

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



**Μεταπτυχιακή διατριβή**

ΚΤΙΡΙΑ ΣΧΕΔΟΝ ΜΗΔΕΝΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ  
ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ: ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ  
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΑΚΟΥ ΚΕΛΥΦΟΥΣ

Κατερίνα Λουκαΐδου

Λεμεσός 2015



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΚΤΙΡΙΑ ΣΧΕΔΟΝ ΜΗΔΕΝΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ  
ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ: ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ  
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΑΚΟΥ ΚΕΛΥΦΟΥΣ

της  
Κατερίνας Λουκαΐδου

Λεμεσός 2015



**ΕΝΤΥΠΟ ΕΓΚΡΙΣΗΣ**

Μεταπτυχιακή διατριβή

Κτίρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας:  
Τεχνοοικονομική ανάλυση των χαρακτηριστικών του  
κτιριακού κελύφους

Παρουσιάστηκε από την

Κατερίνα Λουκαΐδου

Επιβλέπων καθηγητής : Καθηγητής Θεόδωρος Ζαχαριάδης

Μέλος επιτροπής : \_\_\_\_\_  
[ιδιότητα και όνομα]

Μέλος επιτροπής : \_\_\_\_\_  
[ιδιότητα και όνομα]

Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Δεκέμβριος, 2015



## **Πνευματικά δικαιώματα**

Copyright © Κατερίνα Λουκαΐδου, 2015

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της μεταπτυχιακής διατριβής από το Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Περιβάλλοντος του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.





*Με το πέρας της Μεταπτυχιακής Διατριβής, αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω τα πρόσωπα που συνέβαλα στην ολοκλήρωσή της, η συγγραφή της οποίας θα ήταν ανέφικτη χωρίς την συμπαράσταση και καθοδήγηση τους. Πρώτιστα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή Δρ. Θεόδωρο Ζαχαριάδη για την ανάθεση και επίβλεψη αυτής της διατριβής και τον Δρ. Απόστολο Μιχόπουλο για την συμβολή στην εξέλιξη της μελέτης. Επιπλέον, οφείλω να ευχαριστήσω την συνεργάτιδα Βάσω Βούλγαρη, για την άριστη συνεργασία της κατά τα πρώτα στάδια της διατριβής. Τέλος, από καρδιάς ευχαριστώ την οικογένεια μου και τους φίλους μου για την αμέριστη τους συμπαράσταση.*



## Περίληψη

---

Η παρούσα Μεταπτυχιακή Διατριβή με τίτλο «Κτίρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας: Τεχνοοικονομική ανάλυση των χαρακτηριστικών του κτιριακού κελύφους» έχει ως βασικό αντικείμενο μελέτης τον προσδιορισμός των βέλτιστων θερμικών χαρακτηριστικών των εξωτερικών δομικών στοιχείων και εξωτερικών ανοιγμάτων του κτιριακού κελύφους, η εφαρμογή των οποίων θα υλοποιεί κτίρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας στην Κύπρο. Για το σκοπό της μελέτης σε πρώτη φάση διερευνήθηκε και αναλύθηκε η σχέση του λόγου επιφάνειας κτιρίου προς τον όγκο του (S/V) με τη ζήτηση ενέργειας. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε σε τρεις περιοχές μελέτης, λαμβάνοντας τα κλιματολογικά χαρακτηριστικά της Λεμεσού, της Λευκωσίας και του Σαϊττά. Στα πλαίσια της ανάλυσης, πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις διαφόρων διαστάσεων κτιρίων αναφοράς, των οποίων τα χαρακτηριστικά ήταν όμοια και προσαρμοσμένα στα κυπριακά δεδομένα. Ακολούθως, διερευνήθηκε η επίδραση της εξωτερικής θερμομόνωσης και των εξωτερικών ανοιγμάτων στην ενεργειακή κατανάλωση της κτιριακής μονάδας αναφοράς. Έπειτα, ακολούθησε αξιολόγηση των αποτελεσμάτων για κάθε ενεργειακή πρακτική, με τη χρήση της μεθόδου Καθαρής Παρούσας Αξίας. Με το πέρας της τεχνοοικονομικής αξιολόγησης, προέκυψαν για κάθε κτίριο αναφοράς το βέλτιστο πάχος θερμομόνωσης και το βέλτιστο σενάριο εξωτερικών ανοιγμάτων, ενώ με την βοήθεια του Οδηγού Θερμομόνωσης Κτιρίων που εκδίδεται από την Υπηρεσία Ενέργειας της Κύπρου, υπολογίστηκαν οι βέλτιστοι συντελεστές θερμοπερατότητας για τα βασικά δομικά στοιχεία (εξωτερική τοιχοποιία, οροφή, δάπεδο σε επαφή με το έδαφος) καθώς και για τα εξωτερικά ανοίγματα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το βέλτιστο από πλευράς κόστους ενεργειακό επίπεδο απόδοσης για τα κτίρια αναφοράς στην Κύπρο είναι σημαντικά χαμηλότερο από το επίπεδο που προνοεί η κρατική νομοθεσία. Επιπλέον, παρατηρήθηκε μια γραμμική συσχέτιση ανάμεσα στο μέσο συντελεστή θερμοπερατότητας και στη περιοχή μελέτης, η οποία συσχέτιση υπογραμμίζει την ανάγκη σχηματισμού τριών ανεξάρτητων ενεργειακών ζωνών στη Κύπρο αντί μιας που υπάρχει σήμερα.



# Πίνακας Περιεχομένων

---

Περίληψη.....	ix
Κατάλογος Πινάκων.....	xiii
Κατάλογος Εικόνων.....	xv
Κατάλογος Διαγραμμάτων.....	xvii
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1    Ανασκόπηση του Ενεργειακού Προβλήματος.....	1
1.2    Σκοπός της εργασίας.....	2
1.3    Συνοπτική περιγραφή του περιεχομένου.....	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	5
2.1    Νομικό υπόβαθρο.....	5
2.2    Κτίρια Σχεδόν Μηδενικής Κατανάλωσης Ενέργειας.....	7
2.2.1    Ανασκόπηση καλών ενεργειακών πρακτικών.....	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	15
3.1    Καθορισμός μεταβλητών παραμέτρων.....	15
3.1.1    Θερμικά χαρακτηριστικά εξωτερικών δομικών στοιχείων (Μεταβλητή Α).....	15
3.1.2    Θερμικά χαρακτηριστικά εξωτερικών ανοιγμάτων (Μεταβλητή Β).....	16
3.2    Προσομοίωση κτιρίων αναφοράς.....	16
3.2.1    Λόγος επιφάνειας προς τον όγκο του κτιρίου αναφοράς (S/V).....	16
3.2.2    Διαστασιολόγηση κτιριακού κελύφους.....	17
3.2.3    Διαστασιολόγηση εξωτερικών ανοιγμάτων.....	18
3.2.4    Σχεδιασμός κτιρίων αναφοράς.....	19
3.3    Κλιματικές ζώνες ανάλυσης.....	20
3.4    Υπολογισμός θερμικών και ψυκτικών φορτίων κτιρίου αναφοράς.....	21
3.4.1    Πορεία επίλυσης ενός κτιρίου αναφοράς.....	21

3.5	Αξιολόγηση του κόστους κύκλου ζωής των μεταβλητών παραμέτρων.....	25
3.5.1	Νομική υπόσταση.....	25
3.5.2	Υπολογισμός της Καθαρής Παρούσας Αξίας (NPV) για κάθε Κτίριο Αναφοράς και Ενεργειακή Πρακτική .....	26
3.6	Υπολογισμός θερμικών χαρακτηριστικών εξωτερικών δομικών στοιχείων και εξωτερικών ανοιγμάτων .....	30
3.6.1	Συντελεστές θερμοπερατότητας εξωτερικών δομικών στοιχείων.....	30
3.6.2	Συντελεστές θερμοπερατότητας εξωτερικών ανοιγμάτων .....	33
3.6.3	Μέσοι συντελεστές θερμοπερατότητας.....	33
3.7	Πορεία ανάλυσης.....	34
3.7.1	Πορεία ανάλυσης μεταβλητής παραμέτρου Α .....	34
3.7.2	Πορεία ανάλυσης μεταβλητής παραμέτρου Β .....	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ .....		39
4.1	Συντελεστές θερμοπερατότητας για τα εξωτερικά δομικά στοιχεία .....	39
4.1.1	Περιοχή Μελέτης: Λεμεσός .....	39
4.1.2	Περιοχή μελέτης: Λευκωσία .....	40
4.1.3	Περιοχή μελέτης: Σαϊττάς .....	41
4.1.4	Σύνοψη .....	42
4.2	Συντελεστές θερμοπερατότητας για τα εξωτερικά ανοίγματα .....	43
4.3	Μέσοι συντελεστές θερμοπερατότητας κτιρίων αναφοράς .....	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....		47
Βιβλιογραφία		51

## Κατάλογος Πινάκων

---

Πίνακας 1: Ελάχιστες ενεργειακές απαιτήσεις - Διάταγμα 432/2013.....	6
Πίνακας 2: Ελάχιστες ενεργειακές απαιτήσεις - Διάταγμα 366/2014.....	7
Πίνακας 3: Εξεταζόμενα πάχη θερμομόνωσης .....	15
Πίνακας 4: Θερμικά χαρακτηριστικά εξωτερικών ανοιγμάτων.....	16
Πίνακας 5: Τύποι κτιρίων αναφοράς με αντίστοιχους λόγους S/V.....	17
Πίνακας 6: Διαστάσεις κτιρίων αναφοράς .....	18
Πίνακας 7: Ανοίγματα ανά τύπο και ανά επιφάνεια κτιρίου αναφοράς.....	19
Πίνακας 8: Χαρακτηριστικά θερμικής ζώνης .....	23
Πίνακας 9: Τιμές εξηλασμένης πολυστερίνης.....	27
Πίνακας 10: Τιμές εξωτερικών υαλοπινάκων .....	27
Πίνακας 11: Συντελεστές απόδοσης συμβατικών συστημάτων.....	28
Πίνακας 12: Ετήσια διακύμανση των τιμών ρεύματος και πετρελαίου .....	29
Πίνακας 13: Τιμές αναφοράς επιφανειακών αντιστάσεων αδιαφανών δομικών στοιχείων ...	31
Πίνακας 14: Πάχη και θερμική αγωγιμότητα δομικών υλικών.....	31
Πίνακας 15: Μέθοδος υπολογισμού συντελεστών θερμοπερατότητας δαπέδων σε επαφή με το έδαφος.....	32
Πίνακας 16: Βέλτιστοι συντελεστές θερμοπερατότητας σύμφωνα με τα κλιματικά χαρακτηριστικά της Λεμεσού.....	39
Πίνακας 17: Βέλτιστοι συντελεστές θερμοπερατότητας σύμφωνα με τα κλιματικά χαρακτηριστικά της Λευκωσίας.....	40
Πίνακας 18: Βέλτιστοι συντελεστές θερμοπερατότητας σύμφωνα με τα κλιματικά χαρακτηριστικά του Σαϊττά .....	41





## Κατάλογος Εικόνων

---

Εικόνα 1: Τύποι εξωτερικών ανοιγμάτων .....	18
Εικόνα 2: Τύποι εξεταζόμενων κτιρίων αναφοράς ανάλογα με το λόγος S/V.....	20
Εικόνα 3: Περιοχές μελέτης στη Κύπρο (Πηγή: Google Maps) .....	21
Εικόνα 4: Πορεία δημιουργίας των .idf αρχείων.....	22
Εικόνα 5: Πορεία επεξεργασίας ενός .idf αρχείου .....	22
Εικόνα 6: Τυπική διατομή οροφής.....	24
Εικόνα 7: Τυπική διατομή δαπέδου σε επαφή με το έδαφος .....	24
Εικόνα 8: Τυπική διατομή εξωτερικής τοιχοποιίας.....	24
Εικόνα 9: Πορεία ανάλυσης μεταβλητής παραμέτρου A.....	36
Εικόνα 10: Πορεία ανάλυσης μεταβλητής παραμέτρου B.....	38



## Κατάλογος Διαγραμμάτων

---

Διάγραμμα 1: Μέσοι συντελεστές θερμοπερατότητας ( $U_m$ ) για κάθε τιμή του λόγου  $S/V$ ... 44



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 Ανασκόπηση του Ενεργειακού Προβλήματος

Η αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας και η ρύπανση της ατμόσφαιρας αποτελούν τα δυο σημαντικά προβλήματα τα οποία καλείται να αντιμετωπίσει η σύγχρονη κοινωνία. Η ανάγκη για διερεύνηση και απάλειψη των προβλημάτων καθίστανται επιτακτική σε όλη την υφήλιο. Σήμερα, οι προσπάθειες επανόρθωσης τους στρέφονται κυρίως στην διερεύνηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, καθώς και ενεργειακών πρακτικών μέσα από την επινόηση νέων τεχνολογιών, συστημάτων και υλικών εφαρμογής. Η υλοποίηση τους έχει συνεπώς δυο σημαντικές προκλήσεις: την διευθέτηση μιας ορθολογικής διαχείρισης ενέργειας καθώς και τη διασφάλιση της δημόσιας υγείας.

Σύμφωνα με την Maria van der Hoeven, Εκτελεστική Διευθύντρια του Διεθνούς Γραφείου Ενέργειας (IEA), τα κτίρια αποτελούν το τομέα της οικονομίας με τα μεγαλύτερα ποσοστά χρήσης ενέργειας. (International Energy Agency 2013) Συγκεκριμένα, ο κτιριακός τομέας καταναλώνει το 40% της τελικής ενέργειας, το 60% του ηλεκτρισμού και το 40% των πόρων που διατίθενται ανά το παγκόσμιο, ενώ ευθύνεται για το 33% των εκπομπών αέριων του θερμοκηπίου. (United Nations Environment Programme) Κατά συνέπεια, η αυξανόμενη χρήση ενέργειας, οι σημαντικές ποσότητες αποβλήτων που παράγονται και η απελευθέρωση των ανεπιθύμητων αερίων στην ατμόσφαιρα, καθιστούν τις κατασκευαστικές δραστηριότητες και τη λειτουργία των κτιρίων ανάμεσα στους δυσμενείς περιβαλλοντικούς τομείς και ως εκ τούτου η εφαρμογή βιώσιμων λύσεων κρίνεται απαραίτητη για την προαγωγή ενός παραγωγικού και βιώσιμου περιβάλλοντος.

Σε αυτό το σημείο, δεν μπορεί να αγνοηθεί η επιρροή του εξωτερικού κελύφους στις ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου. Η θερμική και ψυκτική ζήτηση συνδέεται άρρηκτα με το εξωτερικό κέλυφος και δεν αποτελεί τυχαίο το γεγονός ότι αυτό ευθύνεται για τις μεγαλύτερες ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου. Το 2010, το 37% της συνολικής πρωτογενούς ενέργειας στις Ηνωμένες Πολιτείες χρησιμοποιήθηκε για την θέρμανση και ψύξη του κτιριακού τομέα (U.S. Department of Energy 2014) ενώ στην Κύπρο το ποσοστό αυτό φτάνει το 53%, σύμφωνα με τα τελευταία δεδομένα της κρατικής στατιστικής υπηρεσίας. (Στατιστική Υπηρεσία Κύπρου 2015)

Παρά το σημαντικό ρόλο του εξωτερικού κελύφους στην ενεργειακή απόδοση των κτιριακών μονάδων, υπάρχει πληθώρα των περιπτώσεων που είτε καταλαμβάνει δευτερεύουσα σημασία είτε αγνοείται παντελώς. Μια συχνή τακτική είναι η κατασκευή κτιρίων χωρίς επαρκή θερμομόνωση ή εξωτερική σκίαση ενώ παράλληλα κοινή είναι επίσης η τακτική τοποθέτησης μονών υαλοπινάκων. Αυτό έχει ως άμεση συνέπεια την αύξηση ζήτησης θερμικών και ψυκτικών φορτίων για επίτευξη καλύτερων συνθηκών άνεσης στο εσωτερικό του κτιρίου. Η ζήτηση αυτή αυξάνει τις ενεργειακές ανάγκες και κατ' επέκταση τις επιπτώσεις στο περιβάλλον.

Είναι, επομένως, σαφές ότι τα μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας στον κτιριακό τομέα κρίνονται ως απολύτως απαραίτητα. Οι παρεμβάσεις δύναται να αφορούν μέρος ή ολόκληρο το εξωτερικό κέλυφος του κτιρίου και να περιλαμβάνουν την εφαρμογή θερμομόνωσης στα κύρια δομικά στοιχεία όπως εξωτερική τοιχοποιία, οροφή και δάπεδο, καθώς και τη τοποθέτηση κατάλληλων υαλοπινάκων. Πέρα από αυτό, η εναρμόνιση σε ένα διεθνές και εθνικό νομικό πλαίσιο, σε συνδυασμό με την ανάπτυξη τεχνοοικονομικής εκτίμησης του κόστους κύκλου ζωής των εφαρμοστέων ενεργειακών πρακτικών, ενδέχεται να συμβάλουν θετικά στη χωρική βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του κτιριακού τομέα.

## 1.2 Σκοπός της εργασίας

Η εργασία περιλαμβάνει δυο στάδια ανάλυσης. Στο **πρώτο στάδιο**, βασικός στόχος είναι η διερεύνηση και η ανάλυση της σχέσης που παρουσιάζει ο λόγος επιφάνειας κτιρίου προς τον όγκο του ( $S/V$ ) με τη ζήτηση ενέργειας. Για την επίτευξη του στόχου αυτού γίνεται προσομοίωση διαφόρων διαστάσεων κτιρίων αναφοράς, των οποίων τα χαρακτηριστικά είναι όμοια και προσαρμοσμένα στα κυπριακά δεδομένα. Το σχεδιαστικό τμήμα γίνεται μέσω του λογισμικού Google SketchUp ενώ το υπολογιστικό κομμάτι μέσω του λογισμικού Energy Plus. Στην προκειμένη περίπτωση, η εναλλαγή στο πάχος της εξωτερικής θερμομόνωσης και στις θερμικές ιδιότητες των υαλοπινάκων δίνει ένα ευρύ φάσμα εναλλακτικών τιμών θερμικών και ψυκτικών φορτίων, το οποίο διαφέρει κατά πολύ στις εξεταζόμενες περιοχές μελέτης που αποτελούν η Λεμεσός, η Λευκωσία και ο Σαΐτας.

Στο **δεύτερο στάδιο**, βασικός στόχος είναι η αξιολόγηση του κόστους κύκλου ζωής των δύο κύριων ενεργειακών πρακτικών που εφαρμόστηκαν στα κτίρια αναφοράς και αυτή επιτυγχάνεται με τη χρήση της μεθόδου της Καθαρής Παρούσας Αξίας. Η τεχνοοικονομική ανάλυση δίνει στην τελική το βέλτιστο συντελεστή θερμοπερατότητας των εξωτερικών

δομικών στοιχείων και των εξωτερικών ανοιγμάτων για κάθε τιμή του λόγου S/V και για κάθε περιοχή ξεχωριστά. Σκοπός της εργασίας είναι ο προσδιορισμός των βέλτιστων θερμικών χαρακτηριστικών των εξωτερικών δομικών στοιχείων και εξωτερικών ανοιγμάτων, η εφαρμογή των οποίων θα υλοποιεί κτίρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας.

### 1.3 Συνοπτική περιγραφή του περιεχομένου

Η εργασία χωρίζεται σε πέντε (5) δομημένα κεφάλαια. Στο **πρώτο κεφάλαιο** γίνεται εισαγωγή στο ενεργειακό πρόβλημα και στη συμβολή του κτιριακού τομέα στην επιδείνωση του. Επιπλέον, γίνεται αναφορά στα δυο στάδια ανάλυσης της εργασίας.

