



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

**ΜΕΛΕΤΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΚΤΙΡΙΟΥ
ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΑΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ ΣΤΑ ΙΩΑΝΝΙΝΑ**

Διπλωματική Εργασία

Γρίβας Κωνσταντίνος

Επιβλέπων: Μπαργιώτας Δημήτριος

Οκτώβριος 2021



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

**ΜΕΛΕΤΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΚΤΙΡΙΟΥ
ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΑΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ ΣΤΑ ΙΩΑΝΝΙΝΑ**

Διπλωματική Εργασία

Γρίβας Κωνσταντίνος

Επιβλέπων: Μπαργιώτας Δημήτριος

Οκτώβριος 2021



UNIVERSITY OF THESSALY
SCHOOL OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING

**ENERGY EFFICIENCY CALCULATION OF A
SECONDARY EDUCATION BUILDING OF IOANNINA**

Diploma Thesis

Grivas Konstantinos

Supervisor: Bargiotas Dimitrios

October 2021

Εγκρίνεται από την Επιτροπή Εξέτασης:

Επιβλέπων

Μπαργιώτας Δημήτριος

Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και
Μηχανικών Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Μέλος

Δασκαλοπούλου Ασπασία

Επίκουρος Καθηγήτρια, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και
Μηχανικών Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Μέλος

Σταμούλης Γεώργιος

Καθηγητής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών
Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστώ θερμά τον καθηγητή μου, Μπαργιώτα Δημήτριο, για την καθοδήγηση, τις παρατηρήσεις, τα σχόλια και την ενασχόληση καθ' όλη την χρονική περίοδο εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας καθώς και την καθηγήτρια Δασκαλοπούλου Ασπασία ούτως ώστε να προσεγγίζω, μελετώ και να προτείνω ιδέες γύρω από το αντικείμενο ενασχόλησης μου. Τέλος, ευχαριστώ τον καθηγητή Σταμούλη Γεώργιο για τις υποδείξεις του σε όλη τη χρονική διάρκεια φοίτησής μου στο τμήμα, την υπομονή και το πνεύμα συνεργασίας που χρειάζεται να έχει κάποιος για να επιτυγχάνεται το βέλτιστο αποτέλεσμα.

Ευχαριστώ επίσης τον Πολιτικό Μηχανικό Υφαντή Άρη για τις κατόψεις του κτιρίου και τον ενεργειακό Ηλεκτρολόγο Μηχανικό και Μηχανικό Η/Υ Σβεντζούρη Παντελή για τις προτάσεις των αντλιών θερμότητας, οι οποίοι εδρεύουν στα Ιωάννινα. Θερμές ευχαριστίες ακόμη στον Ηλεκτρολόγο Μηχανικό και Μηχανικό Η/Υ και Υποψήφιο Διδάκτορα του τμήματος Ζημέρη Δημήτριο, ο οποίος εδρεύει στο Βόλο, για την επαφή και γνωριμία με το αντικείμενο των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων καθώς επίσης και για την εκπαίδευσή του με τα προγράμματα των RetScreen και TEE KENAK και την τρόπον τινά προσφορά εμπειρίας του για την είσοδο στην αγορά εργασίας.

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ ΠΕΡΙ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΗΣ ΔΕΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ

Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ρητά ότι η παρούσα διπλωματική εργασία, καθώς και τα ηλεκτρονικά αρχεία και πηγαίοι κώδικες που αναπτύχθηκαν ή τροποποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας, αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο, αρχεία ή/και πηγές άλλων συγγραφέων, αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. Δηλώνω επίσης ότι τα αποτελέσματα της εργασίας δεν έχουν χρησιμοποιηθεί για την απόκτηση άλλου πτυχίου. Αναλαμβάνω πλήρως, ατομικά και προσωπικά, όλες τις νομικές και διοικητικές συνέπειες που δύναται να προκύψουν στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δεν μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής.

Ο Δηλών

Γρίβας Κωνσταντίνος

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Όλα τα αποτελέσματα που παραθέτονται στην παρούσα εργασία δεν είναι προϊόν μελέτης αλλά συλλογής πληροφοριών από επαγγελματίες του κλάδου. Η εργασία μελετά την ενεργειακή απόδοση ενός δημοσίου κτηρίου δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στην περιοχή Ιωαννίνων μέσω του Ελληνικού λογισμικού TEE KENAK. Μετά τον υπολογισμό του βαθμού απόδοσης του υφιστάμενου κτιρίου γίνεται αξιολόγηση της ενεργειακής συμπεριφοράς πιθανών μέτρων αναβάθμισης αυτής, ώστε να διαφανεί το πλαίσιο ενεργειακής εξοικονόμησης στο κτήριο αναφοράς.

Αρχικά, στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται εκτενής αναφορά στην επιβάρυνση που δέχεται το περιβάλλον από τον κτιριακό τομέα στην Ευρώπη. Στη συνέχεια, ακολουθεί περιγραφή του στόχου 20-20-20 και των ενεργειών της πολιτείας για την εκπλήρωση του. Τέλος, γίνεται αναφορά στατιστικών δεδομένων, που σχετίζονται με την κατανάλωση ενέργειας στην Ευρώπη. Στο τρίτο κεφάλαιο, και σε συνέχεια της αναφοράς στην κείμενη Ευρωπαϊκή νομοθεσία, γίνεται ιδιαίτερα λόγος για την προσέγγιση του παθητικού κτηρίου. Ως κτίρια μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας (ZEB) ορίζονται τα κτίρια, τα οποία στο σύνολο ενός χρόνου παράγουν ίση ή περισσότερη ενέργεια από την ενέργεια που καταναλώνουν. Δεν εξετάζεται η μορφή της ενέργειας που παράγουν ή καταναλώνουν, αρκεί στο σύνολο του έτους να παράγεται σε μια ή περισσότερες μορφές ενέργειας η ενέργεια που καταναλώνεται σε οποιαδήποτε μορφή από το κτίριο. Από την άλλη, ως κτίριο σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας (nZEB) ορίζεται το κτίριο, το οποίο αφενός έχει πολύ μικρές, σχεδόν μηδενικές απαιτήσεις ενέργειας και αφετέρου καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος αυτών με ενέργεια, η οποία προέρχεται από την εφαρμογή συστημάτων ΑΠΕ. Έμφαση δίνεται στην περιγραφή των μέτρων που μπορούν να ληφθούν προς την κατεύθυνση των nZEB. Στο τέταρτο κεφάλαιο η βιβλιογραφική ανασκόπηση περιορίζεται σε κτηριακές εγκαταστάσεις εκπαίδευσης, όπου αναφέρονται δεδομένα καταναλώσεις αλλά και πιθανές δράσεις εξοικονόμησης που, βρίσκουν εφαρμογή σε αυτό τον κτηριακό τύπο. Τέλος στο πέμπτο κεφάλαιο αναλύεται η διαδικασία της ενεργειακής επιθεώρησης, σύμφωνα με τις ευρωπαϊκές οδηγίες, εφαρμόζοντας τους αντίστοιχους νόμους στην Ελλάδα. Επιπλέον, παρουσιάζονται βασικές και σύγχρονες δράσεις εξοικονόμησης ενέργειας σε υφιστάμενα κτίρια, που διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην ενεργειακή απόδοση και κλάση των κτιρίων.

Έπεται περιγραφή του ΚΕνΑΚ και ο ρόλος του ενεργειακού επιθεωρητή στην έκδοση πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης.

Στο δεύτερο μέρος της μελέτης, παρουσιάζεται η εφαρμογή της μεθοδολογίας στο κτήριο εφαρμογής. Αρχικά, στο έκτο κεφάλαιο γίνεται αναλυτική περιγραφή του προς μελέτη κτιρίου και παρατίθενται στοιχεία των συστημάτων κάλυψης θερμικών και ψυκτικών φορτίων και των ηλεκτρικών καταναλώσεων από ηλεκτρικές συσκευές και συστήματα. Ακόμη, μελετάται η ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου και καταγράφονται οι ενεργειακές καταναλώσεις και τα ενεργειακά κόστη των τελευταίων χρονών. Στο μέρος αυτό γίνεται προσομοίωση του κτιρίου με το λογισμικό ΚΕνΑΚ. Με το λογισμικό αυτό εκτιμάται η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου ανά τελική χρήση (θέρμανση, ψύξη, αερισμός, φωτισμός, ζεστό νερό χρήσης) και συνολικά, ώστε να προκύψει η ενεργειακή κατάταξη του κτηρίου.

Στο κεφάλαιο της μελέτης παρουσιάζονται διάφορες προτάσεις για την ενεργειακή αναβάθμιση του κτιρίου, μέσω των προβλημάτων που εντοπίστηκαν από την ενεργειακή επιθεώρηση, οι οποίες με τη σειρά τους προσομοιώνονται μέσω του ιδίου προγράμματος, ώστε να γίνει η αξιολόγηση των προτεινόμενων λύσεων. Τέλος, γίνεται μία οικονομική ανάλυση των παρεμβάσεων με βάση τα οικονομικά δεδομένα της Ελλάδας για την εξακρίβωση της οικονομικής σκοπιμότητας των παρεμβάσεων. Στο τελευταίο μέρος παρατίθενται τα βασικά συμπεράσματα, στα οποία καταλήγει η μελέτη καθώς και δράσεις για περαιτέρω αξιοποίηση των αποτελεσμάτων.

Λέξεις κλειδιά: εξοικονόμηση ενέργειας, παθητικά κτήρια, δημόσια κτήρια, ΚΕνΑΚ, δράσεις ενεργειακής αναβάθμισης.

ABSTRACT

All the results presented in this dissertation are not a product of case study but a collection of data and advice of professionals in the field. This dissertation focuses on the calculation of the energy efficiency of a public building of secondary education in the area of Ioannina through the usage of the Greek software TEE KENAK. After calculating the efficiency of the existing building, the energy performance of potential upgrades is measured in order to estimate the saving potential in the reference building.

Section 2 makes an extensive reference to the overall energy performance framework of buildings in Europe. The most relevant regulation is presented. Finally, statistics related to energy consumption in European building sector are reported. In section 3, and following the reference to the current European legislation, special reference about the concept of the passive building is presented. Zero energy buildings (ZEB) are defined as buildings that in the total time produce equal or more energy than the energy they consume. The form of energy they produce or consume is not considered, as long as the energy consumed in any form by the building is produced in one or more forms of energy throughout the year. On the other hand, a building with almost zero energy consumption (nZEB) is defined as a building, which on the one hand has very small, almost zero energy requirements and on the other hand covers most of them with energy, which comes from the implementation of RES systems. Emphasis is made on the description of measures that can be taken towards the direction of nZEB concept implementation. In section 4, the literature review is focusing on educational building facilities where consumption data are reported as well as possible savings actions applicable to this specific building type. Finally, section 5 presents the details of the process of energy inspection in accordance with European directives applying the relevant laws in Greece. In addition, energy saving actions that may be place in existing buildings and play a key role in the energy efficiency and class of buildings are presented. Moreover, the KENAK regulation is described and the role of the energy inspector in the issuance of energy efficiency certificate is highlighted.

In the second part of the study, the application of the methodology in the reference building is presented. At first, in section 6, a detailed description of the building is provided and data about thermal and electrical consumption of electrical appliances and systems are presented.

Also, the energy behavior of the building is studied and the energy consumptions and energy costs of recent years are recorded. In this part, the building is simulated with the KENAK software to estimate the primary energy consumption of the building per end use (heating, cooling, ventilation, lighting, hot water) and in total, in order to obtain the energy classification of the building.

In the next part (section 7) various proposals for the energy upgrade of the building are presented, which in turn are simulated through the same program to evaluate the expected impact. Finally, a financial analysis of the interventions is made based on the financial data in order to verify the economic feasibility of the proposed interventions. The last part of the thesis presents the main conclusions of the study as well as actions for further utilization of the results.

Keywords: energy saving, passive buildings, public buildings, KENAK, energy upgrade actions.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	ix
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	xii
ABSTRACT	xv
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	xx
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	xxii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ	xxiii
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : Εισαγωγή	1
1.1 Σημαντικότητα θέματος και διατύπωση ερευνητικού προβλήματος	1
1.2 Πεδίο εφαρμογής της έρευνας.....	2
1.3 Σκοπός και στόχοι της εργασίας	3
1.4 Δομή της εργασίας	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : Εξοικονόμηση Ενέργειας Στην Ευρώπη	6
2.1 Προβλήματα υπερκατανάλωσης ενέργειας.....	6
2.1.1 Περιβαλλοντικά προβλήματα	7
2.1.2 Οικονομικά προβλήματα	10
2.2 Κατανάλωση Ενέργειας Στην Ευρώπη	12
2.3 Στόχοι εξοικονόμησης ενέργειας	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : Κτήρια Μηδενικής Και Σχεδόν Μηδενικής Κατανάλωσης Ενέργειας	25
3.1 Ορισμός	25
3.2 Κατηγορίες κτιρίων nZEB και ZEB.....	27
3.3 Αρχές σχεδιασμού κτιρίων nZEB και ZEB	32
3.4 Αρχιτεκτονικός σχεδιασμός	33
3.4.1 Μεγιστοποίηση κερδών και περιορισμός απωλειών κελύφους.....	34
3.4.2 Εφαρμογή αρχών βιοκλιματικού σχεδιασμού κτιρίων	36
3.5 Χρήση συστημάτων ΑΠΕ	41
3.5.1 Κάλυψη θερμικών φορτίων	42
3.5.2 Κάλυψη ηλεκτρικών φορτίων	43
3.6 Χρήση αυτοματισμών – έξυπνων συστημάτων	46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : Εξοικονόμηση Ενέργειας Σε Σχολικές Μονάδες	48

4.1 Απαιτήσεις ενέργειας	48
4.2 Μετατροπές μονάδων σε nZEB / ZEB.....	54
4.3 Παραδείγματα	60
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : <i>Ενεργειακή Αναβάθμιση Κτιρίων Στην Ελλάδα</i>.....	66
5.1 Κτιριακό δυναμικό	66
5.2 Προγράμματα ενεργειακής αναβάθμισης κτιρίων	71
5.3 Σχέδιο αύξησης αριθμού κτιρίων nZEB και ZEB.....	73
5.3.1 Κριτήρια καθορισμού κτιρίου ως nZEB	74
5.3.2 Στόχοι	76
5.3.3 Πολιτικές και κίνητρα	77
5.4 Στατιστικά στοιχεία.....	79
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : <i>Μελέτη Περίπτωσης</i>	94
6.1 Υφιστάμενη κατάσταση	94
6.1.1 Τοποθεσία.....	94
6.1.2 Κατασκευή.....	96
6.2 Χρήση κτιρίου.....	99
6.3 Ενεργειακές καταναλώσεις	100
6.3.1 Ηλεκτρικά φορτία.....	100
6.3.2 Θερμικά φορτία	102
6.4 Ενεργειακή κατάταξη υφιστάμενου κτιρίου	103
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 : <i>Ενεργειακή Αναβάθμιση Κτιρίου</i>	105
7.1 Εισαγωγή.....	105
7.2 Ενεργειακή αναβάθμιση – Θερμομόνωση	106
7.3 Ενεργειακή αναβάθμιση συστήματος θέρμανσης.....	109
7.4 Φωτοβολταϊκό σύστημα για ηλεκτροπαραγωγή.....	111
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 : <i>Συμπεράσματα</i>	117
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ	120
Ελληνόγλωσσες.....	120
Ξενόγλωσσες.....	121

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1: <i>Αύξηση θερμοκρασίας σε σχέση με τους ρύπους.</i> Πηγή: (Elias, 2018).....	8
Σχήμα 2.2: <i>Διακύμανση τιμής πετρελαίου.</i> Πηγή: (BP, 2020).....	11
Σχήμα 2.3: <i>Πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας ανά καύσιμο στην ΕΕ-27 μεταξύ των ετών 1990 και 2018.</i> Πηγή: (Eurostat, 2020)	14
Σχήμα 2.4: <i>Πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας αθροιστικά στην ΕΕ-27 μεταξύ των ετών 1990 και 2018.</i> Πηγή: (Eurostat, 2020).....	15
Σχήμα 2.5: <i>Τελική κατανάλωση ενέργειας αθροιστικά στην ΕΕ-27 μεταξύ των ετών 1990 και 2018.</i> Πηγή: (Eurostat, 2020).....	16
Σχήμα 2.6: <i>Κατανάλωση ενέργειας ανά κάτοικο στην ΕΕ-27 το 2018.</i> Πηγή: (Eurostat, 2020) ...	17
Σχήμα 2.7: <i>Κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα στην ΕΕ-27 το 2018.</i> Πηγή: (Eurostat, 2020).....	19
Σχήμα 2.8: <i>Διακύμανση πρωτογενούς παραγωγής ενέργειας στην ΕΕ-27 μεταξύ των ετών 1990-2019.</i> Πηγή: (Eurostat, 2020).....	20
Σχήμα 2.9: <i>Διακύμανση τελικής κατανάλωσης ενέργειας στην ΕΕ-27 μεταξύ των ετών 1990-2019.</i> Πηγή: (Eurostat, 2020).....	21
Σχήμα 2.10: <i>Μεταβολή πρωτογενούς κατανάλωσης ενέργειας μεταξύ 2006 και 2019 ανά χώρα της ΕΕ-27.</i> Πηγή: (Eurostat, 2021)	22
Σχήμα 2.11: <i>Μεταβολή τελικής κατανάλωσης ενέργειας μεταξύ 2006 και 2019 ανά χώρα της ΕΕ-27.</i> Πηγή: (Eurostat, 2021).....	22
Σχήμα 2.12: <i>Τελική κατανάλωση ενέργειας στην Ελλάδα.</i> Πηγή: (CRES, 2018).....	24
Σχήμα 3.1: <i>Βασική δομή εντός δικτύου ZEB ή nZEB.</i> Πηγή: (Lu et al, 2019)	28
Σχήμα 3.2: <i>Βασική δομή εκτός δικτύου ZEB.</i> Πηγή: (Lu et al, 2019)	29
Σχήμα 3.3: <i>Κατηγοριοποίηση ποιότητας κτιρίων ZEB.</i> Πηγή: (Pless & Torcellini, 2010).....	31
Σχήμα 3.4: <i>Προσανατολισμός κτιρίου με πρόσοψη και ανοίγματα προς τον νότο.</i> Πηγή: (PIMES, 2015)	34
Σχήμα 3.5: <i>Σκίαση με την χρήση προβόλου.</i> Πηγή: (PIMES, 2015)	37
Σχήμα 3.6: <i>Λειτουργία θερμική μάζας.</i> Πηγή: (PIMES, 2015).....	38
Σχήμα 3.7: <i>Ηλιακός χώρος.</i> Πηγή: (PIMES, 2015)	40
Σχήμα 3.8: <i>Αρχές βιοκλιματικού σχεδιασμού εφαρμοσμένες σε κτίρια nZEB στην Ευρώπη.</i> Πηγή: (Paoletti et al., 2017).....	41
Σχήμα 4.1: <i>Κατανάλωση ενέργειας ανά κατηγορία σχολικής μονάδας στο Κουρδιστάν.</i> Πηγή: (Husein, 2018).....	52
Σχήμα 4.2: <i>Μηνιαίο προφίλ κατανάλωσης ενέργειας σχολικής μονάδας στο Κουρδιστάν.</i> Πηγή: (Husein, 2018).....	52
Σχήμα 4.3: <i>Κατανάλωση ενέργειας στις σχολικές μονάδες των ΗΠΑ.</i> Πηγή: (Pereira et al., 2014)	53
Σχήμα 4.4: <i>Κατανάλωσης ενέργειας σχολικής μονάδας στο Κουρδιστάν ανά σενάριο αναβάθμισης του κτιρίου.</i> Πηγή: (Husein, 2018).....	56
Σχήμα 4.5: <i>Μείωση ενέργειας με εγκατάσταση συστήματος θέρμανσης, αερισμού και κλιματισμού σε τέσσερις σχολικές μονάδες των ΗΠΑ.</i> Πηγή: (Schelly et al., 2010).....	58
Σχήμα 4.6: <i>Σχολική μονάδα nZEB στην Γερμανία.</i> Πηγή: (Erhome-Kluttig & Erhome, 2016) ...	61
Σχήμα 4.7: <i>Σχολική μονάδα nZEB στην Ιταλία.</i> Πηγή: (Erhome-Kluttig & Erhome, 2016)	63
Σχήμα 4.8: <i>Σχολική μονάδα ZEB στην Κορέα.</i> Πηγή: (Kang et al., 2015).....	64
Σχήμα 4.9: <i>Μηνιαίο προφίλ κατανάλωσης ενέργειας εκπαιδευτικής μονάδας ZEB στην Κορέα.</i> Πηγή: (Kang et al., 2015)	65

Σχήμα 5.1: <i>Ηλικιακή κατανομή κτιριακού δυναμικού κατοικιών Ελλάδος</i> . Πηγή: (Ελληνική Κυβέρνηση, 2020)	69
Σχήμα 5.2: <i>Ηλικιακή κατανομή κτιριακού δυναμικού τριτογενούς τομέα Ελλάδος</i> . Πηγή: (Ελληνική Κυβέρνηση, 2020).....	70
Σχήμα 5.3: <i>Αριθμός ΠΕΑ και ενεργειακή κλάση κτιρίων τριτογενούς τομέα</i> . Πηγή: (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2020)	80
Σχήμα 5.4: <i>Ετήσια κατανάλωση ενέργειας κτιρίων τριτογενούς τομέα</i> . Πηγή: (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2020)	82
Σχήμα 5.5: <i>Ετήσια κατανάλωση ενέργειας κτιρίων τριτογενούς τομέα ανά κλιματική ζώνη</i> . Πηγή: (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2020)	83
Σχήμα 5.6: <i>Ενεργειακό ισοζύγιο κτιρίων τριτογενούς τομέα</i> . Πηγή: (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2020).....	84
Σχήμα 5.7: <i>Αριθμός ΠΕΑ και ενεργειακή κλάση κτιρίων δημόσιου τομέα</i> . Πηγή: (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2020)	85
Σχήμα 5.8: <i>Ετήσια κατανάλωση ενέργειας κτιρίων δημόσιου τομέα</i> . Πηγή: (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2020)	87
Σχήμα 5.9: <i>Ενεργειακό ισοζύγιο κτιρίων δημόσιου τομέα</i> . Πηγή: (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2020).....	88
Σχήμα 5.10: <i>Αριθμός ΠΕΑ και ενεργειακή κλάση νεόδμητων και ριζικά ανακαινισμένων κτιρίων τριτογενούς τομέα</i> . Πηγή: (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2020)	89
Σχήμα 5.11: <i>Ετήσια κατανάλωση ενέργειας νεόδμητων και ριζικά ανακαινισμένων κτιρίων τριτογενούς τομέα</i> . Πηγή: (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2020).....	90
Σχήμα 5.12: <i>Ενεργειακό ισοζύγιο νεόδμητων και ριζικά ανακαινισμένων κτιρίων τριτογενούς τομέα</i> . Πηγή: (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2020)	92
Σχήμα 6.1: <i>Ακριβής γεωγραφική αποτύπωση κτηριακής εγκατάστασης</i>	95
Σχήμα 6.2: <i>Κλιματικές ζώνες κατά ΚΕΝΑΚ</i>	95
Σχήμα 6.3: <i>Ακριβής αποτύπωση κτηριακής εγκατάστασης - Ισόγειο</i>	97
Σχήμα 6.4: <i>Ακριβής αποτύπωση κτηριακής εγκατάστασης - 1^{ος} όροφος</i>	98
Σχήμα 6.5: <i>Ακριβής αποτύπωση χρήσης της κτηριακής εγκατάστασης</i> . Πηγή: (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017).....	99
Σχήμα 6.6: <i>Αποτύπωση απόδοσης της κτηριακής εγκατάστασης</i>	104

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 5.1: Κατανομή κτιρίων ανά αριθμό ορόφων και περιφέρεια. Πηγή: (ΕΛΣΤΑΤ, 2011)	67
Πίνακας 5.2: Κατανομή κτιρίων ανά χρήση και περιφέρεια. Πηγή: (ΕΛΣΤΑΤ, 2011)	68
Πίνακας 5.3: Χρονική περίοδος κατασκευής σχολικών κτιρίων στην Ελλάδα. Πηγή: (ΕΛΣΤΑΤ, 2011)	71
Πίνακας 6.1: Προφίλ ηλεκτρικής κατανάλωσης στην εγκατάσταση - ΚΕνΑΚ.	101
Πίνακας 6.2: Προφίλ ηλεκτρικής κατανάλωσης στην εγκατάσταση – ΚΕνΑΚ.	102
Πίνακας 6.3: Προφίλ κατανάλωσης θέρμανσης στην εγκατάσταση – Μετρήσεις.	103
Πίνακας 6.4: Προφίλ πρωτογενούς ενέργειας στην εγκατάσταση	104
Πίνακας 7.1: Προφίλ πρωτογενούς ενέργειας στην εγκατάσταση – Σενάριο 1.	107
Πίνακας 7.2: Αποτελέσματα τεχνοοικονομικής ανάλυσης – Σενάριο 1.	107
Πίνακας 7.3: Προφίλ πρωτογενούς ενέργειας στην εγκατάσταση –Σενάριο 2.	109
Πίνακας 7.4: Αποτελέσματα τεχνοοικονομικής ανάλυσης – Σενάριο 2.	110
Πίνακας 7.5: Προφίλ πρωτογενούς ενέργειας στην εγκατάσταση –Σενάριο 3.	113
Πίνακας 7.6: Αποτελέσματα τεχνοοικονομικής ανάλυσης – Σενάριο 3.	114
Πίνακας 7.7: Προφίλ πρωτογενούς ενέργειας στην εγκατάσταση –Σενάριο 4.	115
Πίνακας 7.8: Αποτελέσματα τεχνοοικονομικής ανάλυσης – Σενάριο 4.	115

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

ΑΕΠ	Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν
ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
ΕΒΑ	Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης
ΕΕ-27	Ευρωπαϊκή Ένωση με 27 κράτη - μέλη (χωρίς το Ηνωμένο Βασίλειο)
ΖΝΧ	Ζεστό Νερό Χρήσης
ΚΠΑ	Καθαρή Παρούσα Αξία
ΚΕνΑΚ	Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων
ΚΣΜΚΕ	Κτίρια Σχεδόν Μηδενικής Κατανάλωσης Ενέργειας
ΟΤΑ	Οργανισμοί Τοπικής Αυτοδιοίκησης
ΠΕΑ	Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης
ΣΗΘ	Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας
IRR	Internal Rate of Return
NPV	Net Present Value
Mtoe	Milion Tons of Oil Equivalent
nZEB	nearly Zero Energy Buildings
toe	Tons of Oil Equivalent
ZEB	Zero Energy Buildings

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : *Εισαγωγή*

1.1 Σημαντικότητα θέματος και διατύπωση ερευνητικού προβλήματος

Ένας από τους μεγαλύτερους τομείς κατανάλωσης ενέργειας είναι ο οικιστικός τομέας, με κατανάλωση ενέργειας που αντιστοιχεί περίπου στο 25% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας στην ΕΕ. Ο οικιστικός τομέας αποτελείται από μια μεγάλη ποικιλία κτιρίων, που χρησιμοποιούνται για διάφορες εφαρμογές. Ένα μεγάλο μέρος των κτιρίων αυτών είναι δημόσια κτίρια, κτίρια τα οποία έχει την δυνατότητα να αναβαθμίσει το ίδιο το κράτος. Μια από τις κατηγορίες δημόσιων κτιρίων είναι τα κτίρια που χρησιμοποιούνται για εκπαίδευση. Τα κτίρια αυτά χαρακτηρίζονται από συγκεκριμένες ενεργειακές απαιτήσεις, που προκύπτουν από το ειδικό ωράριο λειτουργίας τους.

