



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

## Ανάπτυξη Μεθοδολογικού Πλαισίου για την Αξιολόγηση Κτιρίων Σχεδόν Μηδενικού Ενεργειακού Ισοζυγίου

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σωτήριος Μ. Μακατσώρης

Επιβλέπων : Ιωάννης Ψαρράς  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2015





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

## Ανάπτυξη Μεθοδολογικού Πλαισίου για την Αξιολόγηση Κτιρίων Σχεδόν Μηδενικού Ενεργειακού Ισοζυγίου

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σωτήριος Μ. Μακατσώρης

**Επιβλέπων :** Ιωάννης Ψαρράς  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 15<sup>η</sup> Οκτωβρίου 2015.

.....

Ιωάννης Ψαρράς

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Δημήτριος Ασκούνης

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Χάρης Δούκας

Επικ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2015

.....

Σωτήριος Μ. Μακατσώρης

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Σωτήριος Μ. Μακατσώρης, 2015

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

## **Περίληψη**

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν να μελετηθούν τα Κτίρια Μηδενικού και Σχεδόν Μηδενικού Ενεργειακού Ισοζυγίου. Συλλέχθηκαν και καταγράφηκαν οι ορισμοί που έχουν διατυπωθεί ως προς τα κτίρια αυτά, καταγράφηκε η σχετική ευρωπαϊκή και ελληνική νομοθεσία και εντοπίστηκαν παγκοσμίως πρότυπα κτίρια που επιτυγχάνουν την επιθυμητή απόδοση και λειτουργία.

Επιπλέον διαμορφώθηκε κατάλληλο μεθοδολογικό πλαίσιο μέσω του οποίου δύναται να αξιολογηθεί η απόδοση των εν λόγω κτιρίων και αναπτύχθηκε ένα υπολογιστικό εργαλείο για την αξιολόγηση τους. Εν συνεχεία αξιολογήθηκαν κάποια από τα πρότυπα κτίρια που εντοπίστηκαν, με χρήση της μεθοδολογίας που αναπτύχθηκε. Επίσης, αναλύθηκε ο τρόπος και ο βαθμός εξάρτησης των δεικτών αξιολόγησης που θεσπίστηκαν από τις καταναλώσεις ενέργειας και ορισμένα δομικά τους χαρακτηριστικά.

Τέλος, προτάθηκε μια μεθοδολογία βαθμολόγησης και κατάταξης των Κτιρίων Μηδενικού και Σχεδόν Μηδενικού Ενεργειακού Ισοζυγίου με σκοπό την ταξινόμησή τους ανάλογα με το βαθμό επίτευξης του στόχου για μηδενικό ή σχεδόν μηδενικό ενεργειακό ισοζύγιο.

## **Λέξεις Κλειδιά**

Κτίρια Σχεδόν Μηδενικού Ενεργειακού Ισοζυγίου, Κτίρια Μηδενικού Ενεργειακού Ισοζυγίου, NZEB, nZEB, δείκτης πρωτογενούς ενέργειας, μερίδιο χρήσης ανανεώσιμης ενέργειας, ανάλυση ευαισθησίας δεικτών αξιολόγησης NZEB

## **Abstract**

The scope of this thesis was the in-depth study of the Net Zero Energy Buildings and Nearly Zero Energy Buildings and the proposal of a reliable method for their assessment. Initially, the current definitions of Net & Nearly Zero Energy Buildings were traced and tracked down, the relevant to these European and Greek law was listed and case studies of successful Net & Nearly Zero Energy Buildings worldwide were reviewed.

The suitable methodology needed to assess the performance of Net & Nearly Zero Energy Buildings was proposed and a universal computational tool for the assessment of these buildings was developed. Some of the buildings of the reviewed case studies were assessed and the dependence of the proposed assessment factors on the energy usage and some structural characteristics was analyzed.

Finally, a rating and ranking system was proposed aiming to the classification of Net & Nearly Zero Energy Buildings according to the zero or nearly zero energy balance they have performed.

## **Keywords**

Nearly Zero Energy Buildings, Net Zero Energy Buildings, nZEB, NZEB, primary energy indicator, renewable energy ratio, NZEB assessment factors sensitivity analysis

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη.....	5
Λέξεις Κλειδιά .....	5
Abstract .....	6
Keywords .....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	13
1.1 Αντικείμενο Διπλωματικής Εργασίας.....	15
1.2 Φάσεις Υλοποίησης.....	15
1.3 Δομή Εργασίας.....	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΟΡΙΣΜΟΣ – ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ.....	17
2.1 Εισαγωγή.....	19
2.2 NZEB & nZEB.....	19
2.3 Ορισμός.....	19
2.3.1 Κτίρια Μηδενικού ή Σχεδόν Μηδενικού Ενεργειακού Ισοζυγίου .....	19
2.3.2 Κοινότητες Μηδενικού ή Σχεδόν Μηδενικού Ενεργειακού Ισοζυγίου.....	24
2.4 Νομοθεσία.....	25
2.4.1 Ευρωπαϊκή Νομοθεσία.....	25
2.4.2 Ενσωμάτωση στην ελληνική νομοθεσία .....	27
2.4.3 Πρόοδος κρατών μελών .....	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΠΡΟΤΥΠΑ ΚΤΙΡΙΑ ΜΗΔΕΝΙΚΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ .....	31
3.1 Εισαγωγή.....	33
3.2 Πρότυπα Κτίρια.....	33
3.3 Εφαρμοσμένα Μέτρα Ενεργειακής Απόδοσης .....	36
3.4 Ενσωματωμένες ΑΠΕ .....	40
3.5 Παρατηρήσεις – Σχόλια .....	41
3.6 Πρότυπα Κτίρια – Πιλότοι.....	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ NZEB .....	45
4.1 Εισαγωγή.....	47
4.2 Δείκτες αξιολόγησης.....	47
4.3 Συντελεστές Μετατροπής σε Πρωτογενή Ενέργεια.....	53
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ ΜΗΔΕΝΙΚΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ .....	55
5.1 Εισαγωγή.....	57
5.2 Σύστημα Μονάδων.....	57
5.3 Εισαγωγή Δεδομένων.....	57

5.4 Υπολογιστική Διαδικασία .....	61
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΣΕ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΑ ΠΡΟΤΥΠΑ ΚΤΙΡΙΑ ΜΗΔΕΝΙΚΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ .....</b>	<b>63</b>
6.1 Εισαγωγή.....	65
6.2 Εφαρμογή μεθοδολογίας στα κτίρια πλότους .....	65
6.3 Α΄ Ανάλυση ευαισθησίας: Δείκτες EPr & RERp συναρτήσει των καταναλώσεων του κτιρίου..	70
6.3.1 Μεθοδολογικό Πλαίσιο .....	70
6.3.2 Αποτελέσματα Α΄ Ανάλυσης Ευαισθησίας: Δείκτες EPr & RERp συναρτήσει των καταναλώσεων του κτιρίου .....	71
6.4 Β΄ Ανάλυση Ευαισθησίας: Δείκτες EPr & RERp συναρτήσει του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας U.....	77
6.4.1 Εισαγωγή.....	77
6.4.2 Μεθοδολογικό Πλαίσιο .....	78
6.4.3 Αποτελέσματα Β΄ Ανάλυσης Ευαισθησίας: Δείκτες EPr & RERp συναρτήσει του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας U .....	81
6.5 Σχόλια - Συμπεράσματα .....	84
6.5.1 Α΄ Ανάλυση ευαισθησίας: Δείκτες EPr & RERp συναρτήσει των καταναλώσεων του κτιρίου	84
6.5.2 Β΄ Ανάλυση Ευαισθησίας: Δείκτες EPr & RERp συναρτήσει του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας U.....	85
6.5.3 Συμπεριφορά Δείκτη RERp.....	85
6.6 Βελτιστοποίηση Κόστους & NZEB .....	86
6.6.1 Εισαγωγή στην έννοια της Βελτιστοποίησης Κόστους.....	86
6.6.2 Βελτιστοποίηση Κόστους & NZEB .....	88
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ΠΛΑΙΣΙΟ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΩΝ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ ΜΗΔΕΝΙΚΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ .....</b>	<b>91</b>
7.1 Εισαγωγή.....	93
7.2 Ταξινόμηση των NZEB με βάση τους δύο δείκτες EPr και RERp.....	93
7.3 Βαθμολόγηση της απόδοσης των NZEB.....	95
7.3.1 Μεθοδολογικό Πλαίσιο Βαθμολόγησης NZEB .....	95
7.3.2 Βαθμολόγηση – Κατάταξη NZEB τρέχουσας μελέτης.....	95
7.3.3 Σχόλια – Παρατηρήσεις .....	97
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ &amp; ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ .....</b>	<b>99</b>
8.1 Συμπεράσματα.....	101
8.2 Προοπτικές.....	102
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - ΠΗΓΕΣ .....</b>	<b>103</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ .....</b>	<b>106</b>



## ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ

Γράφημα 1 Γραφική παρουσίαση του σημείου στο οποίο επιτυγχάνεται απόδοση NZEB	21
Γράφημα 2 Επισημάνση της τοποθεσίας των 40 πρότυπων κτιρίων στον παγκόσμιο χάρτη.....	35
Γράφημα 3 Μέτρα ενεργειακής απόδοσης και το ποσοστό εφαρμογής τους .....	37
Γράφημα 4 Εγκατεστημένες ΑΠΕ στα κτίρια της μελέτης και το ποσοστό επιλογής τους.....	40
Γράφημα 5 Τρία διαφορετικά φυσικά όρια του μελετούμενου συστήματος .....	48
Γράφημα 6 Όριο κτιρίου με βάση την κατανάλωση ανανεώσιμης ενέργειας.....	48
Γράφημα 7 Σχηματική παρουσίαση των υπολογιστικών σταδίων ενέργειας .....	50
Γράφημα 8 Σχηματική Παρουσίαση αλληλουχίας υπολογισμών για την αξιολόγηση των NZEB ...	52
Γράφημα 9 Υπολογισμός συντελεστή πρωτογενούς ενέργειας για την ηλεκτρική ενέργεια.....	54
Γράφημα 10 Περιοχή εισαγωγής δεδομένων στο υπολογιστικό εργαλείο.....	58
Γράφημα 11 Διαδικασία εισαγωγής της χώρας στην οποία βρίσκεται το κτίριο.....	59
Γράφημα 12 Διαδικασία εισαγωγής της κατανάλωσης καυσίμου του κτιρίου.....	60
Γράφημα 13 Υπολογισμοί που επιτελεί το εργαλείο αξιολόγησης NZEB .....	61
Γράφημα 14 Αξιολόγηση του κτιρίου Hertel, Germany .....	66
Γράφημα 15 Υπολογισμός συντελεστών πρωτογενούς ενέργειας Γερμανία 2012.....	66
Γράφημα 16 Αξιολόγηση του κτιρίου NaturaliaBau, Italy .....	67
Γράφημα 17 Υπολογισμός συντελεστών πρωτογενούς ενέργειας Ιταλία 2009.....	67
Γράφημα 18 Αξιολόγηση του κτιρίου Oak Ridge Nat. Lab. Building 3156, USA.....	68
Γράφημα 19 Υπολογισμός συντελεστών πρωτογενούς ενέργειας ΗΠΑ 2009 .....	68
Γράφημα 20 Αξιολόγηση του κτιρίου PNC F.S., USA.....	69
Γράφημα 21 Υπολογισμός συντελεστών πρωτογενούς ενέργειας ΗΠΑ 2013 .....	69
Γράφημα 22 Σχηματική παρουσίαση Α ανάλυσης ευαισθησίας.....	70
Γράφημα 23 Σχηματική παρουσίαση Β ανάλυσης ευαισθησίας.....	80
Γράφημα 24 Σχέση μεταξύ cost optimality και cost-effectiveness.....	87
Γράφημα 25 Χάσμα ανάμεσα στις τρέχουσες απαιτήσεις, στοβέλτιστο κόστος και στα NZEB.....	88
Γράφημα 26 Κατάταξη των δέκα επιλεγμένων κτιρίων με βάση τον δείκτη Rating .....	96

## ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 1 Κατηγοριοποίηση των NZEB με βάση το είδος των ΑΠΕ.....	23
Πίνακας 2 Συνοπτική παρουσίαση σχετικής ευρωπαϊκής νομοθεσίας .....	26
Πίνακας 3 Συνοπτική παρουσίαση σχετικής ελληνικής νομοθεσίας .....	27
Πίνακας 4 Στάδιο ενσωμάτωσης ορισμού NZEB στην επιμέρους εθνική νομοθεσία .....	30
Πίνακας 5 Συνοπτική παρουσίαση των 40 πρότυπων κτιρίων που μελετήθηκαν.....	33
Πίνακας 6 Μέτρα ενεργειακής απόδοσης ανά κτίριο στο οποίο εφαρμόζονται .....	38
Πίνακας 7 Κατηγοριοποίηση κτιρίων με βάση τις κλιματικές ανάγκες.....	38
Πίνακας 8 ΑΠΕ ανά κτίριο στο οποίο εφαρμόζονται .....	40
Πίνακας 9 Ιεραρχία εφαρμογής μέτρων ενεργειακής απόδοσης και επιλογής ΑΠΕ .....	41
Πίνακας 10 9 Πρότυπα NZEB μετά την αυστηρή επιλογή επί του αρχικού δείγματος.....	42
Πίνακας 11 Συντελεστές μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια ανά μονάδα καυσίμου .....	53
Πίνακας 12 Τύποι φορτίου που εντοπίζονται στα υπό μελέτη κτίρια.....	65
Πίνακας 13 Απόκριση των δύο δεικτών στην μεταβολή της κατανάλωσης για θέρμανση .....	71
Πίνακας 14 Ζεύγη U – κατανάλωσης για θέρμανση.....	78
Πίνακας 15 Απόκριση των δύο δεικτών στην μεταβολή του συντελεστή U .....	81
Πίνακας 16 Διαφορετική επίδραση δύο τύπων καταναλώσεων στον δείκτη EPr .....	84
Πίνακας 17 Τιμή EPr/RERp για κάθε ένα από τα 10 κτίρια που ταξινομούνται. ....	93
Πίνακας 18 Παράδειγμα υπολογισμού του δείκτη Rating .....	96

## ΕΙΣΩΣΕΙΣ

Σχέση 1 Συνολική Κατανάλωση Ενέργειας .....	49
Σχέση 2 Συνιστώσες συντελεστή μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια .....	50
Σχέση 3 Αναγωγή καταναλισκόμενης ενέργειας σε πρωτογενή .....	50
Σχέση 4 Μη ανανεώσιμη πρωτογενής ενέργεια $E_{p,nren}$ .....	51
Σχέση 5 Δείκτης EPr.....	51
Σχέση 6 Δείκτης RERp .....	52
Σχέση 7 Τελική ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που ανταλλάχθηκε με το δίκτυο.....	61
Σχέση 8 Eheat ft. U (Jank 2007) .....	79
Σχέση 9 Eheat ft. U (Kurnitski 2013).....	79
Σχέση 10 Υπολογισμός δείκτη Rating για την σχετική βαθμολόγηση των NZEB ενός δείγματος ...	95
Σχέση 11 Τροποποίηση της σχέσης 10 για αξιολόγηση ενός οποιουδήποτε NZEB.....	97

## ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Διάγραμμα 1 EPp ft. Space Heating, Herten Germany .....	72
Διάγραμμα 2 EPp ft. Lighting, Herten Germany .....	72
Διάγραμμα 3 EPp ft. Cooling, Herten Germany .....	72
Διάγραμμα 4 RERp ft. Space Heating, Herten Germany .....	73
Διάγραμμα 5 RERp ft. Lighting, Herten Germany .....	73
Διάγραμμα 6 RERp ft. Cooling, Herten Germany .....	73
Διάγραμμα 7 3 τύποι φορτίου & EPp/RERp, Herten Germany .....	74
Διάγραμμα 8 EPp ft. Plug Load, NREL RSF USA .....	75
Διάγραμμα 9 EPp ft. Space Heating, NREL RSF USA .....	75
Διάγραμμα 10 EPp ft. Lighting, NREL RSF USA .....	75
Διάγραμμα 11 RERp ft. Plug Load, NREL RSF USA .....	76
Διάγραμμα 12 RERp ft. Space Heating, NREL RSF USA .....	76
Διάγραμμα 13 RERp ft. Lighting, NREL RSF USA .....	76
Διάγραμμα 14 3 τύποι φορτίου & EPp/RERp, NREL USA .....	77
Διάγραμμα 15 $E_{heat}$ ft. U με βάση την περίπτωση του Jank (2007) .....	79
Διάγραμμα 16 $E_{heat}$ ft. U με βάση την περίπτωση του Kurnitski (2013) .....	79
Διάγραμμα 17 U ft. EPp (eq.8), NaturaliaBau .....	82
Διάγραμμα 18 U ft. RERp (eq. 8), NaturaliaBau .....	82
Διάγραμμα 19 U ft. EPp (eq.8), PNC F.S. ....	83
Διάγραμμα 20 U ft. RERp (eq.8), PNC F.S. ....	83
Διάγραμμα 21 Ταξινόμηση των NZEB με βάση τους δείκτες EPp / RERp.....	94

## ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ

Φωτ. Υλικό 1 TNT Green Office, The Netherlands.....	106
Φωτ. Υλικό 2 Marche Kempthal Switzerland.....	106
Φωτ. Υλικό 3 Casa Zero Energy, Italy.....	107
Φωτ. Υλικό 4 The Laebon CHESS Project, Canada.....	107
Φωτ. Υλικό 5 NZEB στο Herten της Γερμανίας.....	108
Φωτ. Υλικό 6 NaturaliaBau στο Merano της Ιταλίας .....	108
Φωτ. Υλικό 7 Science House στη Minnesota των ΗΠΑ.....	109
Φωτ. Υλικό 8 Hudson στη Νέα Υόρκη των ΗΠΑ .....	109
Φωτ. Υλικό 9 Oak Ridge στο Tennessee των ΗΠΑ.....	110
Φωτ. Υλικό 10 Putney School στο Vermont των ΗΠΑ .....	110
Φωτ. Υλικό 11 Aldo Leopold Legacy Center στο Wisconsin των ΗΠΑ .....	111
Φωτ. Υλικό 12 PNC στη Florida των ΗΠΑ .....	111
Φωτ. Υλικό 13 RSF στο Colorado των ΗΠΑ .....	112



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

---



## 1.1 Αντικείμενο Διπλωματικής Εργασίας

Είναι γνωστό ότι η ενέργεια που καταναλώνεται εντός των κτιρίων αναλογεί στο 40% της παγκόσμιας καταναλισκόμενης ενέργειας. Επιπροσθέτως, χρόνο με το χρόνο αυξάνονται και γίνονται πιο σύνθετες οι απαιτήσεις απόδοσης των νεόκτιστων κτιρίων, ώστε αυτά να είναι βιώσιμα, να καταναλώνουν ελάχιστη ενέργεια, να παρέχουν άνετες συνθήκες διαβίωσης και να έχουν λογικά κόστη κατασκευής και συντήρησης. (Kolokotsa, Rovas, Kosmatoroulos, & Kalaitzakis, 2010)

Το ενδιαφέρον λοιπόν στρέφεται παγκοσμίως στα κτίρια μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου - NZEB (net zero-energy buildings) και σχεδόν μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου - nZEB (nearly zero-energy buildings), τα οποία αποτελούν πρώτη προτεραιότητα τόσο της επιστημονικής - ερευνητικής κοινότητας του αντίστοιχου τομέα όσο και των νομοθετών παγκοσμίως. Στις ανεπτυγμένες χώρες έχει, μάλιστα, αναπτυχθεί ήδη και έντονη ιδιωτική επιχειρηματικότητα γύρω από την κατασκευή NZEB και nZEB.

Στην παρούσα εργασία γίνεται μία προσπάθεια εξοικείωσης με τους όρους NZEB & nZEB, συγκεντρώνονται οι υπάρχοντες ορισμοί περί αυτών, καταγράφεται η σχετική ευρωπαϊκή και εθνική νομοθεσία και εντοπίζονται πρότυπα κτίρια παγκοσμίως. Παρουσιάζονται πρότυπα κτίρια που έχουν επιτύχει την λειτουργία ως NZEB/nZEB σε παγκόσμιο επίπεδο και ομαδοποιούνται τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους ως προς την ενεργειακή απόδοση και την παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας. Στη συνέχεια προτείνεται ένα μεθοδολογικό πλαίσιο για την αξιολόγηση των κτιρίων αυτών και αναπτύσσεται ένα υπολογιστικό εργαλείο για την έγκυρη αξιολόγησή τους. Με το εργαλείο αυτό αξιολογούνται επιλεγμένα κτίρια πιλότοι, παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα της διαδικασίας αυτής και μελετάται η σχέση μεταξύ συγκεκριμένων δεικτών και των καταναλώσεων των κτιρίων καθώς και των δομικών χαρακτηριστικών τους. Επίσης προτείνεται συγκεκριμένο πλαίσιο για την βαθμολόγηση της απόδοσης των NZEB & nZEB και την κατάταξή τους σε κοινή κλίμακα. Τέλος εξάγονται συμπεράσματα ως προς τη λειτουργία των κτιρίων αυτών και καταγράφονται οι προοπτικές που υπάρχουν για την περαιτέρω βελτίωση των NZEB & nZEB και την επέκταση της προτεινόμενης μεθοδολογίας.

## 1.2 Φάσεις Υλοποίησης

Αρχικά έγινε εκτενής αναζήτηση στην διεθνή βιβλιογραφία ώστε να καταγραφεί η πρόοδος που έχει γίνει ως προς την διατύπωση σαφούς ορισμού των εν λόγω κτιρίων και αναζητήθηκε η υπάρχουσα νομοθεσία που προτείνει και εισηγείται την κατασκευή τους σε ευρωπαϊκό και ελληνικό επίπεδο.

Στη συνέχεια αναζητήθηκε και εντοπίστηκε το αναγκαίο επιστημονικό υπόβαθρο όσο αφορά τους απαραίτητους δείκτες αξιολόγησης των κτιρίων αυτών και αναπτύχθηκε το αντίστοιχο υπολογιστικό εργαλείο για την εφαρμογή της προτεινόμενης διαδικασίας αξιολόγησης.

Με το υπολογιστικό εργαλείο που αναπτύχθηκε αξιολογήθηκαν συγκεκριμένα πρότυπα κτίρια πιλότοι. Με τα αποτελέσματα που προέκυψαν εξήχθησαν ασφαλή συμπεράσματα ως προς τη λειτουργία των κτιρίων αυτών και μελετήθηκε η εξάρτηση της επίτευξης του στόχου NZEB/nZEB από τον τύπο καταναλώσεων και τα δομικά χαρακτηριστικά του εκάστοτε κτιρίου.

Τέλος παρουσιάστηκε μια προτεινόμενη μέθοδος βαθμολόγησης και ταξινόμησης των κτιρίων αυτών με βάση την απόδοσή τους ως NZEB/nZEB και καταγράφηκαν οι προοπτικές που υπάρχουν για την εξέλιξη και επέκταση των προτεινόμενων μεθοδολογιών.

### **1.3 Δομή Εργασίας**

Στο κεφάλαιο 2 συγκεντρώνονται οι ορισμοί των NZEB/nZEB που εντοπίζονται στη διεθνή βιβλιογραφία, καταγράφονται οι διαφοροποιήσεις τους και εντοπίζονται οι ελλείψεις των υπάρχοντων ορισμών ως προς την σαφέστερη διατύπωσή τους. Επίσης ανάγεται ο χαρακτηρισμός ως μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου σε ευρύτερη κλίμακα με τις κοινότητες μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου. Τέλος καταγράφεται η σχετική ευρωπαϊκή και αντίστοιχη ελληνική νομοθεσία που είναι ήδη σε ισχύ.

Στο κεφάλαιο 3 καταγράφονται 40 πρότυπα κτίρια που εντοπίστηκαν μετά από εκτενή αναζήτηση και τα οποία έχουν επιβεβαιωμένα λειτουργήσει ως NZEB/nZEB. Για τα κτίρια αυτά συλλέγονται και ομαδοποιούνται οι πληροφορίες σχετικά με τα μέτρα ενεργειακής απόδοσης που έχουν εφαρμοστεί και τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) που έχουν εγκατασταθεί. Επί αυτών εξάγονται χρήσιμα συμπεράσματα. Τέλος εκ των 40 πρότυπων κτιρίων επιλέγονται και παρουσιάζονται 9 πρότυπα κτίρια πιλότοι για την συνέχεια της εργασίας.

Στο κεφάλαιο 4 δημιουργείται το κατάλληλο υπόβαθρο για την ανάπτυξη του μεθοδολογικού πλαισίου αξιολόγησης των NZEB/nZEB. Καταγράφονται οι συνθήκες με βάση τις οποίες γίνονται οι απαραίτητοι υπολογισμοί και αναλύονται όλες οι απαραίτητες σχέσεις υπολογισμού των προτεινόμενων δεικτών και συντελεστών.

Στο κεφάλαιο 5 παρουσιάζεται αναλυτικά το υπολογιστικό εργαλείο που αναπτύχθηκε για την αξιολόγηση των εν λόγω κτιρίων. Περιγράφεται η διαδικασία εισαγωγής των απαραίτητων δεδομένων, η ακολουθία υπολογισμών που εκτελούνται αυτόματα και επεξηγούνται τα αποτελέσματα που δίνει το υπολογιστικό εργαλείο σαν απόκριση.

Στο κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την αξιολόγηση των 9 κτιρίων πιλότων μέσω του υπολογιστικού εργαλείου που αναπτύχθηκε. Επίσης εξετάζεται η σχέση των δύο επιλεγμένων δεικτών για κάθε κτίριο με τις καταναλώσεις του και τον συντελεστή θερμικής διαπερατότητάς του και σχολιάζονται τα αποτελέσματα.

Στο κεφάλαιο 7 προτείνεται μία μεθοδολογία για την ταξινόμηση και την βαθμολόγηση των NZEB/nZEB με βάση την απόδοσή τους ως προς την επίτευξη του στόχου μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου και εφαρμόζεται η μεθοδολογία αυτή στα κτίρια πιλότους.

Τέλος, στο κεφάλαιο 8 εξάγονται συμπεράσματα με βάση τις παρατηρήσεις που έγιναν κατά την συγγραφή της εργασίας και τονίζονται οι προοπτικές που υπάρχουν για την περαιτέρω εξέλιξη και βελτίωση των προτεινόμενων μεθοδολογιών.



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΟΡΙΣΜΟΣ – ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ**

---



## 2.1 Εισαγωγή

Παρ' όλη την ευρεία χρήση του όρου NZEB δεν έχει ακόμη διατυπωθεί ένας σαφής, αναλυτικός και καθολικά αποδεκτός ορισμός των NZEB που να λαμβάνει υπόψιν όλους τους παράγοντες κατασκευής και λειτουργίας και τα κριτήρια με βάση τα οποία αποδίδεται σε ένα κτίριο ο προσδιορισμός ως NZEB.

Παρακάτω θα γίνει μια προσπάθεια να συγκεντρωθούν οι τρέχοντες ορισμοί των NZEB, να απομονωθεί ο ορισμός που χρησιμοποιείται ευρύτερα και ενσωματώνεται στη νομοθεσία και να διατυπωθούν τα κριτήρια με βάση τα οποία μπορεί να γίνει πιο συγκεκριμένος ο ορισμός των NZEB παγκοσμίως.

Επίσης θα καταγραφεί η ευρωπαϊκή και η αντίστοιχη ελληνική νομοθεσία που είναι ήδη σε ισχύ όσον αφορά τα NZEB.

## 2.2 NZEB & nZEB

Μελετώντας τα κτίρια μηδενικού και σχεδόν μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου το ενδιαφέρον προφανώς επικεντρώνεται στο ακριβές ισοζύγιο ενέργειας που επιτυγχάνεται, όπως θα εξηγηθεί και στην επόμενη παράγραφο. Ανάλογα, λοιπόν, με το αν θα επιτευχθεί ακριβώς μηδενικό ενεργειακό ισοζύγιο ή σχεδόν μηδενικό ενεργειακό ισοζύγιο παρατηρείται στην διεθνή ορολογία και η διαφοροποίηση ανάμεσα στους όρους NZEB και nZEB για τον χαρακτηρισμό των κτιρίων, χωρίς ωστόσο οι δύο όροι να εμπεριέχουν κάποια άλλη ουσιαστική διαφορά, όσο αφορά την κατασκευή και λειτουργία των κτιρίων αυτών. Τέλος, όμοια, αν επιτευχθεί πλεόνασμα ενέργειας το κτίριο χαρακτηρίζεται συχνά και ως Plus Energy Building ή κτίριο θετικού ενεργειακού ισοζυγίου.

## 2.3 Ορισμός

### 2.3.1 Κτίρια Μηδενικού ή Σχεδόν Μηδενικού Ενεργειακού Ισοζυγίου

Ο όρος NZEB αναφέρεται σε κτίρια διασυνδεδεμένα στα δίκτυα ενέργειας. Πρωταρχική σημασία στον ορισμό των εν λόγω κτιρίων έχει η ισορροπία μεταξύ της ενέργειας που λαμβάνεται από τα δίκτυα και της ενέργειας που εγχέεται σε αυτά. Ένα NZEB έχει, δηλαδή, μηδενική καθαρή καταναλισκόμενη ενέργεια σε συγκεκριμένη χρονική περίοδο, συνήθως ένα έτος. Η ισορροπία αυτή υπολογίζεται είτε με συμψηφισμό της απορροφούμενης ενέργειας από το δίκτυο και της εγχεόμενης ενέργειας σε αυτό είτε με την εξίσωση των φορτίων και της παραγωγής μέσω ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (PV, αιολικά) εντός ή πλησίον του κτιρίου, με τον πρώτο τρόπο υπολογισμού να συναντάται συχνότερα. (Sartori, Napolitano, & Voss, Net zero energy buildings: A consistent definition framework, 2012) (Marszal, et al., 2010) (International Energy Agency, 2008) (Hernandez & Kenny, 2009) (Kurnitski, et al., 2011)

Με τον προσδιορισμό NZEB γίνεται επίσης πάντα λόγος για κτίρια στα οποία έχουν μειωθεί δραστικά οι καταναλώσεις για λειτουργικές ανάγκες (φωτισμός, θέρμανση, κλιματισμός, εξαερισμός, ζεστό νερό) με χρήση νέων τεχνολογιών.

Πρακτικά, λοιπόν, NZEB είναι ένα κτίριο το οποίο καλύπτει τις μειωμένες ενεργειακές καταναλώσεις του είτε παράγοντας ενέργεια μέσω ΑΠΕ όταν οι συνθήκες το επιτρέπουν είτε μέσω του δικτύου όταν η ζήτησή του είναι μεγαλύτερη από την ενέργεια που μπορεί παράγει τη δεδομένη χρονική στιγμή. Αντίστοιχα, εγγχεί ενέργεια στο δίκτυο όταν η παραγόμενη ενέργεια από τις ΑΠΕ του είναι μεγαλύτερη από τις καταναλώσεις εντός του κτιρίου, με το ισοζύγιο αυτό να είναι μηδενικό. (Sartori, Napolitano, & Voss, Net zero energy buildings: A consistent definition framework, 2012) (Kolokotsa, Rovas, Kosmatopoulos, & Kalaitzakis, 2010)

Ωστόσο, η παραπάνω περιγραφή δεν είναι ικανή να περιγράψει πλήρως ένα NZEB. Ο άνωθι ορισμός των NZEB μπορεί να πάρει διαφορετικές ερμηνείες και να οδηγήσει σε επιμέρους ορισμούς, αφού δεν ορίζονται αυστηρά τα παρακάτω πέντε κριτήρια: (Sartori, Napolitano, & Voss, Net zero energy buildings: A consistent definition framework, 2012) (Sartori, Napolitano, Marszal, Pless, Torcellini, & Voss)

#### i. Σύνορα του κτιρίου

##### ➤ Φυσικό Σύνορο

Επιλέγει σαφώς την έκταση του κτιρίου ώστε να γνωρίζουμε ποιες καταναλώσεις βρίσκονται στην λαμβανόμενη περιοχή και ποιές ΑΠΕ ανήκουν στο εν λόγω κτίριο. (βλ. κεφάλαιο 2.3.3)

##### ➤ Σύνορο Ισοροπίας

Καθορίζει σαφώς ποιες καταναλώσεις θα ληφθούν υπόψιν στον υπολογισμό του ισοζυγίου ενέργειας

##### ➤ Συνθήκες Συνόρου

Καθορίζει σαφώς την λειτουργικότητα του κτιρίου (κατοικία, σχολείο, ξενοδοχείο, νοσοκομείο κλπ), τον αριθμό ανθρώπων που θα εξυπηρετούνται ανά m<sup>2</sup> και τις απαιτήσεις σε θέρμανση/κλιματισμό, ώστε να είναι δυνατή η κατηγοριοποίηση των NZEB και η σύγκριση μεταξύ τους.

#### ii. Σύστημα Στάθμισης

##### ➤ Υπολογισμοί Ισοζυγίου

Καθορίζει τους συντελεστές με τους οποίους υπολογίζονται οι μετατροπές στις διάφορες μορφές ενέργειας του ισοζυγίου. Έχουν επικρατήσει τέσσερις τρόποι υπολογισμού των συγκεκριμένων συντελεστών (ενέργεια στο σημείο, ενέργεια στην πηγή, κόστος ενέργειας, εκπομπές CO<sub>2</sub>). (Torcellini P. , Pless, Deru, & Crawley, 2006) Πολιτικοί και στρατηγικοί παράγοντες επηρεάζουν επίσης τους συγκεκριμένους συντελεστές.

##### ➤ Συμμετρία

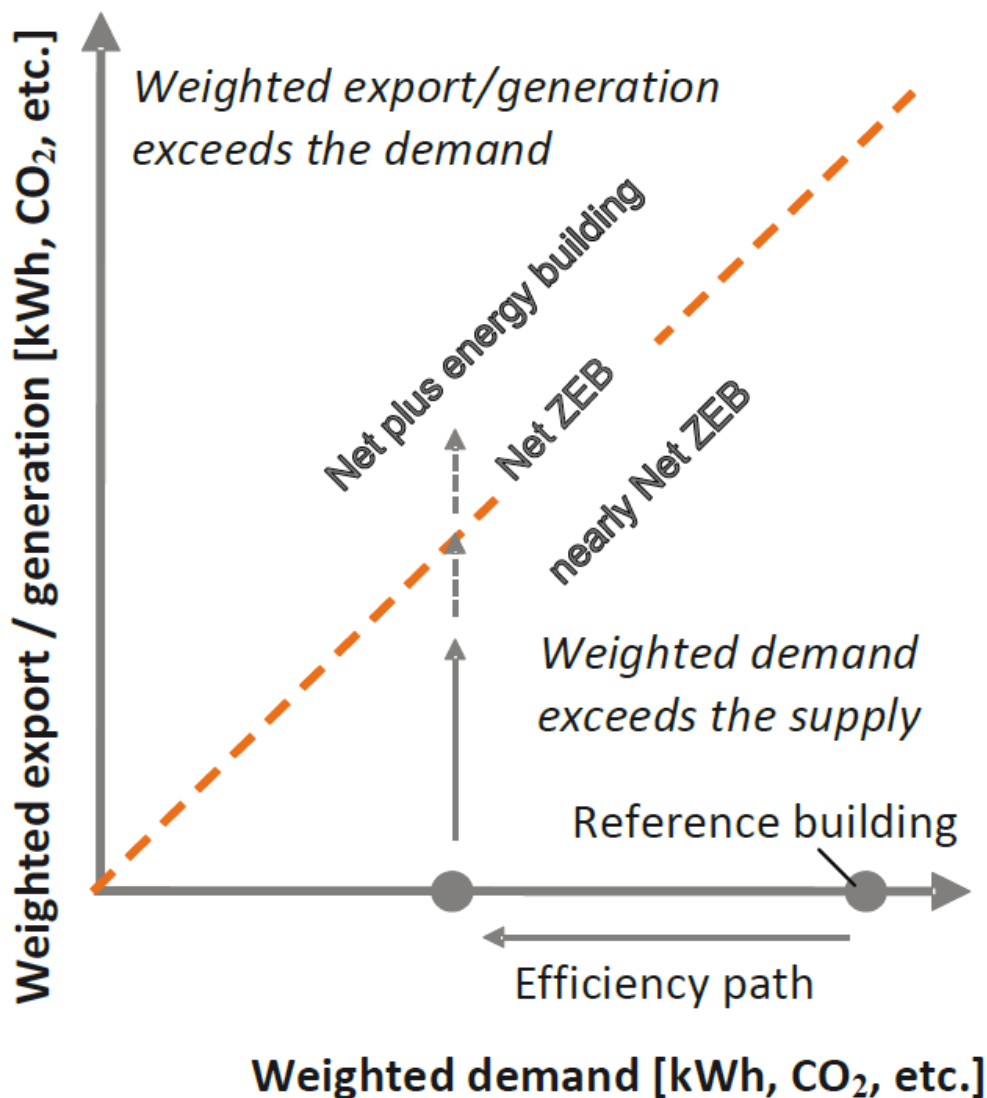
Κάθε αμφίδρομη ανταλλαγή ενέργειας στο ισοζύγιο (πχ ηλεκτρικής) μπορεί να υπολογιστεί με ίδιους συντελεστές στη ζήτηση και την προσφορά (συμμετρική αντιμετώπιση) ή με διαφορετικούς (ασύμμετρη αντιμετώπιση).

