.923 €
ΜΕΑ 43	59.527 €	510 €	490 €	...	617 €	...	163 €	70.245 €
ΜΕΑ 44	60.755 €	486 €	467 €	...	588 €	...	156 €	70.973 €
ΜΕΑ 45	62.552 €	468 €	450 €	...	567 €	...	150 €	72.396 €

Πίνακας Β.10: Υπολογισμός καθαρής παρούσας αξίας (NPV) για αύξηση των ενεργειακών τιμών κατά 2,8 % ανά έτος. Σενάρια ΜΕΑ45-ΜΕΑ90.

ΜΕΑ	αρχικό κόστος	1ο έτος	2ο έτος	...	20ο έτος	...	30ο έτος	NPV
ΜΕΑ 46	43.922 €	2.241 €	2.155 €	...	2.713 €	...	718 €	91.058 €
ΜΕΑ 47	44.241 €	2.226 €	2.140 €	...	2.695 €	...	714 €	91.060 €
ΜΕΑ 48	45.924 €	2.211 €	2.126 €	...	2.677 €	...	709 €	92.439 €
ΜΕΑ 49	47.152 €	2.192 €	2.108 €	...	2.654 €	...	703 €	93.263 €
ΜΕΑ 50	48.949 €	2.176 €	2.093 €	...	2.635 €	...	698 €	94.730 €
ΜΕΑ 51	43.922 €	2.187 €	2.102 €	...	2.648 €	...	701 €	89.918 €
ΜΕΑ 52	49.724 €	2.172 €	2.089 €	...	2.630 €	...	696 €	95.416 €
ΜΕΑ 53	51.407 €	2.157 €	2.074 €	...	2.612 €	...	692 €	96.783 €
ΜΕΑ 54	52.635 €	2.138 €	2.056 €	...	2.589 €	...	686 €	97.618 €
ΜΕΑ 55	54.432 €	2.134 €	2.052 €	...	2.584 €	...	684 €	99.327 €
ΜΕΑ 56	49.405 €	2.123 €	2.041 €	...	2.570 €	...	681 €	94.060 €
ΜΕΑ 57	55.207 €	2.120 €	2.038 €	...	2.567 €	...	680 €	99.797 €
ΜΕΑ 58	56.890 €	2.106 €	2.025 €	...	2.550 €	...	675 €	101.189 €
ΜΕΑ 59	58.118 €	2.087 €	2.007 €	...	2.527 €	...	669 €	102.024 €
ΜΕΑ 60	59.915 €	2.073 €	1.993 €	...	2.510 €	...	665 €	103.518 €
ΜΕΑ 61	58.888 €	1.723 €	1.657 €	...	2.087 €	...	553 €	95.141 €
ΜΕΑ 62	59.207 €	1.709 €	1.643 €	...	2.069 €	...	548 €	95.154 €
ΜΕΑ 63	60.890 €	1.695 €	1.630 €	...	2.052 €	...	544 €	96.546 €
ΜΕΑ 64	62.118 €	1.676 €	1.612 €	...	2.030 €	...	538 €	97.382 €
ΜΕΑ 65	63.915 €	1.662 €	1.598 €	...	2.012 €	...	533 €	98.875 €
ΜΕΑ 66	62.388 €	1.112 €	1.070 €	...	1.347 €	...	357 €	85.786 €
ΜΕΑ 67	62.707 €	1.098 €	1.056 €	...	1.329 €	...	352 €	85.800 €
ΜΕΑ 68	64.390 €	1.084 €	1.042 €	...	1.313 €	...	348 €	87.192 €
ΜΕΑ 69	65.618 €	1.065 €	1.024 €	...	1.290 €	...	342 €	88.027 €
ΜΕΑ 70	67.415 €	1.051 €	1.010 €	...	1.272 €	...	337 €	89.521 €
ΜΕΑ 71	68.888 €	300 €	288 €	...	363 €	...	96 €	75.199 €
ΜΕΑ 72	69.207 €	300 €	288 €	...	363 €	...	96 €	75.517 €
ΜΕΑ 73	70.890 €	300 €	288 €	...	363 €	...	96 €	77.201 €
ΜΕΑ 74	72.118 €	300 €	288 €	...	363 €	...	96 €	78.429 €
ΜΕΑ 75	73.915 €	300 €	288 €	...	363 €	...	96 €	80.226 €
ΜΕΑ 76	58.888 €	1.697 €	1.632 €	...	2.055 €	...	544 €	94.595 €
ΜΕΑ 77	55.844 €	1.682 €	1.618 €	...	2.037 €	...	539 €	91.234 €
ΜΕΑ 78	57.527 €	1.668 €	1.604 €	...	2.020 €	...	535 €	92.614 €
ΜΕΑ 79	58.755 €	1.649 €	1.585 €	...	1.996 €	...	529 €	93.436 €
ΜΕΑ 80	60.552 €	1.634 €	1.571 €	...	1.978 €	...	524 €	94.917 €
ΜΕΑ 81	59.025 €	1.086 €	1.045 €	...	1.315 €	...	348 €	81.878 €
ΜΕΑ 82	59.344 €	1.071 €	1.030 €	...	1.297 €	...	344 €	81.880 €
ΜΕΑ 83	61.027 €	1.057 €	1.016 €	...	1.280 €	...	339 €	83.260 €
ΜΕΑ 84	62.255 €	1.038 €	998 €	...	1.256 €	...	333 €	84.082 €
ΜΕΑ 85	64.052 €	1.023 €	983 €	...	1.238 €	...	328 €	85.562 €
ΜΕΑ 86	65.525 €	300 €	288 €	...	363 €	...	96 €	71.836 €
ΜΕΑ 87	65.844 €	300 €	288 €	...	363 €	...	96 €	72.154 €
ΜΕΑ 88	67.527 €	300 €	288 €	...	363 €	...	96 €	73.838 €
ΜΕΑ 89	68.755 €	300 €	288 €	...	363 €	...	96 €	75.066 €
ΜΕΑ 90	70.552 €	300 €	288 €	...	363 €	...	96 €	76.863 €