Στο **δεύτερο κεφάλαιο** παρατίθεται η βιβλιογραφική ανασκόπηση. Σε πρώτη φάση γίνεται αναφορά στο τρέχον ενεργειακό νομοθετικό και θεσμικό πλαίσιο για τις κτιριακές υποδομές σε Ευρώπη και Κύπρο. Στην συνέχεια, παρουσιάζεται και αναλύεται το κτίριο σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας με κύριο άξονα το κτιριακό κέλυφος. Η διερεύνηση γίνεται κάτω από την σκοπιά επιστημονικών και ερευνητικών προσεγγίσεων.

Το **τρίτο κεφάλαιο** πραγματεύεται την περιγραφή των δεδομένων που λήφθηκαν για την εκπόνηση της ανάλυσης, καθώς και τη μεθοδολογία που εφαρμόστηκε για να εξαχθούν τα αποτελέσματα.

Στο **τέταρτο κεφάλαιο** παρουσιάζεται η ανάλυση και επεξήγηση των αποτελεσμάτων που εξήχθησαν κατά το προηγούμενο κεφάλαιο.

Τέλος, το **πέμπτο κεφάλαιο** περιλαμβάνει συνοπτικά τα τελικά συμπεράσματα της εργασίας.





## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

### 2.1 Νομικό υπόβαθρο

Η σημαντική συμβολή του κτιριακού τομέα στην συνολική κατανάλωση ενέργειας και κατά συνέπεια η συμμετοχή του στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, οδήγησε το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο στην έκδοση της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 2010/31/ΕΕ στις 19 Μαΐου 2010. Στόχος της Οδηγίας είναι η από κοινού δράση των κρατών μελών για τη μη ορθολογική χρήση της ενέργειας από τις κτιριακές μονάδες, αλλά και η θέσπιση εθνικών και περιφερειακών μέτρων αντιμετώπισης του προβλήματος. Η απόφαση αυτή επιτρέπει στην Ευρωπαϊκή Ένωση να συμμορφωθεί με το πρωτόκολλο του Κιότο και να συμβάλλει άμεσα στην αντιμετώπιση του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής. Παράλληλα, η τάση για ενεργειακή ευαισθητοποίηση, ενισχύει την προσπάθεια προσαρμογής στο στόχο 20/20/20, όπου κύριο του μέλημα είναι η μείωση τουλάχιστο κατά 20% της ενεργειακής κατανάλωσης και των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου έως το 2020. (Οδηγία 2010/31/ΕΕ 2010)

Σύμφωνα με την Οδηγία, η Ευρωπαϊκή Ένωση καλεί τα κράτη μέλη να θεσπίσουν μέτρα για περαιτέρω βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, λαμβάνοντας υπόψη τις εξωτερικές κλιματολογικές και τοπικές συνθήκες, τις κλιματικές απαιτήσεις των εσωτερικών χώρων καθώς και τη σχέση κόστους-οφέλους των ενεργειακών επεμβάσεων. Επιπλέον, τα κράτη μέλη είναι υπεύθυνα για τον προσδιορισμό των ελάχιστων απαιτήσεων για την ενεργειακή απόδοση των κτιριακών μονάδων και την προετοιμασία της κοινωνίας για κτίρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας. Η απαίτηση για κτίρια με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας καθορίζεται στο Άρθρο 9 της Οδηγίας 2010/31/ΕΕ, σύμφωνα με το οποίο όλα τα κράτη μέλη οφείλουν να ικανοποιήσουν τις πιο κάτω απαιτήσεις:

- i. έως τις 31 Δεκεμβρίου 2020, όλα τα νέα κτίρια των κρατών μελών να αποτελούν κτίρια με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας και
- ii. μετά τις 31 Δεκεμβρίου 2018, τα νέα κτίρια που στεγάζουν δημόσιες αρχές ή είναι ιδιοκτησίας τους να αποτελούν επίσης κτίρια με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας. (Οδηγία 2010/31/ΕΕ 2010)

Στο πλαίσιο αυτό, η Κύπρος εναρμονίζεται στην απαίτηση για θέσπιση μέτρων προαγωγής της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων και ψηφίζει το Νόμο 2 (Ι)/2012, ο οποίος αναφέρεται ως ο Περί Ρύθμισης της Ενεργειακής Απόδοσης των Κτιρίων (Τροποποιητικός) Νόμος του 2012. (Νόμος 210(Ι)/2012 2012) Το 2013, σε μια προσπάθεια αναπροσαρμογής των ελαχίστων ενεργειακών απαιτήσεων, ορίζεται νέο Διάταγμα υπ' αριθμό 432/2013 γνωστό ως το Περί Ρύθμισης της Ενεργειακής Απόδοσης των Κτιρίων (Απαιτήσεις Ελάχιστης Ενεργειακής Απόδοσης) Διάταγμα του 2013. Στον **Πίνακα 1** που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι Ελάχιστες Ενεργειακές Απαιτήσεις για νέα κτίρια σύμφωνα με το Διάταγμα 432/2013.

**Πίνακας 1: Ελάχιστες ενεργειακές απαιτήσεις -Διάταγμα 432/2013**

<b>α/α</b>	<b>Περιγραφή</b>	<b>Απαιτήσεις</b>
<b>1</b>	Κατηγορία ενεργειακής απόδοσης στο Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίου.	Ίση ή καλύτερη από B
<b>2</b>	Μέγιστος συντελεστής θερμοπερατότητας U τοίχων και στοιχείων της φέρουσας κατασκευής (κολόνες, δοκοί και τοιχία) που συνιστούν μέρος του κελύφους της κτιριακής μονάδας.	0,72 W/m <sup>2</sup> K
<b>3</b>	Μέγιστος συντελεστής θερμοπερατότητας U οριζόντιων δομικών στοιχείων (δάπεδα σε πιλωτή, δάπεδα σε πρόβολο, δώματα, στέγες) και ορόφων που συνιστούν μέρος του κελύφους της κτιριακής μονάδας.	0,63 W/m <sup>2</sup> K
<b>4</b>	Μέγιστος συντελεστής θερμοπερατότητας U για δάπεδα υπερκείμενα κλειστού μη θερμαινόμενου χώρου.	2,00 W/m <sup>2</sup> K
<b>5</b>	Μέγιστος συντελεστής θερμοπερατότητας U κουφωμάτων (πόρτες, παράθυρα) που συνιστούν μέρος του κελύφους του κτιρίου.	3,23 W/m <sup>2</sup> K
<b>6</b>	Μέγιστος μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας U <sub>mean</sub> των στοιχείων του κελύφους του κτιρίου εξαιρουμένων των οριζόντιων δομικών στοιχείων και ορόφων που συνιστούν μέρος του κελύφους του κτιρίου: α) για κτίρια που χρησιμοποιούνται ως κατοικίες β) για κτίρια που δεν χρησιμοποιούνται ως κατοικίες.	α) 1,30 W/m <sup>2</sup> K β) 1,80 W/m <sup>2</sup> K

**Πηγή: (Διάταγμα 432/2013 2013)**

Ωστόσο, για καλύτερη προσαρμογή στο Άρθρο 9 της Οδηγίας 2010/31/ΕΕ, το αρμόδιο Υπουργείο εκδίδει το περί Ρύθμισης της Ενεργειακής Απόδοσης των Κτιρίων (Απαιτήσεις και τεχνικά χαρακτηριστικά που πρέπει να πληροί το κτίριο με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας) Διάταγμα του 2014. (Διάταγμα 366/2014 2014) Στο **Πίνακα 2**, παρατίθενται οι ελάχιστες απαιτήσεις για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας στην Κύπρο, σύμφωνα με το Διάταγμα 366/2014.

**Πίνακας 2: Ελάχιστες ενεργειακές απαιτήσεις - Διάταγμα 366/2014**

<b>α/α</b>	<b>Περιγραφή</b>	<b>Απαιτήσεις</b>
1	Κατηγορία ενεργειακής απόδοσης στο Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίου.	A
2	Μέγιστη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για κτίρια που χρησιμοποιούνται ως κατοικίες όπως αυτή υπολογίζεται από την μεθοδολογία υπολογισμού ενεργειακής απόδοσης κτιρίου.	100 kWh/m <sup>2</sup> /y
3	Μέγιστη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για κτίρια που δεν χρησιμοποιούνται ως κατοικίες όπως αυτή υπολογίζεται από την μεθοδολογία υπολογισμού ενεργειακής απόδοσης κτιρίου.	125 kWh/m <sup>2</sup> /y
4	Μέγιστη ζήτηση ενέργειας για θέρμανση για κτίρια που χρησιμοποιούνται ως κατοικίες.	15 kWh/m <sup>2</sup> /y
5	Τουλάχιστο το 25% της συνολικής κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας όπως αυτή υπολογίζεται από την μεθοδολογία υπολογισμού ενεργειακής απόδοσης κτιρίου προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.	
6	Μέγιστος μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας U τοίχων και στοιχείων της φέρουσας κατασκευής (κολόνες, δοκοί και τοιχία) που συνιστούν μέρος του κελύφους του κτιρίου.	0,4 W/m <sup>2</sup> K
7	Μέγιστος μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας U οριζόντιων δομικών στοιχείων (δάπεδα σε πυλωτή, δάπεδα σε πρόβολο, δώματα, στέγες) και οροφών που συνιστούν μέρος του κελύφους του κτιρίου.	0,4 W/m <sup>2</sup> K
8	Μέγιστος μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας U κουφωμάτων (πόρτες, παράθυρα) που συνιστούν μέρος του κελύφους του κτιρίου.	2,25 W/m <sup>2</sup> K
9	Μέγιστη μέση εγκατεστημένη ισχύς φωτισμού για κτίρια που χρησιμοποιούνται ως γραφεία.	10 W/m <sup>2</sup>

**Πηγή: (Διάταγμα 366/2014 2014)**

## **2.2 Κτίρια Σχεδόν Μηδενικής Κατανάλωσης Ενέργειας**

Ο ορισμός του κτιρίου με Σχεδόν Μηδενική Κατανάλωση Ενέργειας δίδεται από την Οδηγία 2010/31/ΕΕ, Άρθρο 2.2 και σύμφωνα με αυτό είναι «το κτίριο με πολύ υψηλή ενεργειακή απόδοση... Η σχεδόν μηδενική ή πολύ χαμηλή ποσότητα ενέργειας που απαιτείται θα πρέπει να συνίσταται σε πολύ μεγάλο βαθμό σε ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές, περιλαμβανομένης της παραγόμενης επιτόπου ή πλησίον του κτιρίου.» (Οδηγία 2010/31/ΕΕ 2010) Ο ορισμός της σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας βασίζεται κυρίως στις ετήσιες χρήσεις ενέργειας του κτιρίου όπως είναι για θέρμανση, ψύξη, αερισμός, φωτισμός, κλπ., και χρησιμοποιείται συχνά για να παρουσιάσει την ετήσια ενεργειακή ισορροπία ενός ενεργειακά φιλικού κτιρίου αναφοράς.

Η πρώτη τεκμηριωμένη προσπάθεια δημιουργίας κτιρίων σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας επιτεύχθηκε με την εφαρμογή των ηλιακών σπιτιών. Μερικά παραδείγματα ηλιακών σπιτιών ήταν το MIT Solar House I (1939), το οποίο περιελάμβανε

ένα μεγάλο μεγέθους ηλιακό συλλέκτη και δεξαμενή αποθήκευσης νερού (K. Butti 1980) και το Bliss House (1955), στο οποίο χρησιμοποιήθηκαν ηλιακοί συλλέκτες αέρα και σύστημα θερμικής αποθήκευσης με βραχύμαζα. (R.W.Bliss 1955) Στην δεκαετία του 1970 σε κτίρια όπως το Vagn Korsgaard στην Δανία, εφαρμόστηκαν ορισμένα ενεργειακά στοιχεία τα οποία σήμερα αποτελούν προτεινόμενες ενεργειακές λύσεις όπως η εφαρμογή μονωτικών υλικών στο εξωτερικό κέλυφος του κτιρίου και η εφαρμογή εναλλακτών θερμότητας. (T.V.Esbensen 1977) Αυτά τα πρώιμα παραδείγματα κτιρίων σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας συνέβαλλαν στην επιρροή του ενεργειακού σχεδιασμού των κτιρίων καθώς επίσης στον ορισμό και στην εκπόνηση των κτιριακών προτύπων όπως το R-2000 στο Καναδάς, το Passivhaus στη Γερμανία και στην εδραίωση πολλών άλλων ανά το παγκόσμιο.

Σύμφωνα με τους **Danny Li et al** τα κτίρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας περιλαμβάνουν δυο βασικές αλληλένδετες στρατηγικές: την εφαρμογή ενεργειακών αποδοτικών μέτρων (Energy Efficient Measures\_ EEMs) και την υλοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και άλλων τεχνολογιών (Renewable Energy Technologies\_ RETs) για την κάλυψη των εναπομενουσών αναγκών ενέργειας του κτιρίου. Μερικά από τα ενεργειακά μέτρα αποτελούν επεμβάσεις στο κτιριακό κέλυφος, όπως η τοποθέτηση θερμομόνωσης και διπλών υαλοπινάκων και η δημιουργία πράσινης οροφής. Επιπλέον, μέτρα που αφορούν τις εσωτερικές συνθήκες του κτιρίου και τη χρήση συστημάτων θέρμανσης, ψύξης, κλιματισμού και αερισμού υψηλής απόδοσης και ενεργειακά αποδοτικών οικιακών συσκευών συγκαταλέγονται επίσης στα ενεργειακά αποδοτικά μέτρα και ο συνδυασμός του συνίστανται απαραίτητος. Όσον αφορά την δεύτερη στρατηγική, οι πιο διαδεδομένες μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο κτιριακό τομέα αποτελούν τα φωτοβολταϊκά συστήματα, οι ηλιακοί θερμοσίφωνες, οι τοπικές ανεμογεννήτριες και οι αντλίες θερμότητας. (Li et al. 2013)

### **2.2.1 Ανασκόπηση καλών ενεργειακών πρακτικών**

Οι ενεργειακές παρεμβάσεις στο κτιριακό κέλυφος και στη συνολική λειτουργία του κτιρίου χρήζονται ως ιδιαίτερα σημαντικές στην αναβάθμιση του ως κτίριο σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας. Ακολουθεί μια ερευνητική ανασκόπηση βασιζόμενη στα κτίρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας έχοντας ως βασικούς άξονες τις δυο ενεργειακές στρατηγικές (EEMs και RETs) που αναφέρονται πιο πάνω.

Οι **Jerek Kurnitski et al** χρησιμοποίησαν μια επιστημονική διαδικασία προκειμένου να προσδιορίσουν το βέλτιστο κόστος και τα βέλτιστα επίπεδα απόδοσης για κτίρια σχεδόν

μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας. Το κόστος των βέλτιστων επιπέδων ενεργειακής απόδοσης υπολογίστηκε με τη μέθοδο της Καθαρής Παρούσας Αξίας, και για το σκοπό αυτό η μεθοδολογία καθορίστηκε πάνω σε επτά βασικά βήματα. Η διαδικασία περιλάμβανε την επιλογή του κτιρίου αναφοράς, τον καθορισμό των βασικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους με καθορισμένο συντελεστή απώλειας θερμότητας, το καθορισμό των τεχνητών συστημάτων, την επίτευξη ενεργειακής προσομοίωσης, την εξαγωγή των αποτελεσμάτων σε πρωτογενή ενέργεια και την διεξαγωγή οικονομικής ανάλυσης. Τα μοντέλα προσομοίωσης αφορούσαν μονοκατοικίες στην Εσθονία. Με το πέρας της έρευνας αποδείχθηκε ότι το κόστος της βέλτιστης χρήσης πρωτογενούς ενέργειας μπορεί να υπολογιστεί με περιορισμένο αριθμό ενεργειακών προσομοιώσεων, καθώς στην συγκεκριμένη έρευνα μόνο τέσσερα κτίρια προσομοιώθηκαν και αναλύθηκαν. Συγκεκριμένα, το βέλτιστο από ενεργειακής απόδοσης κόστος σε ένα τυπικό κτίριο στην Εσθονία υπολογίστηκε στα 110 – 140 kWh/(m<sup>2</sup>.a) κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας, σημαντικά χαμηλότερο από την ισχύουσα ελάχιστη απαίτηση των 180 kWh/(m<sup>2</sup>.a). Το κόστος αυτό επιτυγχάνεται με την εφαρμογή ισχυρής θερμομόνωσης στο εξωτερικό κέλυφος καθώς και την χρήση γεωθερμίας ή θερμικού συστήματος. (Kurnitski et al. 2011)

Σε μια άλλη έρευνα, οι **Fabio Favoino et al**, ανέπτυξαν μια μέθοδο προσδιορισμού των βέλτιστων ιδιοτήτων των εξωτερικών υαλοπινάκων και αξιολόγησαν τις δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας από την υλοποίησή τους. Για τους σκοπούς της έρευνας, χρησιμοποιήθηκε ένα τυπικό γραφείο, το οποίο εξετάστηκε σε τρεις διαφορετικές κλιματικές περιοχές, το Ελσίνκι, η Ρώμη και το Λονδίνο, και σε τέσσερις διαφορετικούς προσανατολισμούς. Η επιλογή αυτή έγινε προκειμένου να εξεταστεί η ενεργειακή απόδοση των διαφόρων υαλοπινάκων στις διάφορες εξωτερικές οριακές συνθήκες σε ημερήσια και μηνιαία βάση. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι μπορεί να επιτευχθεί σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας με την εφαρμογή κατάλληλων υαλοπινάκων, με τη σημαντικότερη εξοικονόμηση να παρουσιάζεται στη ζήτηση ενέργειας για ψύξη. Ειδικά, διαπιστώθηκε ότι σε κρύα κλίματα, όπως στο Λονδίνο και στο Ελσίνκι, η ημερήσια μοντελοποίηση των οπτικών ιδιοτήτων των υαλοπινάκων βοήθησε στη σημαντική μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, σε αντίθεση με την μηνιαία μοντελοποίηση. Επίσης, όπως ήταν αναμενόμενο, η εξοικονόμηση ενέργειας ήταν εξαρτώμενη της ικανότητας του εξωτερικού κελύφους να προσαρμοστεί με τις εξωτερικές συνθήκες, της διαφοράς μεταξύ των εξωτερικών κλιματολογικών συνθηκών και της διακύμανση της εσωτερικής άνεσης των χρηστών. (Favoino et al. 2015)

Επιπλέον, όπως αποδεικνύει έρευνα που έγινε από τους **Bojic et al**, η ενεργειακή απόδοση ενός κτιρίου μπορεί εύκολα να βελτιωθεί με την επιλογή των βέλτιστων στρωμάτων θερμομόνωσης. Για του σκοπούς της έρευνας χρησιμοποιήθηκε ως κτίριο αναφοράς μια μικρή κατοικία στην περιοχή Kragujevac στην Σερβία. Τα βέλτιστα πάχη θερμομόνωσης προσδιορίστηκαν έπειτα από διάφορες προσομοιώσεις που έγινε στο λογισμικό Energy Plus καθώς και με την εφαρμογή της ερευνητικής μεθόδου Hooke-Jeeves. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η ελάχιστη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας επιτυγχάνεται με τη χρήση ορυκτοβάμβακα παρά το γεγονός ότι το πάχος του είναι μεγαλύτερο σε σύγκριση με τους άλλους τύπους θερμομόνωσης. Αντιθέτως, η μεγαλύτερη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας επιτυγχάνεται με τη εφαρμογή πολυστερίνης. Μετά την επίτευξη τεχνοοικονομικής ανάλυσης παρατηρήθηκε ότι για 5-ετή χρόνο κύκλου ζωής, το βέλτιστο πάχος της στρώσης θερμομόνωσης κυμαίνεται από 45 cm για ορυκτοβάμβακα και 20 cm για πολυστερίνη ενώ για 10-ετή χρόνο κύκλου ζωής είναι 64 cm για ορυκτοβάμβακα και 29 cm για πολυστερίνη. Αυτή η διαφορά στο πάχος προκαλείται λόγω της μειωμένης ικανότητας του ορυκτοβάμβακα να αποθηκεύει ενέργεια σε αντίθεση με την πολυστερίνη. Σε γενικές γραμμές αυτό που συμπεραίνεται από τους συγγραφείς είναι ότι η εφαρμογή ορυκτοβάμβακα ως θερμομονωτικό υλικό οδηγεί σε σημαντική μείωση της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας ενώ σε κάθε περίπτωση το πάχος του ορυκτοβάμβακα δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 64 cm. Επιπλέον, σύμφωνα με την τεχνοοικονομική ανάλυση η περίοδος αποπληρωμής για τον ορυκτοβάμβακα κυμαίνεται από 0,84 έως 2,7 έτη ενώ για την πολυστερίνη από 3,18 έως 5,21 έτη. (Bojić et al. 2014)

