



Βελτιστοποίηση παρεμβάσεων
ενεργειακής απόδοσης σε κτήρια
με χρήση γενετικών αλγορίθμων

Τομέας: Θερμότητα

Επιβλέπων: Μπραϊμάκης Κωνσταντίνος, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα 2024

IOANNIDIS DIMITRIOS

SCHOOL OF MECHANICAL ENGINEERING



Optimization of energy efficiency interventions in buildings using genetic algorithms

Sector: Heat

Supervisor: Dr.-Ing. Konstantinos Braimakis, Καθηγητής ΕΜΠ

Athens 2024

--- κενή σελίδα ---

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, στο τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών και συγκεκριμένα στον τομέα Θερμότητας, κατά το έτος 2024.

Η ολοκλήρωσή της δεν θα ήταν δυνατή χωρίς την πολύτιμη υποστήριξη του καθηγητή μου Κου Κωνσταντίνου Μπραϊμάκη. Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω τους γονείς μου, οι οποίοι υπήρξαν πάντα ένα ανεκτίμητο στήριγμα για μένα και στους οποίους οφείλω τη διαδρομή των σπουδών μου, μέχρι σήμερα.

Υπεύθυνη δήλωση για λογοκλοπή και για κλοπή πνευματικής ιδιοκτησίας:

Έχω διαβάσει και κατανοήσει τους κανόνες για τη λογοκλοπή και τον τρόπο σωστής αναφοράς των πηγών που περιέχονται στον οδηγό συγγραφής Διπλωματικών Εργασιών. Δηλώνω ότι, από όσα γνωρίζω, το περιεχόμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι προϊόν δικής μου εργασίας και υπάρχουν αναφορές σε όλες τις πηγές που χρησιμοποίησα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτή τη Διπλωματική εργασία είναι του συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών ή του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Ιωαννίδης Δημήτριος

Περιεχόμενα

1.	Εισαγωγή	11
2.	Μεθοδολογία.....	19
2.1	Κτίριο μελέτης	19
2.2	Ενεργειακές παρεμβάσεις.....	25
2.2.1	Παρεμβάσεις κτιριακού κελύφους	25
2.2.2	Παρεμβάσεις ενεργητικών συστημάτων.....	26
2.2.3	Σύνοψη ενεργειακών παρεμβάσεων	31
2.2.4	Υπολογισμός θερμικών και ψυκτικών φορτίων και διαστασιολόγηση συστημάτων θέρμανσης, ZNX και ψύξης.....	33
2.3	Κόστος κύκλου ζωής και πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας	35
2.3.1	Κόστος κύκλου ζωής.....	35
2.3.2	Πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας	41
2.3.3	Όρια κόστους κύκλου ζωής και πρωτογενούς κατανάλωσης ενέργειας NZEB και nZEB42	
2.4	Το λογισμικό TEE KENAK.....	43
2.4.1	Προσομοίωση	43
2.4.2	Αρχείο εισόδου	43
2.4.3	Αρχεία εξόδου	44
2.5	Γενετικοί αλγόριθμοι στο προγραμματιστικό περιβάλλον MATLAB	44
2.5.1	Ο γενετικός αλγόριθμος	44
2.5.2	Υλοποίηση στο προγραμματιστικό περιβάλλον MATLAB.....	50
3.	Αποτελέσματα	55
3.1	Απεικόνιση αποτελεσμάτων.....	57
4.	Συμπεράσματα	67
5.	Παραρτήματα	69
5.1	Παράρτημα I (ga).....	69
5.1.1	Κώδικας (Calling_GA_PEC.m) παραμετροποίησης και εκτέλεσης εντολής [ga]	69
5.1.2	Κώδικας (myfunPEC.m) επεξεργασίας αρχείων εισόδου/εξόδου και εκτέλεσης Λογισμικού TEE KENAK	69
5.2	Παράρτημα II (gamultiobj)	72
5.2.1	Κώδικας (Calling_MOGA.m) παραμετροποίησης, εκτέλεσης εντολής [gamultiobj] και απεικόνισης των αποτελεσμάτων.....	72
5.2.2	Κώδικας (myMultiObjectiveFun.m) συγχώνευσης των δύο αντικειμενικών συναρτήσεων.....	79
5.2.3	Κώδικας (my_multiobj_fun.m) επεξεργασίας αρχείων εισόδου/εξόδου και εκτέλεσης Λογισμικού TEE KENAK	79
6.	Κατάλογος Πινάκων.....	108
7.	Κατάλογος Σχημάτων.....	110
8.	Κατάλογος Εικόνων	111

9. Κατάλογος Αναφορών112

Σύνοψη

Η παρούσα εργασία εξετάζει στην οικονομοτεχνική βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων μέσω της εφαρμογής γενετικών αλγορίθμων. Αρχικά περιγράφει λεπτομερώς την παραμετροποίηση του κώδικα λογισμικού γενετικών αλγορίθμων, δίνοντας έμφαση στο ρόλο τους στην αποτελεσματική αξιολόγηση της πρωτογενούς κατανάλωσης ενέργειας (PEC) και του κόστους κύκλου ζωής (LCC) για τον εντοπισμό οικονομικά αποδοτικών κτιριακών παρεμβάσεων.

Περιγράφεται μια συστηματική προσέγγιση για τον υπολογισμό των PEC και LCC, ενσωματώνοντας λογισμικό προσομοίωσης και το περιβάλλον προγραμματισμού MATLAB. Ο γενετικός αλγόριθμος, εμπνευσμένος από τη θεωρία της φυσικής επιλογής του Δαρβίνου, κωδικοποιεί το χώρο των παραμέτρων σε χρωμοσώματα που αντιπροσωπεύουν πιθανές λύσεις, εξελίσσοντας πληθυσμούς σε διάφορες γενιές για να συγκλίνουν προς τις βέλτιστες λύσεις. Τα κριτήρια τερματισμού εξισορροπούν αντικρουόμενους στόχους, όπως η PEC και η LCC, και η εφαρμογή γενετικών αλγορίθμων στη MATLAB προσφέρει μια πιο ευέλικτη πλατφόρμα ανάλυσης και επεξεργασίας.

Τα αποτελέσματα των γενετικών αλγορίθμων πολλαπλών στόχων αποκαλύπτουν ένα εύρος λύσεων που αντιπροσωπεύουν συμβιβασμούς μεταξύ PEC και LCC, διευκολύνοντας τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων για ένα υπεύθυνο σχεδιασμό κτιρίων. Τονίζεται η σημασία της ενσωμάτωσης των φωτοβολταϊκών συστημάτων και της αναβάθμισης του κελύφους των κτιρίων. Οι λύσεις που ενσωματώνουν αντλίες θερμότητας και fan coils επιτυγχάνουν τη χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας, ενώ η οικονομική απόδοση των κτιριακών λύσεων με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας ποικίλλει ανάλογα με τις κλιματικές ζώνες.

Συνολικά, η μελέτη υπογραμμίζει την αποτελεσματικότητα των γενετικών αλγορίθμων στη βελτιστοποίηση των ενεργειακών παρεμβάσεων και την καθοδήγηση της λήψης αποφάσεων προς βιώσιμες και οικονομικά αποδοτικές πρακτικές σχεδιασμού κτιρίων.

Abstract

The essay examines the optimization of energy efficiency in buildings through the implementation of genetic algorithms (GAs). It begins by detailing a comprehensive parameterization of the GA software code, emphasizing its role in efficiently evaluating primary energy consumption (PEC) and life cycle cost (LCC) to identify cost-effective strategies for a sustainable building performance.

A systematic approach is outlined for calculating PEC and LCC, incorporating simulation software and the MATLAB programming environment. The GA, inspired by Darwin's theory of natural selection, encodes parameter space into chromosomes representing potential solutions, evolving populations across generations to converge towards optimal solutions. Termination criteria balance conflicting objectives, such as PEC and LCC, and the implementation of the GA within MATLAB offers a versatile platform for analysis.

The results of the multi-objective GA reveal a range of solutions representing trade-offs between PEC and LCC, facilitating informed decision-making for sustainable building design. Color-coded visualization aids in interpreting solutions, highlighting the importance of integrating photovoltaic systems and upgrading building envelopes. Solutions incorporating heat pumps and fan coils demonstrate the lowest energy consumption, while the economic viability of nearly zero-energy building solutions varies between climate zones.

Overall, the study highlights the effectiveness of GA in optimizing energy interventions and guiding decision-making towards sustainable and cost-effective building design practices.

Συνομεύσεις – Αρτικόλεξα

BB	Λέβητας βιομάζας
COB	Λέβητας συμπύκνωσης πετρελαίου
COP	Συντελεστής απόδοσης
CSU	Συμβατική διαιρούμενη μονάδα αντλίας θερμότητας για ψύξη
DHW	Ζεστό νερό χρήσης
EED	Οδηγία για την ενεργειακή απόδοση
GHP	Γεωθερμική αντλία θερμότητας
HP	Αντλία θερμότητας
HTHP	Αντλία θερμότητας υψηλών θερμοκρασιών
IP	Πακέτο παρεμβάσεων
LCC	Κόστος κύκλου ζωής
LTHP	Αντλία θερμότητας χαμηλών θερμοκρασιών
MSU	Σύγχρονη διαιρούμενη μονάδα αντλίας θερμότητας για ψύξη
NCOB	Λέβητας πετρελαίου χωρίς συμπύκνωση
NGB	Λέβητας φυσικού αερίου
NZEB	Κτίριο καθαρά μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας
nZEB	Κτίριο σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας
PEC	Πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας
PV	Φωτοβολταϊκό σύστημα
SFH	Μονοκατοικία για μία τετραμελή οικογένεια

1. Εισαγωγή

Το κτιριακό απόθεμα και η αποδοτική του λειτουργία συνιστά τον κύριο πυλώνα της ενεργειακής πολιτικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης, καθώς είναι υπεύθυνο για το 40% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας και για το 36% των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου [1], [2].

Είναι επιτακτική ανάγκη λοιπόν, η αναβάθμιση της απόδοσης των κτιρίων τόσο για τους ενεργειακούς στόχους της Ευρωπαϊκής Ένωσης για το 2030 όσο και για τους πιο μακροπρόθεσμους στόχους της Ένωσης σχετικά με την απανθρακοποίηση και την στήριξη των επιμέρους οικονομιών της, σε τεχνικές και μεθόδους με χαμηλό αποτύπωμα άνθρακα έως το 2050 [3].

Μέρος αυτής της πολιτικής είναι οδηγία 2010/31/EU που αφορά την ενεργειακή επίδοση των Κτιρίων (Energy Performance of Buildings Directive-EPBD) [4] και 2012/27/EU, οδηγία που σχετίζεται με την ενεργειακή απόδοση (Energy Efficiency Directive- EED) [5]. Αυτές τροποποιήθηκαν στη συνέχεια από τις οδηγίες 2018/844 και 2018/2002 αντίστοιχα [6], [7]. Ειδικότερα, η πρώτη εστιάζει στην προώθηση σχεδιασμού και ανάπτυξης Κτιρίων σχεδόν Μηδενικής Κατανάλωσης Ενέργειας (nearly Zero Energy Buildings, nZEB) τόσο για νεόκτιστα αλλά και για υπάρχοντα κτίρια που χρήζουν ευρείας ανακαίνισης. Στο Άρθρο 2 της οδηγίας αυτής ορίζεται το Κτίριο σχεδόν Μηδενικής Κατανάλωσης ως ένα κτίριο το οποίο έχει πολύ υψηλές ενεργειακές αποδόσεις των στοιχείων που συντελούν στη λειτουργία του, σχεδόν μηδενικές ή πολύ χαμηλές ενεργειακές απαιτήσεις και σημαντικό ποσοστό των χαμηλών αυτών αναγκών καλυπτόμενο από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας [4].

Παρά τον σχεδιασμό και τις μεθόδους που προτείνονται στις οδηγίες αυτές με σκοπό την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του κτιριακού αποθέματος παρατηρείται εμφάνιση εμποδίων στην επέκταση των Κτιρίων σχεδόν Μηδενικής Κατανάλωσης κυρίως στις νοτιοευρωπαϊκές χώρες. Αυτό οφείλεται στην επιλογή υλικών κατασκευής χαμηλής ποιότητας, στον παρωχημένο βιοκλιματικό σχεδιασμό, στην μονοδιάστατη ενεργειακή προσομοίωση και παρακολούθηση της συμπεριφοράς του εκάστοτε κτιρίου και τέλος στην ελλιπή τοπική και εθνική πολιτική σύνταξης ενός κατάλληλου πλαισίου για την στήριξη των εφαρμογών αυτών [8].

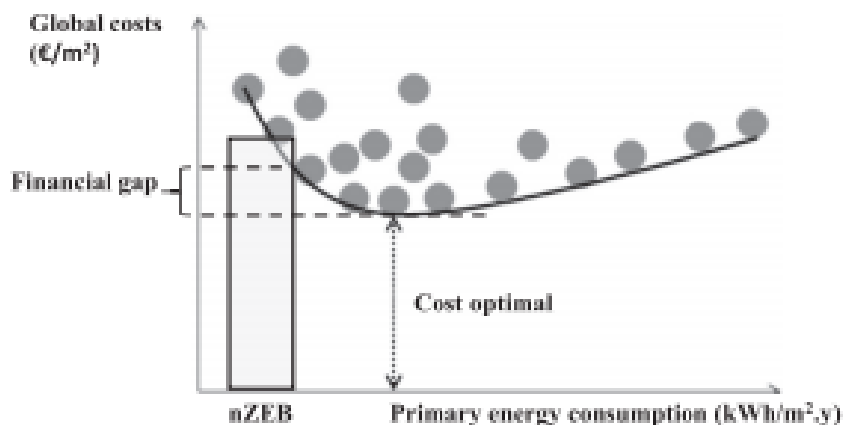
Σύμφωνα με την οδηγία EPBD, όλα τα νεόκτιστα κτίρια μετά το 2021 πρέπει να τηρούν τις προδιαγραφές των Κτιρίων σχεδόν Μηδενικής Κατανάλωσης ενώ για τα δημόσια κτίρια αφετηρία ορίζεται το 2019. Όσον αφορά τα υπάρχοντα κτίρια, η οδηγία με γνώμονα την οικονομική απόδοση καταδεικνύει την ανακαίνισή τους κατά ένα μέσο ποσοστό 3% του κτιριακού αποθέματος τον χρόνο. Με την προοδευτική σύσφιξη των κανονισμών σε εθνικό επίπεδο οι λύσεις που προσφέρουν τα Κτίρια σχεδόν Μηδενικής Κατανάλωσης ή Καθαρής Μηδενικής Κατανάλωσης (Net Zero Energy Building, NZEB) συνιστούν μονόδρομο για την εφαρμογή της οδηγίας EPBD. Στο σημείο αυτό εντοπίζεται η μεγάλης σημασίας σχέση

μεταξύ των εννοιών του κόστους απόδοσης και της βελτιστοποίησης κόστους. Για τον προσδιορισμό του βέλτιστου κόστους της συνολικής παρέμβασης ενός nZEB είναι απαραίτητη η ανάπτυξη μίας εμπειριστατωμένης συγκριτικής μεθόδου που λαμβάνει υπόψιν όλο το φάσμα των πιθανών σχεδιασμών με βάση τις υπάρχουσες τεχνολογίες, όλες τις διαθέσιμες πηγές ενέργειας και κατόπιν τα αξιολογεί με βάση τα επιθυμητά οικονομικά, ενεργειακά και περιβαλλοντικά κριτήρια [9].

Υπάρχουν αρκετές μελέτες που εστιάζουν στην ανάδειξη της σχέσης του κόστους απόδοσης και της ενεργειακής απόδοσης των τεχνολογιών που εφαρμόζονται στα nZEB, NZEB και ZEB.

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή σε μελέτη της [10] εξέτασε το χάσμα της βέλτιστης σχέσης κόστους στα nZEB ως προς την διαθεσιμότητα των απαιτούμενων τεχνολογιών και τα διαφορετικά κόστη του κύκλου ζωής στις Ευρωπαϊκές χώρες. Η παραπάνω μελέτη καταλήγει σε δύο βασικά συμπεράσματα. Οι υπάρχουσες τεχνολογίες που εστιάζουν στη μείωση των ενεργειακών αναγκών, σε μετατροπές ενέργειας υψηλής απόδοσης και στην αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας προκύπτουν ικανές να οδηγήσουν ένα κτίριο σε επιδόσεις ενός nZEB. Επίσης, φαίνεται πως παρά την μείωση των κεφαλαιουχικών δαπανών σε συνδυασμό με την βελτιωμένη απόδοση του εγκατεστημένου εξοπλισμού, που προωθούν την βιωσιμότητα των nZEB, η επιλογή σχεδιασμού στη βάση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας δεν είναι πάντα εφικτή. Οι γεωγραφικοί περιορισμοί, το ακατάλληλο πολιτικό πλαίσιο και η μεταβλητότητα των τοπικών αγορών είναι μερικοί από του λόγους.

Στη μελέτη του συγγραφέα Baglino κ.α. [11] διερευνάται το βέλτιστο κόστος νεόδμητων μονοκατοικιών ικανών να στεγάσουν μία οικογένεια, σε περιοχή θερμού κλίματος εξετάζοντας πολλαπλά μέτρα που περιλαμβάνουν την αναβάθμιση του κελύφους του κτιρίου και την εγκατάσταση συστημάτων θέρμανσης, όπως αντλίες θερμότητας και τεχνολογίες που λειτουργούν με ηλιακή ενέργεια. Το βέλτιστο από πλευράς κόστους σενάριο που προκύπτει, συγκριτικά με το σενάριο αναφοράς επιτυγχάνει ποσοστιαία μείωση 85% της πρωτογενούς κατανάλωσης ενέργειας (Primary Energy Consumption, PEC) με το αντίστοιχο κόστος του κύκλου ζωής (Life Cycle Cost, LCC) του συνολικά εγκατεστημένου εξοπλισμού να κυμαίνεται στα 135€/m². Η πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας εκφράζει την συνολική ποσότητα ενέργειας που εξάγεται απευθείας από φυσικούς πόρους πριν από οποιαδήποτε διαδικασία μετατροπής ή μετασχηματισμού. Συνδέεται με πηγές ενέργειας όπως ο άνθρακας, το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο, η πυρηνική ενέργεια, η υδροηλεκτρική ενέργεια, η αιολική ενέργεια, η ηλιακή ενέργεια και η βιομάζα. Το κόστος κύκλου ζωής (LCC) αντιστοιχεί στην καθαρή παρούσα αξία του συνολικού κόστους χρήσης του κτιρίου για το σύνολο της περιόδου υπολογισμού, εκφρασμένη σε €/m² θερμαινόμενης/ψυχόμενης επιφάνειας.



Σχήμα 1: Εκτίμηση ορίου βέλτιστου κόστους [12]

Σε έρευνα του Hamdy κ.α. [13] μελετήθηκε μια προσέγγιση βελτιστοποίησης τριών σταδίων για το βέλτιστο κόστος και για σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας με βάση την οδηγία EPBD/2010. Οι συγγραφείς εξέτασαν την περίπτωση μίας μονοκατοικίας, στην περιοχή της Φινλανδίας και έλαβαν υπόψιν στους υπολογισμούς τους έναν μεγάλο αριθμό ($>3 \times 10^9$) πιθανών συνδυασμών από διάφορα διαθέσιμα μέτρα, όπως αναβαθμίσεις των υλικών του κτιριακού κελύφους, εγκατάσταση μονάδων ανάκτησης θερμότητας, συστημάτων θέρμανσης/ψύξης και τεχνολογιών αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι αν και είναι δυνατόν να επιτευχθούν λύσεις κατηγορίας nZEB σε επίπεδα πρωτογενούς κατανάλωσης ενέργειας $70 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{y})$, είναι επιτακτική η ανάγκη ύπαρξης πρόσθετων οικονομικών κινήτρων για την προώθηση του σχεδιασμού κτιρίων με καθαρή μηδενική ενέργεια.

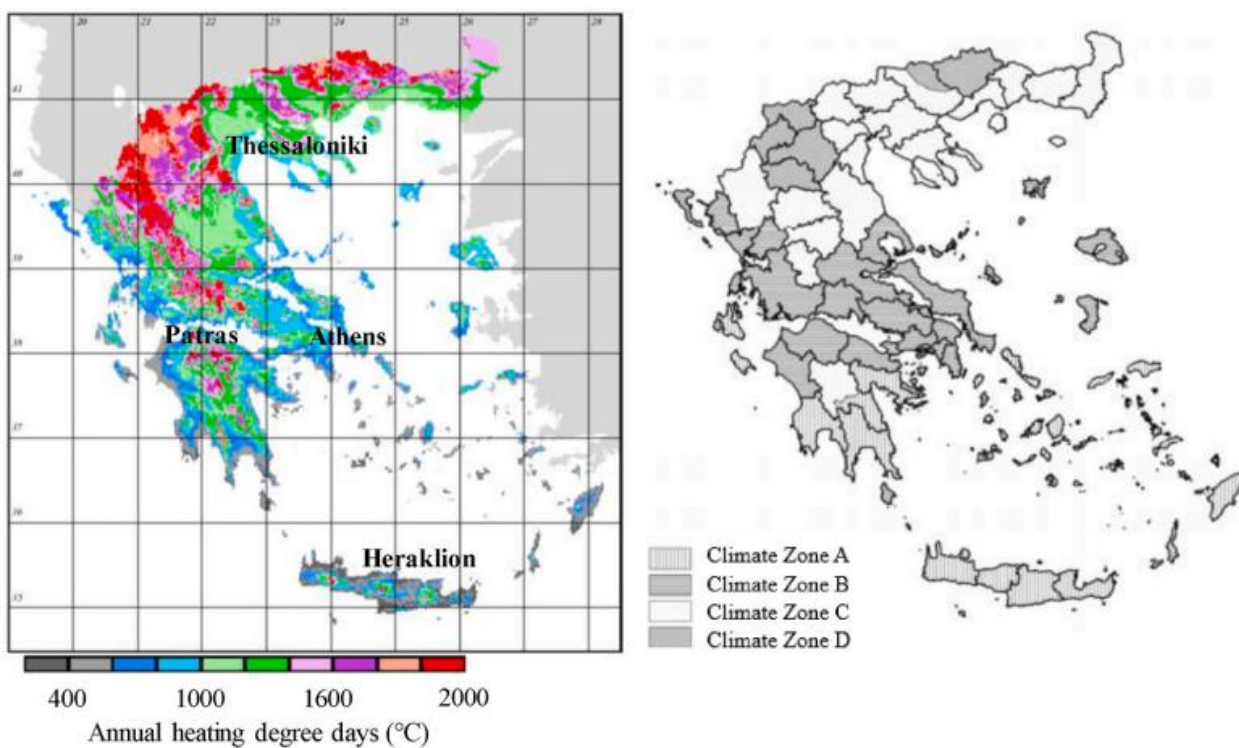
Σε επόμενη μελέτη ο Hamdy κ.α. [14] επανεξέτασαν την περίπτωση της μονοκατοικίας στη Φινλανδία με σκοπό να αξιολογήσουν τις μεταβολές στο υπολογιζόμενο σενάριο βέλτιστης σχέσης απόδοσης κόστους ανάλογα με ευμετάβλητες οικονομικές παραμέτρους, όπως το προεξοφλητικό επιτόκιο, η διακύμανση των τιμών ενέργειας, ο ρυθμός μείωσης των τιμών συστημάτων τεχνολογίας, τα τιμολόγια τροφοδότησης (feed-in-tariff) καθώς και οι επιχορηγήσεις επενδύσεων που χρησιμοποιούνται για την προώθηση υλοποιήσεων επιπέδου NZEB. Από την ανάλυση προκύπτει ότι οι παραπάνω παράμετροι συνδέονται άμεσα με τα ετήσια κόστη λειτουργίας με αποτέλεσμα να επηρεάζουν σημαντικά την βέλτιστη από πλευράς κόστους ετήσια κατανάλωση ενέργειας του κτιρίου.

Ο Vecchio κ.α. στην μελέτη τους [15], επικεντρώθηκαν στην αξιολόγηση των οικονομικών επιδόσεων πολλαπλών μέτρων διαφόρων ενεργειακών αποδόσεων σε οικογενειακή μονοκατοικία στην Ιταλία. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν τη σημασία της ενσωμάτωσης συστημάτων υψηλής αποδοτικότητας και των αναβαθμίσεων του κτιριακού κελύφους για την επίτευξη καταναλώσεων επιπέδου NZEB.

Την δυναμική που παρουσιάζουν οι τεχνολογίες φωτοβολταϊκών (Photovoltaic, PV) στην επίτευξη κτιριακού προτύπου NZEB διερεύνησαν ο Pikas κ.α. [16]. Καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι λόγω της συνεχούς αύξησης της απόδοσης και του μειωμένου κόστους απόκτησης και εγκατάστασης φωτοβολταϊκών συστημάτων, η συμπερίληψή τους στο βέλτιστο πακέτο ενεργειακών παρεμβάσεων αναμένεται πιο προσιτή, ακόμα και με την απουσία κρατικών επιδοτήσεων.

Στην Ελλάδα, υπάρχουν συνολικά τέσσερις κλιματικές ζώνες ανάλογα με τον αριθμό των ετήσιων ημερών ζέστης, όπως ορίζεται στην οδηγία 20701-1/2017 του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας [17], [18] και τη συνοδευτική νομοθεσία [19], [20] και απεικονίζεται στο Σχήμα 2. Σύμφωνα με την Εθνική Ελληνική Νομοθεσία σχετικά με την έγκριση και την εφαρμογή των τεχνικών οδηγιών του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας [21], η χώρα χωρίζεται σε τέσσερις ζώνες, ανάλογα με τις μετεωρολογικές συνθήκες. Αυτές είναι οι εξής:

- Ζώνη Α (νότια ζώνη)
- Ζώνη Β (κεντρική-νότια ζώνη)
- Ζώνη Γ (κεντρική-βόρεια ζώνη)
- Ζώνη Δ (βόρεια και ορεινή ζώνη)



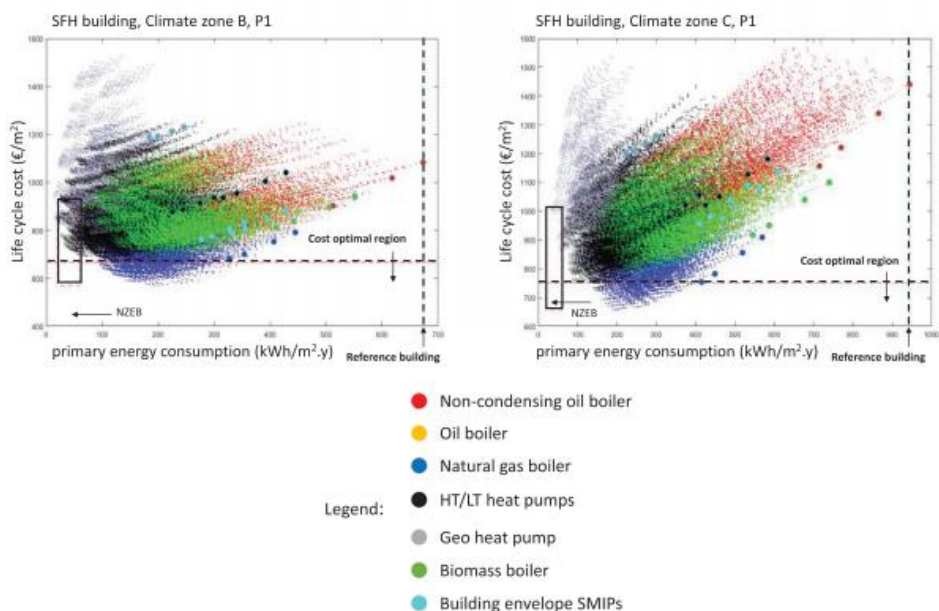
Σχήμα 2: Κλιματικές ζώνες και ετήσιες ημέρες θέρμανσης στην Ελλάδα [17], [18]

Λεπτομερείς σχετικά με το κλίμα για διάφορες πόλεις της Ελλάδας βρίσκονται στην αντίστοιχη οδηγία 20701-3/2010 του Τεχνικού Επιμελητηρίου της Ελλάδας [22].

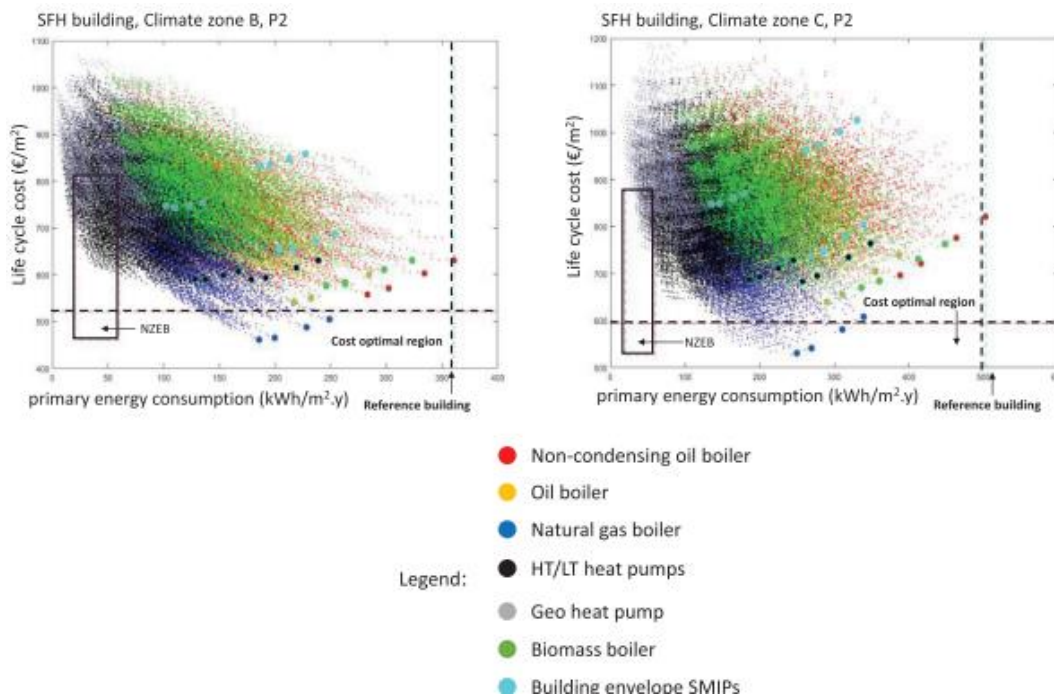
Σε προηγούμενη προσέγγιση του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου [12], ο κ. Μπραϊμάκης κ.α. εξέτασαν τη σχέση του κόστους απόδοσης με την υπολογιζόμενη εξοικονόμηση στην πρωτογενή κατανάλωση ενέργειας για διάφορα πακέτα παρεμβάσεων ή μεμονωμένων αναβαθμίσεων. Οι παρεμβάσεις αυτές απευθύνονταν σε υφιστάμενα κτίρια μονοκατοικιών και πολυκατοικιών που έχουν ανεγερθεί πριν το 1980 και εντός της περιόδου 1980-2000 σε δύο κλιματικές ζώνες (B και C). Τα υπό μελέτη μέτρα βασίστηκαν σε τέσσερις κατευθυντήριες γραμμές του σχεδιασμού κτιρίων προτύπου NZEB [23]:

- Μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων του κτιρίου
- Αύξηση του ποσοστού κάλυψης των ενεργειακών απαιτήσεων από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας
- Βελτίωση της ποιότητας του εσωτερικού χώρου με εφαρμογή συνθηκών θερμικής άνεσης
- Μείωση των εκπομπών που συνδέονται με την πρωτογενή κατανάλωση ενέργειας

Διαπιστώθηκε ότι οι αποκλίσεις μεταξύ των σεναρίων βέλτιστου κόστους και nZEB προτύπων κυμαίνονται μεταξύ 120-180 €/m² (κλιματική ζώνη B) και 200-250 €/m² (κλιματική ζώνη C), σε 140-180 €/m² (κλιματική ζώνη B) και 180-220 €/m² (κλιματική ζώνη C) για μονοκατοικίες και πολυκατοικίες αντίστοιχα.



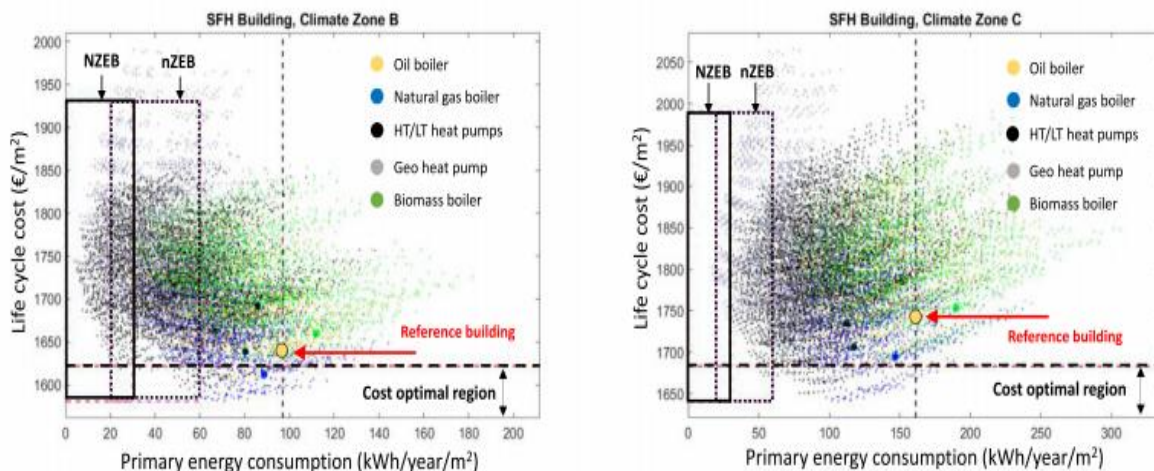
Σχήμα 3: Πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας (PEC) και κόστος κύκλου ζωής παρεμβάσεων σε κλιματική ζώνη B και Γ χρονικής περιόδου πριν του 1980 [12]



Σχήμα 4: Πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας (PEC) και κόστος κύκλου ζωής παρεμβάσεων σε κλιματική ζώνη Β και Γ χρονικής περιόδου 1980–2000 [12]

Δεδομένων των αποτελεσμάτων, Σχήμα 3 και Σχήμα 4, προκύπτει ότι μόνο με την επιβολή σημαντικών οικονομικών κινήτρων είναι εφικτοί οι στόχοι που θέτουν τα επίπεδα σχεδίασης nZEB σε προσιτές και ικανοποιητικές τιμές για παλιά κτίρια στην κλιματική ζώνη Β. Τα πακέτα που περιλαμβάνουν αντλία θερμότητας εμφανίζουν την χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας ενώ το κόστος του κύκλου ζωής τους κυμαίνεται από μεσαία έως πολύ υψηλά. Διαπιστώνεται πως σε αυτές τις περιπτώσεις με υψηλό αρχικό κόστος επένδυσης περιορίζεται το κόστος απόδοσης παρά τις υψηλές αποδόσεις. Σχετικά με τα πακέτα παρεμβάσεων συνδυάζουν φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν ακόμη υψηλότερες ενεργειακές αποδόσεις και είναι ικανές να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην επίτευξη των προτύπων ZEB. Ενδιαφέρον παρουσιάζει ο συνδυασμός τους με τις αντλίες θερμότητας όπου παρατηρείται μείωση της πρωτογενούς κατανάλωσης ενέργειας αλλά υψηλό κόστος κύκλου ζωής. Από την άλλη, η εγκατάσταση λεβήτων φυσικού αερίου οδηγεί σε μεσαία επίπεδα κατανάλωσης ενέργειας, αλλά ταυτόχρονα σε σημαντικά χαμηλότερες περιόδους απόσβεσης και κόστος για όλους τους τύπους κτιρίων και τις κλιματικές ζώνες.