Βιβλιογραφία

Ελληνική Βιβλιογραφία

Γεωργιάδου, Ε. (1996). Βιοκλιματικός Σχεδιασμός και Καθαρές Τεχνολογίες Δόμησης. Παρατηρητής, Θεσσαλονίκη: 1-275.

Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, (2012a). ΔΕ1: Κατάρτιση Ενεργειακών Επιθεωρητών, Εισαγωγή στον Τομέα της Ενέργειας, Αθήνα.

Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, (2012b). ΔΕ3: Κατάρτιση Ενεργειακών Επιθεωρητών, Κλίμα και Εσωτερικό Περιβάλλον. Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Κτηρίων, Αθήνα.

Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, (2012c). ΔΚ1: Κατάρτιση Ενεργειακών Επιθεωρητών, Θεσμικό Πλαίσιο - Μεθοδολογία Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων, Αθήνα.

Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, (2010a). Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010: Αναλυτικές Εθνικές Προδιαγραφές Παραμέτρων για τον Υπολογισμό της Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων και την Έκδοση του Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης, Αθήνα.

Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, (2010b). Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2/2010: Θερμοφυσικές Ιδιότητες Δομικών Υλικών και Έλεγχος της Θερμομονωτικής Επάρκειας των Κτηρίων, Αθήνα.

Φ.Ε.Κ. Α' 89, Νόμος 3661/19-05-2008. Μέτρα για την Μείωση της Ενεργειακής Κατανάλωσης των Κτηρίων και άλλες διατάξεις.

Φ.Ε.Κ. Β' 407/ 9-4-2010, Αριθμ. Δ6/Β/οικ.5825. Έγκριση Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων.

Φ.Ε.Κ. Α' 42, Νόμος 4122/19-02-2013. Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων – Εναρμόνιση με την Οδηγία 2010/31/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου και λοιπές διατάξεις.