Οι **Aviza and Turskis** εξέτασαν την συσχέτιση ανάμεσα στο πάχος θερμομόνωσης δαπέδου σε επαφή με το έδαφος μιας τυπικής κατοικίας και στη σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας του κτιρίου. Οι υπολογισμοί έγιναν λαμβάνοντας υπόψη την κατηγορία ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου και τη γεωγραφική περιοχή της κατασκευής. Η Λιθουανία επιλέχθηκε ως η γεωγραφική περιοχή της έρευνας. Οι υπολογισμοί έγιναν για επτά πόλεις: Vilnius, Kaunas, Klaipeda, Siaulai, Panevezys, Utena και Dukstas. Με το πέρας της έρευνας, η ανάλυση έδειξε ότι η μεταβολή του πάχους θερμομόνωσης για δάπεδο σε επαφή με το έδαφος, εξαρτάται από την κατηγορία της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου και τον τύπο της γεωγραφικής θέσης. Συγκεκριμένα, συγκρίνοντας κτίρια κατηγορίας ενεργειακής απόδοσης "C" με κτίρια κατηγορίας ενεργειακής απόδοσης "A ++" δηλαδή με κτίρια μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας, διαπιστώθηκε ότι το απαιτούμενο πάχος θερμομόνωσης ενός τυπικού δαπέδου σε επαφή με το έδαφος είναι 4 φορές μεγαλύτερο σε

κτίρια μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας ωστόσο η ετήσια εξοικονόμηση φτάνει τα 1,3 €/m<sup>2</sup> το χρόνο ενώ η περίοδος αποπληρωμής κυμαίνεται από 3,1 έως 4,62 έτη για την πόλη της Vilnius. Εξετάζοντας την ίδια κατηγορία ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων σε διαφορετικές κλιματικές ζώνες της Λιθουανίας, διαπιστώθηκε ότι στην Klaipeda απαιτείται το μικρότερο πάχος θερμομόνωσης. Η μεγαλύτερη κλιματική επιρροή παρουσιάστηκε στα κτίρια με ενεργειακή απόδοση "A ++" καθώς το απαιτούμενο πάχος θερμομόνωσης ποικίλει από τις θερμότερες στις κρύες περιοχές της Λιθουανίας. (Aviza & Turskis 2014)

Οι **Mohamed Hamdy et al** εξέτασαν το συνδυασμό διαφόρων ενεργειακών μέτρων με την παράλληλη εφαρμογή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο κτίριο. Η μέθοδος εφαρμόστηκε προκειμένου να προσδιοριστούν οι βέλτιστες από πλευράς κόστους ενεργειακές αποδόσεις για κτίρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας. Για την περίπτωση της μελέτης χρησιμοποιήθηκε ως κτίριο αναφοράς μια απλή κατοικία στην Φινλανδία. Για τους σκοπούς της έρευνας εξετάστηκε σε τρία στάδια ο συνδυασμών των ενεργειακών παρεμβάσεων στο εξωτερικό κέλυφος του κτιρίου με συστήματα θέρμανση και ψύξης καθώς επίσης με διαφόρων τύπων φωτοβολταϊκά συστήματα. Από τα αποτελέσματα της οικονομικής και περιβαλλοντικής ανάλυσης, προέκυψε ότι η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας από 93 έως 103 kWh/(m<sup>2</sup>.a) αποτελεί τη βέλτιστη ενεργειακή απόδοση του κτιρίου. Πιο συγκεκριμένα, με κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας 70 kWh/(m<sup>2</sup>.a) είναι οικονομικά εφικτό να χαρακτηριστεί το εξεταζόμενο κτίριο ως κτίριο σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας. Ωστόσο, όπως αναφέρουν οι συγγραφείς, κίνητρα όπως οι ενεργειακές πιστωτικές μονάδες είναι απαραίτητα για την υλοποίηση ενεργειακών και περιβαλλοντικών κτιρίων. (Hamdy et al. 2013)

Η έρευνα των **Cristine Becchio et al** παρουσιάζει διάφορες βέλτιστες από πλευράς κόστους λύσεις για κτίρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας στην Ιταλία. Συνολικά αναλύθηκαν 40 ενεργειακά μέτρα που αφορούσα το εξωτερικό κέλυφος και τα τεχνητά συστήματα σε μια απλή κατοικία. Με το πέρας της έρευνας, διαπιστώθηκε ότι για την επίτευξη μηδενικής σχεδόν κατανάλωσης ενέργειας απαιτείται ένα υψηλής απόδοσης σύστημα το οποίο να συνδυάζει ισχυρή θερμομόνωση και φωτοβολταϊκά συστήματα. Συγκεκριμένα, έδειξε ότι τα σχεδόν μηδενικά επίπεδα κατανάλωσης ενέργειας μπορούν να επιτευχθούν με την εφαρμογή συμβατικών τεχνικών συστημάτων όπως λέβητα αερίου με τερματικές μονάδες νερού, την τοποθέτηση θερμομόνωσης και την προσθήκη ενός μεγάλου αριθμού φωτοβολταϊκών πανέλ. Ωστόσο, προκειμένου να επιτευχθούν καθαρά μηδενικά

επίπεδα ενεργείας, απαιτούνται υψηλά επίπεδα θερμομόνωσης σε συνδυασμό με πιο ενεργειακά αποδοτικά τεχνικά συστήματα που βασίζονται εξ ολοκλήρου σε αντλίες θερμότητας, μηχανικό αερισμό και φωτοβολταϊκά συστήματα μεγίστης απόδοσης. Για τις οικονομικά βέλτιστες λύσεις, το ποσοστό ανανεώσιμων πηγών ενέργειας κυμαίνεται από 20-30% καθώς στηρίζονται κυρίως σε συμβατικά συστήματα θέρμανσης και ψύξης. Αντιθέτως για τα κτίρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας το ποσοστό κυμαίνεται από 60-90% εφόσον πέρα από τα συμβατικά συστήματα, εφαρμόζονται υψηλής απόδοσης φωτοβολταϊκά συστήματα και αντλίες θερμότητας. Επιπλέον, διαπιστώθηκε ότι οι λύσεις για σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας είναι οικονομικά εφικτές καθώς το κόστος τους είναι 212-313 €/m<sup>2</sup> υψηλότερο από το κόστος των συμβατικά βέλτιστων λύσεων. (Becchio et al. 2015)

Όσον αφορά τους **Francesco Reda et al**, η μελέτη τους είχε επικεντρωθεί στο σχεδιασμό κατοικίας με σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας, λαμβάνοντας υπόψη την κλιματική ζώνη του New Borg El Arab City. Για τους σκοπούς της έρευνας εξετάστηκαν δυο βασικά σενάρια: το σενάριο χαμηλής επένδυσης (LIS) και το σενάριο υψηλής επένδυσης (HIS). Στην πρώτη περίπτωση, ο σχεδιασμός περιλάμβανε χαμηλού κόστους λύσεις, ενώ στη δεύτερη περίπτωση, χρησιμοποιήθηκαν τεχνολογίες που εφαρμόζονται σε κτίρια χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας. Τα αποτελέσματα των δύο παραπάνω περιπτώσεων συγκρίθηκαν με ένα κτίριο αναφοράς το οποίο σχεδιάστηκε για να ικανοποιεί της ελάχιστες ενεργειακές απαιτήσεις του αιγυπτιακού κώδικα ενέργειας. Η τελική κατανάλωση ενέργειας για την περίπτωση LIS έχει υπολογιστεί περίπου 15 kWh/(m<sup>2</sup>.a), η οποία αποτελεί το μισό της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας για το κτίριο αναφοράς. Ιδιαίτερα ενδιαφέροντα είναι τα αποτελέσματα για την περίπτωση HIS καθώς η τελική κατανάλωση ενέργειας κυμάνθηκε από 5,00 kWh/(m<sup>2</sup>.a) σε 1,48 kWh/(m<sup>2</sup>.a) και ήταν ανάλογη του μεγέθους του φωτοβολταϊκού συστήματος. (Reda et al. 2015)

Τέλος, οι **T.Ramesh et al** εξέτασαν το κύκλο ζωής ορισμένων ενεργειακών μέτρων σε διαφορετικούς τύπους κατοικιών όπως μονώροφη κατοικία, διώροφη κατοικία, διπλοκατοικία και πολυκατοικία στην Ινδία. Συνολικά εξετάστηκαν 10 διαφορετικά κτίρια, στα οποία έγινε εφαρμογή θερμομόνωσης στους τοίχους και στην οροφή και η τοποθέτηση διπλών υαλοπινάκων στα παράθυρα. Σε ένα από τα κτίρια εξετάστηκε παράλληλα και η απόδοση του κύκλου ζωής ενός συστήματος επιτόπιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Προκειμένου να αξιολογηθεί η ενεργειακή απόδοση των κτιρίων, χρησιμοποιήθηκαν δυναμικά εργαλεία προσομοίωσης όπως το DesignBuilder, το e-Quest και το EnergyPlus.



Όπως προέκυψε από το πέρας της μελέτης, ο κύκλος ζωής των κτιρίων μεταβάλλεται ετησίως κατά 240-380 kWh/(m<sup>2</sup>.a), ανάλογα με το είδος του εξωτερικού κελύφους του κτιρίου και τις κλιματικές συνθήκες. Επιπλέον, με την τοποθέτηση θερμομόνωσης στον τοίχο και στην οροφή καθώς επίσης και την τοποθέτηση διπλού υαλοπίνακα, παρατηρήθηκε εξοικονόμηση ενέργειας κατά 5-30%. Έχει βρεθεί επίσης ότι η σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί στις εξεταζόμενες κτιριακές μονάδες, με την επιτόπια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας η οποία επιτυγχάνεται με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος και τοπικής ανεμογεννήτρια. (Ramesh et al. 2012)



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

### 3.1 Καθορισμός μεταβλητών παραμέτρων

Η συγκεκριμένη μελέτη εξετάζει δυο βασικές παραμέτρους του κτιριακού κελύφους: τα θερμικά χαρακτηριστικά των εξωτερικών δομικών στοιχείων και τα θερμικά χαρακτηριστικά των εξωτερικών ανοιγμάτων (υαλοστάσια και πλαίσια).

#### 3.1.1 Θερμικά χαρακτηριστικά εξωτερικών δομικών στοιχείων (Μεταβλητή Α)

Η ανάλυση των θερμικών χαρακτηριστικών των εξωτερικών δομικών στοιχείων πραγματοποιείται με τη βοήθεια του συντελεστού θερμοπερατότητας. Ο συντελεστής θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου καθορίζεται από τη θέση του στοιχείου, οριζόντιο, κεκλιμένο ή κατακόρυφο, και τα θερμοφυσικά χαρακτηριστικά των υλικών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του στοιχείου. Σε αυτή την κατεύθυνση τα χαρακτηριστικά της θερμομονωτικής στρώσης χρήζουν καθοριστικό παράγοντα στη θερμική συμπεριφορά και είναι ευρέως γνωστή η επίδραση της στην ενεργειακή απόδοση των κτιριακών μονάδων. Συγκεκριμένα, με την προσθήκη της στα βασικά δομικά μέρη του κτιρίου, όπως εξωτερική τοιχοποιία, οροφή και δάπεδο, περιορίζονται οι απώλειες θερμότητας και τα θερμικά κέρδη, δημιουργώντας έτσι θερμική άνεση στους χρήστες.

Στην αγορά υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός θερμομονωτικών υλικών. Στην συγκεκριμένη ανάλυση γίνεται η χρήση των ιδιοτήτων την εξηλασμένης πολυστερίνης (extruded polystyrene) καθώς η εφαρμογή της είναι ιδιαίτερα συχνή στις κυπριακές οικοδομές. Στον **Πίνακα 3** παρουσιάζονται τα πάχη θερμομόνωσης που εξετάζονται στην ανάλυση.

**Πίνακας 3: Εξεταζόμενα πάχη θερμομόνωσης**

ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΑ ΠΑΧΗ (cm)			
3	4	5	6
7	8	9	10
12	14	16	18
20			

### 3.1.2 Θερμικά χαρακτηριστικά εξωτερικών ανοιγμάτων (Μεταβλητή B)

Τη δεύτερη μεταβλητή παράμετρο της ανάλυσης αποτελούν τα θερμικά χαρακτηριστικά των εξωτερικών ανοιγμάτων του κτιριακού κελύφους. Ειδικότερα, τα θερμικά χαρακτηριστικά των εξωτερικών ανοιγμάτων τα οποία καθορίζουν την ενεργειακή συμπεριφορά του ανοίγματος είναι:

- i. ο συντελεστής θερμοπερατότητας πλαισίου ( $U_f$ )
- ii. ο συντελεστής θερμοπερατότητας υαλοστασίου ( $U_g$ )
- iii. ο συντελεστής των ηλιακών θερμικών κερδών ( $s_f$ )
- iv. ο συντελεστής διαπερατότητας της ηλιακής ακτινοβολίας στο ορατό φάσμα ( $t_v$ )

Στην εργασία διερευνάται η επίδραση των θερμικών χαρακτηριστικών από οκτώ (8) διαφορετικά ζεύγη υαλοστασίων (g: glass) και πλαισίων (f: frame), τα οποία φαίνονται στο **Πίνακα 4**.

**Πίνακας 4: Θερμικά χαρακτηριστικά εξωτερικών ανοιγμάτων**

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ	
$\alpha/\alpha$	$U_f / U_g / s_f / t_v$
1	5.8/5.8/0.87/0.90
2	2.8/2.8/0.77/0.81
3	2.8/2.0/0.54/0.62
4	2.0/2.0/0.54/0.62
5	2.0/1.6/0.54/0.78
6	2.0/1.6/0.34/0.51
7	1.6/1.6/0.54/0.78
8	1.6/1.6/0.34/0.51










## 3.2 Προσομοίωση κτιρίων αναφοράς

### 3.2.1 Λόγος επιφάνειας προς τον όγκο του κτιρίου αναφοράς (S/V)

Ο λόγος της εξωτερικής επιφάνειας προς τον όγκο (S/V) ενός κτιρίου αναφοράς λαμβάνει σημαντικό ρόλο στην ενεργειακή του απόδοση καθώς συμβάλει άμεσα στην ροή θερμότητας από και προς το κτιριακό κέλυφος. Συγκεκριμένα, όσο μεγαλύτερη είναι η εξωτερική επιφάνεια τόσο μεγαλύτερες είναι οι απώλειες και τα θερμικά κέρδη ενός κτιρίου. Συνεπώς, όσο μικρότερος γίνεται ο λόγος S/V τόσο περισσότερο περιορίζεται η μεταφορά

θερμότητας. (Behsh 2002; Dixon 2000) Στον **Πίνακα 5** που ακολουθεί φαίνεται σχηματικά η διαφοροποίηση που δημιουργεί ο λόγος S/V στην τελική μορφοποίηση του κτιρίου.

**Πίνακας 5:** Τύποι κτιρίων αναφοράς με αντίστοιχους λόγους S/V

ΤΥΠΟΙ ΚΤΙΡΙΩΝ		
S/V=1.11	S/V=1.05	S/V=1.04
		
S/V=1.18	S/V=1.18	S/V=1.13
		
S/V=0.82	S/V=0.73	S/V=0.70
		

Πηγή: (Behsh 2002)

Ένας από τους βασικούς στόχους της εργασίας είναι η διερεύνηση και η ανάλυση της σχέσης που παρουσιάζει ο λόγος S/V με τη ζήτηση ενέργειας. Για το σκοπό αυτό καθορίζονται οι πιο κάτω τιμές λόγου S/V, προκειμένου να χρησιμοποιηθούν στην προσομοίωση των κτιριακών μονάδων αναφοράς:

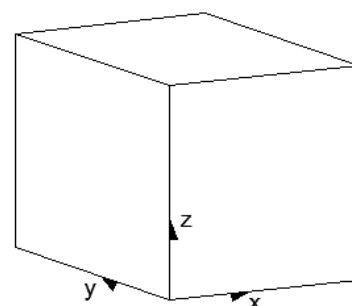
**S/V= 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1.0 | 1.1 | 1.2**

### 3.2.2 Διαστασιολόγηση κτιριακού κελύφους

Οι διαστάσεις των κτιριακών κελυφών που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση και στον υπολογισμό των τελικών θερμικών και ψυκτικών φορτίων, πάρθηκαν έτσι ώστε να αντιστοιχούν σε κάθε μία τιμή του λόγου S/V που έχει καθοριστεί προηγουμένως. Ως εκ τούτου, στο **Πίνακα 6** παρουσιάζονται τα 11 βασικά κτίρια αναφοράς με τις αντίστοιχες διαστάσεις και τιμές λόγου S/V.

Πίνακας 6: Διαστάσεις κτιρίων αναφοράς

S / V	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ (m)			S (m <sup>2</sup> )	V (m <sup>3</sup> )
	X	Y	Z		
1.2	5	4	3	74	60
1.1	4	7	3	94	84
1.0	5	9	3	129	135
0.9	6	10	3	156	180
0.8	8	12	3	216	288
0.7	6	12	6	288	432
0.6	8	15	6	396	720
0.5	11	11	9	517	1089
0.4	15	14	9	732	1890
0.3	16	15	12	984	2880
0.2	28	21	15	2058	8820

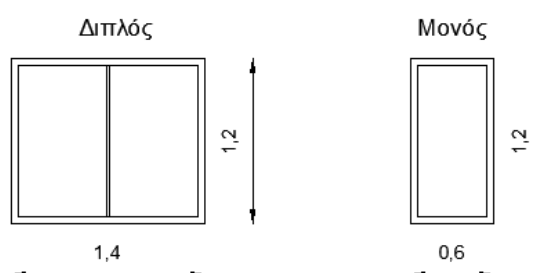


### 3.2.3 Διαστασιολόγηση εξωτερικών ανοιγμάτων

Ο καθορισμός των ανοιγμάτων σε κάθε κύρια επιφάνεια του κτιρίου αναφοράς βασίζεται στη κοινή βιοκλιματική πρακτική που εφαρμόζεται στη Κύπρο, η οποία απαιτεί όπως τα ανοίγματα δεν υπερβαίνουν το:

- 50% της νότιας επιφάνειας
- 30% της ανατολικής επιφάνειας
- 10% της βόρειας επιφάνειας
- 10% της δυτικής επιφάνειας

Όσον αφορά το τύπο των εξωτερικών ανοιγμάτων, χρησιμοποιείται ο μονός και ο διπλός υαλοπίνακας με τις αντίστοιχες διαστάσεις σε μέτρα, όπως φαίνεται στην **Εικόνα 1**.



Εικόνα 1: Τύποι εξωτερικών ανοιγμάτων

Ακολούθως, παρατίθεται ο **Πίνακας 7** με το συνολικό αριθμό εξωτερικών ανοιγμάτων ανά τύπο υαλοπίνακα, ανά επιφάνεια και ανά τιμή S/V ξεχωριστά.