Σε επόμενη προσέγγιση [24] οι συγγραφείς μελέτησαν την σχέση απόδοσης κόστους με την εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας λαμβάνοντας υπόψιν πολλαπλούς συνδυασμούς ενεργειακών παρεμβάσεων για νεόδμητα κτίρια μονοκατοικιών και πολυκατοικιών στις κλιματικές ζώνες Β και C της Ελλάδας.



Σχήμα 5: Πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας (PEC) και κόστος κύκλου ζωής παρεμβάσεων σε κλιματική ζώνη Β και Γ, χρονικής περιόδου πριν του 1980 [24]

Τα κυριότερα συμπεράσματα της παραπάνω μελέτης είναι τα εξής:

- Οι λέβητες φυσικού αερίου αποτελούν το βέλτιστο από πλευράς κόστους σύστημα θέρμανσης για κτίρια μονοκατοικιών και ακολουθούν οι αντλίες θερμότητας χαμηλής θερμοκρασίας, ενώ το αντίστροφο συμβαίνει για τα κτίρια πολυκατοικιών.
- Και για τους δύο τύπους κτιρίων η γεωθερμία και οι αντλίες θερμότητας χαμηλής θερμοκρασίας παρουσιάζουν την καλύτερη ενεργειακή απόδοση, ακολουθούμενες από τις αντλίες θερμότητας υψηλής θερμοκρασίας σε κτίρια μονοκατοικιών.
- Κατ' αρχήν, τα συστήματα που βασίζονται σε αντλίες θερμότητας τείνουν να είναι πιο ανταγωνιστικά ως προς το κόστος όταν αυξάνονται τα φορτία θέρμανσης/ψύξης, κάτι που εμφανίζεται κυρίως σε πιο σκληρά χειμερινά κλίματα και για κτίρια πολυκατοικιών.
- Τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι καθολικά απαραίτητα προκειμένου να επιτευχθούν επίπεδα καθαρής μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας σε κτίρια, και η συμβολή τους σε αυτό αυξάνεται ιδιαίτερα όταν συνδυάζονται με αντλίες θερμότητας, καθώς μπορούν να συμβάλουν στη μείωση της ενέργειας που καταναλώνεται για θέρμανση/ψύξη λόγω συστημάτων netmetering. Ωστόσο, το αυξημένο κόστος του κύκλου ζωής τους καθιστά δυσμενείς από οικονομική άποψη.

Τέλος, υπολογίστηκαν οι διαφορές μεταξύ του βέλτιστου κόστους και των κτιριακών προτύπων καθαρής μηδενικής ενέργειας ίσες με 37-101 €/m² και 6,3- 133 €/m² ανάλογα με την κλιματική ζώνη για κτίρια μονοκατοικιών και πολυκατοικιών, αντίστοιχα.

Η παρούσα εργασία έχει ως στόχο την εύρεση του οικονομικά βέλτιστου συνδυασμού παραμέτρων ή λύσεων μέσω βελτιστοποίησης των παρεμβάσεων ενεργειακής απόδοσης σε κτίρια με τη χρήση γενετικών αλγορίθμων και εφαρμογή υπολογιστικών τεχνικών. Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει έναν συστηματικό και τεκμηριωμένο τρόπο βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, λαμβάνοντας υπόψη τις πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις μεταξύ διαφόρων παραμέτρων.

Αξιοποιώντας την προσαρμοστικότητα και την αποδοτικότητα που διαθέτουν οι γενετικοί αλγόριθμοι, η παρούσα ανάλυση επιδιώκει να προσδιορίσει τους βέλτιστους συνδυασμούς παρεμβάσεων ώστε να ελαχιστοποιηθεί η κατανάλωση ενέργειας, να ενισχυθεί η βιωσιμότητα και να συμβάλει στην προώθηση οικολογικών και αποδοτικότερων κατασκευών. Μέσω της αξιοποίησης της υπολογιστικής ισχύος και των αρχών της βιώσιμης μηχανικής, η παρούσα μελέτη φιλοδοξεί να παράσχει πολύτιμες γνώσεις και εφαρμόσιμες στρατηγικές ως παράδειγμα υψηλών ενεργειακών αποδόσεων στο κτιριακό πεδίο.

Στην ανάλυση που ακολουθεί στο 2ο κεφάλαιο παρουσιάζεται η μεθοδολογία που αφορά την προσομοίωση και την εύρεση της βέλτιστης ενεργειακής απόδοσης ενός κτιρίου μέσω γενετικών αλγορίθμων μέσα σε ένα ευρύ φάσμα παρεμβάσεων. Μελετάται η αναβάθμιση του κτιριακού κελύφους, η αναβάθμιση ή αντικατάσταση συστημάτων θέρμανσης/ψύξης καθώς και η συμμετοχή ηλιακού συλλέκτη, φωτοβολταϊκών και μηχανικού αερισμού στο βέλτιστο πακέτο ενεργειακών παρεμβάσεων. Στην παρούσα προσέγγιση δεν λαμβάνονται υπόψιν οι παρεμβάσεις που σχετίζονται με συστήματα αυτομάτου ελέγχου και συστήματα φωτισμού.

Στο 3ο κεφάλαιο απεικονίζονται τα αποτελέσματα και ερμηνεύονται με την χρήση τεχνικών και οικονομικών δεικτών όπως η πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας (PEC) και το κόστος του κύκλου ζωής (LCC). Εν συνεχεία, σχολιάζονται οι επιδόσεις των γενετικών αλγορίθμων και οι επιμέρους συνιστώσες που συντελούν το βέλτιστο σενάριο παρεμβάσεων.

Έπειτα, στο κεφάλαιο 4, συνοψίζεται η συμπεριφορά των γενετικών αλγορίθμων για τη βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης στο κτιριακό απόθεμα. Τα βασικά ευρήματα αναδεικνύουν τους βέλτιστους συνδυασμούς παραμέτρων, προσφέροντας ιδέες για βελτιωμένη απόδοση των κτιρίων. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με συστάσεις για μελλοντική έρευνα και πρακτικές εφαρμογές για τους ενδιαφερόμενους, υπογραμμίζοντας την προώθηση πρακτικών βιώσιμης ανάπτυξης.

Στα παραρτήματα του 5ου κεφαλαίου παρατίθεται ο κώδικας λογισμικού και μία λεπτομερής περιγραφή της παραμετροποίησης του γενετικού αλγόριθμου.

Τέλος, στα κεφάλαια 6 έως 9, δίνονται σχετικοί κατάλογοι πινάκων, σχημάτων και εικόνων καθώς και ο κατάλογος όλων των χρήσιμων αναφορών.

2. Μεθοδολογία

Η συγγραφή του κώδικα βελτιστοποίησης πραγματοποιήθηκε στο προγραμματιστικό περιβάλλον MATLAB. Μέσα από την εργαλειοθήκη του δίνεται η επιλογή βελτιστοποίησης με χρήση γενετικών αλγορίθμων και σε συνδυασμό με την δυνατότητα εκτέλεσης εξωτερικού λογισμικού, στην περίπτωση αυτή του λογισμικού προσομοίωσης TEE KENAK, αποτελεί το βασικό εργαλείο της μεθοδολογίας.

Αρχικά, εκχωρούνται οι βασικές παράμετροι των εξεταζόμενων κτιρίων και των παρεμβάσεων που εξετάστηκαν και εισάγονται στο αρχείο εισόδου του εξωτερικού λογισμικού. Έπειτα, εκτελείται η ενεργειακή προσομοίωση και σχετικά αποτελέσματα καταγράφονται σε αρχεία εξόδου. Και πάλι μέσα από το περιβάλλον της MATLAB, έχοντας πρόσβαση στα αποτελέσματα υπολογίζονται οι αντικειμενικές συναρτήσεις προς βελτιστοποίηση. Τέλος, αφού προηγηθεί κατάλληλη παραμετροποίηση, με την ενεργοποίηση του γενετικού αλγορίθμου τροφοδοτούνται προς προσομοίωση διάφορα αρχεία εισόδου που αντιπροσωπεύουν σενάρια παρεμβάσεων. Μέσα από την επαναληπτική αυτή διαδικασία ελαχιστοποίησης και τις εξελικτικές δυνατότητες των γενετικών αλγορίθμων προσδιορίζονται τα βέλτιστα πακέτα ενεργειακών παρεμβάσεων.

Στην παρούσα μελέτη εξετάστηκαν ενεργειακές παρεμβάσεις σε δύο κτίρια με κοινά γεωμετρικά και τεχνικά χαρακτηριστικά που βρίσκονται σε διαφορετικές κλιματικές ζώνες για λόγους σύγκρισης και πληρότητας των αποτελεσμάτων.

2.1 Κτίριο μελέτης

Στο πλαίσιο της εργασίας, εξετάστηκε η αναβάθμιση ενός πανομοιότυπου κτιρίου μονοκατοικίας σε δύο διαφορετικές περιοχές της Ελλάδας. Στην πρώτη περίπτωση, θεωρήθηκε πως το κτίριο βρίσκεται Αλεξανδρούπολη [Εικόνα 1], στη κλιματική ζώνη Γ ενώ στη δεύτερη περίπτωση το κτίριο θεωρήθηκε πως βρίσκεται στην κλιματική ζώνη Α, στο Ηράκλειο της Κρήτης [Εικόνα 2]. Το κτίριο βρίσκεται σε υψόμετρο μικρότερο από 500 μέτρα και κτίστηκε πριν το 1980.

Διακρίνονται οι ακόλουθες περίοδοι κατασκευής:

- P1: Πριν από το 1980 (εξαιρουμένων των κατασκευών πριν από το 1945 που αποτελούν ξεχωριστή κατηγορία με ιστορικά ή παραδοσιακά χαρακτηριστικά)
- P2: 1980-2000
- P3: 2001-2010
- P4: 2010-2016
- P5: Νέα κτίρια

Κάθε μία από αυτές τις περιόδους αντιστοιχεί σε αλλαγές στη νομοθεσία που αφορούν τον κτιριακό τομέα στην Ελλάδα σχετικά με τις μεθόδους και τα υλικά κατασκευής που επηρεάζουν τα θερμοφυσικά χαρακτηριστικά των κτιρίων.



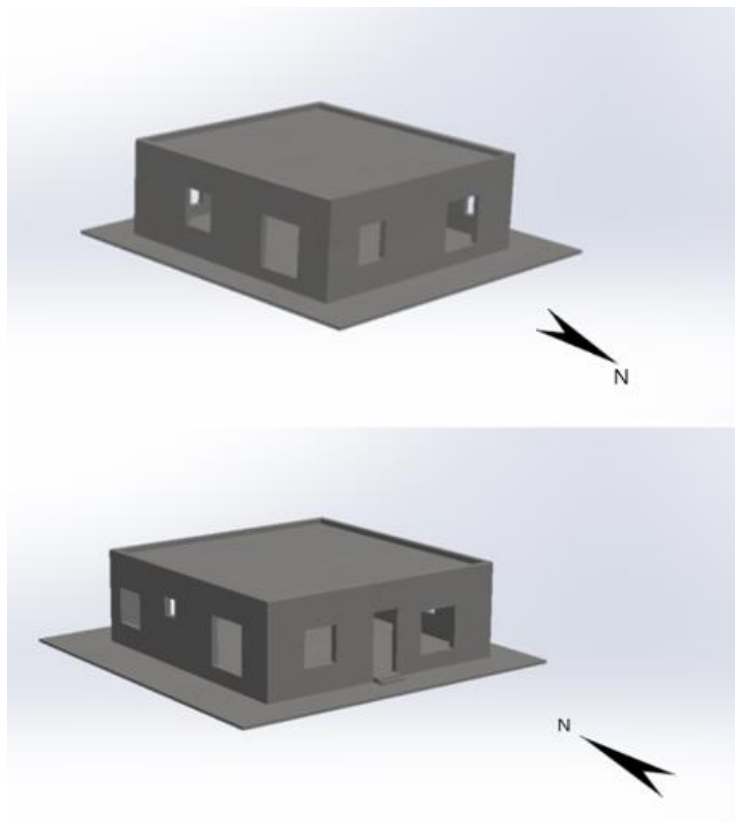
Εικόνα 1: Δορυφορική εικόνα τοποθεσίας μονοκατοικίας, κλιματική ζώνη Γ [25]



Εικόνα 2: Δορυφορική εικόνα τοποθεσίας μονοκατοικίας, κλιματική ζώνη Α [25]

Το κτίριο που εξετάσθηκε [Εικόνα 3], είναι 80 τετραγωνικών μέτρων, ισοδύναμης θερμαινόμενης επιφάνειας και 40 τετραγωνικών μέτρων ψυχόμενης επιφάνειας. Στη θερμαινόμενη επιφάνεια περιλαμβάνονται χώροι του κτιρίου όπου παρατηρούνται απώλειες θερμότητας και όπου τα συστήματα θέρμανσης χρειάζεται να διατηρήσουν μια άνετη εσωτερική θερμοκρασία. Αυτές οι περιοχές αφορούν συνήθως εξωτερικούς τοίχους, παράθυρα, πόρτες και ενδεχομένως στέγες, οι οποίες εκτίθενται σε ψυχρότερες εξωτερικές θερμοκρασίες. Ως εκ τούτου, η θερμαινόμενη επιφάνεια περιλαμβάνει το μεγαλύτερο τμήμα του περιβλήματος του κτιρίου. Αντίθετα, η ψυχόμενη επιφάνεια αντιστοιχεί σε χώρους εντός του κτιριακού κελύφους που απαιτούν ψύξη για να διατηρηθεί μια άνετη εσωτερική θερμοκρασία, όπως δωμάτια που εκτίθενται σε άμεση ηλιακή ακτινοβολία ή περιοχές με υψηλά θερμικά κέρδη λόγω του εξοπλισμού. Αυτές οι περιοχές αφορούν παράθυρα και εξωτερικούς τοίχους που βλέπουν στο φως του ήλιου και χώρους με υψηλές εσωτερικές πηγές θερμότητας. για το λόγω αυτό, η ψυχόμενη επιφάνεια μπορεί να είναι μικρότερη, καθώς επικεντρώνεται σε συγκεκριμένες ζώνες όπου οι ανάγκες ψύξης είναι πιο έντονες.

Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας (U , [W/m^2K]) είναι κρίσιμη παράμετρος στην ενεργειακή προσομοίωση ενός κτιρίου. Παίζει σημαντικό ρόλο στον καθορισμό των ροών μεταφοράς της θερμότητας μέσω των δομικών υλικών και επηρεάζει άμεσα την ενεργειακή απόδοση και τη θερμική συμπεριφορά του κτιρίου. Για το κτίριο που εξετάσθηκε, καθορίζει πόσο αποτελεσματικά μεταφέρεται η θερμότητα μέσω τοίχων, οροφών, δαπέδων και άλλων δομικών στοιχείων. Κτίρια με υλικά χαμηλής θερμικής αγωγιμότητας παρέχουν γενικά καλύτερη μόνωση και, ως εκ τούτου, παρουσιάζουν βελτιωμένη ενεργειακή απόδοση. Στο σημείο αυτό τονίζεται πως η επιλογή ενός κτιρίου απλοϊκής γεωμετρίας στοχεύει στην ανάδειξη της χρησιμότητας των γενετικών αλγορίθμων στην βελτιστοποίηση προβλημάτων διακριτών τιμών και όχι στην ενεργειακή επίλυση ενός πολύπλοκου κελύφους. Πολλά πρότυπα ενεργειακής απόδοσης θέτουν απαιτήσεις για την θερμική αγωγιμότητα των υαλοπινάκων ώστε να πληρούν συγκεκριμένα κριτήρια θερμικής απόδοσης. Η συμμόρφωση με αυτά τα πρότυπα περιλαμβάνει συχνά την επιλογή υαλοπινάκων με κατάλληλη θερμική αγωγιμότητα για να διασφαλιστεί ότι πληροί τους στόχους ενεργειακής απόδοσης.



Εικόνα 3: Τρισδιάστατες (3D) απόψεις του κτιρίου μονοκατοικίας

Η ειδική θερμοχωρητικότητα του κτιριακού κελύφους ορίζεται στα $260 \text{ kJ/m}^2\text{K}$ [24] ενώ η διείσδυση αέρα υπολογίστηκε ίση με $263 \text{ m}^3/\text{h}$ [26]. Στον Πίνακα 1 και Πίνακα 2 παρουσιάζονται τα υφιστάμενα γεωμετρικά και τεχνικά χαρακτηριστικά του κτιρίου ενώ στον Πίνακα 15 το πρόγραμμα χρήσης του κτιρίου.

Πίνακας 1: Βασικά Γεωμετρικά και Τεχνικά Χαρακτηριστικά Κτιριακού Κελύφους

	Προσανατολισμός	Κλίση [ο]	Επιφάνεια [m^2]	U [$\text{W/m}^2\text{K}$]
Τοίχος 1	Βόρειος	90	28,56	2,32
Τοίχος 2	Νότιος	90	26,72	2,32
Τοίχος 3	Ανατολικός	90	22,98	2,32
Τοίχος 4	Δυτικός	90	22,32	2,32
Οροφή	-	0	80	1,95
Δάπεδο	-	180	80	0,87
Σύνολο	-	-	260.58	-

Πίνακας 2: Βασικά Γεωμετρικά και Τεχνικά Χαρακτηριστικά Υαλοπινάκων

	Προσανατολισμός	Κλίση [ο]	Επιφάνεια [m ²]	U [W/m ² K]
Παράθυρο 1	Βόρειος	90	1,44	4,25
Παράθυρο 2	Ανατολικός	90	0,36	4,25
Παράθυρο 3	Βόρειος	90	2,64	4,25
Παράθυρο 4	Νότιος	90	1,44	4,25
Παράθυρο 5	Νότιος	90	1,98	4,25
Παράθυρο 6	Ανατολικός	90	1,44	4,25
Παράθυρο 7	Ανατολικός	90	2,64	4,25
Παράθυρο 8	Δυτικός	90	1,44	4,25
Παράθυρο 9	Δυτικός	90	2,64	4,25
Σύνολο		-	15.12	-

Οι συντελεστές θερμικής αγωγιμότητας υποδεικνύουν ότι τα υλικά έχουν κακές μονωτικές ιδιότητες, αυξάνοντας την ανάγκη για θέρμανση/ψύξη για τη διατήρηση των επιθυμητών θερμοκρασιών. Στον Πίνακα 3 παρουσιάζεται η υφιστάμενη τεχνολογία θέρμανσης και ψύξης του κτιρίου. Λόγω της παλαιότητας των τεχνολογιών και των συστημάτων και έγινε η επιλογή σχετικά χαμηλών βαθμών απόδοσης.

Πίνακας 3: Η/Μ συστήματα Κτιρίου Αναφοράς

Σύστημα Θέρμανσης	Σύστημα Ψύξης	Ζεστό νερό Χρήσης	Κατηγορία Αυτοματισμών
Λέβητας Πετρελαίου (NCOB)	Συμβατικό Σύστημα Διαιρούμενου τύπου (CSU)	Ηλεκτρικός Λέβητας	3
Ισχύς 30 kW B.A. 0.75	Ισχύς 15.25 kW COP 1.5	Ισχύς 7,5 kW B.A. 100%	

Ο λέβητας πετρελαίου χωρίς συμπύκνωση είναι ένας τύπος συστήματος θέρμανσης που λειτουργεί με την καύση πετρελαίου για την παραγωγή θερμότητας. Σε αντίθεση με τους λέβητες συμπύκνωσης, οι οποίοι χρησιμοποιούν έναν εναλλάκτη θερμότητας για την απαγωγή πρόσθετης θερμότητας από τα αέρια καύσης, οι λέβητες μη συμπύκνωσης απελευθερώνουν τα καυσαέρια απευθείας στην ατμόσφαιρα χωρίς ανάκτηση θερμότητας. Για το λόγο αυτό είναι συνήθως λιγότερο αποδοτικοί από τους λέβητες συμπύκνωσης και χρησιμοποιούνται συχνά σε παλαιότερες κατοικίες. Παρέχουν αξιόπιστη θέρμανση, αλλά ενδέχεται να έχουν υψηλότερη κατανάλωση καυσίμου και εκπομπές σε σύγκριση με τους αντίστοιχους λέβητες συμπύκνωσης.

Μια συμβατική διαιρούμενη μονάδα λειτουργεί με την κυκλοφορία ψυκτικού μέσου μεταξύ της εσωτερικής και της εξωτερικής μονάδας. Το ψυκτικό μέσο απορροφά θερμότητα από το εσωτερικό του κτιρίου στην εσωτερική μονάδα και την απελευθερώνει έξω στην εξωτερική μονάδα, ψύχοντας κατά τη διαδικασία τον εσωτερικό αέρα. Αυτός ο τύπος συστήματος είναι δημοφιλής λόγω της αποτελεσματικότητάς του, της ευκολίας εγκατάστασης και της ικανότητάς του να παρέχει τόσο ψύξη όσο και θέρμανση (εάν είναι εξοπλισμένο με αντλία θερμότητας) για το κτίριο. Αποτελεί ένα τύπο συστήματος κλιματισμού που χρησιμοποιείται συνήθως σε κατοικίες και εμπορικά κτίρια.

Οι βαθμοί απόδοσης του δικτύου διανομής θερμού και ψυχρού μέσου ορίστηκαν στο 97% και οι βαθμοί απόδοσης των τερματικών μονάδων 93% σύμφωνα με προηγούμενη μελέτη [24].

Στον Πίνακα 4 παρουσιάζεται η κατηγοριοποίηση των κτιρίων με βάση τις τεχνολογίες αυτοματισμού που διαθέτουν. Το κτίριο που μελετήθηκε ανήκει στην 3^η κατηγορία αυτοματισμών. Για την κατηγορία αυτοματισμών 3 υφίσταται αυτόματος έλεγχος μεμονωμένων χώρων ενώ το σύστημα θέρμανσης/ψύξης λειτουργεί με θερμοστατικές βαλβίδες ή ηλεκτρονικό ελεγκτή.

Πίνακας 4: Κατηγορίες αυτοματισμού [12]

Κατηγορία αυτοματισμού	Περιγραφή
1	Ολοκληρωμένος ατομικός έλεγχος δωματίων, συμπεριλαμβανομένου του ελέγχου ζήτησης (ανά χρήση). Ύπαρξη θερμοστάτη και θερμοστατικών βαλβίδων σε κάθε μεμονωμένο δωμάτιο. Αυτοματοποιημένη υδραυλική ή θερμοκρασιακή προσαρμογή του κυκλώματος διανομής στα φορτία θέρμανσης/ψύξης. Προτεραιότητα του συστήματος θέρμανσης/ψύξης με βάση την απόδοση της γεννήτριας.
2	Έλεγχος μεμονωμένων δωματίων με επικοινωνία μεταξύ των ελεγκτών και με το σύστημα αυτοματισμού και ελέγχου του κτιρίου (BACS). Αυτοματοποιημένη υδραυλική ή θερμοκρασιακή προσαρμογή του κυκλώματος διανομής στα φορτία θέρμανσης/ψύξης. Προτεραιότητα του συστήματος θέρμανσης/ψύξης με βάση την απόδοση της γεννήτριας.
3	Αυτόματος έλεγχος μεμονωμένων χώρων με θερμοστατικές βαλβίδες ή ηλεκτρονικό ελεγκτή. Αυτοματοποιημένη υδραυλική ή θερμοκρασιακή προσαρμογή του κυκλώματος διανομής στα φορτία θέρμανσης/ψύξης. Προτεραιότητα του συστήματος θέρμανσης/ψύξης με βάση την απόδοση της γεννήτριας.
	Χειροκίνητος αυτόματος έλεγχος. Το σύστημα θέρμανσης/ψύξης λειτουργεί λαμβάνοντας υπόψη μια σταθερή θερμοκρασία παροχής

4	του μέσου του κυκλώματος διανομής. Δεν λαμβάνεται υπόψη η προτεραιότητα των συστημάτων θέρμανσης/ψύξης.
---	--

Η γνώση της θερμικής αγωγιμότητας των συντελεστών του κτιριακού κελύφους βοηθά στην κατάλληλη διαστασιολόγηση των συστημάτων θέρμανσης/ψύξης, μηχανικού αερισμού και κλιματισμού (HVAC). Σενάρια με υλικά διαφορετικής θερμικής αγωγιμότητας μπορεί να απαιτούν διαφορετικές λύσεις για τη διατήρηση ομοιόμορφων θερμοκρασιών και ενεργειακής απόδοσης. Χωρίς να ληφθούν υπόψη αυτές οι μεταβολές, υπάρχει κίνδυνος υπερ/υποδιαστασιολόγησης των συστημάτων, που οδηγεί σε σπατάλη ενέργειας και δυσφορία για τους κατοίκους.

2.2 Ενεργειακές παρεμβάσεις

2.2.1 Παρεμβάσεις κτιριακού κελύφους

Οι 4 πρώτες κατηγορίες παρεμβάσεων αφορούν τους συντελεστές θερμικής διαπερατότητας:

- των κάθετων τοίχων
- της οροφής
- του δαπέδου
- και των υαλοπινάκων

Τονίζεται πως στην περίπτωση των 4 κάθετων τοίχων και στους 9 υαλοπίνακες ορίζεται κοινός συντελεστής αντίστοιχα. Στα σενάρια που εξετάστηκαν επιλέχθηκαν τέσσερις επιλογές πέραν του υφιστάμενου συντελεστών θερμικής διαπερατότητας για τα δομικά στοιχεία του κελύφους, από τον Πίνακα 5 που ακολουθεί, ανάλογα με το πάχος της μόνωσης.

Πίνακας 5: Συντελεστής θερμικής διαπερατότητας U [W/m^2K] κάθετων και οριζόντων Τοίχων

Πάχος [cm]	U [W/m^2K]		
	Κάθετοι Τοίχοι	Οροφή	Δάπεδο
υφιστάμενα	2,32	1,95	0,87
3	0,757	0,832	0,771
10	0,291	0,301	0,293
15	0,202	0,207	0,203

20	0,155	0,157	0,155
----	-------	-------	-------

Όσον αφορά την θερμική διαπερατότητα των υαλοπινάκων, εξετάστηκαν οι παρακάτω έξι επιλογές πέραν του υφιστάμενου του Πίνακας 6.

Πίνακας 6: Συντελεστής θερμικής διαπερατότητας U [W/m²K] υαλοπινάκων

U [W/m ² K]
4,25 (υφιστάμενο)
2,50
2,30
2,00
1,80
1,50
1,30

2.2.2 Παρεμβάσεις ενεργητικών συστημάτων

Κατά την προσομοίωση, εξετάστηκαν 5 διαφορετικές κατηγορίες τεχνολογιών ενέργειας με στόχο την εύρεση του βέλτιστου πακέτου παρεμβάσεων. Αυτές αφορούν:

- το σύστημα θέρμανσης
- το σύστημα ψύξης
- σύστημα ηλιακού συλλέκτη
- φωτοβολταϊκό σύστημα
- και σύστημα μηχανικού αερισμού

Μια ολοκληρωμένη προσέγγιση στην ανακαίνιση των συστημάτων λαμβάνοντας υπόψη τον αποδοτικό εξοπλισμό και τις πηγές ενέργειας, μπορεί να οδηγήσει σε ένα πιο άνετο και βιώσιμο κτίριο. Στη συνέχεια αναλύονται οι επιμέρους επιλογές που εξετάστηκαν για κάθε μία από τις παραπάνω κατηγορίες παρεμβάσεων.

2.2.2.1 Συστήματα Θέρμανσης

Εξετάστηκαν 7 διακριτές επιλογές συστημάτων (συμπεριλαμβανομένου του υφιστάμενου) και ακολουθούν στον Πίνακα 7. Η επιλογή έγινε ανάμεσα σε τεχνολογίες που ενδείκνυνται και είναι διαθέσιμες στην περιοχή. Όπως, συστήματα που χρησιμοποιούν ζεστό νερό ή αέρα μέσω σωληνώσεων για τη θέρμανση θερμαντικών σωμάτων στην περίμετρο των δωματίων, αερόψυκτες αντλίες θερμότητας και γεωθερμικές αντλίες θερμότητας οριζοντίου εναλλάκτη [26].

Οι αντλίες θερμότητας μεταφέρουν θερμότητα από τον εξωτερικό αέρα στους εσωτερικούς χώρους (λειτουργία θέρμανσης) ή αντίστροφα (λειτουργία ψύξης) ενώ τα γεωθερμικά συστήματα χρησιμοποιούν τη σταθερή θερμοκρασία της γης κάτω από την επιφάνεια για τη θέρμανση ενός ρευστού που, με τη σειρά του, θερμαίνει το κτίριο.

Πίνακας 7: Επιλογές συστημάτων θέρμανσης [12]

Σύστημα Θέρμανσης	Πηγή Ενέργειας	Βαθμός Απόδοσης / COP
Λέβητας Πετρελαίου (NCOB) (υφιστάμενο)	Πετρέλαιο Θέρμανσης	0,75
Λέβητας Φυσικού Αερίου (NGB)	Φυσικό Αέριο	1,08
Λέβητας Βιομάζας (BB)	Βιομάζα (Μπριγκέτες)	0,82
Αντλία Θερμότητας Υψηλών Θερμοκρασιών (HTHP)	Ηλεκτρισμός	2
Γεωθερμική Αντλία Θερμότητας (GHP)	Ηλεκτρισμός	5,1
Αντλία Θερμότητας Χαμηλών Θερμοκρασιών (LTHP) με Fan Coils	Ηλεκτρισμός	2,5
Γεωθερμική Αντλία Θερμότητας (GHP) με Fan Coils	Ηλεκτρισμός	5,3

Σημειώνεται πως για την εύρεση του βαθμού απόδοσης του λέβητα πετρελαίου και βιομάζας λόγω έλλειψης φύλλου συντήρησης οι τιμές βαθμού απόδοσης λαμβάνονται από τον ακόλουθο Πίνακα 8 της τεχνικής οδηγίας [26].

Πίνακας 8: Μέγιστες τιμές πραγματικού βαθμού απόδοσης σε περίπτωση έλλειψης άλλων φ.ε και ενεργειακής σήμανσης [26]

Τύπος λέβητα	Βαθμός απόδοσης
Λέβητας Πετρελαίου	0,75
Πιστοποιημένος Λέβητας βιομάζας	0,82

Ο βαθμός απόδοσης του λέβητα φυσικού αερίου σύμφωνα με την μελέτη [24] και λαμβάνοντας υπόψιν την βελτίωση της υπάρχουσας τεχνολογίας ορίστηκε ίσος με 108%.

Οι αντλίες θερμότητας υψηλών θερμοκρασιών είναι λιγότερο αποδοτικές από τις αντλίες θερμότητας χαμηλών θερμοκρασιών καθώς όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία λειτουργίας, τόσο χαμηλότερη είναι η απόδοσή τους. Με βάση την οδηγία [26] και

λαμβάνοντας υπόψιν πως για την εκτίμηση του κόστους των συστημάτων χρησιμοποιήθηκε ο μέσος όρος των τιμών της αγοράς, ορίστηκαν συντηρητικά οι συντελεστές επίδοσης (COP) 2 και 2,5 αντίστοιχα.

Στην περίπτωση των γεωθερμικών αντλιών, οι συντελεστές επίδοσης διαφοροποιούνται αποκλειστικά από την ύπαρξη fan coils λόγω της αποδοτικής διανομής θερμαινόμενου ή ψυχόμενου αέρα μέσω αυτών. Σύμφωνα με την μελέτη [24] ορίστηκαν 5,1 και 5,3 αντίστοιχα.

Οι βαθμοί απόδοσης του δικτύου διανομής θερμού μέσου ορίστηκε στο 97% και οι βαθμοί απόδοσης των τερματικών μονάδων 93% σύμφωνα με προηγούμενη μελέτη [24].

2.2.2.2 Συστήματα Ψύξης

Εξετάστηκαν οι 4 διακριτές επιλογές συστημάτων (συμπεριλαμβανομένου του υφιστάμενου) που βρίσκονται στον Πίνακα 9.

Πίνακας 9: Επιλογές συστημάτων ψύξης [12]

Σύστημα Ψύξης	Πηγή Ενέργειας	COP
Αντλία Θερμότητας Διαιρούμενου Τύπου (CSU) (υφιστάμενο)	Ηλεκτρισμός	1,5
Αντλία Θερμότητας Χαμηλών Θερμοκρασιών (LTHP) με Fan Coils	Ηλεκτρισμός	4,2
Γεωθερμική Αντλία Θερμότητας(GHP) με Fan Coils	Ηλεκτρισμός	4,5
Αντλία Θερμότητας Διαιρούμενου Τύπου (MSU)	Ηλεκτρισμός	3,5

Εδώ σημειώνεται πως τα fan coils χρησιμοποιούνται συνήθως τόσο για θέρμανση όσο και για ψύξη σε κατοικίες, εμπορικά και βιομηχανικά κτίρια. Αυτή τους η ευελιξία τα καθιστά κατάλληλα για χρήση όλο το χρόνο, επιτρέποντας στους κατοίκους να διατηρούν ένα άνετο εσωτερικό περιβάλλον ανεξάρτητα από τις εξωτερικές θερμοκρασίες. Τα fan coils είναι γνωστά για την ενεργειακή τους απόδοση, ιδίως σε σύγκριση με τα παραδοσιακά συστήματα θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού και παρέχοντας τοπικό έλεγχο της θερμοκρασίας, μπορούν να μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας και το λειτουργικό κόστος.

