

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ**

---

**ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ  
ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΓΙΑ  
ΤΗΝ ΕΠΙΛΟΓΗ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ  
ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΨΥΞΗΣ ΣΕ  
ΚΑΤΟΙΚΙΕΣ**

---

Υπό  
**ΓΕΡΑΜΠΙΝΗΣ ΕΥΣΤΑΘΙΟΥ**

**Χανιά, 2019**

## Διπλωματική Εργασία

### ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΟΓΗ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΨΥΞΗΣ ΣΕ ΚΑΤΟΙΚΙΕΣ

Γεραμπίνης Ευστάθιος

Εξεταστική Επιτροπή:

Αραμπατζής Γ.,  
Επίκουρος Καθηγητής  
(επιβλέπων)

Ματσατσίνης Ν.,  
Καθηγητής

Παπαευθυμίου Σ.,  
Επίκουρος Καθηγητής

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Αραμπατζή Γεώργιο, για την βοήθεια που μου πρόσφερε καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας μου, καθώς και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αλλά και για τις ευκαιρίες που μου έχει προσφέρει.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την Καλαφάτη Φωτεινή για την πολύτιμη βοήθεια που μου πρόσφερε κατά τη διάρκεια των προπτυχιακών μου σπουδών και την υποστήριξή της, καθώς και τους φίλους μου.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ.Ματσατσίνη Φ. Νικόλαο για τα μαθήματα που μου έδωσε.



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	<b>1</b>
1.1 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	1
1.2 ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	2
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ</b>	<b>3</b>
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
2.2 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ	3
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ</b>	<b>6</b>
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
3.2 ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ	6
3.3 ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ	11
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΤΥΠΟ</b>	<b>17</b>
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	17
4.2 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΚΤΙΡΙΑΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ	17
4.3 Η ΜΕΘΟΔΟΣ UTASTAR	21
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ</b>	<b>25</b>
5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	25
5.2 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ	25
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΕΦΑΡΜΟΓΗ</b>	<b>31</b>
6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	31
6.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΛΥΣΗ	31
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b>	<b>38</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	<b>39</b>

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Αντικείμενο της εργασίας είναι ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη ενός διαδικτυακού εργαλείου υποστήριξης αποφάσεων για την επιλογή κατάλληλου εξοπλισμού ψύξης και θέρμανσης κατοικιών. Το εργαλείο απευθύνεται στους τελικούς χρήστες (πελάτες) οι οποίοι αναζητούν το βέλτιστο συνδυασμό συσκευών για την ικανοποίηση των θερμικών ή/και ψυκτικών αναγκών των οικιών τους στη βάση πολλαπλών και πιθανά αντικρουόμενων κριτηρίων.

Αναλυτικότερα ο στόχος, είναι η δημιουργία ενός μοντέλου υπολογισμού, σε περιβάλλον Python, των ενεργειακών απαιτήσεων ενός οικιακού - επαγγελματικού χώρου με βάση τα κλιματολογικά δεδομένα καθώς και τα γεωμετρικά και δομικά χαρακτηριστικά με χρήση μεθόδων μετάδοσης θερμότητας και του ενεργειακού ισοζυγίου. Με δεδομένα τα προαναφερθέν θα γίνεται εύρεση κατάλληλου εξοπλισμού που θα καλύπτει τις θερμικές ανάγκες του εκάστοτε χώρου καθώς και υποστήριξη της λήψη της απόφασης του καταναλωτή με χρήση της πολυκριτήριας μεθόδου της αναλυτικής – συνθετικής προσέγγισης UTASTAR όπου θα υπολογίζει τις ολικές χρησιμότητες του καταναλωτή και εν συνεχεία θα προτείνει τον κατάλληλο εξοπλισμό, ο οποίος θα καλύπτει τις ενεργειακές αλλά και προσωπικές του ανάγκες.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός υπολογιστικού συστήματος υποστήριξης αποφάσεων ενός καταναλωτή για την εύρεση του καταλληλότερου ενεργειακά εξοπλισμού, δηλαδή του εξοπλισμού που θα καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες ενός οικιακού-εργασιακού χώρου και παράλληλα θα είναι οικονομικά συμφέρον.

Στα πλαίσια της διπλωματική εργασίας αναπτύσσεται ένα μοντέλο για την εκτίμηση των ενεργειακών αναγκών ενός οικιακού-εργασιακού χώρου με βάση τα κλιματολογικά δεδομένα και τα γεωμετρικά και δομικά χαρακτηριστικά του χώρου. Επιπρόσθετα, εφαρμόζεται η αναλυτική συνθετική προσέγγιση Utastar, για τον υπολογισμό των μερικών χρησιμότητων των προϊόντων-εξοπλισμού του καταναλωτή. Οι δύο μεθοδολογίες (εκτίμηση ενεργειακών αναγκών και πολυκριτήρια μέθοδος) υλοποιήθηκαν σε περιβάλλον Python και εφαρμόστηκαν σε μια τυπική περίπτωση.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται αναλυτικά η δομή της διπλωματικής εργασίας.

Στο γίνεται ανασκόπηση της βιβλιογραφίας σχετικά με τα αντικείμενα της εκτίμησης ενεργειακών αναγκών και της πολυκριτήριας υποστήριξης αποφάσεων καταναλωτών καθώς επίσης των αντίστοιχων υπολογιστικών εφαρμογών-εργαλείων. Στόχος του κεφαλαίου είναι η ανάδειξη των κενών που καλείται η παρούσα εργασία να καλύψει αλλά και να βελτιώσει..

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται το θεωρητικό υπόβαθρο και παρατίθενται βασικές έννοιες που απαιτούνται για την κατανόηση των θερμικών και ενεργειακών συμπεριφορών ενός κτιρίου καθώς και απαραίτητες γνώσεις που αφορούν την πολυκριτήρια ανάλυση για χρήση σε υποστήριξη λήψης αποφάσεων

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται το μαθηματικό πρότυπο που χρησιμοποιήθηκε. Αναλύεται η μεθοδολογία εκτίμησης ενεργειακών κτιριακών αναγκών με χρήση μοντέλων υπολογισμού ενεργειακών αναγκών. Επιπλέον αναφέρεται η πολυκριτήρια μέθοδος Utastar που βασίζεται στην μονότονη παλινδρόμηση για την ανάλυση των προτιμήσεων του αποφασίζοντα.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν, καθώς και τα αποτελέσματα, τα οποία προέκυψαν από την χρήση του μοντέλου-εφαρμογής που δημιουργήθηκε σε περιβάλλον Python

Τέλος, στο έκτο κεφάλαιο, αναφέρονται τα συμπεράσματα, τα οποία προκύπτουν από την παρούσα διπλωματική εργασία και παρατίθενται προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

## **1.2 ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Η πρωτοτυπία της παρούσας διπλωματικής εργασίας έγκειται στη συνδυασμένη εφαρμογή των μεθοδολογιών εκτίμησης ενεργειακών αναγκών ενός κτιρίου (στη βάση των αρχών της μετάδοσης θερμότητας) και της πολυκριτήριας λήψης αποφάσεων (μέθοδος Utastar) για τη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου συστήματος υποστήριξης αποφάσεων (Σ.Υ.Α.) στοχευμένο στον τελικό καταναλωτή.

Το ολοκληρωμένο Σ.Υ.Α. θα αυξάνει την πιθανότητα ικανοποίησης του πελάτη από την επιλογή του. Συνεπώς, αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα και την πιθανή αύξηση του μεριδίου της αγοράς για την ίδια την εταιρία, καθώς από μεριά της βοηθάει στην ταχύτερη εύρεση προϊόντος που θα καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες της κατοικίας του, για ψύξη και θέρμανση. Επιπλέον, το σύστημα υποστηρίζει την εύρεση προϊόντων που τα χαρακτηριστικά του θα είναι πιο κοντά στις προτιμήσεις του πελάτη – καταναλωτή.

Τέλος, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι είναι ένα σύστημα που δέχεται ως είσοδο τις ελάχιστες πληροφορίες που χρειάζεται για να επιτευχθεί η εύρεση του καταλληλότερου εξοπλισμού και ταυτόχρονα είναι πολύ φιλικό προς τον αποφασίζοντα – καταναλωτή.



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

## ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

### 2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μελέτη της συμπεριφοράς των καταναλωτών και η προσπάθεια να διαμορφώσει, ο καταναλωτής, τη διαδικασία λήψης είναι ένα μακροχρόνιο ενδιαφέρον στον τομέα του μάρκετινγκ. Στις μέρες μας παρουσιάζει ενδιαφέρον και έχει δοθεί κατεύθυνση πως γίνεται να συνδυαστεί η ανάλυση της συμπεριφοράς των καταναλωτών μέσω των Συστημάτων Υποστήριξης Αποφάσεων με τον τομέα της ενέργειας και πιο συγκεκριμένα με ενεργειακά μοντέλα. Δηλαδή, το πως θα συνδυαστούν και θα υλοποιηθούν πολυκριτήριες μέθοδοι με τα ενεργειακά μοντέλα και θα δημιουργηθεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα υποστήριξης αποφάσεων βασισμένο στον τομέα της ενέργειας. Έπειτα από εκτενή μελέτη της βιβλιογραφίας παρουσιάζονται παλιότερες έρευνες που έχουν ασχοληθεί είτε με ενεργειακά μοντέλα είτε με συστήματα υποστήριξης αποφάσεων με εφαρμογές πολυκριτήριων μεθόδων.

### 2.2 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Η προσπάθεια της καλύτερης κατανόησης και ικανοποίησης των ενεργειακών αναγκών των καταναλωτών δημιουργεί την ανάγκη ανάπτυξης νέων και εύχρηστων συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων, τα οποία θα είναι φιλικά προς το χρήστη. Από τη μελέτη της βιβλιογραφίας γίνεται αντιληπτό ότι τα ενεργειακά συστήματα, τα οποία έχουν δημιουργηθεί είναι αρκετά περίπλοκα για τον ίδιο το χρήστη. Στη συνέχεια παρουσιάζονται ορισμένα από αυτά.

Το EnergyPlus (5), (6) είναι ένα λογισμικό προσομοίωσης και ανάλυσης της ενέργειας κτιρίου μέσω της μοντελοποίησης της θέρμανσης, της ψύξης, του φωτισμού, του αερισμού και άλλων ενεργειακών ροών. Απευθύνεται κυρίως σε μηχανικούς που ασχολούνται με τη μελέτη και σχεδίαση κατασκευών. Δεδομένου ότι γενικά είναι δύσκολο να επιτευχθεί η πλήρης προσομοίωση ενός κτίσματος, το λογισμικό στοχεύει στην κατά το δυνατόν καλύτερη μοντελοποίηση και προσέγγιση του θερμικού φορτίου και των συνολικών ενεργειακών αναγκών του κτιρίου. Ακόμα το EnergyPlus χρησιμοποιείται σαν εργαλείο για τη βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης κτισμάτων, για μελέτες εκσυγχρονισμού, εγκαταστάσεων αλλά και για την παραγωγή αποτελεσμάτων χρήσιμων στις αναλύσεις κόστους κύκλου ζωής, οι οποίες αξιοποιούνται από τα κατάλληλα προγράμματα.

Ένα επιπλέον πρόγραμμα είναι το KENAK (3). Με τον KENAK θεσμοθετείται ο ολοκληρωμένος ενεργειακός σχεδιασμός στον κτιριακό τομέα με σκοπό τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, την εξοικονόμηση ενέργειας και την προστασία του περιβάλλοντος, με συγκεκριμένες δράσεις:

- Εκπόνηση Μελέτης Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων
- Θέσπιση ελάχιστων απαιτήσεων ενεργειακής απόδοσης κτιρίων
- Ενεργειακή Κατάταξη Κτιρίων (Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης)
- Ενεργειακές Επιθεωρήσεις κτιρίων, λεβήτων και εγκαταστάσεων θέρμανσης και κλιματισμού

Η Μελέτη Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων εκπονείται για κάθε κτίριο (άνω των 50 τ.μ.), νέο ή υφιστάμενο που ανακαινίζεται ριζικά και βασίζεται σε μια συγκεκριμένη μεθοδολογία η οποία αναφέρεται: α) στην εκπλήρωση ελάχιστων προδιαγραφών του κτιρίου όσον αφορά στο σχεδιασμό του, το κτιριακό κέλυφος και τα τεχνικά συστήματα του, και β) στη σύγκρισή του με κτίριο αναφοράς. Ως κτίριο αναφοράς νοείται κτίριο με τα ίδια γεωμετρικά χαρακτηριστικά, θέση, προσανατολισμό, χρήση και χαρακτηριστικά λειτουργίας με το εξεταζόμενο κτίριο που πληροί όμως ελάχιστες προδιαγραφές και έχει καθορισμένα τεχνικά χαρακτηριστικά όσον αφορά τον σχεδιασμό, το κτιριακό κέλυφος και τα τεχνικά συστήματα του. (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας)

Μια επιπλέον έρευνα που πραγματοποιήθηκε από τη Dr. Krystsina Bakhrankova το 2011 σχετιζόταν με ένα Σ.Υ.Α.(Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων) που διαχειρίζεται τις ενεργειακές ροές σε κτιριακές εγκαταστάσεις με στόχο την ικανοποίηση των ενεργειακών αναγκών με την αύξηση της ενεργειακής αποδοτικότητας, τη μείωση κόστους και τη μείωση της εκπομπής του CO<sub>2</sub>.