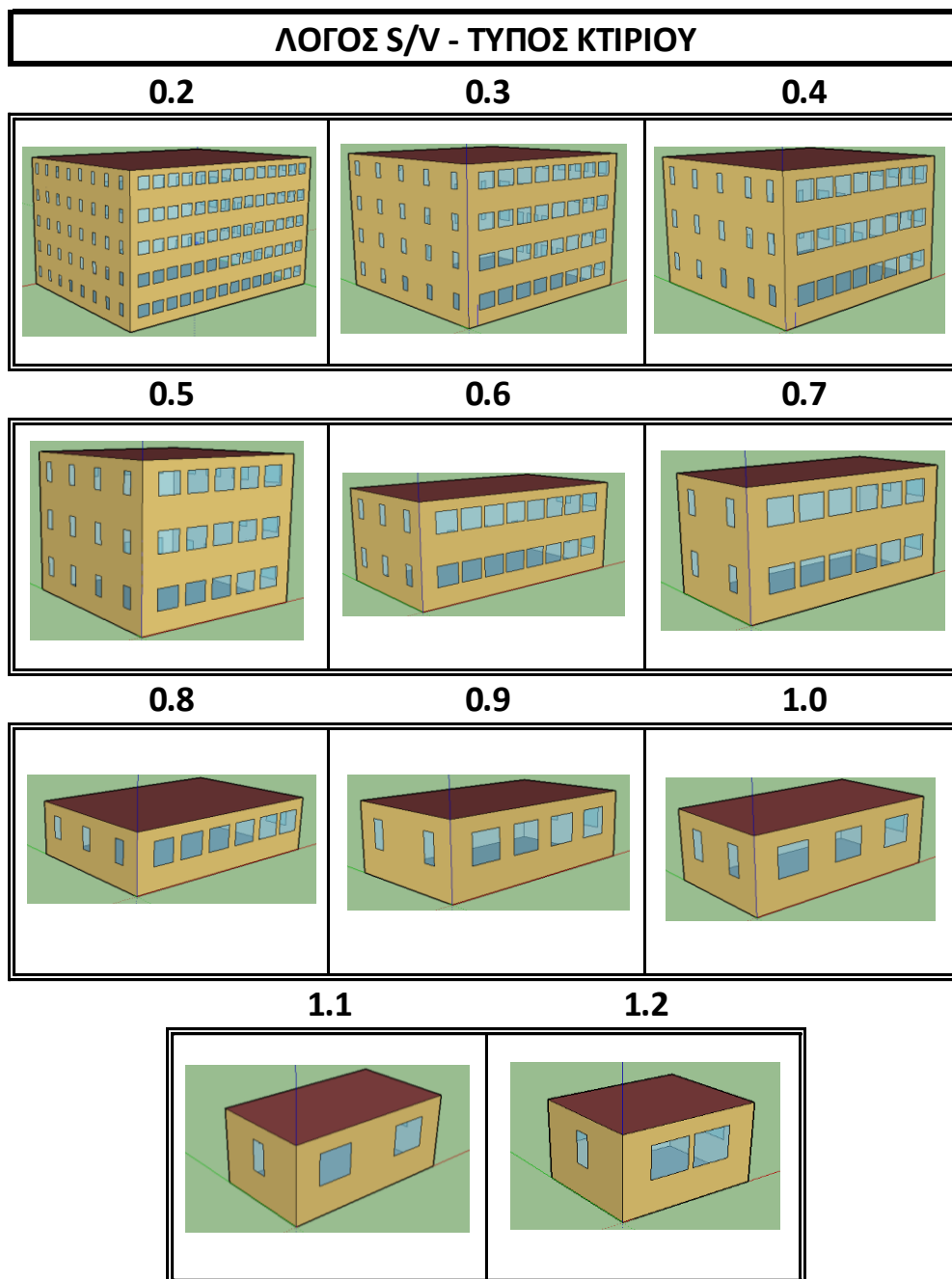
**Πίνακας 7: Ανοίγματα ανά τύπο και ανά επιφάνεια κτιρίου αναφοράς**

S / V	ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ ΑΝΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ			
	ΝΟΤΙΑ	ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ	ΒΟΡΕΙΑ	ΔΥΤΙΚΗ
	Διπλό	Διπλό	Μονό	Μονό
<b>1.2</b>	2	1	2	1
<b>1.1</b>	2	1	2	1
<b>1.0</b>	3	2	3	2
<b>0.9</b>	4	2	3	2
<b>0.8</b>	6	3	5	3
<b>0.7</b>	12	4	10	4
<b>0.6</b>	16	6	10	6
<b>0.5</b>	15	12	12	12
<b>0.4</b>	24	18	15	15
<b>0.3</b>	32	28	20	20
<b>0.2</b>	70	50	55	40

### 3.2.4 Σχεδιασμός κτιρίων αναφοράς

Το σχεδιαστικό μέρος της ανάλυσης υλοποιείται μέσω του σχεδιαστικού προγράμματος Google SketchUp, το οποίο διατίθεται ελεύθερο στο διαδίκτυο. Η επιλογή του Google SketchUp δεν έγινε απρόσκοπτά καθώς η ενσωμάτωση του Legacy Open Studio Plug-in στο σχεδιαστικό λογισμικό, επιτρέπει την δημιουργία .idf αρχείων. Τα συγκεκριμένα αρχεία προσαρμόζονται άμεσα στο περιβάλλον του Energy Plus, η χρήση του οποίου θα επεξηγηθεί εκτενώς στα επόμενα υποκεφάλαια.

Θεωρώντας ως δεδομένα τα περιεχόμενα των **Πινάκων 6** και **7**, σχεδιάζονται οι κτιριακές μονάδες αναφοράς για κάθε τιμή του λόγου S/V όπως φαίνεται στην **Εικόνα 2**.



Εικόνα 2: Τύποι εξεταζόμενων κτιρίων αναφοράς ανάλογα με το λόγο S/V

### 3.3 Κλιματικές ζώνες ανάλυσης

Η μελέτη λαμβάνει υπόψη κλιματολογικά και κλιματικά δεδομένα από τρεις χαρακτηριστικές πόλεις της Κύπρου: τη Λεμεσό, τη Λευκωσία και το Σαϊττά. Στην **Εικόνα 3** που ακολουθεί φαίνεται η θέση της κάθε περιοχής ξεχωριστά.





Εικόνα 3: Περιοχές μελέτης στη Κύπρο (Πηγή: Google Maps)

Όπως παρατηρείται, η πόλη της Λεμεσού βρίσκεται νοτίως του νησιού και είναι παραθαλάσσια, η πόλη της Λευκωσία βρίσκεται στην ενδοχώρα ενώ το χωριό Σαϊττάς βρίσκεται στο ορεινό τμήμα. Η επιλογή έγινε έτσι ώστε να εξεταστεί η επίδραση των τριών διαφορετικών κλιματικών ζωνών στην ενεργειακή ζήτηση των κτιριακών μονάδων.

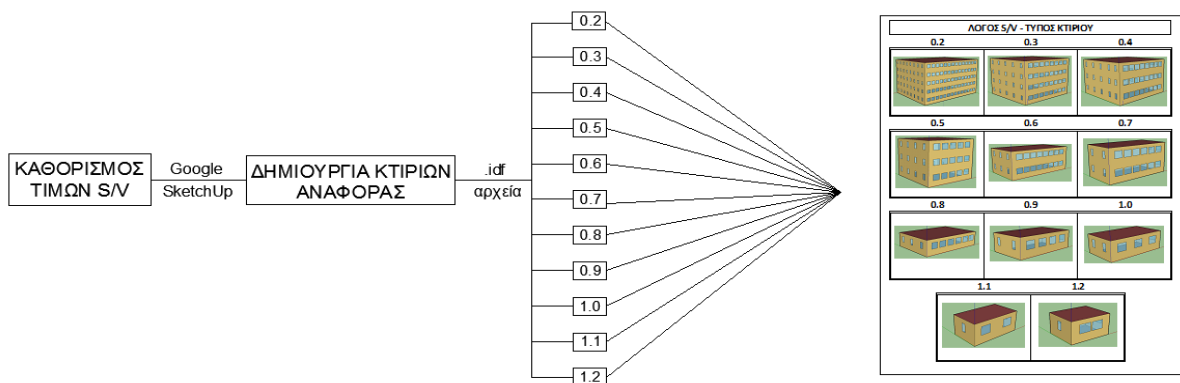
### 3.4 Υπολογισμός θερμικών και ψυκτικών φορτίων κτιρίου αναφοράς

#### 3.4.1 Πορεία επίλυσης ενός κτιρίου αναφοράς

Η ανάλυση των κτιρίων αναφοράς πραγματοποιείται με τη χρήση του λογισμικού Energy Plus. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα είναι ένα ολοκληρωμένο λογισμικό προσομοίωσης και υπολογισμού της ενέργειας που καταναλώνει ένα κτίριο κυρίως για θέρμανση, ψύξη, αερισμό και φωτισμό. Η ανάπτυξή του χρηματοδοτήθηκε από το Υπουργείο Ενέργειας των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής (Η.Π.Α.) και αποτελεί χρήσιμο εργαλείο για μηχανικούς και ερευνητές στο αντικείμενο. (Energy Plus U.S 2015) Στη συγκεκριμένη εργασία, η εφαρμογή του λογισμικού Energy Plus περιλαμβάνει την επεξεργασία και την επίλυση των κτιρίων αναφοράς με σκοπό την εξαγωγή των ετήσιων θερμικών και ψυκτικών φορτίων.

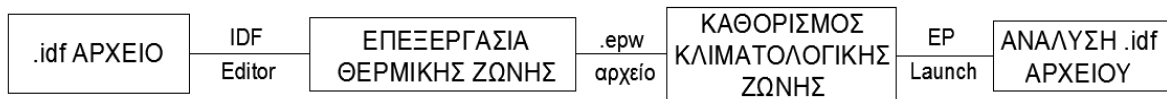
Η **Εικόνα 4** που ακολουθεί, δείχνει σχηματικά την πορεία δημιουργίας των εξεταζόμενων κτιρίων αναφοράς. Όπως φαίνεται, σε πρώτη φάση καθορίζονται οι τιμές του λόγου S/V. Έπειτα μέσω του σχεδιαστικού λογισμικού Google SketchUp, σχεδιάζονται τα κτίρια αναφοράς καθένα από τα οποία αντιστοιχείται σε μια τιμή του λόγου S/V. Η δυνατότητα ενσωμάτωση ωστόσο του Legancy OpenStudio Plug-in στο σχεδιαστικό λογισμικό, οδηγεί στη δημιουργία αρχείων της μορφή .idf. Τα αρχεία αυτά εναρμονίζονται

πλήρως στο περιβάλλον του Energy Plus. Έτσι, στην προκείμενη περίπτωση καθορίζονται 11 βασικά κτίρια αναφοράς για κάθε τιμή S/V υπό την μορφή .idf αρχείων.



**Εικόνα 4: Πορεία δημιουργίας των .idf αρχείων**

Στην **Εικόνα 5**, φαίνεται επίσης σχηματικά η πορεία επεξεργασίας ενός κτιρίου αναφοράς και κατ' επέκταση ενός αρχείου .idf στο περιβάλλον του Energy Plus. Κάθε .idf αρχείο επεξεργάζεται αρχικά στο IDF Editor, μέσω του οποίου λαμβάνει όλες τις απαραίτητες τροποποιήσεις. Έπειτα καθορίζεται το αρχείο .erpw, το οποίο περιλαμβάνει τα κλιματολογικά και κλιματικά δεδομένα της περιοχής μελέτης. Τέλος, μέσω του εργαλείου EP-Launch, το .idf αρχείο επιλύεται με σκοπό την εξαγωγή των επιθυμητών αποτελεσμάτων.



**Εικόνα 5: Πορεία επεξεργασίας ενός .idf αρχείου**

Πάνω στην παραπάνω αλληλουχία πράξεων βασίζεται η μεθοδολογία υπολογισμού της ετήσιας ζήτησης ενέργειας τόσο για θέρμανση όσο και ψύξη για κάθε κτίριο αναφοράς. Ακολουθεί βήμα προς βήμα η πορεία επεξεργασίας και επίλυσης ενός κτιρίου αναφοράς στο λογισμικό Energy Plus.

### 3.4.1.1 Εισαγωγή κτιρίου αναφοράς στο λογισμικό

Το κτίριο αναφοράς εισάγεται στο λογισμικό Energy Plus ως .idf αρχείο. Κάθε .idf αρχείο, αποτελεί μια θερμική ζώνη με καθορισμένες διαστάσεις και καθορισμένο αριθμό εξωτερικών ανοιγμάτων. Η εισαγωγή πραγματοποιείται σε πρώτη φάση στο IDF Editor, έτσι ώστε να γίνει η οριοθέτηση των απαραίτητα χαρακτηριστικών και επιθυμητών δομικών στοιχείων, ο καθορισμός των ωριαίων κατανομών και η δημιουργία μια ολοκληρωμένη θερμικής ζώνης.

### 3.4.1.2 Επεξεργασία κτιρίου αναφοράς στο IDF Editor

#### 3.4.1.2.1 Χαρακτηριστικά θερμικής ζώνης

Ιδιαίτερα σημαντική είναι η εισαγωγή των χαρακτηριστικών της θερμικής ζώνης. Τα χαρακτηριστικά που εφαρμόζονται στην ανάλυση, θεωρούνται κοινά για όλα τα κτίρια αναφοράς και περιλαμβάνουν την επιθυμητή θερμοκρασία, την κατανομή του αερισμού στο εσωτερικό της ζώνης, την κατανομή του φωτισμού και των συσκευών καθώς και την κατανομή των ατόμων στο χώρο που καταβάλει η κάθε ζώνη. Επιπλέον, ορίζεται ως μέγιστο φορτίο ατόμων η τιμή 70 W/άτομο ενώ η περίοδος λειτουργία του κτιρίου αναφοράς καθορίζεται η 7ήμερη, 24 ώρες το 24ώρο. Στον **Πίνακα 8** περιγράφονται αναλυτικά οι κατανομές των χαρακτηριστικών που εφαρμόζονται στα κτίρια αναφοράς.

Πίνακας 8: Χαρακτηριστικά θερμικής ζώνης

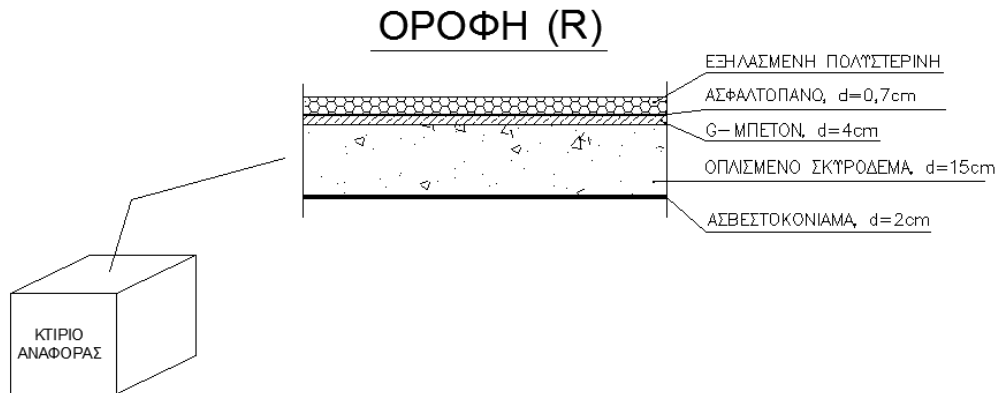
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΖΩΝΗΣ					
Θερμοκρασία	Χειμερινή	07:00-21:00			22:00-06:00		
		22 °C			20 °C		
	θερινή	08:00-21:00			22:00-07:00		
		25 °C			27 °C		
Αερισμός (0.8 ach)	Χειμερινή	00:00-23:00					
		100%					
	θερινή	00:00-23:00					
		100%					
Συσκευές (1000 W)	Ολόχρονα	07:00 75%	08:00-11:00 40%	12:00-14:00 50%	15:00-19:00 30%	20:00-21:00 40%	22:00-06:00 10%
Άτομα (1/30m <sup>2</sup> )	Ολόχρονα	07:00 100%	08:00-14:00 25%	15:00-20:00 50%	21:00-23:00 80%	24:00-06:00 100%	
Φωτισμός (5 W/m <sup>2</sup> )	Χειμερινή	07:00 50%	08:00-17:00 0%	18:00-21:00 75%	22:00-23:00 30%	24:00-06:00 0%	
		01:00-19:00 0%	20:00-21:00 65%	22:00-23:00 30%	00:00 15%		

#### 3.4.1.2.2 Καθορισμός εξωτερικών δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους

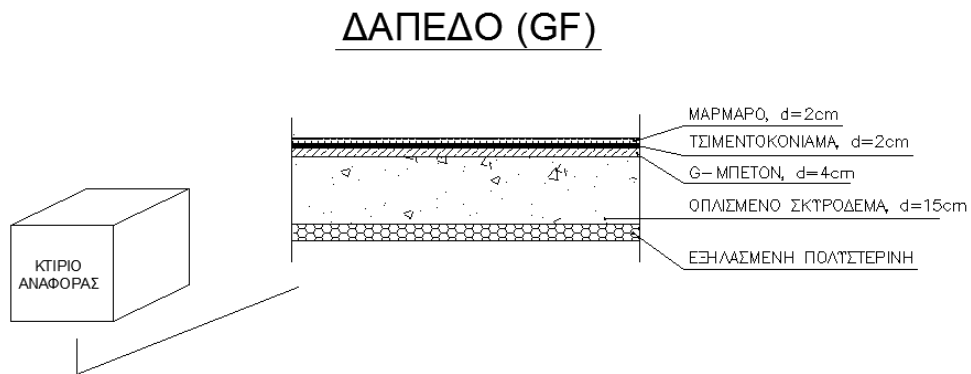
Ο καθορισμός των εξωτερικών δομικών στοιχείων που θα αποτελείται το κτιριακό κέλυφος του κτιρίου αναφοράς και κατ' επέκταση η θερμική ζώνη, είναι πολύ σημαντικός για την επίτευξης σωστής και αντικειμενικής ανάλυσης. Στην συγκεκριμένη ανάλυση ορίζονται τρία βασικά δομικά στοιχεία: τα τοιχία (W), η οροφή (R) και το δάπεδο σε επαφή με το έδαφος (GF), τα οποία θεωρούνται κοινά για όλα τα κτίρια αναφοράς. Τη μόνη

εξαίρεση αποτελούν η εξωτερική θερμομόνωση και οι τα εξωτερικά ανοίγματα, τα οποία καθορίστηκαν ως μεταβλητές παράμετροι.

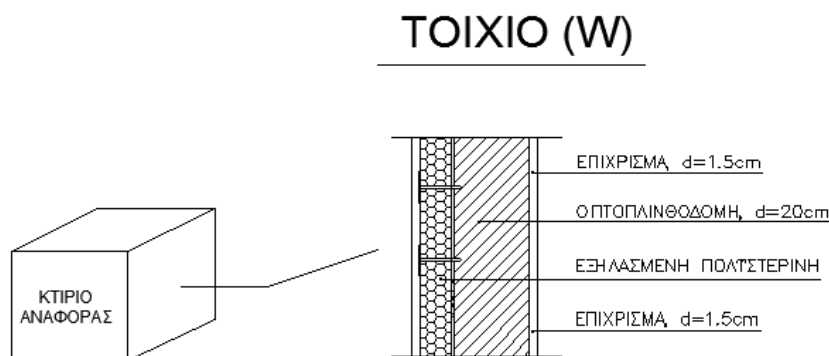
Στις **Εικόνες 6, 7 και 8** που ακολουθούν, παρουσιάζονται οι διατομές με τα χαρακτηριστικά των εξωτερικών δομικών στοιχείων του κτιρίου αναφοράς.