➤ Χρονοεξαρτημένες Τιμές

Λόγω της πολυπλοκότητας των δικτύων ενέργειας, οι αριθμητικοί παράγοντες μεταβάλλονται στο χρόνο οπότε πρέπει να καθοριστεί το διάστημα από το οποίο θα εξάγεται μία μέση τιμή για τους παράγοντες αυτούς (πχ τιμή 1 τόνου βιομάζας).

iii. Ενεργειακό Ισοζύγιο

Το ισοζύγιο μπορεί να υπολογιστεί με διαφορετικούς τρόπους, με βάση τις ποσότητες οι οποίες προσμετρώνται ή για διαφορετικά χρονικά διαστήματα (σε ετήσια ή μηνιαία βάση). Επίσης, πρέπει να καθοριστεί αν θα ιεραρχηθούν οι ΑΠΕ σε σειρά προτεραιότητας και αν θα θεσπιστούν ελάχιστες ενεργειακές αποδόσεις.



Γράφημα 1 Γραφική παρουσίαση του σημείου στο οποίο επιτυγχάνεται απόδοση NZEB, όπου δηλαδή η ζήτηση εξισώνεται με την παραγωγή του μελετώμενου μεγέθους.  
Πηγή : (Voss, Sartori, & Lollini, 2012)

#### iv. Χαρακτηριστικά Προσαρμογής

Αξιολογείται η ικανότητα του κτιρίου να ικανοποιήσει τα φορτία του και να λειτουργήσει σεβόμμενο τις προδιαγραφές του τοπικού δικτύου υποδομών.

#### v. Μέτρηση και Πιστοποίηση

Ποιοι παράγοντες είναι αναγκαίοι και απαραίτητοι για να είναι ένα κτίριο NZEB; Με ποιό τρόπο έχει μετρηθεί το ισοζύγιο ενέργειας του κτιρίου; Ποιά είναι τα όρια ανοχής στις εν λόγω μετρήσεις;

Είναι σαφές ότι ανάλογα με την επιλογή που θα γίνει στα παραπάνω κριτήρια θα προκύψει και ένας διαφορετικός ορισμός των NZEB. Είναι αξιοσημείωτο το γεγονός ότι ο όρος NZEB χρησιμοποιείται ευρέως στην επιστημονική έρευνα και την αγορά των ακινήτων χωρίς να υπάρχει μια κοινή παραδοχή του τί λεπτομερώς αυτός περιγράφει, ως προς τα παραπάνω κριτήρια.

Μελετώντας τη διεθνή βιβλιογραφία διαπιστώνουμε ότι πολλοί μελετητές έχουν καταλήξει στην κατηγοριοποίηση των NZEB με βάση τον τύπο του ισοζυγίου που επιλέγεται. Έτσι προκύπτουν NZEB με ισοζύγιο ένα από τα παρακάτω (Torcellini P. , Pless, Lobato, & Hootman, 2010):

##### ➤ Μηδενικό ισοζύγιο ενέργειας ως προς το σημείο

Το NZEB παράγει τουλάχιστον τόση ενέργεια από ΑΠΕ όση καταναλώνει σε ένα έτος, με την καταναλισκόμενη ενέργεια μετρημένη στο σημείο.

##### ➤ Μηδενικό ισοζύγιο ενέργειας ως προς την πηγή

Το NZEB παράγει τουλάχιστον τόση ενέργεια από ΑΠΕ όση καταναλώνει σε ένα έτος, με την καταναλισκόμενη ενέργεια μετρημένη στην πηγή. Η ενέργεια στην πηγή αναφέρεται στην πρωτογενή ενέργεια. Ως πρωτογενής ενέργεια ορίζεται η ενέργεια που ενσωματώνεται-εμπεριέχεται στις πηγές και η οποία περιλαμβάνει την εξαγωγή της και την επεξεργασία της ώστε να γίνει διαθέσιμη για εμπόριο, κατανάλωση ή μετασχηματισμό. (Ønvergaard, 2008) Κατά τον υπολογισμό της συνολικής ενέργειας στην πηγή, η εξαγόμενη και η εισαγόμενη ενέργεια πολλαπλασιάζονται με τους αντίστοιχους συντελεστές μετατροπής, οι οποίοι βασίζονται στο ενεργειακό μίγμα του συστήματος.

##### ➤ Μηδενικό ισοζύγιο ενεργειακού κόστους

Το χρηματικό ποσό που πιστώνει ο διαχειριστής του δικτύου στον κάτοχο του κτιρίου για την ενέργεια από ΑΠΕ που το NZEB εγγχεί στο δίκτυο είναι τουλάχιστον ίσο με το ποσό που πληρώνει ο ιδιοκτήτης του NZEB στον διαχειριστή του δικτύου για την ενέργεια που κατανάλωσε από το δίκτυο στην περίοδο ενός έτους.

Στην διεθνή βιβλιογραφία και σε ορισμένες τεχνικές αναφορές συναντάται επίσης η κατηγοριοποίηση των NZEB με βάση το είδος των ΑΠΕ που αυτά χρησιμοποιούν και ειδικότερα το σημείο στο οποίο αυτές είναι εγκατεστημένες.

Παρατίθεται συνοπτικός πίνακας:

**Πίνακας 1 Κατηγοριοποίηση των NZEB με βάση το είδος των ΑΠΕ**

<b>ΤΥΠΟΣ NZEB</b>	<b>ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΙ ΠΟΡΟΙ NZEB</b>
<i>Ενεργειακοί πόροι στο κτίριο</i>	
A	ΑΠΕ εντός του κτιριακού αποτυπώματος και αποκλειστικά για το κτίριο (Φ/Β, ηλιακός θερμοσίφοντας, ανεμογεννήτριες επί του κτιρίου)
B	Ότι ορίζει ο τύπος A και/ή : ΑΠΕ διαθέσιμες στην έκταση που βρίσκεται το κτίριο και αποκλειστικά για το κτίριο (Φ/Β σε σκέπαστρα parking, μικρά υδροηλεκτρικά, ανεμογεννήτριες)
<i>Ενεργειακοί πόροι απομακρυσμένα</i>	
Γ	Ότι ορίζουν οι τύποι A και/ή B και : Χρήση ανανεώσιμων πόρων που διατίθενται απομακρυσμένα για την παραγωγή ενέργειας στο σημείο και αποκλειστικά για το κτίριο (βιομάζα, ξύλο pellet, αιθανόλη, βιοντίζελ για συμπαραγωγή θερμότητας - ηλεκτρισμού)
Δ	Ότι ορίζουν οι τύποι A, B, και/ή Γ και : Αγορά ανανεώσιμων ενεργειακών πόρων που παρήχθησαν απομακρυσμένα πιστοποιημένων κατά Green-E (2009) ή με ισότιμη πιστοποίηση ανανεώσιμης ενέργειας. ("πράσινη" ενέργεια από μεγάλες ανεμογεννήτριες, φ/β πάρκα κ.ά.)

Πηγή: (Torcellini P. , Pless, Lobato, & Hootman, 2010)

### 2.3.2 Κοινότητες Μηδενικού ή Σχεδόν Μηδενικού Ενεργειακού Ισοζυγίου

Ορίζοντας τις κοινότητες μηδενικού ή σχεδόν μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου, το βάρος μετατοίζεται από την κατασκευή μεμονωμένων λύσεων μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου σε λύσεις που λαμβάνουν υπ' όψιν όλες τις καταναλώσεις ενέργειας εντός μίας κοινότητας, τόσο για τα κτίρια που την αποτελούν όσο και για τις μεταφορές, την υποδομή της κοινότητας αυτής, την βιομηχανία και λοιπά. Έτσι, ο ορισμός για τις κοινότητες μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου είναι διαφορετικός και πιο πολύπλοκος από αυτόν για τα NZEB επειδή μία κοινότητα καταναλώνει ενέργεια και εκτός των κτιρίων της και οι καταναλώσεις αυτές πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν κατά τον υπολογισμό του ενεργειακού ισοζυγίου. (Carlisle, Geet, & Pless, 2009)

Βεβαίως, οι θεμελιώδεις αρχές του ορισμού των NZEB μπορούν να αναχθούν σε κλίμακα κοινότητας, οπότε ορίζοντας μια κοινότητα μηδενικού ή σχεδόν μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου ισχύουν τα εξής:

- έχουν προβλεφθεί λύσεις για την δραστική μείωση της ζήτησης ενέργειας σε επίπεδο κοινότητας, με ιδιαίτερη έμφαση στην ενεργειακή αποδοτικότητα
- ενσωματώνονται λύσεις παραγωγής ενέργειας μέσω ΑΠΕ
- η κοινότητα είναι διασυνδεδεμένη με τα υφιστάμενα δίκτυα ενέργειας
- έχουν καθοριστεί σαφώς τα φυσικά όρια της κοινότητας
- έχουν καθοριστεί σαφώς οι τύποι καταναλώσεων που θα λαμβάνονται υπ' όψιν κατά τον υπολογισμό του ενεργειακού ισοζυγίου

Η ενεργειακή απόδοση μιας κοινότητας μηδενικού ή σχεδόν μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου μπορεί να κατηγοριοποιηθεί με βάση τον τρόπο που προτείνουν οι (Torcellini P. , Pless, Lobato, & Hootman, 2010) και ο οποίος έχει παρουσιαστεί στο κεφάλαιο 2.3.1.

Παρ' όλο που η λειτουργία μιας κοινότητας στα πλαίσια του μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου αποτελεί ιδιαίτερη πρόκληση τόσο για τους σχεδιαστές όσο και τους χρήστες της, η επίτευξη μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου είναι οικονομικά αποδοτικότερη όταν γίνεται σε επίπεδο μίας κοινότητας απ' ό,τι σε επίπεδο ενός μεμονωμένου κτιρίου. Αυτό συμβαίνει διότι είναι οικονομικά αποδοτικότερες οι επενδύσεις για ΑΠΕ μεγαλύτερης κλίμακας και επειδή επιτυγχάνεται εξοικονόμηση πόρων λόγω κλίμακας στην ανάπτυξη και εφαρμογή νέων τεχνολογιών. Επίσης, συμψηφίζοντας κτίρια διαφορετικής χρηστικότητας (εμπορικά και οικιστικά) κατά τον υπολογισμό του ενεργειακού ισοζυγίου, τα φορτία παρουσιάζουν ετεροχρονισμό οπότε εξομαλύνονται τα διαφορετικά καταναλωτικά προφίλ εντός της κοινότητας. (Managan, 2012)

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι ως κοινότητα μπορεί να θεωρηθεί και ένα σύνολο κτιρίων τα οποία βρίσκονται σε εντελώς διαφορετικές γεωγραφικές τοποθεσίες αλλά έχουν κοινό κάτοχο, όπως για παράδειγμα μία πολυεθνική εταιρεία που επιθυμεί να επιτυγχάνει μηδενικό ενεργειακό ισοζύγιο κατά την αξιολόγηση του συνόλου των εγκαταστάσεων της ανά την υφήλιο. (Managan, 2012)



## 2.4 Νομοθεσία

### 2.4.1 Ευρωπαϊκή Νομοθεσία

Η Ευρωπαϊκή Ένωση, δίνοντας το παράδειγμα για όλα τα κράτη μέλη της, έδειξε ήδη από το 2002 νομοθετικό ενδιαφέρον - σε πρωταρχικό στάδιο - ως προς την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των υφιστάμενων και νεοκτιστων κτιρίων. Με την οδηγία 2002/91/EC (Directive of the European Parliament and of the Council 2002/91/EC on the energy performance of buildings [2002] OJ L1/65) θέτει απαιτήσεις για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων, θεσπίζει το πιστοποιητικό ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων και υποχρεώνει σε ενεργειακή επιθεώρηση των εγκαταστάσεων θέρμανσης / κλιματισμού.

Στην επόμενη οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης, οδηγία 2010/31/EU (Directive of the European Parliament and of the Council 2010/31/EU on the energy performance of buildings [2010] OJ L153/13), αντικαθίσταται η οδηγία 2002/91/EK και γίνεται για πρώτη φορά λόγος για κτίρια με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας (άρθρο 9). Στην εν λόγω οδηγία θεσπίζονται απαιτήσεις που αφορούν τα εθνικά σχέδια αύξησης του αριθμού των συγκεκριμένων κτιρίων. Κτίρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας ορίζονται τα κτίρια 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 παραγομένης επιτόπου ή πλησίον του κτιρίου. Με την οδηγία αυτή υποχρεούται κάθε κράτος μέλος για τα εξής:

- έως τις 31 Δεκεμβρίου 2020 όλα τα νέα κτίρια να αποτελούν κτίρια με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας και
- μετά τις 31 Δεκεμβρίου 2018 τα νέα κτίρια που στεγάζουν δημόσιες αρχές ή είναι ιδιοκτησίας τους να αποτελούν κτίρια με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας.

Τα κράτη μέλη καλούνται να καταρτίσουν εθνικά σχέδια αύξησης του αριθμού των κτιρίων με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας. Αυτά τα εθνικά σχέδια είναι δυνατόν να περιλαμβάνουν στόχους διαφοροποιημένους ανάλογα με την κατηγορία του κτιρίου. Καλούνται επίσης να αναπτύξουν πολιτικές και να λάβουν μέτρα, θέτοντας π.χ. στόχους για την ενθάρρυνση της μετατροπής κτιρίων σε κτίρια με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας.

Με την οδηγία 2012/27/EU (Directive of the European Parliament and of the Council 2012/27/EU on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC [2012] OJ L315/1) η Ευρωπαϊκή Ένωση θεσπίζει κοινό πλαίσιο μέτρων για την προώθηση της ενεργειακής απόδοσης εντός της Ένωσης προκειμένου να διασφαλίσει την επίτευξη του πρωταρχικού στόχου 2020 για 20 % αύξηση στην ενεργειακή απόδοση και να προετοιμάσει το έδαφος για περαιτέρω βελτιώσεις της ενεργειακής απόδοσης πέραν της προαναφερόμενης χρονολογίας.

Πίνακας 2 Συνοπτική παρουσίαση σχετικής ευρωπαϊκής νομοθεσίας

Ευρωπαϊκή Οδηγία	Σκοπός - Περιεχόμενο
2002/91/EC	Καθορισμός ελάχιστης απαιτούμενης ενεργειακής απόδοσης – πιστοποιητικό ενεργειακής κατάστασης - ενεργειακή επιθεώρηση
2010/31/EU	Ορισμός nZEB – στόχοι 2018/2020 για τα δημόσια κτίρια
2012/27/EU	Αύξηση ενεργειακής απόδοσης κατά 20% το 2020

Τον Φεβρουάριο του 2013 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή αναθέτει στην εταιρεία συμβούλων Ecofys να εκδώσει σε συνεργασία με το Πανεπιστήμιο του Wuppertal και το Πολυτεχνείο του Μιλάνου μία πλήρη αναφορά (Hermelink, et al., 2013) σχετικά με την πρόοδο των κρατών μελών όσον αφορά τις εξής ενέργειες:

- προώθηση εγκατάστασης και παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ
- σαφής διατύπωση του ορισμού των κτιρίων σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας με πλήρη τεχνικά χαρακτηριστικά, προσαρμοσμένου στις κλιματικές ανάγκες και την οικονομία του κάθε κράτους μέλους
- υλοποίηση εθνικού σχεδίου δράσης για την αύξηση του αριθμού των κτιρίων σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας

Ενώ τα περισσότερα κράτη μέλη είχαν σημειώσει αρκετή πρόοδο όσον αφορά την προώθηση των ΑΠΕ, δεν συνέβη το ίδιο με την διατύπωση σαφούς ορισμού για τα NZEB και την υλοποίηση εθνικού σχεδίου δράσης για την αύξηση του αριθμού τους.

Για τον λόγο αυτό, στην εν λόγω αναφορά παρέχονται στους ενδιαφερόμενους διευκρινήσεις και τεχνικές συμβουλές ώστε να επιταχυνθεί η υλοποίηση της ευρωπαϊκής οδηγίας για τα κτίρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας. Τέλος, παρουσιάζεται ένα εργαλείο αξιολόγησης των κτιρίων αυτών καθώς και αναλύονται σε θεωρητικό επίπεδο δύο κτίρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας (οικία – γραφεία), τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως γνώμονας από τα κράτη μέλη.

Τον Οκτώβριο του 2014 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή αναθέτει εκ νέου στην Ecofys να καταγράψει σε αναφορά (Groezinger, Boermans, John, Wehringer, & Seehusen, 2014) την πορεία των κρατών μελών ως προς την διατύπωση ενός σαφούς και πλήρους ορισμού των NZEB. Ελέγχεται η ύπαρξη πλήρους ορισμού, η ύπαρξη αριθμητικών συντελεστών και η ύπαρξη απαιτούμενης ποσόστωσης ΑΠΕ στον ορισμό των NZEB.

## 2.4.2 Ενσωμάτωση στην ελληνική νομοθεσία

Με τον νόμο 3661/2008 (Νόμος Υπ' Αριθμόν 3661 Μέτρα για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων και άλλες διατάξεις [2008] ΕΚ 89) εναρμονίζεται η ελληνική νομοθεσία με την Οδηγία 2002/91/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 16<sup>ης</sup> Δεκεμβρίου 2002, όπως αυτή παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 2.4.1.

Κατ' εξουσιοδότηση του Ν. 3661/2008 εκδόθηκε ο Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ) (Απόφαση Αριθμ. Δ6/Β/οικ. 5825 [2010] ΕΚ 407), ο οποίος διαμορφώνει το πλαίσιο αρχών και καθορίζει τους όρους και τις προϋποθέσεις βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων.

Με τον νόμο 4067/2012 (Νόμος Υπ' Αριθμόν 4067 Νέος Οικοδομικός Κανονισμός [2012] ΕΚ 79) ορίζεται αρχικά το κτίριο ελάχιστης ενεργειακής κατανάλωσης, ως το κτίριο που, τόσο από το βιοκλιματικό σχεδιασμό του όσο και από τη χρήση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, παρουσιάζει πολύ υψηλή ενεργειακή κατάταξη σύμφωνα με τον ΚΕΝΑΚ, όπως ισχύει και η σχεδόν μηδενική ή πολύ χαμηλή ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για τη λειτουργία της χρήσης του, καλύπτεται από ανανεώσιμες πηγές, μονάδες Συμπαγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Αποδοτικότητας (ΣΗΘΥΑ), καθώς και της παραγομένης ενέργειας επιτόπου ή πλησίον.

Στο άρθρο 25 του εν λόγω νόμου δίνονται κίνητρα πολεοδομικού χαρακτήρα για τη δημιουργία κτιρίων ελάχιστης ενεργειακής κατανάλωσης (Άρθρο 25).

Στην συνέχεια, με τον νόμο 4122/2013 (Νόμος Υπ' Αριθμόν 4122 Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων – Εναρμόνιση με την Οδηγία 2010/31/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου και λοιπές διατάξεις [2013] ΕΚ 42) εναρμονίζεται η ελληνική νομοθεσία με την ευρωπαϊκή οδηγία 2010/31/EU, όπως αυτή έχει περιγραφεί παραπάνω.

Τέλος, μέχρι την 1<sup>η</sup> Ιουλίου 2015 βρισκόταν σε δημόσια διαβούλευση ο νόμος για την ενσωμάτωση στο ελληνικό δίκαιο της ευρωπαϊκής οδηγίας 2012/27/ΕΕ.

**Πίνακας 3 Συνοπτική παρουσίαση σχετικής ελληνικής νομοθεσίας**

Νόμος Κανονισμός	-	Σκοπός - Περιεχόμενο
3661/2008		Εναρμονισμός με ευρωπαϊκή οδηγία 2002/91/ΕΚ
ΚΕΝΑΚ		Όροι και προϋποθέσεις για την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων
4067/2012		Ορισμός κτιρίου ελάχιστης ενεργειακής κατανάλωσης, κίνητρα
4122/2013		Εναρμονισμός με την οδηγία 2010/31/ΕΕ

### 2.4.3 Πρόοδος κρατών μελών

Σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Κτιριακής Απόδοσης (Buildings Performance Institute Europe-BPIE), μέχρι τον Απρίλιο του 2015 μόνο 8 κράτη μέλη έχουν επισήμως διατυπώσει τις απαιτήσεις για να χαρακτηριστεί ένα υπάρχον κτίριο NZEB. 5 κράτη μέλη θέτουν τις ίδιες απαιτήσεις για νέα και υπάρχοντα κτίρια ενώ σε 3 κράτη μέλη (Αυστρία, Γαλλία και Βέλγιο) οι απαιτήσεις για τα νέα κτίρια είναι αυστηρότερες από ότι για τα υπάρχοντα. Όλα τα κράτη μέλη εργάζονται για την ενσωμάτωση των απαιτήσεων των NZEB στην εθνική νομοθεσία αλλά με διαφορετικά επίπεδα αισιοδοξίας ως προς τους στόχους. Τέλος παρατηρείται ότι ένας σαφέστερος ορισμός ως προς την επιθυμητή ενεργειακή απόδοση των NZEB στην ευρωπαϊκή νομοθεσία θα υποστήριζε μια πιο συνεκτική προσέγγιση από τα εθνικά νομοθετικά όργανα, καθιστώντας την Ευρωπαϊκή Ένωση διεθνή πρωτοπόρο σε αυτόν τον τομέα. (Buildings Performance Institute Europe (BPIE), 2015)

Στις επόμενες δύο σελίδες παρουσιάζεται η πρόοδος των κρατών μελών ως προς την διατύπωση σαφούς ορισμού και αριθμητικών δεικτών για τα NZEB (τελευταία ενημέρωση Απρίλιος 2015).

Country	Status of the definition	Main reference(s)	Year of enforcement		nZEB definition for new buildings						nZEB definition for existing buildings		
			Public	Non-public	EPBD scope of nZEB definition [1]	Numerical indicator	Maximum primary energy [kWh/m <sup>2</sup> y]		Share of renewable energy	Other indicators	Status of the definition	Maximum primary energy [kWh/m <sup>2</sup> y]	
							Residential buildings	Non-residential buildings				Residential buildings	Non-residential buildings
Austria	✓	OIB Guidelines 6	1/01/2019	1/01/2021	✓ [7]	✓	160	170 (from 2021)	Minimum share proposed in the draft of OIB guidelines for all buildings	EP, CO <sub>2</sub>	✓	200	250 (from 2021)
Belgium - Brussels	✓	Amended Decree of 21/12/2007	1/01/2015	1/01/2015	✓	✓	45	~90 [2]	✓ Qualitative	EP, OH	✓	54	~ 108 [2]
Belgium - Flanders	✓	Regulation of 29/11/2013	1/01/2019	1/01/2021	✓	✓	30% PE [5]	40% PE [5]	✓ Quantitative [4]	EP, OH	Under development		
Belgium - Wallonia	Under development	Consolidated report to EC	1/01/2019	1/01/2019	✓	Under development			Quantitative	EP	Under development		
Bulgaria	Still to be approved	National nZEB Plan, <a href="#">BPIE study</a>	1/01/2019	1/01/2021	✓	Still to be approved	~30-50	~40-60	Quantitative	EP	As for new buildings	~30-50	~40-60
							Included in the calculation; building needs to comply with class A					Included in the calculation; building needs to comply with class A	
Croatia	✓	Regulation OG 97/14, National nZEB Plan	1/01/2019	1/01/2021	✓	✓	33-41[3]	Under development	Minimum share in current requirements for all buildings	EP	ND		
Cyprus	✓	Decree 366/2014, Law 210(I)/2012	1/01/2019	1/01/2021	✓	✓	100	125	✓ Quantitative	EP	✓ As for new buildings	100	125
Czech Republic	✓	Regulation 78/2013 Coll.	2016-2018 depending on size	2018-2020 depending on size	✓	✓	75-80% [2,5]	90% [5]	✓ Quantitative	EP, TS	✓ As for new buildings	75-80% [2,5]	90% [5]
Denmark	✓	Building Regulations 2010	1/01/2019	1/01/2021	✓	✓	20	25	✓ Qualitative	EP, OH, TS	✓ As for new buildings	20	25
Estonia	✓	Regulation 68:2012	1/01/2019	1/01/2021	✓ [7]	✓	50-100 [2]	90-270 [2]	✓ Qualitative		✗		
Finland	Under development	Consolidated report to EC	1/01/2018	1/01/2021	✓ [7]	ND			ND		ND		
France	Definition of Positive Energy Buildings under development [8]	Thermal Regulation 2012, National nZEB Plan	28/10/2011	1/01/2013	✓	✓	40-65 [2,3]	70-110 [2,3]	✓ Quantitative [4]	EP, OH, TS	✓	80 [3]	60% PE [2]
Germany	Under development	KfW Efficiency House, National nZEB plan	1/01/2019	1/01/2021	✓	Under development	40% PE [5]		Minimum share in current requirements for all buildings	EP	Under development	55% PE [5]	
Greece	Under development	Law 4122/2013	1/01/2019	1/01/2021	ND	ND			Minimum share in current requirements for all buildings		Under development		
Hungary	Under development	Amended decree 7/2006, <a href="#">study by University of Debrecen</a>	1/01/2019	1/01/2021	✓	Under development	50-72 [2]	60-115 [2]	✓ Quantitative	EP	Under development		
Ireland	✓	Draft definition in National nZEB Plan	1/01/2019	1/01/2021	✓	✓	45	~60% PE [5]	✓ Quantitative [4]	CO <sub>2</sub>	Under development	75-150	

Πίνακας 4 Στάδιο ενσωμάτωσης ορισμού NZEB στην επιμέρους εθνική νομοθεσία των κρατών μελών της ΕΕ

Country	Status of the definition	Main reference(s)	Year of enforcement		nZEB definition for new buildings						nZEB definition for existing buildings		
			Public	Non-public	EPBD scope of nZEB definition [1]	Numerical indicator	Maximum primary energy [kWh/m <sup>2</sup> y]		Share of renewable energy	Other indicators	Status of the definition	Maximum primary energy [kWh/m <sup>2</sup> y]	
							Residential buildings	Non-residential buildings				Residential buildings	Non-residential buildings
Italy	Still to be approved (under publication)	Draft of the new EPBD decree	1/01/2019	1/01/2021	✓	Still to be approved	Included in the upcoming updated version of the National nZEB Plan [2,3]		Quantitative	EP, TS	✓ As for new buildings	Included in the upcoming updated version of the National nZEB Plan [2,3]	
Latvia	✓	Regulation 383/2013	1/01/2019	1/01/2021	✓	✓	95	95	✓ Quantitative	EP	✓ As for new buildings	95	95
Lithuania	✓	Regulation STR 2.01.09 :2012	1/01/2019	1/01/2021	✓	✓	Included in the calculation; building needs to comply with class A++		✓ Quantitative	EP	✓ As for new buildings	Included in the calculation; building needs to comply with class A++	
Luxembourg	✓ Details to be fixed	National nZEB Plan	1/01/2019	1/01/2021	✗ [6]	✓	Included in the calculation; building needs to comply with class A-A-A		✓ Qualitative	EP, CO <sub>2</sub>	ND		
Malta	Under development	National nZEB Plan	1/01/2019	1/01/2021	✓	Current values to be revised	40	60	Qualitative	EP	ND		
Netherlands	✓	National nZEB Plan	1/01/2019	1/01/2021	✓	✓	Included in the calculation; building needs to comply with energy performance coefficient = 0		✗	EP	ND		
Norway	Under development	Presentation by Research Centre on Zero Emission Buildings	1/01/2021	1/01/2021	✓	Under development			Minimum share in current requirements for all buildings	CO <sub>2</sub> (main indicator), EP, TS	ND		
Poland	Under development	Consolidated report to EC	1/01/2019	1/01/2021	✓	Under development	60-75 [2]	45-70 [2]	✗		ND		
Portugal	Under development	Law 118/2013	1/01/2019	1/01/2021	✓	In current requirements for buildings			✗		ND		
Romania	✓	National nZEB Plan	1/01/2019	1/01/2021	✓	✓	93-217 [2,3]	50-192 [2,3]	✓ Quantitative	CO <sub>2</sub>	ND		
Slovakia	✓	Decree 364/2012	1/01/2019	1/01/2021	✗ [6]	✓	32-54 [2]	34-96 [2]	✓ Quantitative	EP	ND		
Slovenia	Still to be approved	Official Journal 17/14, National nZEB Plan	1/01/2019	1/01/2021	✓	Still to be approved	45-50 [2]	70	Under development	EP	Still to be approved	70-90 [2]	100
Spain	Under development	Decree 235/2013	1/01/2019	1/01/2021	✓	Under development	Included in the calculation; it is foreseen that buildings will need to comply with class A		Minimum share in current requirements for all buildings	CO <sub>2</sub> (main indicator)	Under development		
Sweden	Under development	National nZEB Plan	1/01/2019	1/01/2021	✓	Under development	30-75 [2,3]	30-105 [2,3]	✗		ND		
UK (England)	✓ Details to be fixed	National nZEB Plan, presentation by Zero Carbon Hub	1/01/2018 (from 2016 for residential buildings) [9]	1/01/2019 (from 2016 for residential buildings) [9]	✓	✓	~ 44 (2)	ND	✓ Qualitative	CO <sub>2</sub> (main indicator), EP, TS	ND		
							Included in the calculation; building will need to comply with carbon emissions ~ 0						

Πηγή: (Buildings Performance Institute Europe (BPIE), 2015)

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΠΡΟΤΥΠΑ ΚΤΙΡΙΑ ΜΗΔΕΝΙΚΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ**

---





### 3.1 Εισαγωγή

Κατά τον σχεδιασμό ενός κτιρίου μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου, εξ' ορισμού επιτάσσεται η εφαρμογή μέτρων ενεργειακής απόδοσης και η ενσωμάτωση ΑΠΕ για την παραγωγή της ενέργειας που απαιτείται. Στα πλαίσια της εργασίας έγινε εκτενής αναζήτηση σε παγκόσμιο επίπεδο και καταγραφή των κτιρίων αυτών που έχουν επιτυχώς χαρακτηριστεί ως NZEB. Επίσης καταγράφηκαν και αναλύθηκαν τόσο τα μέτρα ενεργειακής απόδοσης που έχουν εφαρμοστεί στα πρότυπα κτίρια που μελετήθηκαν όσο και οι ΑΠΕ που έχουν ενσωματωθεί σε αυτά.

### 3.2 Πρότυπα Κτίρια

Τα κτίρια που μελετήθηκαν επιλέχθηκαν ώστε να ικανοποιούν αυστηρά τον ορισμό του NZEB ως προς το ισοζύγιο ενέργειας που επιτυγχάνεται και να έχουν κοινοποιηθεί επαρκή δομικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά τους, ώστε να αναλυθεί αξιόπιστα η κατασκευή και η λειτουργία τους και να μπορούν να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται συνοπτικά τα 40 κτίρια που επιλέχθηκαν, ταξινομημένα σε οικιστικά και μη οικιστικά.

**Πίνακας 5 Συνοπτική παρουσίαση των 40 πρότυπων κτιρίων που μελετήθηκαν. Διαχωρισμός σε μη οικιστικά και οικιστικά, ανάλογα με την χρήση τους.**

ΜΗ ΟΙΚΙΣΤΙΚΟ			ΟΙΚΙΣΤΙΚΟ		
No	ΧΩΠΑ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ	No	ΧΩΠΑ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ
1	Ολλανδία	TNT Green Office (Zeiler, 2011)	23	Αυστρία	Thening (International Energy Agency)
2	Βέλγιο	V&R The Solarcompany (Klein, Claes, & Biesbroeck)	24	Ιταλία	Casa zero energy (Garde & Donn, 2014)
3	Γαλλία	Plet du Centre (Garde & Donn, 2014)	25	Αυστρία	Plus Energy Houses Weiz (Garde & Donn, 2014)
4	Γαλλία	Enerpos (Garde & Donn, 2014)	26	Καναδάς	Eco Terra (Garde & Donn, 2014)
5	Σιγκαπούρη	ZEB@BcA Academy (Garde & Donn, 2014)	27	Καναδάς	Riverdale (Garde & Donn, 2014)
6	N. Ζηλανδία	Meridian (Garde & Donn, 2014)	28	Γερμανία	Solarsiedlung an Schlierberg (Garde & Donn, 2014)
7	Πορτογαλία	Solar XXI (Garde & Donn, 2014)	29	Γερμανία	Kleehause (Garde & Donn, 2014)

8	Γαλλία	Kyoto High School (Garde & Donn, 2014)	30	Ελβετία	Riehen (Garde & Donn, 2014)
9	Γαλλία	Pantin High School (Garde & Donn, 2014)	31	Καναδάς	AbondanceMontréal: le Soleil (Canada Mortgage and Housing Corporation, 2011)
10	Γερμανία	Grundschule Hohen (Garde & Donn, 2014)	32	Καναδάς	The Laebon CHES Project (Canada Mortgage and Housing Corporation, 2011)
11	Γερμανία	Kindergarten die Sprosslinge (DCC) (Garde & Donn, 2014)	33	Καναδάς	Avalon Discovery 3 (Canada Mortgage and Housing Corporation, 2011)
12	Ελβετία	Marche Kempthal (Garde & Donn, 2014)	34	Καναδάς	EcoHaven (Canada Mortgage and Housing Corporation, 2012)
13	Ελβετία	Kraftwerk B (Garde & Donn, 2014)	35	Καναδάς	Harmony House (Canada Mortgage and Housing Corporation, 2013)
14	Γερμανία	Herten (Reeth, Roussel, & Aihara, 2012) (Spitalny, et al., 2013)	36	Καναδάς	Inspiration:TheMintoEcohome (Canada Mortgage and Housing Corporation, 2010)
15	Ιταλία	NaturaliaBau (Girault & Jedliczka, 2015) (Napolitano, Lollini, Avesani, & Sparber, 2009)	37	Καναδάς	The Green Dream Home (Canada Mortgage and Housing Corporation, 2012)
16	ΗΠΑ	Science House (U.S. Department of Energy Buildings Database)	38	Καναδάς	The Moncton VISION home (Canada Mortgage and Housing Corporation, 2010)
17	ΗΠΑ	Hudson Valley (U.S. Department of Energy Buildings Database)	39	ΗΠΑ	Ellis – Scott (U.S. Department of Energy Buildings Database)
18	ΗΠΑ	Oak Ridge (U.S. Department of Energy Buildings Database)	40	ΗΠΑ	Charlotte Nzeb (U.S. Department of Energy Buildings Database)
19	ΗΠΑ	Putney School (U.S. Department of Energy			

		Buildings Database)			
20	ΗΠΑ	Aldo Leopold (U.S. Department of Energy Buildings Database)			
21	ΗΠΑ	PNC F.S. (U.S. Department of Energy Buildings Database)			
22	ΗΠΑ	NREL RSF (U.S. Department of Energy Buildings Database)			



**Γράφημα 2** Επισήμανση της τοποθεσίας των 40 πρότυπων κτιρίων στον παγκόσμιο χάρτη.

Στο παράρτημα επισυνάπτεται φωτογραφικό υλικό ενδεικτικά για κάποια από τα 40 πρότυπα κτίρια.