Η παρούσα εργασία στοχεύει στη μελέτη ενός σχολικού κτιρίου πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης, γεωγραφικά τοποθετημένο στην Βόρεια Ελλάδα, όπου υπάρχουν μεγαλύτερες ενεργειακές απαιτήσεις. Στόχος της εργασίας είναι η ενεργειακή αναβάθμιση της σχολικής μονάδας. Διατυπώνονται και ερευνώνται επεμβάσεις μείωσης των ενεργειακών απαιτήσεων της μονάδας, επεμβάσεις που αφορούν το ίδιο το κτίριο ως κατασκευή αλλά και συστήματα που είναι εγκατεστημένα στο κτίριο.

Επιπρόσθετα εξετάζεται η δυνατότητα μετατροπής του συγκεκριμένου κτιρίου σε κτίριο σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης. Τα κτίρια σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης (nearly Zero Energy Buildings – nZEB) καταναλώνουν ελάχιστη ενέργεια. Αυτό επιτυγχάνεται διαμέσου δύο οδών, με μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης του κτιρίου και με αύξηση της παραγωγής ενέργειας από το ίδιο το κτίριο. Στην υπό μελέτη σχολική μονάδα λοιπόν εξετάζεται και η δυνατότητα παραγωγής ενέργειας, ώστε να καλύψει μέρος της απαιτούμενης για την λειτουργία της ενέργειας.

Εκτός των στόχων της βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου η εργασία καλείται να απαντήσει σε ένα ακόμη ερευνητικό ερώτημα. Το ερώτημα αυτό είναι το κατά πόσο τα συμπεράσματα της εργασίας μπορούν να γενικευτούν, ώστε να αφορούν το σύνολο ή μέρος των σχολικών μονάδων της χώρας ή αφορούν μόνο το υπό μελέτη κτίριο. Η απάντηση του

ερωτήματος αυτού είναι καίριας σημασίας, καθώς σε περίπτωση που τα συμπεράσματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε άλλες μονάδες τότε η παρούσα εργασία μπορεί να αποτελέσει οδηγό ενεργειακής αναβάθμισης των σχολικών μονάδων της χώρας.

1.2 Πεδίο εφαρμογής της έρευνας

Η μελέτη του παρόντος κτιρίου γίνεται στο πλαίσιο της ενεργειακής αναβάθμισης των κτιρίων, ιδιωτικών και δημόσιων, της χώρας. Γενικά η Ελλάδα χαρακτηρίζεται από πεπαλαιωμένο κτιριακό δυναμικό, το οποίο δεν έχει ανανεωθεί σε μεγάλο βαθμό, εξαιτίας της δεκαετούς οικονομικής κρίσης και της υγειονομικής κρίσης που ακολούθησε. Οι ανεγέρσεις νέων κτιρίων, ιδιωτικών ή δημόσιων, από το 2009 και εντεύθεν είναι ελάχιστες. Αποτέλεσμα αυτού είναι η ύπαρξη ενός τεράστιου κτιριακού δυναμικού, το οποίο κατασκευάστηκε πριν την θέσπιση του νέου σύγχρονου ΚΕνΑΚ (Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων), ενός νέου κανονισμού που διέπει την κατασκευή κτιρίων με γνώμονα την βέλτιστη ενεργειακή τους απόδοση (ΚΕνΑΚ, 2017). Αυτό το κτιριακό δυναμικό είναι κατασκευασμένο βάσει κανονισμών, οι οποίοι δεν είχαν ως απώτερο στόχο τους τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, επομένως είναι δυναμικό ενεργοβόρο.

Η έρευνα που διεξάγεται στην παρούσα εργασία λοιπόν εφαρμόζεται στα πεπαλαιωμένα σχολικά συγκροτήματα της Ελλάδας και στοχεύει στην ανακαίνισή τους, με το βλέμμα στραμμένο στη βελτίωση της ενεργειακής τους απόδοσης. Επιπλέον όμως το κτίριο μελετάται και σε ένα δεύτερο πεδίο, στο πεδίο της παραγωγής ενέργειας από κτίρια και όχι μόνο της κατανάλωσης. Τι καλύτερο από ένα κτίριο που έχει την δυνατότητα να παράγει την ενέργεια που χρειάζεται να καταναλώσει; Έτσι λοιπόν η έρευνα εντάσσεται σε ένα γενικότερο πεδίο που δεν αφορά μόνο την μείωση κατανάλωσης ενέργειας αλλά αφορά την συνολική ενεργειακή αναβάθμιση ενός κτιρίου και την μετατροπή του σε κτίριο χαμηλής ή και μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης ενέργειας.

1.3 Σκοπός και στόχοι της εργασίας

Η παρούσα εργασία εκπονείται σε μια εποχή όπου μετασχηματίζεται ο τομέας της ενέργειας, υπό το βάρος των περιβαλλοντικών και οικονομικών προβλημάτων, που προκάλεσε τις προηγούμενες δεκαετίες η υπερκατανάλωση ενέργειας παραγόμενης από συμβατικές πηγές. Αποτέλεσμα είναι η μεταστροφή των δυτικών τουλάχιστον κρατών σε πολιτικές μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας, και παραγωγής ενέργειας από νέες πηγές ενέργειας, καθαρές, ανανεώσιμες. Οι πολιτικές αυτές εφαρμόζονται σε πολλούς τομείς: ένας εξ αυτών και ο οικιστικός τομέας. Μάλιστα, οι κυβερνήσεις, προσπαθώντας να περιορίσουν τα δικά τους έξοδα, και ταυτόχρονα να δώσουν το παράδειγμα, προχωρούν σε ενεργειακές αναβαθμίσεις των δημόσιων κτιρίων.

Σε αυτό το πλαίσιο λοιπόν εκπονείται η συγκεκριμένη εργασία. Οι στόχοι που τίθενται αφορούν αρχικά την ενεργειακή αναβάθμιση ενός σχολικού κτιρίου, με έδρα σε μια περιοχή με μεγάλες απαιτήσεις ενέργειας εξαιτίας των κλιματολογικών συνθηκών, στα Ιωάννινα. Έτσι, σε πρώτη φάση η εργασία στοχεύει στη δημιουργία ενός πλέγματος παρεμβάσεων, οι οποίες θα περιορίσουν την κατανάλωση ενέργειας στο συγκεκριμένο κτίριο.

Σε δεύτερη φάση η εργασία στοχεύει στην παρουσίαση πρόσθετων παρεμβάσεων, οι οποίες θα επιτύχουν ή θα πλησιάσουν τον μηδενισμό της καταναλισκόμενης ενέργειας από το κτίριο. Οι παρεμβάσεις αυτές βασίζονται στην παραγωγή ενέργειας στην ίδια την κτιριακή μονάδα, ενέργειας προερχόμενης από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ). Απώτερος σκοπός είναι η παραγωγή ίδιου ποσού ενέργειας με αυτό που θα καταναλώνει το κτίριο μετά τις παρεμβάσεις αναβάθμισής του. Με αυτό τον τρόπο το κτίριο μετατρέπεται σε ένα κτίριο μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας (Zero Energy Building, ZEB). Στην παρούσα εργασία κρίνεται αποδεκτό ακόμη και το ενδεχόμενο η παραγωγή ενέργειας να είναι ελαφρά μικρότερη από την κατανάλωση, έτσι εν τέλει να προκύπτει ένα κτίριο σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας nZEB, στόχος που είναι ευκολότερος και εφικτός με μικρότερες δαπάνες εκ μέρους του κράτους.

Η εργασία όμως δεν αρκείται στο να προτείνει παρεμβάσεις για το συγκεκριμένο κτίριο μόνο. Ο κυριότερος στόχος της εργασίας είναι η γενίκευση των συμπερασμάτων, έτσι ώστε να αφορούν το σύνολο των κτιρίων δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Ειδικότερα, η εκπόνηση της

μελέτης γίνεται με τρόπο κατά τον οποίο η γενίκευση είναι εφικτή και οι παρεμβάσεις που προκύπτουν σε γενικές γραμμές να είναι εφαρμόσιμες στο σύνολο των σχολικών μονάδων, ή τουλάχιστον των μονάδων της Βόρειας Ελλάδας που έχουν περίπου τα ίδια κατασκευαστικά χαρακτηριστικά (κεραμοσκεπή). Τελικός σκοπός της εργασίας λοιπόν είναι η δημιουργία ενός πλέγματος παρεμβάσεων εξοικονόμησης ενέργειας και παραγωγής ενέργειας, που να είναι εφικτές σε κτιριακά συγκροτήματα, και να τα μετατρέπουν σε κτίρια ZEB ή nZEB.

1.4 Δομή της εργασίας

Η εργασία, προκειμένου να εξυπηρετήσει τους παραπάνω σκοπούς και να επιτύχει τους στόχους της, δομείται σε εννέα ανεξάρτητα κεφάλαια. Το πρώτο κεφάλαιο, η εισαγωγή, διατυπώνει το ερευνητικό πρόβλημα που μελετάται στην παρούσα εργασία, καθορίζει το πεδίο εφαρμογής της έρευνας, διατυπώνει με σαφήνεια τους σκοπούς και τους στόχους της παρούσας εργασίας και καταγράφει την δομή της.

Κατόπιν της εισαγωγής, η εργασία μπορεί να διαχωριστεί σε δύο μέρη· το πρώτο μέρος, που αποτελείται από τα κεφάλαια δύο έως και πέντε, και το δεύτερο μέρος, που αποτελείται από τα κεφάλαια έξι έως εννέα. Στο πρώτο μέρος της εργασίας γίνεται μια σύγχρονη βιβλιογραφική ανασκόπηση της θεματολογίας, με την οποία ασχολείται η παρούσα εργασία. Ειδικότερα, κατόπιν μελέτης πρόσφατης βιβλιογραφίας, καταγράφονται αρχικά στοιχεία που αφορούν την εξοικονόμηση ενέργειας στην Ευρώπη και δεδομένα σχετικά με τα κτίρια σχεδόν μηδενικής και μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας. Ακολούθως γίνεται εξειδίκευση στις δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας σε σχολικές μονάδες και παρατίθενται παραδείγματα από τον διεθνή χώρο. Τέλος, η βιβλιογραφική ανασκόπηση ολοκληρώνεται με την παρουσίαση των δεδομένων της ενεργειακής αναβάθμισης κτιρίων στην ελληνική επικράτεια, δίνοντας περισσότερη έμφαση στα δημόσια κτίρια και δη στα κτίρια που χρησιμοποιούνται για εκπαιδευτικούς σκοπούς.

Το δεύτερο μέρος της εργασίας, που αποτελείται από τα κεφάλαια έξι έως οκτώ, είναι το ερευνητικό μέρος. Σε αυτά τα τρία κεφάλαια γίνεται η μελέτη περίπτωσης ενός κτιρίου δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στα Ιωάννινα. Αρχικά, παρουσιάζεται το κτίριο στην υφιστάμενη του κατάσταση και εν συνεχεία γίνονται οι προτάσεις αναβάθμισης των υφιστάμενων συστημάτων του. Η μελέτη περίπτωσης ολοκληρώνεται με την διερεύνηση των δυνατοτήτων

ένταξης συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο κτίριο. Κάθε προτεινόμενη επέμβαση αναβάθμισης των υφιστάμενων συστημάτων ή εγκατάστασης νέων συστημάτων, των οποίων η εγκατάσταση κρίνεται εφικτή, συνοδεύεται από την τεchnοοικονομική τους μελέτη, δηλαδή την διαστασιολόγηση και την κοστολόγησή τους.

Το δεύτερο μέρος της εργασίας, και η εργασία συνολικά, ολοκληρώνεται με το ένατο κεφάλαιο, το κεφάλαιο των συμπερασμάτων. Στο κεφάλαιο αυτό πραγματοποιούνται και παρουσιάζονται η ενεργειακή επιθεώρηση του κτιρίου και η μελέτη σκοπιμότητας υλοποίησης των παρεμβάσεων. Η μελέτη σκοπιμότητας χωρίζεται σε τρία τμήματα προκειμένου να εξεταστούν ανεξάρτητα η ενεργειακή σκοπιμότητα, η οικονομική σκοπιμότητα και η περιβαλλοντική σκοπιμότητα για το σύνολο των επεμβάσεων. Με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από αυτά διατυπώνονται τα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας. Πέραν της καταγραφής των αποτελεσμάτων, στα συμπεράσματα επιχειρείται μια γενίκευση στο σύνολο των εκπαιδευτικών κτιρίων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : Εξοικονόμηση Ενέργειας Στην Ευρώπη

2.1 Προβλήματα υπερκατανάλωσης ενέργειας

Η κατανάλωση ενέργειας από κάθε άνθρωπο, τουλάχιστον στις αναπτυγμένες χώρες του δυτικού κόσμου, είναι ένα προνόμιο που κερδήθηκε με σκληρή δουλειά μετά τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο. Σε αυτό βοήθησε η αύξηση του βιοτικού επιπέδου των ανθρώπων αλλά και η ανάπτυξη των δικτύων διανομής της ενέργειας σε κάθε γωνιά των χωρών. Πλέον το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας φτάνει σε κάθε απομακρυσμένο σπίτι, με εξαίρεση τις χώρες του τρίτου κόσμου, ενώ καύσιμα, βασικές πηγές ενέργειας, είναι διαθέσιμα σε πολύ μικρές αποστάσεις από τα σημεία διαμονής των ανθρώπων (Elias, 2018).

Η ευκολία πρόσβασης στην ενέργεια έχει όμως ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενεργοβόρων ανθρώπων. Οι άνθρωποι σε κάθε φάση της ζωής τους πλέον καταναλώνουν ενέργεια. Στο σπίτι τους χρησιμοποιούν συσκευές, που απαιτούν ενέργεια για να λειτουργήσουν. Επιπλέον, ικανοποιούν όλες τις βασικές τους ανάγκες (π.χ. μαγείρεμα ή μπάνιο) με την κατανάλωση ενέργειας. Στην εργασία τους το ίδιο (με εξαίρεση χειρωνακτικές εργασίες). Για την μετακίνησή τους χρησιμοποιούν μέσα, τα οποία καταναλώνουν ενέργεια, καθώς οι αποστάσεις που έχουν δημιουργηθεί μεταξύ χώρων διαμονής και χώρων εργασίας συχνά είναι δύσκολο να διανυθούν με τα πόδια. Επιπρόσθετα αυτών, η αύξηση του βιοτικού επιπέδου των ανθρώπων οδήγησε σε αύξηση της βιομηχανικής παραγωγής και κατά συνέπεια σε αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας από αυτή. Εάν σε αυτά προστεθεί και η αύξηση του πληθυσμού στην γη, τότε κανείς μπορεί να αντιληφθεί για ποιο λόγο υπάρχει συνεχής αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας στον πλανήτη (Elias, 2018).

Η αυξημένη κατανάλωση ενέργειας όμως συνεπάγεται και αυξημένη παραγωγή ενέργειας, ώστε να μπορούν να καλυφθούν οι ανάγκες. Η παραγωγή ενέργειας όμως δεν είναι μια απλή υπόθεση. Απαιτεί ένα καύσιμο, το οποίο χρησιμοποιείται σε μια διεργασία καύσης, ώστε να μετατραπεί η χημική του ενέργεια σε θερμική. Ως καύσιμα θεωρούνται στοιχεία που έχουν παραχθεί στην γη με την πάροδο αιώνων και είναι πλούσια σε άνθρακα (γαιάνθρακες, πετρέλαιο, φυσικό αέριο). Η παραγόμενη θερμική ενέργεια είτε χρησιμοποιείται ως έχει είτε

μετατρέπεται με την χρήση μιας μηχανής σε ηλεκτρική ή κινητική ενέργεια. Αυτός είναι ο συμβατικός τρόπος παραγωγής ενέργειας, που χρησιμοποιείται σε μεγάλη ένταση από την βιομηχανική επανάσταση και μετά (Elias, 2018).

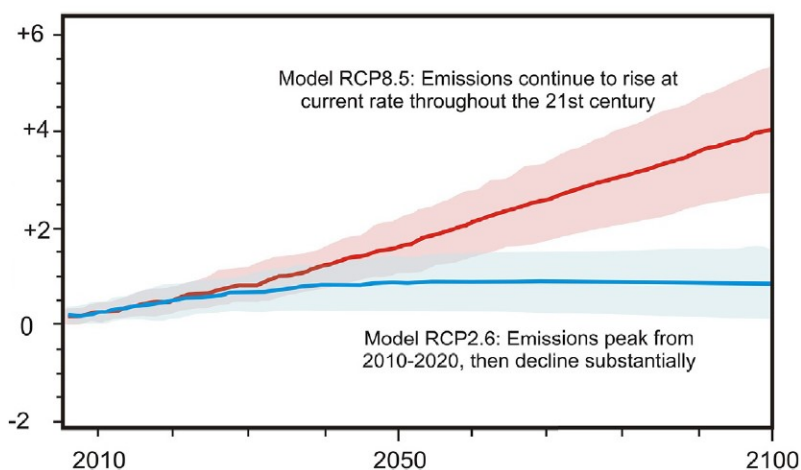
Η παραγωγή ενέργειας με την χρήση ορυκτών καυσίμων δεν είναι όμως μια απλή διαδικασία, που γίνεται χωρίς συνέπειες. Αντιθέτως, η καύση των ορυκτών καυσίμων δημιουργεί μια πλειάδα προβλημάτων για το περιβάλλον, κάποια σε τοπικό επίπεδο στις περιοχές που γίνεται η καύση και κάποια στο σύνολο του πλανήτη. Τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά προβλήματα που οφείλονται στην υπερκατανάλωση ενέργειας περιγράφονται στην ενότητα 2.1.1. Επιπρόσθετα αυτών, δημιουργούνται και διάφορα οικονομικά προβλήματα εξαιτίας του ότι τα καύσιμα είναι αγαθά που υπόκεινται στους κανόνες του εμπορίου. Και ένας από τους βασικούς κανόνες είναι ότι η τιμή ενός αγαθού αυξάνεται όσο υπάρχει ζήτηση. Τα οικονομικά προβλήματα που προκαλούνται από την υπερκατανάλωση ενέργειας περιγράφονται στην ενότητα 2.1.2.

2.1.1 Περιβαλλοντικά προβλήματα

Ένα από τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά προβλήματα, ένα παγκόσμιο περιβαλλοντικό πρόβλημα, είναι η αύξηση των ρύπων διοξειδίου του άνθρακα και η συνεπακόλουθη κλιματική αλλαγή που έχει επέλθει. Αποτέλεσμα της καύσης ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας είναι η έκλυση σε μεγάλες ποσότητες ρύπων του διοξειδίου του άνθρακα (και σε μικρότερες άκαυστων υδρογονανθράκων). Οι ρύποι αυτοί ανέρχονται στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας και δημιουργούν σημαντικά προβλήματα, καθώς προκαλείται το φαινόμενο του θερμοκηπίου (Elias, 2018; Giorgetta et al., 2013).

Σύμφωνα με το φαινόμενο του θερμοκηπίου, οι ρύποι αυτοί που συγκεντρώνονται στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας εμποδίζουν τη διέξοδο της ηλιακής ακτινοβολίας από την γη προς το διάστημα. Η ηλιακή ακτινοβολία όταν εισέρχεται στην ατμόσφαιρα της γης είναι πλούσια ενεργειακά και διαπερνάει το στρώμα των ρύπων. Στην συνέχεια φτάνει στην επιφάνεια της γης, εκεί όπου ένα μέρος απορροφάται και ένα μέρος ανακλάται. Το ανακλώμενο μέρος κινείται ξανά προς το διάστημα, έχοντας χάσει όμως ένα μέρος της ενέργειάς του. Η μείωση της ενέργειάς του έχει ως συνέπεια να μην μπορέσει τώρα να διαπεράσει το στρώμα των ρύπων, έτσι ανακλάται ξανά και παραμένει εντός της γήινης ατμόσφαιρας. Η αύξηση της ηλιακής ακτινοβολίας εντός της ατμόσφαιρας συνεπάγεται μακροπρόθεσμα την αύξηση της

θερμοκρασίας του πλανήτη. Στο Σχήμα 2.1 φαίνεται μια πρόβλεψη αύξησης της θερμοκρασίας σε σχέση με τις εκπομπές ρύπων. Στο αισιόδοξο σενάριο μείωσης των ρύπων μετά το 2020, τότε η θερμοκρασία σταθεροποιείται μετά το 2040. Εάν οι ρύποι συνεχίσουν να αυξάνονται με τον ίδιο ρυθμό, τότε η θερμοκρασία θα αυξηθεί κατά 4°C έως το 2100 (Elias, 2018).