Η πολυκριτήρια ανάλυση και οι πολυδιάστατες στατιστικές μέθοδοι μπορούν να συνεργαστούν και να προσφέρουν νέες προοπτικές στους τομείς της υποστήριξης αποφάσεων και της διαχείρισης γενικότερα. Η έρευνα που πραγματοποίησαν ο Μπαουράκης, ο Ματσατσίνης και ο Σίσκος (1993) παρουσιάζει μια μεθοδολογία βασισμένη σε έρευνες που συνδυάζει ένα πολυκριτήριο μοντέλο για την ανάλυση προτιμήσεων του καταναλωτή, καθώς και κλασικά μοντέλα ανάλυσης δεδομένων για τον σχεδιασμό γεωργικών προϊόντων. Τα νέα προϊόντα αναπτύσσονται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να επιτυγχάνουν τελικά το μέγιστο δυνατό μερίδιο αγοράς. Μια πραγματική μελέτη για την αθηναϊκή αγορά κρασιού.

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο τη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου συστήματος συστάσεων βασιζόμενο σε ενεργειακά μοντέλα και στην αναλυτική-συνθετική προσέγγιση που αποτελεί ένα σημαντικό πεδίο των πολυκριτηρίων αποφάσεων, καθώς και την υλοποίησή του σε περιβάλλον Python. Εφαρμόζεται μια απλοποιημένη μεθοδολογία που θα εφαρμόζει λίγα δεδομένα και θα είναι φιλικό ως προς το χρήστη. Ο στόχος είναι να μην τον αποτρέπει να το χρησιμοποιήσει καθώς δέχεται ως είσοδο τα κυρία χαρακτηριστικά της κτιριακής εγκατάστασης σε εν αντιθέσει με το EnergyPlus που ως είσοδο χρειάζεται τα αποτελέσματα από σχεδιαστικά προγράμματα. Ως κύρια χαρακτηριστικά κτιριακής εγκατάστασης ορίζονται τα τετραγωνικά μέτρα (m<sup>2</sup>), ο αριθμός παραθύρων, πάχος τοίχου (depth of wall), ύψος τοίχου, μονά ή διπλά τζάμια (layers of glass), γεωγραφική τοποθεσία και αριθμός ατόμων που παρευρίσκονται στο

κτίριο. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι στον τομέα του υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου-χώρου, που έχει ως σκοπό την εύρεση κατάλληλου εξοπλισμού, υπάρχουν πολλές ηλεκτρονικές σελίδες καταστημάτων (17), (19) που εφαρμόζουν απλές μεθόδους, φιλικές προς τον χρήστη, αλλά παρατηρείται ότι λόγω έλλειψης της χρήσης γεωγραφικής τοποθεσίας οδηγούνται σε μεγάλες αποκλίσεις. Επιπλέον κανένα από τα προαναφερθέν προγράμματα δεν χρησιμοποιεί αναλυτική-συνθετική προσέγγιση για να βοηθήσει τον χρήστη στην λήψη της απόφασης του. Η αναλυτική-συνθετική προσέγγιση αποτελεί ένα σημαντικό πεδίο των πολυκριτήριων συστημάτων αποφάσεων. Θεωρεί ότι ο αποφασίζων παίρνει αποφάσεις στηριζόμενος (συνειδητά ή ασυνείδητα) σε ένα σύστημα αξιών και προτιμήσεων. Αναλύει τη σχέση μεταξύ των αποφάσεων και των επιδόσεων των εναλλακτικών στα κριτήρια κι έτσι εντοπίζει τον τρόπο με τον οποίο λαμβάνονται αυτές οι αποφάσεις, αναπτύσσοντας ένα υπόδειγμα σύνθεσης των κριτηρίων.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

## ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

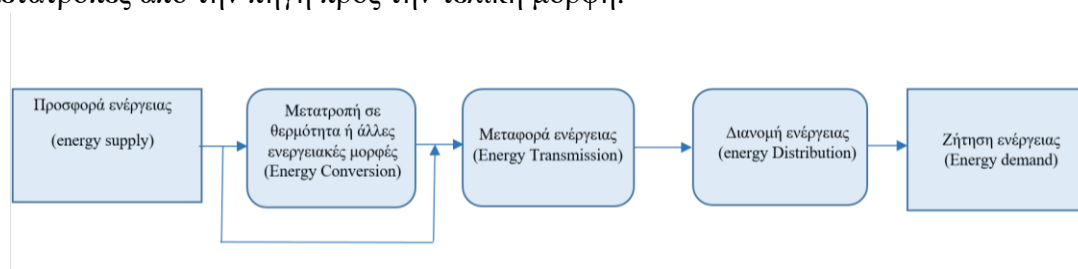
### 3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται η παρουσίαση του θεωρητικού υπόβαθρου που χρίζει απαραίτητο για την περεταίρω ανάλυση της μεθοδολογίας και την κατανόηση των αποτελεσμάτων την παρούσας διπλωματικής. Αρχικά θα γίνει η ανάλυση της θερμικής και ενεργειακής συμπεριφοράς των κτιρίων και μετέπειτα η έννοια της πολυκριτήριας ανάλυσης αποφάσεων.

### 3.2 ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ

#### 3.2.1 Ενεργειακό ισοζύγιο

Το βασικό σημείο αναφοράς για την επίλυση οποιασδήποτε προσπάθειας ενεργειακού σχεδιασμού είναι η κατάρτιση του ενεργειακού ισοζυγίου του ενεργειακού συστήματος. Ο όρος αυτός περιλαμβάνει την καταγραφή των κόμβων προσφοράς, μετατροπής και κατανάλωσης ενέργειας καθώς και την παρακολούθηση όλων των ενεργειακών ροών από και προς τους κόμβους. Το ισοζύγιο ενέργειας παρουσιάζεται συνήθως με την μορφή αλυσίδας που αποτυπώνει τις ροές ενέργειας και τις ενεργειακές μετατροπές από την πηγή προς την τελική μορφή.



Διάγραμμα 3. 1 Αλυσίδα ενεργειακών ροών

Η επίλυση του ενεργειακού ισοζυγίου περιλαμβάνει τον υπολογισμό των ενεργειακών ροών. Η μεθοδολογία που ακολουθείται κάθε φορά διαφέρει ανάλογα με τους στόχους του ενεργειακού σχεδιασμού καθώς και τα διαθέσιμα δεδομένα. Διακρίνονται σε τρεις γενικές κατηγορίες προβλημάτων. (13)

- Υπολογισμός της απαιτούμενης παροχής ενέργειας για την κάλυψη δεδομένων ζήτησης:

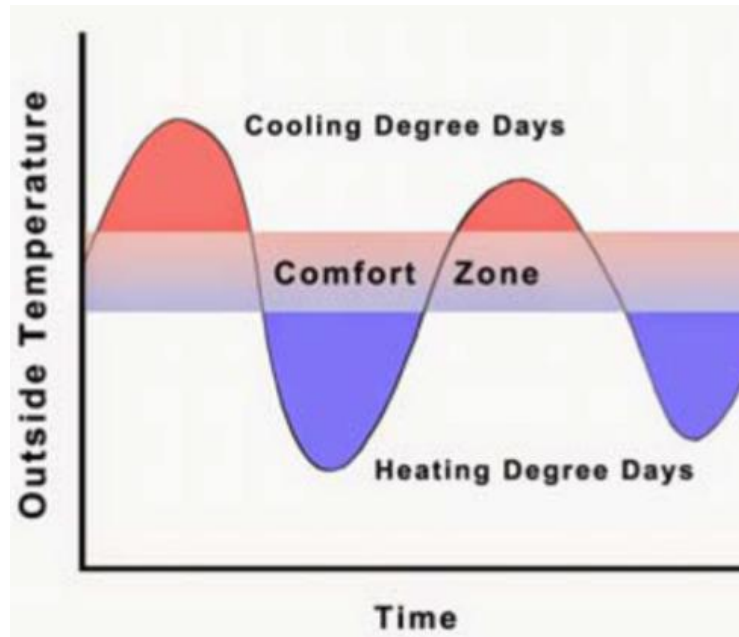
- Στην περίπτωση αυτή πραγματοποιείται επίλυση του δικτύου από τα δεξιά προς τα αριστερά, έχοντας ως σημείο αναφοράς το Σχήμα 1. Απαιτείται αρχική ή εκτίμηση ζήτησης ενέργειας ή ωφέλιμης ενέργειας τόσο σε επίπεδο ενός οικονομικού τομέα όσο και μιας μορφής ενέργειας ( καύσιμη ύλη, ηλεκτρική ενέργεια). Στη συνέχεια γίνεται η παρακολούθηση ενεργειακών ροών, με στόχο τον υπολογισμό της ενεργειακής κατανάλωσης και της απαιτούμενης παροχής ενέργειας.
- Υπολογισμός της ζήτησης που ικανοποιείται από δεδομένη παροχή ενέργειας:
  - Αποτελεί το αντίστροφο πρόβλημα από αυτό της παραπάνω περίπτωσης. Πραγματοποιείται δηλαδή, επίλυση του δικτύου από τα αριστερά προς τα δεξιά (εικόνα 1). Στις δύο αυτές περιπτώσεις η δομή του δικτύου (μερίδια συμμετοχής καυσίμων, βαθμοί απωλειών, μερίδια αγοράς) θεωρείται δεδομένη και δεν αλλάζει κατά την διάρκεια επίλυσης του προβλήματος.
- Αριστοποίηση του δικτύου ,μεταβολή της δομής του με σκοπό την βελτίωσης κάποιας μεταβλητής του ισοζυγίου:
  - Στη περίπτωση αυτή γίνεται μεταβολή στη δομή του δικτύου με στόχο την αριστοποίηση κάποιας μεταβλητής του ισοζυγίου (π.χ. ελαχιστοποίηση της ανικανοποίητης ζήτησης, ελαχιστοποίηση του κόστους ενέργειας). Συνήθης τρόπος αντιμετώπισης τέτοιου είδους προβλημάτων είναι με τον ορισμό μίας αντικειμενικής συνάρτησης

### 3.2.2 Ενεργειακό ισοζύγιο κτιρίου

Ο υπολογισμός των ψυκτικών και θερμικών φορτίων βασίζεται ως προς το επιστημονικό τους μέρος, στους νόμους της μετάδοσης θερμότητας και μεταφοράς μάζας. Όταν σε ένα χώρο έχει επιτευχθεί η επιθυμητή θερμοκρασία άνεσης (comfort zone) δύναται να παρατηρηθεί ροή θερμότητας από το χώρο αυτόν προς κάθε γειτονικό χαμηλότερης θερμοκρασίας ή εισροή θερμότητας προς το χώρο όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι υψηλότερη από αυτή της θερμικής άνεσης. Αυτές οι θερμικές ροές προκύπτουν από το δεύτερο θερμοδυναμικό νόμο, ο οποίος περιγράφει ότι: η θερμότητα ρέει πάντα από ένα χώρο/σώμα υψηλότερης θερμοκρασιακής κατάστασης προς ένα χώρο/σώμα χαμηλότερης θερμοκρασιακής κατάστασης. (3), (16)

Για την εκτίμηση των ενεργειακών αναγκών των κτιρίων χρησιμοποιούνται οι βαθμονημέρες θέρμανσης και ψύξης.

- Οι βαθμονημέρες θέρμανσης (heating degree days) είναι ένα μέτρο τους πόσους βαθμούς και για πόσες ημέρες η εξωτερική θερμοκρασία είναι χαμηλότερη από μια βασική θερμοκρασία άνεσης και χρησιμοποιείται στους υπολογισμούς κατανάλωσης ενέργειας που απαιτείται για τη θέρμανση του κτιρίου/χώρου.
- Οι βαθμονημέρες ψύξης (cooling degree days) είναι ένα μέτρο τους πόσους βαθμούς και για πόσες ημέρες η εξωτερική θερμοκρασία είναι υψηλότερη από μια βασική θερμοκρασία άνεσης και χρησιμοποιείται στους υπολογισμούς κατανάλωσης ενέργειας που απαιτείται για τη ψύξη του κτιρίου/χώρου.



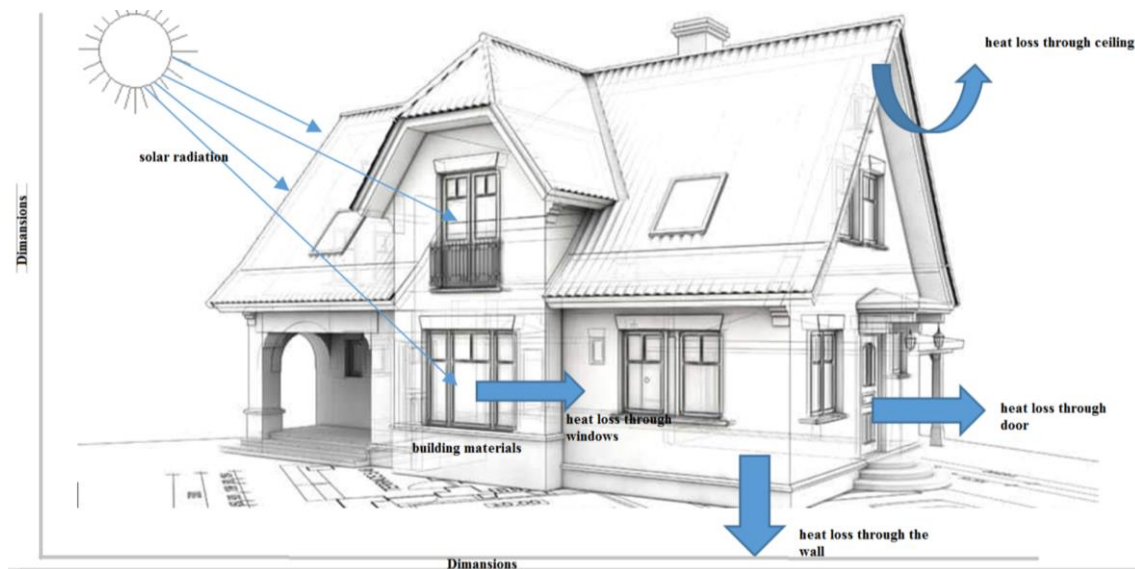
Διάγραμμα 3. 2 Βαθμοημέρες θέρμανσης και ψύξης

Συνθήκη θερμικής άνεσης :

- Εξαρτάται από:
  - Υγρασία
  - Θερμοκρασία
- Μεταβάλλεται ανάλογα με το είδος και τη χρήση των χώρων.
- Καθορίζονται στους κανονισμούς και τα πρότυπα που ισχύουν σε κάθε χώρα.