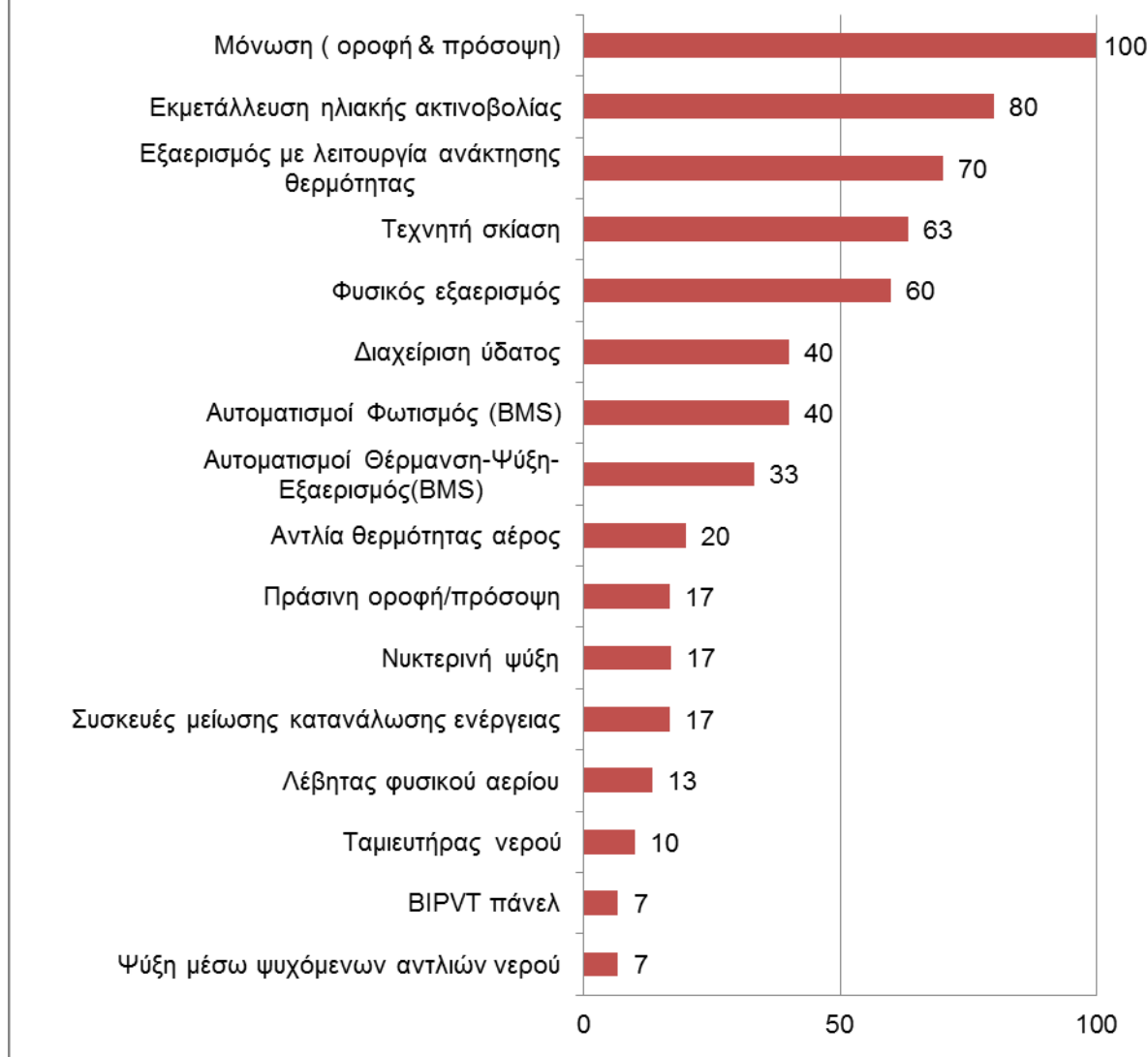
### **3.3 Εφαρμοσμένα Μέτρα Ενεργειακής Απόδοσης**

Η βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων που μελετήθηκαν υπήρξε πρωταρχικός και κύριος στόχος των σχεδιαστών και κατασκευαστών τους. Με αυτό τον τρόπο μειώνεται δραστικά η απαιτούμενη ενέργεια για την λειτουργία του κτιρίου και ο στόχος του μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου καθίσταται εφικτός.

Πρέπει να αναφερθεί ότι τα μέτρα ενεργειακής απόδοσης είναι απολύτως σύμφωνα με τις σύγχρονες απαιτήσεις του ευ ζην και δεν στερούν καμία άνεση από τους χρήστες των NZEB. Κατά την μελέτη ενεργειακής απόδοσης αρχικά λαμβάνεται υπόψιν η χρήση του κτιρίου και οι ανάγκες των ατόμων που θα ζουν/εργάζονται σε αυτό και στη συνέχεια εντοπίζονται κατά περίπτωση τα μέτρα εκείνα που θα εξασφαλίσουν τις παραπάνω συνθήκες με την ελάχιστη δυνατή κατανάλωση ενέργειας.

Στα πρότυπα κτίρια που μελετήθηκαν, εντοπίστηκαν και παρουσιάζονται τα παρακάτω μέτρα ενεργειακής απόδοσης (συνοδευτικά ποσοστό των κτιρίων στο οποίο εφαρμόζονται).

## ΜΕΤΡΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ %



Γράφημα 3 Μέτρα ενεργειακής απόδοσης και το ποσοστό εφαρμογής τους στα κτίρια της μελέτης

Στον πίνακα που ακολουθεί καταγράφονται αναλυτικά τα μέτρα που έχουν εφαρμοστεί σε καθένα από τα ανωτέρω κτίρια. Γίνεται μια κατηγοριοποίηση των κτιρίων ανάλογα με τις κλιματικές ανάγκες κάθε κτιρίου και τις καταναλώσεις που αυτές υποβάλλουν (Κυρίως Ψύξη - Κυρίως Θέρμανση-Μικτές). Τέλος φαίνεται η χώρα και η χρήση του κάθε κτιρίου (οικιστικό-μή οικιστικό).

**Πίνακας 6 Μέτρα ενεργειακής απόδοσης ανά κτίριο στο οποίο εφαρμόζονται**

ΜΕΤΡΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΑΝΑ ΚΤΙΡΙΟ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	EUROPE		Σ Ι Γ Κ Α Π Ο Υ Ρ Η	Ν Ζ Η Α Ν Δ Ι Α	EUROPE										USA					EU		Κ Α Ν Α Δ Α Σ	EU					ΚΑΝΑΔΑΣ					USA									
	1	2			3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19		20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
<b>ΚΤΙΡΙΟ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40		
<b>ΜΕΤΡΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ</b>																																										
Μόνωση ( οροφή & πρόσοψη)																																										
Εκμετάλλευση ηλιακού φωτός																																										
Φωτισμός(Αρχιτεκτονική κτιρίου)	✓	✓	✓	✓			✓			✓		✓				✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓				✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
Φωτισμός(Mirror Ducts/Light Pipes/skylight)					✓		✓		✓		✓													✓			✓															
Παθητική θέρμανση							✓			✓	✓					✓						✓	✓	✓		✓			✓	✓	✓	✓								✓		
Εξαερισμός με λειτουργία ανάκτησης θερμότητας																																										
Τεχνητή σκίαση																																										
Φυσικός εξαερισμός																																										
Αντλία θερμότητας αέρος																																										
Αυτοματισμοί Φωτισμός (BMS)																																										
Διαχείριση ύδατος																																										
Αυτοματισμοί Θέρμανση-Ψύξη-Εξαερισμός(BMS)																																										
Συσκευές μείωσης κατανάλωσης ενέργειας																																										
Πράσινη οροφή/πρόσοψη																																										
Νυκτερινή ψύξη																																										
Λέβητας Φυσικού αερίου																																										
Ταμιευτήρας νερού																																										
BIPVT ηλιακά πάνελ																																										
Ψύξη μέσω ψυχόμενων αντλιών νερού																																										
	ΜΗ ΟΙΚΙΣΤΙΚΟ																							ΟΙΚΙΣΤΙΚΟ																		

**Πίνακας 7 Κατηγοριοποίηση κτιρίων με βάση τις κλιματικές ανάγκες του σημείου εγκατάστασης**

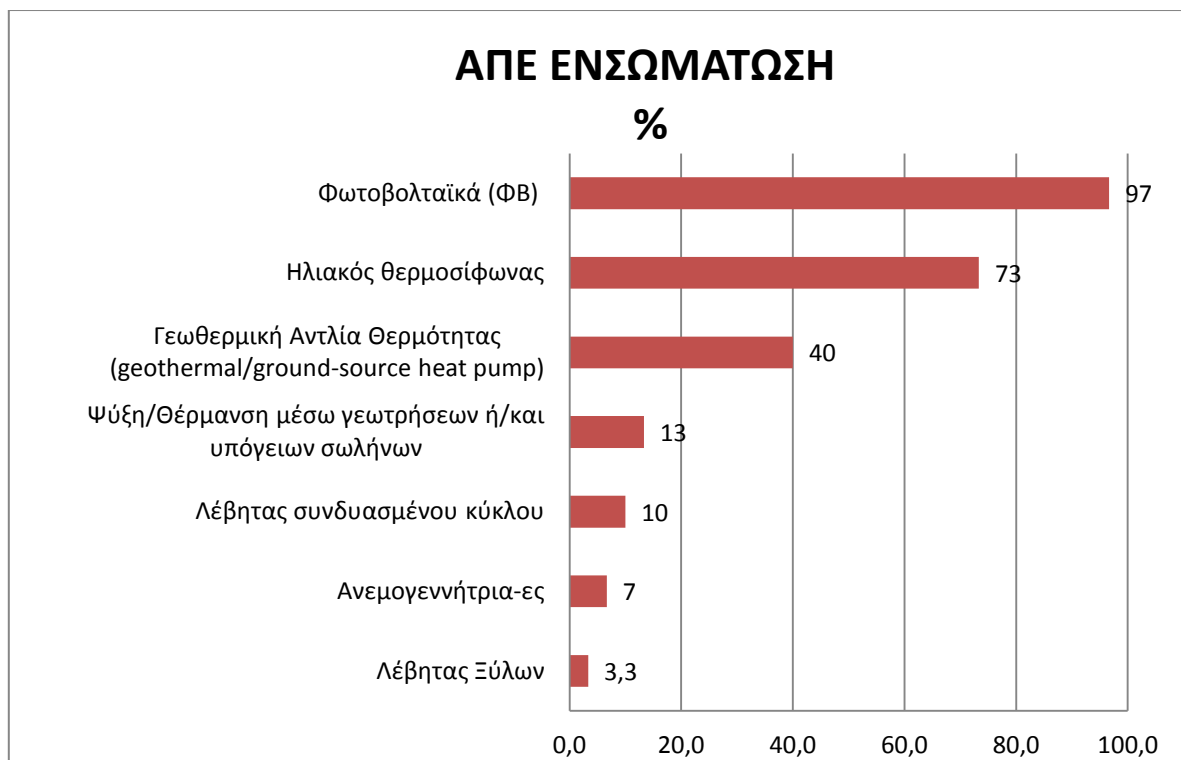
	ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ
ΚΥΡΙΩΣ ΨΥΞΗ	
ΚΥΡΙΩΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	
ΜΙΚΤΕΣ	

Μελετώντας την παραπάνω συνοπτική παρουσίαση προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- i. Η μόνωση οροφής ή/και πρόσοψης χρησιμοποιείται καθολικά για την δημιουργία ενός ενεργειακά αποτελεσματικού κτιριακού κελύφους.
- ii. Για την εξοικονόμηση πόρων, στην πλειοψηφία των περιπτώσεων η μόνωση τροποποιείται στα διάφορα τμήματα του κτιρίου ανάλογα με τον προσανατολισμό αυτών.
- iii. Η ηλιακή ακτινοβολία λαμβάνεται σοβαρά υπόψιν κατά τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό του κτιρίου. Σχεδόν καθολικά φροντίζεται ώστε το ηλιακό φως να εισέρχεται σε όλους τους χώρους του κτιρίου για να χρησιμοποιείται λιγότερο ο τεχνητός φωτισμός και να αξιοποιείται η θερμότητα της ηλιακής ακτινοβολίας για την θέρμανση των χώρων αυτών.
- iv. Ο εξαερισμός στην πλειοψηφία των περιπτώσεων λειτουργεί με ανάκτηση θερμότητας καθώς η δράση αυτή οδηγεί αποδεδειγμένα σε μειωμένη κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση χώρων και παροχή ζεστού νερού. Αξίζει να σημειωθεί ότι το μέτρο αυτό δεν προτιμάται στα κτίρια όπου απαιτείται κυρίως ψύξη των χώρων λόγω θερμότερου κλίματος.
- v. Η χρήση αυτοματισμών στο φωτισμό και οι συσκευές χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας συναντούνται κυρίως σε μη οικιστικούς χώρους.
- vi. Η διαχείριση των υδάτινων πόρων (αξιοποίηση θερμότητας νερού προς αποχέτευση, συλλογή όμβριων υδάτων για πότισμα/καζανάκια) είναι ένα μέτρο που συναντάται κυρίως σε οικιστικά κτίρια στον Καναδά. Αυτό προκύπτει πιθανώς για τους εξής δύο λόγους: Πρώτον, η ανάγκη για θέρμανση των χώρων το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου καθιστά συμφέρουσα την ανάκτηση θερμότητας από τις απορριπτόμενες μάζες νερού (πχ από τα ντουζ). Δεύτερον, είναι προφανές ότι η καναδική πρωτοβουλία βιώσιμης κατασκευής κτιρίων Equilibrium της Καναδικής Υπηρεσίας Στέγασης(CMHC) προτρέπει στην εξοικονόμηση των υδάτινων πόρων.
- vii. Η δημιουργία πράσινης οροφής/πρόσοψης τείνει να χρησιμοποιείται στα κτίρια που απαιτούν κυρίως ψύξη, καθώς είναι αρκετά αποτελεσματική στην μείωση της θερμότητας που εισέρχεται στο κτίριο από παράπλευρους δρόμους και από την ηλιακή ακτινοβολία.
- viii. Τέλος να αναφερθεί ότι σε όλα τα κτίρια για το φωτισμό χρησιμοποιήθηκαν λαμπτήρες εξοικονόμησης ενέργειας.

### 3.4 Ενσωματωμένες ΑΠΕ

Σύμφωνα με τον ορισμό των NZEB, η απαιτούμενη ετήσια ενέργεια πρέπει να παράγεται στο σημείο από μονάδες ΑΠΕ. Οι ΑΠΕ που χρησιμοποιούνται στα υπό μελέτη κτίρια και η συχνότητα ενσωμάτωσής τους σε αυτά φαίνεται στο διάγραμμα που ακολουθεί.



Γράφημα 4 Εγκατεστημένες ΑΠΕ στα κτίρια της μελέτης και το ποσοστό επιλογής τους

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συνοπτικά τα 40 πρότυπα κτίρια και οι ΑΠΕ που έχουν ενσωματωθεί σε κάθε ένα από αυτά.

Πίνακας 8 ΑΠΕ ανά κτίριο στο οποίο εφαρμόζονται

ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΕΣ ΑΠΕ ΑΝΑ ΚΤΙΡΙΟ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	EUROPE	Ι Ι Ι Κ Α Π Ο Υ Ρ Η Α				EUROPE	USA	EU	Κ Α Ν Α Δ Α Σ	EU	ΚΑΝΑΔΑΣ	USA																																		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40					
ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΕΣ ΑΠΕ																																														
Λέβητας Ξύλων																																														
Λέβητας συνδυασμένου κύκλου																																														
Ψύξη/Θέρμανση μέσω γεωτρήσεων ή/και υπόγειων σωλήνων																																														
Γεωθερμική Αντλία Θερμότητας (geothermal/ground-source h. p.)																																														
Ηλιακός θερμοσίφωνας																																														
Φωτοβολταϊκά (ΦΒ)																																														
Ανεμογεννήτρια-ες																																														
		ΜΗ ΟΙΚΙΣΤΙΚΟ												ΟΙΚΙΣΤΙΚΟ																																



### 3.5 Παρατηρήσεις – Σχόλια

Μελετώντας τα μέτρα ενεργειακής απόδοσης και τις ΑΠΕ που έχουν ενσωματωθεί στα πρότυπα αυτά κτίρια παρατηρούμε ότι ιδιαίτερη βάση δίνεται στην μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων των εν λόγω κτιρίων. Αποτελεί πρώτη προτεραιότητα των κατασκευαστών να διατηρηθεί σε πολύ χαμηλά επίπεδα η ετήσια ζήτηση ενέργειας.

Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η παραγωγή ενέργειας που μπορεί να γίνει μέσω των ΑΠΕ του NZEB είναι πεπερασμένη και δεδομένη (σε κάποια πλαίσια) για την περιοχή που βρίσκεται το κτίριο (πχ. συγκεκριμένη ηλιοφάνεια/έτος, αιολικό δυναμικό περιοχής). Επίσης, όσο πιο περιορισμένοι οικονομικοί πόροι αναλωθούν στην εγκατάσταση ΑΠΕ τόσο πιο βιώσιμη και συμφέρουσα γίνεται η κατασκευή των NZEB. Η παρατήρηση αυτή συνάδει και κατά κάποιο τρόπο ακολουθεί την ιεραρχία μέτρων και ΑΠΕ που προτείνει το Εθνικό Εργαστήριο ΑΠΕ των ΗΠΑ(NREL) (Pless & Torcellini, 2010) και η οποία παρατίθεται εδώ:

**Πίνακας 9 Ιεραρχία εφαρμογής μέτρων ενεργειακής απόδοσης και επιλογής ΑΠΕ για τα NZEB**  
 Πηγή: (Pless & Torcellini, 2010)

A/A	Περιγραφή	Σχόλια
0	Μείωση κατανάλωσης ενέργειας μέσω μέτρων ενεργειακής αποδοτικότητας και ανανεώσιμες τεχνολογίες μείωσης κατανάλωσης	Μόνωση, παθητική θέρμανση, φυσικός φωτισμός, φυσικός εξαερισμός, εξοπλισμός υψηλής απόδοσης για θέρμανση και κλιματισμό, γεωθερμικές αντλίες θερμότητας, ψύξη με σωλήνες νερού
<b>ΑΠΕ εντός/επί του κτιρίου</b>		
1	ΑΠΕ εντός ή επί του κτιριακού συνόλου και διασυνδεδεμένες με το δίκτυο ηλεκτρισμού & ζεστού/κρύου νερού του κτιρίου	Φ/Β, ηλιακός θερμοσίφοντας, ανεμογεννήτριες επί του κτιρίου
2	ΑΠΕ εντός της έκτασης στην οποία ανήκει το κτίριο διασυνδεδεμένες με το δίκτυο ηλεκτρισμού & ζεστού/κρύου νερού του κτιρίου	Φ/Β, ηλιακός θερμοσίφοντας, μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί ή ανεμογεννήτριες στο χώρο στάθμευσης ή σε χώρο που ανήκει στο κτίριο αλλά όχι επί αυτού
<b>ΑΠΕ απομακρυσμένα</b>		
3	Χρήση ανανεώσιμων πηγών που διατίθενται εκτός του κτιριακού συνόλου για παραγωγή ενέργειας εντός αυτού	Βιομάζα, ξύλο-πέλετ, αιθανόλη, βιοντίζελ που εισάγονται για την παραγωγή ηλεκτρισμού ή θερμότητας
4	Αγορά μέσω του δικτύου ενέργειας που έχει παραχθεί από ΑΠΕ σε άλλο σημείο	Συμβόλαιο με τον διαχειριστή του δικτύου για παροχή ενέργειας από ΑΠΕ – NZEB για όσο ισχύει το συμβόλαιο

### 3.6 Πρότυπα Κτίρια – Πιλότοι

Από τα παραπάνω 40 πρότυπα NZEB επιλέχθηκαν για περαιτέρω ανάλυση 9 NZEB πιλότοι για τα οποία έχει δημοσιευθεί αναλυτικά το ετήσιο ισοζύγιο ενέργειας τους συμπεριλαμβανομένων όλων των καταναλώσεων τους ανά τύπο φορτίου, ώστε να είναι δυνατή η ανάπτυξη του επιθυμητού μεθοδολογικού πλαισίου αξιολόγησης NZEB. Τα εν λόγω NZEB είναι τα κάτωθι:

Πίνακας 10 9 Πρότυπα NZEB μετά την αυστηρή επιλογή επί του αρχικού δείγματος

ΜΗ ΟΙΚΙΣΤΙΚΟ		
No	ΧΩΡΑ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ
1	Γερμανία	Herten
2	Ιταλία	NaturaliaBau
3	ΗΠΑ	Science House
4	ΗΠΑ	Hudson Valley
5	ΗΠΑ	Oak Ridge
6	ΗΠΑ	Putney School
7	ΗΠΑ	Aldo Leopold
8	ΗΠΑ	PNC F.S.
9	ΗΠΑ	NREL RSF

#### i. Herten, Germany

Το εν λόγω NZEB είναι ένα νεόδμητο κτίριο γραφείων (έτος κατασκευής 2009) για μία μικρού-μεσαίου μεγέθους επιχείρηση που απασχολεί 15 εργαζόμενους πλήρους απασχόλησης. Μία αποθήκη επιφάνειας 800m<sup>2</sup> συνδέεται στην βόρεια πλευρά του διώροφου κτιρίου. Ο σκελετός του κτιρίου κατασκευάστηκε ολοκληρωτικά από ατσάλι.

Κατά τον σχεδιασμό του κτιρίου προτιμήθηκε μια ελαστική και ανοιχτή αρχιτεκτονική προσέγγιση και συνεπώς δεν απαιτήθηκαν ακραίες τιμές μόνωσης. Η μόνωση του κτιριακού κελύφους έγινε βελτιώνοντας ελαφρώς τις γερμανικές προδιαγραφές EnEv και εφαρμόστηκαν μέτρα για την μείωση των φορτίων. Στο κτίριο εγκαταστάθηκαν αντλίες θερμότητας για θέρμανση και ψύξη, εξαερισμός με τεχνολογία ανάκτησης θερμότητας, φωτιστικά σώματα led και συστήματα αυτοματισμών. Τέλος, για την ηλεκτροπαραγωγή του κτιρίου επιλέχθηκαν φωτοβολταϊκά πάνελ ισχύος 27,3 kW που εγκαταστάθηκαν στην οροφή.

## ii. NaturaliaBau, Italy

Το εν λόγω NZEB κατασκευάστηκε το 2008 στο Merano της Ιταλίας για να στεγάσει τα γραφεία εταιρείας δομικών υλικών. Εξ' αρχής είχε οριστεί σαν στόχος να επιτευχθεί μηδενικό ενεργειακό ισοζύγιο. Λόγω της μικρής διαθέσιμης επιφάνειας για εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πάνελ και του βόρειου-βορειοδυτικού προσανατολισμού του κτιρίου ήταν από την αρχή αναγκαίο να αυξηθεί όσο το δυνατόν περισσότερο η ενεργειακή απόδοση του κτιρίου, οπότε αυτό σχεδιάστηκε με βάση τις ιταλικές προδιαγραφές Casa Clima Gold. Επιλέχθηκαν φυσικά μονωτικά υλικά, σχεδιασμός που να επιτρέπει την εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας για το φωτισμό του χώρου και συστήματα αυτοματισμών. Για την ηλεκτροπαραγωγή του κτιρίου εγκαταστάθηκαν Φ/Β πάνελ συνολικής ισχύος 59 kW στην οροφή και την νότιοδυτική πρόσοψη του κτιρίου και τέλος εγκαταστάθηκαν αντλίες θερμότητας σε συνδυασμό με γεωθερμικούς σωλήνες για τη θέρμανση και την ψύξη, καθώς και εξαερισμός με τεχνολογία ανάκτησης θερμότητας.

## iii. Science House, Science Museum of Minnesota, USA

Το Science House (έτος κατασκευής 2003) στεγάζει το Κέντρο Εκπαίδευσης Καθηγητών της πολιτείας της Μινεσότα, όπου οι καθηγητές έχουν πρόσβαση στο επιστημονικό υλικό που χρειάζονται για τη διδασκαλία, συμβουλευονται επιστημονικούς συμβούλους και συζητούν περί ακαδημαϊκών θεμάτων. Το εν λόγω NZEB παρακολουθείται συνεχώς, ώστε να εξασφαλίζεται το μηδενικό ετήσιο ενεργειακό του ισοζύγιο. Η υψηλή του ενεργειακή απόδοση οφείλεται στην εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας για φωτισμό και θέρμανση, στις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας για τη θέρμανση και την ψύξη του κτιρίου και για την παροχή ζεστού νερού, στον φυσικό εξαερισμό και στην συνεχή επιτήρηση των συστημάτων αυτοματισμού μέσω H/Y. Η ηλεκτροπαραγωγή γίνεται μέσω φωτοβολταϊκών πάνελ συνολικής ισχύος 8,8 kW.

## iv. Hudson Valley Clean Energy Office and Warehouse, USA

Το εν λόγω NZEB κατασκευάστηκε το 2007 και στεγάζει τα γραφεία και την αποθήκη της εταιρείας Hudson Valley Clean Energy στο Rhinebeck της Νέας Υόρκης. Ήδη από τον πρώτο χρόνο λειτουργίας του πέτυχε το στόχο του NZEB συνδυάζοντας γεωθερμικές αντλίες θερμότητας για θέρμανση και ψύξη, αποτελεσματική μόνωση με σύγχρονα υλικά, παροχή ζεστού νερού μέσω ηλιακού θερμοσίφωνα και κατάλληλο αρχιτεκτονικό σχεδιασμό. Για την ηλεκτροπαραγωγή εγκαταστάθηκαν φωτοβολταϊκά πάνελ συνολικής ισχύος 15,05 kW.

## v. Oak Ridge National Laboratory Office Building 3156, USA

Το κτίριο 3156 βρίσκεται στο Knoxville του Tennessee των ΗΠΑ και στεγάζει διοικητικές υπηρεσίες και γραφεία του αμερικανικού Υπουργείου Ενέργειας των ΗΠΑ. Ανακαινίστηκε το 2009 στα πλαίσια ενός project για να αποδειχθεί ότι τα κτίρια αποτελούν αξιοποιήσιμο δυναμικό για την εξοικονόμηση ενέργειας και την μείωση της εξάρτησης από την ενέργεια που παράγεται με ορυκτά καύσιμα.

Με την εφαρμογή μέτρων υψηλής ενεργειακής απόδοσης επιτεύχθηκε μείωση της καταναλισκόμενης ετήσιας ενέργειας κατά περίπου 35%. Αυτό επιτεύχθηκε με την αναβάθμιση της μόνωσης του κτιρίου, την εγκατάσταση αντλιών θερμότητας, την αντικατάσταση των λαμπτήρων φωτισμού και την εγκατάσταση αυτοματισμών στον φωτισμό και τον κλιματισμό.

Τέλος για την ηλεκτροπαραγωγή επιλέχθηκαν φωτοβολταϊκά πάνελ συνολικής ισχύος 51 kW.

vi. The Putney School, USA

Το εν λόγω κτίριο κατασκευάστηκε το 2009 στο Putney του Vermont των ΗΠΑ και στεγάζει ένα λύκειο και χώρους ψυχαγωγίας και άθλησης. Στα μέτρα ενεργειακής απόδοσης του ανήκει η εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας για το φωτισμό των χώρων, ο εξαερισμός με τεχνολογία ανάκτησης θερμότητας και οι αυτοματισμοί στον κλιματισμό και τον φωτισμό. Τέλος η ηλεκτροπαραγωγή γίνεται με φωτοβολταϊκά πάνελ συνολικής ισχύος 36,8 kW.

vii. Aldo Leopold Legacy Center, USA

Το εν λόγω κτίριο κατασκευάστηκε το 2007 για να στεγάσει το Ίδρυμα Aldo Leopold στο Wisconsin των ΗΠΑ. Περιλαμβάνει γραφεία, χώρους συσκέψεων, χώρο αρχείου και ένα εργαστήριο. Το ίδρυμα επέλεξε να κτίσει το κτίριο σε ένα σημείο όπου το περιβάλλον είχε βλαφθεί στο παρελθόν, αποσκοπώντας στην αποκατάστασή του. Κατά τον σχεδιασμό του κτιρίου λήφθηκε υπόψιν ο φυσικός φωτισμός και για την θέρμανση και την ψύξη του χρησιμοποιήθηκαν γεωθερμικές αντλίες θερμότητας. Τέλος, για την ηλεκτροπαραγωγή εγκαταστάθηκαν φωτοβολταϊκά πάνελ συνολικής ισχύος 39,6 kW τα οποία παράγουν το 110% της ετήσιας ενεργειακής ανάγκης του κτιρίου.

viii. PNC Financial Services Net-Zero Energy Branch, USA

Η τράπεζα PNC Financial Services κατασκεύασε το 2013 το εν λόγω κτίριο στο Faurt Lauderdale της Florida σε συνεργασία με το Αμερικανικό Υπουργείο Ενέργειας (DOE). Στόχος ήταν το κτίριο να ξεπεράσει τις προδιαγραφές της οδηγίας ASHRAE 90.1-2004 που απαιτεί την μείωση κατά 50% της κατανάλωσης ενέργειας και να λειτουργήσει με βάση τις προδιαγραφές των NZEB. Για αυτό το λόγο χρησιμοποιήθηκαν σύγχρονες τεχνικές μοντελοποίησης και προσομοίωσης της λειτουργίας του κτιρίου, με βάση τις οποίες λήφθηκαν μέτρα αυξημένης ενεργειακής απόδοσης: αυτοματισμοί στον κλιματισμό και τον εξαερισμό, εξαερισμός με τεχνολογία ανάκτησης θερμότητας, φωτιστικά σώματα led χειριζόμενα από συστήματα αυτοματισμού, εκμετάλλευση ηλιακής ακτινοβολίας για φωτισμό και θέρμανση και επιλογή εξοπλισμού πιστοποιημένου με Energy Star. Τέλος για την ηλεκτροπαραγωγή επιλέχθηκαν φωτοβολταϊκά πάνελ.

ix. NREL Research Support Facilities (RSF), USA

Το εν λόγω κτίριο κατασκευάστηκε στο Golden του Colorado το 2010 για να στεγάσει το Κέντρο Ερευνών του Αμερικανικού Υπουργείου Ενέργειας (DOE) και του Εθνικού Φορέα Ανανεώσιμης Ενέργειας των ΗΠΑ (NREL). Έχει συνολική επιφάνεια 20.250 m<sup>2</sup> και απλώνεται σε δύο πτέρυγες οι οποίες ενώνονται μέσω του κτιρίου της υποδοχής και εκεί απασχολούνται 742 υπάλληλοι. Σχεδιάστηκε με βάση τις απαιτήσεις των NZEB και με αρχικό στόχο την 50% επιπλέον εξοικονόμηση ενέργειας σε σχέση με την οδηγία ASHRAE 90.1-2004. Για αυτό το λόγο σχεδιάστηκε ένα πολύ αποδοτικό κτιριακό κέλυφος και προβλέφθηκε ο εσωτερικός σχεδιασμός με βάση την φυσική ροή του αέρα. Επίσης μέσω των παραθύρων αξιοποιείται η ηλιακή ακτινοβολία για φωτισμό και θέρμανση. Για την ηλεκτροπαραγωγή εγκαταστάθηκαν φωτοβολταϊκά πάνελ συνολικής ισχύος 787 kW στην οροφή του κτιρίου και 540 kW στον χώρο στάθμευσης.

Στο παράρτημα επισυνάπτεται φωτογραφικό υλικό για τα 9 πρότυπα κτίρια-πilotους.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΝΖΕΒ**

---



## 4.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα δημιουργηθεί το απαραίτητο υπόβαθρο γνώσεων που απαιτείται, για την κατανόηση και εκπόνηση των απαραίτητων υπολογιστικών διαδικασιών για την αξιολόγηση ενός NZEB.

## 4.2 Δείκτες αξιολόγησης

Η έως σήμερα θεσπισμένη ευρωπαϊκή νομοθεσία δεν προτείνει ούτε επιβάλλει αυστηρούς, συγκεκριμένους δείκτες ή εργαλεία για την αξιολόγηση της ενεργειακής συμπεριφοράς των NZEB. Αντιθέτως, καθιστά τα κράτη μέλη της ΕΕ υπεύθυνα να ορίσουν τους αντίστοιχους μαθηματικούς υπολογιστικούς δείκτες και τις επιτρεπόμενες τιμές τους για την αξιολόγηση των NZEB, παροτρύνοντας τα να εισάγουν έναν αριθμητικό δείκτη κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας μετρημένο σε kWh/(m<sup>2</sup>\*έτος). Θέτει, τέλος, σαν απαίτηση η σχεδόν μηδενική ή πολύ χαμηλή ποσότητα ενέργειας που απαιτείται να συνίσταται σε πολύ μεγάλο βαθμό σε ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές, περιλαμβανομένης της παραγομένης επιτόπου ή πλησίον του κτιρίου.

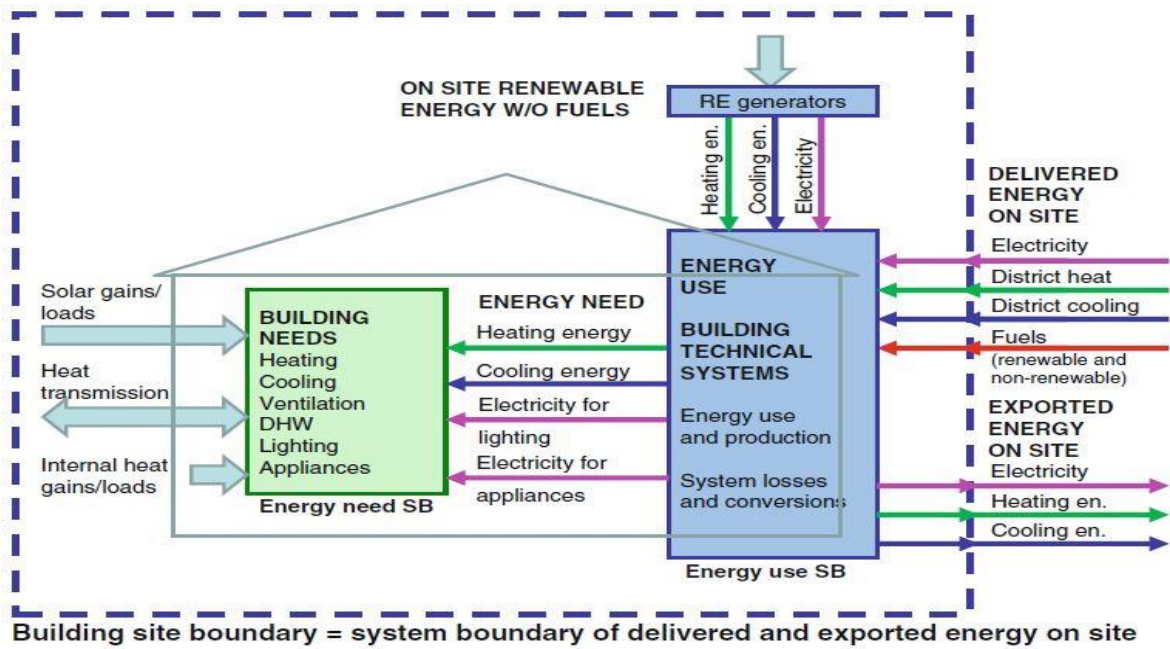
Για την αξιολόγηση των NZEB στην παρούσα εργασία επιλέχθηκαν να χρησιμοποιηθούν οι δύο δείκτες που προτείνει η ομοσπονδία ευρωπαϊών επαγγελματιών στο χώρο της θέρμανσης και του κλιματισμού (REHVA - Federation of European Heating, Ventilation and Air-conditioning Associations), στην δημοσίευσή της με τίτλο «Technical definition for nearly zero energy buildings». (Kurnitski, Technical definition for nearly zero energy buildings, 2013), και οι οποίοι είναι σύμφωνοι με τις απαιτήσεις της ευρωπαϊκής νομοθεσίας.

Έτσι, εισάγονται οι δύο δείκτες EPr (Energy Performance primary) & RERp (Renewable Energy Ratio primary), οι οποίοι περιγράφονται εκτενώς στην συνέχεια.