Σχήμα 2.1: *Αύξηση θερμοκρασίας σε σχέση με τους ρύπους.* Πηγή: (Elias, 2018)

Απότοκο της αυξημένης θερμοκρασίας του πλανήτη είναι η κλιματική αλλαγή. Φαινόμενα στην γη όπως οι βροχές, οι καταιγίδες, οι τυφώνες, οι ανεμοστρόβιλοι, οι άνεμοι σχετίζονται με τη θερμοκρασία που επικρατεί (μαζί με διάφορα άλλα φαινόμενα που εμφανίζονται τοπικά). Οι αυξημένες θερμοκρασίες κάνουν όλα αυτά τα φαινόμενα εντονότερα, αυξάνοντας την καταστροφική τους δύναμη. Επιπρόσθετα αυτών, η αύξηση της θερμοκρασίας έχει ως αποτέλεσμα το λιώσιμο των πάγων. Το νερό που λιώνει καταλήγει στους ωκεανούς, αυξάνοντας την στάθμη της θάλασσας και μακροπρόθεσμα βυθίζει τις παραθαλάσσιες περιοχές. Επιπλέον, η αύξηση της θερμοκρασίας οδηγεί σε παρατεταμένες περιόδους ξηρασίας και ερημοποίηση αρκετών περιοχών, οι οποίες βρίσκονται πριν την τροπική ζώνη. Τέλος, η μείωση των βροχοπτώσεων και η αυξημένη θερμοκρασία αυξάνει τους κινδύνους για πυρκαγιές στα δάση, καταστρέφοντας μεγάλα τμήματα αυτών και κάνοντας το πρόβλημα εντονότερο, καθώς καταστρέφονται τα δέντρα που έχουν την ικανότητα να απορροφούν το διοξείδιο του άνθρακα (Elias, 2018).

Ένα δεύτερο περιβαλλοντικό πρόβλημα, που προκαλείται από τα καυσαέρια της καύσης ορυκτών καυσίμων, είναι η όξινη βροχή. Η όξινη βροχή είναι επί της ουσίας κατακρημνίσματα,

τα οποία έχουν χαμηλότερο pH από το συνηθισμένο ουδέτερο pH της βροχής, με αποτέλεσμα να είναι όξινα. Τα κατακρημνίσματα αυτά συμπεριφέρονται σαν οποιοδήποτε οξύ, με αποτέλεσμα να καταστρέφουν υλικά, τα οποία είναι ευαίσθητα στο οξύ. Τέτοια υλικά είναι αρκετά από τα συνηθισμένα μέταλλα που υπάρχουν στην καθημερινότητά μας και υλικά που έχουν ως βάση τους τον ασβεστόλιθο όπως είναι για παράδειγμα τα μάρμαρα. Επιπλέον, η όξινη βροχή προκαλεί προβλήματα και οδηγεί στον θάνατο τα φυτά. Με αυτό τον τρόπο καταστρέφονται ή υποβαθμίζονται καλλιέργειες και καταστρέφονται δάση. Ακόμη, η όξινη βροχή στο τέλος καταλήγει στα ποτάμια και τις λίμνες, όπου με τον καιρό αλλάζει το συνολικό τους pH, καταστρέφοντας την ζωή σε αυτά. Αφού το όξινο νερό πέφτει στις καλλιέργειες και στους προς βρώση πληθυσμούς ψαριών γλυκού νερού, εισέρχεται και στην διατροφική αλυσίδα του ανθρώπου και κατά συνέπεια και στον άνθρωπο με συνέπειες μακροχρόνια άγνωστες προς ώρα (Grennfelt et al., 2020; Steffen et al., 2018).

Η δημιουργία της όξινης βροχής βασίζεται αποκλειστικά στους ρύπους, που εκλύονται στο περιβάλλον από την καύση ορυκτών καυσίμων. Συγκεκριμένα, οφείλεται στους ρύπους των οξειδίων του θείου και του αζώτου, οι οποίοι στην ατμόσφαιρα συναντούν τους υδρατμούς και με τη βοήθεια της ηλιακής ακτινοβολίας αντιδρούν μεταξύ τους, δημιουργώντας δύο οξέα, το θειικό και το νιτρικό οξύ. Τα οξέα αυτά εμπεριέχονται πλέον στους υδρατμούς της ατμόσφαιρας και καταλήγουν πίσω στην γη υπό την μορφή κατακρημνισμάτων (βροχή, χαλάζι, χιόνι, υγρασία κλπ). Το φαινόμενο της όξινης βροχής είναι ένα υπερτοπικό φαινόμενο, καθώς οι όξινοι υδρατμοί μπορούν να μεταφερθούν και μερικές εκατοντάδες χιλιόμετρα προτού πέσουν ξανά πίσω στην γη. Εντονότερο πρόβλημα αυτή την στιγμή έχει η κεντρική Ασία, κυρίως εξαιτίας της έντονης ρύπανσης που προέρχεται από τις ταχέως αναπτυσσόμενες οικονομίες της Κίνας και της Ινδίας, των οποίων η ανάπτυξη βασίζεται στην παραγωγή ενέργειας από ορυκτά καύσιμα (Grennfelt et al., 2020).

Το τελευταίο μεγάλης σημασίας πρόβλημα, ένα τοπικό πρόβλημα αυτή την φορά, είναι το φωτοχημικό νέφος. Μεγάλο μέρος της ανθρώπινης δραστηριότητας εντοπίζεται εντός ή πέριξ των αστικών κέντρων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα σε αυτές τις περιοχές να υπάρχουν έντονες δραστηριότητες καύσης ορυκτών καυσίμων, είτε για σκοπούς παραγωγής (π.χ. εργοστάσια) είτε για σκοπούς κίνησης (οχήματα) είτε για σκοπούς θέρμανσης (λέβητες συστημάτων θέρμανσης). Το αποτέλεσμα είναι η έκλυση μεγάλου αριθμού ρύπων σε μικρές περιοχές. Σε ημέρες στις οποίες υπάρχει άπνοια, με αποτέλεσμα τη δυσκολία στην απομάκρυνση των ρύπων

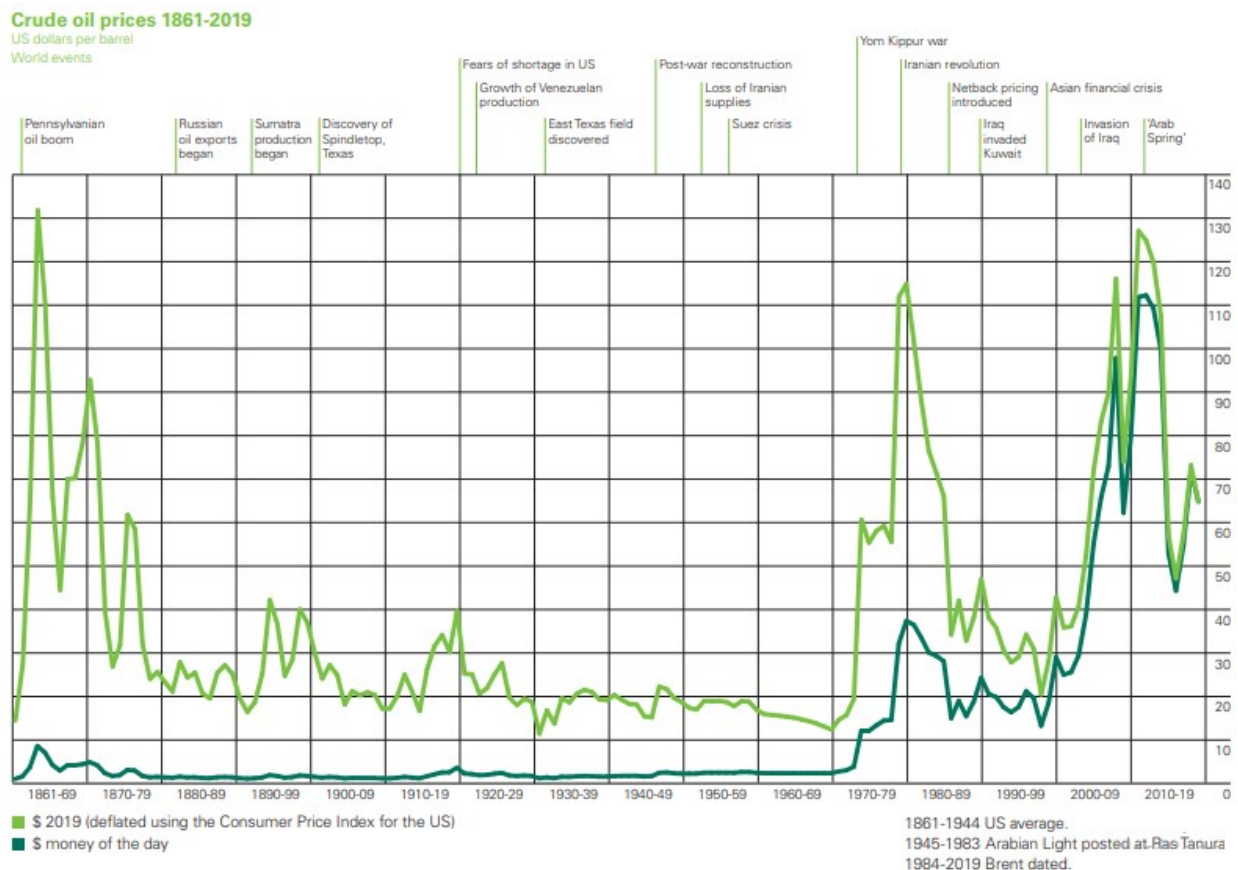
προκαλούνται κρίσεις, στις οποίες είτε εμφανίζονται υψηλοί αριθμοί μικροσωματιδίων είτε, ακόμη χειρότερα, εμφανίζεται το φωτοχημικό νέφος. Συνέπεια της μακροχρόνιας έκθεσης του τοπικού πληθυσμού σε αυτή την υψηλή αέρια μόλυνση των αστικών κέντρων είναι η αύξηση των αναπνευστικών προβλημάτων του πληθυσμού, κάτι το οποίο οδηγεί σε αύξηση των δαπανών του κράτους για περίθαλψη, σε περιορισμό του βιοτικού επιπέδου του πληθυσμού και τη μείωση του προσδόκιμου ζωής του (EPA, 2004).

2.1.2 Οικονομικά προβλήματα

Μια άλλη μεγάλη κατηγορία προβλημάτων, που προκαλεί η υπερκατανάλωση ενέργειας, είναι τα οικονομικά προβλήματα. Τα οικονομικά προβλήματα προέρχονται από δύο παράγοντες: από την αύξηση του κόστους των καυσίμων και από την θέσπιση του δικαιώματος ρύπων (ο δεύτερος παράγοντας ισχύει μόνο για τις ευρωπαϊκές χώρες). Μπορεί να φαίνονται ως προβλήματα των κρατών, καθώς εκείνα πληρώνουν συνήθως για την παραγωγή ενέργειας, όμως εν τέλει μέσω των τιμών των πετρελαιοειδών και του ηλεκτρικού ρεύματος καταλήγουν να επιβαρύνουν τους ίδιους τους καταναλωτές ενέργειας.

Το πρώτο σκέλος του προβλήματος είναι η αύξηση στην τιμή των ορυκτών καυσίμων, κάτι που αυξάνει το κόστος τόσο των διυλισμένων πετρελαιοειδών όσο και του παραγόμενου ηλεκτρικού ρεύματος. Η αύξηση της τιμής εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, γεωπολιτικούς, οικονομικούς και άλλους. Πολλές φορές μια κρίση σε μια μεγάλη πετρελαιοπαραγωγό χώρα αρκεί για να αυξήσει τις τιμές των καυσίμων. Άλλες φορές αρκεί μια απόφαση όλων των πετρελαιοπαραγωγών χωρών για μείωση της παραγωγής για να αυξηθεί η τιμή. Πολλές φορές όμως δεν χρειάζεται τίποτα από τα δύο. Αρκεί η αύξηση της ζήτησης. Όσο μεγαλύτερη ζήτηση έχουν τα ορυκτά καύσιμα τόσο αυξάνεται η τιμή τους, είναι άλλωστε αυτό ένας κανόνας του ελεύθερου εμπορίου. Μάλιστα, αν αναλογιστεί κανείς ότι κάποια κοιτάσματα ορυκτών καυσίμων εξαντλούνται και απαιτούνται νέες επενδύσεις, συχνά πιο ακριβές για να εκμεταλλευτούν τα νέα κοιτάσματα, τότε αυτό οδηγεί σε περαιτέρω αύξηση των τιμών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μια συνεχή ανοδική πορεία της τιμής των καυσίμων σε βάθος χρόνου, ανεξαρτήτως αν σε κάποιο μικρό διάστημα πέντε – δέκα χρόνων εμφανίζεται σταθεροποίηση ή και μείωση στις τιμές. Μάλιστα, μετά από κάθε μεγάλη πετρελαϊκή κρίση η τιμή των ορυκτών καυσίμων σταθεροποιείται σε υψηλότερες τιμές. Στο Σχήμα 2.2 φαίνεται η διαχρονική πορεία της τιμής του αργού πετρελαίου τα περίπου 150 τελευταία χρόνια. Διακρίνονται επίσης οι

κρίσεις της εποχής και πως έχουν μεταβάλει τις τιμές του πετρελαίου. Παρατηρείται λοιπόν μια τεράστια αύξηση της τιμής δύο φορές, μετά την ιρανική επανάσταση το 1979 και μετά την αραβική άνοιξη το 2012. Και στις δύο περιπτώσεις παρατηρείται σταθεροποίηση των τιμών σε υψηλότερα επίπεδα μετά το πέρας των κρίσεων (BP, 2020).



Σχήμα 2.2: Διακύμανση τιμής πετρελαίου. Πηγή: (BP, 2020)

Ένας δεύτερος παράγοντας, που αυξάνει το κόστος της ενέργειας, ειδικότερα της ηλεκτρικής ενέργειας, είναι το χρηματιστήριο των ρύπων. Η Ευρωπαϊκή Ένωση, προκειμένου να περιορίσει την ρύπανση που προκαλούν τα κράτη-μέλη της και να περιορίσει τα περιβαλλοντικά προβλήματα, που με την σειρά της προκαλεί η ρύπανση, θέσπισε το χρηματιστήριο ρύπων. Η λογική του χρηματιστήριου των ρύπων είναι πως όποιος ρυπαίνει θα πληρώνει. Το χρηματιστήριο των ρύπων αναγκάζει τις εταιρίες παραγωγής ενέργειας να αγοράζουν δικαιώματα εκπομπής ρύπων. Αυτό αυξάνει το κόστος ηλεκτροπαραγωγής από ρυπογόνες πηγές όπως είναι οι γαιάνθρακες. Στόχος της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι να

καταστήσει ασύμφορη την ηλεκτροπαραγωγή από ρυπογόνες πηγές, καθιστώντας οικονομικά σκόπιμες τις επενδύσεις σε καθαρότερες μορφές ηλεκτροπαραγωγής όπως είναι οι ΑΠΕ. Αυτό όμως έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του κόστους ηλεκτροπαραγωγής και την μετακύλισή του στους καταναλωτές, μέχρι να υπάρξει μετασχηματισμός του ισοζυγίου ηλεκτρικής ενέργειας των χωρών μελών. Αυτό το πρόβλημα είναι ιδιαίτερα έντονο στην χώρα μας, όπου η ηλεκτροπαραγωγή από την καύση λιγνίτη ξεπερνούσε το 50% (EU, 2015).

2.2 Κατανάλωση Ενέργειας Στην Ευρώπη

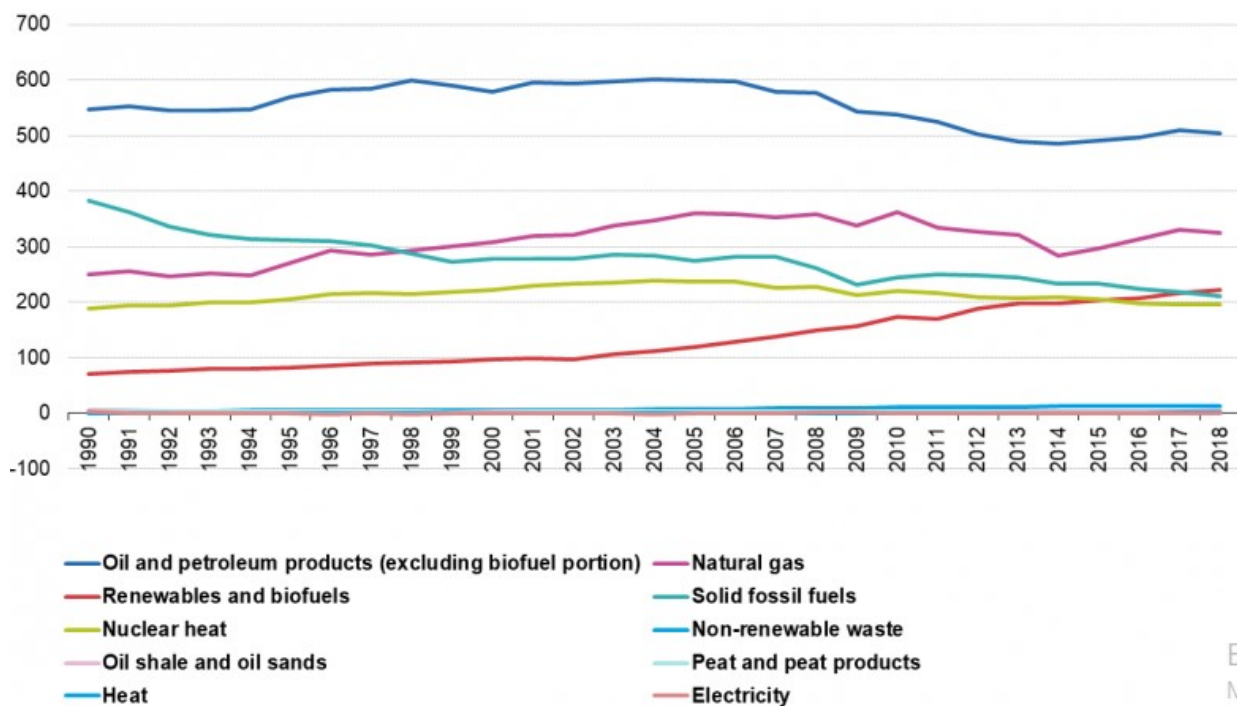
Η Ευρώπη (συζητώντας για την Ευρώπη, εφεξής θα γίνεται αναφορά στην Ευρωπαϊκή Ένωση των 27 –ΕΕ-27– καθώς τα στατιστικά που υπάρχουν διαθέσιμα, μολονότι αφορούν το 2018, έχουν αναπροσαρμοστεί και δημοσιεύονται χωρίς τα μεγέθη που αφορούν το Ηνωμένο Βασίλειο) είναι μια ήπειρος, η οποία κατά βάση καταναλώνει ενέργεια. Οι συμβατικές πηγές ενέργειας της Ευρωπαϊκής ηπείρου είναι ελάχιστες. Περιορίζονται κυρίως στα αποθέματα πετρελαίου της βόρειας θάλασσας και σε μεγάλα κοιτάσματα άνθρακα στο σύνολο της ηπείρου. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα η ευρωπαϊκή ήπειρος να είναι μια ήπειρος που καταναλώνει κατ'εξοχήν άνθρακα (κυρίως για ηλεκτροπαραγωγή), ώστε να περιορίσει την ενεργειακή εξάρτησή της.

Η κατανάλωση ενέργειας είναι ένας γενικός όρος. Ενέργεια καταναλώνεται σε μια εφαρμογή. Ενέργεια όμως καταναλώνεται για να παραχθεί και ηλεκτρική ενέργεια, η οποία εν συνέχεια θα καταναλωθεί από μια εφαρμογή. Οπότε η κατανάλωση ενέργειας διακρίνεται στην κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας και στην τελική κατανάλωση ενέργειας. Η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας περιλαμβάνει την πρωτογενή παραγόμενη ενέργεια, την ενέργεια που προκύπτει από ανάκτηση ενέργειας (όπως για παράδειγμα η τηλεθέρμανση), τις εισαγωγές ενέργειας και τα διαθέσιμα αποθέματα. Επί της ουσίας η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας καλύπτει την κατανάλωση τελικής ενέργειας, τις απώλειες μεταφοράς και μετασχηματισμού σε διάφορες μορφές της ενέργειας, και τις καταναλώσεις ενέργειας του ίδιου του τομέα παραγωγής ενέργειας. Η κατανάλωση τελικής ενέργειας είναι η ενέργεια που καταναλώνεται από τους καταναλωτές για δική τους χρήση. Είναι δηλαδή η ενέργεια που φτάνει στην πόρτα των

καταναλωτών, αφαιρουμένων όλων των απωλειών. Ο οικιστικός τομέας, στον οποίο εστιάζει η παρούσα εργασία, είναι ένας από τους καταναλωτές τελικής ενέργειας (Eurostat, 2020).

Προτού πάμε στην κατανάλωση τελικής ενέργειας όμως είναι σημαντικό να γίνει μια αναφορά στην πρωτογενή κατανάλωση ενέργειας. Η Ευρώπη για χρόνια ήταν η ήπειρος του άνθρακα (των στερεών καυσίμων), καθώς ήταν η μόνη πηγή ενέργειας που υπήρχε εν αφθονία. Ο άνθρακας όμως είναι ένας εκ των πλέον ρυπογόνων καυσίμων. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα στην Ευρώπη να παράγεται μεγάλος όγκος των ρύπων, που δημιουργούν τα προβλήματα που αναφέρθηκαν. Παράλληλα όμως, στην Ευρώπη, μια από τις πιο ανεπτυγμένες περιοχές του πλανήτη, αναπτύχθηκε και η περιβαλλοντική συνείδηση. Γι' αυτό τέθηκαν νωρίς στόχοι για τον περιορισμό της ρύπανσης του πλανήτη, στόχοι που αναφέρονται στην επόμενη ενότητα. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα μια σταθερή μείωση της κατανάλωσης των στερεών καυσίμων και αύξηση καθαρότερων μορφών ενέργειας, όπως η κατανάλωση φυσικού αερίου και η χρήση των ΑΠΕ.

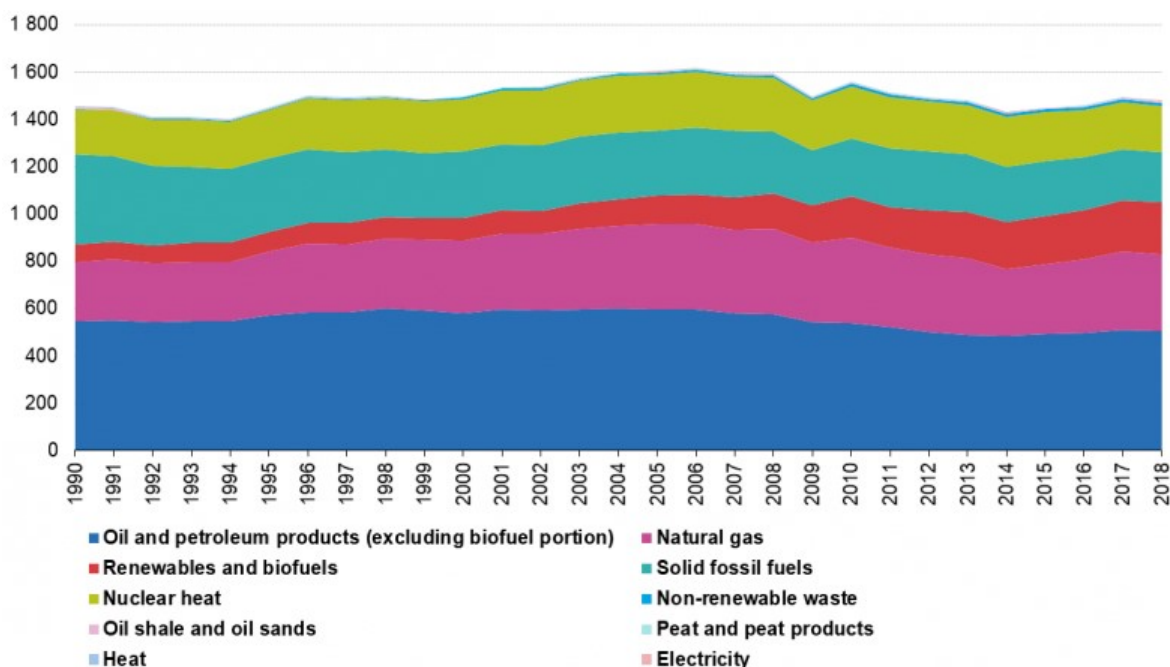
Το 2018 λοιπόν, για πρώτη χρονιά, η παραγωγή πρωτογενούς ενέργειας από τις ΑΠΕ ξεπερνάει την παραγωγή από στερεά καύσιμα και ανέρχεται στην τρίτη θέση, πίσω μόνο από το πετρέλαιο και από το φυσικό αέριο. Η πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας, που προέρχεται από τις ΑΠΕ το 2018, ανέρχεται πλέον σε 222 εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου (Million Tons of Oil Equivalent, Mtoe) ή αλλιώς το 15% του συνόλου των 1479 Mtoe της συνολικής πρωτογενούς κατανάλωσης. Μάλιστα, η χρήση των ΑΠΕ παρουσιάζει ένα έντονο αυξητικό ρυθμό, στοιχεία που δεν φαίνονται για κανένα άλλο καύσιμο. Αντίστοιχα, καταναλώθηκε πετρέλαιο ίσο με 504 Mtoe, που ισούται με ποσοστό 34,1% και φυσικό αέριο ίσο με 324 Mtoe, δηλαδή το 21,9% της συνολικής πρωτογενούς καταναλισκόμενης ενέργειας. Στο Σχήμα 2.3 φαίνεται η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας στην Ευρώπη ανά καύσιμο από το 1990 έως και το 2018 (Eurostat, 2020).