Το ενεργειακό ισοζύγιο ενός κτιρίου υπολογίζεται από τα θερμικά κέρδη και τις θερμικές του απώλειες (Θερμική συμπεριφορά κτιρίου).

- Τα ενεργειακά κέρδη προέρχονται από συστήματα θέρμανσης της οικίας, από την ηλιακή ακτινοβολία καθώς και από άλλες πηγές θερμότητας, όπως ο άνθρωπος και ο ηλεκτρικός εξοπλισμός του κτιρίου
- Οι θερμικές απώλειες του κτιρίου προέρχονται
  - Από την ροή θερμότητας διαμέσου του κελύφους του κτιρίου, δηλαδή απώλειες λόγω των δομικών υλικών του κτιρίου .
  - Ροή θερμότητας μέσω ηλιακής ακτινοβολίας από τα ανοίγματα του κτηρίου , όπως τα παράθυρα.
  - Απώλειες λόγω εισροής εξωτερικού αέρα, δια μέσου ανοιγμάτων, στο κτήριο.

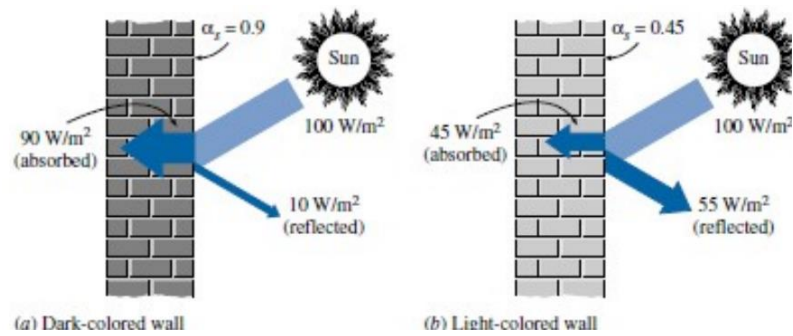


Εικόνα 3. 1 Θερμική συμπεριφορά κτιρίου

### 3.2.3 Θερμικές απώλειες στο περίβλημα του κτιρίου – παράθυρα

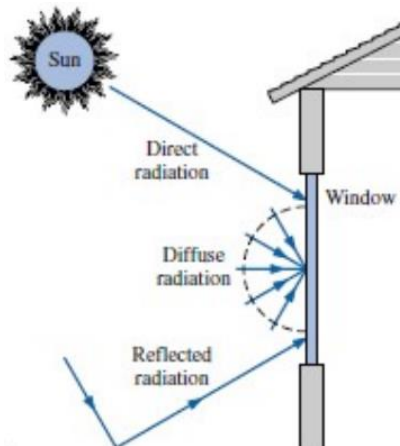
Οι κύριες θερμικές απώλειες είναι οι εξής:

- Άμεση και έμμεση μεταφορά θερμότητας μέσω συναγωγής του αέρα μεταξύ της επιφάνειας, ο οποίος μεταφέρεται και βρίσκεται σε επαφή με αυτήν.
  - Οι απώλειες θερμότητας από δάπεδο σε άμεση επαφή με το έδαφος ή ελαφρώς πάνω από το επίπεδο του εδάφους γίνεται κυρίως διαμέσου της περιμέτρου προς τον εξωτερικό αέρα και όχι από το δάπεδο προς το έδαφος
- Έμμεσες ηλιακές απολαβές.
  - Μεταφορά θερμότητας λόγω προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας, στα τοιχώματα του κτιρίου. Ανάλογα με το χρώμα του τοιχώματος, το 50-90% της ηλιακής ακτινοβολίας απορροφάται ενώ το υπόλοιπο ανακλάται.
  - Θερμοκρασία ηλιακής ενέργειας:  
 Η θερμοκρασία του αέρα η οποία, υπό την απουσία προσπίπτουσας ακτινοβολίας, θα προκαλούσε τον ίδιο ρυθμό μεταφοράς θερμότητας με αυτό που προκαλούν οι υπάρχουσες συνθήκες.



Σχήμα 1: Έμμεσες απολαβές θερμότητας

- Άμεσες ηλιακές απολαβές.
  - Μεταφορά θερμότητας διαμέσου των παραθύρων, όπου ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας διεισδύει στον εσωτερικό χώρο του κτιρίου καθώς και μέσω συναγωγής του αέρα του περιβάλλοντος με αυτά.



Εικόνα 3. 2 Άμεσες απολαβές θερμότητας

Στις αδιαφανείς επιφάνειες, όπως τοίχοι και οροφές, η επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας δεν μπορεί να αγνοηθεί. Διότι μέρος της ακτινοβολίας απορροφάται από αυτές τις επιφάνειες με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας τους. (3), (16)

- Θερμικές απώλειες λόγω αερισμού του χώρου .
  - Διείσδυση:  
Ανεξέλεγκτη είσοδος του αέρα σε ένα κτίριο μέσα από ανοίγματα και ρωγμές.
  - Εξαερισμός:  
Ελεγχόμενη είσοδος του αέρα σε ένα κτίριο που καθίσταται αναγκαία για:
    - Ανανέωση του οξυγόνου του χώρου.
    - Αραίωση των οσμών, του καπνού, του διοξειδίου του άνθρακα που παράγουν οι άνθρωποι.





Εικόνα 3. 3 Θερμικές απώλειες λόγω αερισμού

### 3.2.4 Παραγόμενη θερμότητα από τον άνθρωπο

Μέσο του ρυθμού μεταβολισμού ο άνθρωπος εκκρίνει θερμότητα από τις καύσεις διαφόρων τροφών. Αυτός ο ρυθμός σε κατάσταση ηρεμίας ονομάζεται βασικός μεταβολικός ρυθμός, όπου είναι ο ρυθμός που απαιτείται ώστε ένα σώμα να εκτελεί τις βασικές σωματικές λειτουργίες του, όπως αναπνοή και κυκλοφοριακό, χωρίς να εκτελείται καμία άλλη εξωτερική δραστηριότητα. Για ένα μέσο άνθρωπο ο βασικός μεταβολικός ρυθμός είναι περίπου 84 W, ο οποίος μπορεί να δεκαπλασιαστεί ανάλογα με το επίπεδο άσκησης. (3), (16)

### 3.2.5 Απολαβές θερμότητας από τις ηλεκτρικές συσκευές

Οι περισσότερες ηλεκτρικές συσκευές περιέχουν κινητήρα, πυκνωτές και αντιστάσεις. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνουν να αποβάλλεται στον εσωτερικό χώρο του κτηρίου με την μορφή της θερμότητας. (3), (16)

## 3.3 ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Η αδυναμία των υπαρχόντων μοντέλων να αντιμετωπίσουν τα πολυδιάστατα πραγματικά προβλήματα των επιχειρήσεων, με χρήση ενός μόνο κριτηρίου, οδήγησε στην ανάπτυξη της Πολυκριτήριας Ανάλυσης Αποφάσεων (Multiple Criteria Decision Making). Τα πολυκριτήρια προβλήματα, λόγω της παρουσίας πολλαπλών και αντικρουόμενων μεταξύ τους κριτηρίων αξιολόγησης των εναλλακτικών αποφάσεων, είναι προβλήματα με χαμηλό βαθμό δόμησης. Κατά συνέπεια οι λαμβανόμενες αποφάσεις ανήκουν στις κατηγορίες είτε αδόμητων είτε δομημένων αποφάσεων, γεγονός που δημιουργεί την ανάγκη υποστήριξης του αποφασίζοντα μέσω της ανάπτυξης κατάλληλων πολυκριτήριων μοντέλων. (1).

Οι βασικοί στόχοι της πολυκριτήριας λήψης αποφάσεων είναι (Ματσατσίνης Ν., 2010):

- Να καθορισθούν οι συνθήκες που πρέπει να ικανοποιούνται ώστε να υφίσταται το σύστημα αξιών.

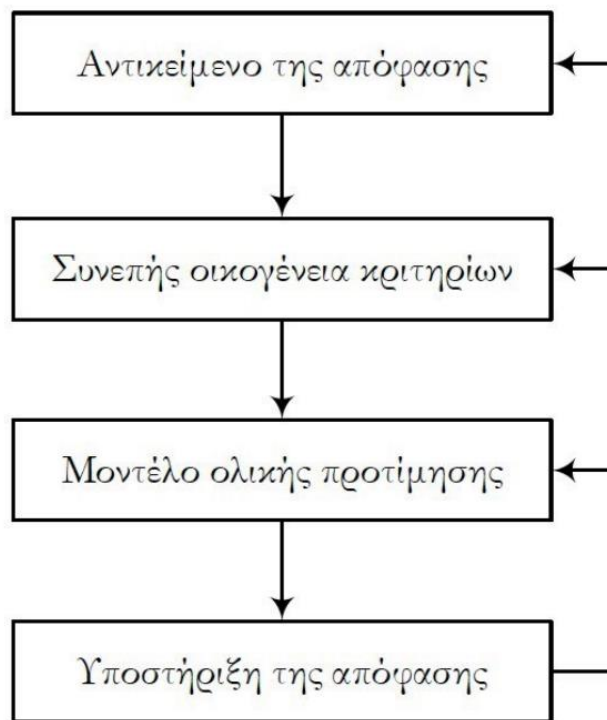
- Να υποστηρίζει τον αποφασίζοντα ώστε να ανακαλύπτει μέσα από μια διαδικασία ένα σύστημα αξιών και να παίρνει τη σωστή απόφαση
- Να βρίσκει ικανοποιητικές λύσεις

Ακολούθως αναλύεται η πολυκριτήρια υποβοήθηση λήψης αποφάσεων σύμφωνα με τον Roy (1990):

- Στη διαδικασία λήψης μίας απόφασης εμπλέκονται κατά κανόνα περισσότεροι από έναν αποφασίζοντες με διαφορετικές απόψεις και πιστεύω.
- Στη περίπτωση που υπάρχει ένας μόνο αποφασίζοντας, οι προτιμήσεις του έχουν κατά κανόνα ένα μεγάλο βαθμό ασάφειας με ασυνέπειες και συγκρούσεις.
- Οι εναλλακτικές επιλογές, τα κριτήρια, η αξιολόγηση των εναλλακτικών επιλογών αλλά και οι προτιμήσεις των αποφασιζόντων καθορίζονται με αυθαίρετες ως επί το πλείστον διαδικασίες.
- Δεν είναι εύκολο να ειπωθεί ότι μια απόφαση που λαμβάνεται με την εφαρμογή ενός μαθηματικού μοντέλου είναι καλή, ενώ μια άλλη είναι κακή, κυρίως διότι δεν είναι δυνατή η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της εφαρμογής όλων των εναλλακτικών επιλογών, επειδή:
  - Η επιλογή και υλοποίηση μίας απόφασης αποκλείει αυτόματα την επιλογή και υλοποίηση των υπολοίπων.
  - Κατά το χρονικό διάστημα υλοποίησης μίας απόφασης μεταβάλλονται οι συνθήκες που ίσχυαν τη χρονική στιγμή που ελήφθη η απόφαση.
  - Οι συνέπειες από την υλοποίηση μίας απόφασης γίνονται γνωστές κατά κανόνα μετά από μεγάλο χρονικό διάστημα.

Το γενικό πλαίσιο μοντελοποίησης που ακολουθείται (Roy 1996) είναι το ακόλουθο:

- Αντίληψη του αντικειμένου της απόφασης: προσδιορίζεται το σύνολο των εναλλακτικών ενεργειών (σταθερό, δυναμικό, ολοκληρωμένο, αποσπασματικό) και ορίζεται από τον αποφασίζοντα η προβληματική της ανάλυσης (προβληματική α-επιλογή, προβληματική β-ταξινόμηση, προβληματική γ-κατάταξη, προβληματική δ-περιγραφή).
- Συνεπής οικογένεια κριτηρίων: διαμορφώνεται από ένα σύνολο κριτηρίων το οποίο πρέπει απαραίτητα να διαθέτει τις ιδιότητες της μονοτονίας, της επάρκειας και του μη πλεονασμού.
- Μοντέλο ολικής προτίμησης: γίνεται η σύνθεση των κριτηρίων με τη βοήθεια ενός μοντέλου ολικής προτίμησης, με βάση το οποίο και λαμβάνοντας υπόψη την επιλεγείσα προβληματική, συγκρίνονται όλες οι εναλλακτικές ενέργειες.
- Υποστήριξη της απόφασης: γίνεται η επεξεργασία και η εφαρμογή σεναρίων και αναζητούνται απαντήσεις σε ερωτήματα του αποφασίζοντα.



Διάγραμμα 3. 3

Ο ρόλος της πολυκριτήριας ανάλυσης υποστήριξης της λήψης αποφάσεων δεν είναι να υποδείξει αποφάσεις στον αποφασίζοντα καλύτερα από αυτές που αντιλαμβάνεται, αλλά να τον οδηγήσει στην επιλογή της μέσα από τη σταδιακή κατανόηση και βελτίωση των ικανοτήτων και γνώσεων του.