Τα σύγχρονα συστήματα διαιρούμενου τύπου (Modern Split Unit, MSU) διαθέτουν πλεονεκτικά χαρακτηριστικά έναντι των συμβατικών (Conventional Split Units, CSU) όπως

τεχνολογία inverter, συμπιεστές μεταβλητών στροφών και έξυπνα συστήματα ελέγχου τα οποία συμβάλλουν σε υψηλότερη απόδοση και μειωμένη κατανάλωση ενέργειας.

Οι βαθμοί απόδοσης του δικτύου διανομής ψυχρού μέσου ορίστηκε στο 97% και οι βαθμοί απόδοσης των τερματικών μονάδων 93% σύμφωνα με προηγούμενη μελέτη [24].

Στον παρακάτω πίνακα συγκεντρώνονται οι συνδυασμοί των συστημάτων θέρμανσης και ZNX με τα συστήματα ψύξης που εξετάστηκαν. Με πράσινο χρώμα σημειώνονται οι συνδυασμοί που λήφθηκαν υπόψιν και με κόκκινο χρώμα σημειώνονται οι συνδυασμοί που αποκλείστηκαν.

Πίνακας 10: Αποδεκτοί συνδυασμοί συστημάτων θέρμανσης και ZNX με τα συστήματα ψύξης

Θέρμανση και ZNX	Ψύξη			
	CSU	MSU	LTHP & FC	GHP & FC
NOB	ναι	ναι	όχι	όχι
NGB	ναι	ναι	όχι	όχι
BB	ναι	ναι	όχι	όχι
HThP	ναι	ναι	όχι	όχι
GHP	ναι	ναι	όχι	όχι
LTHP & FC	ναι	ναι	ναι	όχι
GHP & FC	ναι	ναι	όχι	ναι

2.2.2.3 Σύστημα Ηλιακού Συλλέκτη

Οι ηλιακοί συλλέκτες είναι ηλιοθερμικά συστήματα που αξιοποιούν την ενέργεια του ήλιου για την παραγωγή θερμότητας για διάφορες εφαρμογές. Η σημασία τους έγκειται στην ικανότητά τους να μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε αξιοποιήσιμη θερμική ενέργεια, προσφέροντας μια βιώσιμη και ανανεώσιμη πηγή θερμότητας. Είναι ιδιαίτερα αναγκαίοι σε περιοχές εκτός δικτύου ή απομακρυσμένες περιοχές όπου η πρόσβαση σε παραδοσιακές πηγές ενέργειας μπορεί να είναι περιορισμένη. Μπορούν να παρέχουν μια αξιόπιστη και ανεξάρτητη πηγή θερμότητας για διάφορες ανάγκες. Εξετάστηκαν 2 σενάρια τα οποία αντιστοιχούν στη χρήση ή μη, επιλεκτικού επίπεδου συλλέκτη 2,1 m². Στην προσέγγιση αυτή, ηλιακός συλλέκτης ενσωματώθηκε σε σύστημα ζεστού νερού χρήσης. Οι ηλιακοί συλλέκτες μπορούν να συμπληρώσουν ή να αντικαταστήσουν τις παραδοσιακές μεθόδους θέρμανσης νερού χρήσης, παρέχοντας μια βιώσιμη και οικονομικά αποδοτική λύση για την κάλυψη των αναγκών

Οι βασικές παράμετροι εγκατάστασης των ηλιακών συλλεκτών είναι ο προσανατολισμός τους ως προς τον νότο, η κλίση της επιφάνειας ως προς το οριζόντιο επίπεδο και ο συντελεστής σκίασης. Ο προσανατολισμός (αζιμούθιο γ) τοποθέτησης των ηλιακών συλλεκτών για νότιο προσανατολισμό σύμφωνα με την μεθοδολογία υπολογισμού

ορίστηκε $\gamma = 180^\circ$ και συντελεστής σκίασης ίσος με 1 που σηματοδοτεί την πλήρη απουσία σκίασης. Για επιλεκτικού τύπου συλλέκτη και σε γωνία τοποθέτησης 45° κοινή και στις δύο κλιματικές ζώνες ο συντελεστής αξιοποίησης υπολογίστηκε με βάση τον Πίνακας 11.

Πίνακας 11: Συντελεστής αξιοποίησης ηλιακής ακτινοβολίας για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης σε κατοικίες [26]

Γωνία κλίσης εγκατάστασης ηλιακών συλλεκτών (θ)	15°	45°	60°
Αλεξαν/πολη	0,341	0,353	0,350
Ηράκλειο	0,355	0,364	0,361

2.2.2.4 Φωτοβολταϊκό Σύστημα

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα, κοινώς γνωστά ως ηλιακά πάνελ, διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στο τοπίο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Παράγουν ηλεκτρική ενέργεια χωρίς να εκπέμπουν αέρια του θερμοκηπίου ή ρύπους. Η ηλιακή ενέργεια είναι μια καθαρή και ανανεώσιμη πηγή, καθιστώντας τα φωτοβολταϊκά συστήματα φιλικά προς το περιβάλλον και συμβάλλοντας στη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα παρέχουν μια αποκεντρωμένη πηγή ηλεκτρικής ενέργειας, προωθώντας την ενεργειακή ανεξαρτησία. Μπορούν να ενσωματωθούν στο δίκτυο ή να λειτουργήσουν ανεξάρτητα ως λύσεις εκτός δικτύου. Τα συνδεδεμένα με το δίκτυο συστήματα επιτρέπουν στους χρήστες να διοχετεύουν την πλεονάζουσα ηλεκτρική ενέργεια πίσω στο δίκτυο, ενώ τα συστήματα εκτός δικτύου παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια σε απομακρυσμένες ή απομονωμένες τοποθεσίες.

Τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία χρησιμοποιούνται ευρέως σε οικιακές, εμπορικές και κοινωφελείς ηλιακές εγκαταστάσεις. Η αποδοτικότητά τους καθιστά δημοφιλή επιλογή για έργα όπου η μεγιστοποίηση της απόδοσης της επένδυσης αποτελεί προτεραιότητα. Ως σενάριο, από συνολική επιφάνεια οροφής 80 m^2 , επιλέχθηκε η τοποθέτηση πολυκρυσταλλικών πάνελ 5 m^2 , ισχύος $4,2 \text{ kW}$ με συντελεστή ηλιακής αξιοποίησης 0,19, βαθμό απόδοσης 19% και κλίση τοποθέτησης 30° για την Αλεξανδρούπολη ($\phi=40$) και 28° για το Ηράκλειο ($\phi=38$) σύμφωνα με τον Πίνακας 12 και Πίνακας 13. Επίσης, ορίστηκε νότιος προσανατολισμός $\gamma = 180^\circ$ και συντελεστής σκίασης ίσος με 1.

Πίνακας 12: Βαθμός απόδοσης Φ/Β στοιχείων [26]

Τύποι φωτοβολταϊκών στοιχείων	Ενδεικτική απόδοση
Μονοκρυσταλλικά	12-19%
Πολυκρυσταλλικά	12-19%

Πίνακας 13: Βέλτιστες κλίσεις φωτοβολταϊκών στοιχείων για διάφορα γεωγραφικά πλάτη στην Ελλάδα ανά περίοδο χρήσης [26]

Γεωγραφικό πλάτος περιοχής (φ) σε [°]	Θερινή περίοδος [°]	Ετήσια περίοδος [°]	Χειμερινή περίοδος [°]
φ = 38	10	28	46
φ = 40	12	30	49

2.2.2.5 Σύστημα Μηχανικού Αερισμού

Τα συστήματα εξαερισμού διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στη διατήρηση της ποιότητας του εσωτερικού αέρα, στη ρύθμιση της θερμοκρασίας και στην προώθηση της συνολικής άνεσης εντός των κτιρίων.

Ο σωστός εξαερισμός συμβάλλει σε ένα υγιέστερο και πιο άνετο εσωτερικό περιβάλλον καθώς μειώνει τη συγκέντρωση των αερομεταφερόμενων ρύπων. Εκτός από την παροχή εξαερισμού και τη βελτίωση της ποιότητας του εσωτερικού αέρα, τα συστήματα μηχανικού εξαερισμού με δυνατότητες ανάκτησης θερμότητας συμβάλουν στη βελτίωση της αποδοτικότητας της θέρμανσης και ψύξης ενός κτιρίου.

Με την ανάκτηση θερμότητας από τον εξερχόμενο αέρα και τη μεταφορά της στον εισερχόμενο αέρα μέσω του εναλλάκτη, μειώνεται η ανάγκη για πρόσθετη θέρμανση κατά την χειμερινή περίοδο.

Ενώ κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, ο εναλλάκτης θερμότητας μπορεί να μεταφέρει μέρος της θερμότητας από τον θερμότερο εξωτερικό αέρα στον ψυχρότερο εξερχόμενο αέρα, προ ψυχώνοντας τον εισερχόμενο αέρα.

Οι λύσεις εξαερισμού μπορούν να προσαρμοστούν σε διάφορους τύπους κτιρίων, συμπεριλαμβανομένων των κατοικιών, των εμπορικών, των βιομηχανικών και των θεσμικών δομών.

Εξετάστηκαν 2 σενάρια τα οποία αντιστοιχούν στη χρήση ή μη, συστήματος μηχανικού αερισμού συνολικής παροχής 60 κυβικών μέτρων ανά ώρα με συντελεστή ανάκτησης θερμότητας 0,9 σύμφωνα με το άρθρο 9 του ΚΕΝΑΚ, και καλύπτονται με αυτό το τρόπο οι ελάχιστες προδιαγραφές για τα νέα ή ριζικά ανακαινιζόμενα κτήρια [27], [26].

2.2.3 Σύνοψη ενεργειακών παρεμβάσεων

Στον Πίνακα 14 που ακολουθεί, συνοψίζονται οι 9 κατηγορίες μεταβλητών παρεμβάσεων που εισάγονται στο αρχείο εισόδου της προσομοίωσης.

Πίνακας 14: Συνολικά σενάρια ενεργειακών παρεμβάσεων

U [W/m ² K]							
Κάθετοι Τοίχοι	2,32	0,757	0,291	0,202	0,155		
Οροφή	1,95	0,832	0,301	0,207	0,157		
Δάπεδο	0,87	0,771	0,293	0,203	0,155		
Παράθυρα	4,25	2,50	2,30	2,00	1,80	1,50	1,30
Θέρμανση	NCOB	NGB	BB	HHP	GHP	LTHP & FC	GHP & FC
Ψύξη	CSU	MSU	LTHP & FC	GHP & FC			
Ηλιακός Συλλέκτης	ναι	όχι					
Φωτοβολταϊκό Σύστημα	ναι	όχι					
Μηχανικός Αερισμός	ναι	όχι					

Πολλαπλασιάζοντας το σύνολο των μεμονωμένων επιλογών για κάθε κατηγορία παρεμβάσεων προκύπτει το σύνολο των πιθανών σεναρίων που εξετάστηκαν και υπολογίζεται στα 86.016. Για κάθε πακέτο παρεμβάσεων υπολογίζεται η πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας (PEC) σε kWh/m².γ και το κόστος του κύκλου ζωής (LCC) σε €/ m² με χρονικό ορίζοντα της συνολικής επένδυσης τα 20 χρόνια. Το LCC αντιπροσωπεύει το συνολικό κόστος που προκύπτει καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του κτιρίου, περιλαμβάνοντας όχι μόνο τα αρχικά έξοδα κατασκευής αλλά και τα έξοδα συντήρησης, λειτουργίας και διάθεσης. Αποτελεί έναν χρηματοοικονομικό δείκτη που επιτρέπει στους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων να αξιολογήσουν την οικονομική βιωσιμότητα των διαφόρων στρατηγικών καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του κτιρίου. Από την άλλη πλευρά, το PEC αντιστοιχεί στην πρωτογενή ενέργεια που καταναλώνει το κτίριο, αντικατοπτρίζοντας την ενεργειακή του απόδοση και τις περιβαλλοντικές του επιπτώσεις. Με την ελαχιστοποίηση τόσο του LCC όσο και του PEC, η βελτιστοποίηση αποσκοπεί στην επίτευξη ισορροπίας μεταξύ οικονομικής σκοπιμότητας και βιωσιμότητας, διασφαλίζοντας ότι τα επιλεγμένα πακέτα παρεμβάσεων όχι μόνο ενισχύουν την ενεργειακή απόδοση αλλά και ελαχιστοποιούν το κόστος, προωθώντας έτσι την μακροπρόθεσμη περιβαλλοντική μέριμνα και την εξοικονόμηση. Οι δύο αυτές παράμετροι και ο τρόπος υπολογισμού τους παρατίθενται στις επόμενες ενότητες.

2.2.4 Υπολογισμός θερμικών και ψυκτικών φορτίων και διαστασιολόγηση συστημάτων θέρμανσης, ZNX και ψύξης

2.2.4.1 Βασικές παραδοχές υπολογισμού θερμικών και ψυκτικών φορτίων

Στον παρακάτω Πίνακας 15 συγκεντρώνονται οι βασικές παράμετροι που εισάγονται στο λογισμικό TEE-KENAK με βάση την οδηγία [26].

Πίνακας 15: Βασικές παράμετροι λογισμικού TEE-KENAK για τις ενεργειακές προσομοιώσεις του κτιρίου [26]

Ώρες λειτουργίας	18 ώρες την ημέρα
Μέρες λειτουργίας	7 ημέρες την εβδομάδα
Μήνες λειτουργίας	12 μήνες
Περίοδος Θέρμανσης	Νοέμβριο - Απρίλιο
Περίοδος Ψύξης	Ιούνιο – Σεπτέμβριο
Εσωτερική θερμοκρασία κατά την περίοδο θέρμανσης	20 °C
Εσωτερική θερμοκρασία κατά την περίοδο ψύξης	26°C
Σχετική υγρασία κατά την περίοδο θέρμανσης	40 °C
Σχετική υγρασία κατά την περίοδο ψύξης	45 °C
Απαιτούμενος νωπός αέρας	0,75 m ³ /h/m ²
Επίπεδα φωτισμού	δεν εξετάστηκε
Απαιτήσεις ZNX	27,38 m ³ /υπνοδ./έτος
Θερμική ισχύς ανά άτομο	80 W/άτομο
Ετεροχρονισμένη ισχύς εξοπλισμού	2 W/m ²

Ο απαιτούμενος νωπός αέρας υπολογίστηκε στα 60 m³/h ενώ η κατανάλωση ζεστού νερού χρήσης υπολογίστηκε στα 54,76 m³/έτος για δύο υπνοδωμάτια. Επίσης, θερμική ισχύς των κατοίκων υπολογίστηκε στα 240W για 4 άτομα με συντελεστή παρουσίας 0,75 ενώ η ετεροχρονισμένη ισχύς του εξοπλισμού στα 120W για τα συνολικά 80m² του κτιρίου με συντελεστή λειτουργίας 0,75.

2.2.4.2 Διαστασιολόγηση συστημάτων θέρμανσης, ZNX και ψύξης

Η πραγματική θερμική ισχύς (P_{heat}) των συστημάτων θέρμανσης πέραν του υφιστάμενου υπολογίζεται για κάθε του συντελεστή διαπερατότητας U_m [W/(m²K)], για το σύνολο της επιφάνειας A μέσα από την παρακάτω σχέση της οδηγίας [26]:

$$P_{heat} = (A * U_m * 1.5 + \frac{\dot{V}}{3}) * \Delta T$$

όπου

- P_{heat} [W] η υπολογιζόμενη μέγιστη απαιτούμενη θερμική ισχύς της μονάδας θέρμανσης του κτιρίου.
- A [m^2] η συνολική πραγματική εξωτερική επιφάνεια του κτιριακού κελύφους (τοίχοι, οροφές, δάπεδο, ανοίγματα), που είναι εκτεθειμένη στον εξωτερικό αέρα ή/και σε επαφή με όμορα κτήρια ή/και σε επαφή με μη θερμαινόμενους χώρους ή/και σε επαφή με το έδαφος, όπως λαμβάνεται υπόψη κατά τον έλεγχο θερμομονωτικής επάρκειας του κτιρίου.
- U_m , [$W/(m^2K)$] ο μέγιστος επιτρεπόμενος μέσος συντελεστής διαπερατότητας για το σύνολο της επιφάνειας A .
- ΔT [$^{\circ}C$] ή [K], η διαφορά της θερμοκρασίας για τη διαστασιολόγηση του συστήματος, $18^{\circ}C$ για την A κλιματική ζώνη και $23^{\circ}C$ για τη κλιματική ζώνη Γ .
- 1,5, συντελεστής που περιλαμβάνει τους συντελεστές προσαύξησης λόγω διακοπτόμενης λειτουργίας, απωλειών δικτύου διανομής κ.τ.λ.
- V , η συνολική προσαγωγή νωπού αέρα στον θερμαινόμενο χώρο σε [m^3/h] και υπολογίζεται στα 60 [m^3/h] βάσει του Πίνακα 15 της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.

Σύμφωνα με την οδηγία, στην περίπτωση που η υπολογιζόμενη μέγιστη θερμική ισχύς (P_{heat}) είναι μικρότερη από 20 kW, τότε λαμβάνεται ίση με 20 kW.

Η πραγματική ψυκτική ισχύς (P_{cool}) των μονάδων ψύξης πέραν του υφιστάμενου υπολογίστηκε για κάθε τιμή του συντελεστή διαπερατότητας U_m [$W/(m^2K)$], για το σύνολο της επιφάνειας A μέσα από την παρακάτω σχέση της οδηγίας [26]:

$$P_{cool} = \sum U_A * A_A * CLTD_A + \sum A_{\Delta} * GLF_{\Delta} + P_{\Pi} + P_{E\Phi} + \frac{\dot{V}}{3} * \Delta T$$

όπου

- P_{cool} [W], η υπολογιζόμενη μέγιστη απαιτούμενη ψυκτική ισχύς της μονάδας ψύξεως/κλιματισμού του κτιρίου.
- A_A [m^2], η εξωτερική επιφάνεια αδιαφανούς δομικού στοιχείου ή θυρών ανά προσανατολισμό.
- A_{Δ} [m^2], η εξωτερική επιφάνεια διαφανούς στοιχείου ανά προσανατολισμό.
- $CLTD_A$ [$^{\circ}C$], η μέση θερμοκρασιακή διαφορά ψυκτικού φορτίου μέσω διαφανών στοιχείων ή θυρών του κελύφους, η οποία λαμβάνεται απλουστευτικά ανά προσανατολισμό ως εξής : $B : 9^{\circ}C$, $BA, B\Delta : 14^{\circ}C$, $A, \Delta : 17^{\circ}C$, $N, NA, N\Delta : 15^{\circ}C$, οροφές-

δώματα: 13 °C, δάπεδο κάτω από κλιματιζόμενο χώρο και πάνω από μη κλιματιζόμενο χώρο: 7, χωρίσματα εσωτερικά ή σκιαζόμενα: 7°C.

- GLF_D [W/m^2], παράγοντας φορτίου υαλοπίνακα ο οποίος λαμβάνεται απλουστευτικά και ανά προσανατολισμό ως εξής: B:82, BA: 140, A, NA: 200, N: 148, NΔ, Δ: 250, ΒΔ 199, Οριζόντια: 378.
- R_{π} , η εκλυόμενη θερμότητα των φυσικών προσώπων σε W , λαμβανομένη από τον Πίνακα 15 (θερμική ισχύς ανά μονάδα δομημένης επιφάνειας επί την επιφάνεια δαπέδου).
- $P_{\text{ΕΦ}}$, τα εσωτερικά φορτία συσκευών και η ετεροχρονισμένη ισχύς εξοπλισμού σε [W/m^2], τα οποία λαμβάνονται από τον Πίνακα 15.
- U_A , [$W/(m^2K)$] ο μέγιστος επιτρεπόμενος μέσος συντελεστής διαπερατότητας για το σύνολο της επιφάνειας A .
- ΔT [$^{\circ}C$] ή [K], η διαφορά της θερμοκρασίας για τη διαστασιολόγηση του συστήματος οποία λαμβάνεται ίση με 10°C για όλες τις κλιματικές ζώνες.
- V , η συνολική προσαγωγή νωπού αέρα στον θερμαινόμενο χώρο σε (m^3/h) και υπολογίζεται στα 60 m^3/h βάσει του Πίνακα 15.

Ο συντελεστής υπερδιαστασιολόγησης Y εκφράζει τον λόγο της εγκατεστημένης ονομαστική ψυκτικής ικανότητας της κεντρικής ψυκτικής εγκατάστασης ως προς τα ανωτέρω υπολογιζόμενα ψυκτικά φορτία σχεδιασμού (P_{cool}) και ορίστηκε $Y=1$.

Τέλος, έγινε η παραδοχή πως οι ανάγκες για ζεστό νερό χρήσης καλύπτονται από το εκάστοτε σύστημα θέρμανσης και η ισχύς του θεωρήθηκε σταθερή με την υφιστάμενη (7,5kW).

2.3 Κόστος κύκλου ζωής και πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας

2.3.1 Κόστος κύκλου ζωής

2.3.1.1 Ορισμός

Ο υπολογισμός της αντικειμενικής συνάρτησης (LCC) προέκυψε από επιπλέον επεξεργασία των αποτελεσμάτων σε προγραμματιστικό περιβάλλον MATLAB. Πιο συγκεκριμένα, υπολογίζεται το LCC κάθε παρέμβασης μέσω του προσδιορισμού του αρχικού κόστους επενδύσεων ($C_{inv,j}$), του κόστους διάθεσης ($C_{disp,j}$), της υπολειμματικής αξίας ($C_{val,j}$)

καθώς και του καθαρού ετήσιου (i) κόστους λειτουργίας και συντήρησης ($C_{a,j}$) που ανάγεται στο παρόν για κάθε μέτρο j , με επιτόκιο (p) σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση:

$$LCC = \sum_j \left[C_{inv,j} + \sum_j \left(C_{a,j} \left(\frac{1}{1+p} \right)^i \right) + C_{disp,j} - C_{val,j} \right] \quad \left[\frac{\text{€}}{m^2} \right]$$

Το αρχικό κόστος επενδύσεων ($C_{inv,j}$) περιλαμβάνει όλα τα έξοδα που χρειάζεται να καλυφθούν μέχρι να επιτευχθεί πλήρως ένα μέτρο ενεργειακής απόδοσης. Ως εκ τούτου, περιλαμβάνει κόστος σχεδιασμού και προμήθειας υλικών, κόστος σύνδεσης, κόστος εγκατάστασης κ.α. Το κόστος υπολειμματικής αξίας ($C_{val,j}$) είναι το υπόλοιπο που σχετίζεται με την τιμή ενός μέτρου, στο τέλος της περιόδου οικονομικής αξιολόγησης. Στην παρούσα μελέτη, το κόστος διάθεσης ($C_{disp,j}$) και το κόστος υπολειμματικής αξίας ($C_{val,j}$) θεωρήθηκαν μηδενικά, δεδομένου ότι η εκτίμησή τους για όλα τα μέτρα δεν αποτελεί πρακτική. Το ετήσιο κόστος ($C_{a,j}$) αποτελείται από το άθροισμα του ενεργειακού κόστους (για κάθε πρωτογενή πηγή ενέργειας), το κόστος λειτουργίας (τίτλοι, υπηρεσίες κ.λπ.), το κόστος συντήρησης (επιθεώρηση, καθαρισμός, αναμόρφωση, αναλώσιμα) και το κόστος που σχετίζεται με την περιοδική αντικατάσταση του εξοπλισμού [12]. Το κόστος του κύκλου ζωής υπολογίστηκε από την απλοποιημένη παρακάτω σχέση:

$$LCC = \sum_j \left[C_{inv,j} + \sum_j \left(C_{a,j} \left(\frac{1}{1+p} \right)^i \right) \right] \quad \left[\frac{\text{€}}{m^2} \right]$$

Το επιτόκιο (p) ορίστηκε στο 7%. Το αρχικό κόστος επένδυσης ($C_{inv,j}$) και το ετήσιο κόστος ($C_{a,j}$) για κάθε μία από τις παρεμβάσεις (j), υπολογίστηκαν με την παρακάτω διαδικασία.

Στον Πίνακα 16 ακολουθούν οι γενικές οικονομικές παραδοχές υπολογισμού του κόστους του κύκλου ζωής.

Πίνακας 16: Οικονομικές παραδοχές υπολογισμού κόστους κύκλου ζωής

Διάρκεια ζωής (i)	20 έτη
Επιτόκιο (p)	7%
Ετήσια αύξηση των τιμών ενέργειας	2,8%

2.3.1.2 Υπολογισμός κόστους παρεμβάσεων

Τα παρακάτω κόστη αναβάθμισης του κτιριακού κελύφους εκφρασμένα ανά τετραγωνικό μέτρο εισάγονται στον κώδικα λογισμικού μέσω αρχείου τύπου .xls σε συνάρτηση του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας. Το ετήσιο κόστος συντήρησης λήφθηκε ίσο με το 3% της αρχικής επένδυσης και ετήσια αύξηση των τιμών ενέργειας 2,8% [12].

Πίνακας 17: Οικονομικά δεδομένα κόστους αναβάθμισης κάθετων Τοίχων

Κόστος [€/m ²]	U [W/m ² K]
56,042	0,757
65,553	0,353
72,190	0,230
80,225	0,170

Πίνακας 18: Οικονομικά δεδομένα κόστους αναβάθμισης Οροφής

Κόστος [€/m ²]	U [W/m ² K]
45,793	0,832
64,393	0,301
88,851	0,207
123,854	0,157

Πίνακας 19: Οικονομικά δεδομένα κόστους αναβάθμισης Δαπέδου

Κόστος [€/m ²]	U [W/m ² K]
40,040	0,771
43,115	0,293
45,192	0,203
47,449	0,155

Πίνακας 20: Οικονομικά δεδομένα κόστους αναβάθμισης Υαλοπινάκων

Κόστος [€/m ²]	U [W/m ² K]
1127,78	2,50
1142,66	2,30
1168,08	2,00
1186,06	1,80
1215,82	1,50
1242,48	1,30

Ο υπολογισμός των οικονομικών στοιχείων των παρεμβάσεων που αφορούν τα συστήματα θέρμανσης/ψύξης, τον ηλιακό συλλέκτη, το φωτοβολταϊκό σύστημα και το σύστημα μηχανικού αερισμού έγινε σε συνάρτηση της υπολογιζόμενης ισχύος.

Αρχικά υπολογίζονται οι μέσοι όροι στα εύρη διακύμανσης τιμών για κάθε αναβάθμιση Η/Μ εξοπλισμού και μετά από γραμμική παρεμβολή ως προς την ισχύ στα στοιχεία των παρακάτω ενδεικτικών πινάκων προσδιορίζεται το συνολικό κόστος.

Το ετήσιο κόστος συντήρησης δεν αφορά τα λοιπά μη επαναλαμβανόμενα κόστη τα οποία λαμβάνονται υπόψιν μόνο κατά το πρώτο έτος.

Πίνακας 21: Οικονομικά δεδομένα κόστους λέβητα φυσικού αερίου τεχνολογίας συμπύκνωσης για εγκατάσταση σε υφιστάμενο κτήριο [28]

Ισχύς [kW]	Εύρος διακύμανσης συνολικού κόστους [€]		Διάρκεια ζωής [y]	Ετήσιο Κόστος συντήρησης και αντικατάστασης, σε % της αρχικής επένδυσης	Λοιπά μη επαναλαμβανόμενα κόστη (π.χ. εγγύηση, τέλη σύνδεσης, κ.α.) ¹ [€]
Έως	1690	2500	20	5%	470
20	2420	3630	20	5%	480
35	3150	4760	20	5%	550
50	5320	7980	20	5%	550

Πίνακας 22: Οικονομικά δεδομένα κόστους λέβητα βιομάζας για εγκατάσταση σε υφιστάμενο κτήριο [28]

Ισχύς [kW]	Εύρος διακύμανσης συνολικού κόστους [€]		Διάρκεια ζωής [y]	Ετήσιο Κόστος συντήρησης και αντικατάστασης, σε % της αρχικής επένδυσης	Λοιπά μη επαναλαμβανόμενα κόστη (π.χ. εγγύηση, τέλη σύνδεσης, κ.α.) [€]
20	6690	10160	20	5%	-
35	6940	10480	20	5%	-
50	9110	13710	20	5%	-

Στις περιπτώσεις που εξετάσθηκε, οι επιλογές που αφορούν κοινά συστήματα θέρμανσης/ψύξης με fan coils, εισήχθησαν στο αρχείο εισόδου ξεχωριστά όμως η οικονομική τους αξιολόγηση έγινε βασισμένη αποκλειστικά στο σύστημα θέρμανσης όντας μεγαλύτερης ισχύος. Όσον αφορά τα σενάρια που περιέχουν αντλίες θερμότητας υψηλών θερμοκρασιών σε συνδυασμό με σύγχρονα συστήματα διαιρούμενου τύπου, η

¹ Τα αναγραφόμενα κόστη είναι ενδεικτικά και υπολογίζονται κατά περίπτωση σύμφωνα με την εγκατεστημένη ισχύ των συσκευών και τον τιμοκατάλογο της αντίστοιχης Εταιρείας Παροχής Αερίου.

διαστασιολόγηση των αντλιών έγινε με βάση την λειτουργία θέρμανσης και έπειτα προστέθηκαν τα απαραίτητα συστήματα ψύξης (MSU).

Πίνακας 23: Οικονομικά δεδομένα κόστους Α/Θ (Θέρμανσης / min 70 °C) για εγκατάσταση σε υφιστάμενο κτήριο [28]

Ισχύς [kW]	Εύρος διακύμανσης συνολικού κόστους [€]		Διάρκεια ζωής [y]	Ετήσιο Κόστος συντήρησης και αντικατάστασης, σε % της αρχικής επένδυσης	Λοιπά μη επαναλαμβανόμενα κόστη (π.χ. εγγύηση, τέλη σύνδεσης, κ.α.) ² [€]
	Μειν	Πλεον			
έως 8	6290	11130	20	5%	400
12	6450	11370	20	5%	400
20	7420	13060	20	5%	400
35	13950	24680	20	5%	400
50	24760	43790	20	5%	400

Πίνακας 24: Οικονομικά δεδομένα κόστους γεωθερμικής Α/Θ για εγκατάσταση σε υφιστάμενο κτήριο [28]

Ισχύς [kW]	Εύρος διακύμανσης συνολικού κόστους [€]		Διάρκεια ζωής [y]	Ετήσιο Κόστος συντήρησης και αντικατάστασης, σε % της αρχικής επένδυσης	Εύρος διακύμανσης συνολικού κόστους λοιπών μη επαναλαμβανόμενων κοστών (π.χ. γεωθερμικός εναλλάκτης) [€]	
	Μειν	Πλεον			Μειν	Πλεον
έως 8	4840	7260	20	5%	6770	10320
12	5970	9030	20	5%	10080	15240
20	8870	13310	20	5%	16940	25400
35	12900	19350	20	5%	29600	44440
50	22580	33630	20	5%	33870	50810

Ο υπολογισμός του κόστους κλιματιστικών διαιρούμενου τύπου έγινε υπολογίζοντας την ψυκτική ισχύ και ακολουθώντας την παρακάτω απλουστευμένη σχέση αναγωγής που προκύπτει από τον Πίνακα 25 :

$$K_{MSU} = \frac{P_{cool}}{7.1} * \frac{1148 + 2823}{2} \quad [€]$$

² Άδεια μικρής κλίμακας εργασιών και πιστοποιητικό ηλεκτρολόγου

Πίνακας 25: Οικονομικά δεδομένα κόστους κλιματιστικού διαιρούμενου τύπου (Split-Unit) σε υφιστάμενο [28]

Ψυκτική Ισχύς [kW]	Εύρος διακύμανσης συνολικού κόστους [€]		Διάρκεια ζωής [y]	Ετήσιο Κόστος συντήρησης και αντικατάστασης, σε % της αρχικής επένδυσης
	1148	2723		
7.1	1148	2723	20	5%

Στα συστήματα θέρμανσης και ψύξης το κόστος εγκατάστασης διαφοροποιήθηκε επίσης με βάση την τεχνολογία τερματικών μονάδων. Στις περιπτώσεις που εξετάζεται η εγκατάσταση fan coils ή θερμομαντικών σωμάτων, συγκαταλέγεται το αντίστοιχο κόστος όπως φαίνεται στον Πίνακας 26.

Πίνακας 26: Οικονομικά δεδομένα κόστους εγκατάστασης διάφορων τερματικών μονάδων σε υφιστάμενο κτήριο [28]

Τερματικά συστήματα για κύκλωμα μεταφοράς θερμότητας Εύρος διακύμανσης συνολικού κόστους τερματικών μεταφοράς θερμότητας, (υλικά, περιφερειακά πάσης φύσεως & εργατικά κόστη) [€]			
Θερμαντικά Σώματα (panel)		Κονβέκτορας (Fan Coil)	
50 €/m ²	80€/m ²	210€/kWth	240€/kWth

Το συνολικό κόστος του ηλιακού συλλέκτη 2,1m² ορίστηκε στα 850€, το συνολικό κόστος του φωτοβολταϊκού συστήματος 4,2kW στα 8.000€ ενώ το κόστους του συστήματος μηχανικού αερισμού στα 3.600€.

Πίνακας 27: Οικονομικά δεδομένα κόστους ηλιοθερμικού συστήματος για παραγωγή ZNX (θερμοσιφωνικό σύστημα) σε υφιστάμενο κτήριο [28]

Επιφάνεια συλλεκτών [m ²]	Εύρος διακύμανσης συνολικού κόστους [€]		Διάρκεια ζωής [y]	Ετήσιο Κόστος συντήρησης και αντικατάστασης, σε % της αρχικής επένδυσης	Λοιπά μη επαναλαμβανόμενα κόστη (π.χ. εγγύηση, τέλη σύνδεσης, κ.α.)
2 m ² / 120lt	810	1530	20	3%	-

Πίνακας 28: Οικονομικά δεδομένα κόστους Φ/Β συστήματος σε υφιστάμενο κτήριο [28]

Ισχύς Φ/Β (τριφασικό σύστημα) [kW]	Εύρος διακύμανσης συνολικού κόστους [€]		Διάρκεια ζωής [y]	Ετήσιο Κόστος συντήρησης και αντικατάστασης, σε % της αρχικής επένδυσης
2.5	6000	7000	25	2%
5	8500	10000	25	2%

Πίνακας 29: Οικονομικά δεδομένα κόστους τοπικών συστημάτων μηχανικού αερισμού σε υφιστάμενο κτήριο [28]

Ονομαστική Παροχή (m ³ /h)	Εύρος διακύμανσης συνολικού κόστους [€]		Διάρκεια ζωής [y]	Ετήσιο Κόστος συντήρησης και αντικατάστασης, σε % της αρχικής επένδυσης
50 – 100	3500	4000	20	5%

2.3.2 Πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας

Η πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας υπολογίζεται μέσω της προσομοίωσης του κτιρίου στο εμπειριστατωμένο λογισμικό του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας. Το λογισμικό αυτό εφαρμόζει τους απαραίτητους αλγόριθμους για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων στην Ελλάδα, βασιζόμενο στην μεθοδολογία Ευρωπαϊκών προτύπων (ΕΛΟΤ EN ISO 13790, κ.α.) καθώς και στα σχετικά εθνικά πρότυπα και στις αντίστοιχες Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.