Σχήμα 2.3: Πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας ανά καύσιμο στην ΕΕ-27 μεταξύ των ετών 1990 και 2018. Πηγή: (Eurostat, 2020)

Εκτός από το καύσιμο, με το οποίο παράγεται η πρωτογενής καταναλισκόμενη ενέργεια, σημαντικό μέγεθος αποτελεί και το ποσό της ενέργειας που καταναλώνεται. Η μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας έχει άλλωστε ως αποτέλεσμα τον περιορισμό της ρύπανσης, αφού παράγεται μικρότερο ποσό ενέργειας. Τα τελευταία χρόνια, από το 2010 και μετά, είναι σχεδόν σταθερή η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας με μικρές αυξομειώσεις ανά έτος. Βέβαια υπήρξαν τέσσερα συνεχή χρόνια αύξησης της κατανάλωσης (2014 έως 2017) πριν εμφανιστεί η πτώση του 2018. Η μεγαλύτερη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας στην ΕΕ-27 εμφανίστηκε το 2016, αποτέλεσμα μιας συνεχούς ετήσιας αύξησης από το 1994 και εντεύθεν. Στον αντίποδα, η μεγαλύτερη πτώση μεταξύ ετών εμφανίστηκε το 2009, με πτώση που έφτασε περίπου το 8%, απότοκο της οικονομικής κρίσης που έπληξε την Ευρώπη. Στο Σχήμα 2.4 φαίνεται η πορεία της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας τα τελευταία 40 χρόνια. Επίσης, υπάρχει η διάκριση ανά καύσιμο. Φαίνεται λοιπόν σε βάθος χρόνου μια ελαφρά μείωση της κατανάλωσης πετρελαίου, μια μεγάλη μείωση της κατανάλωσης στερεών καυσίμων, μια ελαφρά αύξηση της κατανάλωσης φυσικού αερίου και μια μεγάλη αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας προερχόμενης από ΑΠΕ,

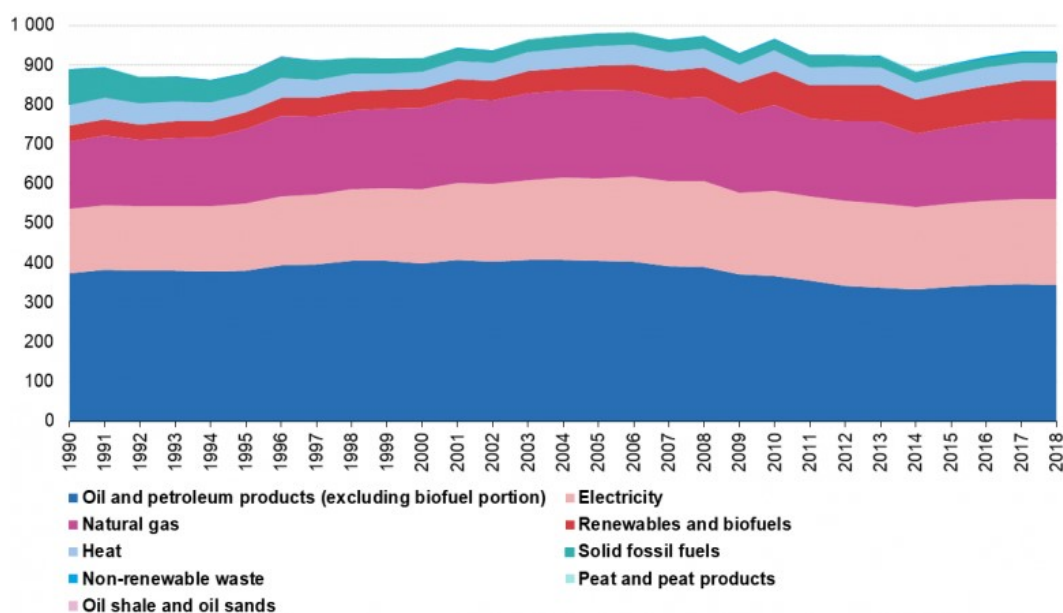
στοιχεία που συμβαδίζουν με τα όσα αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο (Eurostat, 2020).



Σχήμα 2.4: Πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας αθροιστικά στην ΕΕ-27 μεταξύ των ετών 1990 και 2018. Πηγή: (Eurostat, 2020)

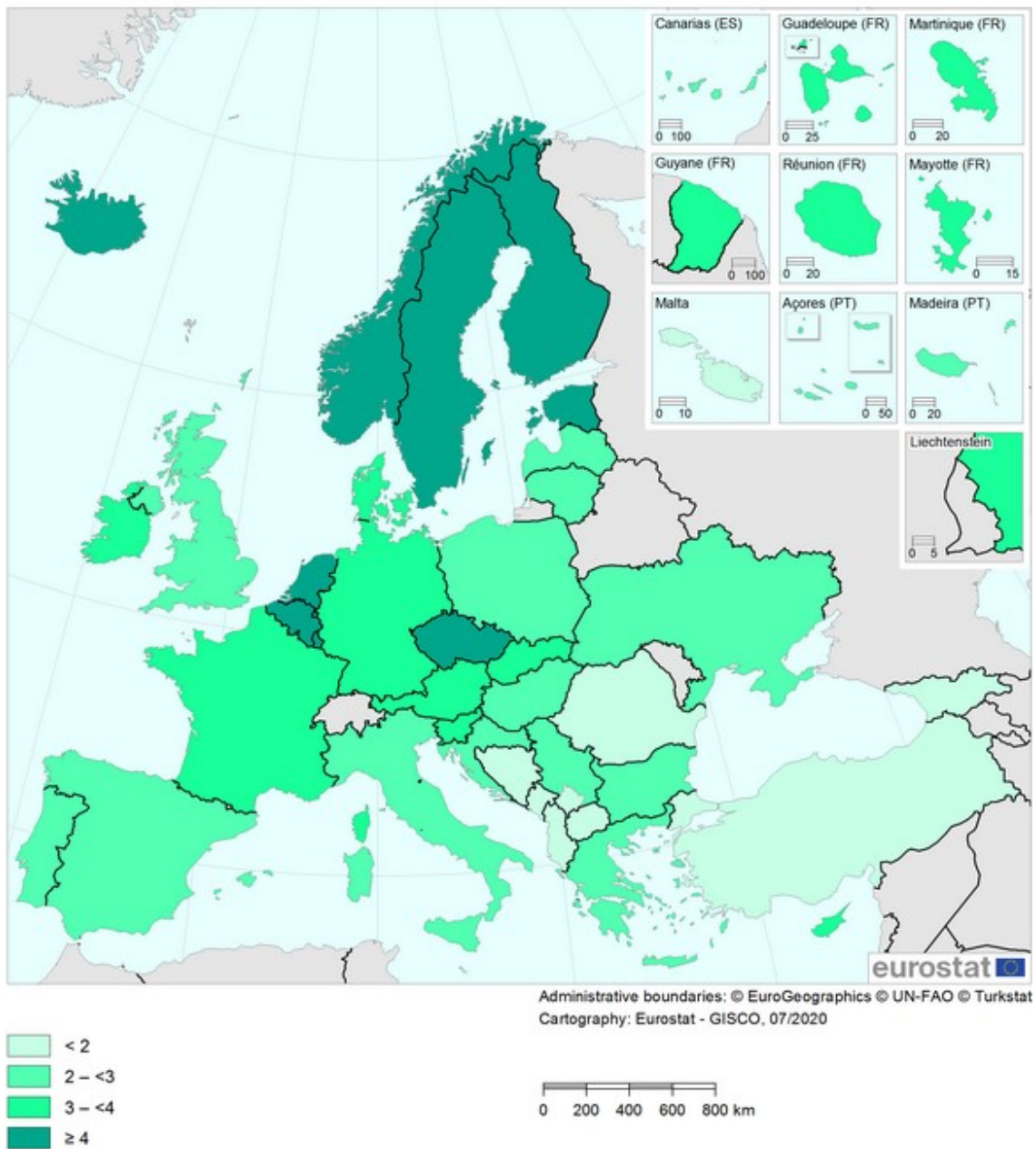
Η τελική κατανάλωση ενέργειας ανήλθε το 2018 σε 939 Mtoe. Παρατηρείται λοιπόν απώλεια ενέργειας της τάξεως του 40% σε σχέση με την πρωτογενή κατανάλωση ενέργειας. Η ενέργεια που εν τέλει καταναλίσκεται από τους καταναλωτές διαφέρει σε μορφή από την ενέργεια που πρωτογενώς καταναλώνεται. Καταρχήν εμφανίζεται ο ηλεκτρισμός, μια από τις κύριες μορφές ενέργειας που καταναλώνει ο τελικός χρήστης. Κατόπιν, οι ΑΠΕ δεν περιλαμβάνουν τις μονάδες ηλεκτροπαραγωγής που είναι διασυνδεδεμένες με το δίκτυο, αφορούν μόνο όσες ΑΠΕ παράγουν ενέργεια που καταναλώνει κατευθείαν ο χρήστης, όπως λόγω χάρη τα ηλιοθερμικά συστήματα και τα αυτόνομα ηλεκτρικά συστήματα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μεταβολή των ποσοστών ανά καύσιμο για την τελική κατανάλωση ενέργειας. Όμως και σε αυτή την περίπτωση παρατηρείται ότι εμφανίζονται περίπου τα ίδια χαρακτηριστικά όπως και στην πρωτογενή κατανάλωση ενέργειας. Φαίνεται λοιπόν ότι η χρήση του πετρελαίου (με μικρές διακυμάνσεις) μειώνεται ελαφρά τα τελευταία χρόνια και αντίστοιχα αυξάνεται ελαφρά η χρήση του φυσικού αερίου. Επιπλέον υπάρχει μια σταθερή μείωση, και μάλιστα μεγάλη, της χρήσης

στερεών καυσίμων και αντίθετα, μια μεγάλη αύξηση της χρήσης των ΑΠΕ. Τέλος, ο ηλεκτρισμός φαίνεται να έχει μια μικρή μεν αλλά σταθερή αυξητική πορεία στην διάρκεια των ετών. Στο Σχήμα 2.5 φαίνεται για τα τελευταία 40 χρόνια η τελική κατανάλωση ενέργειας ανά καύσιμο (Eurostat, 2020).



Σχήμα 2.5: Τελική κατανάλωση ενέργειας αθροιστικά στην ΕΕ-27 μεταξύ των ετών 1990 και 2018. Πηγή: (Eurostat, 2020)

Η τελική κατανάλωση ενέργειας όμως διαφέρει για τις διάφορες χώρες της ΕΕ-27. Όλες οι χώρες δεν έχουν τις ίδιες ανάγκες. Για παράδειγμα, οι βόρειες χώρες έχουν μεγαλύτερες ανάγκες εξαιτίας των υψηλότερων αναγκών θέρμανσης. Αντίστοιχα, οι πιο βιομηχανοποιημένες χώρες ή οι χώρες με μεγαλύτερες αποστάσεις εμφανίζουν μεγαλύτερες απαιτήσεις κατανάλωσης ενέργειας. Τέλος, οι χώρες που έχουν το υψηλότερο βιοτικό επίπεδο εμφανίζουν επίσης μεγαλύτερες καταναλώσεις ενέργειας, καθώς οι κάτοικοι τους δεν δυσκολεύονται να πληρώσουν για την ενέργεια που καταναλώνουν.

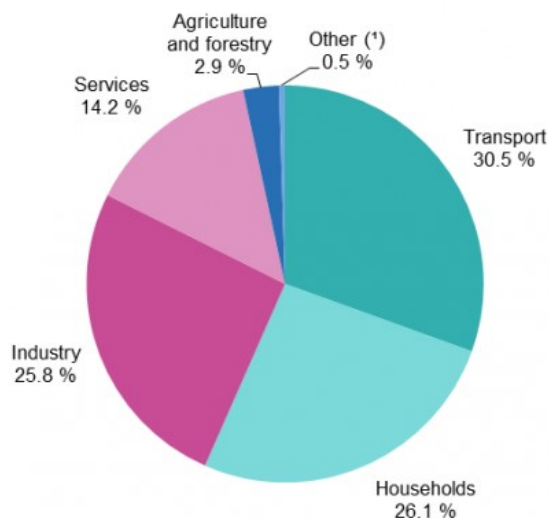


Σχήμα 2.6: Κατανάλωση ενέργειας ανά κάτοικο στην ΕΕ-27 το 2018. Πηγή: (Eurostat, 2020)

Στο Σχήμα 2.6 φαίνεται η κατανάλωση ενέργειας σε toe ανά κάτοικο. Η πρώτη κατηγορία, με το ανοικτόχρωμη απόχρωση εμφανίζει κατανάλωση μικρότερη από 2 toe ανά κάτοικο. Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται οι πιο φτωχές χώρες, όπως για παράδειγμα η Βουλγαρία και οι χώρες των δυτικών Βαλκανίων. Η δεύτερη έχει κατανάλωση μεταξύ 2 και 3 toe ανά κάτοικο και σε αυτή εντάσσεται η Ελλάδα. Οι περισσότερες χώρες της ανεπτυγμένης κεντρικής Ευρώπης

εμφανίζουν καταναλώσεις μεταξύ 3 και 4 toe ανά κάτοικο. Τέλος, στην τέταρτη κατηγορία, με καταναλώσεις ενέργειας μεγαλύτερες από 4 toe ανά κάτοικο, εντάσσονται οι βόρειες χώρες (Σκανδιναβία, Ισλανδία), οι πολύ αναπτυγμένες χώρες της κεντρικής Ευρώπης (Ολλανδία, Βέλγιο) και η Τσεχία (Eurostat, 2020).

Ένας από τους κυριότερους λόγους, που το πετρέλαιο και τα παράγωγά του επικρατούν στην τελική κατανάλωση ενέργειας, είναι διότι αποτελεί το κύριο καύσιμο που χρησιμοποιείται στον μεγαλύτερο τομέα κατανάλωσης ενέργειας, στις μεταφορές. Οι μεταφορές, το 2018 κατανάλωσαν το 30,5% της συνολικής τελικής καταναλισκόμενης ενέργειας, δηλαδή κατανάλωσαν 286 Μtoe ενέργειας. Ο δεύτερος σε κατανάλωση τελικής ενέργειας τομέας είναι ο οικιστικός τομέας. Η κατανάλωση του οικιστικού τομέα το 2018 αντιστοιχούσε στο 26,1% της συνολικής τελικής κατανάλωσης ενέργειας ήτοι σε 245 Μtoe. Αυτό καθιστά αντιληπτό το πώς η κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια είναι ένας σημαντικός παράγοντας κατανάλωσης ενέργειας και καταδεικνύει την σημαντικότητα της παρούσας εργασίας, που θα μελετήσει ένα κτίριο του οποίου η κατανάλωση ενέργειας εντάσσεται στην κατηγορία του οικιστικού τομέα. Στο γράφημα με το οποίο ολοκληρώνεται και η παρούσα ενότητα φαίνεται η συμμετοχή έκαστου τομέα στην τελική κατανάλωση ενέργειας στην ΕΕ-27. Πέρα από τους δύο πρώτους τομείς ακολουθεί, με πολύ μικρή διαφορά από τον οικιστικό τομέα, ο τομέας της βιομηχανίας. Οι τρεις αυτοί τομείς συνολικά καταναλώνουν περισσότερο από τα 4/5 της συνολικής τελικής κατανάλωσης ενέργειας, αφού αθροιστικά το ποσοστό τους φτάνει το 82,4%. Με πολύ χαμηλότερα ποσοστά ακολουθούν ο τομέας των υπηρεσιών, ο αγροτικός τομέας και οι υπόλοιποι τομείς (Eurostat, 2020).



Σχήμα 2.7: Κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα στην ΕΕ-27 το 2018. Πηγή: (Eurostat, 2020)

2.3 Στόχοι εξοικονόμησης ενέργειας

Η Ευρωπαϊκή Ένωση, προκειμένου να ωθήσει τα κράτη-μέλη της στον περιορισμό της κατανάλωσης ενέργειας έχει θεσπίσει το 2007 τους στόχους 20% και 32,5%. Οι στόχοι αυτοί αφορούν την μείωση κατανάλωσης ενέργειας, πρωτογενούς και τελικής, κατά τα έτη ορόσημα 2020 και 2030. Η μείωση θα προκύπτει σε σχέση με τις τιμές που επικρατούσαν την προηγούμενη χρονιά της θέσπισης του στόχου, το 2006. Σύμφωνα με τις αναπροσαρμοσμένες τιμές, μετά την έξοδο του Ηνωμένου Βασιλείου από την Ευρωπαϊκή Ένωση, οι υπόλοιπες 27 χώρες πρέπει να μειώσουν το 2020 την πρωτογενή κατανάλωση ενέργειας στα 1312 Mtoe και την τελική κατανάλωση ενέργειας στα 959 Mtoe. Αντίστοιχα, το 2030 η πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας πρέπει να μειωθεί στα 1128 Mtoe και η τελική κατανάλωση ενέργειας στα 846 Mtoe (Eurostat, 2021).

Η θέσπιση των στόχων οδήγησε σε πολιτικές στις χώρες μέλη, οι οποίες έφεραν μια σημαντική μείωση στην κατανάλωση ενέργειας. Έτσι, το 2006 παρέμεινε η χρονιά με την μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας, πρωτογενή και τελική. Από το 2011 υπήρξε μια σημαντική μείωση στην κατανάλωση, η οποία διήρκεσε για τέσσερα έτη μέχρι το 2014. Αυτή η τάση αντιστράφηκε τα επόμενα τρία χρόνια, όπου και φάνηκε να ξεφεύγει ο στόχος του 20% καθώς

το 2017 η πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας ήταν 5,5% υψηλότερη από το στόχο και η τελική κατανάλωση ενέργειας ήταν 3,2% υψηλότερη του στόχου. Η μείωση επανήλθε τα έτη 2018 και 2019 με αποτέλεσμα, το 2019, ένα έτος πριν το έτος ορόσημο του 2020 η πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας να είναι κατά 3% υψηλότερη του στόχου και η τελική κατανάλωση ενέργειας να είναι κατά 2,6% υψηλότερη του στόχου. Βέβαια, για τον στόχο του 2030 η απόσταση είναι ακόμη μεγάλη, καθώς το 2019 η πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας υπερβαίνει κατά 19,9% τον στόχο και η τελική κατανάλωση ενέργειας τον υπερβαίνει κατά 16,3%. Στο Σχήμα 2.8 φαίνεται η μεταβολή της πρωτογενούς κατανάλωσης ενέργειας και στο Σχήμα 2.9 η μεταβολή της τελικής κατανάλωσης ενέργειας. Και στα δύο διακρίνονται οι τιμές των στόχων για τα έτη 2020 και 2030. Και στα δύο σχήματα σημειώνονται οι αποκλίσεις του τελευταίου έτους, του 2019 από τον στόχο (Eurostat, 2020).

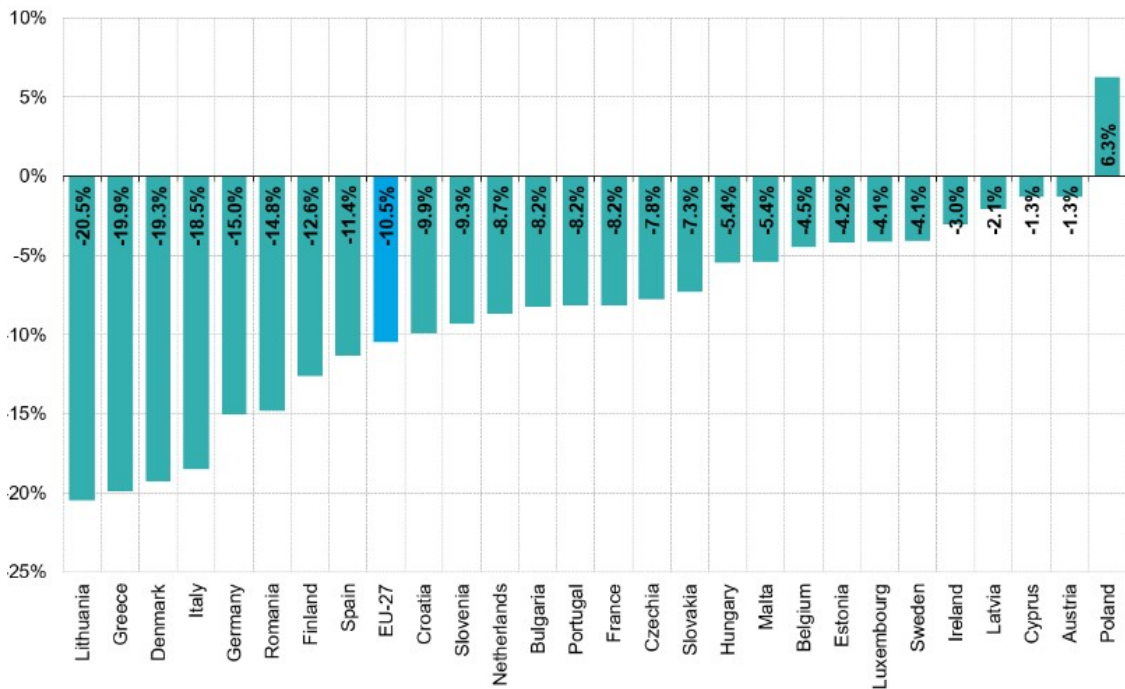


Σχήμα 2.8: Διακύμανση πρωτογενούς παραγωγής ενέργειας στην ΕΕ-27 μεταξύ των ετών 1990-2019. Πηγή: (Eurostat, 2020)

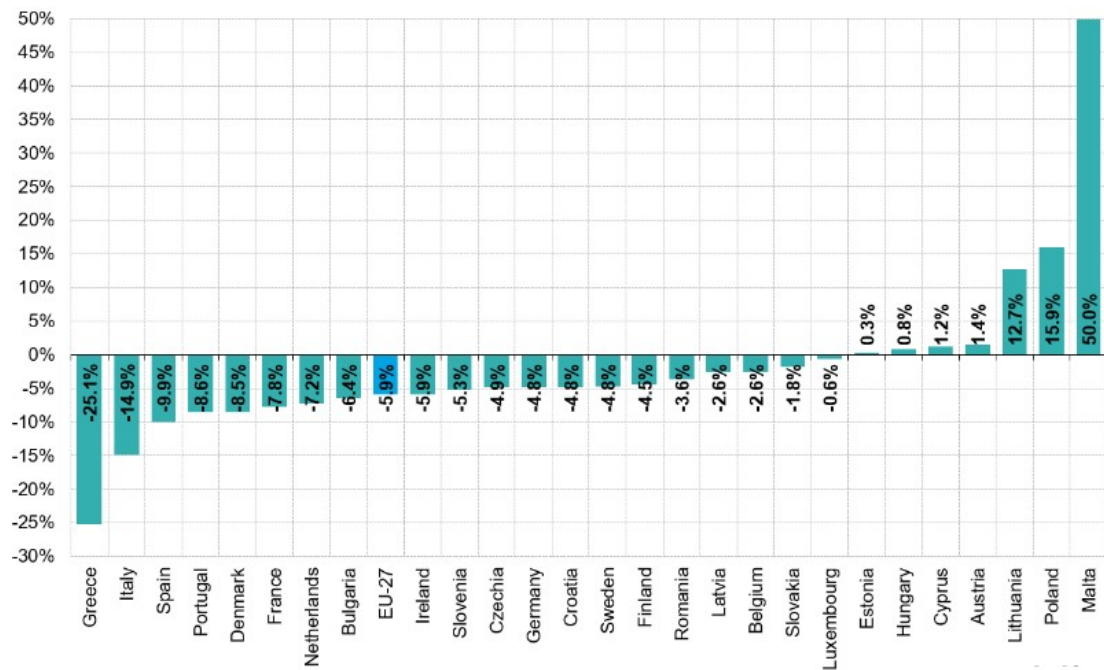


Σχήμα 2.9: Διακύμανση τελικής κατανάλωσης ενέργειας στην ΕΕ-27 μεταξύ των ετών 1990-2019. Πηγή: (Eurostat, 2020)

Τα 27 κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης δεν ακολουθούν όλα πιστά πολιτικές με στόχο την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας κάτω από τους στόχους που έχουν θεσπιστεί. Πάντως, στην πρωτογενή κατανάλωση ενέργειας έχουν όλες οι χώρες καταφέρει να είναι σε χαμηλότερο επίπεδο από το 2006, με μοναδική εξαίρεση την Πολωνία. Οι χώρες με την μεγαλύτερη μείωση είναι η Λιθουανία (20,5%), που είναι και η μόνη που πιάνει τον στόχο, η Ελλάδα (19,9%) και η Δανία (19,5%). Όσο αφορά την τελική κατανάλωση ενέργειας, η μοναδική χώρα που έχει υπερβεί τον στόχο είναι η Ελλάδα με μείωση 25,5%. Σημαντική μείωση εμφανίζεται και στην Ιταλία (14,9%) ενώ στις υπόλοιπες χώρες η μείωση δεν υπερβαίνει το 10%. Μάλιστα, εμφανίζεται αύξηση σε 7 χώρες, την Μάλτα, την Πολωνία, την Λιθουανία, την Αυστρία, την Κύπρο, την Ουγγαρία και την Εσθονία. Στα γραφήματα των Σχημάτων 2.10 και 2.11 φαίνεται η μεταβολή αρχικά στην πρωτογενή κατανάλωση ενέργειας και στην συνέχεια στην τελική κατανάλωση ενέργειας μεταξύ των ετών 2006 και 2019 για τις 27 χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Eurostat, 2021).