**Εικόνα 6: Τυπική διατομή οροφής**



**Εικόνα 7: Τυπική διατομή δαπέδου σε επαφή με το έδαφος**



**Εικόνα 8: Τυπική διατομή εξωτερικής τοιχοποιίας**

### **3.4.1.3 Καθορισμός κλιματικών ζωνών ανάλυσης**

Οι αναλύσεις των κτιριακών μονάδων αναφοράς πραγματοποιούνται για τρεις επιμέρους κλιματολογικές και κλιματικές ζώνες: της Λεμεσού, της Λευκωσίας και του Σαϊττά. Τα κλιματολογικά αρχεία λήφθηκαν από τη μετεωρολογική βάση δεδομένων του λογισμικού Meteororm 7.2 και έχουν τη μορφή .erw. Κάθε αρχείο .erw περιλαμβάνει κλιματολογικά και κλιματικά δεδομένα, τα οποία προέκυψαν από στατιστικές αναλύσεις της περιόδου 1980-2010 για κάθε περιοχή ξεχωριστά. Η εφαρμογή του .erw αρχείου γίνεται στο EP-Launch, που αποτελεί το τελευταίο στάδιο επίλυσης ενός .idf αρχείου. Η επιλογή εξέτασης των τριών περιοχών έγινε με σκοπό την διερεύνηση δημιουργίας ενεργειακών ζωνών στον ενεργειακό χάρτη της Κύπρου.

### **3.4.1.4 Επίλυση κτιρίου αναφοράς στο EP-Launch**

Το EP-Launch αποτελεί το τελευταίο στάδιο επίλυσης ενός .idf αρχείου. Σε αυτό το στάδιο, η θερμική ζώνη που δημιουργήθηκε στο Google SketchUp και τροποποιήθηκε στο IDF Editor, σε συνδυασμό με τα κλιματολογικά και κλιματικά δεδομένα που εισήχθησαν στο λογισμικό, επεξεργάζεται και αναλύεται, δίνοντας τα τελικά αποτελέσματα υπό τη μορφή αρχείου Excel. Τα ζητούμενα στην συγκεκριμένη ανάλυση αποτελούν τα ετήσια θερμικά και ψυκτικά φορτία του κτιρίου αναφοράς.

## **3.5 Αξιολόγηση του κόστους κύκλου ζωής των μεταβλητών παραμέτρων**

### **3.5.1 Νομική υπόσταση**

Σύμφωνα με το σημείο 10 της Οδηγίας 2010/31/ΕΕ, όλα τα κράτη μέλη οφείλουν να εξετάσουν την βέλτιστη από πλευράς κόστους ισορροπία μεταξύ των ενεργειακών επενδύσεων και των ενεργειακών δαπανών που εξοικονομούνται στη διάρκεια ολόκληρου του κύκλου ζωής του κτιρίου. (Οδηγία 2010/31/ΕΕ 2010) Προς ενίσχυσης του ως άνω, το Ευρωπαϊκό κοινοβούλιο εκδίδει στις 16 Ιανουαρίου του 2012 τον κανονισμό υπ' αριθμό 244/2012, ο οποίος καθορίζει το μεθοδολογικό πλαίσιο για τον υπολογισμό του βέλτιστου κόστους των ελαχίστων απαιτήσεων ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων και των δομικών στοιχείων. (European Parliament 2012)

Στην συγκεκριμένη μελέτη, με τον υπολογισμό του βέλτιστου από πλευράς κόστους κύκλου ζωής των δυο ενεργειακών μεταβλητών παραμέτρων: της εξωτερικής θερμομόνωσης

και των εξωτερικών ανοιγμάτων, προσδιορίζονται τα ζητούμενα βέλτιστα θερμικά χαρακτηριστικά των εξωτερικών δομικών στοιχείων και των εξωτερικών ανοιγμάτων.

### 3.5.2 Υπολογισμός της Καθαρής Παρούσας Αξίας (NPV) για κάθε Κτίριο Αναφοράς και Ενεργειακή Πρακτική

Το συνολικό κόστος των ενεργειακών επενδύσεων για κάθε κτίριο αναφοράς υπολογίζεται βασιζόμενο στη πιο κάτω σχέση, η οποία δίνεται στο Παράρτημα I, σημείο 4.3 του Κανονισμού 244/2012 (European Parliament 2012):

$$c_g(\tau) = c_i + \sum_j \left[ \sum_{i=1}^{\tau} (c_{a,i}(j) \times R_d(i)) - V_{f,\tau}(j) \right] \quad (1)$$

όπου:

$\tau$  : η περίοδος υπολογισμού

$C_g(\tau)$  : το συνολικό κόστος (ως προς το έτος έναρξης  $\tau_0$ ) κατά την περίοδο υπολογισμού

$C_i$  : το αρχικό κόστος επένδυσης για το μέτρο ή σύνολο μέτρων  $j$

$C_{a,i}(j)$  : το ετήσιο κόστος του μέτρου ή συνόλου μέτρων  $j$  κατά τη διάρκεια του έτους  $i$

$V_{f,\tau}(j)$  : η υπολειμματική αξία του μέτρου ή συνόλου μέτρων  $j$  στο τέλος της περιόδου υπολογισμού (που έχει αναδειχθεί στο έτος έναρξης  $\tau_0$ )

$R_d(i)$  : ο συντελεστής προεξόφλησης για το έτος  $i$  με βάση το προεξοφλητικό επιτόκιο  $r$  ο οποίος υπολογίζεται με τον ακόλουθο τύπο :

$$R_d(p) = \left( \frac{1}{1 + r/100} \right)^p \quad (2)$$

όπου:

$p$  : ο αριθμός των ετών από την έναρξη της περιόδου υπολογισμού

$r$  : το πραγματικό προεξοφλητικό επιτόκιο.

#### 3.5.2.1 Πορεία υπολογισμού της Καθαρής Παρούσας Αξίας (NPV)

Προκείμενου να οριστούν οι βέλτιστες ενεργειακές παράμετροι για κάθε τιμή του λόγου  $S/V$ , πραγματοποιείται η ανάλυση του κόστους κύκλου ζωής της κάθε μεταβλητής με την μέθοδο της Καθαρής Παρούσας Αξίας (NPV). Πιο συγκεκριμένα, τα ετήσια θερμικά και

ψυκτικά φορτία που υπολογίζονται για κάθε τιμή λόγου S/V, αξιολογούνται εφαρμόζοντας τη σχέση (1). Σε πρώτη φάση καθορίζονται τα **30 έτη ως η περίοδος λειτουργίας** του κτιρίου αναφοράς ενώ για τους σκοπούς της ανάλυσης υπολογίζονται τα πιο κάτω:

- **Κόστος εφαρμογής (Ca):** Το κόστος εφαρμογής περιλαμβάνει το κόστος αγοράς και εγκατάστασης της μεταβλητής παραμέτρου. Για την εξωτερική θερμομόνωση εφαρμόζονται οι τιμές που φαίνονται στο **Πίνακα 9** ενώ αντίστοιχα για τα εξωτερικά ανοίγματα εφαρμόζονται οι τιμές που φαίνονται στο **Πίνακα 10**.

**Πίνακας 9: Τιμές εξηλασμένης πολυστερίνης**

ΕΞΗΛΑΣΜΕΝΗ ΠΟΛΥΣΤΕΡΙΝΗ			
Πάχος (cm)	Τιμή	Πάχος (cm)	Τιμή
3	30,94	10	39,27
4	32,13	12	41,65
5	33,32	14	44,03
6	34,51	16	46,41
7	35,70	18	48,79
8	36,89	20	51,17
9	38,08		

**Πίνακας 10: Τιμές εξωτερικών υαλοπινάκων**

ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ				
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ		ΤΙΜΕΣ		
α/α	U <sub>f</sub> / U <sub>g</sub> / s <sub>f</sub> / t <sub>v</sub>	ΠΛΑΙΣΙΟ		ΥΑΛΟΣΤΑΣΙΟ
		U <sub>f</sub> /τεμ		U <sub>g</sub> -g <sub>w</sub> /m <sup>2</sup>
		Μονό	Διπλό	
1	5.8/5.8/0.87/0.90	250 €	300 €	22 €
2	2.8/2.8/0.77/0.81	210 €	405 €	30 €
3	2.8/2.0/0.54/0.62	210 €	405 €	37 €
4	2.0/2.0/0.54/0.62	275 €	490 €	37 €
5	2.0/1.6/0.54/0.78	275 €	490 €	47 €
6	2.0/1.6/0.34/0.51	275 €	490 €	52 €
7	1.6/1.6/0.54/0.78	290 €	508 €	47 €
8	1.6/1.6/0.34/0.51	290 €	508 €	52 €

Οι τιμές αντιπροσωπεύουν τη πραγματική τιμή που πληρώνει ο πελάτης συμπεριλαμβανομένων όλων των εφαρμοστέων φόρων. Για πρακτικούς λόγους χρησιμοποιείται ένα προσαυξητικός συντελεστής 5%. Στον υπολογισμό του κόστους εφαρμογής λαμβάνεται υπόψη η συνολική εξωτερική επιφάνεια του κτιρίου αναφοράς,

η συνολική επιφάνεια που καταλαμβάνουν τα εξωτερικά ανοίγματα καθώς και ο συνολικός αριθμός ανοιγμάτων .

- **Κόστος συντήρησης (Cc):** Το κόστος συντήρησης περιλαμβάνει το κόστος που δαπανάται για την συντήρηση του κτιρίου και καθορίζεται ίσο με 75,00 € για την θερμομόνωση και 6,00 €/τεμάχιο για τα εξωτερικά ανοίγματα. Το κόστος συντήρησης θεωρείται σταθερό για όλα τα έτη λειτουργίας του κτιρίου αναφοράς.
- **Κόστος ενέργειας (Ce):** Το κόστος ενέργειας περιλαμβάνει το ετήσιο κόστος ενέργειας που δαπανάται για τη θέρμανση και ψύξη του κτιρίου αναφοράς. Στο σημείο αυτό, αξιοποιούνται τα ετήσια θερμικά και ψυκτικά φορτία που υπολογίζονται σύμφωνα με την μεθοδολογία που περιγράφεται στο υποκεφάλαιο 3.4.

Προκειμένου να βρεθεί το πραγματικό κόστος ενέργειας, καθορίζονται δυο συμβατικά συστήματα για θέρμανση και ψύξη: το θερμαντικό σύστημα με λέβητα πετρελαίου και το ψυκτικό σύστημα με μονάδες διαιρεμένου τύπου. Η επιλογή δεν έγινε τυχαία, καθώς πρόκειται για τα δυο πιο συνήθη συστήματα θέρμανσης και ψύξης στην Κύπρο. Για τον υπολογισμό του κόστους ενέργειας, κρίνεται απαραίτητος ο υπολογισμός της πρωτογενούς ενέργειας που καταναλώνει κάθε σύστημα. Έτσι προκειμένου να υπολογιστεί η απαιτούμενη ποσότητα πετρελαίου σε λίτρα ( $L_{diesel}$ ) και ο απαιτούμενος αριθμός ηλεκτρικών kWh, καθορίζονται οι πιο κάτω συντελεστές απόδοσης ( $\eta$ ):

**Πίνακας 11: Συντελεστές απόδοσης συμβατικών συστημάτων**

ΘΕΡΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ		ΨΥΚΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	
$\eta_{\text{σώματος}}$	: 0.89	$\eta_{\text{cooling}}$	: 5.3
$\eta_{\text{δίκτυο}}$	: 0.94		
$\eta_{\text{λέβητ}}$	: 0.92		

Επιπλέον, για τον υπολογισμό ορίζονται οι πιο κάτω τιμές πρωτογενούς ενέργειας:

- Κόστος πετρελαίου για το τρέχον έτος = 0,89 €/  $L_{diesel}$
- Κόστος ρεύματος για το τρέχον έτος = 0,20 €/ kWh

Στο **Πίνακα 12** που ακολουθεί, φαίνεται η μελλοντική εξέλιξη των τιμών πετρελαίου και ρεύματος που λαμβάνεται για κάθε έτος λειτουργίας του κτιρίου αναφοράς.



Πίνακας 12: Ετήσια διακύμανση των τιμών ρεύματος και πετρελαίου

ΕΤΗΣΙΑ ΑΛΛΑΓΗ ΤΙΜΩΝ				
Έτος	Δείκτης ευαισθησίας πετρελαίου	Τιμή πετρελαίου (€/L)	Δείκτης ευαισθησίας ρεύματος	Τιμή ρεύματος (€/kWh)
2014	1.00	0.89	1.00	0.20
2015	1.01	0.90	1.01	0.20
2016	1.03	0.91	1.04	0.21
2017	1.06	0.94	1.06	0.21
2018	1.08	0.96	1.08	0.22
2019	1.10	0.98	1.11	0.22
2020	1.13	1.00	1.13	0.23
2021	1.15	1.02	1.16	0.23
2022	1.18	1.05	1.19	0.24
2023	1.21	1.07	1.21	0.24
2024	1.23	1.09	1.24	0.25
2025	1.26	1.12	1.27	0.25
2026	1.29	1.15	1.30	0.26
2027	1.32	1.17	1.34	0.27
2028	1.35	1.20	1.37	0.27
2029	1.38	1.23	1.41	0.28
2030	1.42	1.26	1.44	0.29
2031	1.45	1.29	1.48	0.30
2032	1.49	1.32	1.52	0.30
2033	1.53	1.36	1.56	0.31
2034	1.57	1.39	1.61	0.32
2035	1.61	1.43	1.65	0.33
2036	1.65	1.47	1.69	0.34
2037	1.69	1.50	1.74	0.35
2038	1.73	1.54	1.79	0.36
2039	1.77	1.57	1.83	0.37
2040	1.82	1.62	1.88	0.38
2041	1.86	1.65	1.93	0.39
2042	1.91	1.70	1.99	0.40
2043	1.96	1.74	2.04	0.41
2044	2.01	1.78	2.10	0.42

- **Προεξοφλητικό Επιτόκιο (r):** Ως πραγματικό προεξοφλητικό επιτόκιο (r) καθορίζεται το ποσοστό **6%** και αυτό εφαρμόζεται στην σχέση (2).

Τελικά προκύπτει η πιο κάτω σχέση:

$$c_p = c_a(p) + c_c(p) + \frac{c_e(p)}{R_d(p)} \leq 0 \quad (3)$$

Ακολουθώντας την σχέση (3) υπολογίζεται για κάθε έτος (p) το κόστος του κύκλου ζωής της μεταβλητής παραμέτρου A και B. Το άθροισμα, όλων των τιμών του κόστους για τα 30 έτη λειτουργίας του κτιρίου αναφοράς, δίνει την Καθαρή Παρούσα Αξία της επένδυσης.

### 3.6 Υπολογισμός θερμικών χαρακτηριστικών εξωτερικών δομικών στοιχείων και εξωτερικών ανοιγμάτων

Το τελευταίο στάδιο της μεθοδολογίας είναι ο υπολογισμός των ζητούμενων θερμικών χαρακτηριστικών για τα εξωτερικά δομικά στοιχεία και τα εξωτερικά ανοίγματα των υπό μελέτη κτιρίων αναφοράς. Με το πέρας της αξιολόγησης του κόστους κύκλου ζωής κάθε κτιρίου αναφοράς, προσδιορίζονται τα βέλτιστα πάχη εξωτερικής θερμομόνωσης καθώς και τα βέλτιστα σενάρια εξωτερικών ανοιγμάτων για όλα τα κτίρια αναφοράς καθένα από τα οποία συνδέεται με μια τιμή του λόγου S/V. Στην συνέχεια για τον υπολογισμό των θερμικών χαρακτηριστικών και κατ' επέκταση των συντελεστών θερμοπερατότητας κάθε στοιχείου, χρησιμοποιείται ο Οδηγός Θερμομόνωσης Κτιρίων, ο οποίος εκδίδεται από την Υπηρεσία Ενέργειας του Υπουργείου Εμπορίου, Βιομηχανίας και Τουρισμού. (Υπηρεσία Ενέργειας Κύπρου 2010)

#### 3.6.1 Συντελεστές θερμοπερατότητας εξωτερικών δομικών στοιχείων

##### 3.6.1.1 Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας για τοιχία και οροφή

Ο υπολογισμός του συντελεστή θερμοπερατότητας ( $U_i$ ) για τα αδιαφανή δομικά στοιχεία, περιλαμβανομένου εξωτερικής τοιχοποιίας και οροφής, βασίζεται στο πρότυπο CYS EN ISO 6946:2007 και δίνεται από την σχέση:

$$U_i = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{d_i}{\lambda_i} + R_{se}} \quad (4)$$

όπου,

$R_{si}$  : η εσωτερική επιφανειακή αντίσταση (ανάμεσα στο εσωτερικό περιβάλλον και στην εσωτερική επίπεδη επιφάνεια του στοιχείου) [ $m^2 \cdot K/W$ ]




$R_{se}$  : η εξωτερική επιφανειακή αντίσταση (ανάμεσα στο εξωτερικό περιβάλλον και στην εξωτερική επίπεδη επιφάνεια του στοιχείου) [ $m^2 \cdot K/W$ ]

$d_i$  : πάχος υλικού

$\lambda_i$  : θερμική αγωγιμότητα υλικού

Για τις τιμές  $R_{si}$  και  $R_{se}$  χρησιμοποιείται ο Πίνακας 13 του Οδηγού Θερμομόνωσης Κτιρίων.

Πίνακας 13: Τιμές αναφοράς επιφανειακών αντιστάσεων αδιαφανών δομικών στοιχείων

$R_{si}$ (m <sup>2</sup> K/W)			$R_{se}$ (m <sup>2</sup> K/W)
Διεύθυνση ροής θερμότητας			
			
0.13	0.1	0.17	0.04
ΣΗΜ. 1	Οριζόντια επίπεδη επιφάνεια ορίζεται η επιφάνεια με κλίση μέχρι και ± 30° από το οριζόντιο επίπεδο.		
ΣΗΜ. 2	Για τον υπολογισμό του συντελεστή θερμοπερατότητας για επίπεδα αδιάφανη δομικά στοιχεία του κτιρίου όπου δεν ορίζεται η ροή θερμότητας, τότε θα πρέπει να χρησιμοποιούνται οι τιμές για οριζόντια ροή θερμότητας.		
ΣΗΜ. 3	Οι πιο πάνω τιμές για τις επιφανειακές αντιστάσεις, υπολογίζονται με: $\epsilon=0.9$ , το $h_{to}$ υπολογισμένο για θερμοκρασία 10 <sup>0</sup> C και ταχύτητα αέρα $v=4$ m/s.		
ΣΗΜ. 4	Για συνθήκες που δεν ανταποκρίνονται στις πιο πάνω απαιτήσεις τότε οι συντελεστές $R_{si}$ και $R_{se}$ θα πρέπει να υπολογίζονται με τη μέθοδο που περιγράφεται στο Πρότυπο CYS EN ISO 6946:2007.		

Πηγή: (Υπηρεσία Ενέργειας Κύπρου 2010)

Για τα πάχη (d) καθώς και για τη θερμική αγωγιμότητα ( $\lambda$ ) κάθε υλικού χρησιμοποιούνται οι τιμές του Πίνακα 14. Για την εξηλασμένη πολυστερίνη, που αποτελεί το θερμομονωτικό υλικό, το πάχος είναι μεταβλητό και δεν καθορίζεται στο πίνακα.