Στο πρόγραμμα εισάγονται δεδομένα σχετικά με τα γεωμετρικά και τεχνικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους, καθώς και τα τεχνικά χαρακτηριστικά των απαραίτητων Η/Μ εγκαταστάσεων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης και ενεργειακής κατάταξης του κτηρίου. Αποτελέσματα της προσομοίωσης, όπως η πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας (PEC), εκτυπώνονται στα αρχεία εξόδου του λογισμικού [29].

Επίσης, λαμβάνοντας υπόψιν τις επιμέρους καταναλώσεις του εκάστοτε σεναρίου και με βάση τις τιμές ενέργειας και του συντελεστή μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια που ακολουθούν στον Πίνακα 30, υπολογίζεται το κόστος ενέργειας και προσμετράται στο κόστος του κύκλου ζωής.

Πίνακας 30: Τιμές ενέργειας συναρτήσει πρωτογενών πηγών [24]

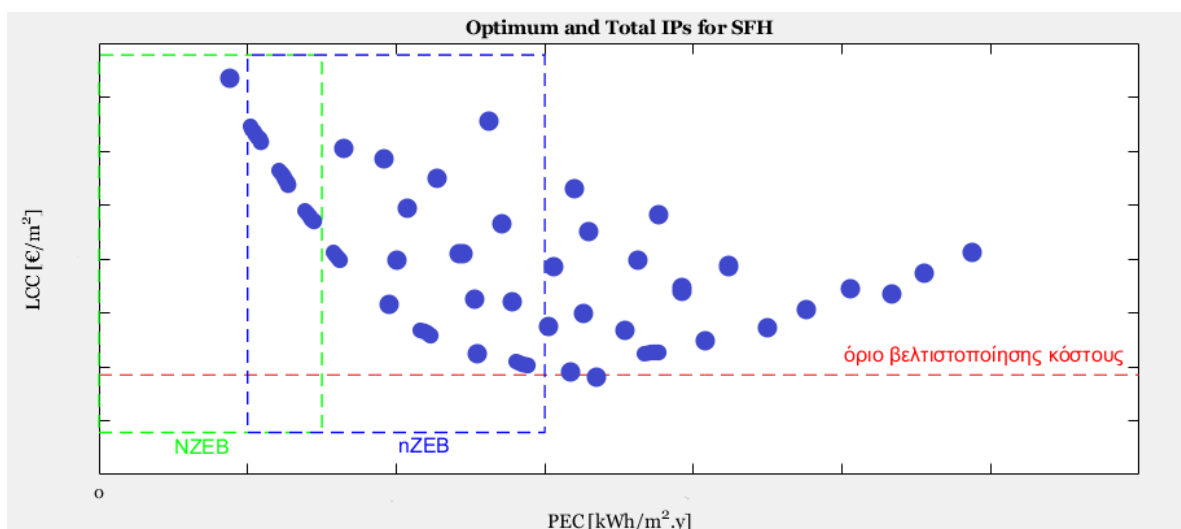
Πηγή ενέργειας	Τιμή [€/kWh]	Συντ. μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια
Πετρέλαιο θέρμανσης	0,143	1,10

Φυσικό αέριο	0,186	1,05
Βιομάζα	0,148	1,00
Ηλεκτρισμός	0,405	2,90

2.3.3 Όρια κόστους κύκλου ζωής και πρωτογενούς κατανάλωσης ενέργειας NZEB και nZEB

Με σκοπό την οικονομική αξιολόγηση των σεναρίων ορίστηκε ένα κατώτατο όριο βελτιστοποίησης κόστους. Η περιοχή που βρίσκεται κάτω από αυτό το όριο, η οριζόντια κόκκινη διακεκομμένη γραμμή στο Σχήμα 6, είναι η περιοχή βέλτιστου κόστους. Η τιμή αυτή υπολογίστηκε σύμφωνα με βάση την παρακάτω σχέση σύμφωνα με την μελέτη [24]:

$$LCC_{opt} = LCC_{min} + 0.1 * (LCC_{max} - LCC_{min})$$



Σχήμα 6: Ποιοτικό διάγραμμα ορίων κόστους κύκλου ζωής και nZEB, NZEB περιοχών

Με πράσινη διακεκομμένη γραμμή περικλείεται η NZEB περιοχή [0-30 kWh/m².y], ενώ με μπλε διακεκομμένη γραμμή η περιοχή nZEB [20-60 kWh/m².y]. Το κατώτατο όριο των nZEB και NZEB περιοχών υπολογίστηκε ως το LCC_{min} και το ανώτατο ως LCC_{max} [€/m²].

2.4 Το λογισμικό ΤΕΕ ΚΕΝΑΚ

2.4.1 Προσομοίωση

Η αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου περιλαμβάνει τη χρήση υπολογιστικών μοντέλων για την ανάλυση και τη βελτιστοποίηση των ενεργειακών παρεμβάσεων. Το λογισμικό ΤΕΕ-ΚΕΝΑΚ αναπτύχθηκε από την Ομάδα Εξοικονόμησης Ενέργειας, του Ινστιτούτου Ερευνών Περιβάλλοντος και Βιώσιμης Ανάπτυξης (ΙΕΠΒΑ) του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (ΕΑΑ) στο πλαίσιο του προγράμματος συνεργασίας με το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας (ΤΕΕ) και αποτελεί τον υπολογιστικό πυρήνα και των υπολοίπων αξιολογημένων λογισμικών της αγοράς σε ό,τι αφορά τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης και κατάταξης ενός κτιρίου. Στόχος της προσομοίωσης του εξεταζόμενου κτιρίου είναι η επαναλαμβανόμενη αξιολόγηση πιθανών πακέτων παρεμβάσεων που δίδονται στο λογισμικό μέσω ενός αρχείου εισόδου.

2.4.2 Αρχείο εισόδου

Στο αρχείο αυτό το λογισμικό επιτρέπει την εισαγωγή δεδομένων που σχετίζονται τόσο με γεωμετρικά όσο και με τεχνικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων που αποτελούν το κέλυφος του κτιρίου. Πρόκειται για ένα αρχείο τύπου .xml (nomis_in.xml) η μορφή του οποίου επιτρέπει την άμεση μεταβολή των παραμέτρων που εξετάστηκαν. Αυτό περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικά με τοίχους, στέγες, δάπεδα, παράθυρα και άλλα αρχιτεκτονικά και μηχανολογικά χαρακτηριστικά.

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά αναφέρονται στις φυσικές διαστάσεις, τη διάταξη και το σχήμα του κτιρίου. Αυτό περιλαμβάνει λεπτομέρειες όπως ο προσανατολισμός, οι επιφάνειες των τοίχων και μεγέθη υαλοπινάκων.

Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζονται τα βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά όπως αυτά εκχωρούνται στο λογισμικό.

The screenshot shows the input form for the TEE KENAK software. The form is organized into several sections:

- Χρήση:** A dropdown menu with the selected option "Μονοκατοικία, πολυκατοικία".
- Συνολική επιφάνεια (m²):** A text input field containing the value "80".
- Μέση κατανάλωση ZNX (m³/έτος):** A text input field containing the value "54.76".
- Διατάξεις αυτόματου ελέγχου ZNX:** A checkbox that is currently unchecked.
- Ανηγμένη θερμοχωρητικότητα (kJ/m²K):** A text input field containing the value "280".
- Κατηγορία διατάξεων ελέγχου - αυτοματισμών:** A dropdown menu with "Θέρμανση" selected.
- Τύπος Γ:** A dropdown menu with "Τύπος Γ" selected.
- Ψύξη:** A dropdown menu with "Τύπος Γ" selected.
- Διείσδυση αέρα:** A section containing:
 - Διείσδυση αέρα από κουφώματα (m³/h):** A text input field containing "263.88".
 - Αρ. καμινάδων:** A spinner control set to "0".
 - Αρ. θυρίδων εξαερισμού:** A spinner control set to "0".
 - Αρ. εξώθυρων:** A spinner control set to "0".
- Υβριδικό σύστημα δροσισμού:** A section containing:
 - Αριθμός ανεμιστήρων οροφής:** A spinner control set to "0".

Εικόνα 4: Βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά στο λογισμικό ΤΕΕ ΚΕΝΑΚ

Περιγραφή: Υπάρχον κτίριο

Χρήση κτιρίου: Μονοκατοικία

Συνολική επιφάνεια (m²): 80 Συνολικός όγκος (m³): 264

Ωφέλιμη επιφάνεια (m²): 80 Ωφέλιμος όγκος (m³): 264

Ψυχόμενη επιφάνεια (m²): 40 Ψυχόμενος όγκος (m³): 132

Αριθμός ορόφων: 1 Ύψος τυπικού ορόφου (m): 3.3 Ύψος ισογείου (m): 3.3

Έκθεση κτιρίου: Εκτεθειμένο

Αριθμός θερμικών ζωνών: 1

Αριθμός μη θερμαινόμενων χώρων: 0 Αριθμός ηλιακών χώρων: 0

	Πηγή ενέργειας	Θέρμανση	Ψύξη	Αερισμός	ZNX	Φωτισμός	Συσκευές	Κατανάλωση	Μονάδες	Περίοδος κατανάλωσης
*		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			00/00/00 - 01/01/10

Συνθήκες θερμικής άνεσης Συνθήκες ακουστικής άνεσης Συνθήκες οπτικής άνεσης Ποιότητα εσωτερικού αέρα

Εικόνα 5: Βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά στο λογισμικό TEE KENAK

2.4.3 Αρχεία εξόδου

Πρόκειται, επίσης, για αρχεία τύπου .xml (runtime_project_res.xml, runtime_project_add_res.xml) στα οποία αποθηκεύονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Εκεί, μπορούμε να βρούμε μετρήσεις σχετικά με τις ενεργειακές επιδόσεις του σεναρίου, την ενεργειακή του κατάσταση, την πρωτογενή κατανάλωση ενέργειας (PEC) καθώς και με τις καταναλώσεις των επιμέρους πηγών ενέργειας.

2.5 Γενετικοί αλγόριθμοι στο προγραμματιστικό περιβάλλον MATLAB

2.5.1 Ο γενετικός αλγόριθμος

Γενικότερα, οι μεταβλητές που εξετάζονται στα προβλήματα σχεδιασμού είναι διακριτές από μαθηματική άποψη ενώ οι περισσότερες μαθηματικές τεχνικές βελτιστοποίησης εστιάζουν σε συνεχή μεταβλητές. Αυτό οφείλεται στις ασυνέχειες και τον θόρυβο που εξελίσσονται στα διάφορα φαινόμενα του φυσικού κόσμου. Οι μέθοδοι που στηρίζονται στη συνέχεια και την ύπαρξη παραγώγων είναι εφαρμόσιμοι σε ένα περιορισμένο φάσμα προβλημάτων. Οι μέθοδοι τυχαίας αναζήτησης ή αλλιώς γενετικοί αλγόριθμοι θεωρούνται παγκοσμίως ισχυρές τεχνικές βελτιστοποίησης και βασίζονται στις αρχές της φυσικής επιλογής του Δαρβίνου [30] και τη γενετική θεωρία φυσικής επιλογής του R.A. Fisher [31].

Πράγματι, η μελέτη μη γραμμικών προβλημάτων με τη χρήση εξελικτικών μεθόδων προγραμματισμού παρουσιάζει μεγάλη σημασία και ενδιαφέρον ως αντικείμενο μελέτης των συγγραφέων [32], [33], [34] και [35].

Ο γενετικός αλγόριθμος είναι μια διαδικασία αναζήτησης που χρησιμοποιεί τυχαία επιλογή με σκοπό την βελτιστοποίηση μίας ή περισσότερων συναρτήσεων μέσω της κωδικοποίησης του παραμετρικού χώρου. Αναπτύχθηκαν από τον Holland [36] και οι πιο δημοφιλείς αναφορές είναι του Goldberg [37] και πιο πρόσφατα του συγγραφέα Back [38].

Είναι απαραίτητο να τονιστεί ότι οι γενετικοί αλγόριθμοι δεν περιορίζονται στο πεδίο αναζήτησης λύσεων λόγω του στοχαστικού τους χαρακτήρα. Ως αποτέλεσμα, είναι παράλληλοι, απλοί και εξαιρετικά ικανοί στον προσδιορισμό της αντικειμενικής βελτίωσης καθώς εκμεταλλεύονται προηγούμενη πληροφορία και εστιάζουν την αναζήτηση λύσεων σε περιοχές αυξημένης απόδοσης [39]. Ο κάθε πληθυσμός περιέχει ένα σύνολο ατόμων/χρωμοσωμάτων τα οποία αποτελούνται από γονίδια. Με άλλα λόγια, ο χώρος της λύσης εμπεριέχει ένα σύνολο συμβολοσειρών που αποτελούνται από bit [Σχήμα 7]. Στην περίπτωση που εξετάστηκε τα γονίδια αφορούν τις διαθέσιμες μεμονωμένες ενεργειακές παρεμβάσεις ενώ τα χρωμοσώματα αντιστοιχούν στα πιθανά ολοκληρωμένα σενάρια/άτομα ενός πληθυσμού λύσεων.



Σχήμα 7: Πληθυσμός, χρωμοσώματα και γονίδια [40]

Στην παρούσα προσέγγιση λήφθηκαν υπόψιν 9 γονίδια για κάθε σενάριο, δηλαδή 9 διαφορετικές κατηγορίες παρεμβάσεων που στοχεύουν στην ενεργειακή αναβάθμιση της μονοκατοικίας, είναι διαθέσιμες και ενδείκνυνται στην συγκεκριμένη περιοχή. Όπως προαναφέρθηκε αυτές αφορούν αναβαθμίσεις:

- 1) στους κάθετους τοίχους του κτιριακού κελύφους (5 επιλογές)
- 2) στην οροφή του κελύφους (5 επιλογές)
- 3) στο δάπεδο του κελύφους (5 επιλογές)
- 4) στους υαλοπίνακες (7 επιλογές)

- 5) στα συστήματα θέρμανσης (7 επιλογές)
- 6) στα συστήματα ψύξης (4 επιλογές)
- 7) σε σύστημα ηλιακού συλλέκτη (2 επιλογές)
- 8) σε φωτοβολταϊκό σύστημα (2 επιλογές)
- 9) και σε σύστημα μηχανικού αερισμού (2 επιλογές)

Τα συνολικά πιθανά χρωσώματα/σενάρια που εξετάστηκαν υπολογίζονται ως το γινόμενο των όλων των δυνατών συνδυασμών εξαιρουμένων των αποκλεισμένων:

$$X_{tot} = 84000|x$$

Στο Σχήμα 8 που ακολουθεί, απεικονίζεται το βασικό διάγραμμα λειτουργίας και στη συνέχεια αναλύονται οι 7 βασικές επιμέρους διαδικασίες του γενετικού αλγορίθμου.



Σχήμα 8: Βασικές διεργασίες ενός γενετικού αλγορίθμου [36]

2.5.1.1 Αρχικοποίηση Πληθυσμού

Αρχικά δημιουργείται ο πρώτος πληθυσμός από τυχαία άτομα x τα οποία αποτελούν λύσεις του εξεταζόμενου προβλήματος. Το μέγεθος του πληθυσμού είναι μεγάλης σημασίας και επηρεάζει την αποτελεσματικότητα του αλγορίθμου και τον χρόνο υπολογισμού. Από δοκιμές διάφορων τιμών και βάση του πλήθους των μεταβλητών $x(i)$ και των δυνατών συνδυασμών (X_{tot}) προκύπτει πως μεγέθη πληθυσμού 100 ατόμων πετυχαίνουν την γρηγορότερη βελτιστοποίηση.

Η εξελικτική διαδικασία λαμβάνει χώρα ανάμεσα στις γενιές του γενετικού κώδικα, από πληθυσμό προς πληθυσμό. Καθώς ο πληθυσμός εξελίσσεται από γενιά σε γενιά πλησιάζει σταδιακά στον βέλτιστο, επομένως ο καθορισμός του εύρους γενιών αποτελεί σημαντικό κριτήριο για την επιτυχία της βελτιστοποίησης και την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων. Στο παρόν επιλέχθηκαν 50 γενιές οι οποίες μετά από δοκιμές κρίνονται αρκετές για την επίτευξη σύγκλισης.

2.5.1.2 Αξιολόγηση

Ο έλεγχος καταλληλότητας ενός ατόμου x γίνεται με γνώμονα την απόδοση κόστους μέσω μιας μαθηματικής λειτουργίας που αξιολογεί πόσο πλησιάζει η λύση στη βέλτιστη.

Οι αντικειμενικές συναρτήσεις αντιπροσωπεύουν την μαθηματική διατύπωση του προβλήματος που προσπαθεί να επιλύσει ο γενετικός αλγόριθμος και παρέχουν ένα σαφές και μετρήσιμο κριτήριο για την αξιολόγηση της ποιότητας μιας λύσης. Για κάθε άτομο του πληθυσμού υπολογίζεται η πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας (PEC) σε kWh/m²γ και το κόστος του κύκλου ζωής (LCC) σε €/m² με χρονικό ορίζοντα της συνολικής επένδυσης τα 20 χρόνια.

2.5.1.3 Επιλογή

Η αρχή που ακολουθείται εδώ είναι η επιβίωση των πιο ικανών. Στο στάδιο αυτό επιλέγονται τα πιο αξιόλογα χρωμοσώματα/άτομα στον πληθυσμό προς αναπαραγωγή στη βάση μιας λειτουργίας αξιολόγησης, αναγνωρίζονται και θα είναι περισσότερο πιθανό να επιλεγούν για αναπαραγωγή. Ο πρωταρχικός στόχος του γενετικού αλγορίθμου είναι να εντοπίσει άτομα με υψηλή καταλληλότητα, τα οποία ευθυγραμμίζονται με τον στόχο βελτιστοποίησης που καθορίζεται από τις αντικειμενικές συναρτήσεις.

Η πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας (PEC) και το κόστος κύκλου ζωής (LCC) είναι δύο αντικειμενικές συναρτήσεις που αντιπροσωπεύουν διαφορετικές πτυχές του προβλήματος. Η πρόκληση είναι να βρεθεί μια σειρά από λύσεις που αντιπροσωπεύουν τον συμβιβασμό μεταξύ αυτών των αντικρουόμενων στόχων.

Ο αριθμός των ατόμων που επιλέγονται για αναπαραγωγή στην επόμενη γενιά επιλέγεται ως σταθερό κλάσμα πληθυσμού στο 0,5, δηλαδή αναπαράγονται 50 άτομα. Στο επίπεδο αυτό παρέχει μια καλή ισορροπία μεταξύ της εξερεύνησης νέων σεναρίων και της βελτίωσης υφιστάμενων επιλεγμένων λύσεων. Ως συνέπεια, ο αλγόριθμος στο τελικό

στάδιο της βελτιστοποίησης επιλέγει και επιστρέφει πληροφορία σχετικά με 50 άτομα από σύνολο 100 ατόμων του τελικού πληθυσμού για περαιτέρω επεξεργασία.

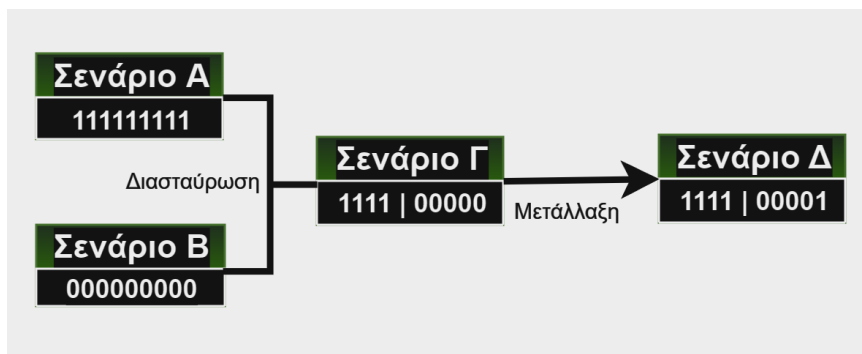
2.5.1.4 Διασταύρωση

Η διαδικασία αυτή είναι στενά συνδεδεμένη με την αναπαραγωγή. Ο αλγόριθμος επιλέγει μία τυχαία θέση στα μητρώα x δύο επιλεγμένων ατόμων, γύρω από την οποία ανταλλάσσονται τα στοιχεία με αποτέλεσμα την δημιουργία δύο νέων ατόμων. Για παράδειγμα, η διασταύρωση του ζεύγους μητρώων παρακάτω στην πιθανή θέση 4 [11111111], [22222222] τροφοδοτεί τα μητρώα [11112222], [22211111] αντιστοίχως.

Σε διασταυρώσεις πολλών σημείων (scattered crossover), διαφορετικά γονίδια κληρονομούνται από κάθε γονέα καθώς γίνονται ανταλλαγές μεταξύ περισσότερων θέσεων. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για πολλαπλά ζεύγη γονέων μέχρι να δημιουργηθεί επαρκής αριθμός απογόνων για την επόμενη γενιά [40] και μέσω της βελτίωσης της συνολικής ποιότητας του πληθυσμού στοχεύει στην μετάβαση σε πιο εξελιγμένες γενιές λύσεων.

2.5.1.5 Μετάλλαξη

Αυτή η διαδικασία μιμείται την ποικιλομορφία ενός πληθυσμού και συμβάλλει στην πρόληψη της πρόωρης σύγκλισης. Κατά την μετάλλαξη μεταβάλλεται τυχαία ένα ή περισσότερα στοιχεία του μητρώου x . Για παράδειγμα, το μητρώο [01111111] θα μπορούσε να μεταλλαχθεί στην πρώτη του θέση ως [11111111]. Η πιθανότητα μετάλλαξης και η θέση της μετάλλαξης ελέγχονται από την βελτιστοποίηση. Η επιλογή προσαρμοσμένης μετάλλαξης (adaptive mutation) φαίνεται η πιο επωφελής ώστε ο αλγόριθμος να συγκλίνει αποτελεσματικά, ειδικά όταν η βέλτιστη λύση περιλαμβάνει ποικίλους βαθμούς ελευθερίας για τις διαφορετικές μεταβλητές [40]. Φαίνεται λοιπόν, πως από άποψη βελτιστοποίησης του προβλήματος η μετάλλαξη με την μεταβολή αποκλειστικά ενός γονιδίου ευνοεί την εξερεύνηση νέων λύσεων μέσα από την αλλαγή της περιοχής αναζήτησης του παραμετρικού χώρου.



Σχήμα 9: Παράδειγμα της διαδικασίας διασταύρωσης και μετάλλαξης [36]

2.5.1.6 Αντικατάσταση

Η αντικατάσταση περιλαμβάνει τον προσδιορισμό των ατόμων x του τρέχοντος πληθυσμού που θα είναι μέρος της επόμενης γενιάς. Τα άτομα αντικαθίστανται από τους απογόνους που δημιουργούνται μέσω των διαδικασιών διασταύρωσης και μετάλλαξης. Ο στόχος είναι να εξασφαλιστεί η επιβίωση των πιο ικανών ατόμων και να διερευνηθούν περαιτέρω στον επόμενο πληθυσμό μέσω νέων απογόνων.

Οι πιο συχνές στρατηγικές αντικατάστασης είναι η περίπτωση γενικής αντικατάστασης, στην οποία ολόκληρος ο πληθυσμός αντικαθίσταται από τους απογόνους και η αντικατάσταση σταθερής κατάστασης όπου μόνο ένα υποσύνολο του πληθυσμού αντικαθίσταται από τους απογόνους, διατηρώντας ένα μέρος της προηγούμενης γενιάς. Επιλέχθηκε η στρατηγική της αντικατάστασης σταθερής κατάστασης όπως απορρέει από το κεφάλαιο 5 της μελέτης του Goldberg κ.α. [41], όπου οι συγγραφείς συμπεραίνουν πως τα πλεονεκτήματα της αντικατάστασης σταθερής κατάστασης εμφανίζονται λόγω του υψηλού αρχικού ρυθμού ανάπτυξης.

2.5.1.7 Τερματισμός και Εύρεση Βέλτιστου Πληθυσμού

Στους γενετικούς αλγόριθμους που εφαρμόζονται σε προβλήματα βελτιστοποίησης πολλαπλών αντικειμενικών συναρτήσεων, η διαδικασία τερματισμού τους περιλαμβάνει την απόφαση περάτωσης της εξερεύνησης λύσεων που αντιπροσωπεύουν μια ανταλλαγή μεταξύ αυτών των στόχων.

Ακολουθούν τα ορισμένα κριτήρια τερματισμού του γενετικού αλγόριθμου στο πλαίσιο της βελτιστοποίησης των δύο αντικειμενικών συναρτήσεων (PEC,LCC):

- Μέγιστος αριθμός γενεών: Καθορίζεται το μέγιστο αριθμό γενιών που πρέπει να εκτελείται ο αλγόριθμος. Μόλις επιτευχθεί αυτό το όριο, τερματίζεται και οι επιλεγμένες λύσεις του τελευταίου πληθυσμού θεωρούνται ως το τελικό μέτωπο (Pareto) βελτιστοποιημένων λύσεων. Επιλέχθηκαν 50 γενιές οι οποίες μετά από δοκιμές κρίνονται με ασφάλεια αρκετές για την επίτευξη σύγκλισης.
- Κριτήρια σύγκλισης: Ορίζεται ένα κριτήριο σύγκλισης με βάση την αλλαγή στον πληθυσμό ή το μέτωπο λύσεων σε διαδοχικές γενιές. Στο πλαίσιο τέτοιων αλγορίθμων, η ανοχή της συνάρτησης συνήθως αναφέρεται σε ένα κριτήριο τερματισμού που χρησιμοποιείται για να σταματήσει ο αλγόριθμος όταν η βελτίωση στις τιμές της αντικειμενικής συνάρτησης γίνει μικρότερη από ένα ορισμένο όριο. Επιλέχθηκε ανοχή της τάξης 0,001 ως ελάχιστο όριο σύγκλισης. Τέτοιας τάξης κριτήρια είναι δημοφιλή και οριοθετούνται τόσο σε προβλήματα βελτιστοποίησης ενός στόχου όσο και στο πρόβλημα δύο στόχων.
- Απόσταση Λύσεων: Σε ορισμένους αλγόριθμους πολλαπλών στόχων, η απόσταση συνωστισμού χρησιμοποιείται για τη διατήρηση της ποικιλίας στο μέτωπο λύσεων. Εάν

η μέση απόσταση των λύσεων αυτών παραμένει σχετικά σταθερή, μπορεί να σηματοδοτήσει σύγκλιση.

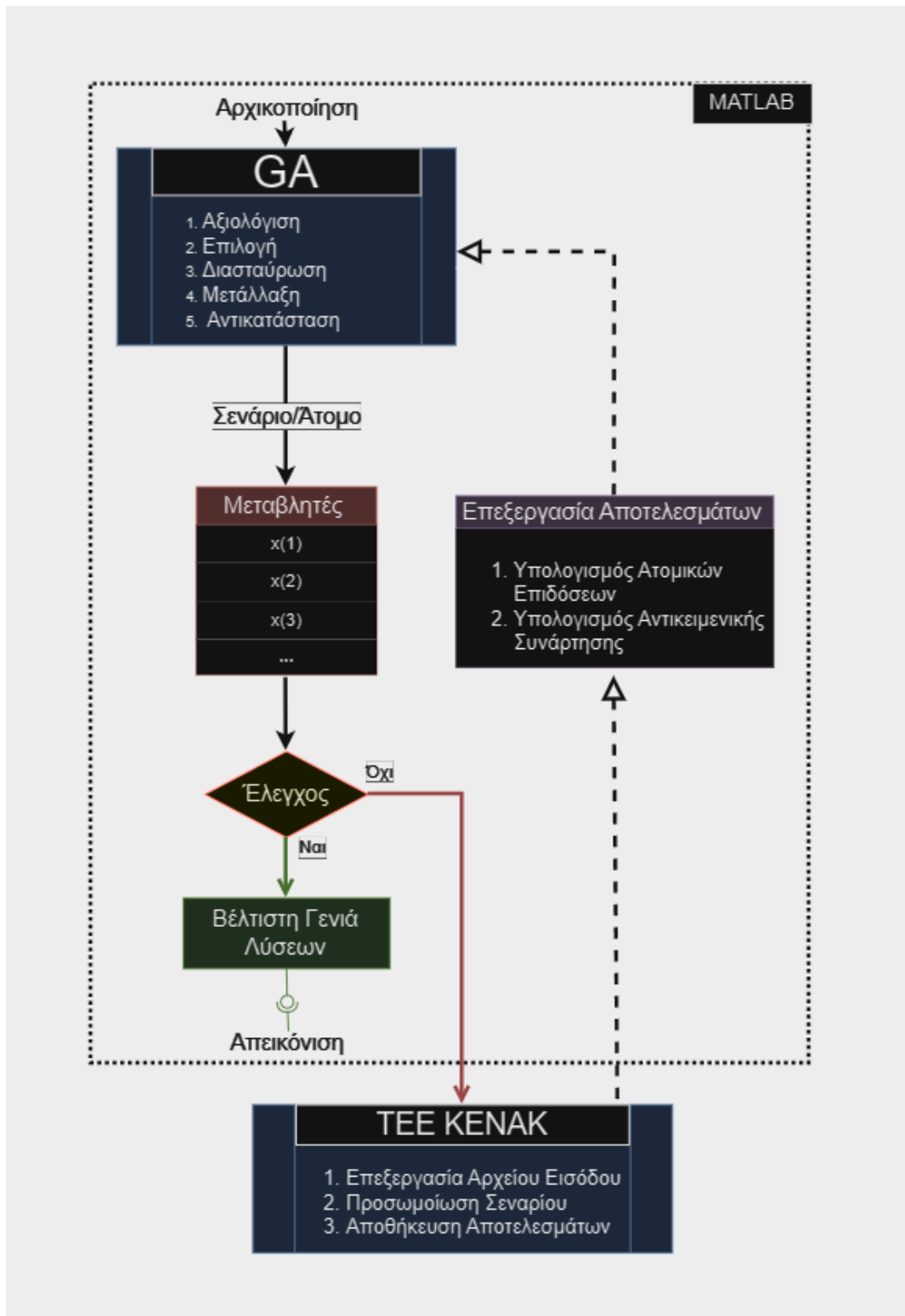
- Κριτήρια διακοπής που καθορίζονται από το χρήστη: Ενσωματώνονται οποιαδήποτε ειδικά κριτήρια που σηματοδοτούν ότι ο αλγόριθμος έχει επιτύχει μια ικανοποιητική λύση. Εάν ο πληθυσμός ή το μέτωπο λύσεων παραμένει σχετικά σταθερό ή δεν παρουσιάζει αξιόλογες βελτιώσεις σε έναν ορισμένο αριθμό γενιών, ο αλγόριθμος μπορεί να τερματιστεί. Στη παρούσα προσέγγιση, επιλέγεται ως κριτήριο διακοπής το μέγιστο πλήθος γενιών που τροφοδοτεί ο κώδικας, κατά τις οποίες δεν εμφανίζεται βελτίωση πέραν του ορίου σύγκλισης. Το κριτήριο διακοπής ρυθμίζεται στις 10 γενιές μετά από δοκιμές με γνώμονα την επαναληψιμότητα των αποτελεσμάτων.

Τα κριτήρια τερματισμού είναι σημαντικό να εξισορροπηθούν μέσα από εκτενή πειραματισμό για να διασφαλιστεί ότι ο αλγόριθμος έχει αρκετό χρόνο για να εξερευνήσει αποτελεσματικά τον χώρο της λύσης, αποφεύγοντας τα περιττά υπολογιστικά κόστη. Επιπλέον, η παρακολούθηση της σύγκλισης και της ποιότητας της λύσης μπορεί να βοηθήσει όχι μόνο στην αποτροπή περιττών υπολογιστικών δαπανών αλλά και της πρόωρης σύγκλισης σε μη βέλτιστες λύσεις.

2.5.2 Υλοποίηση στο προγραμματιστικό περιβάλλον MATLAB

Η επεξεργασία των αρχείων εισόδου/εξόδου, ο έλεγχος της προσομοίωσης και η εκτέλεση του γενετικού αλγορίθμου πραγματοποιήθηκαν μέσω του προγραμματιστικού λογισμικού MATLAB. Η μελέτη αυτή εξερευνά τις δυνατότητες του Γενετικού Αλγορίθμου (ΓΑ) και του Γενετικού Αλγορίθμου Πολλαπλών Στόχων (GAMULTIOBJ) στο πλαίσιο της εργαλειοθήκης βελτιστοποίησης του MATLAB, εστιάζοντας στα δυνατά τους σημεία και την αξία που προσφέρουν.

Η επικοινωνία και η διαχείριση εξωτερικού λογισμικού σε συνδυασμό με την εκτεταμένη εργαλειοθήκη του, το καθιστούν ως ένα ευέλικτο και ισχυρό υπολογιστικό εργαλείο. Το βασικό διάγραμμα ροής στο Σχήμα 10 που ακολουθήθηκε κατά την μεθοδολογία φαίνεται παρακάτω.