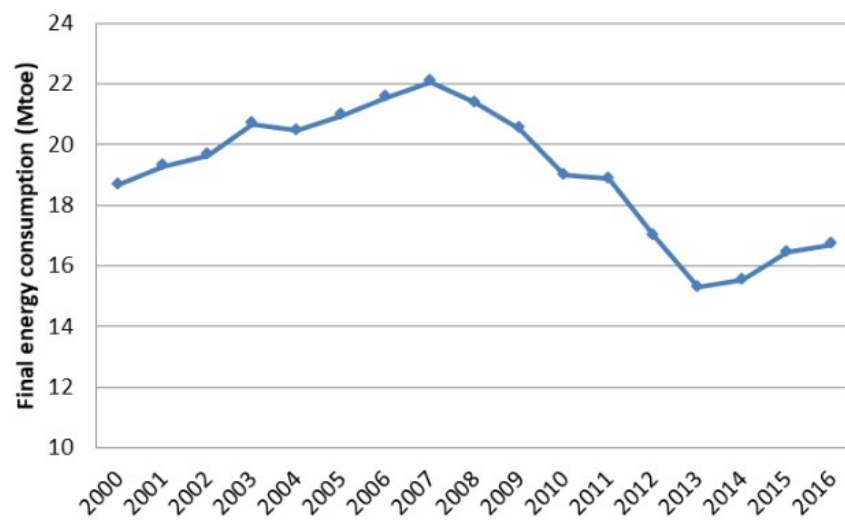
Σχήμα 2.10: Μεταβολή πρωτογενούς κατανάλωσης ενέργειας μεταξύ 2006 και 2019 ανά χώρα της ΕΕ-27. Πηγή: (Eurostat, 2021)



Σχήμα 2.11: Μεταβολή τελικής κατανάλωσης ενέργειας μεταξύ 2006 και 2019 ανά χώρα της ΕΕ-27. Πηγή: (Eurostat, 2021)

Από τα γραφήματα των Σχημάτων 2.10 και 2.11 φαίνεται το παράδοξο της Λιθουανίας. Η χώρα αυτή, ενώ εμφανίζει αύξηση της τελικής κατανάλωσης ενέργειας, δηλαδή της κατανάλωσης ενέργειας από τους καταναλωτές, ωστόσο φαίνεται να πρωτοπορεί στη μείωση της πρωτογενούς κατανάλωσης ενέργειας. Αυτό οφείλεται στο κλείσιμο ενός πυρηνικού σταθμού παραγωγής ενέργειας και αντ' αυτού χρησιμοποιήθηκαν ΑΠΕ και εισαγωγές ηλεκτρικής ενέργειας. Με αυτό τον τρόπο μειώθηκαν σημαντικά οι απώλειες μεταφοράς ενέργειας, έτσι εμφανίστηκε μια πολύ μεγάλη μείωση στην πρωτογενή κατανάλωση ενέργειας, η οποία συμπεριλαμβάνει και τις απώλειες όπως έχει λεχθεί στην προηγούμενη ενότητα (Eurostat, 2021).

Η δεύτερη περίπτωση που ξεχωρίζει από τα ίδια στατιστικά, και μας αφορά άμεσα, είναι η περίπτωση της Ελλάδας. Η Ελλάδα είναι η μόνη χώρα που πλησιάζει να πετύχει και τους δύο στόχους. Αυτό όμως δεν οφείλεται στην ενεργειακή πολιτική της χώρας και την ενεργειακή συνείδηση των καταναλωτών. Αντιθέτως, η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας είναι απότοκος της δεκαετούς οικονομικής κρίσης που έπληξε την χώρα, από το 2009 μέχρι το 2018. Στις περισσότερες χώρες η οικονομική κρίση τις έπληξε μόνο το 2009 (πράγμα που φάνηκε και στην κατανάλωση ενέργειας) και μετά ακολούθησε η ανάπτυξη. Αντιθέτως, στην Ελλάδα, μετά την διεθνή οικονομική κρίση του 2009 ακολούθησε η κρίση χρέους της χώρας, με αποτέλεσμα σε αυτή την δεκαετία το Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν (ΑΕΠ) να συρρικνωθεί περίπου κατά 40%. Αποτέλεσμα ήταν η συρρίκνωση της παραγωγής και η μείωση της κατανάλωσης, καθώς η ανεργία σε κάποιο σημείο ξεπέρασε το 25% και τα εισοδήματα συρρικνώθηκαν (CRES, 2018). Αποτέλεσμα της ύφεσης αυτής και της έλλειψης οικονομικής δυνατότητας από τους πολίτες ήταν η μείωση της τελικής κατανάλωσης ενέργειας κατά 25,5% το 2019, αρκετά υψηλότερα από τον στόχο του 20%. Η μείωση της τελικής κατανάλωσης ενέργειας κατά συνέπεια οδήγησε και στην μείωση της πρωτογενούς κατανάλωσης ενέργειας κατά ένα ποσοστό 19,9% σε σχέση με τον στόχο (Eurostat, 2021). Στο Σχήμα 2.12 φαίνεται η μείωση της τελικής κατανάλωσης ενέργειας στην Ελλάδα. Παρατηρείται η πολύ βαθιά μείωση που εμφανίζεται στα χρόνια κορύφωσης της κρίσης, μεταξύ 2011 και 2014. Μάλιστα, από το 2014 και μετά παρουσιάζεται μια σχετική αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας, αποτέλεσμα και της σταθεροποίησης της οικονομίας της χώρας σε πολύ μικρά ποσοστά ύφεσης μέχρι το 2018 που επήλθε η ανάπτυξη (CRES, 2018).



Σχήμα 2.12: Τελική κατανάλωση ενέργειας στην Ελλάδα. Πηγή: (CRES, 2018)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : Κτήρια Μηδενικής Και Σχεδόν Μηδενικής Κατανάλωσης Ενέργειας

3.1 Ορισμός

Ως κτίρια μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας (ZEB) ορίζονται τα κτίρια, τα οποία στο σύνολο ενός χρόνου παράγουν ίση ή περισσότερη ενέργεια από την ενέργεια που καταναλώνουν. Δεν εξετάζεται η μορφή της ενέργειας που παράγουν ή καταναλώνουν, αρκεί στο σύνολο του έτους να παράγεται σε μια ή περισσότερες μορφές ενέργειας η ενέργεια που καταναλώνεται σε οποιαδήποτε μορφή από το κτίριο (Lu et al., 2019). Από την άλλη, ως κτίριο σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας (nZEB) ορίζεται το κτίριο, το οποίο αφενός έχει πολύ μικρές, σχεδόν μηδενικές απαιτήσεις ενέργειας και αφ' ετέρου καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος αυτών με ενέργεια, η οποία προέρχεται από την εφαρμογή συστημάτων ΑΠΕ. Η λέξη πολύ μικρές στον ορισμό των nZEB είναι υποκειμενική, γι' αυτό και κάθε χώρα έχει συγκεκριμένα όρια για τις μέγιστες απαιτήσεις ενέργειας που μπορεί να έχει ένα nZEB, όρια που παρουσιάζονται για την Ελλάδα και συγκριτικά για κάποιες άλλες χώρες στο κεφάλαιο 5 της παρούσας εργασίας (Υπηρεσία Ενέργειας, 2015).

Τα τελευταία χρόνια έχει επικρατήσει ο ορισμός των κτιρίων ZEB, αναφερόμενος πάντα στην τελική κατανάλωση ενέργειας των κτιρίων. Πριν όμως η επιστημονική κοινότητα χρησιμοποιήσει τον συγκεκριμένο ορισμό, υπήρχαν πολλοί ορισμοί - ομάδες για τα κτίρια μηδενικής ενέργειας. Οι Torcellini και συν. (2006) παρουσιάζει τους τέσσερεις κυριότερους ορισμούς, με τον κάθε ένα από αυτούς να έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Ο πρώτος ορισμός που παρουσίασε είναι το κτίριο μηδενικής ενέργειας, στο οποίο ως ενέργεια αναφοράς ορίζεται η τελική καταναλισκόμενη ενέργεια από το κτίριο (Net Zero Site Energy Building). Αυτός είναι και ο ορισμός που επικράτησε. Το κτίριο που ορίζεται έτσι, σύμφωνα και με τα προηγούμενα, παράγει όση ενέργεια καταναλώνει στην διάρκεια ενός έτους. Το μειονέκτημα του ορισμού αυτού είναι ότι δεν λαμβάνεται υπόψη το είδος των καυσίμων που χρησιμοποιούνται στην πρωτογενή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, έτσι συγκρίνεται στο κτίριο η κατανάλωση καυσίμων μόνο με το ηλεκτρικό ρεύμα. Αυτό σημαίνει ότι αν στο κτίριο

καταναλώνεται ορυκτό καύσιμο θα πρέπει να παραχθεί ηλεκτρικό ρεύμα που να αντιστοιχεί στο ορυκτό καύσιμο που καταναλώνεται, λαμβάνοντας υπόψη και τις απώλειες κατά την παραγωγή θερμικής ή ηλεκτρικής ενέργειας από το ορυκτό καύσιμο. Αυτό οδηγεί στον σχεδιασμό μεγαλύτερων συστημάτων ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ και στην αποθάρρυνση χρήσης ορυκτών καυσίμων σε εφαρμογές του κτιρίου, έτσι για παράδειγμα προτιμώνται οι κουζίνες ηλεκτρικού ρεύματος σε σχέση με τις κουζίνες φυσικού αερίου (Torcellini et al., 2006).

Ο δεύτερος ορισμός είναι το κτίριο μηδενικής ενέργειας, στο οποίο ως ενέργεια αναφοράς ορίζεται η πρωτογενής καταναλισκόμενη ενέργεια, αλλιώς η ενέργεια πηγής (Net Zero Source Energy Building). Σύμφωνα με αυτό τον ορισμό πρέπει η καταναλισκόμενη ενέργεια στο κτίριο να αναχθεί στην πρωτογενή καταναλισκόμενη ενέργεια (να προστεθούν δηλαδή οι διάφορες απώλειες που εμφανίζονται στην παραγωγή και την μεταφορά ενέργειας). Για να ικανοποιήσει ένα κτίριο όμως αυτό τον ορισμό πρέπει να παράγει πολύ περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια απ' όση καταναλώνει, έτσι ώστε να καλύπτει και την διαφορά που προκύπτει από την παραγωγή ενέργειας. Αντιθέτως, εάν στο σπίτι χρησιμοποιείται λόγω χάρη φυσικό αέριο τότε αυτό μπορεί να καλύπτει το φυσικό αέριο που χρησιμοποιείται για την ηλεκτροπαραγωγή χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η απώλεια μετατροπής. Έτσι, σε αυτή την κατηγορία υπάρχει μια ενθάρρυνση στην χρήση ορυκτών καυσίμων έναντι του ηλεκτρισμού, ώστε να επιτευχθεί η μηδενική κατανάλωση ενέργειας. Τα ορυκτά καύσιμα όμως δεν μπορούν να παραχθούν με ΑΠΕ, έτσι το πρόβλημα εκπομπής ρύπων παραμένει (Torcellini et al., 2006; Marszal & Heiselberg, 2011).

Ο τρίτος ορισμός είναι το κτίριο μηδενικού κόστους ενέργειας (Net Zero Energy Cost Building). Σύμφωνα με αυτό τον ορισμό ένα κτίριο μπορεί να θεωρηθεί ως κτίριο μηδενικής ενέργειας αν το κόστος της ενέργειας που παράγει είναι ίσο ή μεγαλύτερο από το κόστος της ενέργειας που καταναλώνει. Το κτίριο συνήθως παράγει ηλεκτρική ενέργεια, την οποία μπορεί να πουλάει στο δημόσιο δίκτυο και να έχει οικονομικό κέρδος. Αντίστοιχα, το κτίριο καταναλώνει ενέργεια είτε ηλεκτρική είτε υπό μορφή ορυκτών καυσίμων όπως για παράδειγμα το φυσικό αέριο, για την οποία πληρώνει. Εάν τα δύο μεγέθη ισούνται τότε το κτίριο εντάσσεται σε αυτό τον ορισμό. Το μειονέκτημα όμως είναι ότι η ενέργεια που φτάνει σε ένα κτίριο δεν τιμολογείται μόνο ως ενέργεια αλλά περιλαμβάνει και άλλες χρεώσεις όπως είναι για παράδειγμα οι φόροι, τα τέλη μεταφοράς και διανομής και τα πάγια τέλη. Αντιθέτως η ενέργεια που πωλείται από το κτίριο τιμολογείται ως καθαρό ποσό ενέργειας. Έτσι λοιπόν το κτίριο

πρέπει να παράγει περισσότερη ενέργεια από αυτή που καταναλώνει ώστε εν τέλει να είναι ένα κτίριο μηδενικού κόστους ενέργειας (Torcellini et al., 2006).

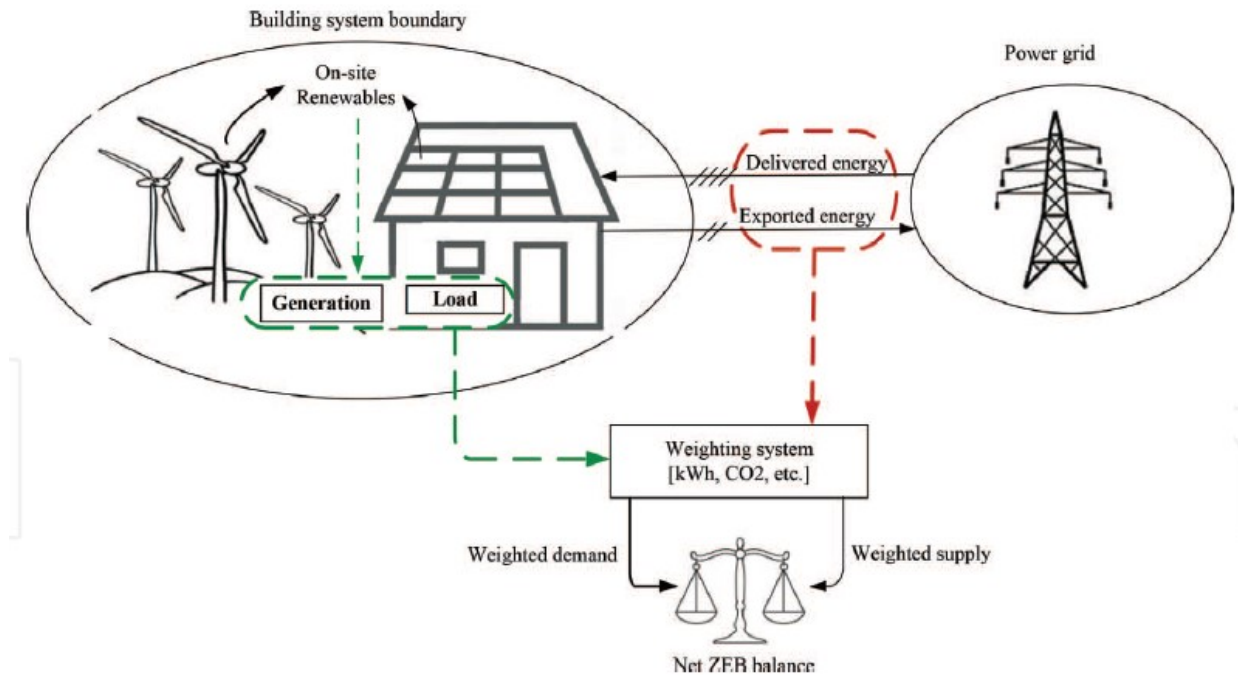
Ο τέταρτος και τελευταίος ορισμός είναι το κτίριο μηδενικών εκπομπών ρύπων για ενέργεια (Net Zero Energy Emissions Building). Σύμφωνα με αυτό τον ορισμό ένα κτίριο θεωρείται ως ZEB εφόσον η ενέργεια που παράγει στο σύνολο του έτους αντιστοιχεί σε μείωση των ρύπων ίση με τους ρύπους που παράγονται για την ενέργεια που καταναλώνει. Αυτός ο ορισμός εστιάζει στους ρύπους και όχι στα ποσά της ενέργειας, καθώς θεωρεί ότι ο τελικός στόχος είναι η μείωση των ρύπων για την παραγωγή ενέργειας. Το κτίριο αυτό λοιπόν πρέπει να παράγει τουλάχιστον όση ηλεκτρική ενέργεια καταναλώνει και επιπλέον να παράγει ηλεκτρική ενέργεια τόση ώστε να αντισταθμίσει τους ρύπους που παράγουν συστήματα ορυκτών καυσίμων του κτιρίου (όπως για παράδειγμα ένα σύστημα θέρμανσης με φυσικό αέριο). Το πρόβλημα σε αυτό τον ορισμό είναι ότι ο υπολογισμός της παραγωγής ρύπων δεν είναι πάντα εύκολος, υπάρχουν μεγάλες διακυμάνσεις και είναι δύσκολο να καθοριστεί με ακρίβεια ο ενεργειακός στόχος ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ του κτιρίου (Torcellini et al., 2006).

Λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα του κάθε ορισμού επικράτησε πλέον ο πρώτος ορισμός των κτιρίων μηδενικής ενέργειας, δηλαδή η παραγωγή της καταναλισκόμενης από το κτίριο ενέργειας.

3.2 Κατηγορίες κτιρίων nZEB και ZEB

Τα κτίρια σχεδόν μηδενικής και μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, τα διασυνδεδεμένα με τα δίκτυα ενέργειας κτίρια (on grid ZEB και nZEB) και τα μη διασυνδεδεμένα με τα δίκτυα ενέργειας (off grid ZEB και nZEB). Η διασύνδεση ενός κτιρίου γίνεται κυρίως με δύο δίκτυα, το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και το δίκτυο μεταφοράς φυσικού αερίου. Σπάνια υπάρχει διασύνδεση και με άλλα δίκτυα όπως για παράδειγμα το δίκτυο τηλεθέρμανσης. Τα εντός δικτύου κτίρια έχουν την δυνατότητα να παράγουν ενέργεια ανά πάσα στιγμή της ημέρας και να την διοχετεύουν στο δίκτυο. Αντίστοιχα αντλούν από το δίκτυο ενέργεια όποτε την χρειάζονται. Επιπλέον μπορούν να χρησιμοποιήσουν ηλεκτρική ενέργεια ώστε να συμψηφίσουν ενέργεια που προέρχεται από την καύση ορυκτών καυσίμων. Στο Σχήμα 3.1 παρουσιάζεται ένα εντός δικτύου κτίριο ZEB. Γενικά τα εντός δικτύου κτίρια ZEB

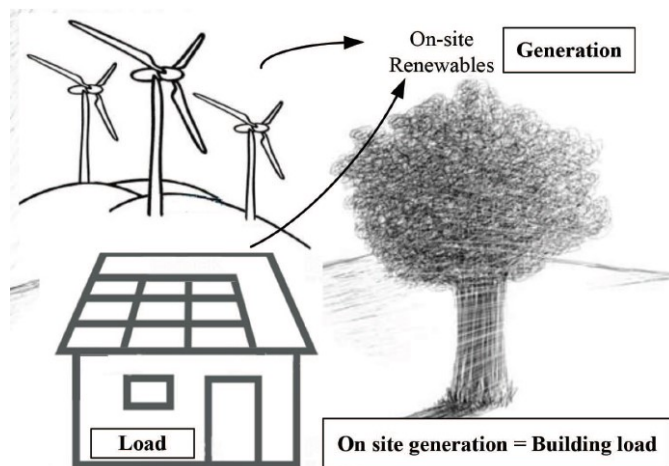
επικρατούν εξαιτίας της ευκολίας που παρέχουν στον σχεδιασμό τους, καθώς ο σχεδιαστής έχει την ευκαιρία να συμπεριλάβει στο σχεδιασμό του τα δίκτυα μεταφοράς ενέργειας (Lu et al, 2019).



Σχήμα 3.1: Βασική δομή εντός δικτύου ZEB ή nZEB. Πηγή: (Lu et al, 2019)

Αντίθετα, τα εκτός δικτύου κτίρια μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας πρέπει να καλύπτουν το σύνολο των απαιτήσεων τους με εγκαταστάσεις που τα ίδια φέρουν. Έτσι, πρέπει να παράγουν το σύνολο της ηλεκτρικής ενέργειας που χρειάζονται στις εγκαταστάσεις ΑΠΕ που έχουν και μάλιστα πρέπει να αποθηκεύουν μέρος της ενέργειας αυτής, ώστε να την χρησιμοποιούν όταν οι εγκαταστάσεις τους δεν είναι σε θέση να παράγουν. Επιπρόσθετα, παράγουν μόνα τους την θερμική ενέργεια εάν απαιτείται με χρήση μόνο ΑΠΕ, αφού δεν μπορούν να συμψηφίσουν την κατανάλωση ορυκτών καυσίμων με την παραγωγή περίσσειας ηλεκτρικού ρεύματος καθώς δεν υπάρχει δίκτυο για να το διοχετεύσουν αυτό. Λύσεις θέρμανσης με γεωθερμία, με ηλιοθερμία και με χαμηλές ηλεκτρικές καταναλώσεις (όπως λόγου χάριν η αντλία θερμότητας) είναι οι μόνες λύσεις για την κάλυψη των θερμικών φορτίων. Τα εκτός δικτύου κτίρια είναι πασιφανές ότι είναι αποκλειστικά κτίρια ZEB και όχι nZEB, καθώς υποχρεωτικά παράγουν το σύνολο της ενέργειας που καταναλώνουν, αφού δεν υπάρχει η

δυνατότητα να την προμηθευτούν διαμέσου ενός δικτύου διανομής ενέργειας. Στο Σχήμα 3.2 φαίνεται ένα εκτός δικτύου κτίριο ZEB (Lu et al, 2019).