Φ.Ε.Κ. Α' 143, Νόμος 4342/09-11-2015. Συνταξιοδοτικές Ρυθμίσεις, Ενσωμάτωση στο Ελληνικό Δίκαιο της Οδηγίας 2012/27/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 25ης Οκτώβριου 2012 Για την Ενεργειακή Απόδοση, την Τροποποίηση των Οδηγιών 2009/125/ΕΚ και 2010/30/ΕΕ και την Κατάργηση των Οδηγιών 2004/8/ΕΚ και 2006/32/ΕΚ, όπως Τροποποιήθηκε από την Οδηγία 2013/12/ΕΕ του Συμβουλίου της 13ης Μαΐου 2013 Για την Προσαρμογή της Οδηγίας 2012/27/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για την Ενεργειακή Απόδοση, λόγω της Προσχώρησης της Δημοκρατίας της Κροατίας» και άλλες διατάξεις.

Ξένη βιβλιογραφία

Al-Abidi, A.A., Bin Mat, S., Sopian, K., Sulaiman, M.Y., Lim, C.H. & Abdulrahman, T. (2012). Review of Thermal Energy Storage for Air Conditioning Systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16(8): 5802-5819.

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) 55 (1992). *Thermal Environment Conditions for Human Occupancy*. Seattle.

Antinucci, M., Asiain, D., Fleury, B., Lopez, J., Maldonado, E., Santamouris, M., Tombazis, A. & Yannas, S. (1992). Passive and Hybrid Cooling of Buildings – State of the Art, *International Journal of Solar Energy* 11 (3-4): 251–271.

Aste, N., Adhikari, R., Buzzetti, M. (2010). Beyond the EPBD: The Low Energy Residential Settlement Borgo Solare, *Appl. Energy* 87: 629–642.

Atthajariyakul, S. & Leephakpreeda, T. (2004). Real-time Determination of Optimal Indoor-Air Condition for Thermal Comfort, Air Quality and Efficient Energy Usage. *Energy Build* 36: 720–733.

Awbi, H.B. (2003). *Ventilation of Buildings*. Spon Press, Abingdon: 287-289.

Azari, R. (2014). Integrated Energy and Environmental Life-Cycle Assessment of Office Building Envelopes, *Energy Build.* 82: 156–162.

Badescu, V. & Sicre, B. (2003). Renewable Energy for Passive House Heating— Part I: Building Description, *Energy and Buildings* vol. 35: 1077–1084.

Badescu, V. & Staicovici, M.D. (2006). Renewable Energy for Passive House Heating: Model of the Active Solar Heating System. *Energy Build*; 38(2) :129–141.

Ballarini, I., Corrado, V. & Paduos, S. (2014). Assessment of Cost-Optimal Energy Performance Requirements for the Italian Residential Building Stock, *Energy Procedia*45: 443–452.

Bellos, E., Tzivanidis, C., Zisopoulou, E., Mitsopoulos, G. & Antonopoulos, K.A. (2016). An Innovative Trombe Wall as a Passive Heating System for a Building in Athens - A Comparison with the Conventional Trombe Wall and the Insulated Wall. *Energy and Buildings* 133: 754-769.

Bojic, M., Nikolic, N., Nikolic, D., Skerlic, J. & Miletic, I. (2011). Toward a Positive Net-Energy Residential Building in Serbian Conditions, *Appl. Energy* 88: 2407–2419.

Brandemuehl, M.J. & Braun, J.E. (1999). The Impact of Demand-Controlled and Economizer Ventilation Strategies on Energy Use in Buildings. *ASHRAE Transactions* 105 (2): 39-50.

Buildings Performance Institute Europe (BPIE) (2010). Cost Optimality, in: *Discussing Methodology and Challenges within the Recast Energy Performance of Buildings Directive*: 1-40.

Building Performance Institute Europe (BPIE) 2011. Europe's Buildings Under the Microscope, in: *A Country-by-Country Review of the Energy Performance of Buildings*: October: 1-132.

Building Performance Institute Europe (BPIE) (2011). Paving the Way for Effective Implementation of Policy Requirements, in: Principles for Nearly Zero Energy Buildings, November: 1-124.

Building Performance Institute Europe (BPIE) (2013). Implementing the Cost Optimal Methodology in EU Countries, in: Lessons Learned from Three Case Studies: 1-84.

Campolongo, F., Cariboni, J. & Saltelli, A. (2007). An Effective Screening Design for Sensitivity Analysis of Large Models, *Environ. Model. Softw.* 22 (10): 1509–1518.