Σχήμα 10: Διάγραμμα Ροής της βελτιστοποίησης

2.5.2.1 Εργαλειοθήκη MATLAB: Γενετικός αλγόριθμος μίας αντικειμενικής συνάρτησης (εντολή: ga)

Σε πρώιμο στάδιο, επιχειρήθηκε η βελτιστοποίηση μίας μόνο αντικειμενικής συνάρτησης με σκοπό την διερεύνηση της καταλληλότητας των γενετικών αλγορίθμων. Εξετάσθηκε ο προσδιορισμός της ελάχιστης πρωτογενούς κατανάλωσης ενέργειας (PEC) του υφιστάμενου κτιρίου, με σενάρια που αφορούν αποκλειστικά στην αναβάθμιση του κτιριακού κελύφους. Ο αρχικός πληθυσμός ορίστηκε στα 7 άτομα, ενώ κάθε άτομο φέρει 4 γονίδια $x(i)$, κατηγορίες παρεμβάσεων που αφορούν τους συντελεστές θερμικής διαπερατότητας [Πίνακας 31]:

- $x(1)$ των κάθετων τοίχων (5 επιλογές)
- $x(2)$ της οροφής (5 επιλογές)
- $x(3)$ του δαπέδου (5 επιλογές)
- και $x(4)$ των υαλοπινάκων (7 επιλογές)

Πίνακας 31: Συντελεστής θερμικής διαπερατότητας U [W/m^2K] Τοίχων και Υαλοπινάκων

$x(i) =$	1	2	3	4	5	6	7
$x(1)$	2.32	0.757	0.353	0.230	0.170		
$x(2)$	1.95	0.832	0.368	0.236	0.174		
$x(3)$	0.87	0.771	0.356	0.231	0.171		
$x(4)$	4.25	2.50	2.30	2.00	1.80	1.50	1.30

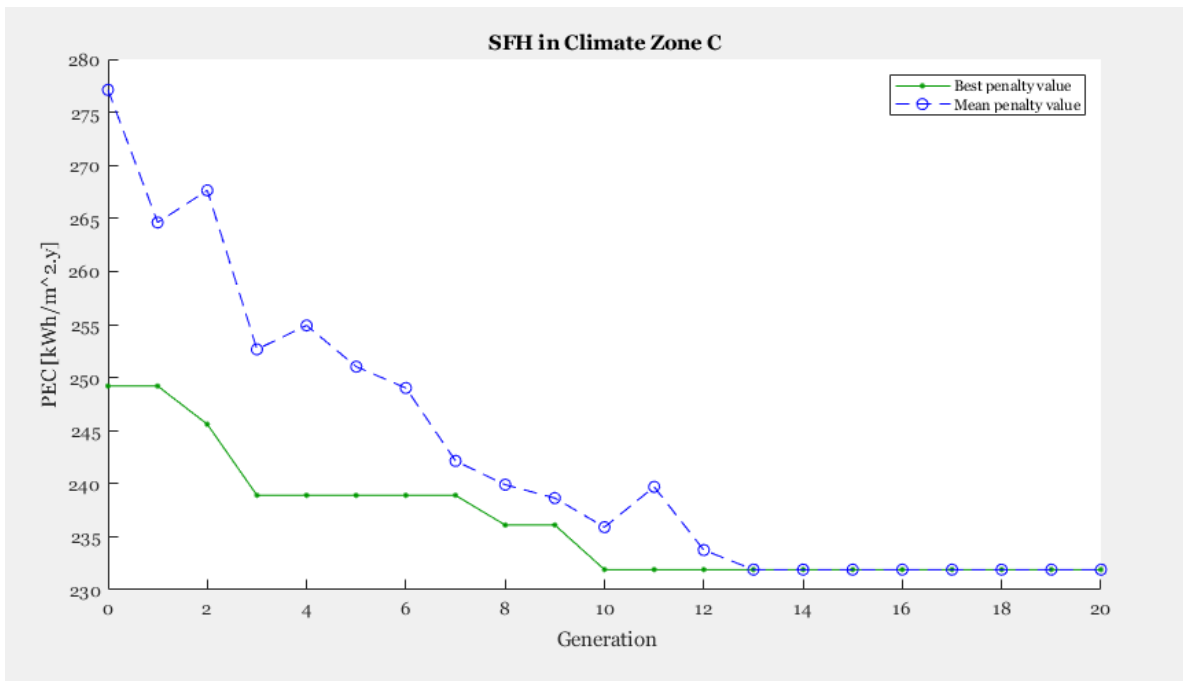
Οι τέσσερις παραπάνω μεταβλητές κωδικοποιήθηκαν ανάμεσα σε ένα ανώτατο και ένα κατώτατο όριο ως εξής:

$$[1111] < x < [5557]$$

Μέσω της εντολής του MATLAB [ga] ενεργοποιείται ο γενετικός αλγόριθμος και η τιμή της πρωτογενούς κατανάλωσης ενέργειας κάθε προσομοίωσης διαβάζεται από το αρχείο εξόδου χωρίς επιπλέον επεξεργασία. Η βελτιστοποίηση μέσα από τις διακριτές τιμές που εξετάσθηκαν, καταλήγει σωστά στο σενάριο που αντιστοιχεί στην ελάχιστη τιμή όλων των συντελεστών διαπερατότητας, όπως είναι αναμενόμενο σύμφωνα με την κωδικοποίηση:

$$x = [5557]$$

Περισσότερες λεπτομέρειες για τις επιμέρους παραμέτρους των σεναρίων που εισάγονται στο αρχείο εισόδου και για τον κώδικα λογισμικού βρίσκονται στο Παράρτημα Ι (ga). Στο διάγραμμα [Σχήμα 11] φαίνεται η εξέλιξη της βελτιστοποίησης.



Σχήμα 11: Γενετικός αλγόριθμος μίας αντικειμενικής συνάρτησης στην κλιματική Ζώνη Γ (PEC)

Παρατηρείται πως με την σταδιακή εξέλιξη του πληθυσμού και την μείωση του μέσου όρου της αντικειμενικής συνάρτησης, ευνοείται η ανεύρεση νέων ατόμων με καλύτερα χαρακτηριστικά. Όσον αφορά τον χρόνο υπολογισμού, τονίζεται πως από το σύνολο 384 σεναρίων, ο γενετικός αλγόριθμος εντόπισε την βέλτιστη λύση σε 5' στην 10η γενιά, δηλαδή εξετάζοντας τα πρώτα 70 σενάρια. Στη συνέχεια, μετά την 13η γενιά, φαίνεται πως ολόκληρος ο πληθυσμός απαρτίζεται μόνο από βέλτιστα άτομα.

2.5.2.2 Εργαλειοθήκη MATLAB: Γενετικός αλγόριθμος δύο αντικειμενικών συναρτήσεων (εντολή: gamultiobj)

Σε αυτό το στάδιο μελετήθηκε η εφαρμογή και των 9 κατηγοριών παρεμβάσεων που παρουσιάστηκαν στον Πίνακα 14 και Πίνακα 31 ως διαθέσιμα σενάρια και η βελτιστοποίηση έγινε με βάση την πρωτογενή κατανάλωση ενέργειας (PEC) και του κόστους του κύκλου ζωής (LCC) της επένδυσης. Με την προσθήκη της δεύτερης αντικειμενικής συνάρτησης, ήταν απαραίτητη η εισαγωγή των ανάλογων οικονομικών δεδομένων όλων των τεχνικών παρεμβάσεων που εξετάστηκαν.

Οι τιμές ενέργειας για κάθε πρωτογενή πηγή εισάγονται στον κώδικα μέσω αρχείου τύπου .xls όπως φαίνεται στον Πίνακα 30. Από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης κάθε

σεναρίου, διαβάζονται οι επιμέρους καταναλώσεις του κτιρίου από το αρχείο εξόδου (runtime_project_add_res.xml) και υπολογίζονται τα κόστη ενέργειας.

Καθένα από αυτά τα γονίδια, ανάλογα με την ελευθερία επιλογών που παρέχεται σε κάθε κατηγορία παρέμβασης κυμαίνεται μεταξύ διαφορετικών ορίων. Αυτό δίνει την δυνατότητα της κωδικοποίησης των χρωμοσωμάτων/σεναρίων x , ανάμεσα σε ένα κατώτατο και ένα ανώτατο όριο υπό την μορφή:

$$[111111111] < x < [555774222]$$

Έτσι, το μητρώο x εκφράζει ένα πιθανό πακέτο παρεμβάσεων, ενώ το στοιχείο $x(i)$ αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη ενεργειακή αναβάθμιση της κατηγορίας παρεμβάσεων (i) .

Στον που ακολουθεί παρατίθενται οι βασικές επιλογές παραμετροποίησης του γενετικού αλγορίθμου δύο αντικειμενικών συναρτήσεων.

Πίνακας 32: Επιλογές παραμετροποίησης Γενετικού αλγορίθμου

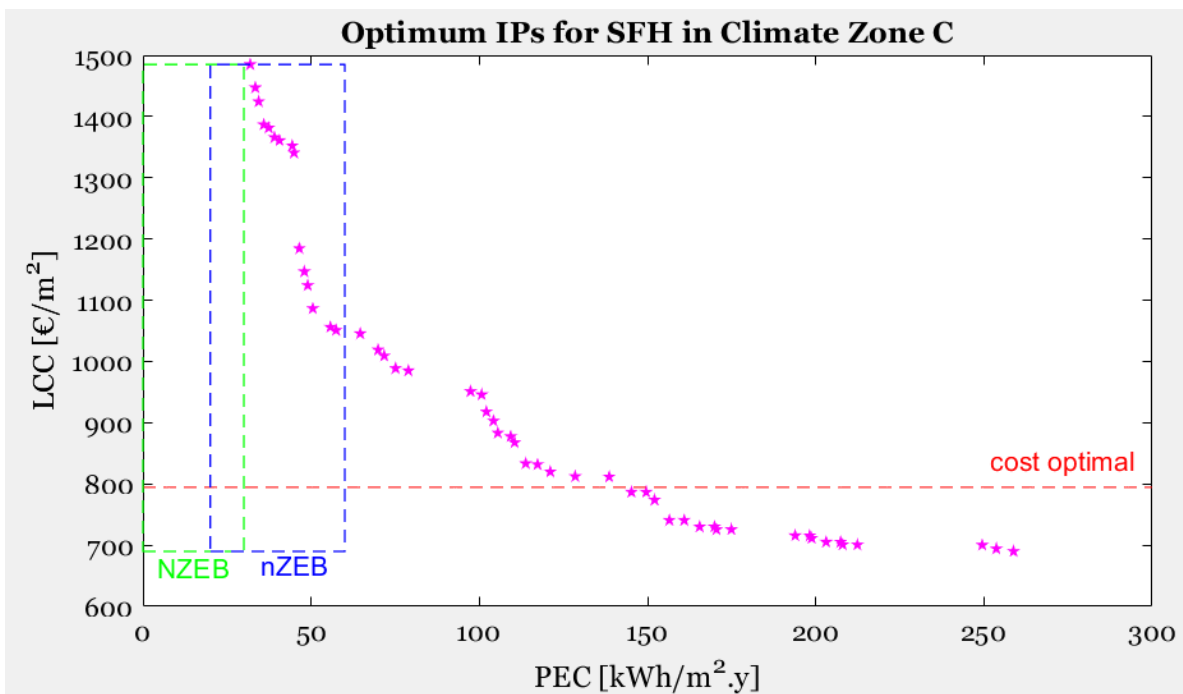
Αριθμός Μεταβλητών	9
Μέγεθος Πληθυσμού	100
Μέγιστος Αριθμός Γενιών	50
Συνάρτηση Διασταύρωσης	crossoverscattered
Συνάρτηση Μετάλλαξης	mutationadaptfeasible (0,02)
Κριτήριο Σύγκλισης	0,001
Μέγιστος Αριθμός Γενιών Στασιμότητας	10
Κλάσμα Pareto	0,5

Περισσότερες λεπτομέρειες για την παραμετροποίηση του γενετικού αλγορίθμου καθώς και για τον κώδικα λογισμικού βρίσκονται στο Παράρτημα II (gamultiobj).

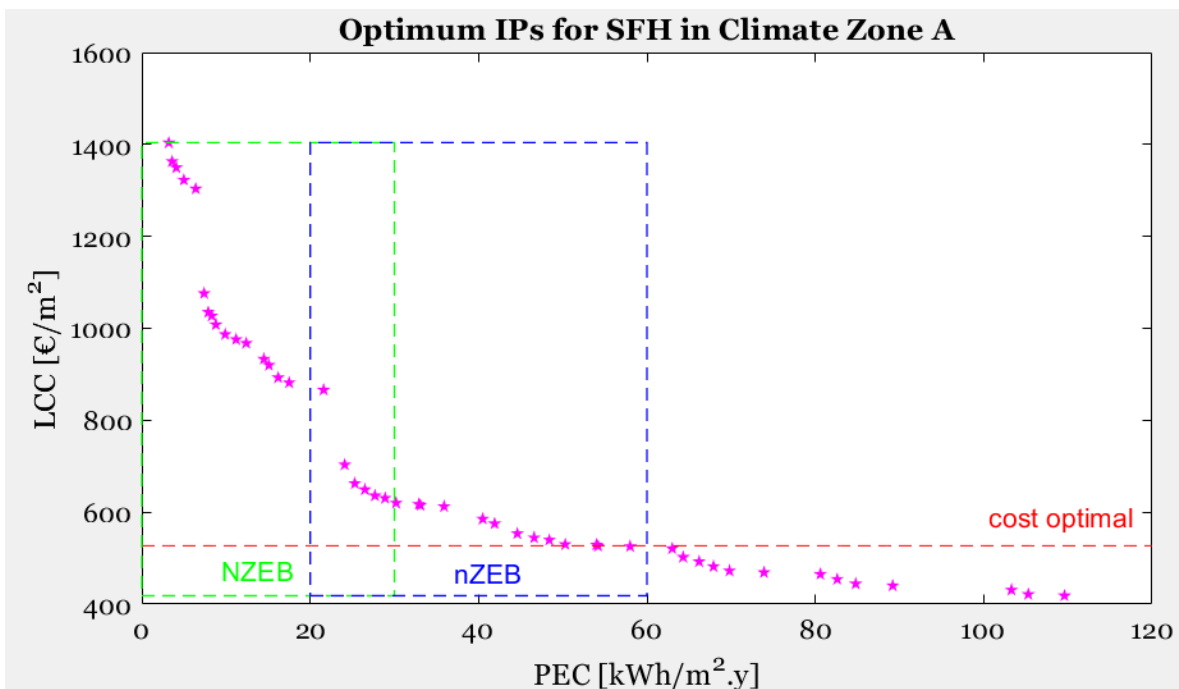
3. Αποτελέσματα

Κατά την εκτέλεση του γενετικού αλγορίθμου πολλαπλών στόχων, το αποτέλεσμα δεν είναι μια μοναδική βέλτιστη λύση, αλλά ένα σύνολο λύσεων που αντιπροσωπεύουν συλλογικά διάφορους συμβιβασμούς μεταξύ αντικρουόμενων στόχων, όπου η βελτίωση ενός στόχου οδηγεί αναπόφευκτα στην υποβάθμιση ενός άλλου.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 12 και στο Σχήμα 13 για τις δύο κλιματικές ζώνες, ο αλγόριθμος επιστρέφει ένα εύρος διακριτών σημείων τα οποία παρουσιάζουν τις καλύτερες αποδόσεις ως προς τις δύο αντικειμενικές συναρτήσεις. Ο χρόνος υπολογισμού κυμαίνεται μεταξύ 80'-100' και έλαβε χώρα σε φορητό προσωπικό Η/Υ χαμηλών τεχνικών χαρακτηριστικών (CPU: AMD Ryzen 5 5000, RAM: 8 GB).



Σχήμα 12: Γενετικός αλγόριθμος πολλαπλών στόχων στην κλιματική Ζώνη Γ (LCC,PEC)



Σχήμα 13: Γενετικός αλγόριθμος πολλαπλών στόχων στην κλιματική Ζώνη Α (LCC,PEC)

Σε κάθε διάγραμμα, υπολογίστηκε η τιμή LCC_{opt} που αντιστοιχεί στο ανώτατο όριο βελτιστοποίησης κόστους (cost optimal) καθώς και οι περιοχές NZEB και nZEB όπως αυτά ορίζονται στην ενότητα 2.3.3.

Σε πρώτη προσέγγιση, φαίνεται πως η μορφή του μετώπου και η αριθμητική περιοχή που αυτό εμφανίζεται αποτελούν πιθανώς ένα αντιπροσωπευτικό όριο για το διάγραμμα της αντίστοιχης κλιματικής ζώνης σε προηγούμενη μελέτη [24] όπως αυτό φαίνεται στο Σχήμα 3. Μικρές διαφορές οφείλονται στις αυξήσεις των τιμών ενέργειας και στην παραμετροποίηση του κτιρίου και των συστημάτων.

Επιπλέον, η εξάπλωση και η πυκνότητα των λύσεων κατά μήκος του μετώπου παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με την πολυπλοκότητα του προβλήματος και την αποτελεσματικότητα του γενετικού αλγορίθμου πολλαπλών στόχων στη διερεύνηση του χώρου λύσεων.

Η απεικόνιση του μετώπου προσφέρει άμεση γνώση σχετικά με το πεδίο λύσεων του προβλήματος και επιτρέπει στους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων να διερευνήσουν διάφορες λύσεις και να λάβουν τεκμηριωμένες αποφάσεις με βάση τις προτιμήσεις και τις προτεραιότητές τους.

3.1 Απεικόνιση αποτελεσμάτων

Για την ερμηνεία των διακριτών αυτών λύσεων του μετώπου ακολουθήθηκε μία διαδικασία εκλογής διαφορετικών χρωμάτων για κάθε μεμονωμένη παρέμβαση, πρώτων όσον αφορά τις αναβαθμίσεις του κτιριακού κελύφους και δεύτερων τον Η/Μ εξοπλισμό. Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατή η ταυτόχρονη απεικόνιση ολοκληρωμένων σεναρίων και η ανάλυσή τους στις επιμέρους παρεμβάσεις.

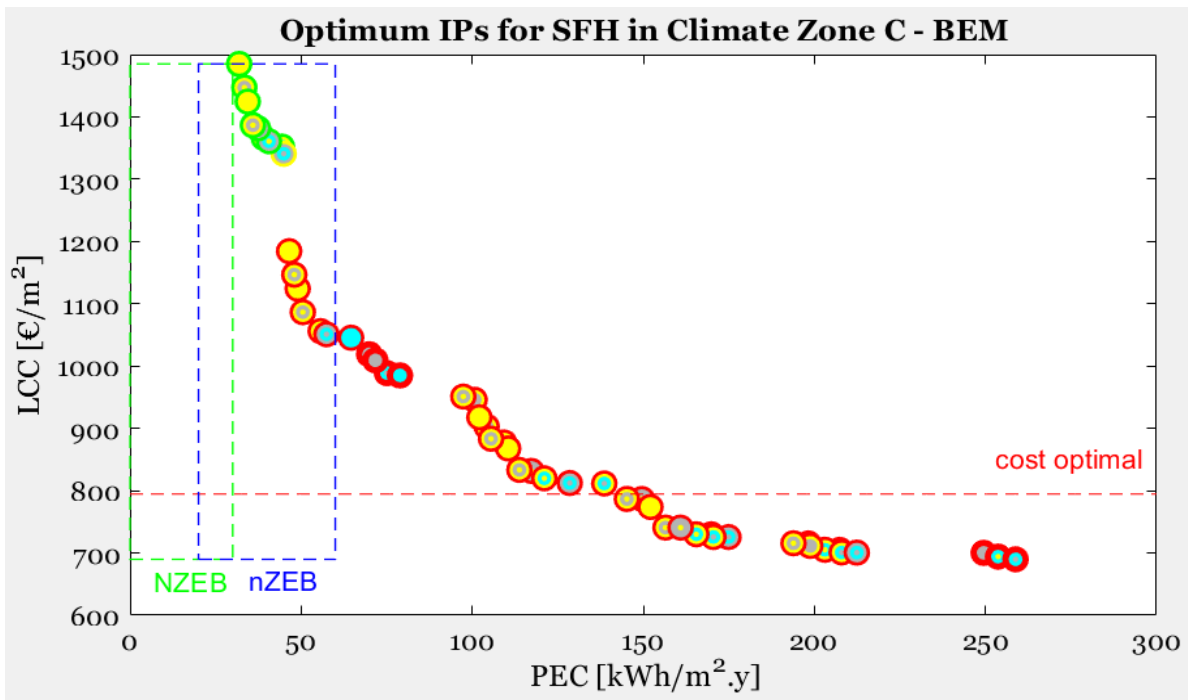
Η εκλογή των χρωμάτων για κάθε ενεργειακή παρέμβαση φαίνεται στην Εικόνα 6 και Εικόνα 7 για το Σχήμα 14 που αφορά τους συντελεστές θερμικής διαπερατότητας των στοιχείων του κελύφους και για το Σχήμα 15 που αφορά τα ενεργειακά συστήματα αντίστοιχα. Κάθε βέλτιστο σενάριο μεταφράζεται ξεκινώντας από το εσωτερικό προς το εξωτερικό του όπου κάθε παρέμβαση απεικονίζεται με μια διαφορετική χρωματική επίστρωση στο εκάστοτε σημείο.

Αρχικά, για την κλιματική ζώνη Γ, παρατηρείται πως όλες οι λύσεις του μετώπου περιέχουν σύστημα ηλιακού συλλέκτη και η πλειονότητα αυτών φωτοβολταϊκό σύστημα. Ακόμα, φαίνεται πως τα σημεία με κοινά Η/Μ συστήματα σχηματίζουν περιοχές λύσεων οι οποίες στην συνέχεια διαφοροποιούνται με βάση τις αναβαθμίσεις του κελύφους.

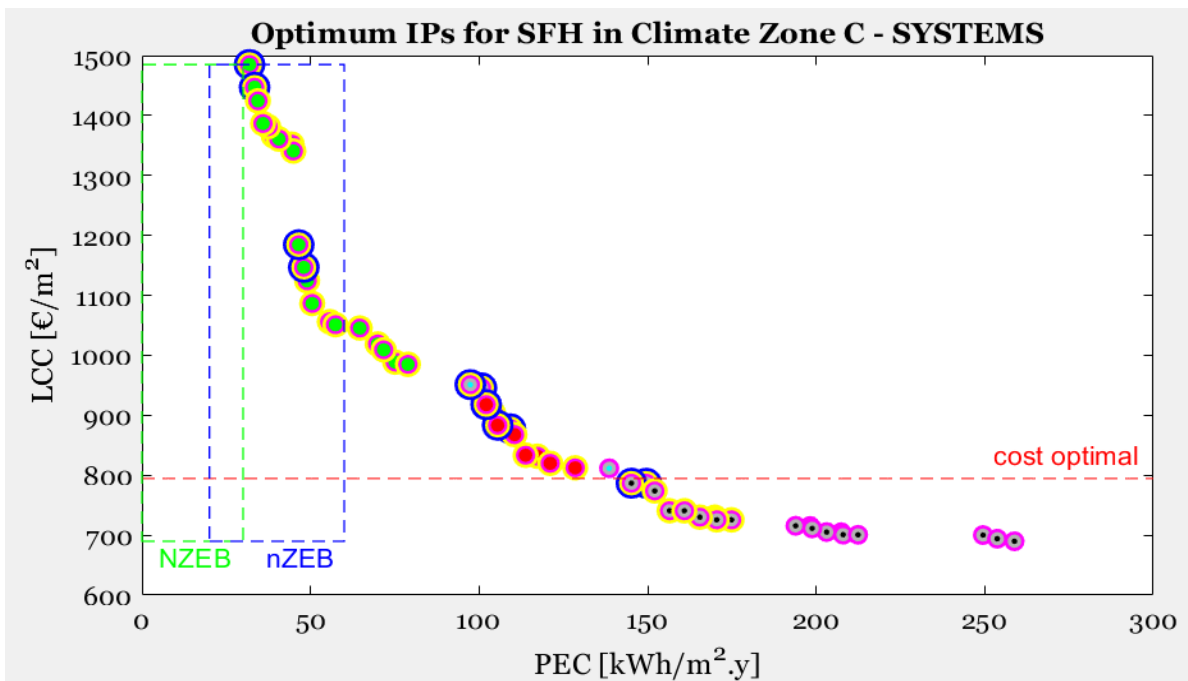
Όσον αφορά το κέλυφος, οι διακριτές αυτές περιοχές υποδεικνύουν προτεραιότητα αρχικά στην αναβάθμιση των τεσσάρων κάθετων τοίχων, έπειτα του δαπέδου, της οροφής και τέλος των υαλοπινάκων. Επίσης, φαίνεται πως η αναβάθμιση των υαλοπινάκων στην καλύτερη δυνατή επιλογή εμφανίζεται τελευταία, στην περιοχή κάτω των 50 kWh/m².y με κόστος κύκλου ζωής άνω των 1300 €/m².

Αναλύοντας τα σενάρια που προκύπτουν από τα δεξιά προς τα αριστερά, με την προσθήκη συστήματος ηλιακού συλλέκτη, σύγχρονου συστήματος διαιρούμενου τύπου και την μερική αναβάθμιση του κτιριακού κελύφους, διατηρώντας το υφιστάμενο σύστημα θέρμανσης, η πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας μειώνεται έως τις 193 kWh/m².y, και με την προσθήκη φωτοβολταϊκού συστήματος έως τις 152 kWh/m².y.

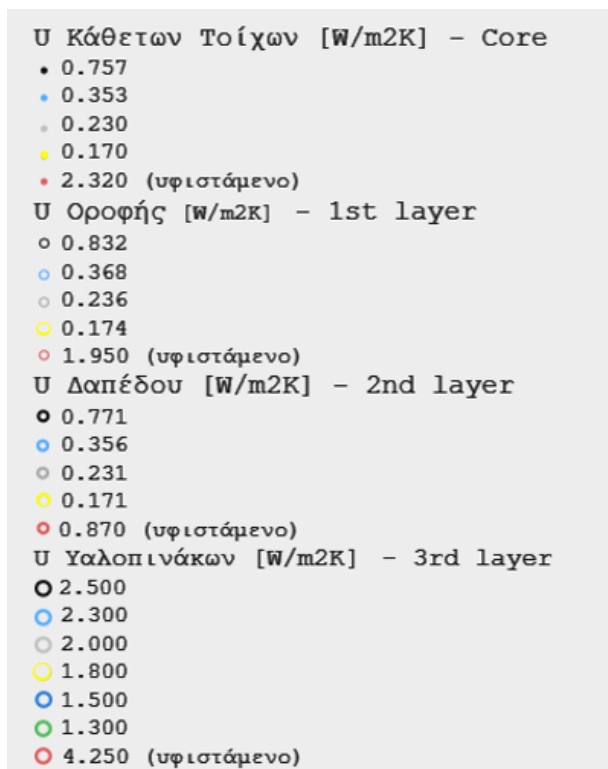
Παρατηρείται, πως η προσθήκη συστήματος μηχανικού αερισμού επιφέρει μικρές βελτιώσεις συγκριτικά με τα ίδια σενάρια που δεν τα περιέχουν και εμφανίζονται στο τέλος κάθε περιοχής όντας η τελευταία σε προτεραιότητα αναβάθμιση που συστήνουν τα αποτελέσματα.



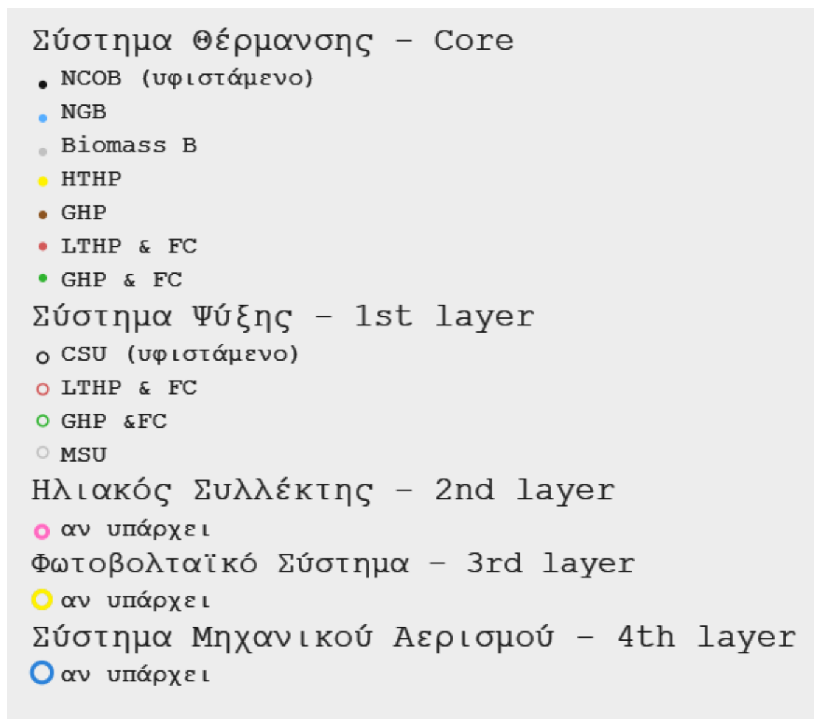
Σχήμα 14: Γενετικός αλγόριθμος πολλαπλών στόχων στην κλιματική Ζώνη Γ – Κτιριακό Κέλυφος (LCC,PEC)



Σχήμα 15: Γενετικός αλγόριθμος πολλαπλών στόχων στην κλιματική Ζώνη Γ – Η/Μ εξοπλισμός (LCC,PEC)



Εικόνα 6: Υπόμνημα εκλογής χρωμάτων – Κτιριακό Κέλυφος (LCC,PEC)



Εικόνα 7: Υπόμνημα εκλογής χρωμάτων – Η/Μ εξοπλισμός (LCC,PEC)

Η πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας μειώνεται έως τις 105 kWh/m².y για σενάρια που περιέχουν φωτοβολταϊκό σύστημα, αντλία θερμότητας με Fan Coils για ψύξη/θέρμανση και αναβαθμίσεις κελύφους.

Τα σενάρια αυτά παρουσιάζουν ενδιαφέρον καθώς βρίσκονται εκατέρωθεν του ορίου βελτιστοποίησης κόστους.

Παρουσιάζουν ενδιαφέρον οι λύσεις συνδυασμού λέβητα φυσικού αερίου με σύγχρονο σύστημα διαιρούμενου τύπου, που εμφανίζονται μεμονωμένες στις 97 kWh/m².y και 140 kWh/m².y.

Με την προσθήκη ηλιακού συλλέκτη η πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας στη συνέχεια μειώνεται έως τις 41.1 kWh/m².y, και με εγκατάσταση συστήματος μηχανικού αερισμού έως τις 33.3 kWh/m².y με το LCC να κυμαίνεται στα 1200 €/m². Στις λύσεις αυτές, προτεραιότητα στις παρεμβάσεις του κελύφους έχουν οι αναβαθμίσεις των υαλοπινάκων, έπειτα του δαπέδου, των τεσσάρων τοίχων και τέλος της οροφής. Η περιοχή αυτή αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος των nZEB λύσεων.

Τέλος, στην περιοχή 32 kWh/m².y έως 78 kWh/m².y περιλαμβάνει αρχικά λύσεις που αφορούν εγκατάσταση γεωθερμικής αντλίας θερμότητας με Fan Coils για ψύξη και θέρμανση, και ακολουθεί η προσθήκη συστήματος μηχανικού αερισμού όπως και προηγουμένως. Προτεραιότητα για το κέλυφος έχουν οι αναβαθμίσεις των τεσσάρων κάθετων τοίχων, έπειτα του δαπέδου, της οροφής και τέλος των υαλοπινάκων σε κάθε ομαδοποιημένη περιοχή. Μεγάλο μέρος των λύσεων αυτών βρίσκεται στην περιοχή nZEB, και τελικά με την μέγιστη αναβάθμιση των υαλοπινάκων πλησιάζει στο όριο της περιοχής nZEB.

Στην περίπτωση του κτιρίου στην κλιματική ζώνη Α, στο Ηράκλειο της Κρήτης, ακολουθώντας την μεθοδολογία που παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 2 προέκυψαν τα αντίστοιχα διαγράμματα όπως φαίνονται στο Σχήμα 16 που αφορά τους συντελεστές θερμικής διαπερατότητας των στοιχείων του κελύφους και στο Σχήμα 17 που αφορά τα Η/Μ συστήματα αντίστοιχα.

Σε πρώτη προσέγγιση, φαίνεται πως η μορφή του μετώπου και η μετατόπιση του σε χαμηλότερες τιμές PEC είναι αναμενόμενη λόγω των χαμηλότερων ενεργειακών αναγκών του κτιρίου και της αποδοτικότερης λειτουργίας των ηλιακών και ηλιοθερμικών συστημάτων σε μικρότερα γεωγραφικά πλάτη. Ομοίως με την κλιματική ζώνη Γ όλες οι λύσεις του μετώπου καταδεικνύουν την εγκατάσταση συστήματος ηλιακού συλλέκτη και λύσεις κάτω των 90 kWh/m².y.

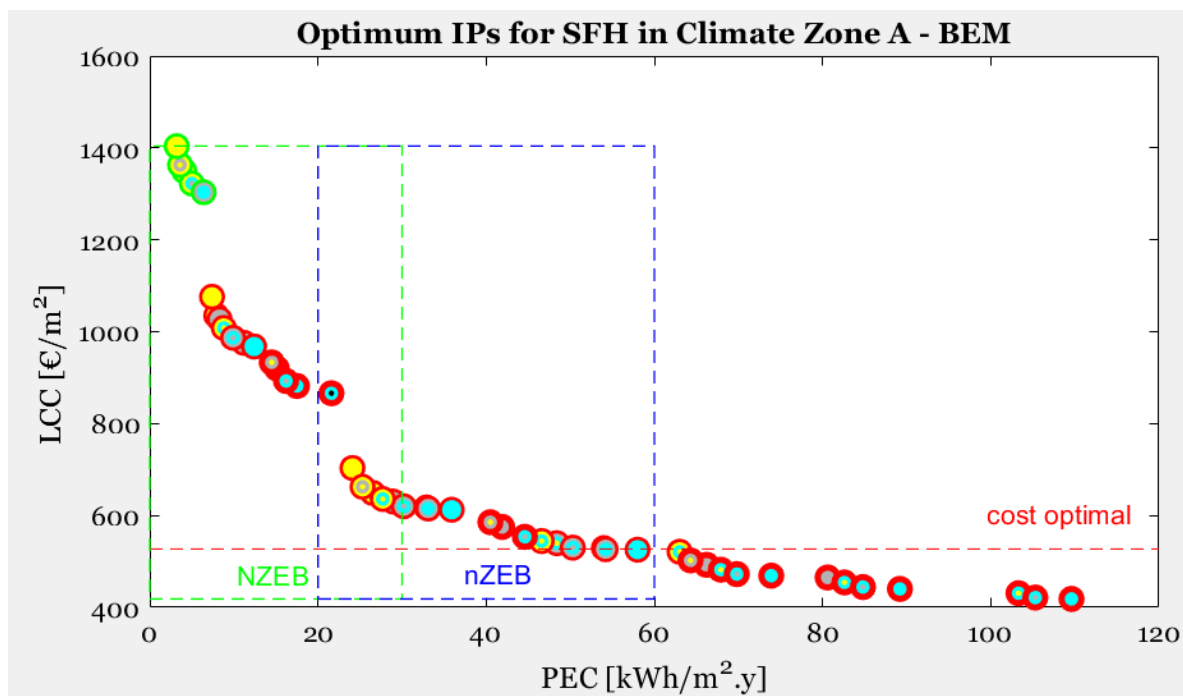
Αναλύοντας τα σημεία, όπως προηγουμένως από δεξιά προς τα αριστερά, φαίνεται πως με την διατήρηση των υφιστάμενων συστημάτων θέρμανσης και ψύξης και μόνο με ηλιακά συστήματα και την αναβάθμιση του κτιριακού υπάρχουν λύσεις κοντά στην περιοχή nZEB

στις 63 kWh/m².y. Ενώ και με την προσθήκη σύγχρονου συστήματος διαιρούμενου τύπου έως τις 46 kWh/m².y μέσα στην περιοχή nZEB.