Πίνακας 14: Πάχη και θερμική αγωγιμότητα δομικών υλικών

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΥΛΙΚΟΥ	ΠΑΧΟΣ ΥΛΙΚΟΥ d (cm)	ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ ΥΛΙΚΟΥ $\lambda$ (W/mK)
Επίχρισμα	1.5	0.800
Τούβλο	20.0	0.400
Εξηλασμένη Πολυστερίνη	-	0.030
Ασβεστοκονίαμα	2.0	0.800
Οπλισμένο Σκυρόδεμα	15.0	2.500
Γσκυρόδεμα	4.0	1.150
Ασφαλτόπανο	0.7	0.230
Μάρμαρο	2.0	3.500
Τσιμεντοκονίαμα	2.0	1.000

### 3.6.1.2 Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας για δάπεδο σε επαφή με το έδαφος

Ο υπολογισμός του συντελεστή θερμοπερατότητας των δαπέδων σε επαφή με το έδαφος ( $U_o$ ) βασίζεται στο πρότυπο CYS EN ISO 13370:1998. Για τους υπολογισμούς χρησιμοποιούνται τα θερμικά χαρακτηριστικά του εδάφους που δίνονται σε κάθε περιοχή λαμβάνοντας υπόψη το μέσο όρο σε βάθος ίσο με το πλάτος του κτιρίου και για κανονικές συνθήκες υγρασίας για την κάθε περιοχή. Στην περίπτωση της ανάλυσης που πραγματεύεται η συγκεκριμένη εργασία, ο τύπος του εδάφους δεν είναι γνωστός και λαμβάνονται οι παρακάτω τιμές:

- Θερμική αγωγιμότητα υλικού,  $\lambda = 2,0 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$
- Ειδική θερμότητα ανά όγκο,  $\rho_c = 2,0 \cdot 10^6 \text{ J}/(\text{m}^3\cdot\text{K})$

Στο **Πίνακα 15** που ακολουθεί παρουσιάζονται οι σχέσεις που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των συντελεστών θερμοπερατότητας των δαπέδων σε επαφή με το έδαφος. (Υπηρεσία Ενέργειας Κύπρου 2010)

**Πίνακας 15: Μέθοδος υπολογισμού συντελεστών θερμοπερατότητας δαπέδων σε επαφή με το έδαφος**

<b>Τύπος πατώματος</b>	Για όλους τους τύπους πατώματος, η χαρακτηριστική διάσταση $B'$ δίνεται από:	$B' = \frac{A}{0.5P}$ <p>A: το εμβαδόν του πατώματος P*: η περίμετρος του θερμαινόμενου κτιρίου που είναι εκτεθειμένη στο εξωτερικό περιβάλλον</p>
<b>Πάτωμα σε επαφή με το έδαφος</b>	<p><math>U_o</math> ο συντελεστής θερμοπερατότητας πατώματος σε επαφή με το έδαφος</p> $dt = w + \lambda(R_{si} + R_f + R_{se})$ <p>όπου:  <math>dt</math> συνολικό ισοδύναμο πάχος πατώματος  <math>w</math> το πάχος των εξωτερικών τοίχων  <math>R_f</math> είναι η θερμική αντίσταση των στρωμάτων του πατώματος από μονωτικό υλικό.</p>	<p>αν <math>dt &lt; B'</math> δηλαδή αν το πάτωμα είναι μέτρια ή καθόλου μονωμένο, ο συντελεστής θερμοπερατότητας <math>U_o</math> υπολογίζεται από τη σχέση:</p> $U_o = \frac{2\lambda}{\pi B' + dt} \cdot \ln\left(\frac{\pi B'}{dt} + 1\right)$ <p>αν <math>dt &gt; B'</math> δηλαδή αν το πάτωμα είναι καλά μονωμένο, ο συντελεστής θερμοπερατότητας <math>U_o</math> υπολογίζεται από τη σχέση:</p> $U_o = \frac{\lambda}{0.457B' + dt}$

Πηγή: (Υπηρεσία Ενέργειας Κύπρου 2010)

### 3.6.2 Συντελεστές θερμοπερατότητας εξωτερικών ανοιγμάτων

Ο συντελεστή θερμοπερατότητας ( $U_w$ ) για τα ανοίγματα, υπολογίζεται αριθμητικά χρησιμοποιώντας την μέθοδο που εφαρμόζεται στο πρότυπο EN ISO 10077-1:2006. Συγκεκριμένα, η αριθμητική μέθοδος βασίζεται στα πιο κάτω μέρη του ολικού συντελεστή θερμοπερατότητας:

- **Υαλοστάσια:** Για τα στοιχεία που περιλαμβάνουν υαλοστάσια, ο συντελεστής θερμοπερατότητας υαλοστασίου υπολογίζεται αριθμητικά με βάση τα πρότυπα EN 673 ή πειραματικά με βάση τα πρότυπα EN 674 ή EN 675.
- **Πλαίσια:** Για πλαίσια ο συντελεστής θερμοπερατότητας υπολογίζεται αριθμητικά με βάση το πρότυπο EN ISO 10077-2:2006 ή πειραματικά με βάση το πρότυπο EN 12412-2 ή εξασφαλίζεται από το παράρτημα D του προτύπου EN ISO 10077-1:2006.

Η αριθμητική μέθοδος υπολογισμού των κουφωμάτων δίνεται με την σχέση που ακολουθεί:

$$U_w = \frac{\sum A_g \cdot U_g + \sum A_f \cdot U_f + \sum I_g \cdot \Psi_g}{\sum A_g + \sum A_f} \quad (5)$$

όπου,

$U_g$  : ο συντελεστής θερμοπερατότητας του υαλοστασίου

$U_f$  : ο συντελεστής θερμοπερατότητας του πλαισίου

$A_g$  : η συνολική επιφάνεια του υαλοστασίου

$A_f$  : η συνολική επιφάνεια του πλαισίου

$\Psi_g$  : η γραμμική θερμική μετάδοση

$I_g$  : η περίμετρος του ορατού υαλοστασίου ως προς το πλαίσιο

Η γραμμική θερμική μετάδοση ( $\Psi_g$ ) και η περίμετρος του ορατού υαλοστασίου ως προς το πλαίσιο ( $I_g$ ) θεωρούνται αμελητέες και αγνοούνται στον υπολογισμό του συντελεστή θερμοπερατότητας των εξωτερικών ανοιγμάτων.

### 3.6.3 Μέσοι συντελεστές θερμοπερατότητας

Ο μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας ( $U_m$ ) των εξωτερικών τοιχίων και εξωτερικών ανοιγμάτων ενός κτιρίου αναφοράς, υπολογίζεται ως ακολούθως:

$$\begin{aligned}
 U_m &= \frac{\sum U_i \cdot A_i}{\sum A_i} \\
 &= \frac{\sum U_{i, \text{τοιχου}} \cdot A_{i, \text{τοιχου}} + \sum U_{j, \text{κουφωματος}} \cdot A_{j, \text{κουφωματος}}}{\sum A_{i, \text{τοιχου}} + \sum A_{j, \text{κουφωματος}}}
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

όπου,

i : ο αύξοντα αριθμός ανά είδος τοίχου

j : ο αύξοντα αριθμός ανά είδος κουφώματος

$U_i, U_j$  : οι συντελεστές θερμοπερατότητας του εξεταζόμενου δομικού στοιχείου [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ ]

$A_i, A_j$ : το εμβαδόν επιφάνειας του εξεταζόμενου δομικού στοιχείου [ $\text{m}^2$ ]

### 3.7 Πορεία ανάλυσης

Στην συνέχεια θα δοθεί υπό μορφή παραδείγματος η πορεία ανάλυσης των δυο μεταβλητών παραμέτρων για ένα συγκεκριμένο κτίριο αναφοράς.

#### 3.7.1 Πορεία ανάλυσης μεταβλητής παραμέτρου A

Όπως έχει λεχθεί προηγουμένως, τα θερμικά χαρακτηριστικά των εξωτερικών δομικών στοιχείων αποτελούν την μια από τις δυο μεταβλητές παραμέτρους που εξετάζει η συγκεκριμένη εργασία. Η επιλογή της συγκεκριμένης ενεργειακής παραμέτρου δεν έγινε τυχαία καθώς παίζει σημαντικό ρόλο στο ρυθμό μεταφοράς θερμότητας από και προς το κέλυφος ενός κτιρίου και κατ' επέκταση στην ενεργειακή του απόδοση.

Στην **Εικόνα 9** που ακολουθεί, παρουσιάζεται η πορεία ανάλυσης του κτιρίου αναφοράς με λόγο  $S/V=0,5$ , περιοχή μελέτης τη Λεμεσό και με μεταβλητή παράμετρο το πάχος της εξωτερικής θερμομόνωσης. Η δεύτερη μεταβλητή παράμετρος, που αποτελούν τα θερμικά χαρακτηριστικά των εξωτερικών ανοιγμάτων του κελύφους, παραμένει σταθερή έχοντας τις ακόλουθες ιδιότητες κοινές σε όλα τα κτίρια αναφοράς: συντελεστή θερμοπερατότητας πλαισίου  $U_f=5,8 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ , συντελεστή θερμοπερατότητας υαλοστασίου  $U_g=5,8 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ , συντελεστή των ηλιακών θερμικών κερδών  $s_f=0,87$  και συντελεστή διαπερατότητας της ηλιακής ακτινοβολίας στο ορατό φάσμα  $t_v=0,90$ .

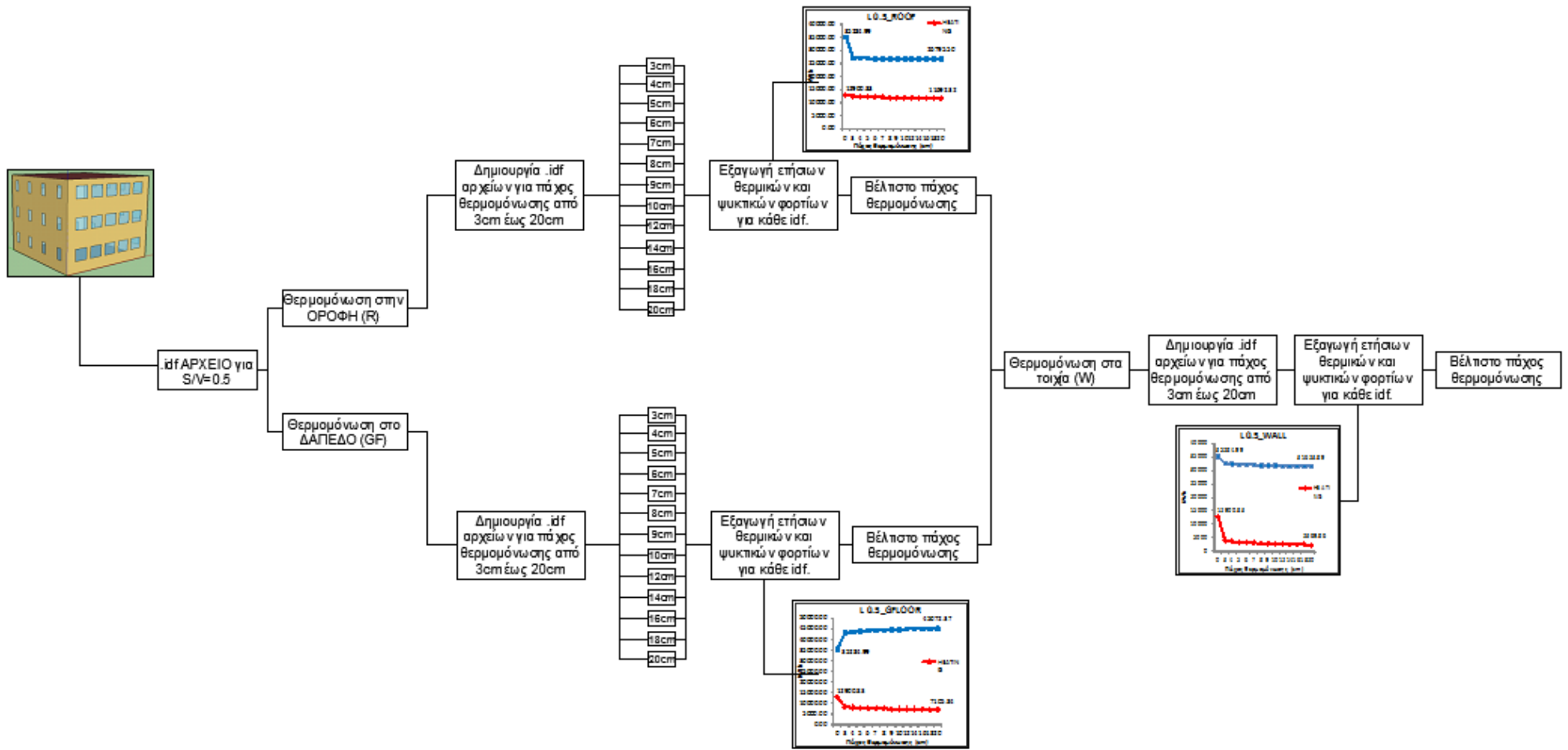
Σε πρώτη φάση, το βασικό αρχείο .idf για  $S/V=0,5$  διαχωρίζεται σε δυο επιμέρους σειρές αρχείων .idf. Η πρώτη σειρά περιλαμβάνει κτίρια αναφοράς με τοποθέτηση εξωτερικής θερμομόνωσης μόνο στην οροφή ενώ η δεύτερη σειρά περιλαμβάνει κτίρια

αναφοράς με τοποθέτηση εξωτερικής θερμομόνωσης μόνο στο δάπεδο. Κάθε σειρά αναλύσεων αποτελείται από 14 αρχεία .idf δηλαδή από 14 επιμέρους κτίρια αναφοράς, στο καθένα από τα οποία εφαρμόζεται ένα συγκεκριμένο πάχος θερμομόνωσης (από  $d_0=3\text{cm}$  έως  $20\text{cm}$ ).

Έπειτα της τροποποίησης του πάχους θερμομόνωσης σε κάθε αρχείο .idf, η οποία πραγματοποιείται μέσω του IDF Editor, το κάθε .idf αρχείο εισάγεται στο EP-Launch. Στο σημείο αυτό καθορίζεται το .erw αρχείο των κλιματολογικών και κλιματικών δεδομένων, που στην περίπτωση του παραδείγματος πρόκειται για το .erw αρχείο της Λεμεσού και ακολούθως επιτυγχάνεται η επίλυση του κτιρίου αναφοράς. Με το πέρας της επίλυσης, λαμβάνονται τα ετήσια θερμικά και ψυκτικά φορτία για όλα τα κτίρια αναφοράς και για όλα τα εξεταζόμενα πάχη θερμομόνωσης που αντιστοιχούν στις δυο σειρές αναλύσεων.

Τα αποτελέσματα απεικονίζονται στα επιμέρους διαγράμματα. Η μπλε γραμμή απεικονίζει τα ετήσια ψυκτικά φορτία για κάθε πάχος θερμομόνωσης ενώ η κόκκινη τα ετήσια θερμικά φορτία. Μετά την εξαγωγή των θερμικών και ψυκτικών φορτίων, ακολουθεί η αξιολόγηση του κόστους κύκλου ζωής της ενεργειακής μεταβλητής για κάθε κτίριο αναφοράς με την εφαρμογή της μεθόδου της Καθαρής Παρούσας Αξίας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τον προσδιορισμό του βέλτιστου πάχους θερμομόνωσης τόσο για την οροφή όσο και για το δάπεδο. Στην συνέχεια, τα προσδιορισθέντα βέλτιστα πάχη εφαρμόζονται στην τρίτη σειρά αναλύσεων η οποία διερευνά το πάχος θερμομόνωσης των τοιχίων. Με το πέρας της επίλυσης και της τεχνοοικονομικής αξιολόγησης των αποτελεσμάτων, προσδιορίζεται το βέλτιστο πάχος θερμομόνωσης των τοιχίων. Τελικά, με το πέρας και των τριών σειρών επίλυσης, προσδιορίζονται τα βέλτιστα πάχη θερμομόνωσης και κατ' επέκταση οι βέλτιστοι συντελεστές θερμοπερατότητας για το κτίριο αναφοράς με λόγο  $S/V=0,5$  και με περιοχή μελέτης τη Λεμεσό.

Η πιο πάνω πορεία ανάλυσης της μεταβλητής παραμέτρου  $A$  εφαρμόζεται ξεχωριστά σε όλα τα κτίρια αναφοράς που αντιστοιχούν σε  $S/V=0.2|0.3|0.4|0.5|0.6|0.7|0.8|0.9|1.0|1.1|1.2$  και στις τρεις περιοχές μελέτης που καθορίζονται παραπάνω.



Εικόνα 9: Πορεία ανάλυσης μεταβλητής παραμέτρου A



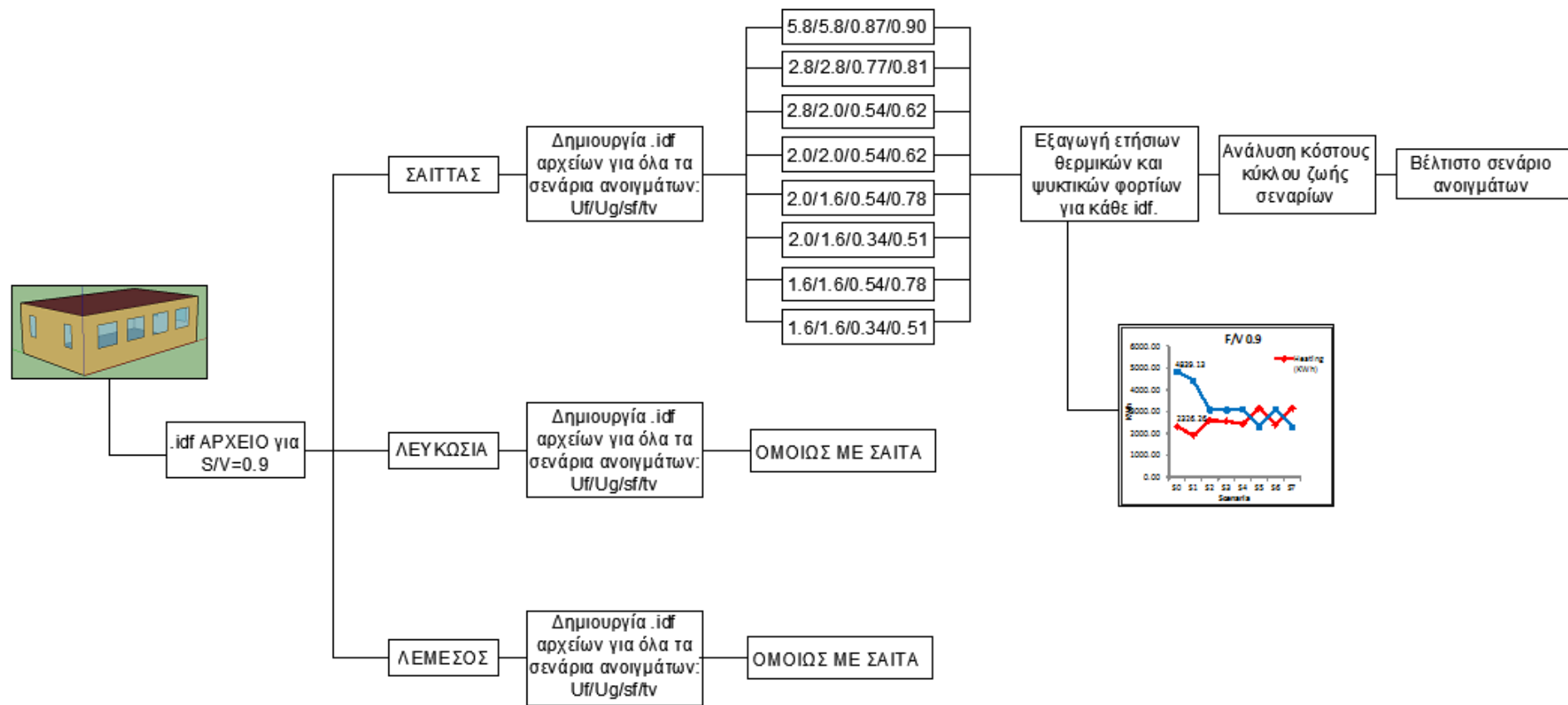
### 3.7.2 Πορεία ανάλυσης μεταβλητής παραμέτρου B

Η δεύτερη μεταβλητή παράμετρος που εξετάζεται είναι τα θερμικά χαρακτηριστικά των εξωτερικών ανοιγμάτων του κτιρίου αναφοράς. Στην μελέτη εξετάζεται η επίδραση οκτώ σεναρίων εξωτερικών ανοιγμάτων στην ενεργειακή ζήτηση.