Carlucci, S. & Pagliano, L. (2012). A Review of Indices for the Long-Term Evaluation of the General Thermal Comfort Conditions in Buildings. *Energy Build.* 53, 194–205.

Castilla, M.d.M., Álvarez, J.D., Rodríguez Diaz, F. & Berenguel, M. (2014). Comfort in Buildings. *Comfort Control in Buildings*. London, Springer London: 39-78.

Castilla, M., Alvarez, J.D., Berenguel, M., Pérez, M., Guzmán, J.L. & Rodríguez, F. (2010). Comfort Optimization in a Solar Energy Research Center. In: *IFAC Conference on Control Methodologies and Technology for Energy Efficiency*, Vilamoura, Portugal: 36–41.

Cellura, M., Guarino, F., Longo, S. & Mistretta, M. (2014). Energy Life-Cycle Approach in Net Zero Energy Buildings Balance: Operation and Embodied Energy of an Italian Case Study, *Energy Build.* 72: 371–381.

Chan, H.-Y., Riffat, S.B. & Zhu, J. (2010). Review of Passive Solar Heating and Cooling Technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14(2): 781-789.

Chen, B.R., Chang, Y.W., Lee, W.S. & Chen, S.L. (2009). Long-term Thermal Performance of a Two-Phase Thermosyphon Solar Water Heater. *Solar Energy* 83(7): 1048-1055.

CIBSE (2002). *Code for Lighting*. The Society of Light and Lighting, Rich Hill.

Congedo, P. M., Baglivo, C., D'Agostino, D. & Zacà, I. (2015). Cost-Optimal Design for Nearly Zero Energy Office Buildings Located in Warm Climates. *Energy* 91: 967-982.

Crawley, D.B. (1998). Which Weather Data Should You Use for Energy Simulations of Commercial Buildings. *ASHRAE Trans.* 104: 498–515.

Crawley, D.B., Lawrie, L.K., Winkelmann, F.C., Buhl, W.F., Huang, Y.J., Pedersen, C.O., Strand, R.K., Liesen, R.J., Fisher, D.E., Witte, M.J. & Glazer, J. (2001). EnergyPlus: Creating a New-Generation Building Energy Simulation Program, *Energy Build.* 33: 319–331.

Crawley, D.B., Hand, J.W., Kummert, M. & Griffith, B.T. (2008). Contrasting the Capabilities of Building Energy Performance Simulation Programs, *Build. Environ.* 43: 661–673.

D'Agostino, D. (2015). Assessment of the Progress Towards the Establishment of Definitions of Nearly Zero Energy Buildings (nZEB) in European Member States. *Journal of Building Engineering* 1: 20-32.

Dall'O', G., Belli, V., Brolis, M., Mozzi, I., Fasano, M. (2013). Nearly Zero-Energy Buildings of the Lombardy Region (Italy), a Case Study of High-Energy Performance Buildings. *Energies* 2013; 6: 3506-3527.

Dall'O', G., Galante, A. & Torri, M.A. (2012). Methodology for the Energy Performance Classification of Residential Building Stock on an Urban Scale. *Energy Build* 2012;48:211-219.

Dascalaki, E.G., Balaras, C.A., Gaglia, A.G., Droutsas K.G. & Kontoyiannidis S. (2012). Energy Performance of Buildings - EPBD in Greece. *Energy Policy* 2012;45:469-477.

Dascalaki, E.G., Balaras, C.A., Kontoyiannidis, S. & Droutsas, K.G. (2016). Modeling Energy Refurbishment Scenarios for the Hellenic Residential Building Stock Towards the 2020 & 2030 Targets. *Energy and Buildings*.

Dineen, D., Rogan, F. & Gallachoir B.P.O. (2015). Improved Modelling of Thermal Energy Savings Potential in the Existing Residential Stock Using a Newly Available Data Source. *Energy* 2015;90:759-767.

Directive 2002/91/EC (2002). European Parliament and of the Council of 16 December 2002. On the Energy Performance of Buildings.