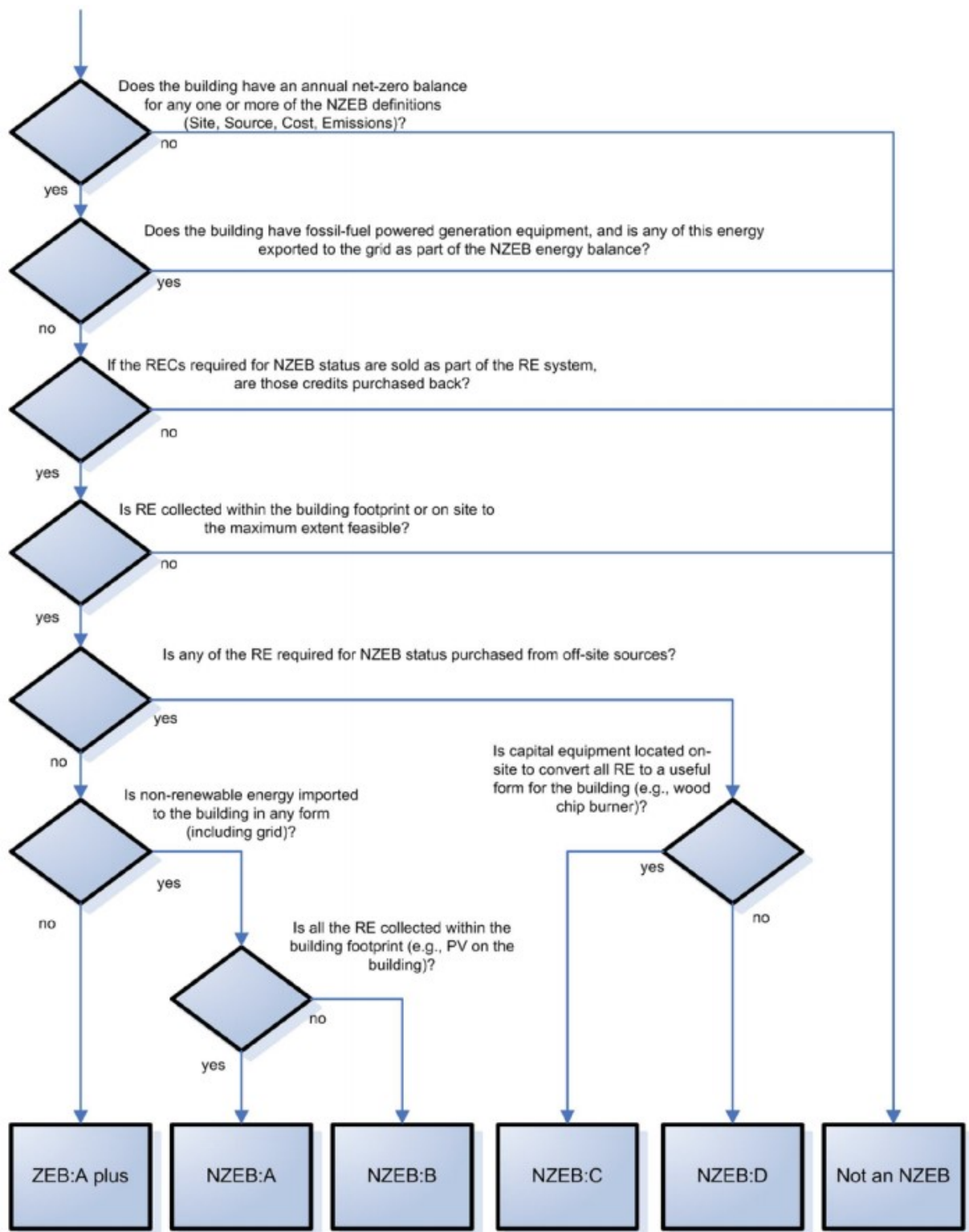


Σχήμα 3.2: Βασική δομή εκτός δικτύου ZEB. Πηγή: (Lu et al, 2019)

Οι Pless και Torcellini (2010) παρουσίασαν μια πιο λεπτομερή διάκριση των κτιρίων nZEB και ZEB, χωρίζοντάς τα σε τέσσερις κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία, την κατηγορία A, τοποθετούν τα κτίρια που καλύπτουν το σύνολο των αναγκών τους με ΑΠΕ. Στην τελευταία κατηγορία, την D, τοποθετούν τα κτίρια των οποίων οι ανάγκες καλύπτονται κατά ένα τμήμα με δικές τους ΑΠΕ και κατά ένα δεύτερο με ενέργεια που αγοράζουν από άλλες ΑΠΕ. Στην κατηγορία B τοποθετούν τα κτίρια τα οποία παράγουν με ΑΠΕ το σύνολο της ενέργειας που χρησιμοποιούν, αλλά μέρος της ενέργειας αυτής το τροφοδοτούν στο δίκτυο και καταναλώνουν άλλη μορφή ενέργειας παραγόμενη από ΑΠΕ κατώτερης ποιότητας (όπως η καύση βιομάζας). Για παράδειγμα, ένα κτίριο με φωτοβολταϊκά μπορεί να καταναλώνει βιομάζα για παραγωγή θερμικών φορτίων. Εάν τα φωτοβολταϊκά παράγουν τόσο ρεύμα ώστε να καλύπτουν και το φορτίο θέρμανσης, ανεξαρτήτως του αν αυτό δεν χρησιμοποιείται από το κτίριο και αποδίδεται στο δίκτυο ηλεκτρισμού τότε το κτίριο θεωρείται κτίριο μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας κατηγορίας B. Στην κατηγορία C εντάσσονται τα κτίρια που χρησιμοποιούν και κατώτερης ποιότητας ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για να καλύψουν το σύνολο της ενέργειας που χρησιμοποιούν. Για παράδειγμα αν στο προηγούμενο κτίριο η ηλεκτροπαραγωγή δεν καλύπτει το φορτίο βιομάζας τότε ένα μέρος της ενέργειας του κτιρίου παράγεται από κατώτερης ποιότητας ΑΠΕ (βιομάζα) και το κτίριο εντάσσεται στην κατηγορία C.

Στην επόμενη εικόνα φαίνεται ο αλγόριθμος με βάση τον οποίο προκύπτει η κατηγορία ενός κτιρίου ZEB. Στην εικόνα αυτή αναφέρονται τα κτίρια ως NZEB από τα αρχικά του ότου Net-Zero Energy Buildings, όρος ταυτόσημος με τον όρο ZEB που επικράτησε στην πορεία προκειμένου να μην υπάρχει σύγχυση με την ονομασία των κτιρίων σχεδόν μηδενικής ενέργειας nZEB (Pless & Torcellini, 2010; Li & Wen, 2014).

Ο στόχος της κατηγοριοποίησης των Pless και Torcellini (2010) είναι να μην καθορίζεται ένα κτίριο απλά ως κτίριο μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας αλλά να δίνεται κίνητρο στους σχεδιαστές ώστε να δημιουργήσουν κτίρια ZEB υψηλής ποιότητας. Οπότε με την κλίμακα αυτή επεδίωξαν να ξεχωρίζουν σε διάφορες κατηγορίες τα κτίρια αναλόγως της ποιότητας των ΑΠΕ που χρησιμοποιούν. Η κατηγοριοποίηση αυτή είναι ανεξάρτητη των άλλων κατηγοριοποιήσεων και μπορεί να εφαρμοστεί τόσο σε ZEB εντός δικτύου όσο και σε ZEB εκτός δικτύου. Η συγκεκριμένη κατηγορία ισχύει μόνο σε ZEB και όχι σε nZEB από την στιγμή που αφορά κτίρια των οποίων οι ενεργειακές ανάγκες καλύπτονται αποκλειστικά από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Pless & Torcellini, 2010).



Σχήμα 3.3: Κατηγοριοποίηση ποιότητας κτιρίων ZEB. Πηγή: (Pless & Torcellini, 2010)

3.3 Αρχές σχεδιασμού κτιρίων nZEB και ZEB

Ένα κατασκευασμένο εκ του μηδενός κτίριο, σύμφωνα με τις νέες οδηγίες της ΕΕ, πρέπει να είναι κτίριο σχεδόν μηδενικής ή μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας. Αυτό συνεπάγεται ότι κατά τον σχεδιασμό του πρέπει να ληφθούν υπόψη διάφορα στοιχεία, τα οποία ελαχιστοποιούν τις ενεργειακές του απαιτήσεις και εν συνεχεία οι υπόλοιπες απαιτήσεις να καλυφθούν μερικώς στα nZEB και πλήρως στα ZEB με την χρήση διάφορων συστημάτων ΑΠΕ. Με δεδομένη λοιπόν αυτή την βασική αρχή σχεδιασμού, η διαδικασία σχεδιασμού χωρίζεται σε τρία στάδια (Υπηρεσία Ενέργειας, 2015).

Το πρώτο στάδιο σχεδιασμού ενός κτιρίου nZEB ή ZEB είναι το στάδιο στο οποίο ο σχεδιασμός του κτιρίου είναι τέτοιος προκειμένου να μειώσει κατά το δυνατό περισσότερο την ζήτηση ενέργειας για τις ανάγκες θέρμανσης, κλιματισμού και φωτισμού του κτιρίου. Στόχος του σταδίου αυτού είναι ο σχεδιασμός ενός κτιρίου στο οποίο θα επιτυγχάνεται η θερμική και οπτική άνεση με την κατανάλωση όσο το δυνατό λιγότερης ενέργειας. Για την επίτευξη του στόχου αυτού ο σχεδιαστής πρέπει να λάβει υπόψη του τις αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού κτιρίων, οι οποίες αναλύονται σε επόμενη ενότητα, ώστε να επιτύχει τα μεγαλύτερα δυνατά ηλιακά κέρδη την χειμερινή περίοδο (για θέρμανση), να βελτιστοποιήσει τον δροσισμό του κτιρίου την θερινή περίοδο (για κλιματισμό) και να επιτύχει την μέγιστη δυνατή κάλυψη φορτίων φωτισμού από το ηλιακό φως. Ταυτόχρονα ο σχεδιασμός του κτιρίου πρέπει να περιορίζει τις απώλειες φορτίων, θερμικών και ψυκτικών από αυτό (Υπηρεσία Ενέργειας, 2015).

Το δεύτερο στάδιο σχεδιασμού ενός κτιρίου nZEB ή ZEB είναι η επιλογή τεχνικών συστημάτων με υψηλή ενεργειακή απόδοση, δηλαδή να παρέχουν τα απαιτούμενα φορτία φωτισμού, έχοντας όσο το δυνατό χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας. Παρά την ελαχιστοποίηση των απαιτήσεων που προκύπτουν από το πρώτο στάδιο σχεδιασμού εξακολουθούν να υπάρχουν κάποιες απαιτήσεις στο κτίριο, αναλόγως της εφαρμογής και της τοποθεσίας τους. Οι απαιτήσεις αυτές καλύπτονται από διάφορα τεχνικά συστήματα. Τα συνηθέστερα τεχνικά συστήματα, που υπάρχουν σε ένα κτίριο, είναι τα συστήματα θέρμανσης, τα συστήματα κλιματισμού, τα συστήματα παραγωγής ζεστού νερού χρήσης, τα συστήματα φωτισμού και τα συστήματα αερισμού. Κατά την επιλογή των συστημάτων αυτών πρέπει να λαμβάνεται υπόψη, και βασικά πρέπει να είναι το κύριο κριτήριο επιλογής τους, η ενεργειακή

τους απόδοση. Σημαντικό ρόλο διαδραματίζει και η ορθή διαστασιολόγηση των συστημάτων, ώστε να μην είναι ασκόπως υπερδιαστασιολογημένα και να οδηγούν σε μεγάλες καταναλώσεις ενέργειας χωρίς λόγο. Ένα σωστά διαστασιολογημένο σύστημα θα λειτουργεί πάντα στις περιοχές του βέλτιστου βαθμού απόδοσης, εκμεταλλευόμενο έτσι στο μέγιστο την ενέργεια που καταναλώνει για την παροχή φορτίων στο κτίριο (Υπηρεσία Ενέργειας, 2015).

Το τρίτο στάδιο σχεδιασμού ενός κτιρίου nZEB ή ZEB είναι το στάδιο κατά το οποίο οι τυχούσες απαιτήσεις ενέργειας για την λειτουργία των συστημάτων του κτιρίου καλύπτονται από συστήματα ΑΠΕ. Αφού υπολογιστούν οι απαιτήσεις ενέργειας των συστημάτων ενός κτιρίου τότε σχεδιάζονται συστήματα ΑΠΕ, τα οποία καλύπτουν μέρος ή και το σύνολο των απαιτήσεων αυτών. Τα συστήματα ΑΠΕ μπορούν να σχεδιαστούν ώστε να καλύπτουν ανάγκες θέρμανσης, κλιματισμού, ζεστού νερού χρήσης και ηλεκτρισμού του κτιρίου. Στόχος είναι η παραγωγή από συστήματα ΑΠΕ των φορτίων που χρειάζονται στον χρόνο που χρειάζεται, έτσι ώστε το κτίριο να μπορεί να λειτουργεί ως αυτόνομη μονάδα. Αυτό όμως δεν είναι προϋπόθεση για ένα κτίριο nZEB ή ZEB, διότι εκ των πραγμάτων είναι και αρκετά δύσκολο να επιτευχθεί. Αντιθέτως, ένα κτίριο θεωρείται nZEB ή ZEB αν παράγει στο σύνολο του έτους μέρος ή το σύνολο της ενέργειας που χρειάζεται ακόμη και αν δεν χρησιμοποιεί το κτίριο αυτό την δικιά του ενέργεια που παράγει την στιγμή που την παράγει. Την ενέργεια αυτή μπορεί να την διοχετεύει σε ένα δίκτυο δημόσιας ωφέλειας όπως το δίκτυο ηλεκτρισμού και να λαμβάνει από αυτό ενέργεια όταν την χρειάζεται. Περισσότερα στοιχεία σχετικά με την ενσωμάτωση των ΑΠΕ στα κτίρια μηδενικής ενέργειας δίνονται σε ξεχωριστή ενότητα (Υπηρεσία Ενέργειας, 2015).

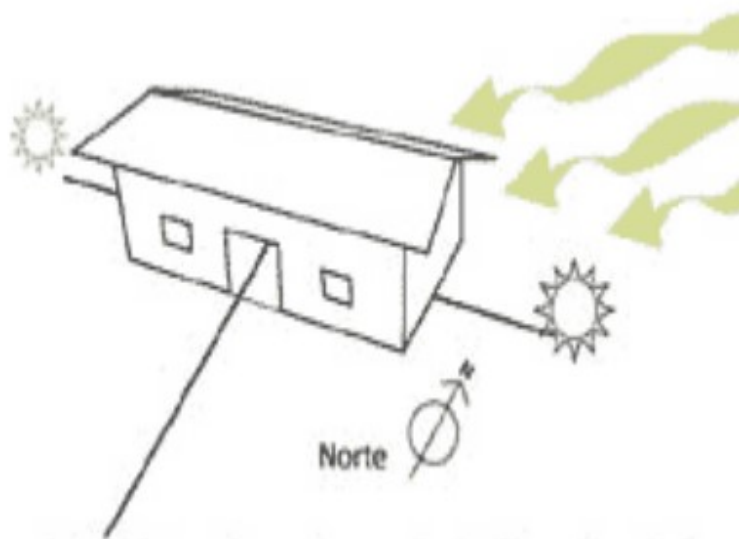
3.4 Αρχιτεκτονικός σχεδιασμός

Ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία ενός κτιρίου nZEB ή ZEB είναι ο αρχιτεκτονικός του σχεδιασμός, ο οποίος έχει ως στόχο του τον περιορισμό των απαιτήσεων σε ενέργεια του κτιρίου. Ο σχεδιασμός ενός κτιρίου είναι διαφορετικός σε κάθε περίπτωση, καθώς πρέπει να εξυπηρετεί την χρήση του κτιρίου. Μολαταύτα, κάποιες βασικές αρχές μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε όλα τα κτίρια, τα οποία προορίζονται για κτίρια nZEB ή ZEB. Μια από τις αρχές αυτές είναι η ελαχιστοποίηση των απωλειών διαμέσου του κελύφους του κτιρίου. Οι υπόλοιπες αρχές εντάσσονται σε ένα σχεδιασμό κτιρίου, που ονομάζεται βιοκλιματικός

σχεδιασμός και βασίζεται στην μεγιστοποίηση των κερδών του κτιρίου από τις συνθήκες του περιβάλλοντος στο οποίο βρίσκεται (ηλιακή ακτινοβολία, θερμοκρασία περιβάλλοντος χώρου κλπ). Στις επόμενες υποενότητες περιγράφονται αυτές οι αρχές του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού ενός κτιρίου nZEB ή ZEB.

3.4.1 Μεγιστοποίηση κερδών και περιορισμός απωλειών κελύφους

Η μεγιστοποίηση των κερδών ενός κτιρίου είναι ένας από τους κύριους στόχους ενός σχεδιαστή κτιρίων nZEB και ZEB. Η αύξηση των κερδών του, κυρίως από την ηλιακή ακτινοβολία, συνεπάγεται μείωση της χρήσης των τεχνικών συστημάτων του κτιρίου, άρα μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Κάποιες βασικές αρχές του σχεδιασμού κτιρίων, που μεγιστοποιούν τα κέρδη, παρατίθενται στις επόμενες παραγράφους (Andrea et al, 2020; Bajcinovci & Jerliu, 2016).



Σχήμα 3.4: Προσανατολισμός κτιρίου με πρόσοψη και ανοίγματα προς τον νότο. Πηγή: (PIMES, 2015)

Η σημαντικότερη παράμετρος μεγιστοποίησης των κερδών είναι ο προσανατολισμός του κτιρίου και των ανοιγμάτων του. Το κτίριο πρέπει να είναι προσανατολισμένο προς τον νότο και η μεγάλη του διάσταση να είναι από ανατολή προς δύση, ώστε η επιφάνεια να έχει πρόσοψη στον νότο. Αυτό γίνεται διότι τον χειμώνα η ηλιακή ακτινοβολία έχει κλίση νότια. Ένα κτίριο με τις μεγάλες του επιφάνειες νότια προσανατολισμένες μπορεί να δεχτεί περισσότερη ηλιακή

ακτινοβολία και να έχει μεγαλύτερα κέρδη. Στην νότια πλευρά του πρέπει να βρίσκονται και τα περισσότερα ανοίγματά του, ώστε να επιτρέπουν στην ηλιακή ακτινοβολία να εισέλθει στον χώρο θερμαίνοντάς τον. Ανοίγματα στην ανατολική και την δυτική πλευρά επιτρέπουν τον ηλιασμό χώρων κατά τις πρωινές και τις απογευματινές ώρες. Στο Σχήμα 3.4 φαίνεται ο ορθός προσανατολισμός ενός κτιρίου, με την πρόσοψη και τα ανοίγματα να βρίσκονται στην νότια του πλευρά (Andrea et al., 2020; PIMES, 2015).

Η διάταξη των χώρων του κτιρίου είναι άλλη μια κρίσιμη παράμετρος μεγιστοποίησης των κερδών του. Κατά τη διάρκεια της ημέρας τα νότια τμήματα του κτιρίου δέχονται περισσότερη ακτινοβολία, άρα έχουν και λιγότερες θερμικές απαιτήσεις. Έτσι, χώροι του κτιρίου με μεγάλη χρήση κατά τη διάρκεια της ημέρας πρέπει να βρίσκονται στην νότια πλευρά. Αντιθέτως, χώροι με μικρή χρήση πρέπει να βρίσκονται στην βόρεια πλευρά. Έστω λοιπόν ένα κτίριο με χρήση κατοικίας. Στην νότια πλευρά πρέπει να βρίσκεται η σαλοτραπεζαρία και η κουζίνα, όπου είναι τα περισσότερα άτομα στο σύνολο της ημέρας. Στην βόρεια πλευρά πρέπει να τοποθετείται το λουτρό, η αποθήκη, ο ξενώνας, το κλιμακοστάσιο και γενικά χώροι οι οποίοι δεν χρησιμοποιούνται στο σύνολο της ημέρας (Andrea et al., 2020; PIMES, 2015).

Ο περιορισμός των απωλειών του κελύφους μπορεί να γίνει είτε με την τοποθέτηση του κελύφους στον χώρο, είτε με την χρήση υλικών περιορισμού των απωλειών. Όπως ήδη αναφέρθηκε, οι απώλειες θερμικής ενέργειας τον χειμώνα είναι εντονότερες στην βόρεια πλευρά του κτιρίου. Έτσι, μια λύση περιορισμού των απωλειών είναι η μη ύπαρξη εκτεθειμένης στον αέρα βόρειας πλευράς. Αυτό είναι εφικτό με την ύπαρξη χώματος στην βόρεια πλευρά του κτιρίου που καλύπτει την τοιχοποιία και περιορίζει τις απώλειες θερμότητας. Η τεχνική αυτή μάλιστα προσφέρει και δροσισμό το καλοκαίρι, καθώς το χώμα έχει χαμηλότερη θερμοκρασία από το περιβάλλον. Βέβαια η λύση αυτή δεν είναι πάντα εύκολη και σίγουρα δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε πολυώροφα κτίρια (PIMES, 2015).

Μια πιο συμβατική λύση είναι η μόνωση του κελύφους του κτιρίου. Η τοποθέτηση μονωτικών στοιχείων σε όλο το κέλυφος αποτρέπει την εκροή θερμικών φορτίων από αυτό τον χειμώνα και ψυκτικών φορτίων το καλοκαίρι. Με αυτό τον τρόπο ελαχιστοποιούνται οι απώλειες και κατά συνέπεια μειώνονται τα απαιτούμενα φορτία θέρμανσης και ψύξης του χώρου. Επιπλέον της μόνωσης πρέπει στα ανοίγματα να χρησιμοποιούνται κουφώματα με υψηλή ενεργειακή απόδοση (από θερμοπλαστικό ή από αλουμίνιο με θερμοδιακοπή) και διπλοί

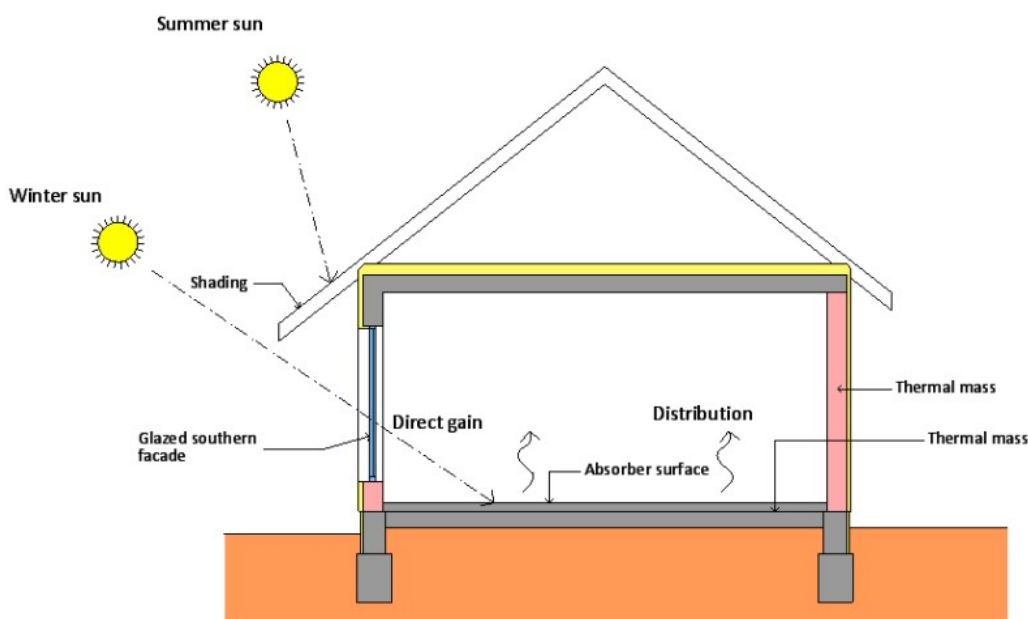
ή τριπλοί ενεργειακοί υαλοπίνακες. Μάλιστα, στον σχεδιασμό του κελύφους πρέπει να ελαχιστοποιούνται τα ανοίγματα στην βόρεια πλευρά του κτιρίου, ώστε να περιορίζονται οι απώλειες, καθώς στα ανοίγματα δεν είναι εφικτή η τοποθέτηση εξωτερικής θερμομόνωσης (PIMES, 2015).