Πλήθος μεθοδολογιών και τεχνικών έχουν αναπτυχθεί στον χώρο της πολυκριτήριας ανάλυσης με σκοπό τη λήψη αποφάσεων, οι οποίες εμφανίζουν σημαντικές διαφορές τόσο στη μορφή των υποδειγμάτων που αναπτύσσονται όσο και στη διαδικασία που χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη των υποδειγμάτων.

Η ομαδοποίησή των διάφορων μεθοδολογιών μπορεί να γίνει με διάφορα κριτήρια. Μερικές από τις κατηγοριοποιήσεις είναι:

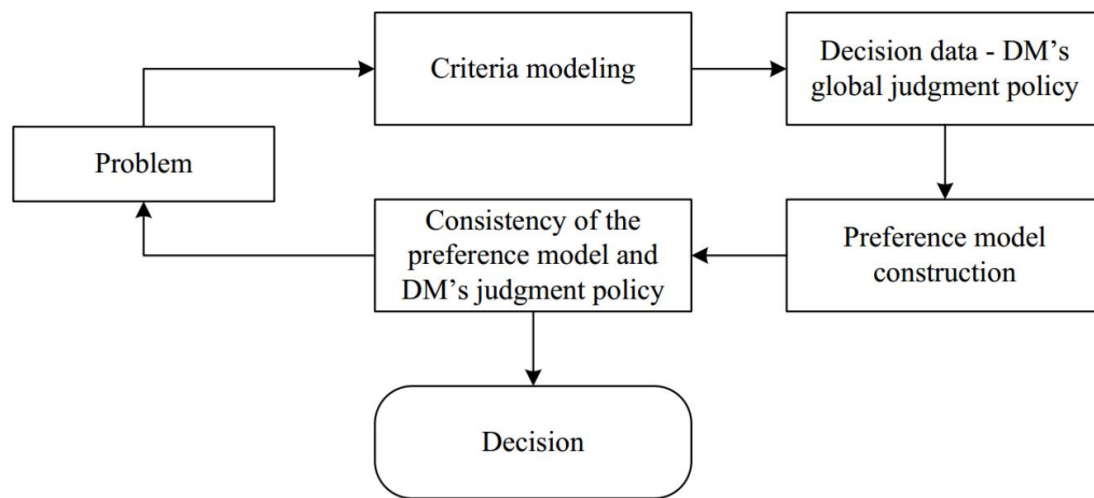
- Με βάση τον τύπο των δεδομένα που χρησιμοποιούν:
  - οι διακριτές
  - στοχαστικές
  - ασαφείς (fuzzy)
  - αλλά και συνδυασμοί τους.
- Με βάση τη μορφή του υποδείγματος που χρησιμοποιείται καταγράφονται οι:
  - προσεγγίσεις μοναδικής σύνθεσης των κριτηρίων (αγνοείται η ασυγκριτότητα μεταξύ των εναλλακτικών) (unique synthesis criterion)

- οι προσεγγίσεις βασιζόμενες σε σχέσεις υπεροχής (outranking synthesis approach), λαμβάνοντας υπόψιν πιθανή σχέση ασυγκριτότητας
- οι αλληλεπιδραστικές προσεγγίσεις (interactive local judgment approach)
- Με βάση τη σύνθεση των κριτηρίων:
  - Συναρτησιακές Μέθοδοι: η σύνθεση των κριτηρίων επιτυγχάνεται με χρήση συνάρτησης ή συναρτήσεων χρησιμότητας
  - Σχεσιακές Μέθοδοι: η σύνθεση των κριτηρίων επιτυγχάνεται με χρήση σχέσης ή σχέσεων υπεροχής
  - Αναλυτικές Μέθοδοι: το μοντέλο σύνθεσης των κριτηρίων συμπεραίνεται έμμεσα από δεδομένα ολικής προτίμησης του αποφασίζοντα.
- Τέλος, μια διαφορετική κατηγοριοποίηση προτάθηκε από τον Pardalos το 1995, σύμφωνα με την οποία κάθε ομάδα μεθοδολογιών προκύπτει ως αποτέλεσμα όχι μόνο της μορφής των υποδειγμάτων που αναπτύσσονται αλλά και του τρόπου με τον οποίο πραγματοποιείται η ανάπτυξή τους. Οι τέσσερις διαφορετικές κατηγορίες:
  - Πολυκριτήριος μαθηματικός προγραμματισμός (multiobjective mathematical programming).
  - Πολυκριτήρια θεωρία χρησιμότητας (multiattribute utility theory).
  - Αναλυτική-συνθετική προσέγγιση (preference disaggregation approach).

Αντίθετα με τα δύο κύρια θεωρητικά ρεύματα της πολυκριτήριας ανάλυσης αποφάσεων, θεωρία χρησιμότητας και θεωρία των σχέσεων υπεροχής, η αναλυτική-συνθετική προσέγγιση αντιμετωπίζει τη λήψη αποφάσεων από τελείως διαφορετική σκοπιά. Γενικά, στις προαναφερθείσες μεθόδους η διαδικασία αντιμετώπισης προβλημάτων αξιολόγησης ενός προκαθορισμένου συνόλου εναλλακτικών επιλογών επικεντρώνεται στην προσπάθεια μοντελοποίησης και αναπαράστασης του συστήματος αξιών και προτιμήσεων του αποφασίζοντα μέσω μιας προκαθορισμένης μαθηματικής μορφής (συνάρτηση χρησιμότητας ή υπεροχής). Από την άλλη πλευρά, η αναλυτική-συνθετική προσέγγιση (preference disaggregation approach) (12), (9) προτείνει την ανάπτυξη ενός γενικότερου μεθοδολογικού πλαισίου, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση των αποφάσεων που λαμβάνει ο αποφασίζων έτσι ώστε να καθοριστεί το κατάλληλο υπόδειγμα σύνθεσης των κριτηρίων το οποίο ανταποκρίνεται στο σύστημα αξιών και τις προτιμήσεις του αποφασίζοντα. Στην πραγματικότητα, η αναλυτική-συνθετική προσέγγιση δεν αποσκοπεί στην υποστήριξη του αποφασίζοντα κατά τη διαδικασία σύνθεσης των κριτηρίων αξιολόγησης με τη χρήση προκαθορισμένων υποδειγμάτων όπως είναι η συνάρτηση χρησιμότητας ή η σχέση υπεροχής. Τόσο η θεωρία χρησιμότητας όσο και η θεωρία των σχέσεων υπεροχής βασίζονται στην εμπρόσθια (forward) διαδικασία αλληλεπίδρασης αποφασίζοντα – αναλυτή, σύμφωνα με την οποία ο αποφασίζων καθορίζει όλες τις παραμέτρους με τις οποίες καλείται να δουλέψει ο αναλυτής σε ένα ήδη υπάρχον μοντέλο. Αντίθετα, η συνθετική-αναλυτική προσέγγιση ακολουθεί μια ανάστροφη διαδικασία (backward). Σύμφωνα με αυτή την

προσέγγιση, ο αποφασίζων - συνειδητά ή ασυνείδητα, χρησιμοποιεί ένα σύστημα αξιών που τον οδηγεί στη λήψη συγκεκριμένων αποφάσεων. Η αναλυτική – συνθετική προσέγγιση δεν προσπαθεί να εντοπίσει τις αποφάσεις αυτές, βάζοντας τον αποφασίζοντα στην διαδικασία άμεσου καθορισμού πληροφοριών ως προς τον τρόπο που έλαβε τις αποφάσεις αυτές, αλλά επιχειρεί να εντοπίσει τον τρόπο- μοντέλο που ακολούθησε ο αποφασίζων για να οδηγηθεί στις συγκεκριμένες αποφάσεις αναλύοντας την σχέση μεταξύ των αποφάσεων και των επιδόσεων των εναλλακτικών δραστηριοτήτων στα κριτήρια αξιολόγησης. Έτσι, μπορούμε να πούμε πως η πολυκριτήρια θεωρία χρησιμότητας και η θεωρία των σχέσεων υπεροχής, ουσιαστικά συνθέτουν τα δεδομένα ενός προβλήματος ώστε να καταλήξουν στο τελικό αποτέλεσμα, ενώ, αντίθετα, η αναλυτική-συνθετική προσέγγιση αναλύει τα υπάρχοντα δεδομένα (σύνολο αναφοράς) ώστε να εντοπίσει το υπόδειγμα που αναπαριστά όσο πιο πιστά γίνεται το σύστημα αξιών και προτιμήσεων του αποφασίζοντα. Η θεωρία της σύνθεσης – ανάλυσης ήρθε να καλύψει το κενό που δημιουργεί η δυσκολία απόσπασης πληροφοριών από τους αποφασίζοντες. Είναι πιθανό ορισμένες φορές, ο αποφασίζων να μην είναι σε θέση να παράσχει τις ζητούμενες πληροφορίες ή να μην είναι σε θέση να αποσαφηνίσει τις παραμέτρους που έλαβε υπόψιν (συνειδητά ή ασυνείδητα) για να οδηγηθεί σε συγκεκριμένη απόφαση. Όμως, είναι γενικά ευκολότερο για τον αποφασίζων να διατυπώσει τις ίδιες τις αποφάσεις του, χωρίς να χρειάζεται να καθορίσει τις επιπλέον παραμέτρους που σχετίζονται με τον τρόπο λήψης της απόφασης. Με την αναλυτική - συνθετική προσέγγιση υπάρχει η δυνατότητα αξιοποίησης κάθε πιθανής μορφής που μπορεί να παίρνει η απόφαση · συνήθως εκφράζεται σε μια μονότονη κλίμακα μέσω της κατάταξης ή ταξινόμησης των εναλλακτικών δραστηριοτήτων ή πιθανά σε μορφή δείκτη (πόσες φορές μια εναλλακτική δραστηριότητα προτιμάται μιας άλλης(8), σε μορφή κατάταξης των εναλλακτικών δραστηριοτήτων στο κάθε κριτήριο αξιολόγησης ή ακόμα και σε ιεράρχηση των κριτηρίων αξιολόγησης με βάση τη σημαντικότητά τους.

Για το σαφή καθορισμό αυτού του υποδείγματος απαιτείται η συλλογή πληροφοριών σχετικών με το σύστημα αξιών και προτιμήσεων καθώς και η συγκέντρωση και η ανάλυση με κατάλληλο τρόπο ενός επαρκούς συνόλου παραδειγμάτων των αποφάσεων που παίρνει ο αποφασίζων. Οι πληροφορίες συνήθως είναι οι ίδιες οι αποφάσεις χωρίς καμία επιπλέον παράμετρο για το πώς ελήφθησαν και εκφράζονται σε διάφορες μορφές όπως μια μονότονη κλίμακα (κατάταξη ή ταξινόμηση των εναλλακτικών) ή ένας δείκτης (πόσες φορές μια εναλλακτική προτιμάται μιας άλλης). Τα παραδείγματα μπορεί να είναι παλαιότερες αποφάσεις του αποφασίζοντα, ένα μικρό αλλά αντιπροσωπευτικό σύνολο φανταστικών εναλλακτικών ή ένα μικρό αλλά αντιπροσωπευτικό υποσύνολο των υπό εξέταση εναλλακτικών οι οποίες διατυπώνονται με σαφήνεια από τον αποφασίζοντα. Αυτό το σύνολο παραδειγμάτων ορίζει ουσιαστικά ένα σύνολο αναφοράς, έννοια αντίστοιχη με το δείγμα εκμάθησης (training sample) .



Διάγραμμα 3. 4 Αναλυτική συνθετική προσέγγιση (Siskos, Y., Grigoroudis, E., 2010)

Η μεθοδολογική προσέγγιση που χρησιμοποιείται στο πλαίσιο της αναλυτικής συνθετικής προσέγγισης είναι ανάλογη με αυτή της στατιστικής παλινδρόμησης. Αρχικά χρησιμοποιήθηκε η συνάρτηση του απλού σταθμισμένου μέσου, στη συνέχεια όμως αξιοποιήθηκαν και τα μέσα που παρέχει η πολυκριτήρια θεωρία χρησιμότητας. Συνοπτικά αναφέρονται οι κυριότερες μέθοδοι αναλυτικής-συνθετικής προσέγγισης:

- Μέθοδος UTA , Jacquet-Lagrange and Siskos (1982, 1983).(8)
- Μέθοδος UTASTAR , Siskos, Grigoroudis, Matsatsinis (2016).(14)
- Μέθοδος UTADIS , Devaud et al. (1980), Jacquet-Lagrange (1995), Doumpos and Zopounidis (2002).(16), (11), (10)
- Μέθοδος MHDIS , Zopounidis and Doumpos (2000). (7)

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

## ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΤΥΠΟ

### 4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο τρίτο κεφάλαιο έγινε η παρουσίαση του θεωρητικού υπόβαθρου καθώς και των μεθοδολογιών που είναι απαραίτητες για την υλοποίηση της παρούσας διπλωματικής. Στο τέταρτο κεφάλαιο θα παρουσιαστούν αναλυτικά οι εξισώσεις της μεθοδολογίας εκτίμησης ενεργειακών κτιριακών αναγκών καθώς και οι εξισώσεις της πολυκριτήριας ανάλυσης Utastar που θα βασιστεί η υλοποίηση του αλγορίθμου.

### 4.2 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΚΤΙΡΙΑΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ

Για τη δημιουργία ενός μοντέλου υπολογισμού των ενεργειακών θα γίνει χρήση κλιματολογικών δεδομένων, γεωμετρικών και δομικών χαρακτηριστικών της κατοικίας και του διαθέσιμου εξοπλισμού.