Directive 2010/31/EU (2010). European Parliament and of the Council of 19 May 2010. On the Energy Performance of Buildings (Recast). Off. J. Eur. Union: 13-35.

Directive 2012/27/EU (2012). European Parliament and of the Council of 25 October 2012. On the Energy Efficiency, Amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and Repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC.

Dolmans, D. (2011). A Change is Going to Come. A New Mandate: Nearly Zero Energy Buildings, Eur. HVAC REHVA J. 48: 34–37.

Dominguez-Munoz, F., Cejudo-Lopez, J.M. & Carrillo-Andrés, A. (2010). Uncertainty in Peak Cooling Load Calculations, Energy Build. 42 (7): 1010–1018.

Dounis, A. I., & Caraiscos, C. (2009). Advanced Control Systems Engineering for Energy and Comfort Management in a Building Environment - A Review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 13(6-7): 1246-1261.

Dounis, A., Bruant, M., Guarrancino, G., Michel, P. & Santamouris, M.J. (1996). Indoor Air Quality Control by a Fuzzy Reasoning Machine in Naturally Ventilated Buildings. Applied Energy; 54(1): 11–28.

Emmerich, S.J. & Persily, A.K. (2003). State-of-the-Art Review of CO₂ Demand Controlled Ventilation Technology and Application. NISTIR 6729, National Institute of Standards and Technology, California Energy Commission, Technical report (Demand-Controlled Ventilation Assessment, P-500-03-096-A8): 1-43.

EN 12464-1 (2002). Light and lighting: Lighting of Work Places - Part 1: Indoor Work Places. European Committee for Standardization, Brussels.

EN 12665 (2002). Light and lighting: Basic Terms and Criteria for Specifying Lighting Requirements. European Committee for Standardization, Brussels.

EN 15459 (2007). Energy Performance of Buildings, in: Economic Evaluation Procedure for Energy Systems in Buildings.

European Parliament (2012). Guidelines Accompanying Commission Delegated Regulation (EU) No 244/2012 of 16 January 2012 Supplementing Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council, Off. J.: 18-36.

Fabrizio, E. (2012). Energy Reduction Measures in Agricultural Greenhouses Heating: Envelope, Systems and Solar Energy Collection, *Energy Build.* 53: 57–63.

Fanger, P. O. (1973). Assessment of Man's Thermal Comfort in Practice. *British Journal of Industrial Medicine*, 30(4), 313–324.

Ferrara, M., Fabrizio, E., Virgone, J. & Filippi, M. (2014). A Simulation-Based Optimization Method for Cost-Optimal Analysis of Nearly Zero Energy Buildings, *Energy Build.* 83 (2014) 442–457.

Fong, K.F. & Lee, C.K. (2012). Towards Net Zero Energy Design for Low-Rise Residential Buildings in Subtropical Hong Kong, *Appl. Energy* 93: 686-694.

Fisk, W.J. & Rosenfeld A.H. (1997). Estimates of Improved Productivity and Health from Better Indoor Environments. *Indoor Air*; 7:158-172.

Frontczak, M. & Wargocki, P. (2011). Literature Survey on how Different Factors Influence Human Comfort in Indoor Environments. *Building Environ.* 46:922–937.

Fumo, N., Mago, P. & Luck, R. (2010). Methodology to Estimate Building Energy Consumption Using EnergyPlus Benchmark Models, *Energy Build.* 42: 2331–2337.

Gangoellis, M., Casals, M., Forcada, N., Macarulla, M. & Cuerva, E. (2016). Energy Mapping of Existing Building Stock in Spain. *J Clean Prod* 2016;112(5):3895-3904.

Ganic, N. & Yilmaz, A.Z. (2014). Adaptation of the Cost Optimal Level Calculation Method of Directive 2010/31/EU Considering the Influence of Turkish National Factors, *Appl. Energy* 143: 94–107.

Gelegenis, J., Diakoulaki, D., Lampropoulou, H., Giannakidis, G., Samarakou, M. & Plytas, N. (2014). Perspectives of Energy Efficient Technologies Penetration in the Hellenic Domestic Sector, Through the Analysis of Energy Performance Certificates. *Energy Policy* 2014;67:56-67.