Πριν την ανάλυση του υπολογισμού των δεικτών αυτών, όμως, θα περιγραφεί η γενικότερη αλληλουχία υπολογισμών που απαιτείται μέχρι να φτάσουμε στην αξιολόγηση ενός NZEB:

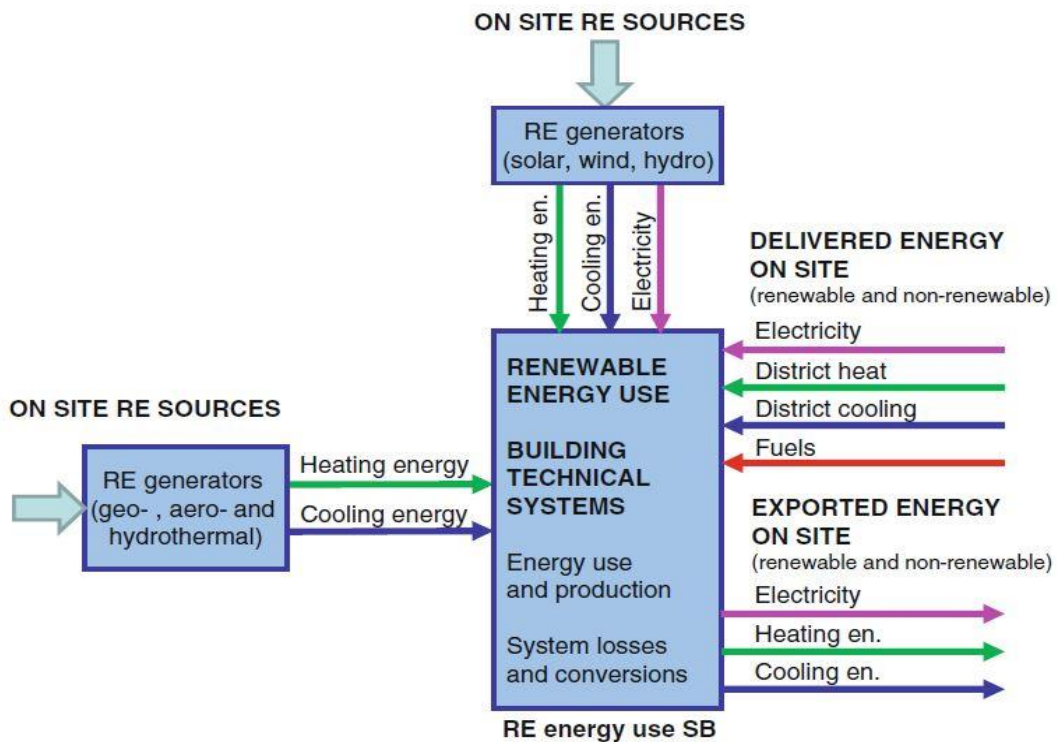
### i. Φυσικά όρια κτιρίου

Αρχικά καθορίζονται τα φυσικά όρια του υπό μελέτη κτιρίου ώστε στη συνέχεια να είναι σαφής η διάκριση μεταξύ εισερχόμενων και εξερχόμενων μεγεθών. Τα φυσικά όρια των NZEB, όπως αυτά καθορίζονται από την ευρωπαϊκή οδηγία prEN 15603:2013, φαίνονται παρακάτω:



Γράφημα 5 Τρία διαφορετικά φυσικά όρια του μελετούμενου συστήματος για την αξιολόγηση της ζήτησης ενέργειας, της κατανάλωσης ενέργειας και του ισοζυγίου διανεμημένης και εξαγόμενης ενέργειας.

Πηγή: (Kurnitski, Technical definition for nearly zero energy buildings, 2013)



Γράφημα 6 Όριο κτιρίου με βάση την κατανάλωση ανανεώσιμης ενέργειας.

Πηγή: (Kurnitski, Technical definition for nearly zero energy buildings, 2013)



## ii. Καταναλώσεις ανά τύπο φορτίου

Στην συνέχεια επιλέγονται οι καταναλώσεις που θα ληφθούν υπόψιν στο ισοζύγιο ενέργειας. Σύμφωνα με την ευρωπαϊκή νομοθεσία, το ισοζύγιο περιλαμβάνει όλες τις καταναλώσεις, με εξαίρεση την κατανάλωση ενέργειας από οικιακές συσκευές, ανελκυστήρες, κυλιόμενες σκάλες και ρευματοδότες, η οποία είναι προαιρετικό να συμπεριληφθεί. Συνολικά, λοιπόν, το ενεργειακό ισοζύγιο αφορά την κατανάλωση ενέργειας για τη θέρμανση, τη ψύξη, τον εξαερισμό, το ζεστό νερό, το φωτισμό και τις διάφορες συσκευές (προαιρετικά).

Αφού έχουν επιλεγεί σωστά τα όρια του κτιρίου και οι καταναλώσεις που θα ληφθούν υπόψιν, μπορεί εύκολα να υπολογιστεί η συνολική κατανάλωση ενέργειας ως εξής:

$$E_{us} = E_{del} - E_{exp} + E_{ren}$$

Σχέση 1 Συνολική Κατανάλωση Ενέργειας

όπου:

$E_{us}$  : η συνολική κατανάλωση ενέργειας (kWh/έτος)

$E_{del}$  : η διανεμημένη ενέργεια από το δίκτυο στο κτίριο (kWh/έτος)

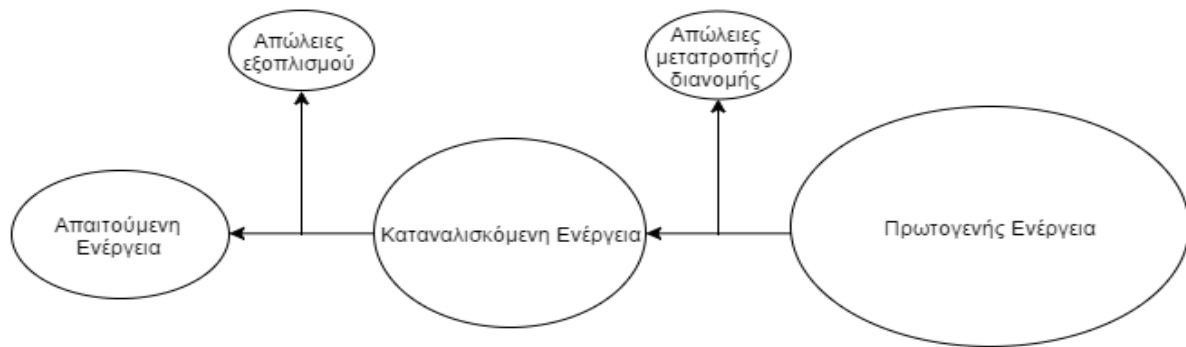
$E_{exp}$  : η εξαγόμενη ενέργεια από το κτίριο στο δίκτυο (kWh/έτος)

$E_{ren}$  : η ανανεώσιμη ενέργεια που παρήχθη στο κτίριο (kWh/έτος)

## iii. Απαιτούμενη ενέργεια, Καταναλισκόμενη ενέργεια, Πρωτογενής ενέργεια

Προς αποφυγήν λανθασμένων υπολογισμών και αποκλίσεων από την πραγματική απόδοση των κτιρίων καλό είναι να γνωρίζει ο αξιολογητής τις διαφορές ανάμεσα στα υπολογιστικά στάδια της ενέργειας που καταναλώνεται στο κτίριο. Έτσι ισχύει:

- Απαιτούμενη ενέργεια (Energy Need): Η ενέργεια που υπολογίζεται ότι απαιτείται για μια συγκεκριμένη λειτουργία/ έναν συγκεκριμένο σκοπό, όπως για παράδειγμα οι kWh/έτος θερμικής ενέργειας που απαιτούνται για την επιθυμητή θέρμανση του κτιρίου.
- Καταναλισκόμενη ενέργεια (Energy Use): Η ενέργεια που καταναλώνεται από τον εξοπλισμό του κτιρίου για να καλυφθεί η απαιτούμενη ενέργεια που αναφέρθηκε πριν. Σε συνέχεια του προηγούμενου παραδείγματος, καταναλισκόμενη ενέργεια είναι η ενέργεια που καταναλώνουν τα θερμαντικά σώματα για να προσδώσουν στον χώρο την απαιτούμενη θερμότητα. Η καταναλισκόμενη ενέργεια προκύπτει, προφανώς, από την απαιτούμενη ενέργεια και τον συντελεστή απόδοσης του αντίστοιχου εξοπλισμού που χρησιμοποιείται.
- Πρωτογενής ενέργεια (Primary Energy): Ως πρωτογενής ενέργεια ορίζεται η ενέργεια που ενσωματώνεται-εμπεριέχεται στις πηγές και η οποία περιλαμβάνει την εξαγωγή της και την επεξεργασία της ώστε να γίνει διαθέσιμη για εμπόριο, κατανάλωση ή μετασχηματισμό (Øvergaard, 2008). Υπολογιστικά προκύπτει από την τελική καταναλισκόμενη ενέργεια και τον αντίστοιχο συντελεστή μετατροπής PEF/f, όπως αναλύεται στο επόμενο βήμα της διαδικασίας.



Γράφημα 7 Σχηματική παρουσίαση των υπολογιστικών σταδίων ενέργειας

iv. Συντελεστές μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια (PEF/f)

Για να αναχθεί η καταναλισκόμενη ενέργεια ενός κτιρίου σε πρωτογενή ενέργεια, εισάγεται η έννοια των συντελεστών μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια (primary energy factors, PEF ή f). Οι συντελεστές αυτοί υπολογίζονται στην διεθνή βιβλιογραφία και είναι δεδομένοι για κάθε τύπο καυσίμου και ενεργειακού πόρου. Αποτελούνται από μία συνιστώσα που αφορά την ανανεώσιμη ενέργεια και μία που αφορά στην μη ανανεώσιμη ενέργεια. Δηλαδή, ισχύει πάντα:

$$f_{tot,i} = f_{ren,i} + f_{nren,i}$$

Σχέση 2 Συνιστώσες συντελεστή μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια

όπου:

$f_{ren,i}$ : συνιστώσα ανανεώσιμης ενέργειας του f

$f_{nren,i}$ : συνιστώσα μη ανανεώσιμης ενέργειας του f

Στην περίπτωση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ο υπολογισμός του f είναι πιο σύνθετος, καθώς το ενεργειακό μίγμα που χρησιμοποιείται για την ηλεκτροπαραγωγή διαφοροποιείται σε ετήσια βάση και ανάλογα με την ενεργειακή στρατηγική του κάθε κράτους.

Γενικά ισχύει:

$$\text{Πρωτογενής ενέργεια} = \text{Καταναλισκόμενη ενέργεια} * f$$

Σχέση 3 Αναγωγή καταναλισκόμενης ενέργειας σε πρωτογενή

Αναλυτική παρουσίαση των τιμών των συντελεστών πρωτογενούς ενέργειας που χρησιμοποιούνται στην εργασία και της διαδικασίας που ακολουθείται για τον υπολογισμό του συντελεστή πρωτογενούς ενέργειας της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται στην παράγραφο 4.3.

v. Δείκτης πρωτογενούς ενέργειας (EPp)

Στην συνέχεια υπολογίζουμε τον πρώτο δείκτη αξιολόγησης NZEB, τον EPp (Energy Performance primary) ή δείκτη πρωτογενούς ενέργειας. Ο EPp συνοψίζει όλη την διανεμημένη και εξαγόμενη ενέργεια (ηλεκτρισμός, απομακρυσμένη θέρμανση/ψύξη, καύσιμα) σε έναν απλό δείκτη. Η μη ανανεώσιμη πρωτογενής ενέργεια  $E_{p,nren}$  και ο δείκτης EPp υπολογίζονται από την διανεμημένη και την εξαγόμενη ενέργεια με χρήση των εθνικών συντελεστών πρωτογενούς ενέργειας ως εξής:

$$E_{p,nren} = \sum_i (E_{del,i} * f_{del,nren,i}) - \sum_i (E_{exp,i} * f_{exp,nren,i})$$

**Σχέση 4 Μη ανανεώσιμη πρωτογενής ενέργεια  $E_{p,nren}$**

όπου:

$E_{p,nren}$  : η μη ανανεώσιμη πρωτογενής ενέργεια (kWh/έτος)

$E_{del,i}$  : η διανεμημένη ενέργεια στο κτίριο για τύπο ενέργειας i (kWh/έτος)

$f_{del,nren,i}$  : ο συντελεστής μη ανανεώσιμης πρωτογενούς ενέργειας για την διανεμημένη ενέργεια τύπου i

$E_{exp,i}$  : η εξαγόμενη ενέργεια από το κτίριο για τύπο ενέργειας i (kWh/έτος)

$f_{exp,nren,i}$  : ο συντελεστής μη ανανεώσιμης πρωτογενούς ενέργειας για την εξαγόμενη ενέργεια τύπου i, ο οποίος είναι ίδιος με αυτόν της διανεμημένης ενέργειας ( $f_{del,nren,i}$ ), αν δεν οριστεί αλλιώς.

$$EPp = \frac{E_{p,nren}}{A_{net}}$$

**Σχέση 5 Δείκτης EPp**

όπου :

$EP_p$  : ο δείκτης πρωτογενούς ενέργειας (kWh/(έτος\*m<sup>2</sup>))

$E_{p,nren}$  : η μη ανανεώσιμη πρωτογενής ενέργεια (kWh/έτος)

$A_{net}$  : η χρηστική επιφάνεια του κτιρίου (m<sup>2</sup>) σύμφωνα με εθνική νομοθεσία

Ο ορισμός των NZEB απαιτεί ο  $EP_p$  να είναι ακριβώς ίσος με 0 kWh/m<sup>2</sup>έτος. Αν ο  $EP_p$  είναι μικρότερος του 0 έχουμε ένα κτίριο θετικού ισοζυγίου, ενώ αν η τιμή του είναι σχεδόν μηδέν, το κτίριο χαρακτηρίζεται ως nZEB.

vi. Μερίδιο χρήσης ανανεώσιμης ενέργειας (RERp)

Έπειτα υπολογίζουμε τον δεύτερο δείκτη αξιολόγησης NZEB, τον Renewable Energy Ratio primary (RERp) ή μερίδιο χρήσης ανανεώσιμης ενέργειας. Στον υπολογισμό πρέπει να ληφθούν υπόψιν όλες οι ΑΠΕ, στις οποίες περιλαμβάνονται η ηλιοθερμική, η ηλιακή ηλεκτρική, η αιολική, η υδροηλεκτρική, τα ανανεώσιμα καύσιμα, η ενέργεια που ανακτάται από αντλίες θερμότητας και η ενέργεια στην οποία ισοδυναμεί η φυσική ψύξη. Αν υπάρχει ανανεώσιμη ενέργεια που αντιστοιχεί στο κτίριο αλλά παράγεται εκτός των ορίων του συστήματός μας, τότε λαμβάνεται και αυτή υπόψιν. Αξίζει να αναφερθεί ότι η ενέργεια που αντιστοιχεί στην παθητική θέρμανση δεν συνυπολογίζεται, καθώς αυτή ανήκει στις ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου και όχι στις καταναλώσεις του.

Ο RER υπολογίζεται σε σχέση με την συνολική πρωτογενή ενέργεια που καταναλώνεται στο κτίριο. Θεωρούμε ότι η εξαγόμενη ενέργεια αναπληρώνει πλήρως την διανεμόμενη ενέργεια από το δίκτυο, ότι δηλαδή υποκαθιστά το ενεργειακό μίγμα του δικτύου, είτε αυτό είναι δίκτυο ηλεκτροδότησης είτε είναι δίκτυο τηλεθέρμανσης ή τηλεψύξης. Για την ανανεώσιμη ενέργεια που παράγεται στο κτίριο θεωρούμε ότι ο συνολικός συντελεστής πρωτογενούς ενέργειας είναι ίσος με τη μονάδα.

Τελικά ο RER πρωτογενούς ενέργειας υπολογίζεται βάση της παρακάτω σχέσης:

$$RERp = \frac{\sum_i E_{ren,i} + \sum_i ((f_{del,tot,i} - f_{del,nren,i}) * E_{del,i})}{\sum_i E_{ren,i} + \sum_i (E_{del,i} * f_{del,tot,i}) - \sum_i (E_{exp,i} * f_{exp,tot,i})}$$

Σχέση 6 Δείκτης RERp

όπου:

RER<sub>p</sub>: το μερίδιο ανανεώσιμης ενέργειας στην συνολική πρωτογενή ενέργεια

E<sub>ren,i</sub>: η παραγόμενη ανανεώσιμη ενέργεια τύπου i (kWh/έτος)

f<sub>del,tot,i</sub>: ο συνολικός συντελεστής πρωτογενούς ενέργειας για την διανεμιμένη ενέργεια τύπου i

f<sub>del,nren,i</sub>: ο συντελεστής μη ανανεώσιμης πρωτογενούς ενέργειας τύπου i

f<sub>exp,tot,i</sub>: ο συνολικός συντελεστής πρωτογενούς ενέργειας της εξαγόμενης ενέργειας τύπου i

E<sub>del,i</sub>: η διανεμιμένη ενέργεια στο κτίριο για τύπο ενέργειας i (kWh/έτος)

E<sub>exp,i</sub>: η εξαγόμενη ενέργεια από το κτίριο για τύπο ενέργειας i (kWh/έτος)



Γράφημα 8 Σχηματική Παρουσίαση αλληλουχίας υπολογισμών για την αξιολόγηση των NZEB

### 4.3 Συντελεστές Μετατροπής σε Πρωτογενή Ενέργεια

Σε συνέχεια της προηγούμενης παραγράφου, παρουσιάζονται παρακάτω οι τιμές των συντελεστών μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια που θεωρήθηκαν κατά την αξιολόγηση των NZEB και καταχωρήθηκαν στη βάση δεδομένων του εργαλείου για τον κάθε τύπο καυσίμου.

**Πίνακας 11 Συντελεστές μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια ανά μονάδα καυσίμου**

Καύσιμο	$f_{ren}$	$f_{nren}$	$f_{total}$
Φυσικό Αέριο	1,09	0	1,09
Πετρέλαιο	1,1	0	1,1
Τηλεθέρμανση	0,7	0	0,7
Πέλετ	0,2	1	1,2
Ξυλεία	0,2	1	1,2

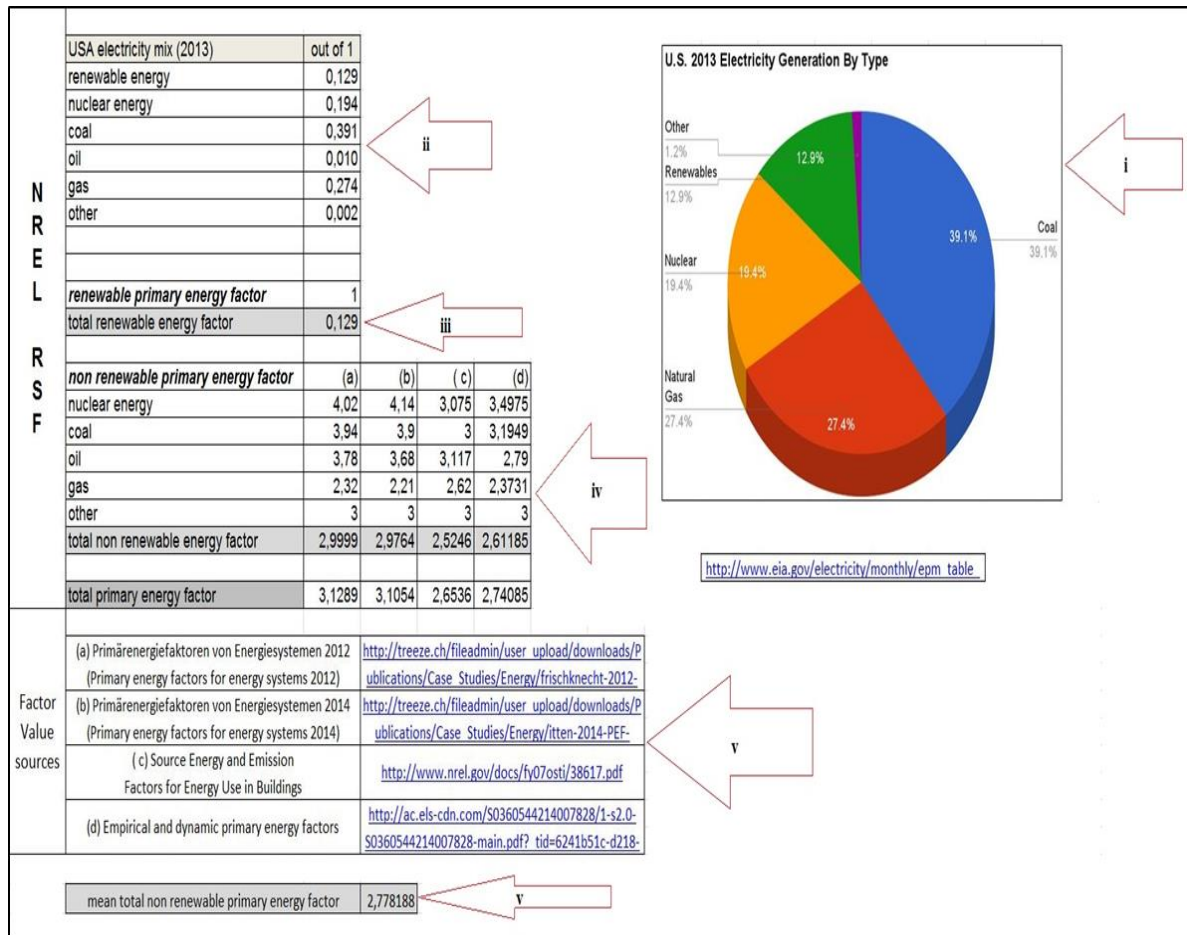
Πηγή: (Wilby, Gonzalez, & Diaz, 2014), (Stoffregen & Schuller, 2014) (Surmeli-Anac, Hermelink, Jager, & Groenenberg, 2014)

Στην περίπτωση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ο υπολογισμός του  $f$  είναι πιο σύνθετος, καθώς το ενεργειακό μίγμα που χρησιμοποιείται για την ηλεκτροπαραγωγή διαφοροποιείται σε ετήσια βάση και ανάλογα με την ενεργειακή στρατηγική του κάθε κράτους. Συνεπώς δεν υπάρχει δεδομένος  $f$  για τον υπολογισμό της πρωτογενούς ηλεκτρικής ενέργειας αλλά αυτός πρέπει να υπολογίζεται κάθε φορά ανεξάρτητα. Η διαδικασία υπολογισμού του που ακολουθήθηκε στην μελέτη των NZEB της παρούσας εργασίας είναι η εξής:

- i. Εντοπισμός ενεργειακού μίγματος ηλεκτροπαραγωγής του δεδομένου κράτους το δεδομένο έτος
- ii. Ανάλυση των συνιστωσών του ενεργειακού μίγματος σε ΑΠΕ και συμβατικές
- iii. Η συνιστώσα ανανεώσιμης ενέργειας του  $f$  της ηλεκτρικής ενέργειας είναι ίση με το ποσοστό των ΑΠΕ επί του συνολικού ενεργειακού μίγματος πολλαπλασιασμένος με τη μονάδα, που είναι ο συντελεστής  $f_{ren}$  για όλες τις ΑΠΕ
- iv. Η συνιστώσα μη ανανεώσιμης ενέργειας του  $f_{nren}$  είναι ίση με το άθροισμα των συμβατικών καυσίμων πολλαπλασιασμένων με τους αντίστοιχους συντελεστές τους για ηλεκτροπαραγωγή  $f$ . (Wilby, Gonzalez, & Diaz, 2014) (Stoffregen & Schuller, 2014) (Surmeli-Anac, Hermelink, Jager, & Groenenberg, 2014)
- v. Όπου εντοπίστηκαν διαφορετικές τιμές των  $f$  των συμβατικών καυσίμων που χρησιμοποιούνται για την ηλεκτροπαραγωγή, ο τελικός συντελεστής  $f_{nren}$  που χρησιμοποιείται είναι μία μέση τιμή των τιμών που υπολογίστηκαν.

Τελικά, λοιπόν, προκύπτουν οι δύο συνιστώσες του συντελεστή πρωτογενούς ενέργειας  $f$  που χρειάζεται για να αναχθεί η ηλεκτρική ενέργεια που διανέμεται στο κτίριο σε πρωτογενή.

Ακολουθεί ενδεικτικό παράδειγμα υπολογισμού του συντελεστή πρωτογενούς ενέργειας για την ηλεκτρική ενέργεια στις ΗΠΑ το έτος 2013.



Γράφημα 9 Υπολογισμός συντελεστή πρωτογενούς ενέργειας για την ηλεκτρική ενέργεια στις ΗΠΑ το 2013

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ ΓΙΑ  
ΤΗΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ ΜΗΔΕΝΙΚΟΥ  
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ**

---





## **5.1 Εισαγωγή**

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι ανάπτυξη ενός εργαλείου κατάλληλου να αξιολογήσει την επίδοση των Κτιρίων Μηδενικού Ενεργειακού Ισοζυγίου με βάση τους δύο δείκτες RERp και EPr που εισήχθησαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Για το σκοπό αυτό αναπτύχθηκε υπολογιστικό εργαλείο στην πλατφόρμα Microsoft Excel του λογισμικού Microsoft Office. Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει αναλυτική παρουσίαση του εργαλείου αυτού και του τρόπου που λειτουργεί.

## **5.2 Σύστημα Μονάδων**

Το προτεινόμενο σύστημα μονάδων για όλες τις καταναλώσεις και παραγωγές ενέργειας που θα εισαχθούν στο εργαλείο είναι το kWh/έτος. Από τον ορισμό του NZEB υποχρεούμαστε όλα τα μεγέθη να αφορούν τις καταναλώσεις του κτιρίου σε βάθος ενός έτους.

## **5.3 Εισαγωγή Δεδομένων**

Αρχικά θα αναλυθούν τα δεδομένα του υπό αξιολόγηση κτιρίου που πρέπει να εισάγει ο χρήστης. Παρακάτω παρουσιάζεται το εργαλείο που αναπτύχθηκε με επισημασμένη την περιοχή εισόδου δεδομένων.

Building's Name								
Building's Location Country								
Building's Useful Floor Area (m <sup>2</sup> )								
<b>Energy Balance</b>								
Electricity Use per Consumption Type	kWh/a							
Space Heating								
DHW								
Cooling								
Fans & Pumps								
Lighting								
Plug Loads & Equipment								
Elevators								
Other (modifiable consumption type)								
Other (modifiable consumption type)								
Total Electricity Use	0,00							
Electricity Produced On Site								
Heat Produced On Site								
Exchanged Grid Electricity	0,00							
Delivered Fuel <choose...>								
Primary Energy (Ep,nren)	0,00							
<b>EPp &amp; RERp</b>	Kwh/(a)	Pef			EPp		RERp	
		nren	ren	total	nren	A,ren	B,tot	
Electricity Produced On Site	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	
Heat Produced On Site	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	
Exchanged Grid Electricity	0,00	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	
Delivered Fuel <choose...>	0,00	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	
					#DIV/0!	#DIV/0!		

Γράφημα 10 Περιοχή εισαγωγής δεδομένων στο υπολογιστικό εργαλείο για την αξιολόγηση των NZEB

i. Ονομασία Κτιρίου

Ο χρήστης μπορεί να εισάγει προαιρετικά την ονομασία ή τον κωδικό του κτιρίου που αξιολογεί.

ii. Χώρα Εγκατάστασης Κτιρίου

Ο χρήστης πρέπει να επιλέξει την χώρα στην οποία βρίσκεται το υπό αξιολόγηση κτίριο. Επιλέγοντας μία χώρα από αυτές που έχουν ήδη καταχωρηθεί στο εργαλείο θα συμπληρωθούν αυτόματα στο εργαλείο οι συντελεστές μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια, που έχουν υπολογιστεί σύμφωνα με την διαδικασία που περιγράφεται παραπάνω.

Επειδή όπως προαναφέρθηκε οι συντελεστές μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια διαφοροποιούνται ανά έτος,στη βάση δεδομένων του υπολογιστικού εργαλείου κάποιες χώρες έχουν καταχωρηθεί περισσότερες από μία φορές και συνοδεύονται από το έτος στο οποίο αναφερόμαστε. Έτσι είναι προφανές ότι επιλέγοντας την ίδια χώρα αλλά για διαφορετικό έτος θα συμπληρωθούν αυτόματα διαφορετικοί συντελεστές.

Τέλος έχει προβλεφθεί και η εισαγωγή διαφορετικής χώρας από αυτές της βάσης δεδομένων. Στην περίπτωση αυτή ο χρήστης προτρέπεται να εισάγει χειροκίνητα το όνομα της χώρας και τους συντελεστές μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια που αντιστοιχούν στην επιθυμητή χώρα το επιθυμητό έτος.

Έχουν προβλεφθεί και εισαχθεί στη βάση δεδομένων οι εξής επιλογές:

➤ Γερμανία [2012]	Building's Name	
	Building's Location Country	
	Building's Useful Floor Area (m <sup>2</sup> )	
➤ Γερμανία [2010]	<b>Energy Balance</b>	
	Electricity Use per Consumption Type	kW
	Space Heating	
	DHW	
	Cooling	
	Fans & Pumps	
➤ Ολλανδία [2011]		
➤ Ιταλία [2009]	Building's Name	
	Building's Location Country	
	Building's Useful Floor Area (m <sup>2</sup> )	<choose...>
➤ ΗΠΑ [2013]	<b>Energy Balance</b>	
	Electricity Use per Consumption Type	
	Space Heating	
	DHW	
➤ ΗΠΑ [2010]		
➤ ΗΠΑ [2009]		
	Other ->	Specify Country here
➤ ΗΠΑ [2008]	(m <sup>2</sup> )	
	<b>Energy Balance</b>	
	Electricity Use per Consumption Type	kW
	Space Heating	
	DHW	
➤ ΗΠΑ [2004]		
➤ Άλλη		

Γράφημα 11 Διαδικασία εισαγωγής της χώρας στην οποία βρίσκεται το κτίριο

iii. Χρηστική επιφάνεια του κτιρίου (m<sup>2</sup>) σύμφωνα με την εθνική νομοθεσία

iv. Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά τύπο φορτίου

Στο πεδίο αυτό ο χρήστης πρέπει να εισάγει τις καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας του κτιρίου ανά τύπο φορτίου. Στα διαθέσιμα πεδία προβλέπονται καταναλώσεις για:

- Θέρμανση
- Ζεστό Νερό
- Ψύξη
- Ανεμιστήρες και Αντλίες
- Φωτισμό
- Συσκευές και Εξοπλισμός
- Ανελκυστήρες
- Λοιπά (πιθανή κατανάλωση άλλου τύπου)

Οι καταναλώσεις πρέπει να εισαχθούν υπολογισμένες σε kWh/έτος και αφορούν την τελική ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται στο κτίριο, αυτή δηλαδή που καταγράφεται από τους επί τόπου μετρητές ενέργειας.

#### v. Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας στο κτίριο

Στο πεδίο αυτό ο χρήστης πρέπει να εισάγει την ηλεκτρική ενέργεια που παράχθηκε στο κτίριο σε χρονικό διάστημα ενός έτους. Εδώ θα συμπληρωθεί η ηλεκτρική ενέργεια σε kWh/έτος που παράγεται τα φωτοβολταϊκά πάνελ, οι γεννήτριες συμπαραγωγής, οι αιολικές γεννήτριες κ.ά.

#### vi. Παραγωγή θερμότητας στο κτίριο

Στο πεδίο αυτό ο χρήστης πρέπει να εισάγει την ποσότητα θερμότητας που παράχθηκε στο κτίριο σε χρονικό διάστημα ενός έτους. Εδώ θα συμπληρωθεί η θερμική ενέργεια σε kWh/έτος που παράγεται οι γεννήτριες συμπαραγωγής ή οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας αλλά όχι η παθητική θέρμανση που υπολογίζεται ότι θα προσδώσει στο κτίριο η ηλιακή ακτινοβολία. Αυτό συμβαίνει διότι η παθητική θέρμανση του κτιρίου συγκαταλέγεται στα μέτρα ενεργειακής απόδοσης που έχουν εφαρμοστεί σε αυτό και αποτελεί μορφή ενέργειας που δεν μπορεί να εισαχθεί από δίκτυο ενέργειας ή να εξαχθεί σε δίκτυο ενέργειας. (Kurnitski, Technical definition for nearly zero energy buildings, 2013)

#### vii. Διανεμημένο καύσιμο

Στο πεδίο αυτό ο χρήστης πρέπει να εισάγει την κατανάλωση λοιπών καυσίμων τα οποία χρησιμοποιήθηκαν είτε για ηλεκτροπαραγωγή είτε για θέρμανση. Έχουν προβλεφθεί και εισαχθεί στη βάση δεδομένων μή ανανεώσιμα και ανανεώσιμα καύσιμα καθώς και η επιλογή για την χειροκίνητη εισαγωγή καυσίμου, με τρόπο παρόμοιο με αυτόν για την χειροκίνητη εισαγωγή χώρας.

Προβλέπονται καταναλώσεις για :

- Φυσικό Αέριο
- Πετρέλαιο
- Τηλεθέρμανση
- Πέλλετ
- Ξυλεία
- Άλλο

Exchanged Grid Electricity	0,00
Delivered Fuel	VALUE!
Primary Energy	VALUE!
Electricity Produced	0,00
Heat Produced On Site	0,00
Exchanged Grid Electricity	0,00
Delivered Fuel	0,00

Exchanged Grid Electricity	0,00
Delivered Fuel	VALUE!
Delivered Natural Gas	0,00
Delivered Heating Oil	0,00
District Heating	0,00
Wood Pellets	0,00
Timber	0,00
Delivered Fuel	0,00
Heat Produced On Site	0,00
Exchanged Grid Electricity	0,00
Delivered Fuel	0,00

Γράφημα 12 Διαδικασία εισαγωγής της κατανάλωσης καυσίμου του κτιρίου

## 5.4 Υπολογιστική Διαδικασία

Μετά την σωστή εισαγωγή των δεδομένων από τον χρήστη αξιολογητή το εργαλείο αυτόματα υπολογίζει τις επιθυμητές παραμέτρους. Ακολουθεί γράφημα με ενδεικτικό υπολογισμό για το κτίριο The Putney School. Τα επισημασμένα πεδία και οι τιμές που υπολογίζονται σε αυτά επεξηγούνται ακριβώς παρακάτω:

Building's Name	The Putney School						
Building's Location Country	USA [2009]						
Building's Useful Floor Area (m <sup>2</sup> )	1561						
<b>Energy Balance</b>							
<b>Electricity Use per Consumption Type</b>	<b>kWh/a</b>						
Space Heating	23655,00						
DHW	3909,00						
Cooling							
Fans & Pumps							
Lighting	13174,00						
Plug Loads & Equipment	4585,00						
Elevators							
Fans	3051,00						
Other (modifiable consumption type)							
<b>Total Electricity Use</b>	<b>48374,00</b>						
Electricity Produced On Site	51371,00						
Heat Produced On Site							
Exchanged Grid Electricity	<b>-2997,00</b>						
Delivered Fuel <choose...>							
Primary Energy (Ep,nren)	<b>-8680,18</b>						
<b>EPp &amp; RERp</b>							
	Kwh/a	Pef			EPp	RERp	
		nren	ren	total	nren	A,ren	B,tot
Electricity Produced On Site	51371,00	0,00	1,00	1,00	0,00	51371,0	51371,0
Heat Produced On Site	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00
Exchanged Grid Electricity	-2997,00	2,896289	0,111	3,01	-8680,18	-332,67	-9012,85
Delivered Fuel <choose...>	0,00	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
					<b>-5,56</b>	<b>121,28%</b>	

Γράφημα 13 Υπολογισμοί που επιτελεί το εργαλείο αξιολόγησης NZEB

i. Συνολική τελική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (Total Electricity Use)

Το άθροισμα των επιμέρους ανά τύπο φορτίου καταναλώσεων ηλεκτρικής ενέργειας όπως αυτές μετρήθηκαν από τοπικούς μετρητές.

ii. Ισοζύγιο ηλεκτρικής ενέργειας (exchanged grid electricity)

Η τελική ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που ανταλλάχθηκε με το δίκτυο. Είναι η διαφορά:

$$\text{Exchanged grid electricity} = \text{Total electricity use} - \text{electricity produced on site}$$

Σχέση 7 Τελική ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που ανταλλάχθηκε με το δίκτυο

Εξ' ορισμού, η διαφορά αυτή θα είναι μία θετική τιμή αν η συνολική τελική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας είναι μεγαλύτερη της ηλεκτρικής ενέργειας που παρήχθη στο κτίριο και αρνητική αν το κτίριο παρήγαγε περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια από αυτήν που κατανάλωσε στο διάστημα ενός έτους. Στην πρώτη περίπτωση το κτίριο έχει απορροφήσει ενέργεια από το δίκτυο ηλεκτρισμού (θετικό πρόσημο) και στην δεύτερη έχει εγχύσει ενέργεια σε αυτό(αρνητικό πρόσημο),μιλώντας πάντα για το ετήσιο ισοζύγιο.

iii. Υπολογισμός μη ανανεώσιμης πρωτογενούς ενέργειας  $E_{p,nren}$

Στο πεδίο Primary Energy  $E_{p,nren}$  εμφανίζεται η τιμή της μη ανανεώσιμης πρωτογενούς ενέργειας όπως αυτή ορίζεται από τη σχέση 4 και ανάλογα με τον αν έχει επιτευχθεί ο στόχος NZEB αλλάζει το χρώμα του κελιού σε πράσινο ή κόκκινο, για να γνωρίζει εύκολα ο αξιολογητής αν το εν λόγω κτίριο λειτουργεί τελικά σαν NZEB με το παρόν ισοζύγιο ή αν χρειάζεται να προτείνει δράσεις και τροποποιήσεις για την βελτίωση της απόδοσής του.

iv. Υπολογισμός δεικτών EPr & RERp

Με βάση τις σχέσεις 5, 6 που έχουν αναλυτικά δοθεί στο κεφάλαιο 4 υπολογίζονται οι δείκτες EPr και RERp. Ανάλογα με τον αν έχει επιτευχθεί ο στόχος NZEB αλλάζει το χρώμα του κελιού EPr σε πράσινο ή κόκκινο, για να γνωρίζει εύκολα ο αξιολογητής αν το εν λόγω κτίριο λειτουργεί τελικά σαν NZEB με το παρόν ισοζύγιο ή αν χρειάζεται να προτείνει δράσεις και τροποποιήσεις για την βελτίωση της απόδοσής του.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΣΕ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΑ  
ΠΡΟΤΥΠΑ ΚΤΙΡΙΑ ΜΗΔΕΝΙΚΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ**

---





## 6.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της παραπάνω μεθοδολογίας σε 4 από τα 9 επιλεγμένα κτίρια πιλότους. Εξηγείται ο υπολογισμός των συντελεστών μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια και παρουσιάζονται οι τιμές των δύο δεικτών EPr και RERp που προέκυψαν. Επίσης παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας που έγινε για τα κτίρια αυτά όσο αφορά τη σχέση μεταξύ των δύο δεικτών που μελετούμε και των καταναλώσεων του κτιρίου. Τέλος παρουσιάζεται η ανάλυση ευαισθησίας που έγινε για τα κτίρια αυτά όσο αφορά τη σχέση μεταξύ των δύο δεικτών που μελετούμε και του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας U του κτιρίου και σχολιάζονται τα αποτελέσματα.