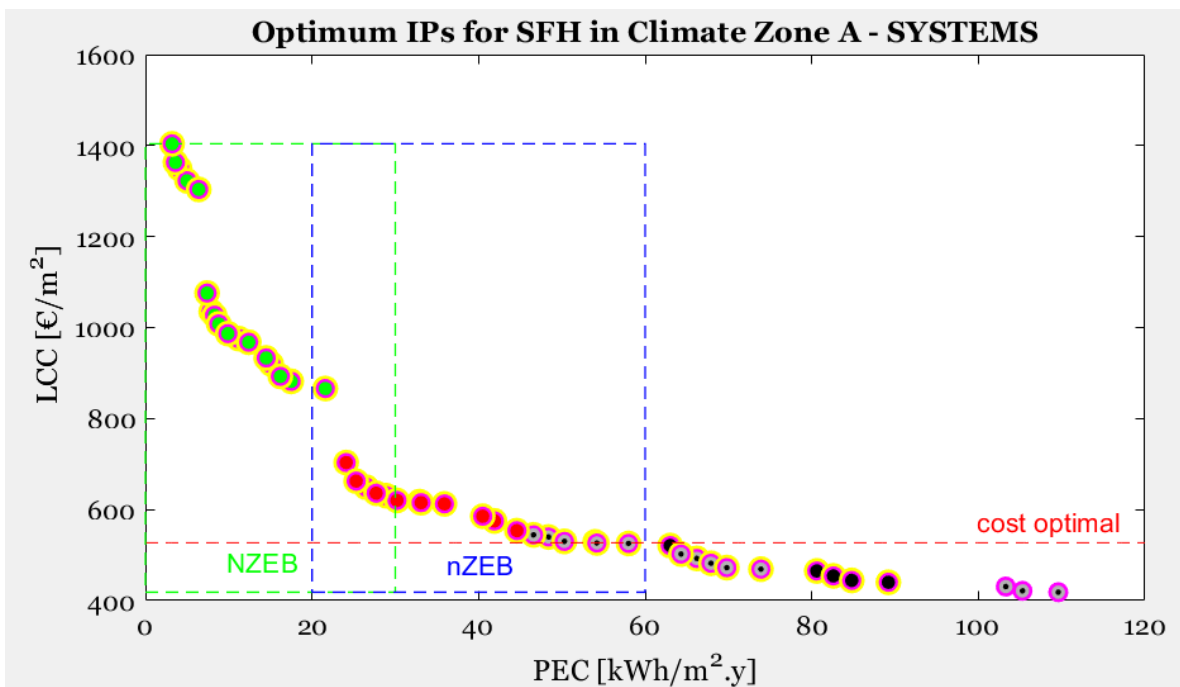
Έπειτα, στην περιοχή 24 kWh/m².y έως 44 βρίσκονται σενάρια που αφορούν αντλίες θερμότητας με Fan Coils δίνοντας λύσεις NZEB προτύπων.

Τέλος, στην περιοχή 3,2 kWh/m².y έως 24 kWh/m².y περιλαμβάνει αρχικά λύσεις που αφορούν εγκατάσταση γεωθερμικής αντλίας θερμότητας με Fan Coils για ψύξη και θέρμανση. Μεγάλο μέρος των λύσεων αυτών βρίσκεται στην περιοχή NZEB, και τελικά με την μέγιστη αναβάθμιση των υαλοπινάκων πλησιάζει μηδενικά επίπεδα κατανάλωσης.

Ομοίως και σε αυτή την περίπτωση, στις λύσεις των ομαδοποιημένων αυτών περιοχών, προτεραιότητα για το κέλυφος φαίνεται να έχουν αρχικά οι αναβαθμίσεις των τεσσάρων κάθετων τοίχων, έπειτα του δαπέδου, της οροφής και τέλος των υαλοπινάκων.

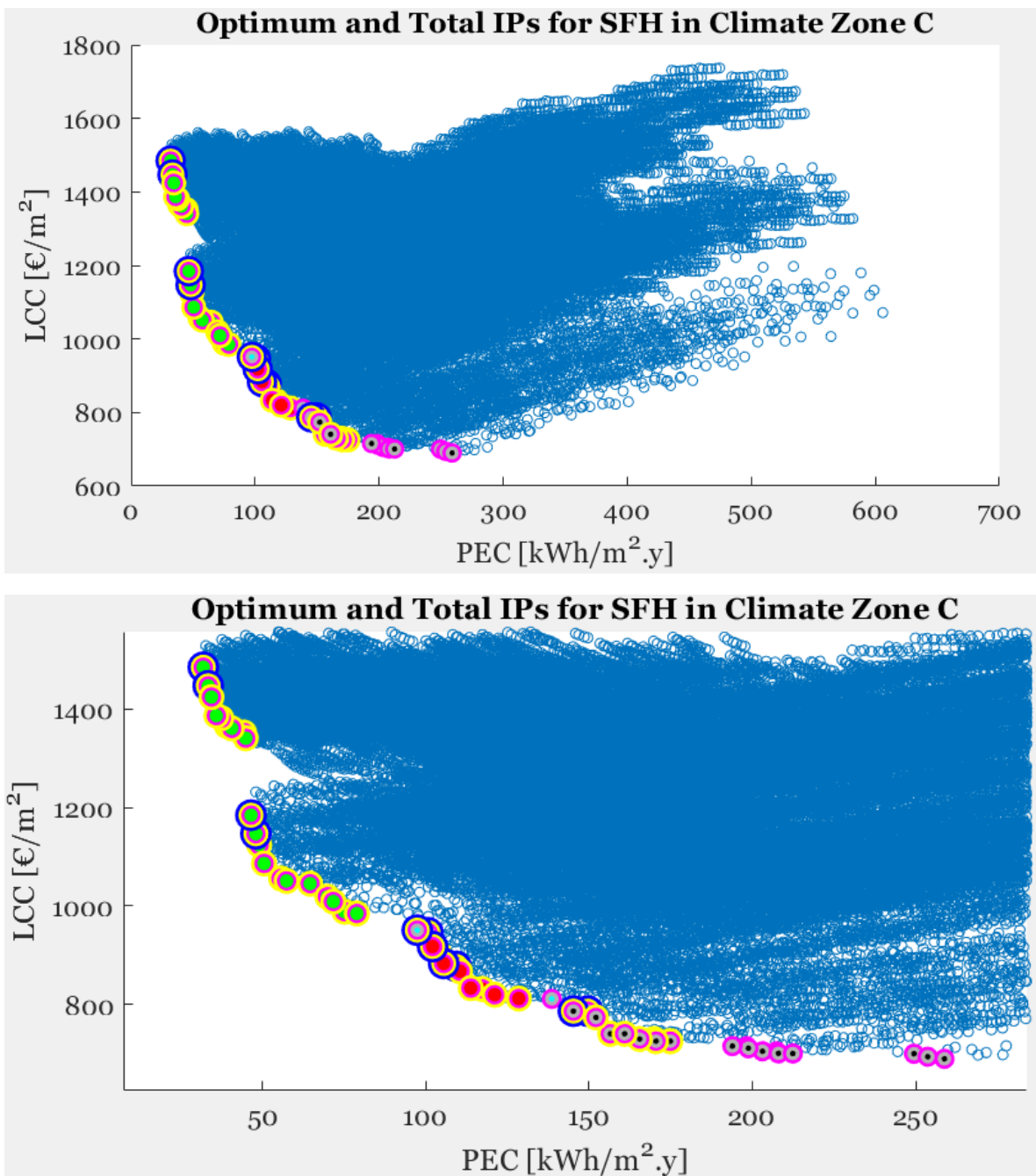


Σχήμα 16: Γενετικός αλγόριθμος πολλαπλών στόχων στην κλιματική Ζώνη Α – Κτιριακό Κέλυφος (LCC,PEC)

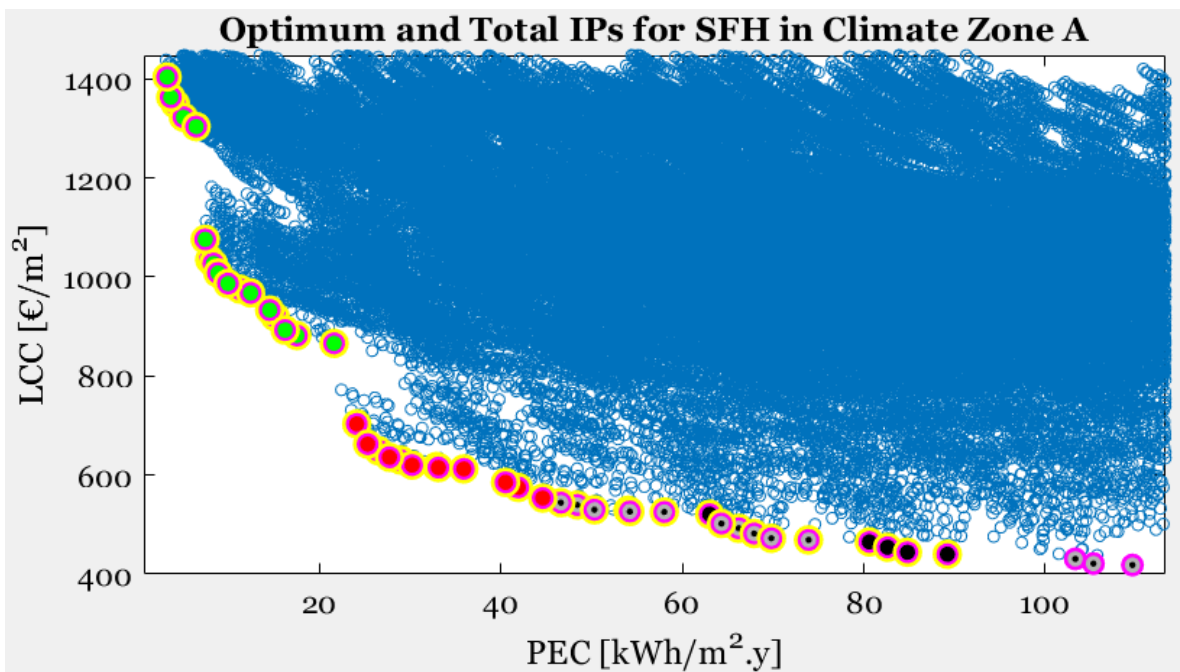
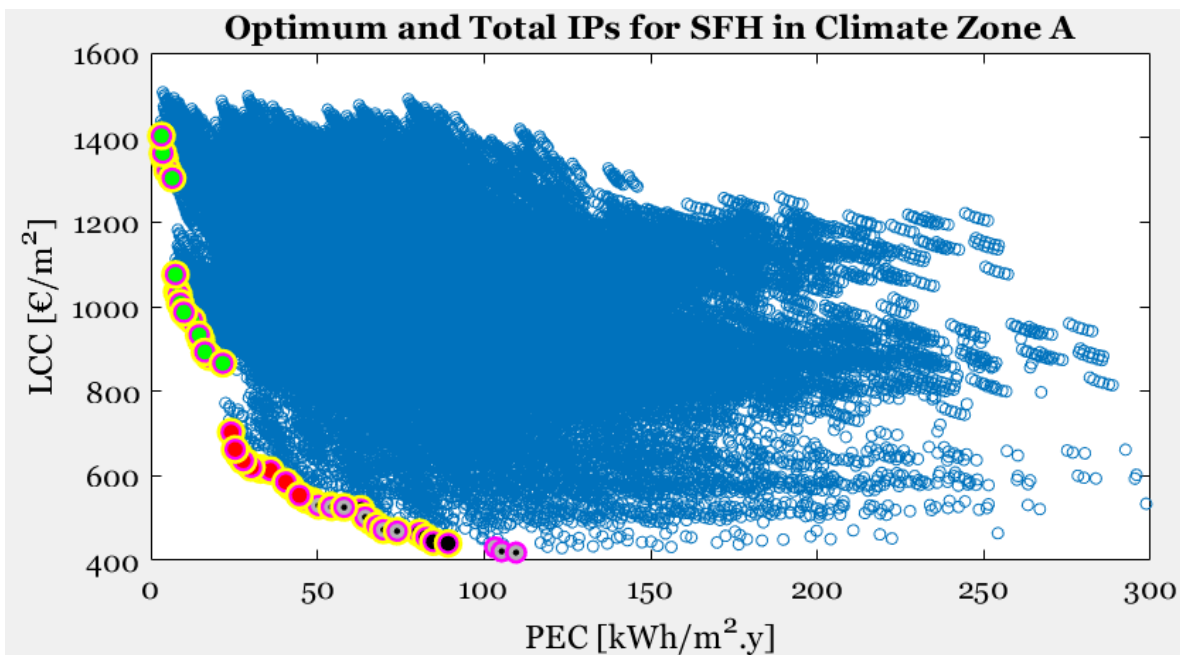


Σχήμα 17: Γενετικός αλγόριθμος πολλαπλών στόχων στην κλιματική Ζώνη Α – Η/Μ εξοπλισμός (LCC,PEC)

Καταλήγοντας, με στόχο την επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων εξετάσθηκε η σειριακή εκτέλεση προσομοιώσεων για το σύνολο των δυνατών σεναρίων στις δύο περιοχές χωρίς την χρήση γενετικών αλγορίθμων. Τονίζεται, πως το όριο του βέλτιστου κόστους LCC_{opt} υπολογίστηκε με βάση τα αποτελέσματα των σειριακών και όχι των γενετικών αλγορίθμων σε κάθε περίπτωση.



Σχήμα 18: Γενετικός αλγόριθμος πολλαπλών στόχων σε παράθεση με τον σειριακό αλγόριθμο στην κλιματική Ζώνη Γ

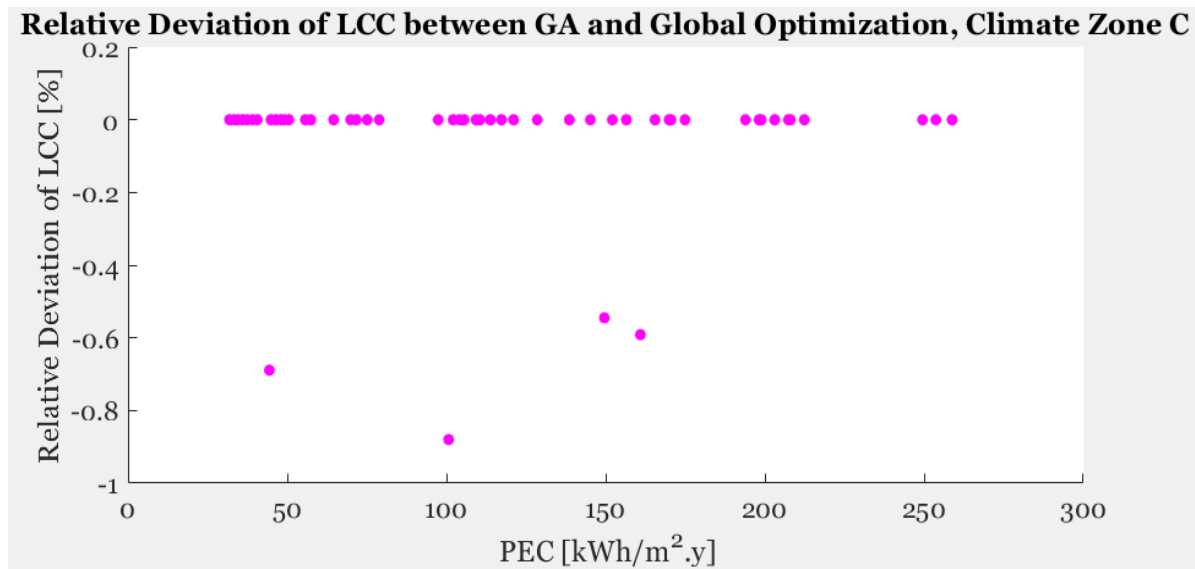


Σχήμα 19: Γενετικός αλγόριθμος πολλαπλών στόχων σε παράθεση με τον σειριακό αλγόριθμο στην κλιματική Ζώνη Α

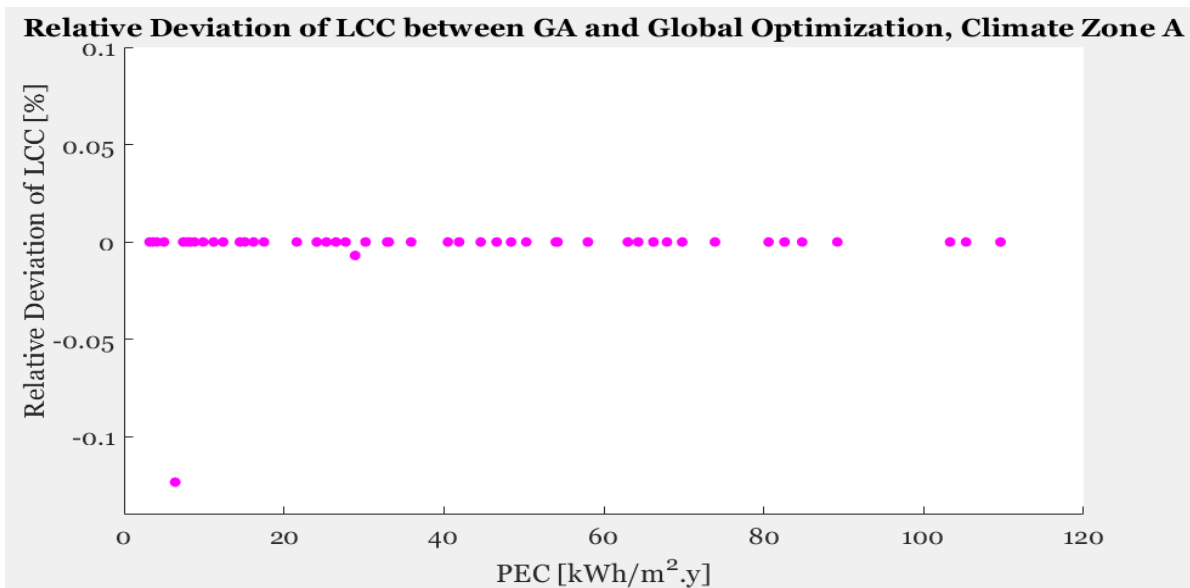
Στο Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε. και στο Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε. φαίνονται τα αποτελέσματα των σειριακών

αλγορίθμων με μπλε χρώμα σε παράθεση με τα βέλτιστα μέτωπα λύσεων των γενετικών αλγορίθμων για τις δύο κλιματικές ζώνες Γ και Α αντίστοιχα. Ο χρόνος υπολογισμού στο ίδιο υπολογιστικό σύστημα ανήλθε στις 150 ώρες για κάθε κλιματική ζώνη. Το μέτωπο λύσεων που επιστρέφει ο γενετικός αλγόριθμος βρίσκεται στην περιοχή ανάμεσα στα ολικά ελάχιστα των δύο αντικειμενικών συναρτήσεων. Κάθε σημείο στο μέτωπο λύσεων αντιπροσωπεύει μια μοναδική λύση που κατά το πλείστον δεν μπορεί να βελτιωθεί χωρίς να θυσιαστεί η απόδοση σε κάποια από τις δύο αντικειμενικές συναρτήσεις.

Εστιάζοντας στην περιοχή του μετώπου, για τις δύο κλιματικές ζώνες, είναι φανερό πως οι γενετικοί αλγόριθμοι προσεγγίζουν με μεγάλη ακρίβεια τις βέλτιστες δυνατές λύσεις καθώς υπάρχουν ελάχιστα αποδοτικότερα σημεία αριστερά του μετώπου. Για την αξιολόγηση της εγκυρότητας της προσέγγισης, στο Σχήμα 20 και στο Σχήμα 21 υπολογίστηκε η σχετική απόκλιση (%) του κόστους κύκλου ζωής συναρτήσει της πρωτογενούς κατανάλωσης ενέργειας ανάμεσα στον γενετικό και τον σειριακό αλγόριθμο για τις δύο κλιματικές ζώνες. Προκύπτει ότι εξετάζοντας μεγαλύτερο πληθυσμό ατόμων εξομαλύνονται μικρές αποκλίσεις και προσεγγίζονται σε πλήρη ακρίβεια οι ολικές λύσεις με το ανάλογο κόστος σε υπολογιστικό χρόνο.



Σχήμα 20: Σχετική απόκλιση (%) LCC μεταξύ γενετικού και σειριακού αλγορίθμου, κλιματική ζώνη Γ



Σχήμα 21: Σχετική απόκλιση (%) LCC μεταξύ γενετικού και σειριακού αλγορίθμου, κλιματική ζώνη Α

Τέλος στον Πίνακα 33 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα σχετικά με τον χρόνο υπολογισμού και τα σενάρια που προσομοιάστηκαν σε περίπτωση. Η χρήση των γενετικών αλγορίθμων παρέχει μια σαφή εξοικονόμηση χρόνου και υπολογιστικών πόρων.

Πίνακας 33: Χρόνοι υπολογισμού και σενάρια που εξετάστηκαν

	Γενετικός αλγόριθμος		Προσομοίωση συνολικών σεναρίων	
	Χρόνος υπολογισμού	Εξετασμένα σενάρια	Χρόνος υπολογισμού	Εξετασμένα σενάρια
Ζώνη Α	4,1 ώρες	2.700	150 ώρες	84.000
Ζώνη Γ	4,5 ώρες	2.900		

4. Συμπεράσματα

Στην παρούσα μελέτη, επιχειρήθηκε ο προσδιορισμός των οικονομικά αποδοτικότερων πακέτων ενεργειακών παρεμβάσεων που αποτελούνται από μεμονωμένα ή πολλαπλά μέτρα, σε υφιστάμενα πανομοιότυπα κτίρια μονοκατοικιών που ανεγέρθηκαν σε δύο κλιματικές ζώνες (Γ και Α) της Ελλάδας πριν από το 1980.

Κατ' αρχάς, από τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, διαπιστώθηκε πως με την εξελικτική διαδικασία των γενετικών αλγορίθμων επιτυγχάνεται αρκετά ακριβής αποτύπωση του βέλτιστου μετώπου λύσεων και μείωση του χρόνου υπολογισμού κατά 97% σε σχέση με την προσομοίωση του συνόλου των πιθανών σεναρίων. Αυτό υποδηλώνει την καταλληλότητα των γενετικών αλγορίθμων σε σύγκριση με άλλες μεθόδους προσομοίωσης καθώς είναι πολύ ταχύτεροι και αποτελεσματικότεροι στον προσδιορισμό των βέλτιστων λύσεων. Με την αύξηση του εξεταζόμενου πληθυσμού και την περεταίρω μείωση του κριτηρίου σύγκλισης αυξάνεται η λεπτομέρεια στο μέτωπο λύσεων. Επίσης, τονίζεται η ανεξαρτησία της αποτελεσματικότητας των γενετικών αλγορίθμων από την διαστασιολόγηση των συστημάτων.

Σύμφωνα με την παραμετροποίηση που περιεγράφηκε, η εγκατάσταση ηλιακού και ηλιοθερμικού συστήματος σε συνδυασμό με την αναβάθμιση του κτιριακού κελύφους φαίνονται απαραίτητες και στις δύο περιοχές με το κόστος του κύκλου ζωής να μην ξεπερνά το ανώτατο όριο βελτιστοποίησης κόστους.

Τα πακέτα παρεμβάσεων που περιλαμβάνουν αντλίες θερμότητας με κονβέκτορες έχουν τη χαμηλότερη ενεργειακή κατανάλωση, ενώ το κόστος του κύκλου ζωής τους κυμαίνεται από μέτρια έως πολύ υψηλά. Τείνουν να είναι πιο ανταγωνιστικά ως προς το κόστος όταν αυξάνονται τα φορτία θέρμανσης/ψύξης, όπως συμβαίνει σε περιοχές με πιο σκληρούς χειμώνες. Σενάρια που αφορούν εγκατάσταση λέβητα φυσικού αερίου εμφανίζονται μεμονωμένα στην κλιματική ζώνη Γ, ενώ συστήματα λέβητα βιομάζας δεν εντοπίζονται ανάμεσα στις βέλτιστες λύσεις.

Τέλος, ακολουθούν οι παρεμβάσεις που περιέχουν συστήματα μηχανικού αερισμού και αναβαθμίσεις υαλοπινάκων που φαίνεται να έχουν το μικρότερο όφελος πρωτογενούς κατανάλωσης ενέργειας συγκριτικά με το υψηλό κόστος του κύκλου ζωής τους.

Για την κλιματική ζώνη Α, προκύπτουν λύσεις υψηλής σημασίας μέσα στις nZEB, NZEB περιοχές και πλησιάζοντας το όριο βελτιστοποίησης κόστους, ενώ στην κλιματική ζώνη Γ παρατηρείται ένα οικονομικό χάσμα που κυμαίνεται στο ύψος των 270 €/m² μεταξύ βέλτιστου κόστους και nZEB περιοχής. Λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα αυτά, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα πως μόνο με την σύσταση σημαντικών οικονομικών κινήτρων θα είναι δυνατόν να επιτευχθούν λύσεις στην περιοχή NZEB σε ελκυστικό κόστος σε περίπτωση παλαιότερων κτιρίων που βρίσκονται στις δύο κλιματικές ζώνες.

Ως συνέχεια της παρούσας μελέτης, σημεία ενδιαφέροντος εστιάζονται στην προσομοίωση με την χρήση των γενετικών αλγορίθμων μέσα σε μια διαδικασία παράλληλης επεξεργασίας των ατόμων κάθε γενιάς λύσεων με στόχο την περεταίρω μείωση του χρόνου υπολογισμού έως και κατά 99%. Έτσι, ευνοείται η εφαρμογή της παραπάνω βελτιστοποίησης σε κτίρια με μεγαλύτερο πλήθος παρεμβάσεων και πιο σύνθετη γεωμετρία.

5. Παραρτήματα

5.1 Παράρτημα I (ga)

5.1.1 Κώδικας (Calling_GA_PEC.m) παραμετροποίησης και εκτέλεσης εντολής [ga]

```
%Εκτέλεση Γ.Α.

lb = [1 1 1 1];           %κατώτατο όριο μεταβλητών
ub = [5 5 5 7];         %ανώτατο όριο μεταβλητών
intcon = [1,2,3,4];     %Επιλογή ακεραίων μεταβλητών (μόνο στην [ga])

options =
optimoptions(@ga, 'MaxStallGenerations',10, 'MaxGenerations',40, 'PopulationSize',7, 'PlotFcn',@gaplotbestf); %Παραμετροποίηση Γ.Α.

[x,fval,exitflag,output,population,scores] =
ga(@myfunPEC,4, [], [], [], [], lb,ub, [], intcon,options) %Κλήση αρχείου
myfunPEC.m

%Απεικόνιση
ylabel('PEC [kWh/m2*y]'); %άξονας y
title('SFH in Climate Zone C') %Τίτλος
```

5.1.2 Κώδικας (myfunPEC.m) επεξεργασίας αρχείων εισόδου/εξόδου και εκτέλεσης Λογισμικού TEE KENAK

```
function PEC = myfunPEC(x) %συνάρτηση προς βελτιστοποίηση
%Έλεγχος και εκχώρηση τιμών
switch x(1) %εκχώρηση 5 τιμών U [W/m²K] των κάθετων τοίχων
    case 1
        UWall = 2.320;
    case 2
        UWall = 0.757;
    case 3
        UWall = 0.353;
    case 4
```

```

        UWall = 0.230;
    case 5
        UWall = 0.170;

end

switch x(2) %εκχώρηση 5 τιμών U [W/m²K] της οροφής
    case 1
        URoof = 1.950;
    case 2
        URoof = 0.832;
    case 3
        URoof = 0.368;
    case 4
        URoof = 0.236;
    case 5
        URoof = 0.174;

end

switch x(3) %εκχώρηση 5 τιμών U [W/m²K] του δαπέδου
    case 1
        UPiloti = 0.870;
    case 2
        UPiloti = 0.771;
    case 3
        UPiloti = 0.356;
    case 4
        UPiloti = 0.231;
    case 5
        UPiloti = 0.171;

end

switch x(4) %εκχώρηση 7 τιμών U [W/m²K] των υαλοπινάκων

```

```

case 1
    UWindow = 4.250;
case 2
    UWindow = 2.500;
case 3
    UWindow = 2.300;
case 4
    UWindow = 2.000;
case 5
    UWindow = 1.800;
case 6
    UWindow = 1.500;
case 7
    UWindow = 1.300;
end

%Αρχικοποίηση αρχείου εισόδου [nomis_in.xml]
xml_input_Doc_Initial = xmlread('nomis_in_origin_PEC.xml'); %αρχείο
προσομοίωσης υφιστάμενου κτιρίου
xmlwrite('nomis_in.xml',xml_input_Doc_Initial);
xml_input_Doc = xmlread('nomis_in.xml'); %αρχείο εισόδου

%Μετατροπή των μεταβλητών αδιαφανών επιφανειών σε κείμενο και μεταβολή του
αρχείου εισόδου
OpaqueText = [UWall UWall UWall UWall URoof UPiloti 3.29];
OpaqueTextOneString = sprintf('%.04f,', OpaqueText);
xml_input_Doc.getElementsByTagName('opaque_column6').item(0).setTextContent(OpaqueTextOneString);

%Μετατροπή των μεταβλητών διαφανών επιφανειών σε κείμενο και μεταβολή του
αρχείου εισόδου
TransparentText = repmat(UWindow, 1, 9);

```

```

TransparentTextOneString = sprintf('%.04f,', TransparentText);

xml_input_Doc.getElementsByTagName('transparent_column7').item(0).setTextContent(TransparentTextOneString);

%Αποθήκευση αρχείου εισόδου

xmlwrite('nomis_in.xml', xml_input_Doc);

%Εκτέλεση προσομοίωσης

status = system('nomis.exe');      %εκτελέσιμο αρχείο
pause(1)                          %αναμονή αποτελεσμάτων προσομοίωσης

%Πινακοποίηση αρχείου εξόδου [runtime_project_add_res.xml] μέσω της
συνάρτησης [parseXML] και ανάγνωση της τιμής PEC

XMLfile_res_PEC = 'runtime_project_add_res.xml';
output_PEC_Struct = parseXML(XMLfile_res_PEC);

res_PEC_text = output_PEC_Struct.Children(2).Children(8).Children(7).Children.Data;
PEC = str2double(res_PEC_text) % [kWh/m2y]

end

```

5.2 Παράρτημα II (gamultiobj)

5.2.1 Κώδικας (Calling_MOGA.m) παραμετροποίησης, εκτέλεσης εντολής [gamultiobj] και απεικόνισης των αποτελεσμάτων

```

rng(5);          % Ρύθμιση τυχαίου αριθμού για επαναληψιμότητα

%Ανάγνωση συντελεστών U και αντίστοιχου κόστους από το U-Kostologisi.xlsx
UData = xlsread('U-Kostologisi.xlsx', 2, 'E4:G87');

%Εκχώρηση σταθερών ποσοστών συντήρησης
ENVELOP_maintenance = 0.03;      %Συντήρηση Κελύφους
Heat_Inv_maintenance = 0.05;    %Συντήρηση Συστ. Θέρμανσης

```



```

Cool_Inv_maintenance = 0.05;           %Συντήρηση Συστ. Ψύξης
Solar_Inv_maintenance = 0.03;         %Συντήρηση Ηλιακού Συλλέκτη
Photovoltaic_Inv_maintenance = 0.02; %Συντήρηση Φωτοβολταϊκού Συστ.
Mech_Vent_Inv_maintenance = 0.05;     %Συντήρηση Συστ. Μηχανικού Αερισμού

%Δήλωση παγκόσμιων μεταβλητών

global runum UWallCosts URoofCosts UPilotiCosts UWindowCosts UIndices
Heat_Inv_Tab V_Airflow D_Temp_Heat P_people P_internal CLTD GLF D_Temp_Cool
Energy_Costs ann_energy_price_incr_rate interest_rate Maintenance

runum = 0; %Μετρητής ατομικών επαναλήψεων

%Εξαγωγή τιμών U και κόστους
UWallCosts = UData(1:18, :);
URoofCosts = UData(23:40, :);
UPilotiCosts = UData(67:84, :);
UWindowCosts = xlsread('U-Kostologisi.xlsx', 3, 'A31:B36');

UIndices = (1:5:16); %Παραμετρική επιλογή πλήθους επιλογών U τοίχων

% Ρύθμιση σταθερών φορτίου θέρμανσης και ψύξης
Heat_Inv_Tab = xlsread('intervention_cost.xlsx', 8, 'A4:O53'); %Ανάγνωση
κόστους επένδυσης συστ. Θέρμανσης/ψύξης
V_Airflow = 60; %Συνολική προσαγωγή νεπού αέρα [m^3/h]
D_Temp_Heat = 23; %Διαφορά θερμοκρασίας για διαστασιολόγηση του συστήματος
θέρμανσης [°C]
P_people = 4*80*0.75; %Εκλυόμενη θερμότητα φυσικών προσώπων [W]
P_internal = 2*80*0.75; %Εσωτερικά φορτία [W]
CLTD = [9 17 15 13 7]; %Μέση θερμοκρασιακή διαφορά ψυκτικού φορτίου μέσω
αδιαφανών στοιχείων [°C]
GLF = [82 200 250 148 378]; %Παράγοντας φορτίου υαλοπίνακα σε [W/m^2]
D_Temp_Cool = 10; %Διαφορά θερμοκρασίας για διαστασιολόγηση του συστήματος
Ψύξης [°C]