Goia, F., Haase, M. & Perino, M. (2013). Optimizing the Configuration of a Facade Module for Office Buildings by Means of Integrated Thermal and Lighting Simulations in a Total Energy Perspective, *Appl. Energy* 108: 515–527.

Guasch, J., Forster, R., Ramos, F., Hernández, A. & Smith, N.A. (2001). *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo: Iluminación* (in Spanish). Tech rep, Organización Internacional del Trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, Spain.

Gustavsson, L. & Joelsson, A. (2010). Life Cycle Primary Energy Analysis of Residential Building, *Energy Build.* 42: 210–220.

Hamdy, A.M., Hasan, A. & Siren, K. (2013). Multi-stage Optimization Method for Cost-Optimal and Nearly-Zero-Energy Building Solutions in Line with the EPBD-recast2010, *Energy Build.* 56: 189–203.

Hastings, R. (2013). *Passive Solar Heating in Built Environment. Sustainable Built Environments.* Springer New York: 437-463.

ISO 15927-4 (2005). *Hourly Data for Assessing the Annual Energy Use for Heating and Cooling.*

Kolokotsa, D., Tsiavos, D., Stavrakakis, G.S., Kalaitzakis, K. & Antonidakis, E. (2001). *Advanced Fuzzy Logic Controllers Design and Evaluation for Buildings' Occupants*

Thermal-Visual Comfort and Indoor Air Quality Satisfaction. *Energy and Buildings* 33(6): 531-543.

Krawietz, S. A. (2009). *Passive Solar Heating Methods for Energy Efficient Architecture*. Proceedings of ISES World Congress 2007 (Vol. I – Vol. V): Solar Energy and Human Settlement. D. Y. Goswami and Y. Zhao. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg: 862-866.

Kurnitski, J., Saari, A., Kalamees, T., Vuolle, M., Niemela, J. & Tark, T. (2011). Cost Optimal and Nearly Zero (nZEB) Energy Performance Calculations for Residential Buildings with REHVA Definition for nZEB National Implementation, *Energy Build.*43: 3279–3288.

Kurnitski, J. (2013). *Nearly Zero-Energy Building's (nZEB) Definitions and Assessment Boundaries*. Cost Optimal and Nearly Zero-Energy Buildings (nZEB): Definitions, Calculation Principles and Case Studies. J. Kurnitski. London, Springer London: 7-30.

Lechtenböhmer, S., & Schüring, A. (2011). The Potential for Large-Scale Savings from Insulating Residential Buildings in the EU. *Energy Efficiency* 4(2): 257-270.

Lund, H., Marszal, A. & Heiselberg, P. (2011). Zero Energy Buildings and Mismatch Compensation Factors. *Energy and Buildings* 43(7): 1646-1654.

Mara, T. & Tarantola, S. (2008). Application of Global Sensitivity Analysis of Model Output to Building Thermal Simulations, *Build. Simul.* 1 (4): 290–302.

Marszal, A.J., Heiselberg, P., Bourrell, 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.

Marszal, A.J., Heiselberg, P., Lund Jensen, R. & Nørgaard, J. (2012). On-Site or Off-Site Renewable Energy Supply Options; Life Cycle Cost Analysis of a Net Zero Energy Building in Denmark, *Renew. Energy* 44: 154–165.

Mateus, N.M. Pinto, A. & Carrilho da Grac, G. (2014). Validation of EnergyPlus Thermal Simulation of a Double Skin Naturally and Mechanically Ventilated Test Cell, *Energy Build.* 75: 511–522.

Mazria, E. (1979). *The Passive Solar Energy Book*. Emmaus, PA. Rodale Pres: 1-435.

Menberg, K., Heo, S. & Choudhary, R. (2016). Sensitivity Analysis Methods for Building Energy Models: Comparing Computational Costs and Extractable Information. *Energy and Buildings* 133: 433-445.

Mlecnik, E. (2012). Defining Nearly Zero-Energy Housing in Belgium and the Netherlands. *Energy Efficiency* 5(3): 411-431.