Στην **Εικόνα 10** που ακολουθεί, παρουσιάζεται η πορεία ανάλυσης του κτιρίου αναφοράς με λόγο  $S/V=0,9$ , περιοχή μελέτης το Σαϊττά και με μεταβλητή παράμετρο τις θερμικές ιδιότητες των εξωτερικών ανοιγμάτων. Η μεταβλητή παράμετρος, που αποτελεί το πάχος της εξωτερικής θερμομόνωσης, παραμένει σταθερή και ίση με το βέλτιστο πάχος θερμομόνωσης που προσδιορίστηκε με βάση την μεθοδολογία υπολογισμού της μεταβλητής παραμέτρου A. Δηλαδή στην περίπτωση που περιγράφεται στην **Εικόνας 10**, τα πάχη θερμομόνωσης που εφαρμόστηκαν είναι τα βέλτιστα πάχη που προσδιορίστηκαν κατά την τεχνοοικονομική αξιολόγηση για το κτίριο αναφοράς με λόγο  $S/V= 0,9$  και με περιοχή μελέτης το Σαϊττά.

Σε πρώτη φάση, το βασικό αρχείο .idf για  $S/V=0,9$  και περιοχή Σαϊττά διαχωρίζεται σε 8 επιμέρους αρχεία .idf δηλαδή σε 8 κτίρια αναφοράς, στο καθένα από τα οποία εφαρμόζεται ένα συγκεκριμένο σενάριο ανοιγμάτων. Έπειτα της τροποποίησης των ιδιοτήτων σε κάθε αρχείο .idf, η οποία πραγματοποιείται μέσω του IDF Editor, το κάθε .idf αρχείο εισάγεται στο EP-Launch. Στο σημείο αυτό καθορίζεται το .erw αρχείο των κλιματολογικών και κλιματικών δεδομένων, που στην περίπτωση του παραδείγματος πρόκειται για το .erw αρχείο του Σαϊττά και ακολούθως πραγματοποιείται η επίλυση του κτιρίου αναφοράς. Με το πέρας της επίλυσης, λαμβάνονται τα ετήσια θερμικά και ψυκτικά φορτία για όλα τα δευτερεύοντα κτίρια αναφοράς και για όλα τα εξεταζόμενα σενάρια εξωτερικών ανοιγμάτων. Τα αποτελέσματα απεικονίζονται στο διάγραμμα της **Εικόνας 10**. Η μπλε γραμμή απεικονίζει τα ετήσια ψυκτικά φορτία για κάθε σενάριο ενώ η κόκκινη τα ετήσια θερμικά φορτία. Μετά την εξαγωγή των θερμικών και ψυκτικών φορτίων, ακολουθεί η αξιολόγηση του κόστους κύκλου ζωής της ενεργειακής μεταβλητής για κάθε κτίριο αναφοράς. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τον προσδιορισμό του βέλτιστου σεναρίου εξωτερικού ανοίγματος.

Η πιο πάνω πορεία ανάλυσης της μεταβλητής παραμέτρου B εφαρμόζεται ξεχωριστά σε όλα τα κτίρια αναφοράς που αντιστοιχούν σε  $S/V=0.2|0.3|0.4|0.5|0.6|0.7|0.8|0.9|1.0|1.1|1.2$  και στις τρεις περιοχές μελέτης που καθορίστηκαν παραπάνω.



Εικόνα 10: Πορεία ανάλυσης μεταβλητής παραμέτρου B

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

### 4.1 Συντελεστές θερμοπερατότητας για τα εξωτερικά δομικά στοιχεία

Στο υποκεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης που είχε ως σκοπό τον προσδιορισμό του βέλτιστου συντελεστή θερμοπερατότητας των εξωτερικών δομικών στοιχείων με κριτήριο τη μέγιστη οικονομική σκοπιμότητα. Η παρουσίαση πραγματοποιείται για κάθε περιοχή μελέτης ξεχωριστά ενώ στην συνέχεια ακολουθεί σύνοψη και επεξήγηση των αποτελεσμάτων που αφορούν και τις τρεις υπό μελέτη περιοχές.

#### 4.1.1 Περιοχή Μελέτης: Λεμεσός

Μετά τον υπολογισμό των ετήσιων θερμικών και ψυκτικών φορτίων και την ολοκλήρωση της τεchnοοικονομικής ανάλυσης, προκύπτουν τα βέλτιστα πάχη θερμομόνωσης των βασικών δομικών στοιχείων (το δάπεδο σε επαφή με το έδαφος, η οροφή, τα εξωτερικά τοιχία), για κάθε κτίριο αναφοράς με δεδομένο λόγο S/V. Έπειτα, για κάθε δομικό στοιχείο υπολογίζεται ο συντελεστής θερμοπερατότητας ( $U_i$  και  $U_o$ ) με τη βοήθεια του Οδηγού Θερμομόνωσης Κτιρίων, ο οποίος εκδίδεται από την Υπηρεσία Ενέργειας του Υπουργείου Εμπορίου, Βιομηχανίας και Τουρισμού. Στον **Πίνακα 16** που ακολουθεί παρουσιάζονται συγκεντρωμένα τα αποτελέσματα των βέλτιστων συντελεστών θερμοπερατότητας για τα κλιματικά χαρακτηριστικά της Λεμεσού.

**Πίνακας 16: Βέλτιστοι συντελεστές θερμοπερατότητας σύμφωνα με τα κλιματικά χαρακτηριστικά της Λεμεσού**

ΛΕΜΕΣΟΣ						
S/V	ΒΕΛΤΙΣΤΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ(W/m <sup>2</sup> .K)			ΜΕΓΙΣΤΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ΔΙΑΤΑΓΜΑ 432/2013		
	ΔΑΠΕΔΟ	ΟΡΟΦΗ	ΤΟΙΧΙΑ	ΔΑΠΕΔΟ	ΟΡΟΦΗ	ΤΟΙΧΙΑ
0.2	0.23	0.34	0.37	2.00 W/m <sup>2</sup> .K	0.63 W/m <sup>2</sup> .K	0.72 W/m <sup>2</sup> .K
0.3	0.28	0.38	0.37			
0.4	0.29	0.38	0.37			
0.5	0.32	0.38	0.37			
0.6	0.36	0.38	0.42			
0.7	0.40	0.38	0.42			
0.8	0.38	0.38	0.42			
0.9	0.41	0.38	0.42			
1.0	0.42	0.38	0.42			
1.1	0.45	0.38	0.42			
1.2	0.47	0.38	0.42			

Όπως παρατηρείται, οι τιμές των συντελεστών θερμοπερατότητας που υπολογιστήκαν μέσω της ανάλυσης είναι στο σύνολο τους συγκριτικά μικρότερες από τις ελάχιστες ενεργειακές απαιτήσεις που εισάγει το Διάταγμα 432/2013, το οποίο αφορά την ανοικοδόμηση νέων κτιρίων. Πιο συγκεκριμένα, η μέγιστη τιμή συντελεστή θερμοπερατότητας που υπολογίστηκε για το δάπεδο σε επαφή με το έδαφος, δίδεται για το κτίριο αναφορά με λόγο  $S/V=1,2$  και είναι ίση με  $0,47 \text{ W/m}^2\text{K}$  ενώ η μέγιστη τιμή που απαιτεί το Διάταγμα 432/2013 στην προκείμενη περίπτωση είναι  $2,00 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Αναφορικά με την οροφή, η μέγιστη τιμή συντελεστή θερμοπερατότητας για τα κτίρια αναφοράς στη Λεμεσό είναι ίση με  $0,38 \text{ W/m}^2\text{K}$  ενώ η ελάχιστη ενεργειακή απαίτηση σύμφωνα με το Διάταγμα 432/2013 είναι  $0,63 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Όσον αφορά την εξωτερική τοιχοποιία, οι συντελεστές θερμοπερατότητας που υπολογίστηκαν είναι επίσης μικρότεροι σε σχέση με την ελάχιστη απαίτηση που αποδίδεται από το Διάταγμα. Σε κάθε περίπτωση, είναι προφανές ότι η υιοθέτηση των υπολογισθέντων βέλτιστων συντελεστών θερμοπερατότητας τόσο για το δάπεδο και την οροφή όσο και για τα εξωτερικά τοιχία, ικανοποιεί στο μέγιστο τις ελάχιστες ενεργειακές απαιτήσεις του Διατάγματος 432/2013.

#### 4.1.2 Περιοχή μελέτης: Λευκωσία

Στον Πίνακα 17 που ακολουθεί παρουσιάζονται συγκεντρωμένα τα αποτελέσματα των βέλτιστων συντελεστών θερμοπερατότητας για τις κτιριακές μονάδες αναφοράς που εξετάστηκαν για τα κλιματικά χαρακτηριστικά της Λευκωσίας.

Πίνακας 17: Βέλτιστοι συντελεστές θερμοπερατότητας σύμφωνα με τα κλιματικά χαρακτηριστικά της Λευκωσίας

ΛΕΥΚΩΣΙΑ						
S/V	ΒΕΛΤΙΣΤΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ(W/m <sup>2</sup> .K)			ΜΕΓΙΣΤΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ΔΙΑΤΑΓΜΑ 432/2013		
	ΔΑΠΕΔΟ	ΟΡΟΦΗ	ΤΟΙΧΙΑ	ΔΑΠΕΔΟ	ΟΡΟΦΗ	ΤΟΙΧΙΑ
0.2	0.21	0.34	0.33	2.00 W/m <sup>2</sup> .K	0.63 W/m <sup>2</sup> .K	0.72 W/m <sup>2</sup> .K
0.3	0.28	0.34	0.33			
0.4	0.29	0.34	0.33			
0.5	0.32	0.34	0.33			
0.6	0.32	0.34	0.37			
0.7	0.40	0.34	0.37			
0.8	0.38	0.38	0.37			
0.9	0.41	0.38	0.37			
1.0	0.42	0.38	0.37			
1.1	0.45	0.38	0.37			
1.2	0.47	0.38	0.37			

Ομοίως και στην περίπτωση της Λευκωσίας, οι τιμές των συντελεστών θερμοπερατότητας που υπολογιστήκαν μέσω της ανάλυσης είναι στο σύνολο τους συγκριτικά μικρότερες από τις ελάχιστες ενεργειακές απαιτήσεις που εισάγει το Διάταγμα 432/2013. Πιο συγκεκριμένα, η μέγιστη τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας που υπολογίστηκε για το δάπεδο σε επαφή με το έδαφος, δίδεται για το κτίριο αναφορά με λόγο  $S/V=1,2$  και είναι ίση με  $0,47 \text{ W/m}^2\text{K}$  ενώ η μέγιστη τιμή που απαιτεί το Διάταγμα 432/2013 στην προκείμενη περίπτωση είναι  $2,00 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Αναφορικά με την οροφή, η μέγιστη τιμή συντελεστή θερμοπερατότητας για τα κτίρια αναφοράς στη Λευκωσία είναι ίση με  $0,38 \text{ W/m}^2\text{K}$  ενώ η ελάχιστη ενεργειακή απαίτηση σύμφωνα με το Διάταγμα 432/2013 είναι  $0,63 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Όσον αφορά την εξωτερική τοιχοποιία, οι συντελεστές θερμοπερατότητας που υπολογίστηκαν είναι επίσης μικρότεροι σε σχέση με την ελάχιστη απαίτηση που αποδίδεται από το Διάταγμα. Σε κάθε περίπτωση, είναι προφανές ότι η υιοθέτηση των υπολογισθέντων βέλτιστων συντελεστών θερμοπερατότητας τόσο για το δάπεδο και την οροφή όσο και για τα εξωτερικά τοιχεία, ικανοποιεί στο μέγιστο τις ελάχιστες ενεργειακές απαιτήσεις του Διατάγματος 432/2013.

#### 4.1.3 Περιοχή μελέτης: Σαϊττάς

Στον Πίνακα 18 που ακολουθεί παρουσιάζονται συγκεντρωμένα τα αποτελέσματα των βέλτιστων συντελεστών θερμοπερατότητας για τις κτιριακές μονάδες αναφοράς που εξετάστηκαν για τα κλιματικά χαρακτηριστικά του Σαϊττά. Πέρα από τα αποτελέσματα, δίνονται επίσης οι ελάχιστες ενεργειακές απαιτήσεις από το Διάταγμα 432/2013.

Πίνακας 18: Βέλτιστοι συντελεστές θερμοπερατότητας σύμφωνα με τα κλιματικά χαρακτηριστικά του Σαϊττά

ΣΑΪΤΤΑΣ						
S/V	ΒΕΛΤΙΣΤΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ(W/m <sup>2</sup> .K)			ΜΕΓΙΣΤΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ΔΙΑΤΑΓΜΑ 432/2013		
	ΔΑΠΕΔΟ	ΟΡΟΦΗ	ΤΟΙΧΙΑ	ΔΑΠΕΔΟ	ΟΡΟΦΗ	ΤΟΙΧΙΑ
0.2	0.21	0.28	0.27	2.00 W/m <sup>2</sup> .K	0.63 W/m <sup>2</sup> .K	0.72 W/m <sup>2</sup> .K
0.3	0.25	0.28	0.27			
0.4	0.26	0.30	0.27			
0.5	0.28	0.30	0.27			
0.6	0.29	0.30	0.27			
0.7	0.31	0.30	0.30			
0.8	0.33	0.30	0.30			
0.9	0.35	0.30	0.30			
1.0	0.37	0.30	0.30			
1.1	0.39	0.30	0.30			
1.2	0.40	0.30	0.30			

Όπως φαίνεται, οι τιμές των συντελεστών θερμοπερατότητας που υπολογίστηκαν μέσω της ανάλυσης είναι επίσης στο σύνολο τους συγκριτικά μικρότερες από τις ελάχιστες ενεργειακές απαιτήσεις που εισάγει το Διάταγμα 432/2013. Πιο συγκεκριμένα, η μέγιστη τιμή συντελεστή θερμοπερατότητας που υπολογίστηκε για το δάπεδο σε επαφή με το έδαφος, δίδεται για το κτίριο αναφορά με λόγο  $S/V=1,2$  και είναι ίση με  $0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$  ενώ η μέγιστη τιμή που απαιτεί το Διάταγμα 432/2013 είναι  $2,00 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Αναφορικά με την οροφή, η μέγιστη τιμή συντελεστή θερμοπερατότητας για τα κτίρια αναφοράς στο Σαϊττά είναι ίση με  $0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$  ενώ η ελάχιστη ενεργειακή απαίτηση σύμφωνα με το Διάταγμα 432/2013 είναι  $0,63 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Όσον αφορά την εξωτερική τοιχοποιία, οι τιμές των συντελεστών θερμοπερατότητας που υπολογίστηκαν είναι κατά το ήμισυ μικρότερες σε σχέση με τις τιμές που απαιτεί το Διάταγμα. Σε κάθε περίπτωση, είναι προφανές ότι η υιοθέτηση των υπολογισθέντων βέλτιστων συντελεστών θερμοπερατότητας τόσο για το δάπεδο και την οροφή όσο και για τα εξωτερικά τοιχία, ικανοποιεί στο μέγιστο τις ελάχιστες ενεργειακές απαιτήσεις του Διατάγματος 432/2013.

#### 4.1.4 Σύνοψη

Όπως προκύπτει, οι συντελεστές θερμοπερατότητας που υπολογίστηκαν για τα κλιματικά χαρακτηριστικά της Λεμεσού, της Λευκωσίας και της ορεινής περιοχής του Σαϊττά, ικανοποιούν στο σύνολο τους τις ελάχιστες ενεργειακές αποδόσεις που απαιτεί το Διάταγμα 432/2013, το οποίο αφορά την ανοικοδόμηση νέων κτιριακών μονάδων. Αυτό όμως που χαρακτηρίζει ιδιαίτερα τα αποτελέσματα είναι οι συγκριτικά χαμηλότερες τιμές των συντελεστών σε σχέση με τις τιμές που απορρέουν από το Διάταγμα, οι οποίες ως επί των πλείστων αγγίζουν το ήμισυ των απαιτούμενων.

Πέρα από αυτό, παρατηρείται επίσης μια γραμμική σχέση μεταξύ των συντελεστών θερμοπερατότητας και του λόγου  $S/V$ . Συγκεκριμένα για την επαρχία Λεμεσό, καθώς ο λόγος  $S/V$  αυξάνεται από 0,2 σε 1,2, η τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας για δάπεδο σε επαφή με το έδαφος αυξάνεται από  $0,23 \text{ W/m}^2\text{K}$  σε  $0,47 \text{ W/m}^2\text{K}$ , για την οροφή αυξάνεται από  $0,34 \text{ W/m}^2\text{K}$  σε  $0,38 \text{ W/m}^2\text{K}$  ενώ για τα εξωτερικά τοιχία αυξάνεται από  $0,37 \text{ W/m}^2\text{K}$  σε  $0,42 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Τέλος, προκύπτει ότι οι τιμές των συντελεστών θερμοπερατότητας που απορρέουν από την ανάλυση μειώνονται γραμμικά μετακινούμενοι από την εξωτερική περιφέρεια της Κύπρου προς το εσωτερικό της. Πιο αναλυτικά, για κτίριο αναφοράς με λόγο  $S/V$  ίσο με 0,6, η τιμή που προκύπτει για την εξωτερική τοιχοποιία στην Λεμεσό είναι  $0,42 \text{ W/m}^2\text{K}$ , για την

Λευκωσία  $0,37 \text{ W/m}^2\text{K}$  και για τον Σαϊττά  $0,27 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Είναι εμφανής λοιπόν η διαφοροποίηση των βέλτιστων τιμών θερμοπερατότητας από την μια περιοχή στην άλλη και στο σημείο αυτό δεικνύεται η ανάγκη δημιουργίας επιμέρους ζωνών στο ενεργειακό χάρτη της Κύπρου. Στην προκειμένη περίπτωση, είναι δυνατή η δημιουργία τριών ενεργειακών ζωνών: της παραθαλάσσιας ζώνης που απορρέει από την ανάλυση της Λεμεσού, της ενδιάμεση ζώνη που απορρέει από την ανάλυση της Λευκωσίας και της ορεινής ζώνης που απορρέει από την ανάλυση του Σαϊττά.

## 4.2 Συντελεστές θερμοπερατότητας για τα εξωτερικά ανοίγματα

Στο υποκεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης που είχε ως στόχο τον προσδιορισμό του βέλτιστου συντελεστή θερμοπερατότητας για τα εξωτερικά ανοίγματα με κριτήριο τη μέγιστη οικονομική σκοπιμότητα. Για κάθε κτίριο αναφοράς με δεδομένο λόγο  $S/V$ , εξετάζονται οκτώ (8) σενάρια ανοιγμάτων (περιλαμβανομένου υαλοστασίων και πλαισίων) και υπολογίζονται τα ετήσια θερμικά και ψυκτικά φορτία. Έπειτα της ανάπτυξης τεχνοοικονομικής ανάλυσης των επιμέρους σεναρίων, προσδιορίζεται το βέλτιστο σενάριο εξωτερικών ανοιγμάτων για κάθε κτίριο αναφοράς και για κάθε υπό μελέτη περιοχή. Με τον προσδιορισμό του βέλτιστου σεναρίου εξωτερικών ανοιγμάτων και με την βοήθεια του Οδηγού Θερμομόνωσης Κτιρίων που εκδίδεται από την Υπηρεσία Ενέργειας του Υπουργείου Εμπορίου, Βιομηχανίας και Τουρισμού, υπολογίζεται ο απαιτούμενος συντελεστής θερμοπερατότητας.