```

```

%Ανάγνωση τιμών ενέργειας
Energy_Costs = xlsread('energy_cost.xlsx',1,'C3:C21');

ann_energy_price_incr_rate = 0.028; %Ετήσιος ρυθμός αύξησης των τιμών
ενέργειας

interest_rate = 0.07; %Ετήσιο επιτόκιο

Maintenance = [ENVELOP_maintenance Heat_Inv_maintenance
Cool_Inv_maintenance Solar_Inv_maintenance Photovoltaic_Inv_maintenance
Mech_Vent_Inv_maintenance]; %Μητρώο συντηρήσεων

%Παραμετροποίηση και Κλήση Γενετικού Αλγορίθμου

%Σε αντίθεση με την εντολή [ga], εδώ δεν είναι δυνατή η επιλογή μόνο ακεραίων
αριθμών, οπότε και γίνεται στρογγυλοποίηση. Για το λόγο αυτό, τα όρια των
6 πρώτων μεταβλητών αυξάνονται κατά 1.

lb = [0 0 0 0 0 0 1 1 1];
ub = [6 6 6 8 8 5 2 2 2];

%Αντιστοίχιση μεταβλητών 1,2,3->Τοίχοι / 4->Υαλοπίνακες / 5->Συστ.
Θέρμανσης / 6-> Συστ. Ψύξης / 7->Ηλιακός συλλέκτης / 8->Φωτοβολταϊκό συστ.
/ 9->Συστ. Μηχανικού αερισμού

%Παραμετροποίηση Γενετικού Αλγορίθμου

options =
optimoptions('gamultiobj','ParetoFraction',0.5,'MaxStallGenerations',10,'C
rossoverFcn',@crossover_scattered,'MutationFcn',{@mutationadaptfeasible,0.0
2},'FunctionTolerance',1e-
3,'MaxGenerations',50,'PopulationSize',100,'PlotFcn',@gaplotpareto);

%Κλήση Γενετικού Αλγορίθμου στον κώδικα myMultiObjectiveFun.m

[x, fval, exitflag, output, population, scores] =
gamultiobj(@myMultiObjectiveFun,9, [], [], [], [], lb, ub, [], options);

%Απεικόνιση αποτελεσμάτων και αντιστοιχία χρωμάτων ανάλογα με την αναβάθμιση
του Κελύφους

PointsNum =50; %Αριθμός σημείων που επιστρέφει ο γενετικός αλγόριθμος

figure;

hold on;

for i=1:1:PointsNum

    %Τοίχοι

    switch round(x(i,1))

```

```

case 0 %U=0.757 μαύρο
    scatter(fval(i,1),fval(i,2),15,'ok','filled');
case 1 %U=0.757 μαύρο
    scatter(fval(i,1),fval(i,2),15,'ok','filled');
case 2 %U=0.353 γαλάζιο
    scatter(fval(i,1),fval(i,2),15,'oc','filled')
case 3 %U= 0.230 γκρι
    scatter(fval(i,1),fval(i,2),15,[0.7 0.7 0.7],'filled')
case 4 %U=0.170 κίτρινο
    scatter(fval(i,1),fval(i,2),15,'oy','filled')
case 5 %U=2.32 κόκκινο
    scatter(fval(i,1),fval(i,2),15,'or','filled');
case 6 %U=2.32 κόκκινο
    scatter(fval(i,1),fval(i,2),15,'or','filled');
end
%Οροφή
switch round(x(i,2))
case 0 %U=0.832 μαύρο
    scatter(fval(i,1),fval(i,2),40,'ok','LineWidth',3);
case 1 %U=0.832 μαύρο
    scatter(fval(i,1),fval(i,2),40,'ok','LineWidth',3);
case 2 %U=0.368 γαλάζιο
    scatter(fval(i,1),fval(i,2),40,'oc','LineWidth',3);
case 3 %U=0.236 γκρι
    scatter(fval(i,1),fval(i,2),40,[0.7 0.7 0.7],'LineWidth',3);
case 5 %U=1.95 κόκκινο
    scatter(fval(i,1),fval(i,2),40,'or','LineWidth',3);
case 6 %U=1.95 κόκκινο
    scatter(fval(i,1),fval(i,2),40,'or','LineWidth',3);
end

```

```

%Δάπεδο
switch round(x(i,3))
    case 0 %U=0.771 μαύρο
        scatter(fval(i,1),fval(i,2),100,'ok','LineWidth',2);
    case 1 %U=0.771 μαύρο
        scatter(fval(i,1),fval(i,2),100,'ok','LineWidth',2);
    case 2 %U=0.356 γαλάζιο
        scatter(fval(i,1),fval(i,2),100,'oc','LineWidth',2);
    case 3 %U=0.231 γκρι
        scatter(fval(i,1),fval(i,2),100,[0.7 0.7 0.7],'LineWidth',2);
    case 5 %U=0.87 κόκκινο
        scatter(fval(i,1),fval(i,2),100,'or','LineWidth',2);
    case 6 %U=0.87 κόκκινο
        scatter(fval(i,1),fval(i,2),100,'or','LineWidth',2);
end
%Υαλοπίνακες
switch round(x(i,4))
    case 0 %U=2.50 μαύρο
        scatter(fval(i,1),fval(i,2),180,'ok','LineWidth',2);
    case 1 %U=2.50 μαύρο
        scatter(fval(i,1),fval(i,2),180,'ok','LineWidth',2);
    case 2 %U=2.30 γαλάζιο
        scatter(fval(i,1),fval(i,2),180,'oc','LineWidth',2);
    case 3 %U=2.00 γκρι
        scatter(fval(i,1),fval(i,2),180,[0.7 0.7 0.7],'LineWidth',2);
    case 4 %U=1.80 κίτρινο
        scatter(fval(i,1),fval(i,2),180,'oy','LineWidth',2);
    case 5 %U=1.50 μπλε
        scatter(fval(i,1),fval(i,2),180,'ob','LineWidth',2);
    case 6 %U=1.30 πράσινο

```

```

scatter(fval(i,1),fval(i,2),180,'og','LineWidth',2);
case 7 %U=4.25 κόκκινο
scatter(fval(i,1),fval(i,2),180,'or','LineWidth',2);
case 8 %U=4.25 κόκκινο
scatter(fval(i,1),fval(i,2),180,'or','LineWidth',2);
end
end
hold off;
xlabel('PEC [kWh/m^2*y'],'FontName','Georgia'); %άξονας x
ylabel('LCC [€/m^2'],'FontName','Georgia'); %άξονας y
title('Optimum IP for SFH in Climate Zone C -
ENVELOP','FontName','Georgia'); %Τίτλος

%Απεικόνιση αποτελεσμάτων και αντιστοιχία χρωμάτων ανάλογα με την αναβάθμιση
Συστημάτων
PointsNum =50; %Αριθμός σημείων που επιστρέφει ο γενετικός αλγόριθμος
figure;
hold on;
for i=1:1:PointsNum
    %Συστήματα θέρμανσης
    switch round(x(i,5))
        case 0 %NCOB (υπάρχον) μαύρο
            scatter(fval(i,1),fval(i,2),15,'ok','filled');
        case 1 %NCOB (υπάρχον) μαύρο
            scatter(fval(i,1),fval(i,2),15,'ok','filled');
        case 2 %NGB γαλάζιο
            scatter(fval(i,1),fval(i,2),15,'oc','filled');
        case 3 %Biomass B γκρι
            scatter(fval(i,1),fval(i,2),15,[0.7 0.7 0.7],'filled');
        case 4 %HTHP κίτρινο
            scatter(fval(i,1),fval(i,2),15,'oy','filled');
    end
end

```

```

case 5 %GHP καφέ
    scatter(fval(i,1),fval(i,2),15,[0.6 0.4 0.2], 'filled');
case 6 %LTHP & FC κόκκινο
    scatter(fval(i,1),fval(i,2),15, 'or', 'filled');
case 7 %GHP & FC πράσινο
    scatter(fval(i,1),fval(i,2),15, 'og', 'filled');
case 8 %GHP & FC πράσινο
    scatter(fval(i,1),fval(i,2),15, 'og', 'filled');
end

%Συστήματα Ψύξης
switch round(x(i,6))
case 0 %HP & CSU (υπάρχον) μαύρο
    scatter(fval(i,1),fval(i,2),40, 'ok', 'LineWidth', 3);
case 1 %HP & CSU (υπάρχον) μαύρο
    scatter (fval(i,1),fval(i,2),40, 'ok', 'LineWidth', 3);
case 2 %LTHP & FC κόκκινο
    scatter(fval(i,1),fval(i,2),40, 'or', 'LineWidth', 3);
case 3 %GHP & FC πράσινο
    scatter(fval(i,1),fval(i,2),40, 'og', 'LineWidth', 3);
case 4 %HP & MSU γκρι
    scatter(fval(i,1),fval(i,2),40,[0.7 0.7 0.7], 'LineWidth', 3);
case 5 %HP & MSU γκρι
    scatter(fval(i,1),fval(i,2),40,[0.7 0.7 0.7], 'LineWidth', 3);
end

%Ηλιακός συλλέκτης
if round(x(i,7)) == 2 %ροζ
    scatter(fval(i,1),fval(i,2),100, 'om', 'LineWidth', 2);
end

%Φωτοβολταϊκό Σύστημα
if round(x(i,8)) == 2 %κίτρινο

```

```

scatter(fval(i,1),fval(i,2),180,'oy','LineWidth',2);
end
%Σύστημα Μηχανικού Αερισμού
if round(x(i,9)) == 2 %μπλε
    scatter(fval(i,1),fval(i,2),280,'ob','LineWidth',2);
end
end
hold off;
xlabel('PEC [kWh/m2*y]'); %άξονας x
ylabel('LCC [€/m2]'); %άξονας y
title('Optimum IP for SFH in Climate Zone C - SYSTEMS'); %Τίτλος

```

5.2.2 Κώδικας (myMultiObjectiveFun.m) συγχώνευσης των δύο αντικειμενικών συναρτήσεων

```

function objectives = myMultiObjectiveFun(x)
    %Κλήση κοινού αρχείου υπολογισμού για τις δύο αντικειμενικές συναρτήσεις
    [PEC,LCC] = my_multiobj_fun(x);

    %Σύζευξη σε ένα μητρώο
    objectives = [PEC,LCC];
end

```

5.2.3 Κώδικας (my_multiobj_fun.m) επεξεργασίας αρχείων εισόδου/εξόδου και εκτέλεσης Λογισμικού TEE KENAK

```

function [PEC,LCC] = my_multiobj_fun(x)

%Δήλωση παγκόσμιων μεταβλητών
global runum UWallCosts URoofCosts UPilotiCosts UWindowCosts UIndices
Heat_Inv_Tab V_Airflow D_Temp_Heat P_people P_internal CLTD GLF D_Temp_Cool
Energy_Costs ann_energy_price_incr_rate interest_rate Maintenance

runum = runum +1/100 %Μετρητής γενιών

```

`%Στρογγυλοποίηση μεταβλητών`

```
x(1) = round(x(1));  
x(2) = round(x(2));  
x(3) = round(x(3));  
x(4) = round(x(4));  
x(5) = round(x(5));  
x(6) = round(x(6));  
x(7) = round(x(7));  
x(8) = round(x(8));  
x(9) = round(x(9));
```

`%Διόρθωση ορίων`

```
x(x == 0) = 1;  
if x(1) == 6  
    x(1) = 5;  
end  
if x(2) == 6  
    x(2) = 5;  
end  
if x(3) == 6  
    x(3) = 5;  
end  
if x(4) == 8  
    x(4) = 7;  
end  
if x(5) == 8  
    x(5) = 7;
```



```

end

if x(6) == 5

    x(6) = 4;

end

%Εκχώρηση Συντελεστών U [W/m²K] και αντίστοιχου κόστους επένδυσης σε [€/m²]
στις 4 μεταβλητές του κελύφους

if x(1)==5

    UWall = 2.32;
    UWallCost = 0;

else

    UWall = UWallCosts(UIndices(1, x(1)), 3);
    UWallCost = UWallCosts(UIndices(1, x(1)), 1);

end

if x(2)==5

    URoof = 1.95;
    URoofCost = 0;

else

    URoof = URoofCosts(UIndices(1, x(2)), 3);
    URoofCost = URoofCosts(UIndices(1, x(2)), 1);

end

if x(3)==5

    UPiloti = 0.87;
    UPilotiCost = 0;

else

    UPiloti = UPilotiCosts(UIndices(1, x(3)), 3);
    UPilotiCost = UPilotiCosts(UIndices(1, x(3)), 1);

end

```

%Αποκλεισμός μη εξετασμένων σεναρίων με την εκχώρηση μεγάλων τιμών αντικειμενικών συναρτήσεων

```

if x(5)==6 && x(6)==3
    LCC = 100000;
    PEC = 100000;
    return;
end
if x(5)==7 && x(6)==2
    LCC = 100000;
    PEC = 100000;
    return;
end
if (x(5) == 6 || x(5) == 7) && (x(6) == 1 || x(6) == 4 )
    LCC = 100000;
    PEC = 100000;
    return;
end

if (x(5) == 1 || x(5) == 2 || x(5) == 3 || x(5) == 4 || x(5) == 5) &&
(x(6) == 2 || x(6) == 3)
    LCC = 100000;
    PEC = 100000;
    return;
end

```

%Σύνταξη των συντελεστών U [W/m²K] Τοίχων, Οροφής και Δαπέδου υπό την μορφή μεταβλητής κειμένου

```
OpaqueText = [UWall UWall UWall UWall URoof UPiloti 3.29];
```

```
OpaqueTextOneString = sprintf('%.04f,', OpaqueText);
```

%Αρχικοποίηση αρχείου εισόδου nomis_in.xml

```
xml_input_Doc_Initial = xmlread('nomis_in_origin.xml');
```

```
xmlwrite('nomis_in.xml', xml_input_Doc_Initial);
```

%Ανάγνωση αρχείου εισόδου και μεταβολή των συντελεστών U [W/m²K] Τοίχων, Οροφής και Δαπέδου στο προσωρινό αρχείο

```
xml_input_Doc = xmlread('nomis_in.xml');
```

```
xml_input_Doc.getElementsByTagName('opaque_column6').item(0).setTextContent(OpaqueTextOneString);
```

%Σύνταξη των συντελεστών U [W/m²K] Υαλοπινάκων υπό την μορφή μεταβλητής κειμένου

```
TransparentText = repmat(UWindow, 1, 9);
```

```

TransparentTextOneString = sprintf('%.04f,', TransparentText);

%Μεταβολή των συντελεστών U [W/m²K] υαλοπινάκων στο προσωρινό αρχείο
xml_input_Doc.getElementsByTagName('transparent_column7').item(0).setTextContent(TransparentTextOneString);

%Εισαγωγή συντελεστών U [W/m²K] στο αρχείο εισόδου
xmlwrite('nomis_in.xml', xml_input_Doc);

%Ανάγνωση και πινακοποίηση του αρχείου εισόδου
XMLfile_input = 'nomis_in.xml';
input_Struct = parseXML(XMLfile_input);

%Ανάγνωση αδιαφανών επιφανειών σε [m²]
Opaque_Surfaces_Text = input_Struct.Children(6).Children(70).Children(32).Children(12).Children.Data;
split_Opaque_Values = strsplit(Opaque_Surfaces_Text, ',');
Opaque_Surfaces = str2double(split_Opaque_Values);
Opaque_Surfaces(1,8) = 0;

%Ανάγνωση αδιαφανών επιφανειών σε [m²]
Transparent_Surfaces_Text = input_Struct.Children(6).Children(70).Children(32).Children(64).Children.Data;
split_Transparent_Values = strsplit(Transparent_Surfaces_Text, ',');
Transparent_Surfaces = str2double(split_Transparent_Values);
Transparent_Surfaces(1,10) = 0;

%Υπολογισμός συνολικής επιφάνειας A σε [m²]
Total_Surface = sum(Transparent_Surfaces)+sum(Opaque_Surfaces);

%Υπολογισμός μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας για το σύνολο της επιφάνειας A [W/m²K]

```

```

U_mean =
((Opaque_Surfaces(1,1)+Opaque_Surfaces(1,2)+Opaque_Surfaces(1,3)+Opaque_Surfaces(1,4))*UWall +...
    Opaque_Surfaces(1,5)*URoof + Opaque_Surfaces(1,6)*UPiloti +
    Opaque_Surfaces(1,7)*3.29 +...
    sum(Transparent_Surfaces)*UWindow)/Total_Surface;

```

%Υπολογισμός απαιτούμενων θερμικών φορτίων εκτός της υπάρχουσας τεχνολογίας

```
if x(5)~=1
```

```

    P_gen_Heat = ((Total_Surface * U_mean * 1.5 + V_Airflow/3) *
    D_Temp_Heat)/1000; % [kW]

```

```

    if P_gen_Heat < 20 %Επιβολή κατώτατου ορίου θερμικής ισχύος

```

```

        P_gen_Heat = 20;

```

```

    end

```

%Σύνταξη μεταβλητής ισχύος σε μορφή κειμένου

```

    P_gen_Heat_Text = [num2str(P_gen_Heat), ',,'];

```

```

    production_column3_Text = P_gen_Heat_Text;

```

```

    distribution_column2_Text = P_gen_Heat_Text;

```

%Μεταβολή προσωρινού αρχείου

```

xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column3').item(0).setTextContent(production_column3_Text);

```

```

xml_input_Doc.getElementsByTagName('distribution_column2').item(0).setTextContent(distribution_column2_Text);

```

```

end

```

%Υπολογισμός απαιτούμενων ψυκτικών φορτίων εκτός της υπάρχουσας τεχνολογίας

```
if x(6)~=1
```

```

    P_gen_Cool = (U_mean*Opaque_Surfaces(1,1)*CLTD(1,1)+...

```

```

    U_mean*Opaque_Surfaces(1,2)*CLTD(1,3)+...

```

```

    U_mean*Opaque_Surfaces(1,3)*CLTD(1,2)+...

```

```

    U_mean*Opaque_Surfaces(1,4)*CLTD(1,2)+...

```

```

    U_mean*Opaque_Surfaces(1,5)*CLTD(1,4)+...

```

```

U_mean*Opaque_Surfaces(1,6)*CLTD(1,5)+...
U_mean*Opaque_Surfaces(1,7)*CLTD(1,3)+...
Transparent_Surfaces(1,1)*GLF(1,1)+...
Transparent_Surfaces(1,2)*GLF(1,1)+...
Transparent_Surfaces(1,3)*GLF(1,1)+...
Transparent_Surfaces(1,4)*GLF(1,2)+...
Transparent_Surfaces(1,5)*GLF(1,2)+...
Transparent_Surfaces(1,6)*GLF(1,4)+...
Transparent_Surfaces(1,7)*GLF(1,4)+...
Transparent_Surfaces(1,8)*GLF(1,3)+...
Transparent_Surfaces(1,9)*GLF(1,3)+ P_people + P_internal +
V_Airflow*D_Temp_Cool/3)/1000; % [kW]

%Σύνταξη μεταβλητής ισχύος σε μορφή κειμένου
P_gen_Cool_Text = [num2str(P_gen_Cool), ',,'];
production_column3_Text = P_gen_Cool_Text;
distribution_column2_Text = P_gen_Cool_Text;

%Μεταβολή προσωρινού αρχείου

xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column3').item(1).setTextCo
ntent(production_column3_Text);

xml_input_Doc.getElementsByTagName('distribution_column2').item(1).setText
Content(distribution_column2_Text);

end

%Ανάγνωση Θερμαινόμενων και ψυχόμενων επιφανειών από αρχείο εισόδου
Heating_Area_Text = input_Struct.Children(6).Children(4).Children.Data;
Heating_Area = str2double(Heating_Area_Text);
Cooling_Area_Text = input_Struct.Children(6).Children(6).Children.Data;
Cooling_Area = str2double(Cooling_Area_Text);

```

```

%Υπολογισμός κόστους επένδυσης αδιαφανών επιφανειών σε [€]

Opaque_cost =
(Opaque_Surfaces(1,1)+Opaque_Surfaces(1,2)+Opaque_Surfaces(1,3)+Opaque_Sur
faces(1,4))*UWallCost + Opaque_Surfaces(1,5)*URoofCost +
Opaque_Surfaces(1,6)*UPilotiCost;

%Υπολογισμός κόστους επένδυσης διαφανών επιφανειών σε [€]

Transparent_cost = sum(Transparent_Surfaces)*UWindowCost;

% Άθροιση κόστους επενδύσεων κελύφους [€]

ENVELOP_Inv = Opaque_cost + Transparent_cost;

%Μηδενισμός κόστους επένδυσης H/M συστημάτων

Heat_Inv = 0; %Επένδυση συστ. Θέρμανσης
Cool_Inv = 0; %Επένδυση συστ. Ψύξης
Solar_Inv = 0; %Επένδυση συστ. Ηλιακού συλλέκτη
Photovoltaic_Inv = 0; %Επένδυση φωτοβολταϊκού συστ.
Mech_Vent_Inv = 0; %Επένδυση συστ. Μηχανικού αερισμού
Start_Cost = 0; %Αρχικό κόστος επένδυσης

%Εκλογή σεναρίου Συστήματος θέρμανσης και μεταβολή προσωρινού αρχείου
switch x(5)
    case 1 %NCOB (υπάρχον)
        production_column1_Text = 'Λέβητας,'; %Τύπος
        production_column2_Text = 'Fuel oil,'; %Πηγή ενέργειας
        production_column3_Text = '30,,,'; %Ισχύς [kW]
        production_column4_Text = '0.75'; %Βαθμός απόδοσης
        dhw_production_column4_Text = '1'; %Βαθμός απόδοσης λέβητα ZNX
        production_column5_Text = '1'; %COP
        distribution_rows_Text = '2';
        distribution_column2_Text = '30,,,'; %Ισχύς δικτύου διανομής
        distribution_column6_Text = '0.97,,,'; %Βαθμός απόδοσης δικτύου
        διανομής
    
```

```

        termatic_column1_Text = 'Θερμαντικά Σώματα, '; %Τύπος τερματικών
μονάδων
        termatic_column2_Text = '0.9308'; %Βαθμός απόδοσης τερματικών
μονάδων

%Μεταβολή προσωρινού αρχείου
xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column1').item(0).setTextCo
ntent(production_column1_Text);

xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column2').item(0).setTextCo
ntent(production_column2_Text);

xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column3').item(0).setTextCo
ntent(production_column3_Text);

xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column4').item(0).setTextCo
ntent(production_column4_Text);

xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column4').item(3).setTextCo
ntent(dhw_production_column4_Text);%dhw

xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column5').item(0).setTextCo
ntent(production_column5_Text);

xml_input_Doc.getElementsByTagName('distribution_rows').item(0).setTextCon
tent(distribution_rows_Text);

xml_input_Doc.getElementsByTagName('distribution_column2').item(0).setText
Content(distribution_column2_Text);

xml_input_Doc.getElementsByTagName('distribution_column6').item(0).setText
Content(distribution_column6_Text);

xml_input_Doc.getElementsByTagName('termatic_column1').item(0).setTextCont
ent(termatic_column1_Text);

xml_input_Doc.getElementsByTagName('termatic_column2').item(0).setTextCont
ent(termatic_column2_Text);

case 2 %NGB
        production_column1_Text = 'Λέβητας, '; %Τύπος
        production_column2_Text = 'Natural gas, ';%Πηγή ενέργειας

```

```

production_column4_Text = '1.08, ';      %Βαθμός απόδοσης
dhw_production_column4_Text = '1, ';     %Βαθμός απόδοσης λέβητα ZNX
production_column5_Text = '1';          %COP
distribution_rows_Text = '2';

distribution_column6_Text = '0.97,, ';  %Βαθμός απόδοσης δικτύου
διαανομής

termatic_column1_Text = 'Θερμαντικά Σώματα, '; %Τύπος τερματικών
μονάδων
termatic_column2_Text = '0.9308';      %Βαθμός απόδοσης τερματικών
μονάδων

%Μεταβολή                                προσωρινού                                αρχείου
xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column1').item(0).setTextCo
ntent(production_column1_Text);

xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column1').item(3).setTextCo
ntent(production_column1_Text); %dhw

xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column2').item(0).setTextCo
ntent(production_column2_Text);

xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column2').item(3).setTextCo
ntent(production_column2_Text); %dhw

xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column4').item(0).setTextCo
ntent(production_column4_Text);

xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column4').item(3).setTextCo
ntent(dhw_production_column4_Text); %dhw

xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column5').item(0).setTextCo
ntent(production_column5_Text);

xml_input_Doc.getElementsByTagName('distribution_rows').item(0).setTextCon
tent(distribution_rows_Text);

xml_input_Doc.getElementsByTagName('distribution_column6').item(0).setText
Content(distribution_column6_Text);

```



```
xml_input_Doc.getElementsByTagName('termatic_column1').item(0).setTextContent(
termatic_column1_Text);
```

```
xml_input_Doc.getElementsByTagName('termatic_column2').item(0).setTextContent(
termatic_column2_Text);
```

%Υπολογισμός αρχικού κόστους και κόστους μεμονωμένης παρέμβασης [€]

```
for h=1:1:50
```

```
    if round(P_gen_Heat-Heat_Inv_Tab(h,1))==0
```

```
        Heat_Inv = Heat_Inv_Tab(h,2)+Heat_Inv_Tab(h,14);
```

```
        Start_Cost = Start_Cost + Heat_Inv_Tab(h,3);
```

```
        break;
```

```
    end
```

```
end
```

```
case 3 %Biomass B
```

```
production_column1_Text = 'Λέβητας,'; %Τύπος
```

```
production_column2_Text = 'Biomass,'; %Πηγή ενέργειας
```

```
production_column4_Text = '0.82,'; %Βαθμός απόδοσης
```

```
dhw_production_column4_Text = '0.75,'; %Βαθμός απόδοσης λέβητα ΖΝΧ
```

```
production_column5_Text = '1'; %COP
```

```
distribution_rows_Text = '2';
```

```
distribution_column6_Text = '0.97,,,'; %Βαθμός απόδοσης δικτύου
διανομής
```

```
termatic_column1_Text = 'Θερμαντικά Σώματα,'; %Τύπος τερματικών
μονάδων
```

```
termatic_column2_Text = '0.9308'; %Βαθμός απόδοσης τερματικών
μονάδων
```

```
%Μεταβολή προσωρινού αρχείου
xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column1').item(0).setTextContent(
production_column1_Text);
```

```
xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column1').item(3).setTextContent(
production_column1_Text);%dhw
```

```
xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column2').item(0).setTextContent(production_column2_Text);
```

```
xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column2').item(3).setTextContent(production_column2_Text);%dhw
```

```
xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column4').item(0).setTextContent(production_column4_Text);
```

```
xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column4').item(3).setTextContent(dhw_production_column4_Text);%dhw
```

```
xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column5').item(0).setTextContent(production_column5_Text);
```

```
xml_input_Doc.getElementsByTagName('distribution_rows').item(0).setTextContent(distribution_rows_Text);
```

```
xml_input_Doc.getElementsByTagName('distribution_column6').item(0).setTextContent(distribution_column6_Text);
```

```
xml_input_Doc.getElementsByTagName('termatic_column1').item(0).setTextContent(termatic_column1_Text);
```

```
xml_input_Doc.getElementsByTagName('termatic_column2').item(0).setTextContent(termatic_column2_Text);
```

%Υπολογισμός αρχικού κόστους και κόστους μεμονωμένης παρέμβασης [€]

```
for h=1:1:50
    if round(P_gen_Heat-Heat_Inv_Tab(h,1))==0
        Heat_Inv = Heat_Inv_Tab(h,4)+Heat_Inv_Tab(h,14);
        Start_Cost = Start_Cost + Heat_Inv_Tab(h,5);
        break;
    end
end
case 4 %HTHP

production_column1_Text = 'Τοπική αερόψυκτη Α.Θ.,'; %Τύπος
```

```

dhw_production_column1_Text = 'Αντλία Θερμότητας (Α.Θ.),'; %Τύπος
ZNX
production_column2_Text = 'Electricity, '; %Πηγή ενέργειας
production_column4_Text = '1, '; %Βαθμός απόδοσης
dhw_production_column4_Text = '2, '; %Βαθμός απόδοσης λέβητα ZNX
production_column5_Text = '2, '; %COP
distribution_rows_Text = '2';
distribution_column6_Text = '0.97,, '; %Βαθμός απόδοσης δικτύου
διανομής
termatic_column1_Text = 'Θερμαντικά Σώματα, '; %Τύπος τερματικών
μονάδων
termatic_column2_Text = '0.9308'; %Βαθμός απόδοσης τερματικών
μονάδων

%Μεταβολή προσωρινού αρχείου
xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column1').item(0).setTextCo
ntent(production_column1_Text);

xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column1').item(3).setTextCo
ntent(dhw_production_column1_Text);%dhw

xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column2').item(0).setTextCo
ntent(production_column2_Text);

xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column2').item(3).setTextCo
ntent(production_column2_Text);%dhw

xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column4').item(0).setTextCo
ntent(production_column4_Text);

xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column4').item(3).setTextCo
ntent(dhw_production_column4_Text);%dhw

xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column5').item(0).setTextCo
ntent(production_column5_Text);

xml_input_Doc.getElementsByTagName('distribution_rows').item(0).setTextCon
tent(distribution_rows_Text);

```

```
xml_input_Doc.getElementsByTagName('distribution_column6').item(0).setTextContent(distribution_column6_Text);
```

```
xml_input_Doc.getElementsByTagName('termatic_column1').item(0).setTextContent(termatic_column1_Text);
```

```
xml_input_Doc.getElementsByTagName('termatic_column2').item(0).setTextContent(termatic_column2_Text);
```

%Υπολογισμός αρχικού κόστους και κόστους μεμονωμένης παρέμβασης [€]

```
for h=1:1:50
    if round(P_gen_Heat-Heat_Inv_Tab(h,1))==0
        Heat_Inv = Heat_Inv_Tab(h,6)+Heat_Inv_Tab(h,14);
        Start_Cost = Start_Cost + Heat_Inv_Tab(h,7);
        break;
    end
end
case 5 %GHP
    production_column1_Text = 'Γεωθερμική Α.Θ. με οριζόντιο
εναλλάκτη, '; %Τύπος
    dhw_production_column1_Text = 'Αντλία Θερμότητας (Α.Θ.), '; %Τύπος
ZNX
    production_column2_Text = 'Electricity, '; %Πηγή ενέργειας
    production_column4_Text = '1, '; %Βαθμός απόδοσης
    dhw_production_column4_Text = '3, '; %Βαθμός απόδοσης λέβητα ZNX
    production_column5_Text = '5.1, '; %COP
    distribution_rows_Text = '2';
    distribution_column6_Text = '0.97,, '; %Βαθμός απόδοσης δικτύου
διανομής
    termatic_column1_Text = 'Θερμαντικά Σώματα, '; %Τύπος τερματικών
μονάδων
    termatic_column2_Text = '0.9308'; %Βαθμός απόδοσης τερματικών
μονάδων
```

```

%Μεταβολή προσωρινού αρχείου
xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column1').item(0).setTextContent(production_column1_Text);

xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column1').item(3).setTextContent(dhw_production_column1_Text);%dhw

xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column2').item(0).setTextContent(production_column2_Text);

xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column2').item(3).setTextContent(production_column2_Text);%dhw

xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column4').item(0).setTextContent(production_column4_Text);

xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column4').item(3).setTextContent(dhw_production_column4_Text);%dhw

xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column5').item(0).setTextContent(production_column5_Text);

xml_input_Doc.getElementsByTagName('distribution_rows').item(0).setTextContent(distribution_rows_Text);

xml_input_Doc.getElementsByTagName('distribution_column6').item(0).setTextContent(distribution_column6_Text);

xml_input_Doc.getElementsByTagName('termatic_column1').item(0).setTextContent(termatic_column1_Text);

xml_input_Doc.getElementsByTagName('termatic_column2').item(0).setTextContent(termatic_column2_Text);

%Υπολογισμός αρχικού κόστους και κόστους μεμονωμένης παρέμβασης [€]
for h=1:1:50
    if round(P_gen_Heat-Heat_Inv_Tab(h,1))==0
        Heat_Inv = Heat_Inv_Tab(h,8)+Heat_Inv_Tab(h,14);
        Start_Cost = Start_Cost + Heat_Inv_Tab(h,9);
        break;
    end
end

```

```

end

case 6 %LTHP & FC

production_column1_Text = 'Τοπική αερόψυκτη Α.Θ.,'; %Τύπος
dhw_production_column1_Text = 'Αντλία Θερμότητας (Α.Θ.),'; %Τύπος
ZNX

production_column2_Text = 'Electricity,'; %Πηγή ενέργειας
production_column4_Text = '1,'; %Βαθμός απόδοσης
dhw_production_column4_Text = '2,'; %Βαθμός απόδοσης λέβητα ZNX
production_column5_Text = '2.5,'; %COP
distribution_rows_Text = '2';

distribution_column6_Text = '0.97,,,'; %Βαθμός απόδοσης δικτύου
διαανομής

termatic_column1_Text = 'FAN COIL UNIT,'; %Τύπος τερματικών μονάδων
termatic_column2_Text = '0.9308'; %Βαθμός απόδοσης τερματικών
μονάδων

%Μεταβολή προσωρινού αρχείου
xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column1').item(0).setTextCo
ntent(production_column1_Text);

xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column1').item(3).setTextCo
ntent(dhw_production_column1_Text);%dhw

xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column2').item(0).setTextCo
ntent(production_column2_Text);

xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column2').item(3).setTextCo
ntent(production_column2_Text);%dhw

xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column4').item(0).setTextCo
ntent(production_column4_Text);

xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column4').item(3).setTextCo
ntent(dhw_production_column4_Text);%dhw

xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column5').item(0).setTextCo
ntent(production_column5_Text);

```

```
xml_input_Doc.getElementsByTagName('distribution_rows').item(0).setTextContent(distribution_rows_Text);
```

```
xml_input_Doc.getElementsByTagName('distribution_column6').item(0).setTextContent(distribution_column6_Text);
```

```
xml_input_Doc.getElementsByTagName('termatic_column1').item(0).setTextContent(termatic_column1_Text);
```

```
xml_input_Doc.getElementsByTagName('termatic_column2').item(0).setTextContent(termatic_column2_Text);
```