## 6.2 Εφαρμογή μεθοδολογίας στα κτίρια πιλότους

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα που εξήχθησαν από το υπολογιστικό εργαλείο για τέσσερα από τα εννέα πρότυπα κτίρια- πιλότους, τα οποία διαθέτουν πλήρη και συνεκτικά δεδομένα όσο αφορά την ενεργειακή τους συμπεριφορά. Επίσης παρουσιάζεται ο αναλυτικός υπολογισμός του αντίστοιχου συντελεστή μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια για το κάθε κτίριο και για το αντίστοιχο έτος.

Πριν την παρουσίαση των αποτελεσμάτων παρουσιάζονται και επεξηγούνται, στον πίνακα που ακολουθεί, οι τύποι φορτίων που εντοπίστηκαν στα πρότυπα κτίρια – πιλότους.

Πίνακας 12 Τύποι φορτίου που εντοπίζονται στα υπό μελέτη κτίρια

Τύπος Φορτίου	Επεξήγηση	Σχόλια
Space Heating	Θέρμανση	(αντλίες θερμότητας κ.ά.)
DHW - Domestic How Water	ZNX – Ζεστό Νερό Χρήσης	
Cooling	Ψύξη	μηχανική (με αντλίες θερμότητας κ.ά.)
Lighting	Φωτισμός	
Fans	Ανεμιστήρες	συμπεριλαμβανομένου και του εξαερισμού
Plug Load & Equipment	Συσκευές & εξοπλισμός	συσκευές σε ρευματοδότες & εξοπλισμός
Other	Λοιπές καταναλώσεις	ανελευστήρες κ.ά.

i. Herten, Germany

Μετά την εισαγωγή των δεδομένων του κτιρίου στο εργαλείο προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα:

Energy Balance							
	kWh/(a)						
Energy Use	18900,50						
Energy Need							
Sum of Electricity	18900,50						
Sum of Electricity Produced	19827,50						
Delivered Electricity	-927,00						
Primary Energy	-2387,40						
EPP & RERp		Pef			EPp	RERp=A/B	
	kWh/(a)	nren	ren	total	nren	A,ren	B,tot
On Site PV Power (100% electricity)	19827,50		1,00	1,00	0,00	19827,50	19827,50
Delivered Grid Electricity, on Site							
Exported Electricity, on Site	927,00	2,58	0,23	2,82	2387,40	211,36	2609,88
					-4,64	115,16%	
Measured Timeframe		01/01/2012-31/12/2012					

Γράφημα 14 Αξιολόγηση του κτιρίου Herten, Germany

Οι συντελεστές μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια για την Γερμανία το 2012 προκύπτουν ως εξής:

<b>H e r t e n</b>	Germany electricity mix (2012)	out of 1			
	renewable energy	0,228			
	nuclear energy	0,158			
	brown coal	0,255			
	black coal	0,185			
	natural gas	0,121			
	fuel,pump storage,other	0,053			
	<b>renewable primary energy factor</b>	1			
	total renewable energy factor	0,228			
	<b>non renewable primary energy factor</b>	(a)	(b)	(c)	(d)
	nuclear energy	4,02	4,14	3,075	3,4975
	brown coal	3,94	3,9	3	3,1949
	black coal	3,94	3,87	3,09	3,1949
natural gas	2,32	2,21	2,627	2,3731	
fuel,pump storage,other	3,15	3	3,117	2,7	
total non renewable energy factor	2,81643	2,79098	2,30557	2,38861	
total primary energy factor	3,04443	3,01898	2,53357	2,61661	
mean total non renewable primary energy factor	2,5754				

Γράφημα 15 Υπολογισμός συντελεστών πρωτογενούς ενέργειας Γερμανία 2012

ii. NaturaliaBau, Italy

Μετά την εισαγωγή των δεδομένων του κτιρίου στο εργαλείο προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα:

Energy Balance	kWh/(a)						
Energy Use	16941,00						
Space Heating	1512,00						
DHW	763,00						
Cooling	4475,00						
Free Cooling							
Mechanical Cooling	4475,00						
Lighting	414,00						
Other	9777,00						
Sum of Electricity	16941,00						
Sum of Electricity Produced	25515,00						
Delivered Electricity	-8574,00						
Primary Energy	-18862,80						
EPP & RERp	kWh/(a)	Pef			EPp	RERp=A/B	
		nren	ren	total	nren	A,ren	B,tot
On Site Electricity generation	25515,00		1	1	0	25515,00	25515,00
Exported electricity, On Site	8574,00	2,2	0,21	2,41	18862,80	1800,54	20663,34
					-24,70		525,90%
<i>Simulation</i>							

Γράφημα 16 Αξιολόγηση του κτιρίου NaturaliaBau, Italy

Οι συντελεστές μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια για την Ιταλία το 2009 προκύπτουν ως εξής:

<b>N a t u r a l i a</b>	Italy electricity mix (2009)	out of 1			
	renewable energy	0,21			
	coal	0,12			
	import	0,14			
	other fuels	0,05			
	oil	0,05			
	natural gas	0,44			
	<b>renewable primary energy factor</b>	1			
	<b>total renewable energy factor</b>	0,21			
<b>B a u  I T</b>	<b>non renewable primary energy factor</b>	(a)	(b)	(c)	(d)
	coal	3,94	3,9	3	3,1949
	import (mostly france-switzerland)	2,97	2,97	2,97	2,97
	other fuels	3	3	3	3
	oil	3,78	3,68	3,117	2,79
	natural gas	2,32	2,21	2,627	2,3731
	<b>total non renewable energy factor</b>	<b>2,2484</b>	<b>2,1902</b>	<b>2,23753</b>	<b>2,13285</b>
	<b>total primary energy factor</b>	<b>2,4584</b>	<b>2,4002</b>	<b>2,44753</b>	<b>2,34285</b>
	mean total non renewable primary energy factor	2,202246			

Γράφημα 17 Υπολογισμός συντελεστών πρωτογενούς ενέργειας Ιταλία 2009

iii. Oak Ridge National Laboratory Building 3156

Μετά την εισαγωγή των δεδομένων του κτιρίου στο εργαλείο προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα:

Energy Balance	kWh/(a)						
Energy Use	64960,00						
Space Heating	19100,000						
DHW	1640,00						
Lighting	17060,00						
Plug Load & Equipment	17800,00						
Mechanical Cooling	7740,00						
Fans	1620,00						
Sum Of Electricity	64960,00						
Sum Of Electricity Produced	68000,00						
Delivered Electricity	-3040,00						
Primary Energy	-8804,72						
EPP & RERp	kWh/(a)	Pef			EPp	RERp=A/B	
		nren	ren	total	nren	A,ren	B,tot
On Site Electricity Generation	68000,00		1,00	1,00	0,00	68000,00	68000,00
Delivered Grid Electricity, On site							
Exported Grid Electricity, On Site	3040,00	2,90	0,11	3,01	8804,72	337,44	9142,16
					-13,66	115,53%	
<i>Measured Timeframe 01/01/2009-31/12/2009</i>							

Γράφημα 18 Αξιολόγηση του κτιρίου Oak Ridge Nat. Lab. Building 3156, USA

Οι συντελεστές μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια για τις ΗΠΑ το 2009 προκύπτουν ως εξής:

<b>O a k  R i d g e</b>	USA electricity mix (2009)	out of 1			
	renewable energy	0,111			
	nuclear energy	0,198			
	coal	0,452			
	oil	0,012			
	gas	0,227			
	other	0,000			
	<b>renewable primary energy factor</b>	1			
	<b>total renewable energy factor</b>	0,111			
	<b>non renewable primary energy factor</b>	(a)	(b)	(c)	(d)
	nuclear energy	4,02	4,14	3,075	3,4975
	coal	3,94	3,9	3	3,1949
	oil	3,78	3,68	3,117	2,79
	gas	2,32	2,21	2,62	2,3731
	other	3	3	3	3
	<b>total non renewable energy factor</b>	<b>3,14946</b>	<b>3,12902</b>	<b>2,59739</b>	<b>2,70929</b>
	<b>total primary energy factor</b>	<b>3,26036</b>	<b>3,23992</b>	<b>2,7083</b>	<b>2,82019</b>
<b>mean total non renewable primary energy factor</b>	<b>2,896289</b>				

Γράφημα 19 Υπολογισμός συντελεστών πρωτογενούς ενέργειας ΗΠΑ 2009

iv. PNC F.S.

Μετά την εισαγωγή των δεδομένων του κτιρίου στο εργαλείο προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα:

Energy Balance	kWh/(a)						
Energy Use	71798,34						
Lighting	19048,67						
Plug Load & Equipment	20220,66						
Mechanical Cooling	20220,66						
Fans	10843,00						
Other	1465,35						
Sum Of Electricity	71798,34						
Sum Of Electricity Produced	80000,00						
Delivered Electricity	-8201,66						
Primary Energy	-22785,75						
EPP & RERp	kWh/(a)	Pef			EPp	RERp=A/B	
		nren	ren	total	nren	A,ren	B,tot
On Site Electricity Generation	80000,00		1,00	1,00	0,00	80000,00	80000,00
Delivered Grid Electricity, On site							
Exported Grid Electricity, On Site	8201,66	2,78	0,13	2,91	22785,75	1058,01	23843,77
					-53,09		142,46%
<i>Measured Timeframe 01/01/2013-31/12/2013</i>							

Γράφημα 20 Αξιολόγηση του κτιρίου PNC F.S., USA

Οι συντελεστές μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια για τις ΗΠΑ το 2013 προκύπτουν ως εξής:

<b>P N C</b>	USA electricity mix (2013)	out of 1			
	renewable energy	0,129			
	nuclear energy	0,194			
	coal	0,391			
	oil	0,010			
	gas	0,274			
	other	0,002			
	<b>renewable primary energy factor</b>	1			
	<b>total renewable energy factor</b>	0,129			
	<b>non renewable primary energy factor</b>	(a)	(b)	(c)	(d)
	nuclear energy	4,02	4,14	3,075	3,4975
	coal	3,94	3,9	3	3,1949
	oil	3,78	3,68	3,117	2,79
gas	2,32	2,21	2,62	2,3731	
other	3	3	3	3	
<b>total non renewable energy factor</b>	<b>2,9999</b>	<b>2,9764</b>	<b>2,5246</b>	<b>2,61185</b>	
<b>total primary energy factor</b>	<b>3,1289</b>	<b>3,1054</b>	<b>2,6536</b>	<b>2,74085</b>	
<b>mean total non renewable primary energy factor</b>	<b>2,778188</b>				

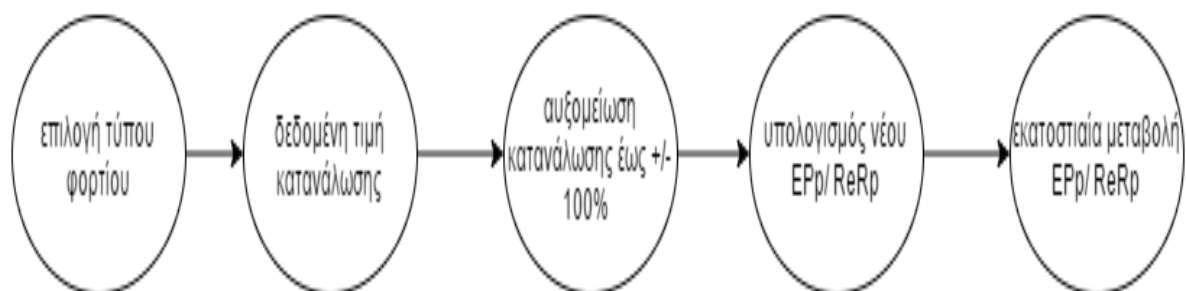
Γράφημα 21 Υπολογισμός συντελεστών πρωτογενούς ενέργειας ΗΠΑ 2013

## 6.3 Α΄Ανάλυση ευαισθησίας: Δείκτες EPr & RERp συναρτήσει των καταναλώσεων του κτιρίου

### 6.3.1 Μεθοδολογικό Πλαίσιο

Μετά τον υπολογισμό των δύο δεικτών EPr και RERp για κάθε κτίριο θεωρήθηκε χρήσιμο να μελετηθεί η συμπεριφορά των δύο αυτών δεικτών κατά την μεταβολή των καταναλώσεων του κτιρίου. Η ανάλυση ευαισθησίας αυτή πραγματοποιήθηκε με τον εξής τρόπο:

- εισήχθησαν σε υπολογιστικό φύλλο του Microsoft Excel οι καταναλώσεις που επιλέχθηκαν για την συγκεκριμένη ανάλυση ευαισθησίας (επιλέχθηκαν σε κάθε κτίριο οι τρεις μεγαλύτεροι σε κατανάλωση τύποι φορτίου, καθώς αυτοί επηρεάζουν στον μεγαλύτερο βαθμό την συμπεριφορά των δύο δεικτών)
- για κάθε τύπο φορτίου δημιουργήθηκε ένας πίνακας, στην πρώτη γραμμή και στήλη του οποίου καταχωρήθηκε η δεδομένη τιμή κατανάλωσης
- στις επόμενες γραμμές του πίνακα, στην πρώτη στήλη καταχωρήθηκε η τιμή της κατανάλωσης του συγκεκριμένου τύπου φορτίου, η οποία μεταβάλλεται ποσοστιαία με βήμα  $\pm 2,5\%$  αρχικά μέχρι το  $\pm 20\%$  και με βήμα  $\pm 10\%$  στη συνέχεια, μέχρι η ποσοστιαία μεταβολή να φτάσει στο  $\pm 100\%$  της αρχικής τιμής της κατανάλωσης. Για κάθε μία από αυτές τις νέες τιμές της κατανάλωσης υπολογίζεται η αντίστοιχη τιμή των δεικτών EPr και RERp
- στη συνέχεια υπολογίζεται η εκάστοτε ποσοστιαία μεταβολή του κάθε δείκτη σε σχέση με την αρχική τιμή του, η οποία βασίζεται στην αρχική κατανάλωση και είναι αυτή που υπολογίζεται στην παράγραφο 6.2.
- η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται και για τους δύο αμέσως επόμενους τύπους φορτίου του κτιρίου
- τέλος παρουσιάζεται με γραφικές παραστάσεις η σχέση μεταξύ της κατανάλωσης ανά τύπο φορτίου και των δεικτών EPr και RERp



Γράφημα 22 Σχηματική παρουσίαση αλληλουχίας υπολογισμών για την ανάλυση ευαισθησίας μεταξύ των δεικτών EPr & RERp και των καταναλώσεων του κτιρίου.

### 6.3.2 Αποτελέσματα Α' Ανάλυσης Ευαισθησίας: Δείκτες EPr & RERp συναρτήσει των καταναλώσεων του κτιρίου

Ακολουθεί ενδεικτικά ο πρώτος πίνακας για το κτίριο Herten στη Γερμανία, στον οποίο μελετάται η απόκριση των δύο δεικτών σε ενδεχόμενη μεταβολή της κατανάλωσης για θέρμανση του κτιρίου.

**Πίνακας 13 Απόκριση των δύο δεικτών στην μεταβολή της κατανάλωσης για θέρμανση στο Herten**

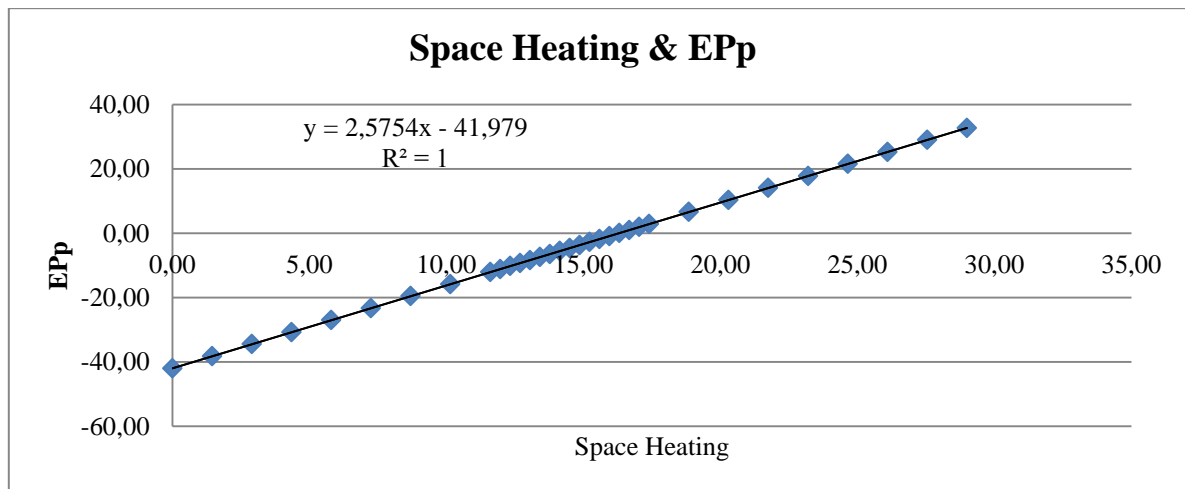
Consumption Type	Energy Demand	Increase/Decrease Rate (±%)	Final Energy demand	Rest Energy Demand	Sum of electricity final	Energy Produced	Exported electricity	PeF nren	EPP	PeF ren	A.ren	B.tot	ReRP	EPP INCREASE/DECREASE RATE (±%)	ReR INCREASE/DECREASE RATE(±%)
Space Heating (electricity)	14.5	0.0%	14.50	22.2	36.70	38.5	1.80	2.5754	-4.64	0.24	38.50	33.43	115.16%	0%	0%
	14.5	2.5%	14.86	22.2	37.06	38.5	1.44	2.5754	-3.70	0.24	38.50	34.45	111.75%	20%	-3%
	14.5	5.0%	15.23	22.2	37.43	38.5	1.08	2.5754	-2.77	0.24	38.50	35.47	108.53%	40%	-6%
	14.5	7.5%	15.59	22.2	37.79	38.5	0.71	2.5754	-1.83	0.24	38.50	36.49	105.50%	60%	-8%
	14.5	10.0%	15.95	22.2	38.15	38.5	0.35	2.5754	-0.90	0.24	38.50	37.51	102.63%	81%	-11%
	14.5	12.5%	16.31	22.2	38.51	38.5	-0.01	2.5754	0.03	0.24	38.50	38.54	99.91%	101%	-13%
	14.5	15.0%	16.68	22.2	38.88	38.5	-0.38	2.5754	0.97	0.24	38.50	39.56	97.33%	121%	-15%
	14.5	17.5%	17.04	22.2	39.24	38.5	-0.74	2.5754	1.90	0.24	38.50	40.58	94.88%	141%	-18%
	14.5	20.0%	17.40	22.2	39.60	38.5	-1.10	2.5754	2.83	0.24	38.50	41.60	92.55%	161%	-20%
	14.5	30.0%	18.85	22.2	41.05	38.5	-2.55	2.5754	6.57	0.24	38.50	45.68	84.28%	242%	-27%
	14.5	40.0%	20.30	22.2	42.50	38.5	-4.00	2.5754	10.30	0.24	38.50	49.76	77.37%	322%	-33%
	14.5	50.0%	21.75	22.2	43.95	38.5	-5.45	2.5754	14.04	0.24	38.50	53.84	71.50%	403%	-38%
	14.5	60.0%	23.20	22.2	45.40	38.5	-6.90	2.5754	17.77	0.24	38.50	57.93	66.46%	483%	-42%
	14.5	70.0%	24.65	22.2	46.85	38.5	-8.35	2.5754	21.50	0.24	38.50	62.01	62.09%	564%	-46%
	14.5	80.0%	26.10	22.2	48.30	38.5	-9.80	2.5754	25.24	0.24	38.50	66.09	58.25%	644%	-49%
	14.5	90.0%	27.55	22.2	49.75	38.5	-11.25	2.5754	28.97	0.24	38.50	70.17	54.86%	725%	-52%
	14.5	100.0%	29.00	22.2	51.20	38.5	-12.70	2.5754	32.71	0.24	38.50	74.26	51.85%	806%	-55%
	14.5	-2.5%	14.14	22.2	36.34	38.5	2.16	2.5754	-5.57	0.24	38.50	32.41	118.78%	-20%	3%
	14.5	-5.0%	13.78	22.2	35.98	38.5	2.53	2.5754	-6.50	0.24	38.50	31.39	122.65%	-40%	7%
	14.5	-7.5%	13.41	22.2	35.61	38.5	2.89	2.5754	-7.44	0.24	38.50	30.37	126.77%	-60%	10%
	14.5	-10.0%	13.05	22.2	35.25	38.5	3.25	2.5754	-8.37	0.24	38.50	29.35	131.18%	-81%	14%
	14.5	-12.5%	12.69	22.2	34.89	38.5	3.61	2.5754	-9.30	0.24	38.50	28.33	135.90%	-101%	18%
	14.5	-15.0%	12.33	22.2	34.53	38.5	3.98	2.5754	-10.24	0.24	38.50	27.31	140.98%	-121%	22%
	14.5	-17.5%	11.96	22.2	34.16	38.5	4.34	2.5754	-11.17	0.24	38.50	26.29	146.45%	-141%	27%
	14.5	-20.0%	11.60	22.2	33.80	38.5	4.70	2.5754	-12.10	0.24	38.50	25.27	152.37%	-161%	32%
	14.5	-30.0%	10.15	22.2	32.35	38.5	6.15	2.5754	-15.84	0.24	38.50	21.19	181.73%	-242%	58%
	14.5	-40.0%	8.70	22.2	30.90	38.5	7.60	2.5754	-19.57	0.24	38.50	17.10	225.11%	-322%	95%
	14.5	-50.0%	7.25	22.2	29.45	38.5	9.05	2.5754	-23.31	0.24	38.50	13.02	295.68%	-403%	157%
	14.5	-60.0%	5.80	22.2	28.00	38.5	10.50	2.5754	-27.04	0.24	38.50	8.94	430.73%	-483%	274%
	14.5	-70.0%	4.35	22.2	26.55	38.5	11.95	2.5754	-30.78	0.24	38.50	4.86	792.84%	-564%	588%
14.5	-80.0%	2.90	22.2	25.10	38.5	13.40	2.5754	-34.51	0.24	38.50	0.77	4976.47%	-644%	4221%	
14.5	-90.0%	1.45	22.2	23.65	38.5	14.85	2.5754	-38.24	0.24	38.50	-3.31	-1163.60%	-725%	-1110%	
14.5	-100.0%	0.00	22.2	22.20	38.5	16.30	2.5754	-41.98	0.24	38.50	-7.39	-520.90%	-806%	-552%	

Η ίδια διαδικασία εφαρμόστηκε για όλα τα κτίρια και για τις τρεις μεγαλύτερες καταναλώσεις τους. Για λόγους οικονομίας χώρου θα παρατεθούν μόνο οι γραφικές παραστάσεις που παρουσιάζουν τη σχέση μεταξύ της κατανάλωσης ανά τύπο φορτίου και των δεικτών EPr και RERp και όχι οι αναλυτικοί πίνακες όπως ο πίνακας 13 που παρατίθεται παραπάνω. Επίσης, επειδή υπάρχει εμφανής ομοιότητα μεταξύ των γραφικών παραστάσεων και των αντίστοιχων μαθηματικών σχέσεων που τις εκφράζουν, θα παρατεθούν οι γραφικές παραστάσεις ενδεικτικά για δύο από τα εννέα κτίρια.

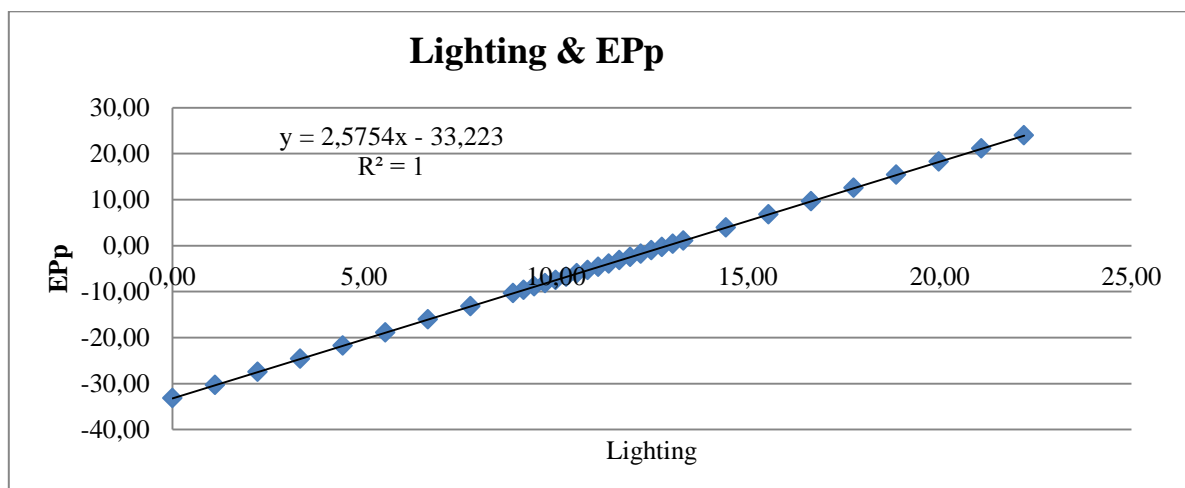
Τέλος, παρατίθεται και συνδυαστική γραφική παράσταση όπου παρουσιάζονται σε κοινό διάγραμμα οι τρεις τύποι καταναλώσεων σε σχέση με τους δύο δείκτες EPr και RERp, από το οποίο μπορούν να εντοπιστούν τα σημεία εκείνα στα οποία επιτυγχάνονται οι καλύτερες τιμές των δύο δεικτών και η αντίστοιχη τιμή του φορτίου για την οποία προκύπτουν οι δύο αυτοί δείκτες. (βλ. διάγραμμα 7, διάγραμμα 14)

i. Herten, Germany

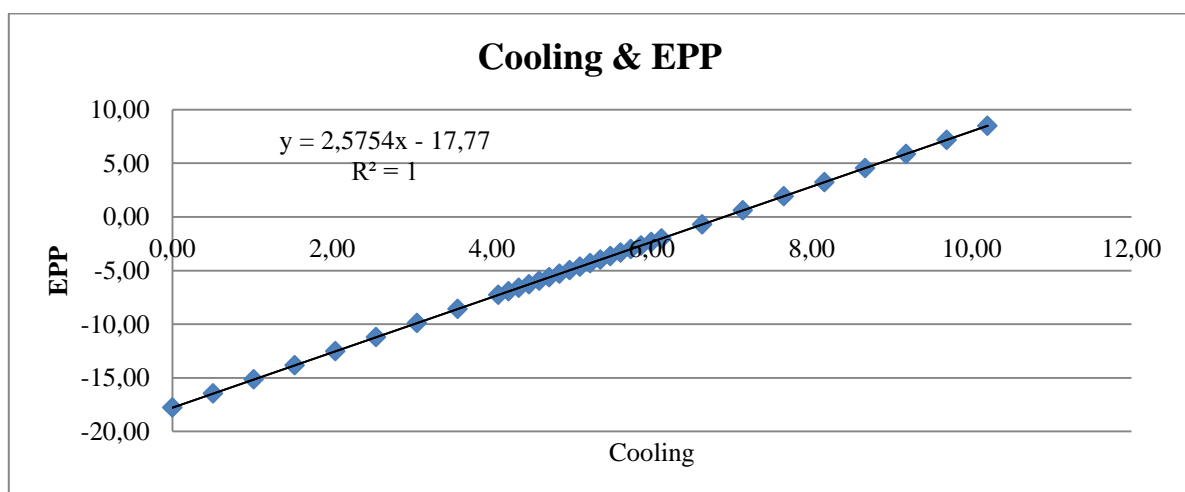
➤ EPP συναρτήσει των ενεργειακών καταναλώσεων του κτιρίου ανά τύπο φορτίου



Διάγραμμα 1 EPP ft. Space Heating, Herten Germany



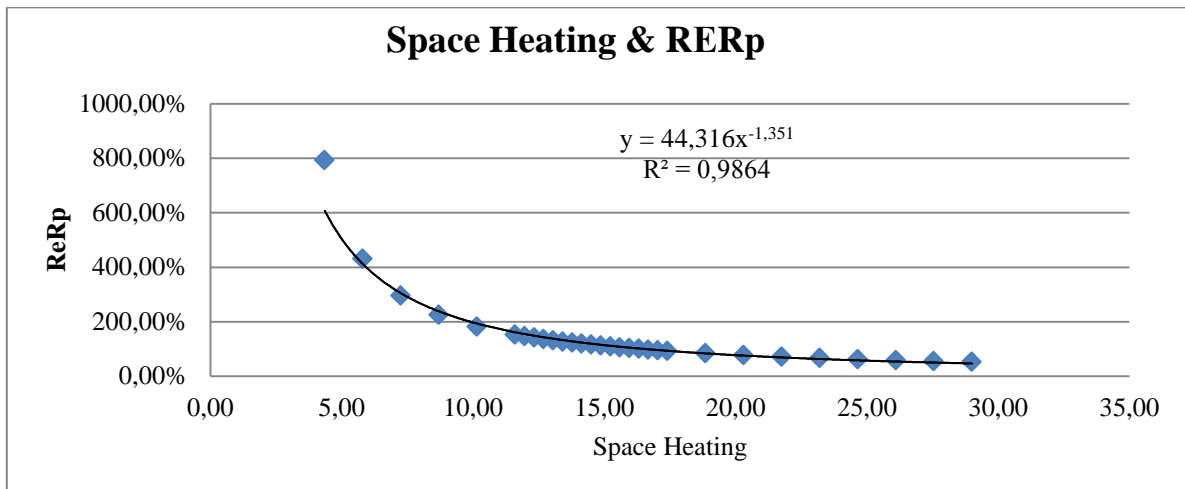
Διάγραμμα 2 EPP ft. Lighting, Herten Germany



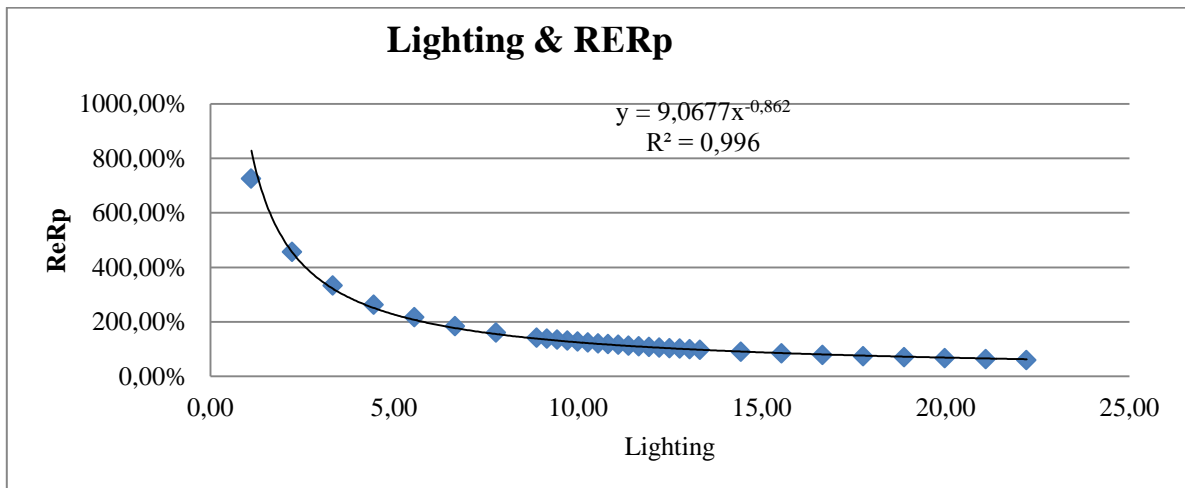
Διάγραμμα 3 EPP ft. Cooling, Herten Germany



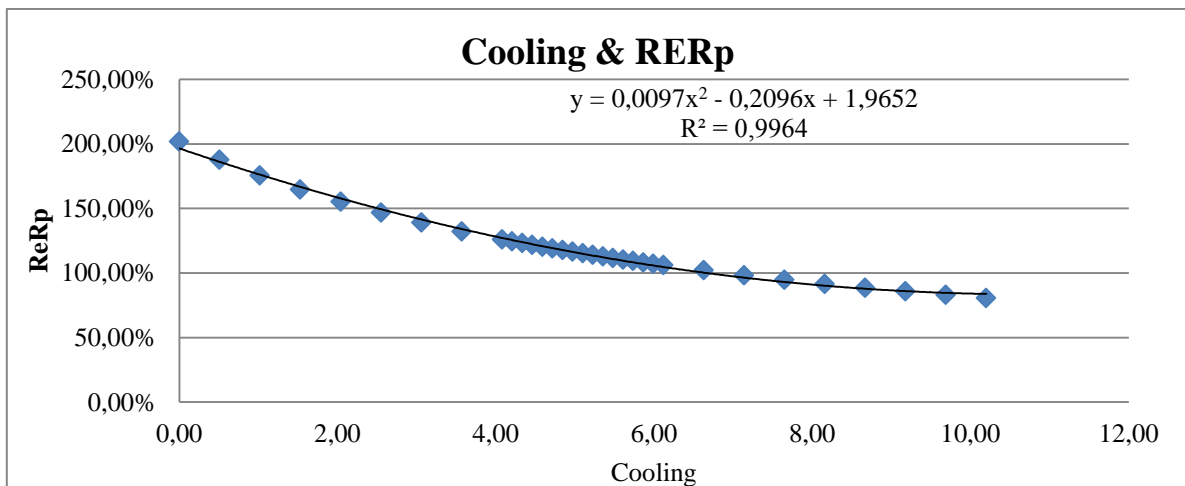
➤ RERp συναρτήσει των ενεργειακών καταναλώσεων του κτιρίου ανά τύπο φορτίου