Μεταβλητές που χρησιμοποιούνται για τον ενεργειακό εξοπλισμό του κτιρίου

Συντελεστής μεταφοράς θερμότητας στον εξωτερικό αέρα	$h_0$
Πάχος τοίχου	$d_{brick}$
Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας τοίχου	$k_{brick}$
Πάχος μόνωσης	$d_{insulation}$
Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας μόνωσης	$k_{insulation}$
Συντελεστής μεταφοράς θερμότητας στον εσωτερικό αέρα	$h_i$
Πάχος τζαμιού	$d_{glass}$
Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας τζαμιού	$k_{glass}$
Συντελεστής μεταφοράς θερμότητας διάκενου	$h_{space}$
Θερμοκρασία θερμικής άνεσης (Χειμώνα)	$T_{base\_air\_winter}$

Θερμοκρασία θερμικής άνεσης (Καλοκαίρι)	$T_{base\_air\_summer}$
Θερμοκρασία αέρα τον μήνα i	$T_{air\_im}$
Συνολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας από την οροφή	$U_{ceiling}$
Συνολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας από την πόρτα	$U_{door}$
Συνολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας από το δάπεδο	$U_{floor}$
Ηλιακή απορροφητικότητα τοίχου	$a_{wall}$
Μέρες μήνα i	$Days_{im}$
Συντελεστής κέρδους ηλιακής θερμότητας σε τζάμι	$SHGC$
Προσπίπτουσα ακτινοβολία ανά μήνα i	$q_{solar\_im}$
Πυκνότητα αέρα	$\rho_{air}$
Ειδική θερμοχωρητικότητα αέρα	$c_{p\_air}$
Μεταβολές αέρα ανά ώρα	$ACH$
Ισχύς συσκευής	$P_{device_k}$
Αριθμός συσκευών:	$Use_{device_k}$
Τάση συσκευής	$: DC_{device_k}$

#### Γεωμετρικά χαρακτηριστικά κτιρίου

Επιφάνεια παραθύρων	$A_{window}$
Επιφάνεια πορτών	$A_{door}$
Επιφάνεια τοίχων	$A_{wall}$
Επιφάνεια δαπέδου	$A_{ceiling}$
Περίμετρος δαπέδου	$p_{floor}$

#### Συντελεστές μεταφοράς θερμότητας

Ο συνολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας από τον τοίχο δίνεται από τη σχέση:

$$U_{wall} = \frac{1}{\frac{1}{h_o} + \frac{d_{brick}}{k_{brick}} + \frac{d_{insulation}}{k_{insulation}} + \frac{d_{brick}}{k_{brick}} + \frac{1}{h_i}} \quad (3.1)$$



Ο συνολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας από τα παράθυρα υπολογίζεται ίσος με:

$$U_{\text{window}} = \begin{cases} \text{return } \frac{1}{\frac{1}{h_0} + \frac{d_{\text{glass}}}{k_{\text{glass}}} + \frac{1}{h_i}} & \text{if } \text{layer} = 1 \\ \text{return } \frac{1}{\frac{1}{h_0} + \sum_{i=1}^{\text{layer}} \frac{d_{\text{glass}}}{k_{\text{glass}}} + \sum_{i=1}^{\text{layer}-1} \frac{1}{h_{\text{space}}} + \frac{1}{h_i}} & \text{if } \text{layer} > 1 \end{cases} \quad (3.2)$$

## Βαθμομέρες θέρμανσης

### Ετήσιες βαθμομέρες θέρμανσης

Ο υπολογισμός των βαθμομερών θέρμανσης (HDD) παρουσιάζεται ακολούθως:

$$\text{HDD} = \sum_{im}^{12} \text{if} \left[ T_{\text{base\_air\_winter}} > T_{\text{air\_im}}, \text{Days}_{im} \cdot (T_{\text{base\_air\_winter}} - T_{\text{air\_im}}) \cdot \frac{\text{day}}{\text{yr}}, 0 \right] \quad (3.3)$$

### Ετήσιες Βαθμομέρες Θέρμανσης – Διόρθωση για θερμοκρασία ηλιακής ενέργειας

Η Θερμοκρασία Ηλιακής Ενέργειας ανά μήνα, υπολογίζεται από τη σχέση:

$$T_{\text{sol\_air}} = T_{\text{air}} + \frac{q_{\text{solar}} \cdot a_{\text{wall}}}{h_0} \quad (3.4)$$

Οι βαθμομέρες θέρμανσης μετά τη διόρθωση ( $\text{HDD}_{\text{sol\_air}}$ ) υπολογίζονται με αντικατάσταση στη σχέση υπολογισμού, της θερμοκρασίας αέρα από τη θερμοκρασία ηλιακής ενέργειας.

$$\text{HDD}_{\text{sol\_air}} = \sum_{im}^{12} \text{if} \left[ T_{\text{base\_air\_winter}} > T_{\text{sol\_air\_im}}, \text{Days}_{im} \cdot (T_{\text{base\_air\_winter}} - T_{\text{sol\_air\_im}}) \cdot \frac{\text{day}}{\text{yr}}, 0 \right] \quad (3.5)$$

## Βαθμομέρες ψύξης

### Ετήσιες βαθμομέρες ψύξης

Οι βαθμομέρες ψύξης υπολογίζονται από τη σχέση:

$$\text{CDD} = \sum_{im}^{12} \text{if} \left[ T_{\text{base\_air\_summer}} > T_{\text{air\_im}}, \text{Days}_{im} \cdot (T_{\text{air\_im}} - T_{\text{base\_air\_summer}}) \cdot \frac{\text{day}}{\text{yr}}, 0 \right] \quad (3.6)$$

Οι βαθμομέρες ψύξης μετά τη διόρθωση ( $\text{CDD}_{\text{sol\_air}}$ ) υπολογίζονται με τον αντίστοιχο τρόπο με τις βαθμομέρες θέρμανσης από την ακόλουθη σχέση:

$$\text{CDD}_{\text{sol\_air}} = \sum_{im}^{12} \text{if} \left[ T_{\text{base\_air\_summer}} > T_{\text{sol\_air\_im}}, \text{Days}_{im} \cdot (T_{\text{sol\_air\_im}} - T_{\text{base\_air\_summer}}) \cdot \frac{\text{day}}{\text{yr}}, 0 \right] \quad (3.7)$$

### Θερμικές απώλειες λόγω αγωγής

Θερμικές απολαβές από		
Τα τοιχώματα	$Q_{\text{wall\_h}} = U_{\text{wall}} \cdot A_{\text{wall}} \cdot \text{HDD}_{\text{sol\_air}}$	3.8
Την οροφή	$Q_{\text{ceiling\_h}} = U_{\text{ceiling}} \cdot A_{\text{ceiling}} \cdot \text{HDD}_{\text{sol\_air}}$	3.9
Το δάπεδο	$Q_{\text{floor\_h}} = U_{\text{floor}} \cdot A_{\text{floor}} \cdot \text{HDD}_{\text{sol\_air}}$	3.10
Τα παράθυρα	$Q_{\text{window\_h}} = U_{\text{window}} \cdot A_{\text{window}} \cdot \text{HDD}_{\text{sol\_air}}$	3.11
Τις πόρτες	$Q_{\text{door\_h}} = U_{\text{door}} \cdot A_{\text{door}} \cdot \text{HDD}_{\text{sol\_air}}$	3.12
Οι συνολικές θερμικές απώλειες λόγω αγωγής	$Q_{\text{cond\_h}} = Q_{\text{wall\_h}} + Q_{\text{ceiling\_h}} + Q_{\text{floor\_h}} + Q_{\text{window\_h}} + Q_{\text{door\_h}}$	3.13

### Θερμικές απώλειες μέσω ανοιγμάτων

Οι θερμικές απώλειες μέσω ανοιγμάτων, υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την ακόλουθη συνάρτηση:

$$Q_{\text{solar\_gain\_h}} = \sum_{im=1}^{12} \text{if} \left[ T_{\text{base\_air\_winter}} > T_{\text{air\_im}}, SHGC \cdot A_{\text{window}} \cdot q_{\text{solar\_im}} \cdot \text{Days}_{im} \cdot \frac{\text{day}}{\text{yr}}, 0 \right] \quad (3.14)$$

### Οι θερμικές απώλειες λόγω αερισμού

Οι θερμικές απώλειες λόγω αερισμού είναι:

$$Q_{\text{infiltration\_h}} = \rho_{\text{air}} \cdot C_{p\_air} \cdot \text{ACH} \cdot (\text{height} \cdot \text{width} \cdot \text{length}) \cdot \text{HDD} \quad (3.15)$$

### Εσωτερικές απολαβές θερμότητας

Με όμοιο τρόπο με τις θερμικές απώλειες μέσω ανοιγμάτων πραγματοποιείται ο υπολογισμός των εσωτερικών απολαβών ( $Q_{\text{internal\_gain\_h}}$ ).

$$Q_{\text{equipment}} = \sum_{k=1}^{\text{rows}(P_{\text{device}})} \left[ P_{\text{device}_k} \cdot \frac{\text{Use}_{\text{device}_k}}{24} \cdot DC_{\text{device}_k} \right] \cdot W \quad (3.15)$$

$$Q_{\text{internal\_gain\_h}} = \sum_{im=1}^{12} \text{if} \left[ T_{\text{base\_air\_winter}} > T_{\text{air\_im}}, (Q_{\text{human}} + Q_{\text{equipment}}) \cdot \text{Days}_{im} \cdot \frac{\text{day}}{\text{yr}}, 0 \right] \quad (3.16)$$

### Συνολικό θερμικό φορτίο

Το συνολικό θερμικό φορτίο υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$Q_{\text{heat}} = Q_{\text{cond\_h}} + Q_{\text{infiltration\_h}} - Q_{\text{solar\_gain\_h}} - Q_{\text{internal\_gain\_h}} \quad (3.17)$$

### Υπολογισμός αναγκών ψύξης χώρου

### Θερμικές απώλειες λόγω αγωγής

Θερμικές απολαβές από		
Τα τοιχώματα	$Q_{\text{wall}} = U_{\text{wall}} \cdot A_{\text{wall}} \cdot \text{CDD}_{\text{sol\_air}}$	3.18
Την οροφή	$Q_{\text{ceiling}} = U_{\text{ceiling}} \cdot A_{\text{ceiling}} \cdot \text{CDD}_{\text{sol\_air}}$	3.19
Το δάπεδο	$Q_{\text{floor}} = U_{\text{floor}} \cdot A_{\text{floor}} \cdot \text{CDD}_{\text{sol\_air}}$	3.20
Τα παράθυρα	$Q_{\text{window}} = U_{\text{window}} \cdot A_{\text{window}} \cdot \text{CDD}_{\text{sol\_air}}$	3.21
Τις πόρτες	$Q_{\text{door}} = U_{\text{door}} \cdot A_{\text{door}} \cdot \text{CDD}_{\text{sol\_air}}$	3.22
Οι συνολικές θερμικές απώλειες λόγω αγωγής	$Q_{\text{cond}} = Q_{\text{wall}} + Q_{\text{ceiling}} + Q_{\text{floor}} + Q_{\text{window}} + Q_{\text{door}}$	3.23

### Θερμικές απώλειες μέσω ανοιγμάτων

Οι θερμικές απώλειες μέσω ανοιγμάτων υπολογίζονται με τη σχέση:

$$Q_{\text{solar\_gain}} = \sum_{im=1}^{12} \text{if} \left[ T_{\text{base\_air\_winter}} < T_{\text{air}_{im}}, SHGC \cdot A_{\text{window}} \cdot q_{\text{solar}_{im}} \cdot Days_{im} \cdot \frac{\text{day}}{\text{yr}}, 0 \right] \quad (3.24)$$

### Θερμικές απώλειες λόγω αερισμού

Οι θερμικές απώλειες λόγω αερισμού είναι:

$$Q_{\text{infiltration}} = \rho_{\text{air}} \cdot c_{p\_air} \cdot ACH \cdot (\text{height} \cdot \text{width} \cdot \text{length}) \cdot CDD \quad (3.25)$$

### Εσωτερικές απολαβές θερμότητας

Οι εσωτερικές απολαβές θερμότητας υπολογίζονται από την ακόλουθη σχέση:

$$Q_{\text{internal\_gain}} = \sum_{im=1}^{12} \text{if} \left[ T_{\text{base\_air\_winter}} < T_{\text{air}_{im}}, (Q_{\text{human}} + Q_{\text{equipment}}) \cdot Days_{im} \cdot \frac{\text{day}}{\text{yr}}, 0 \right] \quad (3.26)$$

### Συνολικό θερμικό φορτίο

Το συνολικό θερμικό φορτίο υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$Q_{\text{cool}} = Q_{\text{cond}} + Q_{\text{infiltration}} + Q_{\text{solar\_gain}} + Q_{\text{internal\_gain}} \quad (3.27)$$

### Εκτίμηση καταναλισκόμενης ενέργειας

#### Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας

Η συνολική κατανάλωσης ενέργειας είναι:

$$\text{Electricity} = Q_{\text{electric\_users}} + Q_{\text{lighting}} + Q_{\text{water}} \quad (3.28)$$

#### Έξοδα νοικοκυριού

Τα ετήσια έξοδα του νοικοκυριού για ηλεκτρική ενέργεια υπολογίζονται από τη σχέση:

$$\text{Electricity\_Cost} = \text{Electricity} \cdot \text{Electricity\_Price} \quad (3.29)$$

ενώ τα ετήσια έξοδα του νοικοκυριού για πετρέλαιο από τη σχέση:

$$\text{Fuel\_Cost} = \text{Fuel} \cdot \text{Fuel\_Price} \quad (3.30)$$

Συνεπώς, τα συνολικά ετήσια έξοδα του νοικοκυριού είναι:

$$\text{Total\_Cost} = \text{Electricity\_Cost} + \text{Fuel\_Cost} \quad (3.31)$$

(2), (3)