3.4.2 Εφαρμογή αρχών βιοκλιματικού σχεδιασμού κτιρίων

Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός είναι εκείνος ο σχεδιασμός των κτιρίων που πετυχαίνει την μεγιστοποίηση των κερδών του κτιρίου από τις συνθήκες του περιβάλλοντος, ελαχιστοποιώντας κατ' αυτό τον τρόπο τις απαιτήσεις του κτιρίου σε ενέργεια. Δεν πρέπει να συγχέεται ο βιοκλιματικός σχεδιασμός κτιρίων με τον βιοκλιματικό πολεοδομικό σχεδιασμό περιοχής. Ο μεν πρώτος αναφέρεται αποκλειστικά και μόνο στην κατασκευή ενός κτιρίου ενώ ο δεύτερος αναφέρεται στην δόμηση μιας ολόκληρης περιοχής με τρόπο ώστε να δημιουργείται το καλύτερο δυνατό μικροπεριβάλλον με στόχο πάντα την μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων των κτιρίων της περιοχής. Στην παρούσα εργασία γίνεται αναφορά αποκλειστικά και μόνο σε βιοκλιματικό σχεδιασμό κτιρίων. Οι κυριότερες αρχές βιοκλιματικού σχεδιασμού περιλαμβάνουν την σκίαση από την ηλιακή ακτινοβολία, την θερμική μάζα, τον φυσικό αερισμό, την νυκτερινή ψύξη, τους ηλιακούς χώρους και την πράσινη οροφή, αρχές οι οποίες παρουσιάζονται στις επόμενες παραγράφους (Paoletti et al., 2017; Becchio et al., 2015).

Η πρώτη αρχή βιοκλιματικού σχεδιασμού είναι η σκίαση από την ηλιακή ακτινοβολία. Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες κατά τον σχεδιασμό ενός κελύφους με χαμηλές απαιτήσεις ενέργειας, όπως έχει ήδη αναφερθεί προηγουμένως, είναι να επιτρέπει την είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας εντός του κτιρίου για να εκμεταλλεύεται τα ηλιακά κέρδη την χειμερινή περίοδο. Το καλοκαίρι όμως η ηλιακή ακτινοβολία, που εισέρχεται εντός του κτιρίου, αυξάνει τις απαιτήσεις ψύξης. Γι' αυτό ο σωστός σχεδιασμός του κτιρίου και η χρήση σκιάστρων με σκοπό την μείωση της εισόδου της ακτινοβολίας στο κτίριο την θερινή περίοδο είναι μια βασική αρχή του βιοκλιματικού σχεδιασμού. Κατασκευαστικά η σκίαση επιτυγχάνεται με προβόλους πάνω από τα ανοίγματα του κτιρίου. Ο ήλιος την χειμερινή περίοδο έχει κλίση προς τον νότο, με αποτέλεσμα η διέλευση της ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό του κτιρίου να μην επηρεάζεται από τον πρόβολο. Κατά την θερινή περίοδο όμως, ο ήλιος έχει κατακόρυφη θέση, έτσι ο πρόβολος εμποδίζει την ηλιακή ακτινοβολία να εισέλθει στο κτίριο. Σε περίπτωση που δεν είναι εφικτή η κατασκευή προβόλου μπορούν να χρησιμοποιηθούν επιπρόσθετα στοιχεία

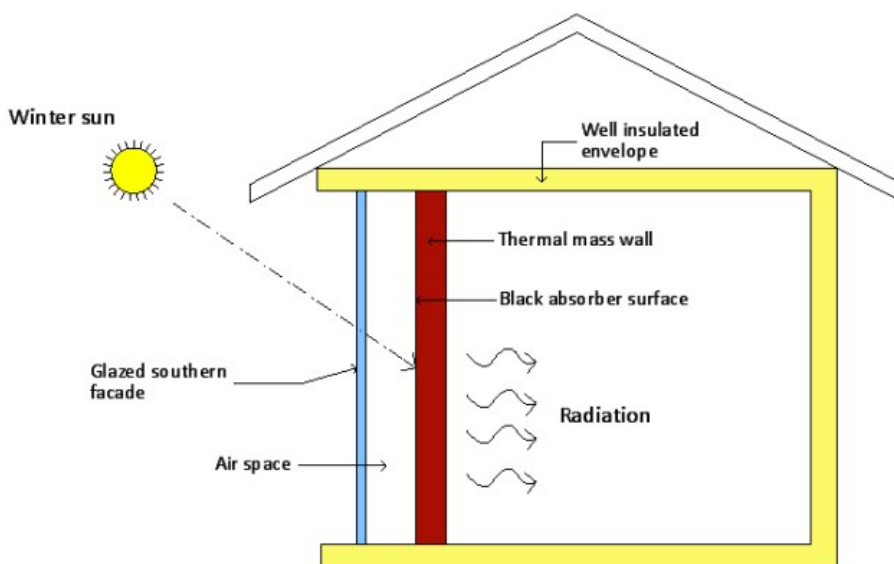
σκίασης, όπως είναι οι τέντες, οι πέργκολες και οι περσίδες, κατά προτίμηση κινητά, ώστε να μπορούν τον χειμώνα να επιτρέπουν την είσοδο της ακτινοβολίας και το καλοκαίρι να την εμποδίζουν. Στο Σχήμα 3.5 φαίνεται η λειτουργία ενός προβόλου και πως αυτός σκιάζει ένα άνοιγμα την θερινή περίοδο (Watson, 2010).



Σχήμα 3.5: Σκίαση με την χρήση προβόλου. Πηγή: (PIMES, 2015)

Η θερμική μάζα είναι μια αρχή αποθήκευσης της ηλιακής ενέργειας και απόδοσής της στον χώρο σε στιγμές όπου η θερμοκρασία πέφτει. Γι' αυτό τον λόγο χρησιμοποιούνται στοιχεία με μεγάλη ικανότητα αποθήκευσης ενέργειας όπως για παράδειγμα οι τοίχοι μεγάλου πάχους. Σε αυτά τα δομικά στοιχεία κατά τη διάρκεια της ημέρας προσπίπτει η ηλιακή ακτινοβολία και αυξάνει την θερμοκρασία τους, αποθηκεύεται με αυτό τον τρόπο ενέργεια εξαιτίας της θερμοχωρητικότητάς τους. Τις βραδινές ώρες, που η θερμοκρασία του περιβάλλοντος μειώνεται, αυτά τα δομικά στοιχεία έχουν πλέον υψηλότερη θερμοκρασία, έτσι μεταφέρεται από αυτά θερμική ενέργεια στους χώρους του σπιτιού. Συχνά, μπροστά από θερμικές μάζες τοποθετούνται υαλοπίνακες, έτσι ώστε να δημιουργούν συνθήκες θερμοκηπίου μπροστά από την θερμική μάζα και να αυξάνεται περαιτέρω η θερμοκρασία τους. Οι θερμικές μάζες τοποθετούνται στις νότιες πλευρές των κτιρίων, προκειμένου να δέχονται την ακτινοβολία τον χειμώνα, που ο ήλιος έχει νότια κλίση, αλλά να μην δέχονται ακτινοβολία το καλοκαίρι, που ο ήλιος έχει κατακόρυφη

θέση στον ορίζοντα. Η γνωστότερη θερμική μάζα είναι ο τοίχος Trombe. Στο Σχήμα 3.6 φαίνεται η λειτουργία μιας θερμικής μάζας και ο τρόπος που αυτή μεταφέρει τελικά την θερμότητα στον χώρο (Pimes, 2015; Watson, 2010).



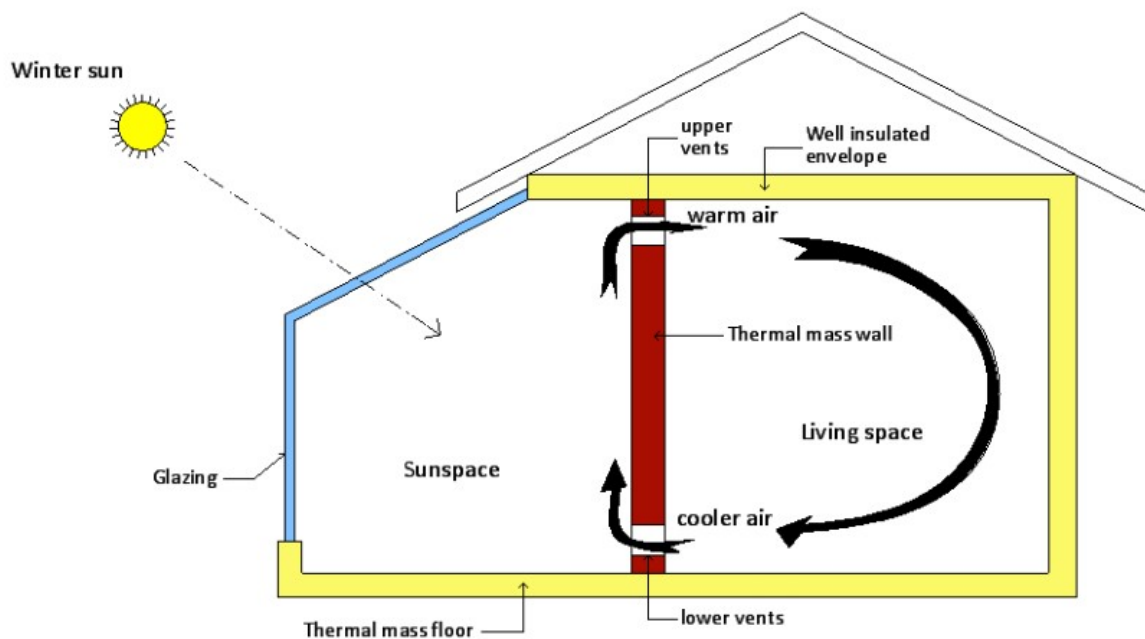
Σχήμα 3.6: Λειτουργία θερμική μάζας. Πηγή: (PIMES, 2015)

Ο φυσικός αερισμός είναι η τεχνική αυτή κατά την οποία επιτρέπεται η φυσική ροή του αέρα εντός του κτιρίου ώστε να υπάρχει δροσισμός των χώρων. Η τεχνική αυτή βασίζεται στην ιδιότητα του θερμού αέρα να κινείται προς τα πάνω. Κινούμενος προς τα πάνω αφήνει μια υποπίεση στο κάτω μέρος του κτιρίου, την οποία καλείται να πληρώσει μια νέα ποσότητα αέρα. Εφόσον υπάρχουν αντίστοιχες δίοδοι εισόδου και εξόδου του αέρα από το κτίριο μπορεί να δημιουργηθεί μια ελεγχόμενη κίνηση αέρα. Σε μικρά κτίρια οι δίοδοι ροής του αέρα είναι οι χαραμάδες κάτω από τις πόρτες και στα κουφώματα. Είναι επαρκείς ώστε να εξασφαλίζεται ο φυσικός αερισμός τους. Σε μεγάλα κτίρια δημιουργούνται ειδικά ανοίγματα, σε θέσεις που προκύπτουν κατόπιν μελέτης, έτσι ώστε να εξασφαλιστεί ο φυσικός αερισμός. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται ο φυσικός αερισμός του κτιρίου χωρίς να απαιτείται η εγκατάσταση συστήματος αερισμού (Pimes, 2015; Watson, 2010).

Η νυχτερινή ψύξη βασίζεται στο φαινόμενο της μετάδοσης θερμότητας μεταξύ δύο σωμάτων, που βρίσκονται σε διαφορετική θερμοκρασιακή κατάσταση. Εάν τα δύο σώματα

έχουν διαφορά θερμοκρασίας, τότε από το θερμότερο σώμα ακτινοβολείται ενέργεια και απορροφάται από το ψυχρότερο μέχρι να επέλθει θερμοκρασιακή ισορροπία. Η ροή θερμότητας είναι ικανοποιητική όταν εμφανίζονται θερμοκρασιακές διαφορές μεγαλύτερες των 7°C. Στην περίπτωση των κτιρίων το ένα σώμα είναι το κτίριο και το άλλο σώμα η ατμόσφαιρα. Το καλοκαίρι τα κτίρια κατά τη διάρκεια της ημέρας δέχονται ακτινοβολία και αποκτούν υψηλές θερμοκρασίες. Αντιθέτως η ατμόσφαιρα, το βράδυ, έχει πολύ χαμηλότερες θερμοκρασίες. Αυτό συνεπάγεται ότι μπορεί να υπάρξει ροή θερμότητας διαμέσου ακτινοβολίας μεταξύ κτιρίου και ακτινοβολίας και κατά συνέπεια να μειωθεί η θερμοκρασία του κτιρίου τις βραδινές ώρες. Η χρήση υλικών τέτοιων ώστε να επιτρέπουν την ακτινοβολία από το κτίριο προς την ατμόσφαιρα υποβοηθάει το συγκεκριμένο φαινόμενο και αυξάνει την νυχτερινή ψύξη (Pimes, 2015; Watson, 2010).

Οι ηλιακοί χώροι είναι χώροι παραπλεύρως των κτιρίων, κατά βάση στην νότια πλευρά, οι οποίοι είναι τελείως κλειστοί με διάφανους υαλοπίνακες, είναι επί της ουσίας θερμοκήπια προσκολλημένα στο κτίριο. Η ηλιακή ακτινοβολία εισέρχεται σε αυτούς και αυξάνει την θερμοκρασία. Θυρίδες συνδέουν τον ηλιακό χώρο με το κτίριο, έτσι ο αέρας αυξημένης θερμοκρασίας που βρίσκεται στον ηλιακό χώρο κινείται προς το κτίριο. Αντίστοιχα, ο αέρας χαμηλής θερμοκρασίας του κτιρίου εισέρχεται στον ηλιακό χώρο για να καλύψει την ποσότητα που έφυγε. Αποτέλεσμα είναι να δημιουργείται μια φυσική ροή θερμού αέρα προς το κτίριο, κάτι που περιορίζει τις ανάγκες σε θερμικά φορτία κατά την χειμερινή περίοδο. Το καλοκαίρι όμως η αύξηση της θερμοκρασίας μέσα στο κτίριο δεν είναι επιθυμητή, γι' αυτό και πρέπει να προνοείται η ύπαρξη ηλιακής προστασίας, ώστε να περιορίζει την είσοδο της ακτινοβολίας στον ηλιακό χώρο. Μάλιστα, οι ηλιακοί χώροι είναι χώροι πλήρως ενταγμένοι στο κτίριο, καθώς μπορεί να αποτελούν ένα σημείο που μπορεί να τοποθετηθούν λουλούδια και να λειτουργήσουν ακόμη και ως ένα δεύτερο σαλόνι. Στο Σχήμα 3.7 φαίνεται ένας ηλιακός χώρος και ο τρόπος με τον οποίο προκαλεί την κίνηση του θερμού αέρα προς τους χώρους του κτιρίου στο οποίο εφάπτεται (Pimes, 2015; Watson, 2010).

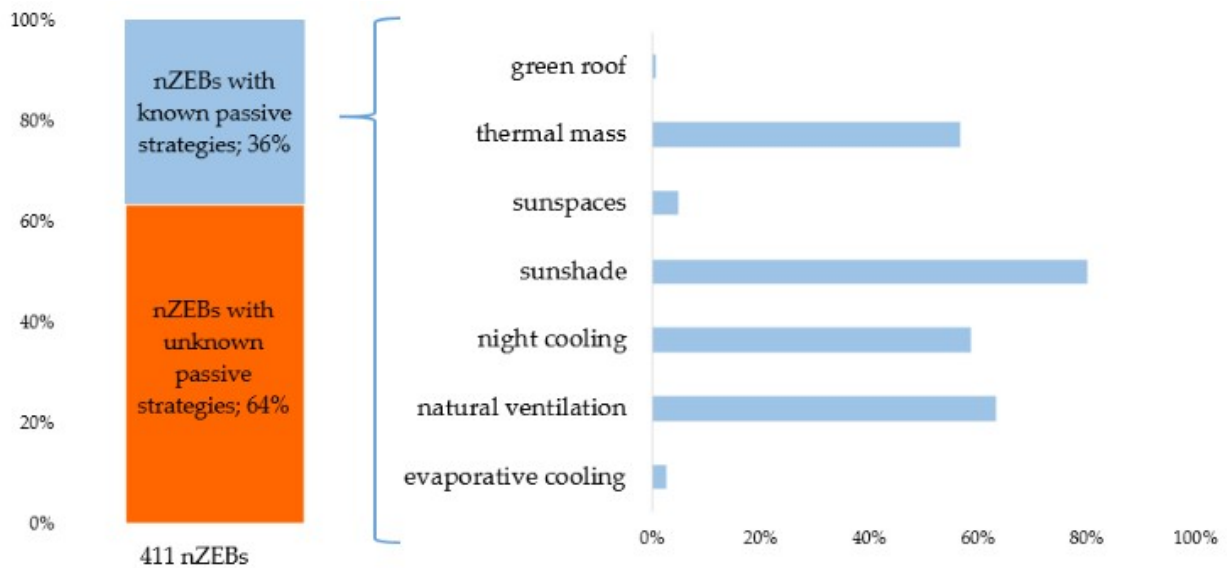


Σχήμα 3.7: Ηλιακός χώρος. Πηγή: (PIMES, 2015)

Η πράσινη οροφή, ή αλλιώς, φυτεμένο δώμα, είναι η αρχή του βιοκλιματικού σχεδιασμού κατά την οποία στην οροφή ενός κτιρίου δημιουργείται ένας κήπος. Η οροφή του κτιρίου είναι το μέρος που δέχεται συνεχώς την ηλιακή ακτινοβολία, αυξάνοντας έτσι τις απαιτήσεις του κτιρίου για ψύξη το καλοκαίρι. Αν όμως στην στέγη δημιουργηθεί ένας κήπος, τότε το χώμα κρατάει πολύ χαμηλότερη την θερμοκρασία της οροφής, καθώς έχει σημαντικά μικρότερη θερμοκρασία από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος και μειώνει τα απαιτούμενα φορτία ψύξης. Αντίθετα, την χειμερινή περίοδο, το χώμα διατηρεί πολύ υψηλότερη θερμοκρασία από την θερμοκρασία περιβάλλοντος, ειδικά τις έντονα ψυχρές ημέρες, με αποτέλεσμα να περιορίζει κατά πολύ και τα απαιτούμενα θερμικά φορτία του κτιρίου. Βέβαια, η δημιουργία ενός φυτεμένου δώματος απαιτεί πολύ περισσότερη μελέτη τόσο όσον αφορά την αντοχή του κτιρίου όσο και την κατασκευή του για να μην υπάρχει εισροή υγρασίας από τον κήπο στο σπίτι (Pimes, 2015; Watson, 2010).

Σύμφωνα με την έρευνα των Paoletti και συν. (2017), σε 411 κτίρια nZEB στην Ευρώπη διαπιστώθηκε ότι μόνο το 36% αυτών, δηλαδή 150 κτίρια, δήλωσαν ότι χρησιμοποίησαν αρχές βιοκλιματικού σχεδιασμού για να περιορίσουν τις απαιτήσεις τους σε ενέργεια. Η πλειονότητα

αυτών των κτιρίων (80%) χρησιμοποίησε την αρχή της σκίασης από την ηλιακή ακτινοβολία. Πέραν από αυτή την αρχή βιοκλιματικού σχεδιασμού περισσότερα από τα μισά κτίρια χρησιμοποίησαν τον φυσικό δροσισμό (63%), την βραδινή ψύξη (59%) και την αρχή της θερμικής μάζας (57%). Στο Σχήμα 3.8 φαίνονται οι αρχές βιοκλιματικού σχεδιασμού, που χρησιμοποιήθηκαν στα κτίρια της μελέτης των Paoletti και συν. (2017).



Σχήμα 3.8: Αρχές βιοκλιματικού σχεδιασμού εφαρμοσμένες σε κτίρια nZEB στην Ευρώπη.
Πηγή: (Paoletti et al., 2017)

3.5 Χρήση συστημάτων ΑΠΕ

Τα κτίρια nZEB και ZEB χαρακτηρίζονται από τις χαμηλές απαιτήσεις ενέργειάς τους εξαιτίας του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού τους, που βασίζεται στις αρχές του βιοκλιματικού αρχιτεκτονικού σχεδιασμού. Επιπρόσθετα όμως χαρακτηρίζονται και από την ικανότητα κάλυψης μέρους των ενεργειακών αναγκών τους με την χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθούν ή να εκμηδενιστούν οι απαιτήσεις τους σε ενέργεια. Ο συνηθέστερος τρόπος χρήσης συστημάτων ΑΠΕ στα κτίρια αυτά είναι η ηλεκτροπαραγωγή. Εξίσου συχνά χρησιμοποιούνται οι ΑΠΕ για την κάλυψη των φορτίων ζεστού νερού χρήσης. Σπανιότερα χρησιμοποιούνται συστήματα ΑΠΕ για την κάλυψη απαιτήσεων θέρμανσης των κτιρίων.

3.5.1 Κάλυψη θερμικών φορτίων

Η παραγωγή θερμικών φορτίων από ΑΠΕ είναι μια συνηθισμένη τεχνική, που συναντάται σε όλα τα κτίρια και όχι μόνο στα κτίρια nZEB και ZEB. Στα περισσότερα κτίρια στην ελληνική επικράτεια υπάρχουν ηλιακοί συλλέκτες, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης (ZNX). Τα συστήματα αυτά κατά βάση είναι θερμικά ηλιακά συστήματα, τα οποία αποτελούνται από ένα ή περισσότερους συλλέκτες και ένα δοχείο αποθήκευσης του ζεστού νερού χρήσης (πάνω από τους συλλέκτες για μικρές εφαρμογές έως 200 λίτρα και στο εσωτερικό του κτιρίου για μεγαλύτερες εφαρμογές). Τα συστήματα αυτά εκμεταλλεύονται την ηλιακή ενέργεια και διαμέσου των συλλεκτών τους θερμαίνουν νερό, το οποίο βρίσκεται αποθηκευμένο στο δοχείο και χρησιμοποιείται όταν είναι απαραίτητο στους χρήστες των κτιρίων. Με αυτό τον τρόπο περιορίζεται στο ελάχιστο η χρήση συμβατικών μορφών ενέργειας (ηλεκτρικής ενέργειας ή καύσης φυσικού αερίου ή πετρελαίου) για την κάλυψη των αναγκών ZNX. Είναι προφανές λοιπόν ότι τα συστήματα αυτά τοποθετούνται και στα κτίρια nZEB και ZEB, έτσι ώστε να περιορίζονται τα απαιτούμενα θερμικά φορτία για την παραγωγή ZNX σε αυτά (Sameti et al., 2014a; Sameti et al., 2014b).

Η ηλιακή ενέργεια όμως μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την κάλυψη θερμικών φορτίων του κτιρίου. Η λογική είναι η ίδια. Χρησιμοποιείται μια σειρά από συλλέκτες, σαφώς περισσότεροι από όσους απαιτούνται στα συστήματα ZNX, οι οποίοι θερμαίνουν νερό, το οποίο όμως οδηγείται στο σύστημα θέρμανσης του κτιρίου. Τα συστήματα αυτά ονομάζονται ηλιοθερμικά συστήματα. Τα ηλιοθερμικά συστήματα κατά βάση σχεδιάζονται ως υποβοηθητικά συστήματα κάλυψης των αναγκών θέρμανσης, δηλαδή, λειτουργούν ταυτόχρονα με ένα συμβατικό σύστημα θέρμανσης με στόχο να περιορίσουν την χρήση του, καλύπτοντας αυτά ένα μέρος του συνολικά απαιτούμενου θερμικού φορτίου. Το μεγάλο μειονέκτημα των συστημάτων αυτών είναι ότι την θερινή περίοδο, την πλέον αποδοτική τους περίοδο εξαιτίας της έντονης ηλιοφάνειας, δεν είναι χρήσιμα στο κτίριο καθώς δεν υπάρχουν απαιτήσεις θέρμανσης (Ascione et al., 2016; Mateus et al., 2017).

Συνήθως η απόδοση τους είναι μικρή, ή μάλλον ορθότερα, απαιτείται μεγάλη επιφάνεια συλλεκτών για να έχουν ικανοποιητική απόδοση στην περιορισμένη ηλιακή ακτινοβολία της χειμερινής περιόδου, επιφάνεια που δεν είναι διαθέσιμη σε ένα κτίριο αν δεν υπάρχει παρακείμενο οικοπέδο. Άλλωστε στο ίδιο κτίριο, στην περιορισμένη επιφάνεια, ήδη

τοποθετούνται συστήματα για παραγωγή ZNX ενώ στην υπόλοιπη διαθέσιμη επιφάνεια προτιμώνται τα φωτοβολταϊκά συστήματα, καθώς η ενέργεια που παράγουν την θερμική περίοδο δεν χάνεται αλλά διοχετεύεται στο δίκτυο, έτσι είναι πιο αποδοτικά. Γι' αυτό τον λόγο η χρήση των ηλιοθερμικών συστημάτων στα κτίρια nZEB και ZEB είναι περιορισμένη (Mateus et al., 2017).