Διάγραμμα 4 RERp ft. Space Heating, Herten Germany

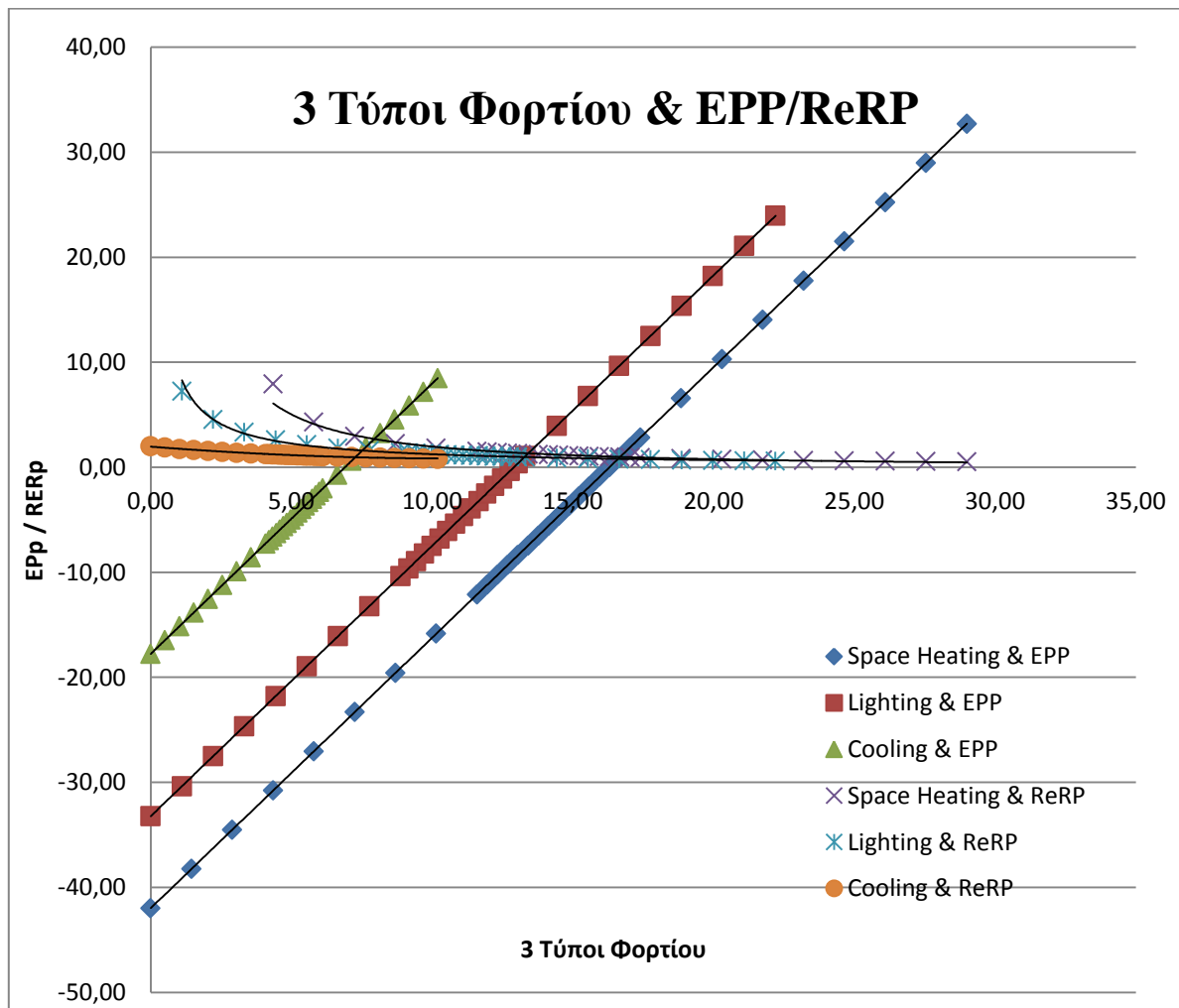


Διάγραμμα 5 RERp ft. Lighting, Herten Germany



Διάγραμμα 6 RERp ft. Cooling, Herten Germany

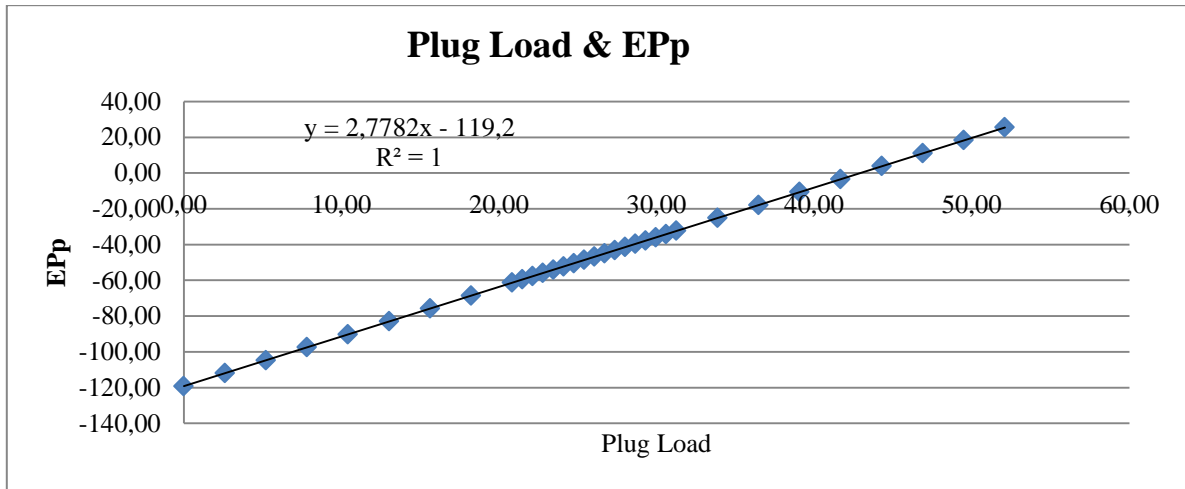
➤ EPP,ReRP συναρτήσει τριών τύπων φορτίου σε κοινό διάγραμμα



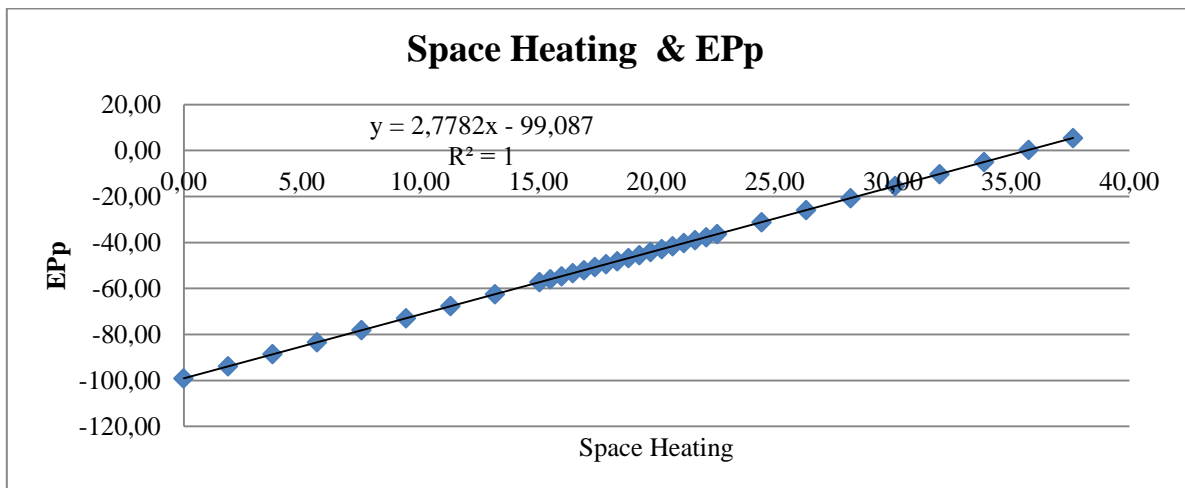
Διάγραμμα 7 3 τύποι φορτίου & EPP/ReRP, Herten Germany

ii. NREL RSF, USA

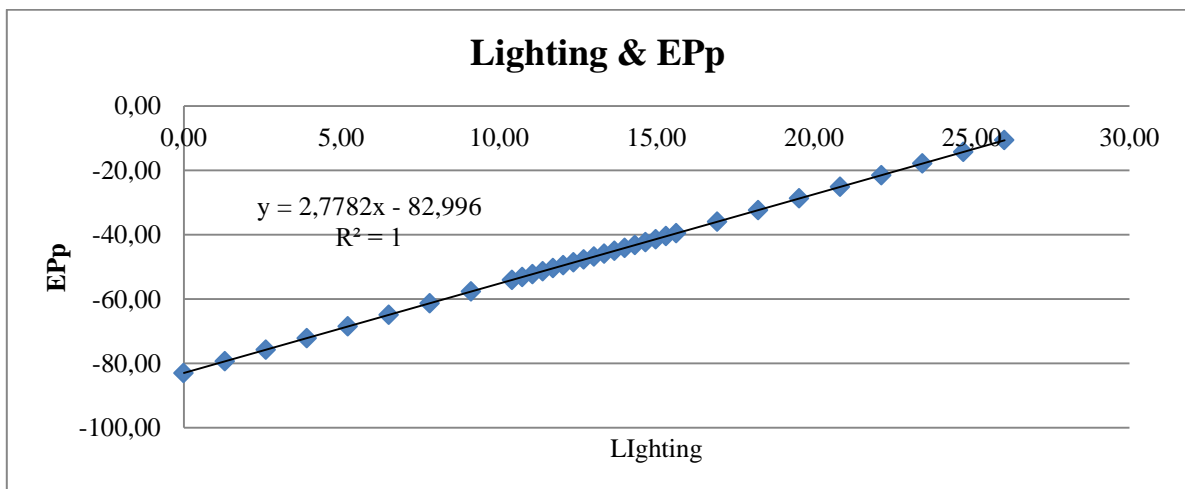
➤ EPP συναρτήσει των ενεργειακών καταναλώσεων του κτιρίου ανά τύπο φορτίου



Διάγραμμα 8 EPP ft. Plug Load, NREL RSF USA

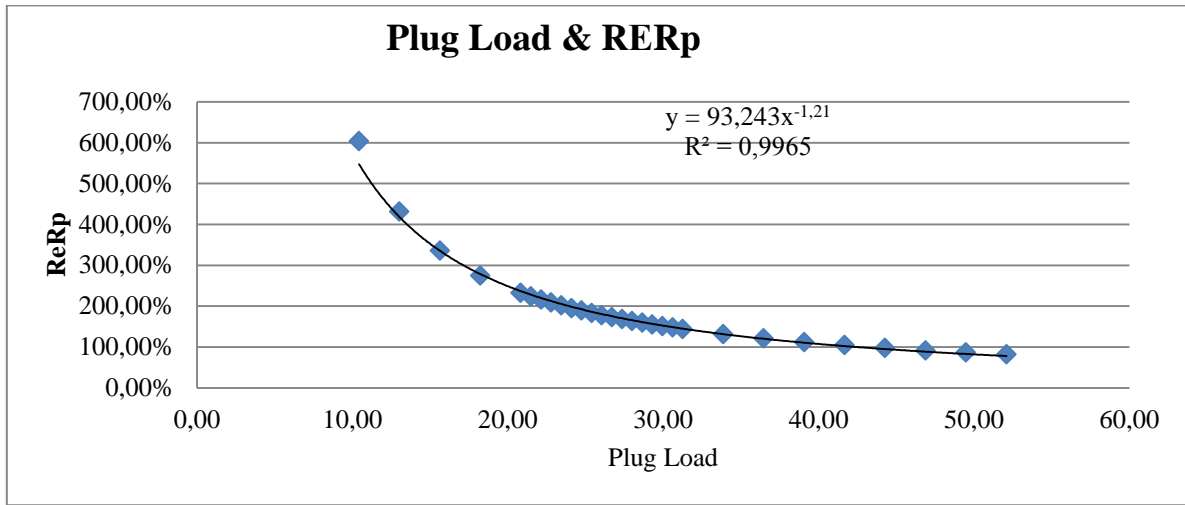


Διάγραμμα 9 EPP ft. Space Heating, NREL RSF USA

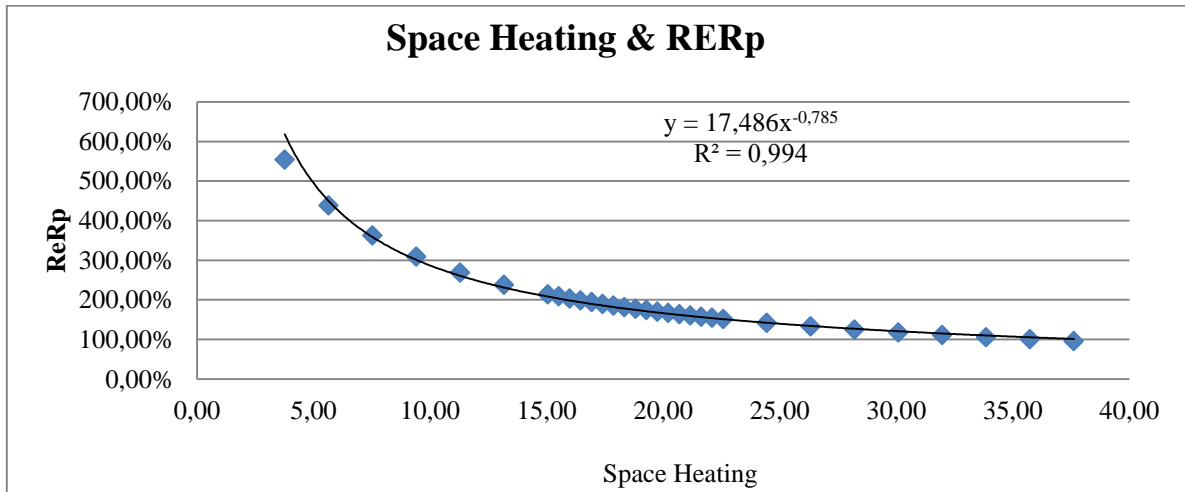


Διάγραμμα 10 EPP ft. Lighting, NREL RSF USA

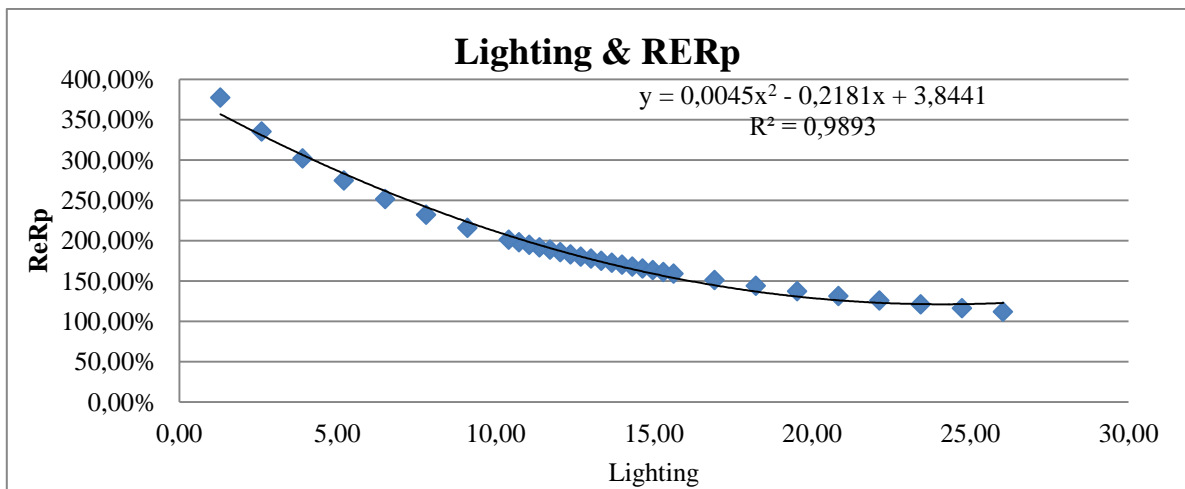
➤ RERp συναρτήσει των ενεργειακών καταναλώσεων του κτιρίου ανά τύπο φορτίου



Διάγραμμα 11 RERp ft. Plug Load, NREL RSF USA

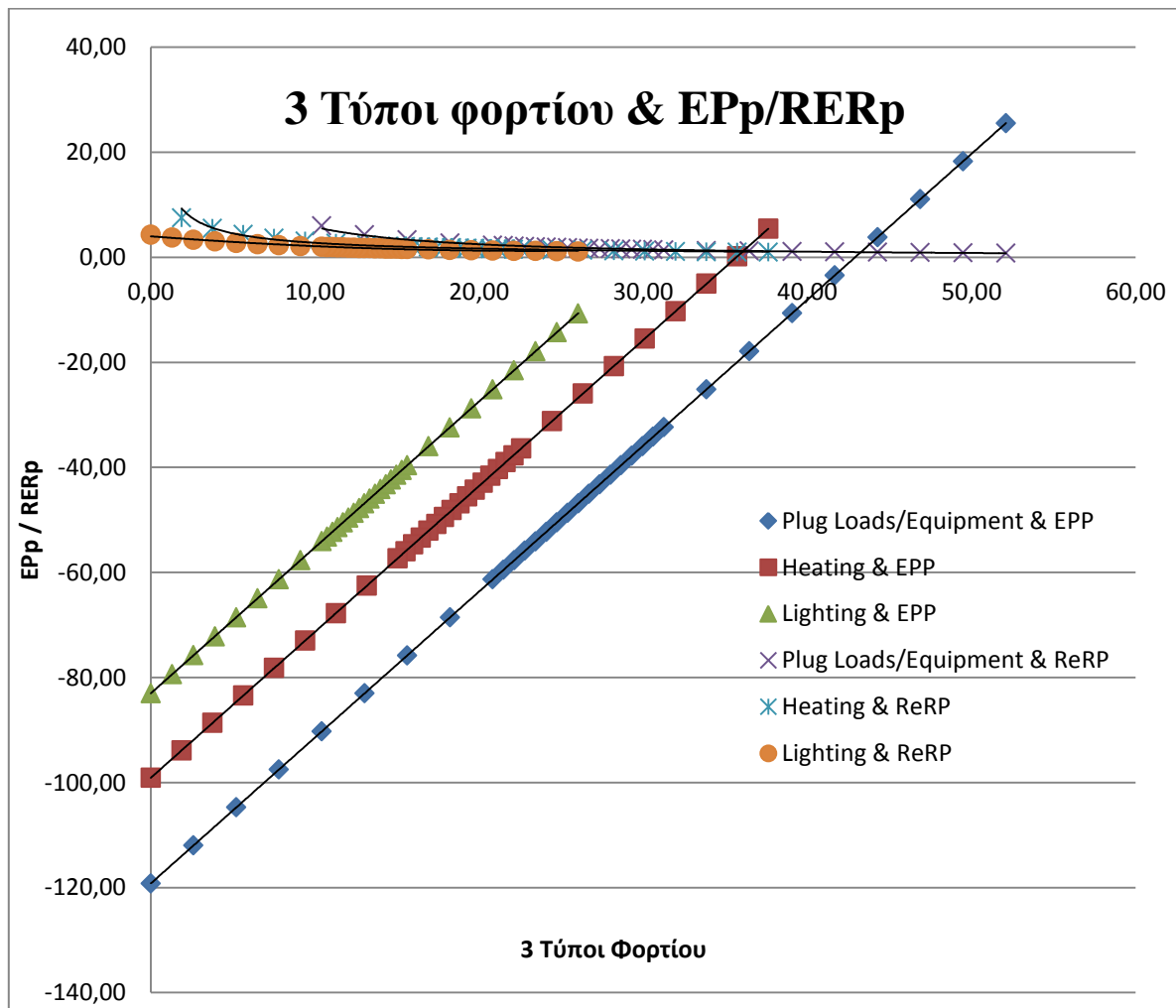


Διάγραμμα 12 RERp ft. Space Heating, NREL RSF USA



Διάγραμμα 13 RERp ft. Lighting, NREL RSF USA

➤ EPr,REPr συναρτήσει τριών τύπων φορτίου σε κοινό διάγραμμα



Διάγραμμα 14 3 τύποι φορτίου & EPr/REPr, NREL USA

## 6.4 Β' Ανάλυση Ευαισθησίας: Δείκτες EPr & REPr συναρτήσει του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας U

### 6.4.1 Εισαγωγή

Ο σωστός σχεδιασμός του κτιριακού κελύφους αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα για την επίτευξη υψηλής ενεργειακής απόδοσης στα σύγχρονα κτίρια. Το κτιριακό κέλυφος είναι το σημείο στο οποίο το κτίριο συνδέεται με το περιβάλλον και στο οποίο ανταλλάσσεται θερμότητα μεταξύ εσωτερικών και εξωτερικών χώρων. Γι αυτό το λόγο διαδραματίζει έναν σημαντικό ρόλο στην θερμική απόδοση του κτιρίου και επηρεάζει σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας για ψύξη και θέρμανση. Το κτιριακό κέλυφος ενός κτιρίου μπορεί να αξιολογηθεί μέσω του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας U (σε  $W/(m^2 \cdot K)$ ).

Ως συντελεστής θερμικής διαπερατότητας ή θερμοπερατότητας ορίζεται η ποσότητα της θερμότητας σε W/h η οποία διέρχεται σε 1 ώρα μέσα από επιφάνεια 1 m<sup>2</sup> της κατασκευής, όταν η διαφορά θερμοκρασίας του αέρα, που βρίσκεται στη μία και στην άλλη πλευρά της κατασκευής, είναι ένας βαθμός Κέλβιν και το σύστημα βρίσκεται σε μόνιμη κατάσταση. (Κορωναίος & Πουλάκος, 2005)

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται μία προσπάθεια να συσχετιστούν τα δομικά χαρακτηριστικά του εκάστοτε κτιρίου (με χρήση του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας) με την κατανάλωση ενέργειας για την θέρμανση ή ψύξη του κτιρίου αυτού, ώστε τελικά να ελεγχθεί η συμπεριφορά των δύο δεικτών EP<sub>p</sub> και RER<sub>p</sub> καθώς μεταβάλλεται η τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας U.

## 6.4.2 Μεθοδολογικό Πλαίσιο

Επειδή δεν ήταν δυνατόν να προσομοιωθούν με ακρίβεια τα 9 κτίρια πιλότοι σε κάποιο από τα ειδικά λογισμικά πακέτα που κυκλοφορούν στην αγορά, ώστε να υπολογιστεί η ακριβής τιμή του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας του καθενός, η διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι η εξής:

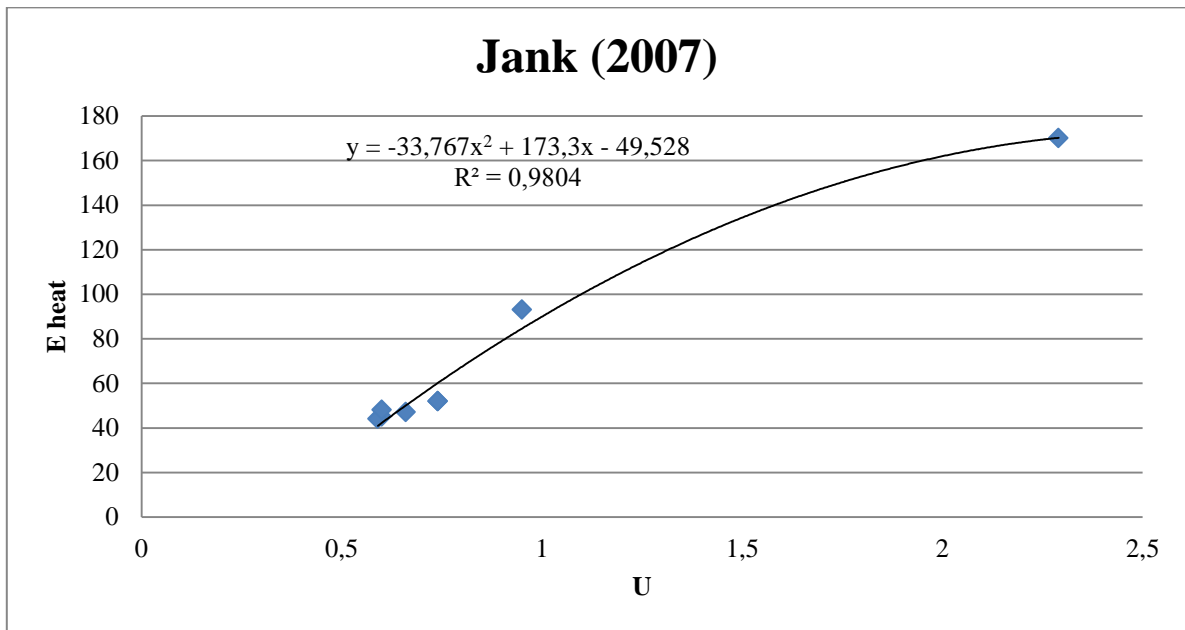
- εντοπίστηκαν με εκτενή βιβλιογραφική αναζήτηση δύο περιπτώσεις στις οποίες έχει γίνει προσομοίωση δύο κτιρίων και έχουν υπολογιστεί οι καταναλώσεις τους για θέρμανση και ψύξη για διάφορες τιμές του συντελεστή U. Για κάθε ένα κτίριο από αυτά τα δύο εξήχθη μια εξίσωση η οποία επαληθεύεται από τα διαθέσιμα ζεύγη τιμών U – κατανάλωσης για θέρμανση/ψύξη. Οι δύο εν λόγω περιπτώσεις παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί: (Jank, 2007) (Kurnitski, Cost Optimal and Nearly Zero-Energy Buildings (nZEB), 2013)

**Πίνακας 14 Ζεύγη U – κατανάλωσης για θέρμανση**

Jank (2007)		Kurnitski (2013)	
U (W/(m <sup>2</sup> *K))	Eheat (W)	U (W/(m <sup>2</sup> *K))	Eheat (W)
2,29	170	0,42	22,2
0,74	52		
0,6	45	0,58	36,8
0,59	44		
0,74	52	0,76	55,1
0,66	47		
0,95	93	0,96	71,5
0,6	48		

Πρέπει να σημειωθεί ότι αν προσομοιωθεί σε ειδικό λογισμικό κάθε ένα από τα 9 κτίρια θα προκύψει και μία μοναδική μαθηματική σχέση για τα δύο μεγέθη U – κατανάλωση. Στην συγκεκριμένη, όμως, μελέτη σκοπός είναι να αναλυθεί ποιοτικά και όχι ποσοτικά η επίδραση του συντελεστή U στους δύο δείκτες EP<sub>p</sub> και RER<sub>p</sub>, οπότε μπορούν να εξαχθούν με ασφάλεια συμπεράσματα και για τα 9 κτίρια από τις δύο σχέσεις που αναλύονται.

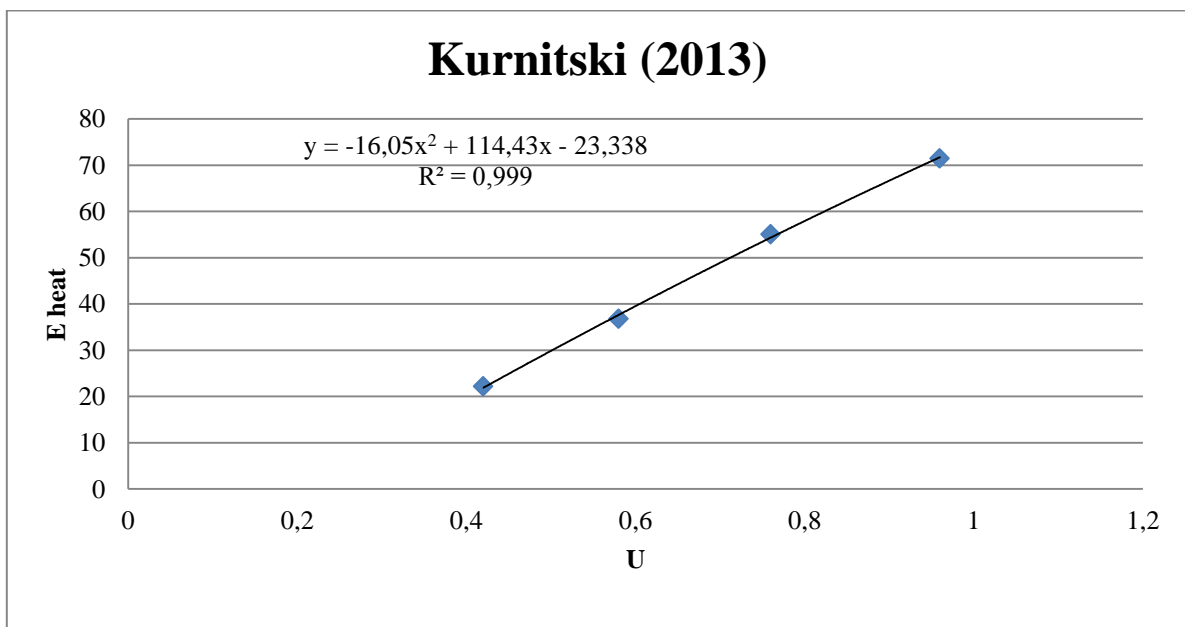
Η γραφική παράσταση των ζευγών τιμών αυτών και οι σχέσεις που τα εκφράζουν φαίνονται παρακάτω:



Διάγραμμα 15  $E_{\text{heat}}$  ft.  $U$  με βάση την περίπτωση του Jank (2007)

$$E_{\text{heat}} = -33,767 * U^2 + 173,3 * U - 49,528$$

Σχέση 8:  $E_{\text{heat}}$  ft.  $U$  (Jank 2007)



Διάγραμμα 16  $E_{\text{heat}}$  ft.  $U$  με βάση την περίπτωση του Kurnitski (2013)

$$E_{\text{heat}} = -16,05 * U^2 + 114,43 * U - 23,338$$

Σχέση 9:  $E_{\text{heat}}$  ft.  $U$  (Kurnitski 2013)

- με βάση τις μαθηματικές σχέσεις Σχέση 8, Σχέση 9 υπολογίζονται οι συντελεστές θερμοπερατότητας των 9 πρότυπων κτιρίων πιλότων
- για κάθε μία από τις δύο σχέσεις 8, 9 δημιουργήθηκε ένας πίνακας, στην πρώτη γραμμή και στήλη του οποίου καταχωρήθηκε η δεδομένη τιμή του  $U$  του κτιρίου, που υπολογίστηκε στο προηγούμενο βήμα
- στις επόμενες γραμμές του πίνακα, στην πρώτη στήλη καταχωρήθηκε η τιμή του συντελεστή  $U$ , η οποία μεταβάλλεται ποσοστιαία με βήμα  $\pm 2,5\%$  αρχικά μέχρι το  $\pm 20\%$  και με βήμα  $\pm 10\%$  στη συνέχεια, μέχρι η ποσοστιαία μεταβολή να φτάσει στο  $\pm 100\%$  της αρχικής τιμής του συντελεστή. Για κάθε μία από αυτές τις νέες τιμές του  $U$  υπολογίζεται η αντίστοιχη τιμή των δεικτών  $EPp$  και  $RERp$
- στη συνέχεια υπολογίζεται η εκάστοτε ποσοστιαία μεταβολή του κάθε δείκτη σε σχέση με την αρχική τιμή του, η οποία βασίζεται στον αρχικό συντελεστή  $U$  και είναι αυτή που υπολογίζεται στην παράγραφο 6.2.
- η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται και για την δεύτερη σχέση  $E_{heat} \cdot U$
- τέλος παρουσιάζεται με γραφικές παραστάσεις η σχέση μεταξύ της τιμής του  $U$  και των δεικτών  $EPp$  και  $RERp$



**Γράφημα 23 Σχηματική παρουσίαση αλληλουχίας υπολογισμών για την ανάλυση ευαισθησίας μεταξύ των δεικτών  $EPp$  &  $RERp$  και της τιμής του συντελεστή θερμοπερατότητας**

Στην παρουσίαση των αποτελεσμάτων που θα ακολουθήσει επιλέγεται να παρουσιαστούν μόνο τα αποτελέσματα με βάση την σχέση 8 (Janak 2007). Για την εξαγωγή της σχέσης αυτής διαθέτουμε περισσότερα ζεύγη τιμών οπότε οδηγούμαστε σε ασφαλέστερα συμπεράσματα, παρ' όλο που τα μεγέθη που μελετούμε ακολουθούν παρόμοια συμπεριφορά στην ανάλυση ευαισθησίας και με την δεύτερη σχέση, την σχέση 9 (Kurnitski 2013).



### 6.4.3 Αποτελέσματα Β' Ανάλυσης Ευαισθησίας: Δείκτες EPr & RERp συναρτήσει του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας U

Ακολουθεί ενδεικτικά ο πρώτος πίνακας για το κτίριο NaturaliaBau στην Ιταλία, στον οποίο μελετάται η απόκριση των δύο δεικτών σε ενδεχόμενη μεταβολή του συντελεστή U του κτιρίου, με βάση τη σχέση 8.