Mohamed, A. Hasanb, A. & Sirén, K. (2014). Fulfillment of Net-Zero Energy Building (NZEB) with Four Metrics in a Single Family House with Different Heating Alternatives, *Appl. Energy* 114: 385–399.

Moran, F., Natarajan, S. & Nikolopoulou, M. (2012). Developing a Database of Energy Use for Historic Dwellings in Bath, UK. *Energy Build* 2012;55:218-226.

Nestico, A., De Mare, G., Fiore, P. & Pipolo, O. (2014). A Model for the Economic Evaluation of Energetic Requalification Projects in Buildings. A Real Case Application. *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2014: 14th International Conference, Guimarães, Portugal, June 30 – July 3, 2014, Proceedings, Part II. B.* Murgante, S. Misra, A. M. A. C. Rocha et al. Cham, Springer International Publishing: 563-578.

Nikolaidis, A.I., Milidonis, A. & Charalambous, C.A. (2015). Impact of Fuel-Dependent Electricity Retail Charges on the Value of Net-Metered PV Applications in Vertically Integrated Systems. *Energy Policy* 79: 150-160.

Oliveira Panão, M.J.N., Rebelo, M.P.& Camelo, S.M.L. (2013). How Low Should be the Energy Required by a Nearly Zero-Energy Building; The Load/Generation Energy Balance of Mediterranean Housing, *Energy Build.* 61: 161–171.

Pernigotto, G., Prada, A., Costola, B., Gasparella, A. & Hensen, J.L.M. (2014). Multi-year and Reference Year Weather Data for Building Energy Labelling in North Italy Climates, *Energy Build.* 72: 62–72.

Peles, S. Ahuja, S. & Narayanan, S. (2012). Uncertainty Quantification in Energy Efficient Building Performance Simulations, *Proceedings of 2nd International High Performance Buildings Conference.*

Pikas, E., Thalfeldt, M. & Kurnitski, J. (2014). Cost Optimal and Nearly Zero Energy Building Solutions for Office Buildings, *Energy Build.* 74: 30–42.

prEN 13779 (2007). Ventilation for Non-Residential Buildings: Performance Requirements for Ventilation and Room-Conditioning Systems. European Committee for Standardization, Brussels.

prEN 15251 (2007). Indoor Environmental Input Parameters for Design and Assessment of Energy Performance of Buildings Addressing Indoor Air Quality, Thermal Environment, Lighting and Acoustics. European Committee for Standardization, Brussels.

Rayment, M., Pirgmaier, E., De Ceuster, G., Hinterberger, F., Kuik, O., Gower, H. L., Polzin, C. & Varma, A. (2009). The Economic Benefits of Environmental Policy, A Project Under the Framework Contract for Economic Analysis. European Commission Project ENV.G.1/FRA/2006/0073.

Redlich, C.A., Sparer, J. & Cullen, R. (1997). Sick Building Syndrome. *The Lancet* 349(9057):1013-1016.

Saltelli, A., Ratto, M., Andres, T., Campolongo, F., Cariboni, J., Gatelli, D., Saisana, M. & Tarantola, S. (2008). *Global Sensitivity Analysis: The Primer*, John Wiley & Sons.

Santamouris, M. & Kolokotsa, D. (2013). Passive Cooling Dissipation Techniques for Buildings and Other Structures: The State of the Art. *Energy and Buildings* 57: 74-94.

Shukla, A., Buddhi, D. & Sawhney, R.L. (2009). Solar Water Heaters with Phase Change Material Thermal Energy Storage mMedium: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13(8): 2119-2125.

Sick, F. & Erge, T. (1996) *Photovoltaics in Buildings: A Design Handbook for Architects and Engineers*. London UK: James & James Limited: 1-282.

Spitz, C., Mora, L., Wurtz, E. & Jay, A. (2012). Practical Application of Uncertainty Analysis and Sensitivity Analysis on an Experimental House, *Energy Build.* 55: 459–470.

Spyridaki, N. A., Ioannou, A., Flamos, A. & Oikonomou, V. (2016). An Ex-Post Assessment of the Regulation on the Energy Performance of Buildings in Greece and the Netherlands - a Cross-Country Comparison. *Energy Efficiency* 9(2): 261-279.