## 4.3 Η ΜΕΘΟΔΟΣ UTASTAR

Οι πρώτοι που πρότειναν την μέθοδο της UTASTAR ήταν ο Siskos & Yannakopoulos (1985). Η μέθοδος αυτή είναι μια βελτιωμένη έκδοση της UTA (Jacquet – Lagreze and Siskos, 1982), για κάθε ένα  $a \in A_R$  υπάρχει ένα μοναδικό σφάλμα  $\sigma(a)$ . Έστω ότι το  $A_R = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$  το σύνολο των εναλλακτικών (έστω ότι το σύνολο των εναλλακτικών είναι ένα σύνολο προϊόντων αφού παρακάτω θα αναλύσουμε και για τον

ανταγωνισμό μεταξύ των επιχειρήσεων) για το προαναφερθείσα σύνολο υπάρχει ένα σύνολο καταναλωτών  $J=\{1,2,\dots,p\}$  οι οποίοι έχουν εκφράσει τις προτιμήσεις τους σύμφωνα με κάποια κριτήρια  $g_1, g_2, \dots, g_n$ . Κάθε ένα από τα κριτήρια  $g$  εκφράζει μία μονότονη ποιοτική ή ποσοτική μεταβλητή. Όσο μεγαλύτερη είναι η αποτίμηση του προϊόντος σημαίνει ότι είναι προτιμότερο για τον καταναλωτή. Για κάθε προϊόν  $a_i \in A_R$  έχουμε το αντίστοιχο διάνυσμα  $g(a) = [g(a), g(a), \dots, g(a)]$  το οποίο αναπαριστά την πολυκριτήρια αποτίμηση του προϊόντος για τον εκάστοτε καταναλωτή. Ο κάθε καταναλωτής κατατάσσει τα προϊόντα με βάση την προτίμησή του σε ένα διάνυσμα  $r, (a) = [r(a), r(a), \dots, r(a)]$ . Στο συγκεκριμένο διάνυσμα το προϊόν με την καλύτερη αξιολόγηση λαμβάνει τον μικρότερο αριθμό από τον αποφασίζοντα. Ορίζεται εξ αρχής ότι το προϊόν με την καλύτερη αποτίμηση θα έχει τιμή κατάταξης 1, δηλαδή  $r_i=1$ .

Ένα γενικό παράδειγμα κατάταξης θα μπορούσαμε να δούμε παρακάτω:

Προϊόντα	Κατάταξη	$g_1$	$g_2$	...	$g_n$
$a_1$	$r(a)_1$	$g(a)_{11}$	$g(a)_{21}$	...	$g(a)_{n1}$
$a_2$	$r(a)_2$	$g(a)_{12}$	$g(a)_{22}$	...	$g(a)_{n2}$
...	...	...	...	...	...
$a_m$	$r(a)_m$	$g(a)_{1m}$	$g(a)_{2m}$	...	$g(a)_{nm}$

Στον παρακάτω πίνακα απεικονίζονται οι καλύτερες και οι χειρότερες τιμές των μεγεθών και ο αριθμός των περιπτώσεων στο διάστημα που ανήκουν:

Χειρότερη τιμή	$r^*$	$g_1^*$	$g_2^*$	...	$g_n^*$
Καλύτερη τιμή	$r^*=1$	$g_1^*$	$g_2^*$	...	$g_n^*$
Διαστήματα	$s_r=r^*-r^*$	$s_1=g_1^*-g_1^*+1$	$s_2=g_2^*-g_2^*+1$	...	$s_n=g_n^*-g_n^*+1$

Ο αριθμός των εναλλακτικών των διακριτών τιμών αξιολόγησης για κάθε κριτήριο μπορεί να υπολογιστεί από τον τύπο  $s_j= g_j^* - g_j^* + 1$  όπου  $g_j^*$  είναι η καλύτερη τιμή αξιολόγησης του κριτηρίου,  $g_j^*$  η χειρότερη.

Ο κανόνας της σύνθεσης των  $n$  κριτηρίων δίνεται από την προσθετική συνάρτηση αξιών η οποία έχει την μορφή:  $u(g) = u_1(g_1) + u_2(g_2) + \dots + u_n(g_n)$ .

Για να καθορίσουμε την συνάρτηση αξιών για κάθε καταναλωτή εφαρμόζεται η μέθοδος UTASTAR, αφού καθοριστούν πρώτα όλες οι περιθωριακές συναρτήσεις αξιών  $u_i(g_i)$   $i= 1,2, \dots, n$ . Στην συνέχεια δημιουργούνται δομές δεδομένων οι οποίες περιλαμβάνουν τα διανύσματα των μερικών χρησιμοτήτων ανά κριτήριο. Κάθε χρήστης έχει ξεχωριστές δομές δεδομένων. Οι συναρτήσεις των μερικών χρησιμοτήτων ορίζονται στο διάστημα  $[0,1]$ , από τη στιγμή που υπάρχει ο περιορισμός ότι το άθροισμα όλων των βαρών είναι ίσο με 1.

Criteria	1	2	...	...	Max $s_j$
$g_1$	$u_1(1)$	$u_1(2)$	...	...	$u_1(s_1)$
$g_2$	$u_2(1)$	$u_2(2)$	...	...	$u_2(s_2)$
...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...
$g_n$	$u_n(1)$	$u_n(2)$	...	...	$u_n(s_n)$

Εάν διαιρεθούν οι μερικές χρησιμότητες  $u_i(g_i)$  με τις μέγιστες τιμές του  $p_i$  (όπου  $p$  το βάρος και  $i$  το αντίστοιχο κριτήριο), τότε η συνάρτηση κανονικοποιείται στο διάστημα  $[0,1]$  και το  $p_i$  είναι το σχετικό βάρος του κάθε κριτηρίου με ύπαρξη περιορισμού:  $\sum_{i=1}^n p_i = 1$  προκειμένου να εκφραστούν τα βάρη των κριτηρίων με τη μορφή ποσοστών.

Συνεπώς για να υπολογιστεί η ολική αξία ενός προϊόντος  $a_i \in A$  λαμβάνεται υπόψη ο παρακάτω τύπος:

$$u[g(a)] = p_1 * u_1[g_1(a)] + p_2 * u_2[g_2(a)] + \dots + p_n * u_n[g_n(a)]$$

Προκειμένου να βρεθεί η βέλτιστη λύση της συνάρτησης χρησιμότητας γίνεται χρήση γραμμικού προγραμματισμού. Στη συνέχεια ελέγχεται αν η βέλτιστη λύση ευσταθεί προκειμένου να συνεχιστεί η εύρεση των χαρακτηριστικών πολλαπλών λύσεων (ανάλυση μεταβελτιστοποίησης). Για την πρόβλεψη της αγοράς δεν χρησιμοποιείται μία μόνο συνάρτηση χρησιμότητας χωρίς επαρκή ευστάθεια του μοντέλου. Εξαιτίας έλλειψης πληροφοριών χρησιμοποιούνται ένα σύνολο από συναρτήσεις οι οποίες λαμβάνονται από την ανάλυση της μεταβελτιστοποίησης, που αναφέρθηκε παραπάνω.

Χρησιμοποιώντας τη μεγιστοποίηση των βαρών,  $p_i$ , του κάθε κριτηρίου, βελτιστοποιείται και μεταβελτιστοποιείται η λύση. Για κάθε χρήστη υπάρχουν δύο πίνακες οι οποίοι περιέχουν:

- τη μεταβελτιστοποίηση
- τα μέσα και μέγιστα βάρη

Η γενική μορφή των πινάκων φαίνεται παρακάτω:

<b>Τύπος λύσης</b>	$p_1$	$p_2$	...	...	$p_n$
<b>Max <math>p_1</math></b>	$p_{1,1}$	$p_{1,2}$	...	...	$p_{1,n}$
<b>Max <math>p_2</math></b>	$p_{2,1}$	$p_{2,2}$	...	...	$p_{2,n}$
...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...
<b>Max <math>p_n</math></b>	$p_{n,1}$	$p_{n,2}$	...	...	$p_{n,n}$

<b>Mean Weights</b>	$M_{w1} = (p_{1,1} + p_{2,1} + \dots + p_{n,1}) / n$	$M_{w2} = (p_{1,2} + p_{2,2} + \dots + p_{n,2}) / n$	...	...	$M_{wn} = (p_{1,n} + p_{2,n} + \dots + p_{n,n}) / n$
<b>Max Weights</b>	$M_{xw1} = p_{1,1}$	$M_{xw2} = p_{2,2}$	...	...	$M_{xwn} = p_{n,n}$

Η διαγώνιος στον πίνακα μεταβελτιστοποίησης μας δίνει τα μέγιστα βάρη των κριτηρίων. Ο πίνακας με τις τιμές των μέσων βαρών δημιουργείται για λόγους σύγκρισης.

Έστω  $G_i = [g_{j*}, g_{j*}^*]$  με  $j = 1, 2, \dots, n$  τα υποδιαστήματα στα οποία υπολογίζονται οι τιμές κάθε κριτηρίου τότε ονομάζεται διάστημα συνέπειας  $G = \sum_{i=1}^n G_i$ .

Οι υποκειμενικές προτιμήσεις είναι μία διάταξη (weak order)  $R = (P, I)$  σε ένα σύνολο, έστω το σύνολο  $A'$  το οποίο αποτελείται από πραγματικές ή φανταστικές επιλογές με πολυκριτήριες εκτιμήσεις στο  $G$ . Σε αυτή τη περίπτωση τα δεδομένα αποτελούνται από πολυκριτήριες εκτιμήσεις και την προδιάταξη  $R$  οριζόμενη  $A'$ . (1)

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

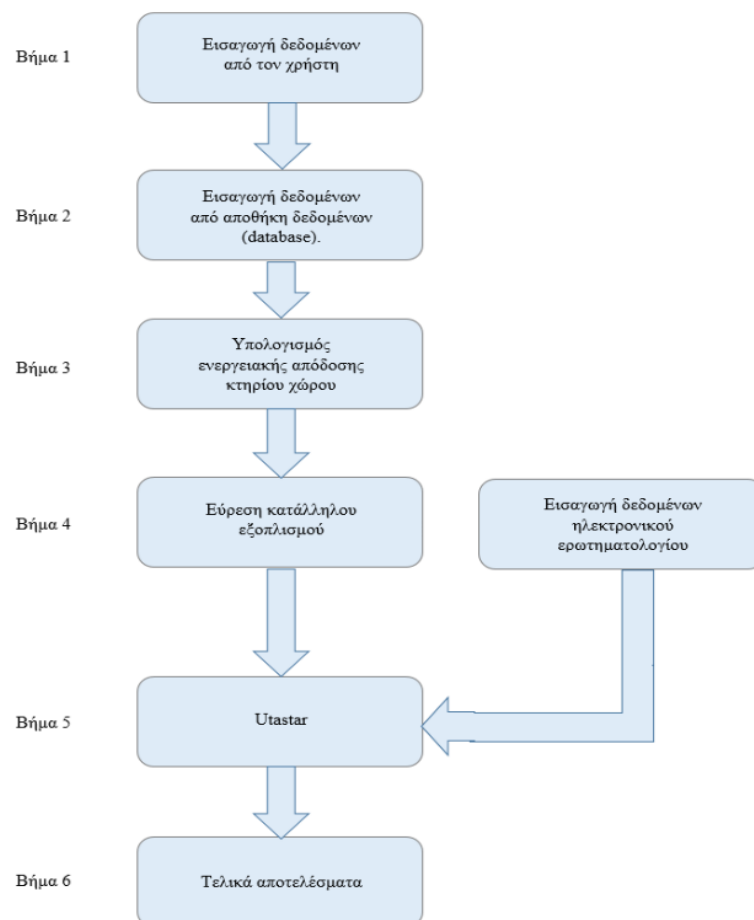
## ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ

### 5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η υλοποίηση του συστήματος, εύρεσης ενεργειακών αναγκών και θερμικής άνεσης, σε Python καθώς και τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την εύρεση του καταλληλότερου εξοπλισμού για τον εκάστοτε πελάτη.

### 5.2 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ

Στο γράφημα 1 δύναται να παρατηρηθούν τα βήματα του αλγορίθμου, τα οποία στη συνέχεια αναλύονται εκτενέστερα.



Γράφημα 5. 1 Διάγραμμα Ροής της Εφαρμογής

Βήμα 1<sup>ο</sup>:

Ο χρήστης – καταναλωτής συμπληρώνει στην εφαρμογή τα χαρακτηριστικά του κτιρίου-χώρου που θέλει να γίνει ο εντοπισμός του εξοπλισμού.

Πίνακας 5. 1: Χαρακτηριστικά κτιρίου – Εισαγωγή δεδομένων

Τετραγωνικά μέτρα (m <sup>2</sup> )
Αριθμός μεγάλων παραθύρων-πόρτες μπαλκονιού (Number of big window)
Αριθμός μικρών παραθύρων (Number of small window)
Πάχος τοίχου (Depth Wall)
Μονά ή διπλά τζάμια (Layers of glass)
Γεωγραφική τοποθεσία
Αριθμός ατόμων

Βήμα 2<sup>ο</sup>:

Ο αλγόριθμος εισάγει τα επιπλέον δεδομένα, που είναι αναγκαία για την εκτίμηση ενεργειακών κτιριακών αναγκών, από μια υπάρχουσα βάση δεδομένων (database).