%Υπολογισμός αρχικού κόστους και κόστους μεμονωμένης παρέμβασης

```
for h=1:1:50
    if round(P_gen_Heat-Heat_Inv_Tab(h,1))==0
        Heat_Inv = Heat_Inv_Tab(h,10)+Heat_Inv_Tab(h,15);
        Start_Cost = Start_Cost + Heat_Inv_Tab(h,11);
        break;
    end
end
case 7 %GHP & FC
    production_column1_Text = 'Γεωθερμική Α.Θ. με οριζόντιο
εναλλάκτη, '; %Τύπος
    dhw_production_column1_Text = 'Αντλία Θερμότητας (Α.Θ.), '; %Τύπος
ZNX
    production_column2_Text = 'Electricity, '; %Πηγή ενέργειας
    production_column4_Text = '1, '; %Βαθμός απόδοσης
    dhw_production_column4_Text = '3, '; %Βαθμός απόδοσης λέβητα ZNX
    production_column5_Text = '5.3, '; %COP
    distribution_rows_Text = '2';
    distribution_column6_Text = '0.97,, '; %Βαθμός απόδοσης δικτύου
διανομής
    termatic_column1_Text = 'FAN COIL UNIT, '; %Τύπος τερματικών μονάδων
    termatic_column2_Text = '0.9308'; %Βαθμός απόδοσης τερματικών
μονάδων
```

```

%Μεταβολή                                προσωρινού                                αρχείου
xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column1').item(0).setTextCo
ntent(production_column1_Text);

xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column1').item(3).setTextCo
ntent(dhw_production_column1_Text);%dhw

xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column2').item(0).setTextCo
ntent(production_column2_Text);

xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column2').item(3).setTextCo
ntent(production_column2_Text);%dhw

xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column4').item(0).setTextCo
ntent(production_column4_Text);

xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column4').item(3).setTextCo
ntent(dhw_production_column4_Text);%dhw

xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column5').item(0).setTextCo
ntent(production_column5_Text);

xml_input_Doc.getElementsByTagName('distribution_rows').item(0).setTextCon
tent(distribution_rows_Text);

xml_input_Doc.getElementsByTagName('distribution_column6').item(0).setText
Content(distribution_column6_Text);

xml_input_Doc.getElementsByTagName('termatic_column1').item(0).setTextCont
ent(termatic_column1_Text);

xml_input_Doc.getElementsByTagName('termatic_column2').item(0).setTextCont
ent(termatic_column2_Text);

%Υπολογισμός αρχικού κόστους και κόστους μεμονωμένης παρέμβασης [€]
for h=1:1:50
    if round(P_gen_Heat-Heat_Inv_Tab(h,1))==0
        Heat_Inv = Heat_Inv_Tab(h,12)+Heat_Inv_Tab(h,15);
        Start_Cost = Start_Cost + Heat_Inv_Tab(h,13);
        break;
    end
end

```



```

        end
    end
end

%Εκλογή σεναρίου Συστήματος θέρμανσης και μεταβολή προσωρινού αρχείου
switch x(6)
    case 1 %HP & CSU
        production_column1_Text = 'Αερόψυκτη Α.Θ.,'; %Τύπος
        production_column2_Text = 'Electricity, '; %Πηγή ενέργειας
        production_column3_Text = '15.25, '; % Ισχύς [kW]
        production_column4_Text = '1, '; %Βαθμός απόδοσης
        production_column5_Text = '1.5'; %COP
        distribution_rows_Text = '2, ';
        distribution_column2_Text = '15.25, '; %Ισχύς δικτύου διανομή
        distribution_column4_Text = '1, '; %Βαθμός απόδοσης δικτύου διανομής
        termatic_column1_Text = 'CONV SPLIT UNIT, '; %Τύπος τερματικών
μονάδων
        termatic_column2_Text = '0.9308'; %Βαθμός απόδοσης τερματικών
μονάδων

%Μεταβολή προσωρινού αρχείου
xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column1').item(1).setTextCo
ntent(production_column1_Text);

xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column2').item(1).setTextCo
ntent(production_column2_Text);

xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column3').item(1).setTextCo
ntent(production_column3_Text);

xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column4').item(1).setTextCo
ntent(production_column4_Text);

xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column5').item(1).setTextCo
ntent(production_column5_Text);

```

```
xml_input_Doc.getElementsByTagName('distribution_rows').item(1).setTextContent(distribution_rows_Text);
```

```
xml_input_Doc.getElementsByTagName('distribution_column2').item(1).setTextContent(distribution_column2_Text);
```

```
xml_input_Doc.getElementsByTagName('distribution_column4').item(1).setTextContent(distribution_column4_Text);
```

```
xml_input_Doc.getElementsByTagName('termatic_column1').item(1).setTextContent(termatic_column1_Text);
```

```
xml_input_Doc.getElementsByTagName('termatic_column2').item(1).setTextContent(termatic_column2_Text);
```

```
case 2 %LTHP & FC
```

```
production_column1_Text = 'Αερόψυκτη Α.Θ.,'; %Τύπος
```

```
production_column2_Text = 'Electricity,'; %Πηγή ενέργειας
```

```
production_column4_Text = '1,'; %Βαθμός απόδοσης
```

```
production_column5_Text = '4.2'; %COP
```

```
distribution_rows_Text = '2,';
```

```
distribution_column4_Text = '1,'; %Βαθμός απόδοσης δικτύου διανομής
```

```
termatic_column1_Text = 'FAN COIL UNIT,'; %Τύπος τερματικών μονάδων
```

```
termatic_column2_Text = '0.9308'; %Βαθμός απόδοσης τερματικών μονάδων
```

```
%Μεταβολή προσωρινού αρχείου
xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column1').item(1).setTextContent(production_column1_Text);
```

```
xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column2').item(1).setTextContent(production_column2_Text);
```

```
xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column4').item(1).setTextContent(production_column4_Text);
```

```
xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column5').item(1).setTextContent(production_column5_Text);
```

```
xml_input_Doc.getElementsByTagName('distribution_rows').item(1).setTextContent(distribution_rows_Text);
```

```
xml_input_Doc.getElementsByTagName('distribution_column4').item(1).setTextContent(distribution_column4_Text);
```

```
xml_input_Doc.getElementsByTagName('termatic_column1').item(1).setTextContent(termatic_column1_Text);
```

```
xml_input_Doc.getElementsByTagName('termatic_column2').item(1).setTextContent(termatic_column2_Text);
```

%Υπολογισμός αρχικού κόστους και κόστους μεμονωμένης παρέμβασης [€]

```
for c=1:1:50
    if round(P_gen_Cool-Heat_Inv_Tab(c,1))==0
        Cool_Inv = Heat_Inv_Tab(c,10)+Heat_Inv_Tab(c,15);
        Start_Cost = Start_Cost + Heat_Inv_Tab(c,11);
        break;
    end
end

case 3 %GHP 7 FC
    production_column1_Text = 'Γεωθερμική Α.Θ. με οριζόντιο  
εναλλάκτη, '; %Τύπος
    production_column2_Text = 'Electricity, '; %Πηγή ενέργειας
    production_column4_Text = '1, '; %Βαθμός απόδοσης
    production_column5_Text = '4.5'; %COP
    distribution_rows_Text = '2, ';
    distribution_column4_Text = '1, '; %Βαθμός απόδοσης δικτύου διανομής
    termatic_column1_Text = 'FAN COIL UNIT, '; %Τύπος τερματικών μονάδων
    termatic_column2_Text = '0.9308'; %Βαθμός απόδοσης τερματικών  
μονάδων
```

```

%Μεταβολή                                προσωρινού                                αρχείου
xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column1').item(1).setTextCo
ntent(production_column1_Text);

xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column2').item(1).setTextCo
ntent(production_column2_Text);

xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column4').item(1).setTextCo
ntent(production_column4_Text);

xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column5').item(1).setTextCo
ntent(production_column5_Text);

xml_input_Doc.getElementsByTagName('distribution_rows').item(1).setTextCon
tent(distribution_rows_Text);

xml_input_Doc.getElementsByTagName('distribution_column4').item(1).setText
Content(distribution_column4_Text);

xml_input_Doc.getElementsByTagName('termatic_column1').item(1).setTextCont
ent(termatic_column1_Text);

xml_input_Doc.getElementsByTagName('termatic_column2').item(1).setTextCont
ent(termatic_column2_Text);

%Υπολογισμός αρχικού κόστους και κόστους μεμονωμένης παρέμβασης [€]
    for c=1:1:50
        if round(P_gen_Cool-Heat_Inv_Tab(c,1))==0
            Cool_Inv = Heat_Inv_Tab(c,12)+Heat_Inv_Tab(c,15);
            Start_Cost = Start_Cost + Heat_Inv_Tab(c,13);
            break;
        end
    end
case 4 %HP % MSU
    production_column1_Text = 'Αερόψυκτη Α.Θ.,'; %Τύπος
    production_column2_Text = 'Electricity, '; %Πηγή ενέργειας

```

```

production_column3_Text = '15.25, '; %Ισχύς [kW]
production_column4_Text = '1, '; %Βαθμός απόδοσης
production_column5_Text = '3.5'; %COP
distribution_rows_Text = '2, ';
distribution_column2_Text = '15.25, '; %Ισχύς [kW] ZNX
distribution_column4_Text = '1, '; %Βαθμός απόδοσης δικτύου διανομής
termatic_column1_Text = 'MOD SPLIT UNIT, '; %Τύπος τερματικών
μονάδων
termatic_column2_Text = '0.9308'; %Βαθμός απόδοσης τερματικών
μονάδων

%Μεταβολή προσωρινού αρχείου
xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column1').item(1).setTextCo
ntent(production_column1_Text);

xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column2').item(1).setTextCo
ntent(production_column2_Text);

xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column3').item(1).setTextCo
ntent(production_column3_Text);

xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column4').item(1).setTextCo
ntent(production_column4_Text);

xml_input_Doc.getElementsByTagName('production_column5').item(1).setTextCo
ntent(production_column5_Text);

xml_input_Doc.getElementsByTagName('distribution_rows').item(1).setTextCon
tent(distribution_rows_Text);

xml_input_Doc.getElementsByTagName('distribution_column2').item(1).setText
Content(distribution_column2_Text);

xml_input_Doc.getElementsByTagName('distribution_column4').item(1).setText
Content(distribution_column4_Text);

xml_input_Doc.getElementsByTagName('termatic_column1').item(1).setTextCont
ent(termatic_column1_Text);

```

```
xml_input_Doc.getElementsByTagName('termatic_column2').item(1).setTextContent(
termatic_column2_Text);
```

```
%Υπολογισμός αρχικού κόστους και κόστους μεμονωμένης παρέμβασης [€]
```

```
Cool_Inv = (P_gen_Cool/7.1)*1935.5;
```

```
end
```

```
%Διόρθωση κόστους στην περίπτωση ύπαρξης Fan Coils. Εκχώρηση μόνο του
Κόστους συστήματος θέρμανσης
```

```
if x(5) == 6 && x(6) == 2
```

```
Heat_Inv = Heat_Inv_Tab(h,10);
```

```
Start_Cost = Heat_Inv_Tab(h,11);
```

```
Cool_Inv = 0;
```

```
end
```

```
if x(5) == 7 && x(6) == 3
```

```
Heat_Inv = Heat_Inv_Tab(h,12)+Heat_Inv_Tab(h,15);
```

```
Start_Cost = Heat_Inv_Tab(h,13);
```

```
Cool_Inv = 0;
```

```
end
```

```
%Ηλιακός Συλλέκτης
```

```
if x(7) == 1
```

```
solar_collector_exists_Text = '0'; %Απουσία συστήματος
```

```
xml_input_Doc.getElementsByTagName('solar_collector_exists').item(0).setTextContent(
solar_collector_exists_Text);
```

```
else
```

```
solar_collector_exists_Text = '1'; %Υπαρξη συστήματος
```

```
xml_input_Doc.getElementsByTagName('solar_collector_exists').item(0).setTextContent(
solar_collector_exists_Text);
```

```
Solar_Inv = 850;
```

```
%Κόστος [€]
```

end

%Φωτοβολταϊκό Σύστημα

if x(8) == 1

Photovoltaic_exists_Text = '0'; %Απουσία συστήματος

xml_input_Doc.getElementsByTagName('blg_parameter29').item(0).setTextContent(Photovoltaic_exists_Text);

else

Photovoltaic_exists_Text = '1'; %Υπαρξη συστήματος

xml_input_Doc.getElementsByTagName('blg_parameter29').item(0).setTextContent(Photovoltaic_exists_Text);

Photovoltaic_Inv = 8000; %Κόστος [€]

end

%Mech_Vent

if x(9) == 1

Mech_Vent_exists_Text = '0'; %Απουσία συστήματος

xml_input_Doc.getElementsByTagName('ahu_exists').item(0).setTextContent(Mech_Vent_exists_Text);

else

Mech_Vent_exists_Text = '1'; %Υπαρξη συστήματος

xml_input_Doc.getElementsByTagName('ahu_exists').item(0).setTextContent(Mech_Vent_exists_Text);

Mech_Vent_Inv = 3600; %Κόστος [€]

end

%Εισαγωγή δεδομένων στο αρχείο εισόδου

```

xmlwrite('nomis_in.xml', xml_input_Doc);

%Εκτέλεση Προσομοίωσης
status = system('nomis.exe');

%Εξαγωγή και Πινακοποίηση αρχείων εξόδου3
XMLfile_res = 'runtime_project_res.xml';
output_Struct = parseXML(XMLfile_res);
XMLfile_res_PEC = 'runtime_project_add_res.xml';
output_PEC_Struct = parseXML(XMLfile_res_PEC);
res_PEC_text = output_PEC_Struct.Children(2).Children(8).Children(7).Children.Data;
%Ανάγνωση πρωτογενούς κατανάλωσης ενέργειας PEC [kWh/m2y]
PEC = str2double(res_PEC_text);

%Μηδενισμός και Ανάγνωση των επιμέρους καταναλώσεων [kWh/m2y]
Electricity_Consum_Text = '0'; %Ηλεκτρισμός
NatGas_Consum_Text = '0'; %Φυσικό Αέριο
Biomass_Consum_Text = '0'; %Βιομάζα
Fuel_oil_Consum_Text = '0'; %Πετρέλαιο Θέρμανσης
Source_1 = output_Struct(2).Children(4).Children(8).Children(4).Children(2).Children.Data;
switch Source_1
    case 'Electricity'
        Electricity_Consum_Text = output_Struct(2).Children(4).Children(8).Children(4).Children(15).Children.Data;
    case 'Natural gas'

```

³ Ανάλογα με το υπολογιστικό σύστημα ενδέχεται να χρειαστεί να προηγηθεί η εντολή [pause(1)] ώστε να επικαιροποιηθούν τα αρχεία εξόδου.


```

        NatGas_Consum_Text                                     =
output_Struct(2).Children(4).Children(8).Children(4).Children(15).Children
.Data;

        case 'Biomass'

            Biomass_Consum_Text                               =
output_Struct(2).Children(4).Children(8).Children(4).Children(15).Children
.Data;

        case 'Fuel oil'

            Fuel_oil_Consum_Text                             =
output_Struct(2).Children(4).Children(8).Children(4).Children(15).Children
.Data;

end

%Ελεγχος ύπαρξης 2ης πηγής ενέργειας
if numel(output_Struct) >= 2 && ...

    numel(output_Struct(2).Children) >= 4 && ...

    numel(output_Struct(2).Children(4).Children) >= 8 && ...

    numel(output_Struct(2).Children(4).Children(8).Children) >= 6 && ...

    numel(output_Struct(2).Children(4).Children(8).Children(2).Children) >=
2

    %Ανάγνωση εφόσον υπάρχει

        Source_2                                           =
output_Struct(2).Children(4).Children(8).Children(6).Children(2).Children.
Data;

        if ~isempty(Source_2)

            switch Source_2

                case 'Electricity'

                    Electricity_Consum_Text                 =
output_Struct(2).Children(4).Children(8).Children(6).Children(15).Children
.Data;

                    case 'Natural gas'

                        NatGas_Consum_Text                   =
output_Struct(2).Children(4).Children(8).Children(6).Children(15).Children
.Data;

                    case 'Biomass'

```

```

        Biomass_Consum_Text =
output_Struct(2).Children(4).Children(8).Children(6).Children(15).Children
.Data;

        case 'Fuel oil'

            Fuel_oil_Consum_Text =
output_Struct(2).Children(4).Children(8).Children(6).Children(15).Children
.Data;

        end

    end

end

Electricity_Consum = str2double(Electricity_Consum_Text); % [kWh/m2y]
NatGas_Consum = str2double(NatGas_Consum_Text); % [kWh/m2y]
Biomass_Consum = str2double(Biomass_Consum_Text); % [kWh/m2y]
Fuel_oil_Consum = str2double(Fuel_oil_Consum_Text); % [kWh/m2y]

%Αρχικοποίηση του Κόστους Κύκλου Ζωής LCC [€/m2 θερμαινόμενης επιφάνειας]
LCC = (ENVELOP_Inv + Heat_Inv + Cool_Inv + Solar_Inv + Photovoltaic_Inv +
Mech_Vent_Inv + Start_Cost)/Heating_Area;

%Αρχικοποίηση του Κόστους H/M συστημάτων και αναβαθμίσεων Κελύφους [€/m2
θερμαινόμενης επιφάνειας]
System_maintenance = (Heat_Inv*Maintenance(1,2) + Cool_Inv*Maintenance(1,3)
+ Solar_Inv*Maintenance(1,4) + Photovoltaic_Inv*Maintenance(1,5) +
Mech_Vent_Inv*Maintenance(1,6))/Heating_Area;

Envelop_maintenance = (ENVELOP_Inv*Maintenance(1,1))/Heating_Area;

%Αρχικοποίηση τιμών ενέργειας [€/kWh]
Energy_Prices = Energy_Costs;

%Υπολογισμός [€/kWh] Κόστους Κύκλου Ζωής LCC [€/m2 θερμαινόμενης επιφάνειας]
for i = 1:1:20 %20 έτη

    Energy_Prices = Energy_Prices *(1 + ann_energy_price_incr_rate);

    Annual_Energy_Cost = NatGas_Consum*Energy_Prices(1,1) +
Electricity_Consum*Energy_Prices(7,1) + Biomass_Consum*Energy_Prices(19,1)
+Fuel_oil_Consum*Energy_Prices(15,1) ;

```

```
LCC = LCC + (Envelop_maintenance + System_maintenance +  
Annual_Energy_Cost)*(1/(1+interest_rate))^i;
```

```
end
```

```
clearvars -except x PEC LCC %Διαγραφή υπόλοιπων μεταβλητών για αποφυγή  
κορεσμού της μνήμης RAM
```

```
end
```

6. Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Βασικά Γεωμετρικά και Τεχνικά Χαρακτηριστικά Κτιριακού Κελύφους	22
Πίνακας 2: Βασικά Γεωμετρικά και Τεχνικά Χαρακτηριστικά Υαλοπινάκων	23
Πίνακας 3: Η/Μ συστήματα Κτιρίου Αναφοράς	23
Πίνακας 4: Κατηγορίες αυτοματισμού [12]	24
Πίνακας 5: Συντελεστής θερμικής διαπερατότητας U [W/m^2K] κάθετων και οριζόντιων Τοίχων	25
Πίνακας 6: Συντελεστής θερμικής διαπερατότητας U [W/m^2K] υαλοπινάκων	26
Πίνακας 7: Επιλογές συστημάτων θέρμανσης [12]	27
Πίνακας 8: Μέγιστες τιμές πραγματικού βαθμού απόδοσης σε περίπτωση έλλειψης άλλων φ.ε και ενεργειακής σήμανσης [26]	27
Πίνακας 9: Επιλογές συστημάτων ψύξης [12]	28
Πίνακας 10: Αποδεκτοί συνδυασμοί συστημάτων θέρμανσης και ZNX με τα συστήματα ψύξης	29
Πίνακας 11: Συντελεστής αξιοποίησης ηλιακής ακτινοβολίας για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης σε κατοικίες [26]	30
Πίνακας 12: Βαθμός απόδοσης Φ/Β στοιχείων [26]	30
Πίνακας 13: Βέλτιστες κλίσεις φωτοβολταϊκών στοιχείων για διάφορα γεωγραφικά πλάτη στην Ελλάδα ανά περίοδο χρήσης [26]	31
Πίνακας 14: Συνολικά σενάρια ενεργειακών παρεμβάσεων	32
Πίνακας 15: Βασικές παράμετροι λογισμικού TEE-KENAK για τις ενεργειακές προσομοιώσεις του κτιρίου [26]	33
Πίνακας 16: Οικονομικές παραδοχές υπολογισμού κόστους κύκλου ζωής	36
Πίνακας 17: Οικονομικά δεδομένα κόστους αναβάθμισης κάθετων Τοίχων	37
Πίνακας 18: Οικονομικά δεδομένα κόστους αναβάθμισης Οροφής	37
Πίνακας 19: Οικονομικά δεδομένα κόστους αναβάθμισης Δαπέδου	37
Πίνακας 20: Οικονομικά δεδομένα κόστους αναβάθμισης Υαλοπινάκων	37
Πίνακας 21: Οικονομικά δεδομένα κόστους λέβητα φυσικού αερίου τεχνολογίας συμπύκνωσης για εγκατάσταση σε υφιστάμενο κτήριο [28]	38
Πίνακας 22: Οικονομικά δεδομένα κόστους λέβητα βιομάζας για εγκατάσταση σε υφιστάμενο κτήριο [28]	38
Πίνακας 23: Οικονομικά δεδομένα κόστους Α/Θ (Θέρμανσης / min 70 °C) για εγκατάσταση σε υφιστάμενο κτήριο [28]	39
Πίνακας 24: Οικονομικά δεδομένα κόστους γεωθερμικής Α/Θ για εγκατάσταση σε υφιστάμενο κτήριο [28]	39
Πίνακας 25: Οικονομικά δεδομένα κόστους κλιματιστικού διαιρούμενου τύπου (Split-Unit) σε υφιστάμενο [28]	40
Πίνακας 26: Οικονομικά δεδομένα κόστους εγκατάστασης διάφορων τερματικών μονάδων σε υφιστάμενο κτήριο [28]	40

Πίνακας 27: Οικονομικά δεδομένα κόστους ηλιοθερμικού συστήματος για παραγωγή ΖΝΧ (θερμοσιφωνικό σύστημα) σε υφιστάμενο κτήριο [28]	40
Πίνακας 28: Οικονομικά δεδομένα κόστους Φ/Β συστήματος σε υφιστάμενο κτήριο [28]	41
Πίνακας 29: Οικονομικά δεδομένα κόστους τοπικών συστημάτων μηχανικού αερισμού σε υφιστάμενο κτήριο [28]	41
Πίνακας 30: Τιμές ενέργειας συναρτήσει πρωτογενών πηγών [24]	41
Πίνακας 31: Συντελεστής θερμικής διαπερατότητας U [W/m ² K] Τοίχων και Υαλοπινάκων	52
Πίνακας 32: Επιλογές παραμετροποίησης Γενετικού αλγορίθμου	54
Πίνακας 33: Χρόνοι υπολογισμού και σενάρια που εξετάσθηκαν	66

7. Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1: Εκτίμηση ορίου βέλτιστου κόστους [12]	13
Σχήμα 2: Κλιματικές ζώνες και ετήσιες ημέρες θέρμανσης στην Ελλάδα [17], [18]	14
Σχήμα 3: Πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας (PEC) και κόστος κύκλου ζωής παρεμβάσεων σε κλιματική ζώνη Β και Γ χρονικής περιόδου πριν του 1980 [12].....	15
Σχήμα 4: Πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας (PEC) και κόστος κύκλου ζωής παρεμβάσεων σε κλιματική ζώνη Β και Γ χρονικής περιόδου 1980–2000 [12]	16
Σχήμα 5: Πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας (PEC) και κόστος κύκλου ζωής παρεμβάσεων σε κλιματική ζώνη Β και Γ, χρονικής περιόδου πριν του 1980 [24].....	17
Σχήμα 6: Ποιοτικό διάγραμμα ορίων κόστους κύκλου ζωής και nZEB,NZEB περιοχών	42
Σχήμα 7: Πληθυσμός, χρωμοσώματα και γονίδια [40].....	45
Σχήμα 8: Βασικές διεργασίες ενός γενετικού αλγορίθμου [36]	46
Σχήμα 9: Παράδειγμα της διαδικασίας διασταύρωσης και μετάλλαξης [36].....	48
Σχήμα 10: Διάγραμμα Ροής της βελτιστοποίησης.....	51
Σχήμα 11: Γενετικός αλγόριθμος μίας αντικειμενικής συνάρτησης στην κλιματική Ζώνη Γ (PEC).....	53
Σχήμα 12: Γενετικός αλγόριθμος πολλαπλών στόχων στην κλιματική Ζώνη Γ (LCC,PEC)....	55
Σχήμα 13: Γενετικός αλγόριθμος πολλαπλών στόχων στην κλιματική Ζώνη Α (LCC,PEC) ...	56
Σχήμα 14: Γενετικός αλγόριθμος πολλαπλών στόχων στην κλιματική Ζώνη Γ – Κτιριακό Κέλυφος (LCC,PEC)	58
Σχήμα 15: Γενετικός αλγόριθμος πολλαπλών στόχων στην κλιματική Ζώνη Γ – Η/Μ εξοπλισμός (LCC,PEC).....	58
Σχήμα 16: Γενετικός αλγόριθμος πολλαπλών στόχων στην κλιματική Ζώνη Α – Κτιριακό Κέλυφος (LCC,PEC)	61
Σχήμα 17: Γενετικός αλγόριθμος πολλαπλών στόχων στην κλιματική Ζώνη Α – Η/Μ εξοπλισμός (LCC,PEC).....	62
Σχήμα 18: Γενετικός αλγόριθμος πολλαπλών στόχων σε παράθεση με τον σειριακό αλγόριθμο στην κλιματική Ζώνη Γ.....	63
Σχήμα 19: Γενετικός αλγόριθμος πολλαπλών στόχων σε παράθεση με τον σειριακό αλγόριθμο στην κλιματική Ζώνη Α.....	64
Σχήμα 20: Σχετική απόκλιση (%) LCC μεταξύ γενετικού και σειριακού αλγορίθμου, κλιματική ζώνη Γ	65
Σχήμα 21: Σχετική απόκλιση (%) LCC μεταξύ γενετικού και σειριακού αλγορίθμου, κλιματική ζώνη Α.....	66

8. Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Δορυφορική εικόνα τοποθεσίας μονοκατοικίας, κλιματική ζώνη Γ [25]	20
Εικόνα 2: Δορυφορική εικόνα τοποθεσίας μονοκατοικίας, κλιματική ζώνη Α [25].....	20
Εικόνα 3: Τρισδιάστατες (3D) απόψεις του κτιρίου μονοκατοικίας	22
Εικόνα 4: Βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά στο λογισμικό TEE KENAK	43
Εικόνα 5: Βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά στο λογισμικό TEE KENAK	44
Εικόνα 6: Υπόμνημα εκλογής χρωμάτων – Κτιριακό Κέλυφος (LCC,PEC).....	59
Εικόνα 7: Υπόμνημα εκλογής χρωμάτων – Η/Μ εξοπλισμός (LCC,PEC).....	59

9. Κατάλογος Αναφορών

- [1] E. Commission, «Progress by Member States towards Nearly Zero-Energy Buildings,» European Parliament, 2011.
- [2] E. Commission, «Energy, Transport and Environmental Indicators,» 2012.
- [3] E. Commission, «A Roadmap for Moving to a Competitive Low Carbon Economy in 2050,» European Parliament, 2011.
- [4] The European Parliament and the Council of the European Union, «Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings (recast),» Off. J. Eur. Union, 2010.
- [5] The European Parliament and the Council of the European Union, «Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives /8/EC and 2006/32/EC,» Off. J. Eur. Union, 2012.
- [6] The European Parliament and the Council of the European Union, «Directive (EU) 2018/844 of the European parliament and of the council of 30 May 2018 amending directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings and directive 2012/27/EU on energy efficiency (Text with EEA relevance),» Off. J. Eur. Union, 2018.
- [7] The European Parliament and the Council of the European Union, «Directive (EU) 2018/2002 of the European parliament and of the council of 11 december 2018 amending directive 2012/27/EU on energy efficiency (Text with EEA relevance),» Off. J. Eur. Union, 2018.
- [8] S Attia, P Eleftheriou, F Xenii, R Morlot, C Ménézo, V Kostopoulos, et al., «Overview and future challenges of nearly zero energy buildings (nZEB) design in Southern Europe Energy Build. 155 (2017) 439–458,» 2017.
- [9] S Attia, Chapter 12 , «Roadmap for NZEB Implementation,» Net Zero Energy Buildings (NZEB), editor, Butterworth-Heinemann, pp. 343–369., 2018.
- [10] European Commission, «Towards nearly zero energy buildings: definition of common principles under the EPBD,» 2013. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://europe.eu/energy/sites/ener/files/documents/nzeb_full_report.pdf.

- [11 C Baglivo, PM Congedo, D D’Agostino, I Zacà, «Cost-optimal analysis and technical comparison between standard and high efficient mono-residential buildings in a warm climate,» *Energy* 83 (2015) 560–575, 2015.
- [12 P Pallis, N Gkonis, E Varvagiannis, K Braimakis, S Karellas, M Katsaros, et al., «Cost effectiveness assessment and beyond: a study on energy efficiency interventions in Greek residential building stock,» *Energy Build.* 182 (2019) 1–18, 2019.
- [13 M Hamdy, A Hasan, K Siren, «A multi-stage optimization method for cost-optimal and nearly-zero-energy building solutions in line with the EPBD-recast,» *Energy Build.* (56) (2010) 189–203, 2013.
- [14 M Hamdy, K Sirén, S Attia, «Impact of financial assumptions on the cost optimality towards nearly zero energy buildings – A case study,» *Energy Build.* 153 (2017)421–438., 2017.
- [15 C Becchio, P Dabbene, E Fabrizio, V Monetti, M Filippi, «Cost optimality assessment of a single family house: building and technical systems solutions for the nZEB target,» *Energy Build.* 90 (2015) 173–187, 2015.
- [16 E Pikas, J Kurnitski, M Thalfeldt, L Koskela, «Cost-benefit analysis of nZEB energy efficiency strategies with on-site photovoltaic generation,» *Energy* 128 (2017) 291–301., 2017.
- [17 Technical Chamber of Greece, «Technical Directive 20701-1/2017: Analytical National Specifications of the parameters for the calculation of the building energy performance and issuing of energy certificates,» 2017. [Ηλεκτρονικό]. Available: http://portal.tee.gr/portal/page/portal/SCIENTIFIC_WORK/GR_ENERGEIAS/kenak/files/TOTEE_20701-1_2017_TEE_1st_Edition.pdf, 2017.
- [18 A. Mantzarakis, C. Balafoutis, «Geographic distribution of heating degree days in,» 6th Hellenic Conference in Meteorology, Ioannina, 25-28 September 2020.
- [19 Ministry of Environment and Energy, «Approval and Implementation of Technical Directives of the Technical Chamber of Greece for the Energy Efficiency of Buildings,» Official Government Gazette of the Hellenic Parliament, 2014.
- [20 Ministry of Environment and Energy, «Approval and Implementation of Technical Directives of the Technical Chamber of Greece for the Energy Efficiency of Buildings,» Official Government Gazette of the Hellenic Parliament , 2017.

- [21 Energy MoEa, «Approval and implementation of Technical Directives of the Technical Chamber of Greece for the Energy Efficiency of Buildings,» Official Greek Government Gazette 2618/23102014/_x0005_ EK 2945B/2014, 2014 .
- [22 Technical Chamber of Greece, «Technical Directive 20701-3/2010: Climate Data of Greek Regions,» 2014.
- [23 S Attia, «Chapter 2 - evolution of definitions and approaches,» Net Zero Energy Buildings (NZEB), editor, Butterworth-Heinemann, pp. 21–51, 2018.
- [24 Platon Pallis, Nikolaos Gkonis, Efstratios Varvagiannis, Konstantinos Braimakis, Sotirios Karellas, et al., «Towards NZEB in Greece: A comparative study between cost optimality and energy efficiency for newly constructed residential buildings,» 2019.
- [25 «Google Earth Pro,» US Navy, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://earth.google.com/web>.
- [26 TEE, «TOTEE_20701-1_2017,» 2017. [Ηλεκτρονικό]. Available: www.kenak.gr/files/TOTEE_20701-1_2017.pdf.
- [27 Μη Κεντρικός Μηχανικός Αερισμός με Ανάκτηση Θερμότητας - Καταχώρηση στο Λογισμικό ΤΕΕ ΚΕΝΑΚ για Υπολογισμό Ενεργειακή Απόδοσης & ορθή καταχώρηση στο Έντυπο Παρεμβάσεων (Παράρτημα ΙΙΙ) του, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.andrianos.gr/gr/plhroforiako-uliko/tehniki-akadimia/mi-kentrikos-mixanikos-aerismos-me-anaktisi-thermotitas-kataxwrisi-sto-logismiko-tee-kenak>.
- [28 ΖΕΒ ΑΕΕΥ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ, «ΑΝΑΘΕΩΡΗΣΗ ΕΚΔΟΣΗ ΠΑΡΑΔΟΤΕΟ Π3Καθορισμός των βέλτιστων από πλευράς κόστους επιπέδων ελάχιστων απαιτήσεων ενεργειακής απόδοσης κτιρίων και δομικών στοιχείων & κατάρτιση εθνικού σχεδίου αύξησης του αριθμού των κτιρίων με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας,» 2023.
- [29 ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΤΕΕ ΚΕΝΑΚ, «ΤΕΕ,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://web.tee.gr/kenak/logismiko-tee-kenak>.
- [30 C. Darwin, « The Origin of the Species, Cambridge,» Harvard University Press, Ma., 1967.
- [31 R.A. Fisher, «The Genetical Theory of Natural Selection,» Clarendon press, Oxford, 1930.

- [32 Carlos D. Toledo, «Genetic Algorithms for the numerical solutions of variational problems without analytic trial functions,» arXiv:Physics/0506188, pp. 1-3, 2005.
- [33 J. Holland, «Genetic Algorithms,» Sci. Am. pp.114-116, 1992.
]
- [34 T. Bäck and H. P. Schwefel, «An Overview Of Evolutionary Algorithms,» Evolutionary Comput. 1: pp. 1-23, 1993.
- [35 Allen B. Tucker (Jr), «The Computer Science and Engineering Handbook,» CRC Press, USA, pp. 557-571, 1997.
- [36 J.H. Holland, «Adaptive in Natural and Artificial Systems,» Michigan Press, Ann Arbor, MI: University , 1975.
- [37 D.E. Goldberg, «Genetic Algorithms, in Search, Optimization & Machine Learning,» Addison Wesley, 1997.
- [38 T. Bäck, «Evolutionary Algorithms in Theory and Practice: Evolution Strategies Evolutionary Programming, Genetic Algorithms,» Oxford University Press, N.Y., 1996.
- [39 Prof. Dr. R. Safaric & Dr. A. Rojko, «Genetic code of the parents and the offspring before and after the cross-over,» Maribor, 2006.
- [40 Mujahid Tabassum and Kuruvilla Mathew, « A Genetic Algorithm Analysis towards Optimization solutions,» Swinburne University of Technology,, Sarawak Campus, Jalan Simpang Tiga, 93350, Kuching, Sarawak, Malaysia, 2014.
- [41 David E. Goldberg, «A Comparative Analysis of Selection Schemes Used in Genetic Algorithms,» Department of General Engineering, University of Illinois at Urbana-Champaign, 117 Transportation Building, 104 South Mathews, Urbana, IL 61801-2996, 1991.

--- Τέλος εγγράφου ---