Taha, H., Akbari, H., Rosenfeld, A. & Huang, J. (1988). Residential Cooling Loads and the Urban Heat Island - The Effects of Albedo. *Building and Environment* 23(4): 271-283.

Torcellini, P., Pless, S., Deru, M. & Crawley, D. (2006). *Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition*, National Renewable Energy Laboratory and Department of Energy, US: 1-15.

Tzikopoulos, A.F., Karatza, M.C. & Paravantis, J. A. (2005). Modeling Energy Efficiency of Bioclimatic Buildings. *Energy and Buildings* 37(5): 529-544.

Verbeeck, G. & Hens, H. (2010). Life Cycle Inventory of Buildings: a Calculation Method, *Build. Energy* 45: 1037–1041.

Wang, L., Gwilliam, J. & Jones, P. (2009). Case Study of Zero Energy House Design in UK. *Energy and Buildings* 41(11): 1215-1222.

Watson, D. (2013). *Bioclimatic Design. Sustainable Built Environments*. V. Loftness and D. Haase. New York, NY, Springer New York: 1-30.

Yan, C., Wang, S., Ma, Z. & Shi, W. (2015). A Simplified Method for Optimal Design of Solar Water Heating Systems based on Life-Cycle Energy Analysis. *Renewable Energy* 74: 271-278.

Yang, Z. & Becerik-Gerber, B. (2015). A Model Calibration Framework for Simultaneous Multi-Level Building Energy Simulation, *Appl. Energy* 149: 415–431.

Zalewski, L., Lassue, S., Duthoit, B. & Butez, M. (2002). Study of Solar Walls - Validating a Simulation Model, *Build. Environ.*: 109-121.

Zhang, R., Lam, K.P., Yao, S.S. & Zhang, Y. (2013). Coupled EnergyPlus and Computational Fluid Dynamics Simulation for Natural Ventilation, *Build. Environ.* 68: 100–113.

Zhou, Y.P., Wu, J.Y., Wang, R.Z., Shiochi, S. & Li, Y.M. (2010). Simulation and Experimental Validation of the Variable-Refrigerant-Volume (VRV) Air-Conditioning System in EnergyPlus, *Energy Build.* 40: 1041–1047.

Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία

Βικιπαίδεια (2016). Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Κτιρίων. Available online: https://el.wikipedia.org/wiki/Βιοκλιματικός_σχεδιασμός_κτιρίων# [Πρόσβαση: 01.10.2016].

Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΤΑΤ) (2011). Απογραφή Κτιρίων 2011. Available online: <http://www.statistics.gr/census-buildings-2011#> [Πρόσβαση: 01.10.2016].

Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΤΑΤ) (2011). Κτίρια κατά Χρήση (Αποκλειστική, Μικτή) και Αριθμό Κανονικών Κατοικιών. Σύνολο Ελλάδος, Μεγάλες Γεωγραφικές Περιοχές, Αποκεντρωμένες Διοικήσεις, Περιφέρειες, Περιφερειακές Ενότητες, Δήμοι. Available online: <http://www.statistics.gr/census-buildings-2011#> [Πρόσβαση: 01.10.2016].

Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΤΑΤ) (2013). Έρευνα Κατανάλωσης Ενέργειας στα Νοικοκυριά 2011–2012, Available on line: <http://www.statistics.gr/statistics/-/publication/SFA40#> [Πρόσβαση: 01.10.2016].

Παπαδόπουλος, Α. (2006). Θερμική Άνεση στα Κτίρια, Νέα Πρότυπα και Βελτίωση Θερμικής Άνεσης στα Κτίρια. Available online: http://repository.edulll.gr/edulll/bitstream/10795/1497/11/1497_01.pdf# [Πρόσβαση: 01.10.2016].

EnergyPlus Energy Simulation Software (2016). Weather Data for Simulation, Available online: <https://energyplus.net/weather#> [Πρόσβαση: 01.10.2016].

Eurostat (2016). Primary Production of Energy by Resource. Available online: http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/refreshTableAction.do?tab=table&plugin=1&pcode=t2020_rk210&language=en# [Πρόσβαση: 01.10.2016].