Πίνακας 5. 2: Στοιχεία από βάση δεδομένων

$\alpha_{\text{wall}} = 0.7$
$h_0 = 29$
$h_1 = 8.3$
$K_{\text{insulator}} = 0.05$
$K_{\text{brick}} = 0.9$
$d_{\text{insulator}} = 0.01$
$U_{\text{ceiling}} = 2$
$U_{\text{floor}} = 2$
$d_{\text{glass}} = 0.003$
$K_{\text{glass}} = 0.92$
$h_{\text{space}} = 7.2$
$\text{SHGC} = 0.82$
$U_{\text{door}} = 3.5$
$Q_{\text{human}} = 300$
$A_{\text{bw}} = 3.5$
$A_{\text{sw}} = 1.5$
$T_{\text{baw}} = 293$
$T_{\text{bas}} = 299$
$A_{\text{door}} = 2.5$
$p_{\text{air}} = 1.051$
$c_{p_{\text{air}}} = 0.2792$
$A_{\text{ch}} = 1.4$
Γεωγραφική Τοποθεσία



Πίνακας 5. 3: Στοιχεία από βάση δεδομένων

Days	Temp C°	rad
31	Temp_1	Rad_1
28	Temp_2	Rad_2
31	Temp_3	Rad_3
30	Temp_4	Rad_4
31	Temp_5	Rad_5
30	Temp_6	Rad_6
31	Temp_7	Rad_7
31	Temp_8	Rad_8
30	Temp_9	Rad_9
31	Temp_10	Rad_10
30	Temp_11	Rad_11
31	Temp_12	Rad_12

Βήμα 3°:

Με χρήση των προηγούμενων δεδομένων, που πάρθηκαν από το βήμα 1 και 2, καθώς και των μαθηματικών μοντέλων, που προαναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 4, γίνεται υπολογισμός της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου-χώρου. Δηλαδή, βρίσκεται η απαιτούμενη ημερήσια ενέργεια που χρειάζεται για να ψυχθεί και να θερμανθεί το κτίριο-χώρος ώστε να φτάσει στην επιθυμητή θερμοκρασία άνεσης.

```

5 if d.loc['Tbaw'][1]>(t.loc[i]['temp']+273.15) :
    Hdd=Hdd+(t.loc[i]['Days']*(d.loc['Tbaw'][1]-(t.loc[i]['temp']+273.15)))/365

    Qsgh=Qsgh+(t.loc[i]['Days']*d.loc['shgc'][1]*Awindows*(1000*(t.loc[i]['rad'])))/(24*365)
    Qigh=Qigh+(t.loc[i]['Days']*d.loc['Qhuman'][1])/365
    cday = cday + t.loc[i]['Days']

if d.loc['Tbaw'][1]>Tsa :
    Hddsol=Hddsol+(t.loc[i]['Days']*(d.loc['Tbaw'][1]-Tsa))/365

if d.loc['Tbas'][1]<=(t.loc[i]['temp']+273.15) :
    Cdd=Cdd+(t.loc[i]['Days']*(t.loc[i]['temp']+273.15-d.loc['Tbas'][1]))/365

    Qig=Qig+(t.loc[i]['Days']*d.loc['shgc'][1]*Awindows*(1000*(t.loc[i]['rad'])))/(24*365)

    Qsg=Qsg+(t.loc[i]['Days']*d.loc['Qhuman'][1])/365

    hday = hday + t.loc[i]['Days']

if d.loc['Tbas'][1]<Tsa :
    Cddsol=Cddsol+(t.loc[i]['Days']*(Tsa-d.loc['Tbas'][1]))/365

    hday = hday + t.loc[i]['Days']

Qwallh=Uwall*Hddsol*Awall
Qceilingh=d.loc['Uceiling'][1]*r.loc['m2'][1]*Hddsol
Qfloorh=d.loc['Ufloor'][1]*(np.sqrt((r.loc['m2'][1])))**2*Hddsol
Qwindowh=Uwindow*Awindows*Hdd
Qdoorh=d.loc['Udoor'][1]*d.loc['Adoor'][1]*Hddsol
Qinfiltration_h=d.loc['pair'][1]*d.loc['cpair'][1]*d.loc['Ach'][1]*Hdd*r.loc['m2'][1]*2.9
Qheat=Qwallh+Qceilingh+Qfloorh+Qwindowh+Qdoorh+Qinfiltration_h-(Qsgh+Qigh)

```

Εικόνα 5. 1 Κομμάτι Αλγορίθμου

Βήμα 4°:

Μέσω της χρήσης του φορτίου ψύξης-θέρμανσης γίνεται η εύρεση του μέσου ωριαίου φορτίου ψύξης, για τις βαθμοημέρες θέρμανσης, και μέσου ωριαίου φορτίου θέρμανσης,

για τις βαθμονομήρες θέρμανσης. Που χρησιμοποιούνται για την εύρεση του κατάλληλου εξοπλισμού που θα καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες του χώρου.

Επιπλέον, σε αυτό το βήμα γίνεται και η εισαγωγή των δεδομένων που έχει δώσει ο χρήστης, μέσω ενός ηλεκτρονικού ερωτηματολογίου, στη Utastar για την εύρεση των μερικών χρησιμότητων των χαρακτηριστικών του εξοπλισμού.

Στον πίνακα 5.3 παρουσιάζεται στην πρώτη στήλη οι εναλλακτικές επιλογές-προϊόντα για τον αποφασίζοντα, στην δεύτερη στήλη το κόστος κάθε εναλλακτικής, στην τρίτη στήλη το ετήσιο κόστος λειτουργίας (Annual Cost) κάθε εναλλακτικής, στην τέταρτη στήλη η ενεργειακή κλάση της εναλλακτικής-προϊόντος, στην πέμπτη στήλη το Global Warming Potential και στην τελευταία στήλη οι ολικές χρησιμότητες κάθε εναλλακτικής.

Πίνακας 5. 3: Είσοδος Utastar

Εναλλακτικές	Κόστος (€)	Ετήσιο κόστος λειτουργίας (Annual Cost, €)	Ενεργειακή κλάση (Energy Class)	GWP	Ranking
Προϊόν τεστ 1	C <sub>1</sub>	AC <sub>1</sub>	ERanc1	GRanc1	Rate 1
Προϊόν τεστ 2	C <sub>2</sub>	AC <sub>2</sub>	ERanc2	GRanc2	Rate 2
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
Προϊόν τεστ n	C <sub>n</sub>	AC <sub>n</sub>	ERanc <sub>n</sub>	GRanc <sub>n</sub>	Rate <sub>n</sub>

Ο πίνακας 5.4 παρουσιάζει τον κατάλληλο εξοπλισμό με τα χαρακτηριστικά του, τα οποία είναι το κόστος αγοράς του εξοπλισμού, το ετήσιο κόστος λειτουργίας του, η ενεργειακή του κλάση και το global warming potential.

Πίνακας 5. 4: Εξοπλισμός και χαρακτηριστικά

Εναλλακτικές	Κόστος (€)	Ετήσιο κόστος λειτουργίας (Annual Cost, €)	Ενεργειακή κλάση (Energy Class)	Global Warming Potential (Gwp)
Προϊόν 1	C <sub>1</sub>	AC <sub>1</sub>	EC <sub>1</sub>	Gwp <sub>1</sub>
Προϊόν 2	C <sub>2</sub>	AC <sub>2</sub>	EC <sub>2</sub>	Gwp <sub>2</sub>
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
Προϊόν n	C <sub>n</sub>	AC <sub>n</sub>	EC <sub>n</sub>	Gwp <sub>n</sub>

```
#Κάλεσμα της συνάρτησης (Utastar)
function.Utastar(id_user, worksheet_product, worksheet_critutil, worksheet_lp, workbook1)
```

Εικόνα 5. 2

Βήμα 5<sup>ο</sup>:

Γίνεται η είσοδος του εξοπλισμού με τα χαρακτηριστικά του (πίνακας 5.4) στη Utastar όπου με τη χρήση των μερικών χρησιμοτήτων βρίσκει τις ολικές χρησιμότητες.

```
for j in range(colnum):
    A_eq[-1,j] = 1
b_ub = np.full((len(df1)-eqcount-1,1),-delta)
b_eq = np.zeros((1+eqcount,1))
b_eq[-1] = 1
func = np.ones(colnum+len(df1)*2)
A = np.vstack((A_ub,A_eq))
b_ar = np.vstack((b_ub,b_eq))
symbol = []
for i in range(len(A_ub)):
    symbol.append('<=')
for i in range(len(A_eq)):
    symbol.append('=')

bjective_function
for i in range(colnum):
    func[i] = 0

from scipy.optimize import linprog as lp
res = lp(func,A_ub=A_ub, b_ub=b_ub,A_eq=A_eq,b_eq=b_eq, options={'disp':True})
x = res.x
utilresults = np.zeros((df2['a'].sum()))
startpos = 1
finpos = 0
respos = 0
for i in df2['a']:
    utilresults[finpos] = 0
    finpos += 1
    sum = 0
    for j in range(startpos,finpos):
        sum = sum + x[respos]
        utilresults[j] = sum
        respos += 1
    startpos = finpos+1

πίλωση πολλών γραμμικών προγραμμάτων
lpcount = df2['a'].count()
wfunc = np.zeros((lpcount,colnum+len(df1)*2))
wspos = 0
wfpos = 0
i = 0
for k in df2['a'].
```

Εικόνα 5. 3

Βήμα 6<sup>ο</sup>:

Ο αλγόριθμος δίνει σαν έξοδο τον εξοπλισμό κατανεμημένο με βάση τις ολικές χρησιμότητες έχοντας ως σκοπό να βοηθήσει τον χρήστη στην επιλογή του εξοπλισμού που θα έχει τα χαρακτηριστικά που προτιμάει και ταυτόχρονα θα καλύπτει και τις ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου-χώρου του.

Πίνακας 5. 5: Έξοδος του αλγορίθμου

Εναλλακτικές	Κόστος (€)	Ετήσιο κόστος λειτουργίας (Annual Cost, €)	Ενεργειακή κλάση (Energy Class)	Global Warming Potential (Gwp)	Ολικές χρησιμότητες (Utilities)
Προϊόν 1	C <sub>1</sub>	AC <sub>1</sub>	EC <sub>1</sub>	Gwp <sub>1</sub>	U <sub>1</sub>
Προϊόν 2	C <sub>2</sub>	AC <sub>2</sub>	EC <sub>2</sub>	Gwp <sub>2</sub>	U <sub>2</sub>
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
Προϊόν n	C <sub>n</sub>	AC <sub>n</sub>	EC <sub>n</sub>	Gwp <sub>n</sub>	U <sub>n</sub>

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

## ΕΦΑΡΜΟΓΗ

### 6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται η εφαρμογή του πολυκρητήριου συστήματος υποστήριξης αποφάσεων, για την επιλογή εξοπλισμού θέρμανσης και ψύξης σε κατοικίες, σε τρεις διαφορετικές περιπτώσεις, καθώς και ο σχολιασμός και σύγκριση αυτών.

### 6.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΛΥΣΗ

Ο αλγόριθμος εφαρμόστηκε σε μια οικία σε δύο διαφορετικές γεωγραφικά τοποθεσίες, έχοντας κρατήσει σταθερά τα χαρακτηριστικά της οικίας. Επιπλέον εφαρμόστηκε σε μια οικία στην τοποθεσία Χανιά για δύο διαφορετικούς χρήστες που δεν διαμένουν μαζί σε αυτό.

Ως είσοδος στον αλγόριθμο είναι τα δεδομένα του πίνακα 6.1 και 6.2. Στον πίνακα 6.1 μπορούν να παρατηρηθούν τα χαρακτηριστικά της οικίας ενώ στον πίνακα 6.2 παρουσιάζονται οι απαντήσεις του ηλεκτρονικού ερωτηματολογίου που δίνονται ως είσοδος στην Utastar. Μέσω του πίνακα 6.2 ο αλγόριθμος της Utastar υπολογίζει τις μερικές χρησιμότητες των χαρακτηριστικών των προϊόντων (πίνακας 6.3). Με χρήση των δεδομένων του πίνακα 6.1 και 5.2 ο αλγόριθμος υπολογίζει την απαιτούμενη ενέργεια ψύξης ( $Q_{cold}$ ) και την απαιτούμενη ενέργεια θέρμανσης ( $Q_{hot}$ ) (πίνακας 6.4), όπου με βάση αυτές βρίσκει τον κατάλληλο εξοπλισμό που καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες της οικίας, ενώ ταυτόχρονα υπολογίζει το ετήσιο κόστος λειτουργίας, με χρήση της θερμικής και ψυκτικής απόδοσης των κλιματιστικών ( $Cop$ ,  $Eer$ ). Στη συνέχεια γίνεται η εισαγωγή του κατάλληλου ενεργειακά εξοπλισμού (πίνακας 5.4) στην Utastar και με χρήση του πίνακα 6.3, και των τύπων εύρεσης της ολικής αξίας ενός προϊόντος (κεφάλαιο 4.3), γίνεται ο υπολογισμός της ολικής αξίας των προϊόντων και δημιουργείται η τελική έξοδος.