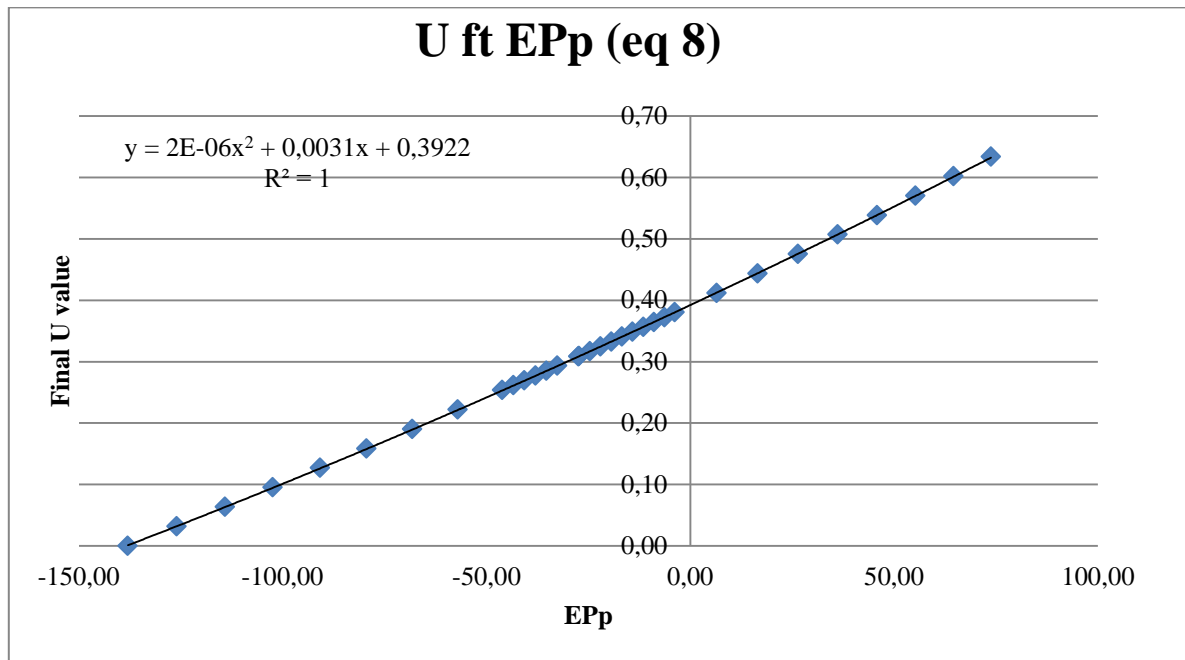
Πίνακας 15 Απόκριση των δύο δεικτών στην μεταβολή του συντελεστή U στο NaturaliaBau

Consumption Type	Mean U value	Increase/Decrease Rate (±%)	Final U value	Final Space Heating Demand	Rest energy demand	Sum of electricity final	Energy Produced	Exported electricity	PeF nren	EPP	PeF ren	A ren	B tot	ReRP	EPP INCREASE/DECREASE RATE (±%)	ReR INCREASE/DECREASE RATE(±%)
E q u a t i o n 6  S p a c e H e a t i n g ( e l e c t r i c i t y)	0.32	0%	0.32	1.98	20.17	22.15	33.35	11.20	2.20	-24.64	0.21	33.35	6.36	524.54%	0%	0%
	0.32	2.5%	0.32	3.18	20.17	23.35	33.35	10.00	2.20	-22.00	0.21	33.35	9.25	360.46%	11%	-31%
	0.32	5.0%	0.33	4.38	20.17	24.55	33.35	8.80	2.20	-19.37	0.21	33.35	12.14	274.80%	21%	-48%
	0.32	7.5%	0.34	5.57	20.17	25.74	33.35	7.61	2.20	-16.74	0.21	33.35	15.01	222.19%	32%	-58%
	0.32	10.0%	0.35	6.76	20.17	26.93	33.35	6.42	2.20	-14.13	0.21	33.35	17.87	186.59%	43%	-64%
	0.32	12.5%	0.36	7.94	20.17	28.11	33.35	5.24	2.20	-11.52	0.21	33.35	20.73	160.91%	53%	-69%
	0.32	15.0%	0.36	9.12	20.17	29.29	33.35	4.06	2.20	-8.93	0.21	33.35	23.57	141.50%	64%	-73%
	0.32	17.5%	0.37	10.30	20.17	30.47	33.35	2.88	2.20	-6.34	0.21	33.35	26.40	126.31%	74%	-76%
	0.32	20.0%	0.38	11.47	20.17	31.64	33.35	1.71	2.20	-3.77	0.21	33.35	29.23	114.11%	85%	-78%
	0.32	30.0%	0.41	16.11	20.17	36.28	33.35	-2.93	2.20	6.45	0.21	33.35	40.41	82.52%	126%	-84%
	0.32	40.0%	0.44	20.69	20.17	40.86	33.35	-7.51	2.20	16.51	0.21	33.35	51.44	64.83%	167%	-88%
	0.32	50.0%	0.48	25.19	20.17	45.36	33.35	-12.01	2.20	26.43	0.21	33.35	62.30	53.53%	207%	-90%
	0.32	60.0%	0.51	29.63	20.17	49.80	33.35	-16.45	2.20	36.19	0.21	33.35	73.00	45.69%	247%	-91%
	0.32	70.0%	0.54	34.00	20.17	54.17	33.35	-20.82	2.20	45.81	0.21	33.35	83.53	39.92%	286%	-92%
	0.32	80.0%	0.57	38.31	20.17	58.48	33.35	-25.13	2.20	55.28	0.21	33.35	93.91	35.51%	324%	-93%
	0.32	90.0%	0.60	42.54	20.17	62.71	33.35	-29.36	2.20	64.60	0.21	33.35	104.12	32.03%	362%	-94%
	0.32	100.0%	0.63	46.71	20.17	66.88	33.35	-33.53	2.20	73.77	0.21	33.35	114.16	29.21%	399%	-94%
	0.32	-2.5%	0.31	0.77	20.17	20.94	33.35	12.41	2.20	-27.29	0.21	33.35	3.45	965.64%	-11%	84%
	0.32	-5.0%	0.31	0.71	20.17	20.88	33.35	12.47	2.20	-27.42	0.21	33.35	3.31	1008.10%	-11%	92%
	0.32	-7.5%	0.29	-1.65	20.17	18.52	33.35	14.83	2.20	-32.62	0.21	33.35	-2.39	-1397.99%	-32%	-367%
	0.32	-10.0%	0.29	-2.87	20.17	17.30	33.35	16.05	2.20	-35.30	0.21	33.35	-5.32	-626.82%	-43%	-219%
	0.32	-12.5%	0.28	-4.09	20.17	16.08	33.35	17.27	2.20	-37.99	0.21	33.35	-8.27	-403.48%	-54%	-177%
	0.32	-15.0%	0.27	-5.31	20.17	14.86	33.35	18.49	2.20	-40.69	0.21	33.35	-11.22	-297.21%	-65%	-157%
	0.32	-17.5%	0.26	-6.54	20.17	13.63	33.35	19.72	2.20	-43.39	0.21	33.35	-14.19	-235.08%	-76%	-145%
	0.32	-20.0%	0.25	-7.78	20.17	12.39	33.35	20.96	2.20	-46.11	0.21	33.35	-17.16	-194.32%	-87%	-137%
	0.32	-30.0%	0.22	-12.76	20.17	7.41	33.35	25.94	2.20	-57.07	0.21	33.35	-29.17	-114.34%	-132%	-122%
	0.32	-40.0%	0.19	-17.81	20.17	2.36	33.35	30.99	2.20	-68.18	0.21	33.35	-41.34	-80.66%	-177%	-115%
	0.32	-50.0%	0.16	-22.93	20.17	-2.76	33.35	36.11	2.20	-79.44	0.21	33.35	-53.67	-62.14%	-222%	-112%
	0.32	-60.0%	0.13	-28.11	20.17	-7.94	33.35	41.29	2.20	-90.84	0.21	33.35	-66.16	-50.41%	-269%	-110%
	0.32	-70.0%	0.10	-33.36	20.17	-13.19	33.35	46.54	2.20	-102.40	0.21	33.35	-78.82	-42.31%	-316%	-108%
0.32	-80.0%	0.06	-38.68	20.17	-18.51	33.35	51.86	2.20	-114.10	0.21	33.35	-91.64	-36.39%	-363%	-107%	
0.32	-90.0%	0.03	-44.07	20.17	-23.90	33.35	57.25	2.20	-125.95	0.21	33.35	-104.63	-31.87%	-411%	-106%	
0.32	-100.0%	0.00	-49.53	20.17	-29.36	33.35	62.71	2.20	-137.96	0.21	33.35	-117.78	-28.32%	-460%	-105%	

Για λόγους οικονομίας χώρου θα παρατεθούν μόνο οι γραφικές παραστάσεις που παρουσιάζουν τη σχέση μεταξύ του υπολογισμένου συντελεστή U και των δεικτών EPr και RERp και όχι οι αναλυτικοί πίνακες όπως ο πίνακας 15 που παρατίθεται παραπάνω. Επίσης, επειδή υπάρχει εμφανής ομοιότητα μεταξύ των γραφικών παραστάσεων και των αντίστοιχων μαθηματικών σχέσεων που τις εκφράζουν, θα παρατεθούν οι γραφικές παραστάσεις ενδεικτικά για δύο από τα εννέα κτίρια.

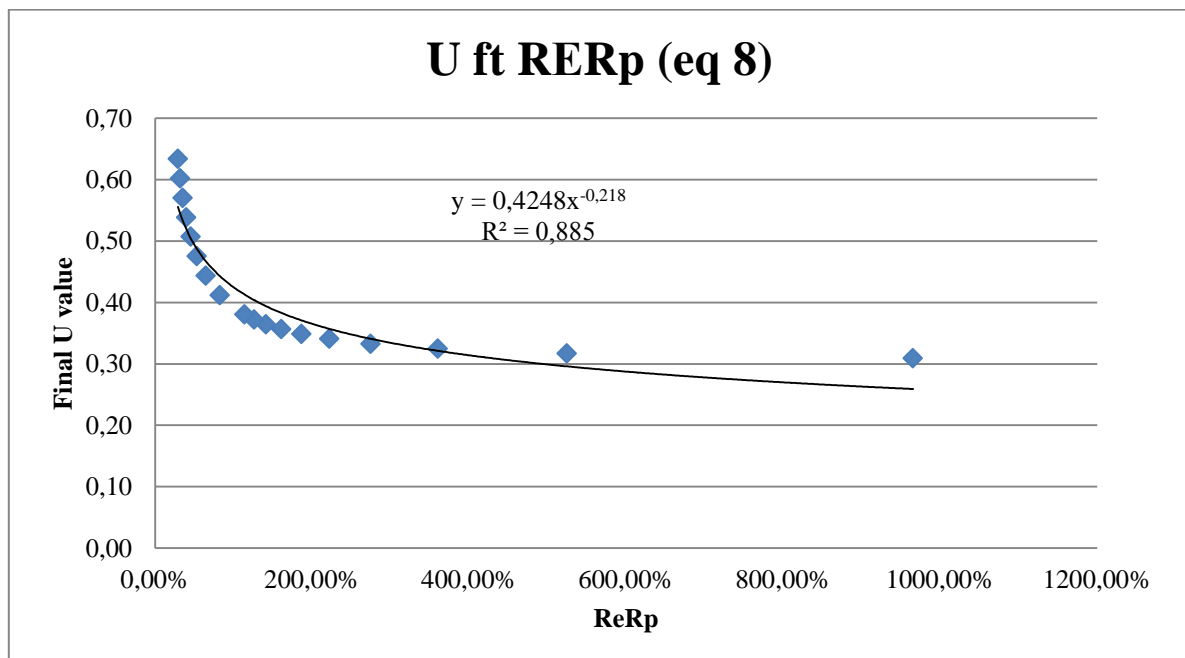
i. NaturaliaBau, Italy

➤ EPP συναρτήσει του συντελεστή θερμοπερατότητας U



Διάγραμμα 17 U ft. EPP (eq.8), NaturaliaBau

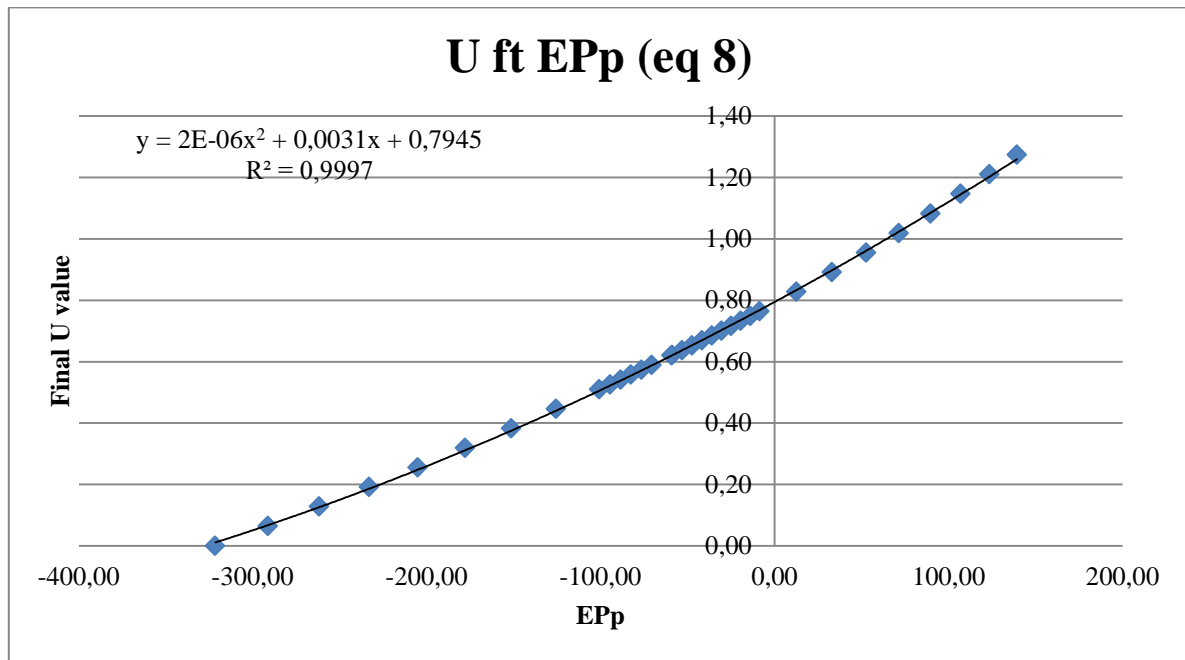
➤ RERp συναρτήσει του συντελεστή θερμοπερατότητας U



Διάγραμμα 18 U ft. RERp (eq. 8), NaturaliaBau

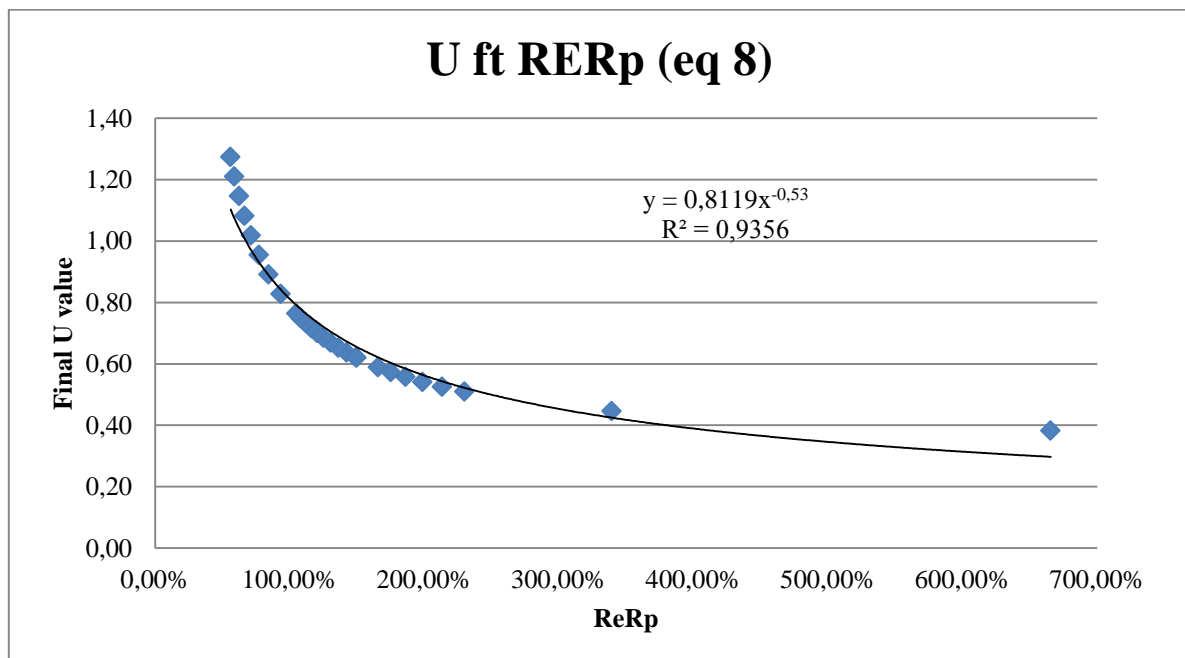
ii. PNC F.S.

➤ EPr συναρτήσει του συντελεστή θερμοπερατότητας U



Διάγραμμα 19 U ft. EPr (eq.8), PNC F.S.

➤ RERp συναρτήσει του συντελεστή θερμοπερατότητας U



Διάγραμμα 20 U ft. RERp (eq.8), PNC F.S.

## 6.5 Σχόλια - Συμπεράσματα

### 6.5.1 Α' Ανάλυση ευαισθησίας: Δείκτες EPp & RERp συναρτήσεσι των καταναλώσεων του κτιρίου

Μελετώντας τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας μπορούν να εξαχθούν τα εξής συμπεράσματα:

- επειδή ο δείκτης EPp επηρεάζεται άμεσα από τις διάφορες καταναλώσεις του κτιρίου, είναι φανερό ότι η μεγαλύτερη κατανάλωση θα έχει και μεγαλύτερη επίδραση στην τιμή του δείκτη. Έτσι, για παράδειγμα στο κτίριο Herten παρατηρούμε ότι με μεταβολή της κατανάλωσης για θέρμανση κατά 2,5% μεταβάλλεται ο δείκτης EPp κατά 20% ενώ με μεταβολή της κατανάλωσης για ψύξη κατά 2,5% ο δείκτης μεταβάλλεται κατά 7%, όπως φαίνεται και στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 16 Διαφορετική επίδραση δύο τύπων καταναλώσεων στον δείκτη EPp

Herten	Energy Demand (kWh/(m <sup>2</sup> *a))	Increase/Decrease Rate (± %)	EPp INCREASE / DECREASE RATE (± %)
Space Heating	14,5	0,0%	0%
	14,5	± 2,5%	± 20%
Cooling	5,1	0,0%	0%
	5,1	± 2,5%	± 7%

Η παρατήρηση αυτή μπορεί να φανεί χρήσιμη στον μελετητή ενός NZEB σε δύο περιπτώσεις. Πρώτον, όταν ο σχεδιαστής ή ο διαχειριστής του κτιρίου επιθυμεί να μεταβάλει την ποσότητα της τελικής ενέργειας στο ισοζύγιο του κτιρίου (άρα τον δείκτη EPp) μπορεί να ελέγξει ποιά καταναλώση θα του επιφέρει την επιθυμητή μεταβολή με την μικρότερη δυνατή παρέμβαση στις καταναλώσεις του κτιρίου και το μικρότερο δυνατό κόστος. Δεύτερον, γνωρίζει εξ' αρχής πόσο επιδρά η κάθε κατανάλωση στο τελικό ισοζύγιο ενέργειας του κτιρίου (άρα στον δείκτη EPp) οπότε καθίσταται ευκολότερη η επιτήρηση της λειτουργίας του κτιρίου και η επίτευξη του στόχου NZEB.

- όσο αφορά τον δείκτη RERp και την επίδραση που έχουν σε αυτόν οι καταναλώσεις του κτιρίου παρατηρείται διαφοροποίηση στις μεγάλες και τις μικρές καταναλώσεις. Στις μεγάλες καταναλώσεις του κτιρίου η μαθηματική σχέση που εκφράζει τα ζεύγη RERp – κατανάλωση είναι εκθετική ενώ στις μικρότερες καταναλώσεις η μαθηματική αυτή σχέση είναι πολυωνυμική.

Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι όταν μεταβάλλεται η ποσότητα ενέργειας που καταναλώνεται στον τύπο φορτίου με την μεγαλύτερη κατανάλωση στο κτίριο, ο δείκτης RERp μεταβάλλεται με μικρό ρυθμό αρχικά και εκθετικά όταν μειωθεί αρκετά έως πολύ η εν λόγω κατανάλωση. Απαιτείται, δηλαδή, μεγάλη μείωση της κατανάλωσης για να παρατηρηθεί αξιόλογη μεταβολή του δείκτη RERp. Στις μικρότερες καταναλώσεις παρατηρείται πιο σταθερός ρυθμός μεταβολής του δείκτη RERp.

### 6.5.2 Β' Ανάλυση Ευαισθησίας: Δείκτες EPr & RERp συναρτήσει του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας U

Επειδή ο συντελεστής θερμικής διαπερατότητας U αποτελεί δομικό στοιχείο του εκάστοτε κτιρίου, η τιμή την οποία θα πάρει εξαρτάται από τις ενεργειακές απαιτήσεις που θα θέσει ο σχεδιαστής και ο ιδιοκτήτης του κτιρίου. Συνεπώς, ο καθορισμός της επιθυμητής τιμής του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας είναι άρρηκτα συνδεδεμένος με το κόστος κατασκευής του κτίσματος. Γι αυτό το λόγο, στο σημείο αυτό, απαιτείται η εκπόνηση μιας μελέτης βελτιστοποίησης κόστους με την οποία θα καθοριστεί ακριβώς η τιμή εκείνη του U που θα είναι ιδανική, δεδομένων των οικονομικών πόρων που πρόκειται να διατεθούν και της ενεργειακής απόδοσης που επιθυμείται.

Μία τέτοια ανάλυση είναι εκτός των ορίων της παρούσας εργασίας και αποτελεί, ίσως, φυσική συνέχεια της. Για τον λόγο αυτό γίνεται στο κεφάλαιο 6.6 μία εισαγωγική αναφορά στην βελτιστοποίηση κόστους και την άμεση επίδραση που έχει στην κατασκευή των NZEB. Για περισσότερες πληροφορίες προτείνεται αναζήτηση στην αντίστοιχη διεθνή και ελληνική βιβλιογραφία.

### 6.5.3 Συμπεριφορά Δείκτη RERp

Στις αναλύσεις ευαισθησίας που έγιναν δεν λήφθησαν υπόψιν οι τιμές εκείνες του RERp που είναι είτε αρνητικές είτε μεγαλύτερες του 1000% καθώς κρίθηκαν μή ρεαλιστικές. Η ανάλυση ευαισθησίας βασίστηκε στον ικανό αριθμό των υπόλοιπων, θετικών και μικρότερων του 1000%, τιμών του RERp. Ωστόσο, θα ήταν χρήσιμο να ερμηνευθεί η συμπεριφορά αυτή του δείκτη RERp για να είναι κατανοητός ο λόγος που δύναται να πάρει τις απορριφθείσες αυτές τιμές.

#### ➤ RERp < 0

Ο δείκτης RERp παίρνει αρνητικές τιμές όταν γίνεται αρνητικός ο παρανομαστής του αφού ο αριθμητής είναι εξ' ορισμού πάντα θετικός. Αυτό συμβαίνει γενικά όταν η εξαγόμενη ενέργεια, η οποία πολλαπλασιάζεται με τον συντελεστή  $f_{exp,tot,i}$  παίρνει μεγάλες τιμές.

Ειδικότερα, αρνητικοί RERp προκύπτουν για :

$$(E_{ren,i} + E_{del,i} * f_{del,tot,i}) < E_{exp,i} * f_{exp,i}$$

Στην περίπτωση που δεν διανέμεται ενέργεια στο κτίριο, δηλαδή  $E_{del,i} = 0$  παρατηρούμε στις αναλύσεις ευαισθησίας ότι ο RERp έχει αρνητικές τιμές για:

$$\frac{E_{ren,i}}{E_{exp,i}} < f_{exp,tot,i}$$

επιβεβαιώνοντας την παραπάνω γενική σχέση.

Είναι λοιπόν προφανές ότι ο RERp γίνεται αρνητικός όταν εξάγεται ένα μεγάλο μέρος της παραγόμενης ενέργειας, κάτι που δεν συναντάται συχνά στην πραγματικότητα, αφού οι κατασκευαστές αποφασίζουν να εξάγουν ένα μικρό ποσοστό της παραγόμενης ενέργειας στο δίκτυο και έτσι να επενδύσουν λιγότερα χρήματα σε ΑΠΕ.

➤ RERp > 1000%

Ο δείκτης RERp παίρνει τιμές μεγαλύτερες του 1000% όταν ο αριθμητής είναι μεγαλύτερος του δεκαπλάσιου του παρονομαστή. Πρακτικά αυτό συμβαίνει όταν οι όροι  $E_{ren,i}$  και  $E_{exp,i} * f_{exp,tot,i}$  έχουν απόλυτες τιμές με μικρή απόκλιση, και άρα ο παρονομαστής έχει τιμές κοντά στο 0.

## 6.6 Βελτιστοποίηση Κόστους & NZEB

### 6.6.1 Εισαγωγή στην έννοια της Βελτιστοποίησης Κόστους

Η ευρωπαϊκή οδηγία για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων (EPBD, 2010/31/EU) θέτει την κατεύθυνση προς την οποία πρέπει να κινηθεί ο εθνικός σχεδιασμός των κρατών μελών της ΕΕ ως προς τον κτιριακό τομέα και συγκεκριμένα τα υποχρεώνει να :

- εισάγουν ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης για κτίρια, δομικά στοιχεία και τεχνικά συστήματα κτιρίων
- να προσαρμόσουν τις παραπάνω απαιτήσεις σε μια μεθοδολογία βελτιστοποίησης κόστους, λαμβάνοντας υπόψιν το κόστος καθ'όλην την διάρκεια ζωής των κτιρίων
- να κατασκευάζουν αποκλειστικά και μόνο κτίρια μηδενικού ή σχεδόν μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου (από το 2020).

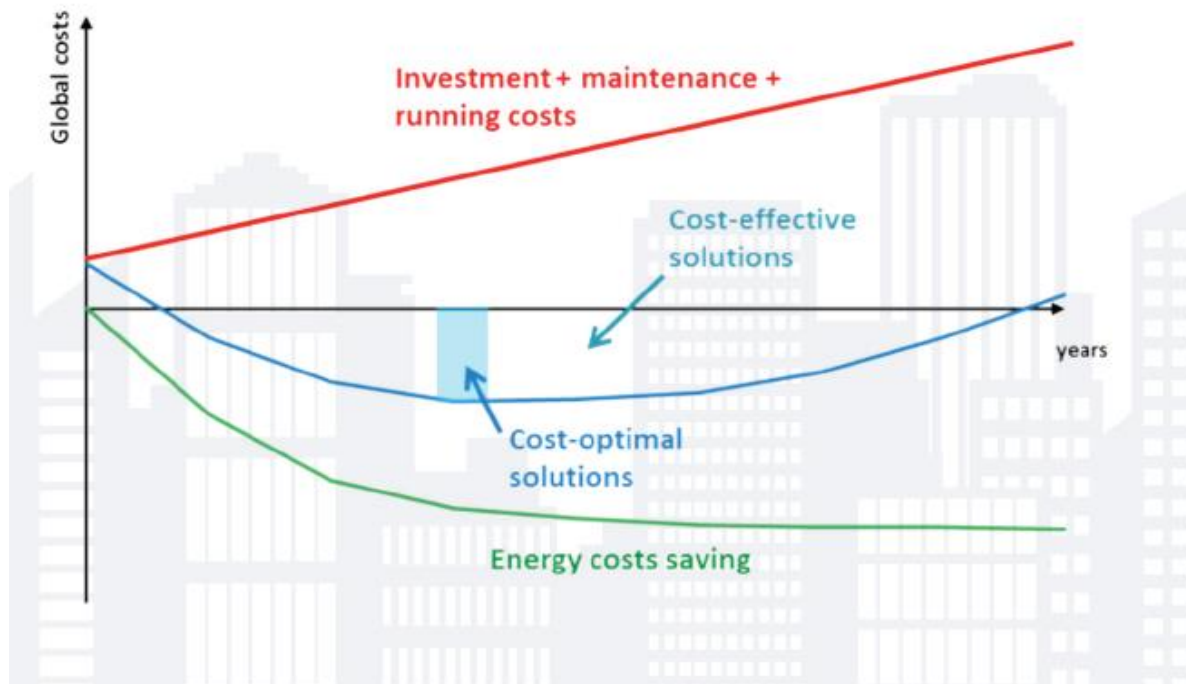
Στα κράτη μέλη παραχωρείται μεγάλος βαθμός ελευθερίας ως προς την επιλογή των πρότυπων κτιρίων, των επιτοκίων δανεισμού, του κόστους της ενέργειας και της συντήρησης, των συντελεστών πρωτογενούς ενέργειας και του εκτιμώμενου χρόνου ζωής των δομών που θα χρησιμοποιηθούν στην βελτιστοποίηση κόστους.

Το βέλτιστο κόστος ορίζεται από την ίδια οδηγία ως την «ενεργειακή απόδοση που οδηγεί στο μικρότερο κόστος κατά την διάρκεια ζωής του κτιρίου». Το κράτος μέλος είναι υπεύθυνο να καθορίσει το κόστος αυτό, με βάση και τους παράγοντες που αναφέρθηκαν ανωτέρω. Επίσης απαιτείται τα κράτη μέλη να συγκρίνουν τις ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης που έχουν θεσπίσει με το υπολογισμένο βέλτιστο κόστος και να επιβεβαιώνουν ανά τακτά χρονικά διαστήματα ότι η διαφορά μεταξύ του βέλτιστου κόστους και των ελάχιστων απαιτήσεων απόδοσης σε ισχύ δεν ξεπερνά το 15%.

Η σύγκριση αυτή προτείνεται να γίνει μέσω της συγκριτικής μεθοδολογίας που αναλύεται ως εξής:

- καθορισμός κτιρίων προτύπων που είναι αντιπροσωπευτικά για την χρήση τους και την κλιματική ζώνη στην οποία βρίσκονται. Τα πρότυπα κτίρια πρέπει να είναι οικιστικά και μη οικιστικά, νεόδμητα και ήδη υπάρχοντα.
- καθορισμός μέτρων ενεργειακής απόδοσης που εφαρμόζονται στα πρότυπα κτίρια
- υπολογισμός τελικής και πρωτογενούς ενέργειας που απαιτεί το κτίριο σε κάθε πιθανό σετ μέτρων που εφαρμόζονται/προτείνεται
- υπολογισμός του κόστους (και της Καθαρής Παρούσας Αξίας-ΚΠΑ) για κάθε προτεινόμενο σετ μέτρων ενεργειακής απόδοσης για όλη την διάρκεια ζωής του κτιρίου ή του μέτρου που εφαρμόζεται

Στο σημείο αυτό είναι χρήσιμο να διευκρινιστεί η διαφορά που υπάρχει ανάμεσα στους όρους cost effective και cost optimal που συναντώνται στη διεθνή βιβλιογραφία και συχνά συγχέονται. Ένα μέτρο ή ένα σετ μέτρων είναι οικονομικά αποδοτικό (cost-effective) όταν το κόστος εγκατάστασης είναι μικρότερο από την αξία των προνομίων που κερδίζουμε με την εφαρμογή του. Υπολογίζοντας το κόστος συντήρησης και το κόστος που εξοικονομείται με το μέτρο που εφαρμόζεται ή προτείνεται προκύπτει η Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ). Ο συνδυασμός δράσεων που μεγιστοποιούν την ΚΠΑ είναι οι δράσεις βέλτιστου κόστους (cost optimal).



Γράφημα 24 Σχέση μεταξύ cost optimality και cost-effectiveness  
Πηγή: (The Buildings Performance Institute Europe, 2013)

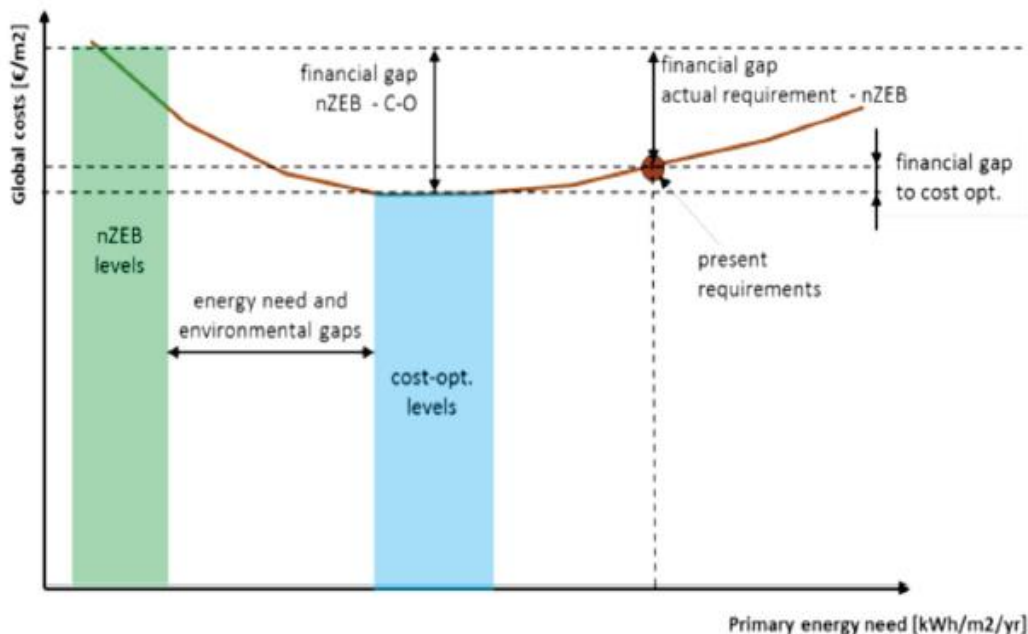
## 6.6.2 Βελτιστοποίηση Κόστους & NZEB

Στην ευρωπαϊκή νομοθεσία ο ορισμός του NZEB είναι προσαρμοσμένος στους μακροπρόθεσμους στόχους περί περιβαλλοντικής πολιτικής και ενεργειακών στόχων. Είναι λοιπόν προφανές ότι ο στόχος για τα NZEB το 2020 είναι πιο φιλόδοξος και απαιτητικός από το τρέχον επίπεδο βέλτιστου κόστους. Έτσι, μέσω της μελέτης βελτιστοποίησης κόστους μπορούμε να εντοπίσουμε τα σημεία στα οποία εμφανίζεται η διαφορά ανάμεσα στα NZEB και στο βέλτιστο κόστος και να προτείνουμε ρεαλιστικές λύσεις για τον καθορισμό μελλοντικών ενεργειακών πολιτικών.

Αξιολογώντας πακέτα μέτρων για την μόνωση και την θέρμανση που απαιτούνται στα NZEB με την μέθοδο βέλτιστου κόστους εντοπίζονται τρεις τύποι διαφορών-χασμάτων τα οποία πρέπει να έχουν γεφυρωθεί μέχρι το 2020:

- οικονομικό χάσμα, δηλαδή η διαφορά στο κόστος μεταξύ βέλτιστου κόστους και NZEB
- ενεργειακό χάσμα, δηλαδή η διαφορά στην ζήτηση πρωτογενούς ενέργειας μεταξύ βέλτιστου κόστους και NZEB
- περιβαλλοντικό χάσμα, δηλαδή η διαφορά στο αποτύπωμα ρύπων που επιτρέπει η λύση βέλτιστου κόστους σε σχέση με αυτό που επιτρέπουν τα NZEB

Οι παράγοντες που εντείνουν τα χάσματα αυτά είναι η πρόοδος της τεχνολογίας και τα κόστη εγκατάστασης. Η προώθηση ενεργειακά αποδοτικών και ανανεώσιμων τεχνολογιών και υλικών θα μπορούσε να μειώσει τα κόστη αυτά μέχρι το 2020 και έτσι να εξαλειφθεί το πρόβλημα που περιγράφηκε.



Γράφημα 25 Οικονομικό, ενεργειακό και περιβαλλοντικό χάσμα ανάμεσα στις τρέχουσες απαιτήσεις, στην λύση βέλτιστου κόστους και στα NZEB.

Πηγή: (The Buildings Performance Institute Europe, 2013)



Μελετώντας παραδείγματα κτιρίων προτύπων και υπολογίζοντας τις λύσεις βέλτιστου κόστους καταλήγει κανείς στο συμπέρασμα ότι τα περισσότερα πακέτα μέτρων που απαιτούνται στα NZEB είναι ήδη πολύ κοντά στο σημείο βέλτιστου κόστους. Επιπλέον, επειδή η αύξηση της ενεργειακής απόδοσης ενός κτιρίου επιφέρει κόστη τα οποία της περισσότερες φορές αποσβένονται από την εξοικονόμηση ενέργειας, θα ήταν ασφαλές να μειωθούν περαιτέρω οι ελάχιστες απαιτήσεις των κανονισμών χωρίς να επηρεαστούν σημαντικά τα κόστη που επιμερίζονται στην διάρκεια ζωής του κτιρίου και έτσι να οδηγηθούμε σε λύσεις βέλτιστου κόστους πολύ κοντύτερα στα NZEB. (The Buildings Performance Institute Europe, 2013)



**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ΠΛΑΙΣΙΟ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΩΝ  
ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ ΜΗΔΕΝΙΚΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ**

---



## 7.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό αρχικά θα γίνει μία προσπάθεια ταξινόμησης δέκα επιλεγμένων κτιρίων (των κτιρίων πιλότων που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 3.6 και των Kindergarten die Sprösslinge DCC στην Γερμανία, TNT Green Office στην Ολλανδία) με βάση τους δύο δείκτες EPp και RERp. Στη συνέχεια προτείνεται ένας νέος δείκτης για την βαθμολόγηση της απόδοσης και την κατάταξη των NZEB και τέλος γίνεται σύγκριση μεταξύ των δύο μεθοδολογιών και εξάγονται χρήσιμα αποτελέσματα.

## 7.2 Ταξινόμηση των NZEB με βάση τους δύο δείκτες EPp και RERp

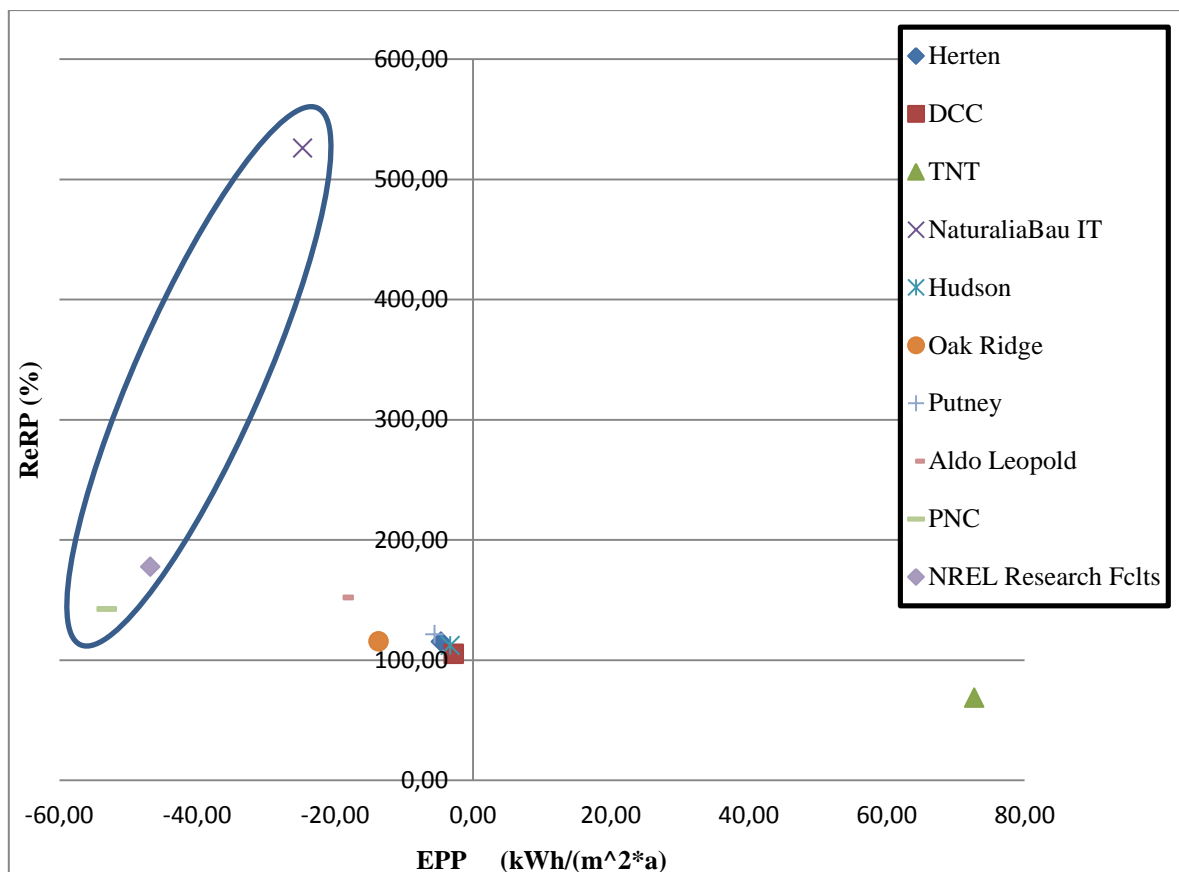
Αρχικά υπολογίζονται με τη βοήθεια του υπολογιστικού εργαλείου που αναπτύχθηκε οι τιμές των δύο δεικτών EPp και RERp, οι οποίες παρουσιάζονται συγκεντρωτικά παρακάτω.