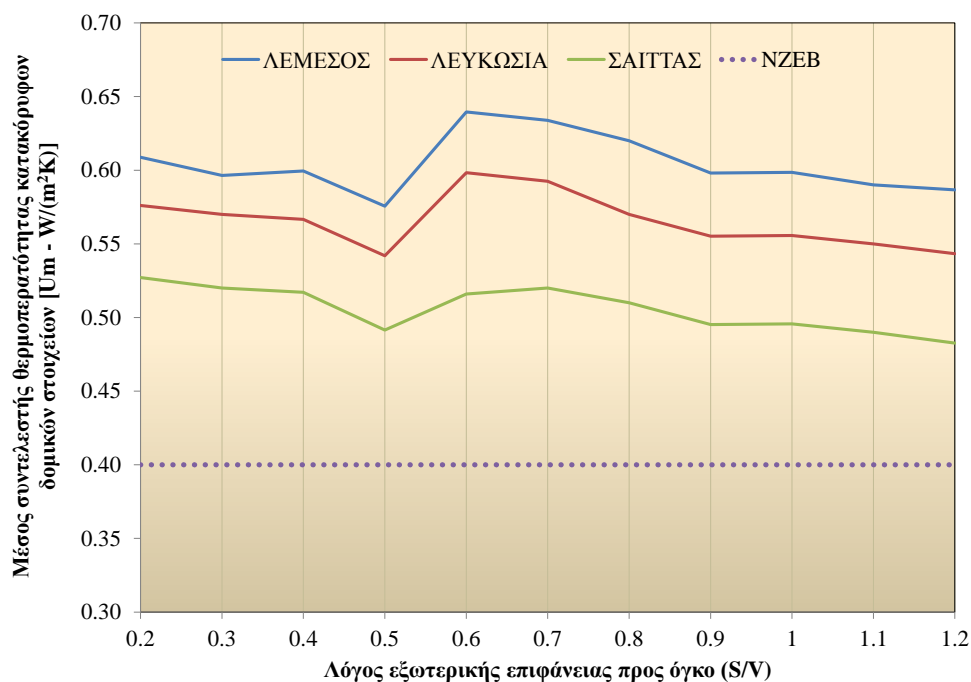
Προκύπτει λοιπόν, ότι το σενάριο εξωτερικών ανοιγμάτων με τις ακόλουθες θερμικές ιδιότητες: συντελεστή θερμοπερατότητας πλαισίου  $U_f=2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ , συντελεστή θερμοπερατότητας υαλοστασίου  $U_g=1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ , συντελεστή των ηλιακών θερμικών κερδών  $s_f=0,54$  και συντελεστή διαπερατότητας της ηλιακής ακτινοβολίας στο ορατό φάσμα  $t_v=0,78$ , είναι το βέλτιστο και είναι κοινό για όλα τα κτίρια αναφοράς και για τις τρεις υπό μελέτη περιοχές: της Λεμεσού, της Λευκωσίας και του Σαϊττά.

Έχοντας λάβει υπόψη τις πιο πάνω ιδιότητες, προκύπτει ο βέλτιστος συντελεστής θερμοπερατότητας για τα εξωτερικά ανοίγματα, ο οποίος είναι ίσος με  $1,67 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Συγκρίνοντας τη τιμή του βέλτιστου συντελεστή θερμοπερατότητας με τις ισχύουσες ελάχιστες ενεργειακές αποδόσεις των Διαταγμάτων 432/2013 και 366/2014, προκύπτει ότι είναι συγκριτικά μικρότερη. Πιο αναλυτικά και σύμφωνα με το Διάταγμα 432/2013, ο μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας είναι ίσος με  $3,23 \text{ W/m}^2\text{K}$ , ενώ

αντίστοιχα για το Διάταγμα 366/2014 που αφορά κτίρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας, ο μέγιστος μέσος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας είναι ίσος με  $2,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Είναι σαφές λοιπόν, ότι ο συνδυασμός υιοθέτησης των βέλτιστων θερμικών χαρακτηριστικών για τα εξωτερικά ανοίγματα και τα εξωτερικά δομικά στοιχεία, σε κτίρια με δεδομένο λόγο  $S/V$ , υλοποιεί κτίρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας στις εξεταζόμενες περιοχές της Κύπρου.

### 4.3 Μέσοι συντελεστές θερμοπερατότητας κτιρίων αναφοράς

Το τελευταίο στάδιο της ανάλυσης είναι ο υπολογισμός των βέλτιστων μέσων συντελεστών θερμοπερατότητας ( $U_m$ ). Για τον υπολογισμό τους χρησιμοποιούνται οι συντελεστές θερμοπερατότητας της εξωτερικής τοιχοποιίας που υπάρχουν στους Πινάκες 16, 17 και 18 για τις υπό εξέταση περιοχές της Λεμεσού, της Λευκωσίας και του Σαϊττά αντίστοιχα. Όσον αφορά τα εξωτερικά ανοίγματα χρησιμοποιείται κοινός συντελεστής θερμοπερατότητας, ο οποίος υπολογίστηκε ίσος με  $1,67 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Με την εφαρμογή λοιπόν της εξισωτικής σχέσης (6) υπολογίζονται οι μέσοι συντελεστές θερμοπερατότητας για κάθε τιμή του λόγου  $S/V$  και για τις τρεις υπό εξέταση περιοχές. Στο Διάγραμμα 1 που ακολουθεί απεικονίζονται σχηματικά τα αποτελέσματα.



Διάγραμμα 1: Μέσοι συντελεστές θερμοπερατότητας ( $U_m$ ) για κάθε τιμή του λόγου  $S/V$



Από το **Διάγραμμα 1** προκύπτει μια γραμμική συσχέτιση του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας με την περιοχή μελέτης. Συγκεκριμένα, οι συντελεστές παρουσιάζουν μια εμφανή μείωση στις τιμές τους καθώς χωρικά μεταβαίνουν από την μια περιοχή μελέτης στην άλλη. Για παράδειγμα, κτίριο αναφοράς με λόγο S/V ίσο με 0,9, απαιτεί μέσο συντελεστή θερμοπερατότητας  $0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$  στη Λεμεσό,  $0,56 \text{ W/m}^2\text{K}$  στη Λευκωσία και  $0,50 \text{ W/m}^2\text{K}$  στο Σαϊττά. Αυτό οδηγεί στην προκείμενη περίπτωση στη ανάγκη δημιουργίας τριών ενεργειακών ζωνών στο χάρτη της Κύπρου: της παραθαλάσσιας ζώνης που απορρέει από την ανάλυση της Λεμεσού, της ενδιάμεση ζώνη που απορρέει από την ανάλυση της Λευκωσίας και της ορεινής ζώνης που απορρέει από την ανάλυση του Σαϊττά. Κάθε ζώνη θα χαρακτηρίζεται από επιμέρους ελάχιστες ενεργειακές αποδόσεις, οι οποίες θα είναι άρτια προσαρμοσμένες στην απαίτηση για ανοικοδόμηση κτιρίων σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας.

Τέλος, οι τιμές του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας ( $U_m$ ) και για τις τρεις υπό μελέτη περιοχές συγκρίνονται με τις ισχύουσες τιμές των Διαταγμάτων 432/2013 και 366/2014. Σύμφωνα με το Διάταγμα 432/2013, ο μέγιστος μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας ( $U_m$ ) για κτίρια που χρησιμοποιούνται ως κατοικίες είναι ίσος με  $1,30 \text{ W/m}^2\text{K}$  ενώ για κτίρια που χρησιμοποιούνται ως μη κατοικίες είναι ίσος με  $1,80 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Και στις δυο περιπτώσεις οι τιμές που λαμβάνονται από το **Διάγραμμα 1** είναι σημαντικά μικρότερες, ικανοποιώντας έτσι τις ελάχιστες ενεργειακές αποδόσεις του Διατάγματος 432/2013. Όσον αφορά το Διάταγμα 366/2014, ο μέγιστος μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας ( $U_m$ ) για κτίρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας είναι ίσος με  $0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$ , σημαντικά μικρότερος από τις αντίστοιχες διατάξεις του Διατάγματος 432/2013. Η μέγιστη αυτή τιμή απεικονίζεται επίσης στο **Διάγραμμα 1**, και όπως διαπιστώνεται, οι τιμές του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας ( $U_m$ ) για τις τρεις υπό μελέτη περιοχές, υπερβαίνουν την απαιτούμενη. Ωστόσο, ο συνδυασμός των βέλτιστων θερμικών χαρακτηριστικών τόσο των εξωτερικών δομικών στοιχείων όσο και των εξωτερικών ανοιγμάτων, ενδέχεται να υλοποιήσει κτίρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο κύριος σκοπός της εργασίας ήταν ο προσδιορισμός των συντελεστών θερμοπερατότητας για τα κύρια δομικά στοιχεία και τα εξωτερικά ανοίγματα του κτιριακού κελύφους, η εφαρμογή των οποίων θα οδηγήσει σε κτίρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας. Ο προσδιορισμός του σκοπού αυτού προέκυψε έπειτα της διεθνούς τακτικής εξοικονόμησης ενέργειας στο κτιριακό τομέα. Η προσαρμογή επιτυγχάνεται με την εναρμόνιση σε ένα διεθνές και εθνικό νομικό πλαίσιο καθώς επίσης με την υλοποίηση τεχνοοικονομικής ανάλυσης του κόστους κύκλου ζωής των εφαρμοστέων ενεργειακών πρακτικών.

Μέρος της εργασίας ήταν η διερεύνηση και η ανάλυση της σχέσης που παρουσιάζει ο λόγος επιφάνειας κτιρίου προς τον όγκο του (S/V) με τη ζήτηση ενέργειας. Για την επίτευξη του στόχου αυτού έγινε προσομοίωση ενός αριθμού κτιριακών μονάδων των οποίων τα χαρακτηριστικά ήταν όμοια και προσαρμοσμένα στα κυπριακά δεδομένα. Με την χρήση του σχεδιαστικού προγράμματος Google SketchUp, σχεδιάστηκαν τα κτίρια αναφοράς, οι διαστάσεις των οποίων ήταν συνυφασμένες με το λόγο S/V. Έπειτα, διερευνήθηκε η επίδραση δυο ενεργειακών παραμέτρων στην κατανάλωση ενέργειας του κτιρίου αναφοράς, τα οποία αποτελούσαν τα θερμικά χαρακτηριστικά των εξωτερικών δομικών στοιχείων και των εξωτερικών ανοιγμάτων. Για τον υπολογισμό των ετήσιων θερμικών και ψυκτικών φορτίων των κτιρίων αναφοράς, εφαρμόστηκε το λογισμικό Energy Plus. Στην συνέχεια, ακολούθησε αξιολόγηση των αποτελεσμάτων για κάθε μια από τις πιο πάνω περιπτώσεις, μέσω της μεθόδου Καθαρής Παρούσας Αξίας. Με το πέρας της τεχνοοικονομικής αξιολόγησης, προέκυψαν για κάθε κτίριο αναφοράς το βέλτιστο πάχος θερμομόνωσης και το βέλτιστο σενάριο εξωτερικών ανοιγμάτων. Με την βοήθεια του Οδηγού θερμομόνωσης κτιρίων που εκδίδεται από την Υπηρεσία Ενέργειας του Υπουργείου Εμπορίου, Βιομηχανίας, υπολογίστηκαν τελικά οι βέλτιστοι συντελεστές θερμοπερατότητας για τα βασικά εξωτερικά δομικά στοιχεία (εξωτερική τοιχοποιία, οροφή, δάπεδο σε επαφή με το έδαφος) καθώς και για τα εξωτερικά ανοίγματα. Η ανάλυση αυτή πραγματοποιήθηκε για τρεις εξεταζόμενες κλιματικές περιοχές της Κύπρου της Λεμεσού, της Λευκωσίας και του Σαϊττά.

Για την εξαγωγή βάσιμων συμπερασμάτων, έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων με τις ελάχιστες ενεργειακές αποδόσεις που απορρέουν από τα Διατάγματα υπ' αριθμόν 432/2013 και 366/2014. Οι τιμές των μέγιστων συντελεστών θερμοπερατότητας που

χρησιμοποιήθηκαν από το Διάταγμα 432/2013, αφορούσαν ανοικοδόμηση νέας κτιριακής μονάδας ενώ στο Διάταγμα 366/2014, το οποίο αναφέρεται σε κτίρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας, χρησιμοποιήθηκαν μέσες τιμές συντελεστών θερμοπερατότητας.

Από την αξιολόγηση και ανάλυση των αποτελεσμάτων προέκυψαν τα πιο κάτω συμπεράσματα:

1. Οι βέλτιστοι συντελεστές θερμοπερατότητας των εξωτερικών δομικών στοιχείων (τοιχοποιία, οροφή, δάπεδο σε επαφή με το έδαφος) ικανοποιούν σχεδόν στο ήμισυ τις ελάχιστες ενεργειακές αποδόσεις που απαιτεί το Διάταγμα 432/2013 τόσο για τις επαρχίες Λεμεσού και Λευκωσίας όσο και για την ορεινή περιοχή του Σαϊττά.
2. Από την ανάλυση προκύπτει μια γραμμική σχέση μεταξύ των βέλτιστων συντελεστών θερμοπερατότητας των εξωτερικών δομικών στοιχείων και του λόγου  $S/V$ , καθώς μια σχετική αύξηση του λόγου οδηγεί άμεσα σε αύξηση του συντελεστή θερμοπερατότητας.
3. Ο βέλτιστος συντελεστής θερμοπερατότητας για τα εξωτερικά ανοίγματα προκύπτει ίσος με  $1.67 \text{ W/m}^2\text{K}$  και είναι μικρότερος από τις ισχύουσες ελάχιστες ενεργειακές αποδόσεις των Διαταγμάτων 432/2013 και 366/2014.
4. Σημαντική είναι η γραμμική συσχέτιση του βέλτιστου μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας με την περιοχή μελέτης. Συγκεκριμένα, οι τιμές των θερμικών χαρακτηριστικών των εξωτερικών δομικών στοιχείων, παρουσιάζουν μια μειωτική τάση καθώς χωρικά μεταβαίνουν από την μια περιοχή μελέτης στην άλλη. Αυτό οδηγεί στην προκείμενη περίπτωση στη ανάγκη δημιουργίας τριών ενεργειακών ζωνών στο χάρτη της Κύπρου: της παραθαλάσσιας ζώνης, της ενδιάμεσης ζώνης και της ορεινής ζώνης. Κάθε ζώνη θα χαρακτηρίζεται από επιμέρους ελάχιστες ενεργειακές αποδόσεις, οι οποίες θα είναι άρτια προσαρμοσμένες στην απαίτηση για ανοικοδόμηση κτιρίων σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας.
5. Τέλος, οι τιμές του βέλτιστου μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας ( $U_m$ ) για τις τρεις υπό μελέτη περιοχές ικανοποιούν τις ισχύουσες τιμές του Διατάγματος 432/2013, οι οποίες διαχωρίζονται για κτίρια που χρησιμοποιούνται ως κατοικίες και για κτίρια που χρησιμοποιούνται ως μη κατοικίες. Όσον αφορά το Διάταγμα 366/2014, οι τιμές του βέλτιστου μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας ( $U_m$ ) για τις τρεις υπό μελέτη περιοχές, υπερβαίνουν το μέγιστο μέσο συντελεστή θερμοπερατότητας ( $U_m$ ) που

είναι ίσος με  $0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Ωστόσο, ο συνδυασμός των βέλτιστων θερμικών χαρακτηριστικών τόσο των εξωτερικών δομικών στοιχείων όσο και των εξωτερικών ανοιγμάτων, ενδέχεται να υλοποιήσει κτίρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας.



## Βιβλιογραφία

---

- 210(I)/2012, N., 2012. *Ο Περί Ρύθμισης της Ενεργειακής Απόδοσης των κτιρίων (Τροποποιητικός) Νόμος του 2012.*
- 432/2013, Δ., 2013. *Το Περί Ρύθμισης της Ενεργειακής Απόδοσης των Κτιρίων (Απαιτήσεις Ελάχιστης Ενεργειακής Απόδοσης) Διάταγμα του 2013.*
- Anon, United Nations Environment Programme (UNEP).
- Aviza, D. & Turskis, Z., 2014. An empirical analysis of correlation between the thickness of a thermal insulation layer of the floor and the payback period. *Journal of Civil Engineering and Management*, 20(5), pp.760–766.
- Becchio, C. et al., 2015. Cost optimality assessment of a single family house: Building and technical systems solutions for the nZEB target. *Energy and Buildings*, 90, pp.173–187.
- Behsh, B., 2002. Building Form As an Option for Enhancing the. *Building Physics 2002 - 6th Nordic Symposium*, pp.759–766.
- Bojić, M., Miletić, M. & Bojić, L., 2014. Optimization of thermal insulation to achieve energy savings in low energy house (refurbishment). *Energy Conversion and Management*, 84, pp.681–690.
- Dixon, J.M., 2000. Heating, Cooling and Lighting as form-givers in Architecture. *Architecture*, 01, pp.1–10.
- Favoino, F., Overend, M. & Jin, Q., 2015. The optimal thermo-optical properties and energy saving potential of adaptive glazing technologies. *Applied Energy*, 156, pp.1–15.
- Hamdy, M., Hasan, A. & Siren, K., 2013. A multi-stage optimization method for cost-optimal and nearly-zero-energy building solutions in line with the EPBD-recast 2010. *Energy and Buildings*, 56, pp.189–203.
- International Energy Agency, 2013. *Transition to Sustainable Buildings - Strategies and opportunities to 2050.*
- K. Butti, J.P., 1980. *A Golden Thread, 2500 Years of Solar Architecture and Technology.*
- Kurnitski, J. et al., 2011. Cost optimal and nearly zero (nZEB) energy performance calculations for residential buildings with REHVA definition for nZEB national implementation. *Energy and Buildings*, 43(11), pp.3279–3288.
- Li, D.H.W., Yang, L. & Lam, J.C., 2013. Zero energy buildings and sustainable development implications – A review. *Energy*, 54, pp.1–10.
- Parliament, E., 2012. COMMISSION DELEGATED REGULATION (EU) No 244/2012 of 16 January 2012 supplementing Directive 2010/31/EU of the European Parliament and

- of the Council on the energy performance of buildings. , pp.18–36.
- R.W.Bliss, 1955. *Design and performance of the nation's only fully solar-heated house. Air conditioning, Heating and Ventilating.*
- Ramesh, T., Prakash, R. & Shukla, K.K., 2012. *Life cycle approach in evaluating energy performance of residential buildings in Indian context*, Elsevier B.V.
- Reda, F. et al., 2015. Low-energy residential buildings in New Borg El Arab: Simulation and survey based energy assessment. *Energy and Buildings*, 93, pp.65–82.
- T.V.Esbensen, V.K., 1977. *Dimensioning of the Solar Heating System in the Zero Energy House in Denmark.*
- U.S, E.P., Building Technologies Office: EnergyPlus Energy Simulation Software.
- U.S. Department of Energy, 2014. *Windows and Building Envelope Research and Development: Roadmap for Emerging Technologies.*
- Διάταγμα 366/2014, 2014. *Το Περί Ρύθμισης της Ενεργειακής Απόδοσης των Κτιρίων (Απαιτήσεις και τεχνικά χαρακτηριστικά που πρέπει να πληροί το κτίριο με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας) Διάταγμα του 2014.*
- Οδηγία 2010/31/EE, 2010. *Οδηγία 2010/31/EE του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων.*
- Στατιστική, Υ., 2015. *Energy Consumption \_HH-2009-EL-051011.*
- Υπηρεσία Ενέργειας Κύπρου, 2010. *Οδηγός θερμομόνωσης κτιρίων.*