Πίνακας 6. 1: Δεδομένα εισόδου από το χρήστη

Τετραγωνικά μέτρα (m <sup>2</sup> ) = 50
Αριθμός μεγάλων παραθύρων-πόρτες μπαλκονιού (Number of big window) =3
Αριθμός μικρών παραθύρων (Number of small window) =0
Πάχος τοίχου (Depth Wall) = 0.1
Μονά ή διπλά τζάμια (Layers of glass) = 2
Γεωγραφική τοποθεσία = Χανιά
Αριθμός ατόμων = 2

Πίνακας 6. 2 : Είσοδος Utastar

Εναλλακτικές (Btu)	Κόστος (€)	Ετήσιο κόστος λειτουργίας (Annual Cost,€)	Ενεργειακή κλάση (Energy Class)	Global Warming Potential (Gwp)	Ranking
1	877	278,78	7	7	1
2	699	298,36	6	7	2
3	730	281,91	6	7	3
4	630	374,52	5	1	4

Πίνακας 6. 3 Μερικές χρησιμότητες χαρακτηριστικών

u Κόστος (1000)	u Κόστος (833.333)	u Κόστος (666.667)	u Κόστος (500)	u Κόστος (333.333)	u Κόστος (166.667)	u Κόστος (0.0)
0	0,14593	0,14593	0,145931748	0,14593	0,14593	0,14593
u Ετήσιο κόστος λειτουργίας (1000)	u Ετήσιο κόστος λειτουργίας (833.333)	u Ετήσιο κόστος λειτουργίας (666.667)	u Ετήσιο κόστος λειτουργίας (500.0)	u Ετήσιο κόστος λειτουργίας (333.333)	u Ετήσιο κόστος λειτουργίας (166.667)	u Ετήσιο κόστος λειτουργίας (0.0)
0	0	0	0,0901	0,48720	0,48720	0,48720
u Ενεργειακή κλάση (1.0)	u Ενεργειακή κλάση (2.0)	u Ενεργειακή κλάση (3.0)	u Ενεργειακή κλάση (4.0)	u Ενεργειακή κλάση (5.0)	u Ενεργειακή κλάση (6.0)	u Ενεργειακή κλάση (7.0)
0	0,14593	0,14593	0,14593	0,1959	0,1959	0,1959
u Global Warming Potential (1.0)	u Global Warming Potential (2.0)	u Global Warming Potential (3.0)	u Global Warming Potential (4.0)	u Global Warming Potential (5.0)	u Global Warming Potential (6.0)	u Global Warming Potential (7.0)
0	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,1709

Πίνακας 6. 4 Ενέργεια Ψύξης - Θέρμανσης

$Q_{cold}(W/h)$	$Q_{hot}(W/h)$
1775	50

Πίνακας 6. 5 Κλιματολογικά χαρακτηριστικά Χανίων

Days	Temp C°	rad
31	11,6	2,58
28	11,8	3,25
31	13,2	5
30	16,3	6,38
31	20,1	8,58
30	24,5	9,33
31	26,5	9,87
31	26,1	9,08
30	23,3	6,79
31	19,4	4,33
30	16,1	3,13
31	13,1	2,38

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή του αλγορίθμου σε μια οικία σε δύο διαφορετικές γεωγραφικά τοποθεσίες, έχοντας κρατήσει σταθερά τα χαρακτηριστικά της οικίας παρουσιάζονται ακολούθως, πίνακας 5.8 και 5.9.

Πίνακας 6. 6 Έξοδος αλγορίθμου

Εναλλακτικές (Btu)	Κόστος (€)	Ετήσιο κόστος λειτουργίας (Annual Cost, €)	Ενεργειακή κλάση (Energy Class)	Global Warming Potential (Gwp)	Ολικές χρησιμότητες (Utilities)
Kur 12000	633	372,35	A+++	635	0,76
Izur 12000	515	449,94	A++	675	0,58
Hir 12000	473	513,20	A++	795	0,45
Kenz 12000	395	557,14	A+	2087,5	0,35

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα (πίνακα 5.10) συμπεραίνετε ότι το προϊόν που προτείνεται από τον αλγόριθμο στον καταναλωτή είναι Kur 12000 Btu με κόστος 633€, ετήσιο κόστος 372,35€, ενεργειακή κλάση A+++, GWP 635 και ολική χρησιμότητα 0,87875.

Πίνακας 6. 7 Ενέργεια Ψύξης - Θέρμανσης

$Q_{cold}(W/h)$	$Q_{hot}(W/h)$
605,59	583,94

Πίνακας 6. 8 Κλιματολογικά χαρακτηριστικά Κυκλάδων

Days	Temp C°	rad
31	7,41	1,85
28	7,32	2,66
31	9,78	3,9
30	13,3	5,59
31	17,1	7,23
30	21,5	8,29
31	24,4	8,21
31	24,8	7,31
30	21,8	5,6
31	16,8	3,69
30	12,1	2,18
31	8,33	1,52



Πίνακας 6. 9 Έξοδος αλγορίθμου

Εναλλακτικές (Btu)	Κόστος (€)	Ετήσιο κόστος λειτουργίας (Annual Cost, €)	Ενεργειακή κλάση (Energy Class)	Global Warming Potential (Gwp)	Ολικές χρησιμότητες (Utilities)
Kur 10000	583	335,24	A+++	675	0,76
Izur 9000	399	397,57	A++	675	0,58
Hir 9000	369	414,86	A++	735	0,45
Kenz 9000	325	429,85	A+	2087,5	0,35

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του πίνακα 6.9 παρατηρείται ότι το προϊόν που προτείνεται στον πρώτο καταναλωτή είναι Kur 10000Btu, με κόστος 583€, ετήσιο κόστος 278,78€, ενεργειακή κλάση A+++ , GWP 335 και ολική χρησιμότητα 0,84875.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του πίνακα 6.9 και 6.11 συμπεραίνετε ότι, ενώ τα χαρακτηριστικά της οικίας παραμένουν σταθερά, τα αποτελέσματα για τα προϊόντα είναι διαφορετικά διότι λόγω αλλαγής της γεωγραφικής τοποθεσίας έχουν επηρεαστεί οι θερμικές απολαβές και απώλειες του κτιρίου.

Στη συνέχεια γίνεται εφαρμογή σε δυο διαφορετικούς χρήστες για την ίδια οικία και ίδια γεωγραφική τοποθεσία. Αυτή η εφαρμογή έχει ως σκοπό να δείξει την διαφορά των αποτελεσμάτων που θα δώσει ο αλγόριθμος, καθώς λόγο των διαφορετικών προτιμήσεων του κάθε χρήστη (πίνακας 5.13) , διαφορετικές απαντήσεις στο ηλεκτρονικό ερωτηματολόγιο, η Utastar θα δώσει διαφορετικές ολικές προτιμήσεις στα προϊόντα.

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή του αλγορίθμου σε ένα σπίτι στην τοποθεσία Χανιά για δύο διαφορετικούς χρήστες που δεν διαμένουν σε αυτό, παρουσιάζονται στον πίνακα 6.8 και 6.12.

Πίνακας 6. 10 Πίνακας 6. 11 Μερικές χρησιμότητες χαρακτηριστικών ,δεύτερου χρήστη

u Κόστος (1000)	u Κόστος (833.333)	u Κόστος (666.667)	u Κόστος (500)	u Κόστος (333.333)	u Κόστος (166.667)	u Κόστος (0.0)
0	0,139685	0,139686	0,273867	0,273867	0,273867	0,273867
u Ετήσιο κόστος λειτουργίας (1000)	u Ετήσιο κόστος λειτουργίας (833.333)	u Ετήσιο κόστος λειτουργίας (666.667)	u Ετήσιο κόστος λειτουργίας (500.0)	u Ετήσιο κόστος λειτουργίας (333.333)	u Ετήσιο κόστος λειτουργίας (166.667)	u Ετήσιο κόστος λειτουργίας (0.0)
0	0	0	0,178854	0,178854	0,178854	0,178854
u Ενεργειακή κλάση (1.0)	u Ενεργειακή κλάση (2.0)	u Ενεργειακή κλάση (3.0)	u Ενεργειακή κλάση (4.0)	u Ενεργειακή κλάση (5.0)	u Ενεργειακή κλάση (6.0)	u Ενεργειακή κλάση (7.0)
0	0,139685	0,139685	0,139685	0,189685	0,189685	0,189685
u Global Warming Potential (1.0)	u Global Warming Potential (2.0)	u Global Warming Potential (3.0)	u Global Warming Potential (4.0)	u Global Warming Potential (5.0)	u Global Warming Potential (6.0)	u Global Warming Potential (7.0)
0	0,025	0,025	0,025	0,357594	0,357594	0,357594

Πίνακας 6. 12 Είσοδος Utastar δεύτερου χρήστη

Εναλλακτικές (Btu)	Κόστος (€)	Ετήσιο κόστος λειτουργίας (Annual Cost, €)	Ενεργειακή κλάση (Energy Class)	Global Warming Potential (Gwp)	Ranking
1	877	278,78	7	7	2
2	699	298,36	5	5	1
3	730	281,91	5	4	3
4	630	374,52	4	1	4

Πίνακας 6. 13 Εξοδος αλγορίθμου δεύτερου χρήστη

Εναλλακτικές (Btu)	Κόστος (€)	Ετήσιο κόστος λειτουργίας (Annual Cost, €)	Ενεργειακή κλάση (Energy Class)	Global Warming Potential (Gwp)	Ολικές χρησιμότητες (Utilities)
Izur 12000	515	449,94	A++	795	0,9879
Kur 12000	633	372,346	A+++	635	0,8929
Hir 12000	473	513,20	A++	675	0,6532
Kenz 12000	395	557,14	A+	2087,5	0,53109

Παρατηρώντας τον πίνακα 6.8 και 6.12 συμπεραίνετε ότι η κατάταξη των προϊόντων είναι διαφορετική λόγω διαφορετικών ολικών χρησιμοτήτων. Αυτό, προκύπτει επειδή ο δεύτερος χρήστης δίνει μεγαλύτερη βαρύτητα σε διαφορετικά χαρακτηριστικά του προϊόντος σε σύγκριση με τον πρώτο.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο σκοπός της εργασίας, που ήταν να δημιουργηθεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα συστάσεων βασιζόμενο σε ενεργειακά μοντέλα και στη πολυκριτήρια μέθοδο Utastar που θα είναι φιλικό στο χρήστη και με ελάχιστο αριθμό δεδομένων για είσοδο, επετεύχθη.

Όπως γίνεται κατανοητό το έδαφος είναι αρκετά έφορο στην κατεύθυνση της δημιουργίας συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων βασιζόμενα σε ενεργειακά μοντέλα και για αυτό το λόγο με την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας τίθενται και οι βάσεις για τη συνέχεια.

Οι προεκτάσεις που θα γίνουν στο σύστημα κινούνται σε δύο κατευθύνσεις, στην υλοποίησή του σε περιβάλλον Django web framework και στην βελτίωση του συστήματος ώστε να προσφέρει περισσότερες δυνατότητες στους χρήστες του.

Σε πρώτο βήμα θα γίνει υλοποίηση σε περιβάλλον Django web framework άρα θα είναι μια ολοκληρωμένη εφαρμογή και έτοιμη για χρήση από τον οποιοδήποτε.

Δεύτερο βήμα θα γίνει βελτίωση του συστήματος στην κατεύθυνση να έχει την δυνατότητα να κατεβάζει (download) δεδομένα από το διαδίκτυο και να μπορεί να δίνει στο χρήστη και τη δυνατότητα σύγκρισης των τιμών ανάμεσα στα καταστήματα που διαθέτουν την καταλληλότερη προς αυτόν επιλογή εγκατάστασης.

# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- (1)Ματσατσίνης Ν.( 2010).Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων, Πολυκριτήριες Μεθοδολογίες Ανάλυσης Αποφάσεων pp.154-218
- (2)ΤΕΕ-Τμ. Αν.&Δυτ. Κρήτης (2005). Η ενεργειακή επιθεώρηση στα κτίρια και στη βιομηχανία και η προετοιμασία των μηχανικών στη Κρήτη
- (3)Κενακ <http://www.ypeka.gr/?tabid=525>
- (4) EnergyPlus: Energy Simulation Software for Buildings CR-2118. BERKELEY LAB:  
Intellectual Property Office, <https://ipo.lbl.gov/lbnl2118/>. Accessed on 9 Mar. 2019.
- (5) EnergyPlus Version 9.0.1 Documentation: Getting Started.” Energy Plus,  
[https://energyplus.net/sites/all/modules/custom/nrel\\_custom/pdfs/pdfs\\_v9.0.1/GettingSt  
a  
rted.pdf](https://energyplus.net/sites/all/modules/custom/nrel_custom/pdfs/pdfs_v9.0.1/GettingStarted.pdf). Accessed on 8 Feb. 2019.
- (6) Cengel, Y. (1998). Heat transfer: A practical approach, McGraw-Hill
- (7) Constantin Zopounidis and Michael Doumpos. Multicriteria classification and sorting methods: a literature review. European Journal of Operational Research, 138(2):229–246, 2002.
- (8) Eric Jacquet-Lagreve and Yannis Siskos. Preference disaggregation: 20 years of mcda experience. European Journal of Operational Research, 130(2):233–245, 2001.
- (9) Eric Jacquet-Lagreve and Jean Siskos. Assessing a set of additive utility functions for multicriteria decision-making, the uta method. European journal of operational research, 10(2):151–164, 1982.
- (10) Eric Jacquet-Lagreve. An application of the uta discriminant model for the evaluation of r & d projects. In Advances in multicriteria analysis, pages 203–211. Springer, 1995.
- (11) JM Devaud, G Groussaud, and Eric Jacquet-Lagreve. Utadis: Une méthode de construction de fonctions d'utilité additives rendant compte de jugements globaux. European Working Group on Multicriteria Decision Aid, Bochum, page 94, 1980.
- (12) Kenneth J Arrow, Hervé Raynaud, et al. Social choice and multicriterion decisionmaking. MIT Press Books, 1, 1986.
- (13) Meier, P. (1986). Energy Planning in Developing Countries: An Introduction to Analytical Methods. Colorado: Westview Press.
- (14) Salvatore Greco, J Figueira, and M Ehrgott. Multiple criteria decision analysis. Springer, 2016.

- (15) Underwood, F. Yik. (2004). “Modeling Methods for Energy in Buildings”, Blackwell
- (16) Yannis Siskos and Denis Yannacopoulos. Utastar: An ordinal regression method for building additive value functions. *Investigação Operacional*, 5(1):39–53, 1985.
- (17)<http://www.toyotomi.gr/el/btu-calculator>
- (18)<https://www.kotsovolos.gr/site/promocontent.jsp?cmsid=20911>