**Πίνακας 17 Τιμή EPp/RERp για κάθε ένα από τα 10 κτίρια που ταξινομούνται. Σκιασμένες φαίνονται οι αντίστοιχες καλύτερες τιμές των δύο δεικτών που συναντώνται στο δείγμα κτιρίων της μελέτης**

ΚΤΙΡΙΟ			EPp (kWh/(m <sup>2</sup> *a))	RERp (%)
1.	Herten	Γερμανία	-4,64	115,16
2.	DCC	Γερμανία	-2,77	105,06
3.	TNT	Ολλανδία	72,74	68,55
4.	NaturaliaBau IT	Ιταλία	-24,66	525,90
5.	Hudson	ΗΠΑ	-3,26	112,07
6.	Oak Ridge	ΗΠΑ	-13,66	115,53
7.	Putney	ΗΠΑ	-5,56	121,28
8.	Aldo Leopold	ΗΠΑ	-18,75	152,12
9.	PNC	ΗΠΑ	-53,09	142,46
10.	NREL Research Fclts	ΗΠΑ	-46,79	177,50

Για να συγκριθούν τα παραπάνω κτίρια και να ταξινομηθούν με βάση τους δύο δείκτες, δημιουργήθηκε το παρακάτω διάγραμμα ως εξής:

Κάθε κτίριο εμφανίζεται ως ένα σημείο, με οριζόντια συντεταγμένη την τιμή του EPp δείκτη του και κατακόρυφη συντεταγμένη την τιμή του RERp δείκτη του. Όπως προκύπτει από τον ορισμό των παραπάνω δεικτών, τα αποδοτικότερα ενεργειακά κτίρια αναμένουμε να βρεθούν στο αριστερό τμήμα του διαγράμματος. Μάλιστα, όσο πιο αριστερά και όσο πιο πάνω βρίσκεται ένα κτίριο (οριοθετημένη περιοχή), τόσο καλύτερη ενεργειακή συμπεριφορά έχει, ως προς αυτούς τους δύο δείκτες, αφού έτσι επιτυγχάνονται μεγαλύτερες τιμές του δείκτη EPp κατ' απόλυτη τιμή (μεγαλύτερο πλεόνασμα ενέργειας και άρα εξαγωγή της στο δίκτυο) και μεγαλύτερες τιμές του ποσοστού RERp (μεγαλύτερη ποσοστιαία κάλυψη της απαιτούμενης ενέργειας από ΑΠΕ).



Διάγραμμα 21 Ταξινόμηση των NZEB με βάση τους δείκτες EPP / ReRP

Στην οριοθετημένη περιοχή εμπεριέχονται τρία κτίρια της μελέτης που έχουν είτε το μεγαλύτερο EPP κατ' απόλυτη τιμή ή το μεγαλύτερο ReRP, και είναι σίγουρα τα τρία καλύτερα κτίρια του δείγματος.

Για να γίνει περαιτέρω αξιολόγηση μεταξύ αυτών των 3 κτιρίων, πρέπει να αποφανθεί ο μελετητής αν θα δώσει μεγαλύτερη βαρύτητα:

- α) στην ενεργειακή αυτονομία του κτιρίου, ζητώντας μεγάλες τιμές του δείκτη EPP, ή
- β) στην ενσωμάτωση ΑΠΕ, ζητώντας μεγάλες τιμές του δείκτη ReRP.

Επίσης, η θέση του κτιρίου στο διάγραμμα εξαρτάται από τον σχεδιαστή και τον ιδιοκτήτη του, αφού αυτοί θα επιλέξουν αν θα επενδύσουν σε περίσσεια παραγωγή ενέργειας και άρα πώλησή της στο δίκτυο ή αν θα επενδύσουν σε μειωμένο ενεργειακό αποτύπωμα ενσωματώνοντας ΑΠΕ σε μεγαλύτερο ποσοστό.

Τέλος, η θέση των κτιρίων στο διάγραμμα εξαρτάται άμεσα από την τιμή των PEF/f που έχουν καθορίσει τα κράτη, στο πλαίσιο της ενεργειακής πολιτικής τους και ανάλογα με το ενεργειακό μίγμα του δικτύου τους.

## 7.3 Βαθμολόγηση της απόδοσης των NZEB

### 7.3.1 Μεθοδολογικό Πλαίσιο Βαθμολόγησης NZEB

Για την βαθμολόγηση των nZEB/NZEB και με σκοπό την σχετική κατάταξή τους εντός ενός δείγματος κτιρίων NZEB, προτείνεται και εισάγεται ένας νέος δείκτης, ο δείκτης Rating. Ο υπολογισμός του δείκτη αυτού, ο οποίος αποτελεί την σχετική βαθμολογία του εκάστοτε κτιρίου σε σχέση με τα υπόλοιπα κτίρια του μελετούμενου δείγματος, υπολογίζεται σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$Rating = \frac{RERpx}{RERpbest} * \frac{EPpx}{EPpbest}$$

Σχέση 10 Υπολογισμός δείκτη Rating για την σχετική βαθμολόγηση των NZEB ενός δείγματος

όπου,

$RERp_x$  : τιμή του δείκτη RERp του υπό βαθμολόγηση κτιρίου

$RERp_{best}$  : η μέγιστη τιμή του δείκτη RERp που συναντάται στο μελετούμενο δείγμα κτιρίων

$EPp_x$  : τιμή του δείκτη EPp του υπό βαθμολόγηση κτιρίου

$EPp_{best}$  : η καλύτερη τιμή του δείκτη EPp που συναντάται στο μελετούμενο δείγμα κτιρίων

Όσο αφορά τον δείκτη EPP, προτείνεται η εισαγωγή του στην σχέση 10 με το πρόσημο που αυτός φέρει, όπως έχει αυτό υπολογιστεί από την μεθοδολογία που παρουσιάζεται στη σχέση 5. Έτσι θα επιτευχθεί η ορθή σχετική βαθμολόγηση των NZEB κάθε δείγματος και θα μπορούν να καταταχθούν τα υπό μελέτη κτίρια με τρόπο που να αντιστοιχεί στην πραγματική τους απόδοση.

Μετά την βαθμολόγηση των NZEB ενός δείγματος, μπορεί εύκολα να δημιουργηθεί ένας πίνακας κατάταξης των κτιρίων αυτών με βάση την βαθμολογία που έχουν επιτύχει με την παραπάνω διαδικασία.

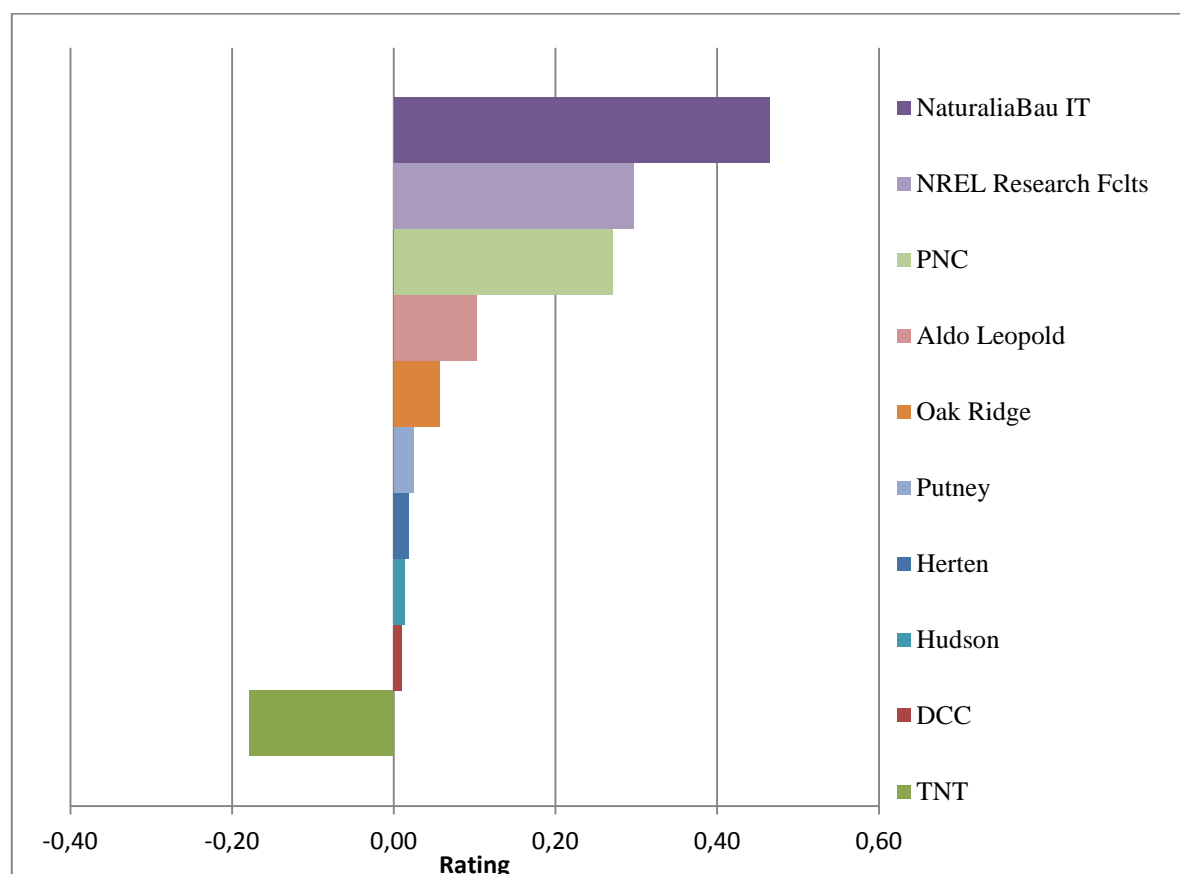
### 7.3.2 Βαθμολόγηση – Κατάταξη NZEB τρέχουσας μελέτης

Η διαδικασία που προτείνεται στο κεφάλαιο 7.3.1 εφαρμόστηκε και για τα δέκα επιλεγμένα κτίρια της παραγράφου 7.1. Στον πίνακα που ακολουθεί εμφανίζονται οι τιμές των EPp & RERp για κάθε κτίριο, ο υπολογισμένος δείκτης Rating για κάθε ένα από αυτά και η κατάταξή του ως προς τα δέκα κτίρια του δείγματος.

**Πίνακας 18 Παράδειγμα υπολογισμού του δείκτη Rating για την σχετική βαθμολόγηση και κατάταξη των NZEB ενός δείγματος**

Κτίριο			EPp (kWh/(m <sup>2</sup> *a))	RERp (%)	Rating	Κατάταξη
1.	Herten	Γερμανία	-4,64	115,16	0,02	7
2.	DCC	Γερμανία	-2,77	105,06	0,01	9
3.	TNT	Ολλανδία	72,74	68,55	-0,18	10
4.	NaturaliaBau IT	Ιταλία	-24,66	525,90	0,46	1
5.	Hudson	ΗΠΑ	-3,26	112,07	0,01	8
6.	Oak Ridge	ΗΠΑ	-13,66	115,53	0,06	5
7.	Putney	ΗΠΑ	-5,56	121,28	0,02	6
8.	Aldo Leopold	ΗΠΑ	-18,75	152,12	0,10	4
9.	PNC	ΗΠΑ	-53,09	142,46	0,27	3
10.	NREL Research Fclts	ΗΠΑ	-46,79	177,50	0,30	2

Ακολουθεί σχηματική παρουσίαση της κατάταξης των δέκα επιλεγμένων κτιρίων με βάση την τιμή του δείκτη Rating και την σχετική θέση τους μέσα στο δείγμα.



**Γράφημα 26 Κατάταξη των δέκα επιλεγμένων κτιρίων με βάση τον δείκτη Rating**



### 7.3.3 Σχόλια – Παρατηρήσεις

Εφαρμόζοντας την προτεινόμενη μεθοδολογία για την βαθμολόγηση και κατάταξη των NZEB που παρουσιάζεται στο κεφάλαιο 7.3.2 παρατηρούμε αμέσως ότι τα τρία πρώτα σε βαθμολογία κτίρια του δείγματος είναι αυτά που είχαν ταξινομηθεί ως αυτά με την καλύτερη απόδοση και στο κεφάλαιο 7.2.

Συνεπώς επιβεβαιώνεται η χρησιμότητα και η ορθότητα του δείκτη Rating και τονίζεται η ανάγκη περαιτέρω αξιοποίησης του για την βαθμολόγηση των NZEB σε ευρύτερη κλίμακα.

Προς αυτή την κατεύθυνση θα μπορούσε, στα πλαίσια μιας νέας διατριβής, να δημιουργηθεί μια ευρεία βάση δεδομένων με πολύ περισσότερα NZEB παγκοσμίως. Κατανέμοντας τα κτίρια αυτά σε κατηγορίες με βάση διάφορα κριτήρια (π.χ. τρόπος χρήσης, ιδιοκτησιακό καθεστώς κ.ά.) και γνωρίζοντας τις τιμές των δεικτών τους EP<sub>p</sub> και RER<sub>p</sub>, μπορεί εύκολα να υπολογισθεί η καλύτερη τιμή των δύο δεικτών ανά κατηγορία NZEB.

Έτσι, με ευκολία ο χρήστης θα μπορεί να υπολογίσει την βαθμολογία του δικού του NZEB ως προς το δείγμα NZEB της ίδιας κατηγορίας με το δικό του και την θέση του υπό αξιολόγηση κτιρίου στην κατάταξη, εφαρμόζοντας την παρακάτω σχέση:

$$Rating = \frac{RER_{px}}{RER_{pbcats}} * \frac{EP_{px}}{EP_{pbcats}}$$

**Σχέση 11 Τροποποίηση της σχέσης 10 για αξιολόγηση ενός οποιουδήποτε NZEB**

όπου,

RER<sub>px</sub> : τιμή του δείκτη RER<sub>p</sub> του υπό βαθμολόγηση κτιρίου

RER<sub>pbcats</sub> : η καλύτερη τιμή του δείκτη RER<sub>p</sub> που συναντάται στην αντίστοιχη κατηγορία κτιρίων

EP<sub>px</sub> : τιμή του δείκτη EP<sub>p</sub> του υπό βαθμολόγηση κτιρίου

EP<sub>pbcats</sub> : η καλύτερη τιμή του δείκτη EP<sub>p</sub> που συναντάται στην αντίστοιχη κατηγορία κτιρίων

Με αυτό τον τρόπο και καθορίζοντας μια ελάχιστη αποδεκτή τιμή του δείκτη Rating για κάθε κατηγορία NZEB, μπορεί να θεσπιστεί ένα πλαίσιο ελάχιστων απαιτήσεων ως προς την βαθμολογία που επιτυγχάνουν τα νέα NZEB και να δοθούν κίνητρα για τη συνεχή βελτίωση και βελτιστοποίησή τους.



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ & ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ**

---



## 8.1 Συμπεράσματα

Μετά την ολοκληρωμένη και λεπτομερή καταγραφή της παρούσας κατάστασης στο ευρωπαϊκό γίγνεσθαι γίνεται προφανής η ανάγκη ανάληψης περαιτέρω πρωτοβουλιών εκ μέρους του ευρωπαϊκού κοινοβουλίου τόσο για την παροχή σαφέστερων οδηγιών προς τα κράτη μέλη για την σαφέστερη διατύπωση και υιοθέτηση ενός οικουμενικού ορισμού για τα NZEB/nZEB όσο και για την δημιουργία κινήτρων που θα καταστήσουν προσοδοφόρα την κατασκευή τετοιων κτιρίων στον ευρωπαϊκό χώρο. Οι πρωτοβουλίες αυτές είναι απαραίτητες για την ευαισθητοποίηση των εμπλεκόμενων φορέων και ιδιωτών, ώστε να επιτευχθούν οι στόχοι που έχουν τεθεί για την ενεργειακή απόδοση των δημόσιων κτιρίων το 2018 και 2020 (Οδηγία 2010/31/ ΕΕ) και για να καταστεί η Ευρωπαϊκή Ένωση ανταγωνιστική στον τομέα αυτό ως προς τις ΗΠΑ, όπου καταγράφεται περισσότερη πρόοδος όσο αφορά την κατασκευή NZEB/nZEB.

Ο εντοπισμός πρότυπων κτιρίων μετά από εκτενή βιβλιογραφική επισκόπηση ανέδειξε τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά που είναι απαραίτητα ανά περίπτωση ώστε να εξασφαλιστεί η επίτευξη του απαραίτητου ενεργειακού ισοζυγίου. Δημιουργήθηκε, έτσι, μία βάση δεδομένων μέτρων ενεργειακής απόδοσης και ΑΠΕ που πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν και μπορούν να επιλεγθούν κατά τον σχεδιασμό ενός NZEB.

Επίσης, οι δύο δείκτες EPr και RERp που παρουσιάστηκαν και μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία κρίνονται αποτελεσματικοί και αναγκαίοι για την απεικόνιση της κατάστασης λειτουργίας ενός NZEB και προτείνεται να υιοθετηθούν από την ευρωπαϊκή και την εθνική νομοθεσία ώστε να υπάρχει ένας κοινός γνώμονας για την αξιολόγηση των NZEB/nZEB από όλα τα ενδιαφερόμενα μέλη. Η πραγματοποιηθείσα μελέτη των επιμέρους παραγόντων (συντελεστής μετατροπής ηλεκτρικής σε πρωτογενή ενέργεια) που λαμβάνονται υπ' όψιν για την ορθή αξιολόγηση ενός NZEB κρίνεται πολύ χρήσιμη και βοηθητική προς τον αξιολογητή.

Με βάση το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο δημιουργήθηκε ένα ενιαίο υπολογιστικό εργαλείο το οποίο επιτρέπει την γρήγορη και αξιόπιστη ανασκόπηση του ενεργειακού ισοζυγίου του μελετούμενου κτιρίου και καθιστά εύκολο τον χαρακτηρισμό του ως NZEB/nZEB.

Πρότυπα κτίρια-πλότοι αξιολογήθηκαν με βάση το εργαλείο αυτό και με βάση τα αποτελέσματα που εξήχθησαν εξετάστηκε η εξάρτηση της τιμής των δύο δεικτών EPr και RERp από την τιμή των καταναλώσεων του κτιρίου και των δομικών χαρακτηριστικών του (μέσω του συντελεστή θερμοπερατότητας U). Η πρώτη ανάλυση ευαισθησίας κρίνεται ιδιαίτερος χρήσιμη για τον μελετητή, κατά τον σχεδιασμό του κτιρίου και την προσομοίωση της ενεργειακής του απόδοσης. Τον βοηθά να επιλέξει τον βαθμό εξοικονόμησης ενέργειας που θα απαιτήσει ανά τύπο κατανάλωσης, ώστε να επιτύχει την επιθυμητή τιμή των δύο δεικτών με το μικρότερο δυνατό κόστος. Η δεύτερη ανάλυση ευαισθησίας ανέδειξε την ποιοτική εξάρτηση της τιμής των εν λόγω δεικτών από την τιμή του δείκτη θερμοπερατότητας U και δημιούργησε το υπόβαθρο για την περαιτέρω μελέτη της σχέσης των δύο αυτών, η οποία πρέπει να γίνει κυρίως σε επίπεδο βελτιστοποίησης κόστους.

Τέλος προτάθηκε το κατάλληλο πλαίσιο ταξινόμησης και βαθμολόγησης των NZEB/nZEB με τις τιμές των δεικτών EPr και RERp που τα χαρακτηρίζουν. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι δύο προτεινόμενες μεθοδολογίες συγκλίνουν ως προς τα αποτελέσματα. Έτσι μπορεί να θεωρηθεί με ασφάλεια ότι το συγκεκριμένο πλαίσιο βαθμολόγησης δύναται να αναχθεί σε ενιαίο και να εφαρμοστεί σε παγκόσμιο επίπεδο για την δημιουργία μιας κοινής βάσης δεδομένων, όπου τα

NZEB/nZEB θα ταξινομούνται και θα βαθμολογούνται σε σχέση με αντίστοιχα κτίρια παγκοσμίως και θα αποδίδεται σε κάθε NZEB μία ευρέως αποδεκτή βαθμολογία.

## 8.2 Προοπτικές

Η διάδοση και η εκτεταμένη κατασκευή NZEB/nZEB τις προσεχείς δεκαετίες καθιστά την μελέτη τους πολύ σημαντική. Η παρούσα εργασία δίνει το έναυσμα για περαιτέρω ανάλυση του σχεδιασμού και της λειτουργίας των NZEB και για την βελτίωση του τρόπου αξιολόγησής τους.

Στο μεθοδολογικό πλαίσιο αξιολόγησης που παρουσιάζεται στην παρούσα εργασία δίνεται βάρος στους δύο δείκτες EPr και RERp. Για την αξιολόγηση των NZEB/nZEB θα μπορούσε όμως να προταθεί και η αξιοποίηση άλλων δεικτών, οι οποίοι θα καλύπτουν πιθανώς ένα τμήμα της λειτουργίας των κτιρίων αυτών που δεν έχει ληφθεί υπ' όψιν. Λόγω της διαδύσεως των κτιρίων αυτών με τα δίκτυα ενέργειας θα μπορούσε, για παράδειγμα, να μελετηθεί η συμπεριφορά τους ως προς την ορθολογική χρήση των δικτύων ενέργειας και την ομαλή ενσωμάτωσή τους σε αυτά.

Προς αυτή την κατεύθυνση χρήσιμοι θα μπορούσαν να φανούν οι δείκτες LM (Load Matching – Συμφωνία με το Φορτίο) και GI (Grid Integration – Ενσωμάτωση στο Δίκτυο). Ο πρώτος αναφέρεται στην σύγκριση της τοπικής παραγωγής ενέργειας (από ΑΠΕ) με τα φορτία του κτιρίου. Μέσω αυτού μπορεί να αξιολογηθεί ο βαθμός στον οποίο επικαλύπτονται η παραγωγή και η κατανάλωση ενέργειας εντός του κτιρίου και άρα η εξάρτηση του κτιρίου από το υπάρχον δίκτυο. Ο δεύτερος αφορά στην ανταλλαγή ενέργειας με το δίκτυο. Μέσω αυτού επιτηρείται η επίδραση που έχει η λειτουργία των NZEB στο υπάρχον δίκτυο ενέργειας, όπως για παράδειγμα η συνεισφορά στην αύξηση των φορτίων αιχμής και η πρόκληση διακυμάνσεων τάσεως στα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας. Όσο αυξάνεται η διείσδυση των NZEB στην αγορά ακινήτων και άρα στα δίκτυα ενέργειας, τα παραπάνω αποτελούν παράγοντες που δεν πρέπει να εξαιρεθούν μιας πλήρους αξιολόγησής τους. (Salom, Widen, Candanedo, Sartori, Voss, & Marszal, 2011)

Σαν επόμενο βήμα κρίνεται πολύ χρήσιμη η τροποποίηση του υπολογιστικού εργαλείου που αναπτύχθηκε ώστε να μπορεί να λειτουργεί σε online μορφή. Με αυτό τον τρόπο θα είναι δυνατή η αξιοποίησή του από πλειάδα ερευνητών και αξιολογητών παγκοσμίως, γεγονός που θα συνεισφέρει και στην αξιολόγηση των NZEB υπό κοινούς κανόνες και με κοινή μεθοδολογία. Επίσης, προτείνεται η δημιουργία μιας πλατφόρμας ανταλλαγής απόψεων και κατάθεσης προτάσεων όσο αφορά την τροποποίηση και βελτίωση του εργαλείου αυτού για να μπορεί να ικανοποιήσει ακριβέστερα τις ανάγκες της αγοράς και να μπορεί να προσαρμόζεται στα νέα δεδομένα του συνεχώς εξελισσόμενου κατασκευαστικού κλάδου.

Προτείνεται, επίσης, η επέκταση της προτεινόμενης μεθοδολογίας για την ενσωμάτωση και την υποστήριξη της διαδικασίας βελτιστοποίησης κόστους στις παρεμβάσεις που δύναται να γίνουν στα NZEB, σε συνέχεια του κεφαλαίου 6.6.

Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι κρίνεται απαραίτητη η ανάπτυξη των κατάλληλων μεθοδολογιών ενημέρωσης και εκπαίδευσης των χρηστών των NZEB. Όπως έχει ήδη αναφερθεί στην παρούσα μελέτη, η μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης στα NZEB αποτελεί πρώτη προτεραιότητα και προαπαιτούμενο για την ορθή και επιτυχή λειτουργία τους. Προς αυτή την κατεύθυνση είναι, λοιπόν, προφανές ότι η συμπεριφορά των χρηστών των εν λόγω κτιρίων επηρεάζει άμεσα την λειτουργία τους και για αυτόν ακριβώς το λόγο είναι σημαντική η υιοθέτηση ορθής καθημερινής συμπεριφοράς μέσω επαναλαμβανόμενων εκπαιδεύσεων.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - ΠΗΓΕΣ

- Buildings Performance Institute Europe (BPIE). (2015). *Nearly Zero Energy Buildings Definitions Across Europe*. Brussels: Buildings Performance Institute Europe (BPIE).
- Canada Mortgage and Housing Corporation. (2010). *Inspiration: The Minto ecohome—Ottawa, Ontario*. Canada Mortgage and Housing Corporation.
- Canada Mortgage and Housing Corporation. (2010). *The Moncton VISION Home—Moncton, New Brunswick*. Canada Mortgage and Housing Corporation.
- Canada Mortgage and Housing Corporation. (2011). *Abundance Montréal: le Soleil—Montréal, Quebec*. Canada Mortgage and Housing Corporation.
- Canada Mortgage and Housing Corporation. (2011). *Avalon Discovery 3—Red Deer, Alberta*. Canada Mortgage and Housing Corporation.
- Canada Mortgage and Housing Corporation. (2011). *The Laebon CHESS Project—Red Deer, Alberta*. Canada Mortgage and Housing Corporation.
- Canada Mortgage and Housing Corporation. (2012). *EchoHaven—Calgary, Alberta*. Canada Mortgage and Housing Corporation.
- Canada Mortgage and Housing Corporation. (2012). *The Green Dream Home—Kamloops, British Columbia*. Canada Mortgage and Housing Corporation.
- Canada Mortgage and Housing Corporation. (2013). *Harmony House—Burnaby, British Columbia*. Canada Mortgage and Housing Corporation.
- Carlisle, N., Geet, O. v., & Pless, S. (2009). *Definition of a "Zero Net Energy" Community*. NREL Nation Renewable Energy Laboratory.
- Directive of the European Parliament and of the Council 2002/91/EC on the energy performance of buildings [2002] OJ L1/65.
- Directive of the European Parliament and of the Council 2010/31/EU on the energy performance of buildings [2010] OJ L153/13.
- Directive of the European Parliament and of the Council 2012/27/EU on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC [2012] OJ L315/1.
- Garde, F., & Donn, M. (2014). *Solution sets and Net Zero Energy Buildings : A review of 30 Net ZEBs case studies worldwide*. International Energy Agency (IEA).
- Girault, M., & Jedliczka, M. (2015). *D2.1 Best Practice Guide: Operational Success Stories. AFFIRMATIVE INTEGRATED ENERGY DESIGN ACTION (AIDA)*.
- Groezinger, J., Boermans, T., John, A., Wehringer, F., & Seehusen, J. (2014). *Overview of Member States information on NZEBs*. Ecofys.

- Hermelink, A., Schimschar, S., Boermans, T., Pagliano, L., Zangheri, P., Armani, R., et al. (2013). *Definition of common principles under the EPBD*. Ecofys / Politecnico di Milano / eERG / University of Wuppertal.
- Hernandez, P., & Kenny, P. (2009). From net energy to zero energy buildings: Defining life cycle zero energy buildings (LC-ZEB). *Elsevier*.
- International Energy Agency. (2008). *Energy Efficiency Requirements In Building Codes, Energy Efficiency Policy For New Buildings*. International Energy Agency.
- International Energy Agency. (n.d.). *Plus Energy House in Thening, Austria*. IEA.
- Jank, R. (2007). *The German VROM model*. Executive Agency for Competitiveness & Innovation (eaci).
- Klein, R., Claes, K., & Biesbroeck, K. (n.d.). *A Belgian pilot project for zero energy office buildings*.
- Kolokotsa, D., Rovas, D., Kosmatopoulos, E., & Kalaitzakis, K. (2010). A roadmap towards intelligent net zero- and positive-energy buildings. *ScienceDirect*.
- Kurnitski, J. (2013). *Cost Optimal and Nearly Zero-Energy Buildings (nZEB)*. London: Springer.
- Kurnitski, J. (2013, 03). Technical definition for nearly zero energy buildings. *REHVA Journal*.
- Kurnitski, J., Allard, F., Braham, D., Goeders, G., Heiselberg, P., Jagemar, L., et al. (2011, May). How to define nearly net zero energy buildings nZEB. *Rehva Journal*.
- Managan, K. (2012). *Net Zero Communities: One Building At a Time*. Institute for Building Efficiency, Johnson Controls.
- Marszal, A. J., Heiselberg, P., Bourelle, J. S., Musall, E., Voss, K., Sartori, I., et al. (2010). Zero Energy Building – A review of definitions and calculation methodologies. *Elsevier*.
- Napolitano, A., Lollini, R., Avesani, S., & Sparber, W. (2009). A case study of the “Net Zero Energy. 47° AICARR International Conference. Tivoli-Roma.
- Øvergaard, S. (2008). *Definition of primary and secondary energy*. Statistics Norway.
- Pless, S., & Torcellini, P. (2010). *Net-Zero Energy Buildings: A Classification System Based on Renewable Energy Supply Options*. U.S. National Renewable Energy Laboratory.
- Reeth, B. V., Roussel, K., & Aihara, H. (2012, October). Verified net Zero Energy Building with air source heat pumps for SME. *REHVA Journal*.
- Salom, J., Widen, J., Candanedo, J., Sartori, I., Voss, K., & Marszal, A. (2011). Understanding Net Zero Energy Buildings: Evaluation of Load Matching and Grid Interaction Indicators. *12th Conference of International Building Performance Simulation Association*. Sydney.
- Sartori, I., Napolitano, A., & Voss, K. (2012). Net zero energy buildings: A consistent definition framework. *Elsevier*.
- Sartori, I., Napolitano, A., Marszal, A. J., Pless, S., Torcellini, P., & Voss, K. (n.d.). *Criteria for Definition of Net Zero Energy Buildings*.



- Spitalny, L., Unger, D., Maasmann, J., Schwerdt, P., Reeth, B. V., Thiemann, A., et al. (2013). Evaluation of Renewable Energy Technologies in a net Zero Energy Office Building in Germany. *ISSN 2172-038 X, No.11*. Bilbao, Spain: Renewable Energy and Power Quality Journal (RE&PQJ).
- Stoffregen, A., & Schuller, D. O. (2014). *Primary Energy Demand of Renewable Energy Carriers Part 1: Definitions, accounting methods and their applications with a focus on electricity and heat from renewable energies*. Ecofys & PE International AG.
- Surmeli-Anac, D. N., Hermelink, D. A., Jager, D. d., & Groenenberg, H. (2014). *Primary Energy Demand of Renewable Energy Carriers Part 2 Policy Implications*. Ecofys & PE International AG.
- The Buildings Performance Institute Europe. (2013). *IMPLEMENTING THE COST-OPTIMAL METHODOLOGY IN EU COUNTRIES*. The Buildings Performance Institute Europe.
- Torcellini, P., Pless, S., Deru, M., & Crawley, D. (2006). Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition. *NREL/CP-550-39833*. Pacific Grove, California: National Renewable Energy Laboratory (NREL).
- Torcellini, P., Pless, S., Lobato, C., & Hootman, T. (2010). Main Street Net-Zero Energy Buildings: The Zero Energy Method in Concept and Practice. *NREL/CP-550-47870*. Phoenix, Arizona: National Renewable Energy Laboratory (NREL).
- U.S. Department of Energy Buildings Database*. (n.d.). Retrieved from U.S. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy: <https://buildingdata.energy.gov/>
- Voss, K., Sartori, I., & Lollini, R. (2012). Nearly-zero, Net zero and Plus Energy Buildings- How definitions and regulations affect the solutions. *REHVA*.
- Wilby, M. R., Gonzalez, A. B., & Diaz, J. J. (2014). Empirical and dynamic primary energy factors. *Elsevier*.
- Zeiler, W. (2011, May). UKP NESK: TNT Green Office in Hoofddorp, Holland. *REHVA Journal*.
- Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (KENAK) (Απόφαση Αριθμ. Δ6/Β/οικ. 5825 [2010] ΕΚ 407.
- Κορωνάιος, Α. Γ., & Πουλάκος, Γ. Ι. (2005). *ΤΕΧΝΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΤΟΜΟΣ 2*. ΑΘΗΝΑ: ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ.
- Νόμος Υπ' Αριθμόν 3661 Μέτρα για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων και άλλες διατάξεις [2008] ΕΚ 89.
- Νόμος Υπ' Αριθμόν 4067 Νέος Οικοδομικός Κανονισμός [2012] ΕΚ 79.
- Νόμος Υπ' Αριθμόν 4122 Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων – Εναρμόνιση με την Οδηγία 2010/31/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου και λοιπές διατάξεις [2013] ΕΚ 42

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ



Φωτ. Υλικό 1 TNT Green Office, The Netherlands

Πηγή: <http://www.paulderuiter.nl/>



Φωτ. Υλικό 2 Marche Kempthal Switzerland

Πηγή: <http://www.marche-restaurants.com/>



Φωτ. Υλικό 3 Casa Zero Energy, Italy

Πηγή: <http://inhabitat.com/>



Φωτ. Υλικό 4 The Laebon CHES Project, Canada

Πηγή: <http://www.cmhc-schl.gc.ca/>



Φωτ. Υλικό 5 Άποψη του εξωτερικού και του εσωτερικού του NZEB στο Hertzen της Γερμανίας.

Πηγή: <http://www.rehva.eu/>



Φωτ. Υλικό 6 Άποψη του εξωτερικού και του εσωτερικού του NaturaliaBau στο Merano της Ιταλίας

Πηγή: <http://naturalia-bau.it/>



Φωτ. Υλικό 7 Άποψη του εξωτερικού και του εσωτερικού του Science House στη Minnesota των ΗΠΑ

Πηγή: <https://buildingdata.energy.gov/>



Φωτ. Υλικό 8 Άποψη του εξωτερικού και του εσωτερικού του Hudson στη Νέα Υόρκη των ΗΠΑ

Πηγή: <https://buildingdata.energy.gov/>



Φωτ. Υλικό 9 Άποψη του εξωτερικού του Building 3156 και των Φ/Β πάνελ στο Oak Ridge στο Tennessee των ΗΠΑ Πηγή: <https://buildingdata.energy.gov/>



Φωτ. Υλικό 10 Άποψη του εξωτερικού και του εσωτερικού του Putney School στο Vermont των ΗΠΑ

Πηγή: <https://buildingdata.energy.gov/>



Φωτ. Υλικό 11 Άποψη του εξωτερικού, του εσωτερικού, των εγκατεστημένων Φ/Β και των γεωθερμικών σωληνών του Aldo Leopold Legacy Center στο Wisconsin των ΗΠΑ Πηγή: <https://buildingdata.energy.gov/>



Φωτ. Υλικό 12 Άποψη του εξωτερικού και του εσωτερικού της τράπεζας PNC στη Florida των ΗΠΑ

Πηγή: <https://buildingdata.energy.gov/>



Φωτ. Υλικό 13 Άποψη του εξωτερικού και του εσωτερικού του RSF στο Colorado των ΗΠΑ

Πηγή: <https://buildingdata.energy.gov/>