Η τελευταία μορφή ΑΠΕ, που συναντάται σε κτίρια για την κάλυψη των απαιτήσεων τους σε θερμικά φορτία, είναι η γεωθερμία. Τα γεωθερμικά συστήματα βασίζονται στην ύπαρξη μιας γεωθερμικής αντλίας θερμότητας, η οποία λαμβάνει ενέργεια από ένα ρευστό που κινείται στο έδαφος και την αποδίδει στο ρευστό που κινείται στο σύστημα θέρμανσης του χώρου. Η λειτουργία της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας απαιτεί μόνο ελάχιστες ηλεκτρικές καταναλώσεις για την κάλυψη των αυτοματισμών και των συστημάτων ελέγχου της και έχει την δυνατότητα να παράγει το σύνολο των θερμικών φορτίων που απαιτούνται από το κτίριο, τόσο για τις ανάγκες θέρμανσης όσο και για τις απαιτήσεις ZNX. Επιπλέον, τοποθετείται σε συμβατικά λεβητοστάσια, με αποτέλεσμα να αφήνει όλη την επιφάνεια του δώματος ή της σκεπής ελεύθερη για άλλα συστήματα, κυρίως για φωτοβολταϊκά. Το κύριο της μειονέκτημα όμως είναι το μεγάλο κόστος κατασκευής, κυρίως γιατί απαιτεί πολλά χωματουργικά, είτε για την διάνοιξη σε βάθος γεωτρήσεων, είτε για την στρώση σε μήκος σωληνώσεων σε ένα οικόπεδο. Μολαταύτα, η κάλυψη των θερμικών φορτίων με συστήματα γεωθερμίας είναι μια από τις ιδανικότερες λύσεις για τα κτίρια nZEB και ZEB (Patnaick et al., 2013).

3.5.2 Κάλυψη ηλεκτρικών φορτίων

Τα συστήματα ΑΠΕ μπορούν να καλύψουν μέρος ή και το σύνολο των ηλεκτρικών φορτίων ενός κτιρίου. Τα συνηθέστερα συστήματα ηλεκτροπαραγωγής ΑΠΕ, που τοποθετούνται σε ένα κτίριο, είναι τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Σπανιότερα συναντιούνται και συστήματα ανεμογεννητριών, ειδικότερα σε περιπτώσεις κτιρίων αυτόνομων, μη συνδεδεμένων με τα δίκτυα κοινής ωφελείας, όπου πρέπει να υπάρχει πάντα διαθέσιμη ηλεκτρική ενέργεια από τις ΑΠΕ και το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι τα συνηθέστερα συστήματα ΑΠΕ (μετά τους ηλιακούς θερμοσίφωνες), που εμφανίζονται σε κτίρια. Βασίζουν τη λειτουργία τους στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο, ένα φαινόμενο σύμφωνα με το οποίο μια επιφάνεια κατασκευασμένη από τα κατάλληλα υλικά, εφόσον βρεθεί υπό την ηλιακή ακτινοβολία, μπορεί να παράξει ηλιακό

ρεύμα. Η διάδοσή τους ξεκίνησε στο τέλος του προηγούμενου αιώνα ως μια λύση περιορισμού της ηλεκτροπαραγωγής από ορυκτά καύσιμα και μάλιστα αποτέλεσε μέρος της κεντρικής ενεργειακής πολιτικής ολόκληρης της ΕΕ με επιδότηση της παραγωγής τους. Επιδοτήθηκαν συστήματα εγκατεστημένα επί εδάφους αλλά και συστήματα εγκατεστημένα επί στεγών κτιρίων, οικιστικού, βιοτεχνικού και βιομηχανικού τομέα. Η τεχνολογική εξέλιξη τους, που οδήγησε στην αύξηση της απόδοσης τους, σε συνδυασμό με την μείωση του κόστους τους πλέον τα καθιστά από μόνα τους αποδοτικά συστήματα χωρίς να απαιτείται η επιδότησή τους.

Τα κτίρια nZEB και ZEB βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στην ύπαρξη των φωτοβολταϊκών συστημάτων και στην παραγωγή ενέργειας που αυτά τους προσφέρουν. Στα μεν αυτόνομα κτίρια τα φωτοβολταϊκά είναι το κλειδί για την παροχή της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας για την λειτουργία των κτιρίων. Στα δε διασυνδεδεμένα με τα δίκτυα κτίρια τα φωτοβολταϊκά παράγουν μεγάλο μέρος από τις απαιτήσεις του κτιρίου σε ηλεκτρική ενέργεια, συχνά μάλιστα το υπερκαλύπτουν, καλύπτοντας μέρος και των άλλων ενεργειακών απαιτήσεων του κτιρίου έτσι ώστε αυτό να μπορεί να μετατραπεί σε nZEB ή ZEB κτίριο. Μάλιστα συχνά η γεωμετρία του κτιρίου ZEB, και ειδικότερα της οροφής του, σχεδιάζεται με γνώμονα την μεγιστοποίηση της ηλεκτροπαραγωγής από φωτοβολταϊκά, καθώς έτσι αυξάνονται τα διαθέσιμα φορτία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από το κτίριο χωρίς να απολεσθεί ο χαρακτηρισμός τους ως ZEB. Επιπρόσθετα όμως τα φωτοβολταϊκά συστήματα αποτελούν και ένα σκίαστρο της στέγης, απορροφώντας αυτά τα ηλιακά φορτία με αποτέλεσμα, τουλάχιστον την θερινή περίοδο να περιορίζουν τα απαιτούμενα φορτία κλιματισμού του κτιρίου και να καθιστούν ευκολότερο τον φυσικό κλιματισμό του (Kim et al., 2015; Mateus et al., 2017).

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν αρκετά πλεονεκτήματα, που τα καθιστούν ιδανικά για τα κτίρια nZEB και ZEB. Καταρχήν τοποθετούνται σε μια περιοχή του κτίσιματος, που δεν υπάρχει καμία άλλη χρήση. Κατά δεύτερον είναι συστήματα ανεξάρτητα από το κτίριο, που τοποθετούνται με το πέρας της κατασκευής του, με αποτέλεσμα να μην επηρεάζουν τα δομικά χαρακτηριστικά του κτιρίου και τις εσωτερικές του συνθήκες. Κατά τρίτο, είναι συστήματα χωρίς μηχανικά μέρη, χωρίς φθορές που δεν απαιτούν παρά ελάχιστη συντήρηση. Αυτό σημαίνει ότι άπαξ και τοποθετηθούν παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα μέχρι το πέρας του χρόνου ζωής τους. Επιπρόσθετα αυτών, η φωτοβολταϊκή τεχνολογία έχει εξελιχθεί σε βαθμό που η απόδοσή τους είναι τέτοια ώστε να μπορεί να καλύψει τις ηλεκτρικές ανάγκες ενός κτιρίου στο σύνολο του

έτους, τουλάχιστον σε χώρες με μια μέση ηλιακή ακτινοβολία και πάνω (εύκρατες και τροπικές χώρες) [Kim et al., 2015; Grade & Donn, 2014].

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα όμως των φωτοβολταϊκών συστημάτων στα κτίρια nZEB και ZEB είναι ότι μπορούν να διασυνδεθούν με το τοπικό ηλεκτρικό δίκτυο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η ενέργεια που παράγουν να μην πάει χαμένη αν δεν χρησιμοποιείται από το κτίριο. Αντιθέτως, διοχετεύεται στο δίκτυο και όταν το κτίριο απαιτεί ενέργεια λαμβάνεται αυτή από το δίκτυο. Στο τέλος γίνεται συμψηφισμός μεταξύ της διοχετευθείσας από το φωτοβολταϊκό στο δίκτυο ενέργειας και της ληφθείσας από το δίκτυο ενέργειας και προκύπτει το τελικό ποσό ενέργειας που λήφθηκε ή που αποδόθηκε στο δίκτυο. Αυτό συνεπάγεται ότι είναι εκμεταλλεύσιμη η ενέργεια που παράγεται στο σύνολο του έτους από τα φωτοβολταϊκά και ειδικότερα την θερινή περίοδο, προσμετράται στο σύνολό της σαν ενέργεια που παράγεται από το κτίριο και μπορεί να το οδηγήσει ευκολότερα στην κατηγορία nZEB ή ZEB. Αυτός είναι και ο κύριος λόγος που προτιμώνται έναντι των ηλιοθερμικών συστημάτων (Kim et al., 2015; Mateus et al., 2017).

Το δεύτερο σύστημα ΑΠΕ, που δύναται να εγκατασταθεί στα κτίρια για την κάλυψη ηλεκτρικών φορτίων, είναι οι ανεμογεννήτριες. Οι ανεμογεννήτριες χρησιμοποιούνται ώστε να παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα εκμεταλλευόμενες την ταχύτητα του ανέμου. Συχνά χρησιμοποιούνται ως ένα συμπληρωματικό σύστημα στα φωτοβολταϊκά συστήματα, για να καλύψουν στιγμές που αυτά βρίσκονται εκτός παραγωγής (μέρες χωρίς ηλιοφάνεια, βράδια). Αυτό είναι ιδιαίτερα πολύτιμο σε κτίρια ZEB που δεν είναι διασυνδεδεμένα με το ηλεκτρικό δίκτυο, καθώς τα συστήματα ΑΠΕ πρέπει να καλύπτουν συνεχώς τα απαιτούμενα ηλεκτρικά φορτία. Η χρήση των ανεμογεννητριών σε αυτά τα κτίρια περιορίζει τις απαιτήσεις χωρητικότητας του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας, περιορίζοντας την έκταση και το κόστος του. Σε κτίρια nZEB και ZEB διασυνδεδεμένα με το δίκτυο είναι σπανιότερη η χρήση των ανεμογεννητριών και γίνεται μόνο σε περιπτώσεις που είναι γνωστή η ύπαρξη υψηλών ταχυτήτων ανέμου στον χώρο του κτιρίου. Σαφέστατα, σε κτίρια εντός πόλεων, οι άνεμοι είναι περιορισμένοι, περιορίζονται από τα άλλα κτίρια, γι' αυτό και σπάνιο συναντιούνται ανεμογεννήτριες σε αυτά (Patnaik et al., 2013).

3.6 Χρήση αυτοματισμών – έξυπνων συστημάτων

Τα κτίρια nZEB και ZEB έχουν σχεδιαστεί ώστε να έχουν όσο το δυνατό χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας, προκειμένου να την αντισταθμίζουν με την ενέργεια που παράγουν. Γι' αυτό τον λόγο σε αυτά τα κτίρια είναι επιβεβλημένη η παρουσία έξυπνων συστημάτων μέτρησης και ελέγχου κατανάλωσης ενέργειας και αυτοματισμών για την λειτουργία των τεχνικών συστημάτων του κτιρίου. Τα βασικά συστήματα αυτοματισμού που χρησιμοποιούνται είναι οι έξυπνοι θερμοστάτες και οι συσκευές αυτοματισμού του φωτισμού (Karlessi et al., 2017).

Οι έξυπνοι θερμοστάτες δεν παρέχουν απλά μια ένδειξη της θερμοκρασίας του χώρου αλλά ταυτόχρονα την συγκρίνουν με την θερμοκρασία του περιβάλλοντος σε μια διαδικασία αντιστάθμισης. Έστω λοιπόν σε ένα κτίριο υπάρχει στον εσωτερικό του χώρο θερμοκρασία 18°C και η θερμοκρασία θερμικής άνεσης είναι οι 21°C. Τότε θα πρέπει να λειτουργήσει το σύστημα θέρμανσης. Όμως ο έξυπνος θερμοστάτης μετράει και την θερμοκρασία περιβάλλοντος. Αν η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι υψηλότερη της θερμοκρασίας του χώρου, τότε σύντομα θα ανέβει η θερμοκρασία του χώρου και θα λειτουργήσει λίγο ή και καθόλου το σύστημα θέρμανσης. Αν η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι πολύ χαμηλή τότε τίθεται σε λειτουργία σε μεγάλη ένταση το σύστημα θέρμανσης. Με αυτό τον τρόπο ο θερμοστάτης λαμβάνει υπόψη του και τα φορτία που θα απαιτηθούν τις επόμενες ώρες και έτσι οδηγεί σε αποδοτικότερο έλεγχο του συστήματος θέρμανσης, εξασφαλίζοντας εξοικονόμηση ενέργειας. Ταυτόχρονα συχνά ο θερμοστάτης γνωρίζει τα σημεία αποδοτικής λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης, έτσι μπορεί να ρυθμίσει την λειτουργία του για περισσότερη ώρα στο σημείο βέλτιστης απόδοσης παρά την λειτουργία του για λιγότερη ώρα με περισσότερη ένταση και μικρότερη απόδοση. Ακριβώς η ίδια λειτουργία γίνεται και για τον κλιματισμό του χώρου. Επιπρόσθετα, οι έξυπνοι μετρητές συχνά έχουν τη δυνατότητα καταγραφής της ενέργειας που καταναλώνει η μονάδα και προβολής της σε υπολογιστικές πλατφόρμες, δίνοντας τη δυνατότητα στον χειριστή να παρακολουθεί, να ελέγχει και να ρυθμίζει τις παραμέτρους λειτουργίας του συστήματος ώστε να βελτιστοποιεί την απόδοση και να περιορίζει τα φορτία (Karlessi et al., 2017).

Αντίστοιχη λειτουργία έχουν και τα συστήματα αυτοματισμού του φωτισμού. Τα συστήματα αυτά ελέγχουν και προγραμματίζουν τον φωτισμό συγκεκριμένων χώρων του κτιρίου αναλόγως του φυσικού φωτισμού του χώρου. Ταυτόχρονα επιτρέπουν τον αυτόματο έλεγχο του φωτισμού των χώρων του κτιρίου αναλόγως της χρήσης τους. Για παράδειγμα, σε

ένα κτίριο που λειτουργεί ως γραφείο το σύστημα αυτό δεν επιτρέπει την λειτουργία του φωτισμού τις βραδινές ώρες, με εξαίρεση τον φωτισμό ασφαλείας. Τα συστήματα αυτά επικοινωνούν με τον χρήστη διαμέσου ηλεκτρονικής πλατφόρμας και επιτρέπουν την ρύθμιση των ορίων φωτισμού και των ωρών ενεργοποίησης και απενεργοποίησης των συστημάτων φωτισμού (Hoy, 2016).

Πέρα από τα συστήματα, που πλέον υπάρχουν σε αρκετές εφαρμογές, νέα σύγχρονα συστήματα αυτόματου ελέγχου λειτουργιών προστίθενται συνεχώς στα σπίτια. Ένα από αυτά είναι ο αυτόματος έλεγχος των σκιάστρων αναλόγως της ηλιακής ακτινοβολίας, της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του κτιρίου, της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και των συνθηκών φωτισμού. Μια ακόμη πιο σύγχρονη λύση είναι η χρήση αυτόματων, έξυπνων, υαλοπινάκων οι οποίοι επιτρέπουν στην ακτινοβολία να εισέρχεται στο σπίτι ενώ ταυτόχρονα περιορίζουν την μεταφορά θερμότητας διαμέσου αυτών. Λειτουργούν αυτόματα, με ηλεκτρικό ρεύμα που μεταβάλλει την σκουρότητα τους και κατά συνέπεια επιτρέπουν λιγότερη ή περισσότερη ακτινοβολία να διέρχεται διαμέσου αυτών αναλόγως των συνθηκών που επικρατούν εντός και εκτός κτιρίου. Σύγχρονοι αισθητήρες τοποθετούνται στα κτίρια ώστε να ανιχνεύουν σε ποιο μέρος του κτιρίου υπάρχει κόσμος ώστε αναλόγως να αναπροσαρμόσουν τα φορτία θέρμανσης, ψύξης αερισμού και τον φωτισμό των χώρων, καταφέροντας έτσι να μην χρησιμοποιείται ενέργεια σε χώρους που δεν χρησιμοποιούνται την δεδομένη στιγμή (Hoy, 2016).

Τα κτίρια nZEB και ZEB όμως είναι και μικροί σταθμοί ενέργειας διασυνδεδεμένοι με το δημόσιο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Η απόδοση της μονάδας βελτιστοποιείται όταν είναι συνδεδεμένη με ένα έξυπνο δίκτυο ενέργειας, ένα δίκτυο που μπορεί να δεχθεί εισροές από πολλές πηγές και μπορεί να τις διαχειριστεί χωρίς να υπάρχει κορεσμός. Τα έξυπνα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας διασφαλίζουν συνεχή διοχέτευση του ηλεκτρικού ρεύματος από τα κτίρια nZEB και ZEB καθώς διαμέσου προβλέψεων μπορούν να υπολογίσουν την παραγωγή που θα δεχτούν από αυτά και να την διαχειριστούν αναλόγως. Οπότε η ύπαρξη έξυπνων δικτύων ενέργειας στην περιοχή του κτιρίου βοηθάει περισσότερο στη δημιουργία ενός κτιρίου με μηδενική ή σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας (Karlessi et al., 2017).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : *Εξοικονόμηση Ενέργειας Σε Σχολικές Μονάδες*

4.1 Απαιτήσεις ενέργειας

Τα εκπαιδευτικά κτίρια είναι κτίρια με ιδιαίτερες ενεργειακές απαιτήσεις, που πηγάζουν από την ιδιομορφία της χρήσης τους. Δύο είναι τα κύρια χαρακτηριστικά των κτιρίων που στεγάζουν σχολεία. Το πρώτο είναι το ιδιαίτερο ωράριό τους. Το δεύτερο είναι η χρήση τους, καθώς χρησιμοποιούνται από μεγάλο αριθμό ατόμων, κατανεμημένο σε συγκεκριμένες αίθουσες και με συγκεκριμένη εργασία (την διδασκαλία και την μελέτη) κατά την ώρα παραμονής τους στις αίθουσες αυτές. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι πολύ σημαντικά, καθώς βάσει αυτών προκύπτουν οι απαιτήσεις ενέργειας των συγκεκριμένων κτιρίων (Alshibani, 2020).

Μια σχολική μονάδα λοιπόν, σχεδόν σε όλο τον κόσμο, λειτουργεί με συγκεκριμένα ωράρια και σε συγκεκριμένες περιόδους του έτους. Τουλάχιστον στην Ευρώπη οι σχολικές μονάδες λειτουργούν τις πρωινές, προμεσημβρινές και μεσημβρινές ώρες της ημέρας. Σε κάποιες περιπτώσεις, όπως για παράδειγμα τα ολοήμερα σχολεία, λειτουργούν και τις πρώτες απογευματινές ώρες. Εξαιρέσεις σε αυτό το ωράριο υπάρχουν, σπάνιες μεν αλλά υπάρχουν και αφορούν είτε μονάδες ενηλίκων που έχουν νυχτερινή λειτουργία ώστε να μπορέσουν να εξυπηρετήσουν άτομα που εργάζονται, είτε μονάδες με διπλή βάρδια μαθημάτων όπου αναγκαστικά η μια βάρδια ξεκινάει το απόγευμα και διαρκεί μέχρι τις πρώτες νυχτερινές ώρες. Η λειτουργία τους είναι συνήθως πενθήμερη και κατά βάση δεκάμηνη. Οι μήνες που οι μονάδες είναι εκτός λειτουργίας, στην Ευρώπη είναι οι θερινοί μήνες Ιούλιος και Αύγουστος. Επιπλέον, οι δευτεροβάθμιες σχολικές μονάδες υπολειτουργούν τον Ιούνιο, μήνα κατά τον οποίο λαμβάνουν χώρα οι εξετάσεις. Το γενικό αυτό πλαίσιο λειτουργίας των σχολικών μονάδων ισχύει και στην Ελλάδα (Dimoudi & Kostarela, 2009; Tsikra & Andreou, 2017).

Το ωράριο και η περίοδος λειτουργίας των σχολικών μονάδων που περιγράφηκε καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τα απαιτούμενα φορτία που χρειάζονται για να είναι λειτουργικά κτίρια. Καταρχήν λοιπόν, το πιο χαρακτηριστικό στοιχείο των σχολικών μονάδων είναι ότι βρίσκονται σε λειτουργία την χειμερινή περίοδο και εκτός λειτουργίας την θερινή περίοδο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι μονάδες να απαιτούν φορτία για την θέρμανση των χώρων τους αλλά να

μην απαιτούν φορτία για κλιματισμό. Αυτό ισχύει στο σύνολο της Ευρωπαϊκής επικράτειας, με εξαίρεση τα πολύ νότια τμήματά της όπως για παράδειγμα η Κρήτη, η Κύπρος, η Μάλτα, η Σικελία και η νότια Ισπανία (Dimoudi & Kostarela, 2009; Tsikra & Andreou, 2017).

Το δεύτερο σημαντικό χαρακτηριστικό των σχολικών μονάδων, που αναφέρθηκε, είναι η λειτουργία τους κατά την διάρκεια της ημέρας έως και τις πρώτες απογευματινές ώρες στην χειρότερη περίπτωση. Αυτό έχει ως συνέπεια οι απαιτήσεις φωτισμού να μην είναι τόσο μεγάλες όσο θα ήταν σε περίπτωση λειτουργίας της μονάδας και για κάποιες νυχτερινές ώρες. Επιπλέον, τις μεσημβρινές ώρες οι σχολικές μονάδες εκμεταλλεύονται την ηλιακή ακτινοβολία έτσι, ειδικά την χειμερινή περίοδο, περιορίζονται τα θερμικά φορτία που απαιτούνται για την θέρμανση των χώρων. Ούτως η άλλως τις μεσημβρινές ώρες εμφανίζονται οι υψηλότερες θερμοκρασίες της ημέρας, έτσι τα θερμικά φορτία είναι τα ελάχιστα δυνατά. Στις σπάνιες όμως περιπτώσεις που οι σχολικές μονάδες έχουν ετήσια λειτουργία η ηλιακή ακτινοβολία κατά τις μεσημβρινές ώρες είναι και η κύρια πηγή απαιτήσεων για κλιματισμό των χώρων της μονάδας. Έτσι, σε αυτές τις μονάδες εμφανίζονται και ενεργειακές απαιτήσεις κλιματισμού των χώρων τους, στο σύνολο ή τμηματικά (Dimoudi & Kostarela, 2009; Tsikra & Andreou, 2017).

Το τρίτο σημαντικό στοιχείο των σχολικών μονάδων, που καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τα απαιτούμενα φορτία τους, είναι ο σκοπός της λειτουργίας τους. Οι μονάδες αυτές στοχεύουν στην διδασκαλία των μαθητών. Η διδασκαλία πρέπει να γίνεται υπό συνθήκες άνεσης τόσο για τους μαθητές όσο και για τους δασκάλους, ώστε να είναι αποδοτική. Οπότε, εκτός από την θερμική άνεση, εντός του κτιρίου, κατά την διάρκεια της διδασκαλίας, πρέπει να επικρατεί και η οπτική άνεση. Η οπτική άνεση στις σχολικές μονάδες επιτυγχάνεται κατά ένα μέρος με την χρήση του ηλιακού φωτός, γι' αυτό και συχνά τα σχολεία χαρακτηρίζονται από μεγάλο αριθμό ανοιγμάτων. Το ηλιακό φως δεν είναι πάντα επαρκές όμως ούτε φτάνει πολλές φορές στο σύνολο των αιθουσών διδασκαλίας. Γι' αυτό οι σχολικές μονάδες απαιτούν συστήματα φωτισμού με ισχυρή παροχή ακτινοβολίας, ώστε να επιφέρουν την οπτική άνεση στις αίθουσες διδασκαλίας όταν δεν επαρκεί το ηλιακό φως (EPA, 2011, Tsikra & Andreou, 2017).

Πέραν της διδασκαλίας, στις σχολικές μονάδες λαμβάνουν χώρα και άλλες δραστηριότητες. Μια από αυτές είναι η γυμναστική. Μάλιστα, συχνά, σε σχολικές μονάδες οργανώνονται ομάδες διαφόρων αθλημάτων και διοργανώνονται αγώνες. Γι' αυτό τον λόγο συχνά τα σχολικά κτίρια έχουν και κλειστά γυμναστήρια, τα οποία λειτουργούν ως χώροι

αθλοπαιδιών. Σε αυτές τις εγκαταστάσεις απαραίτητη είναι η ύπαρξη ζεστού νερού χρήσης, το οποίο χρησιμοποιείται στα αποδυτήρια προκειμένου οι μαθητές / αθλητές, μετά το τέλος της δραστηριότητάς τους να κάνουν το μπάνιο τους. Αυτό συνεπάγεται ότι σε σχολικές μονάδες με κλειστά γυμναστήρια υπάρχουν και φορτία ZNX.

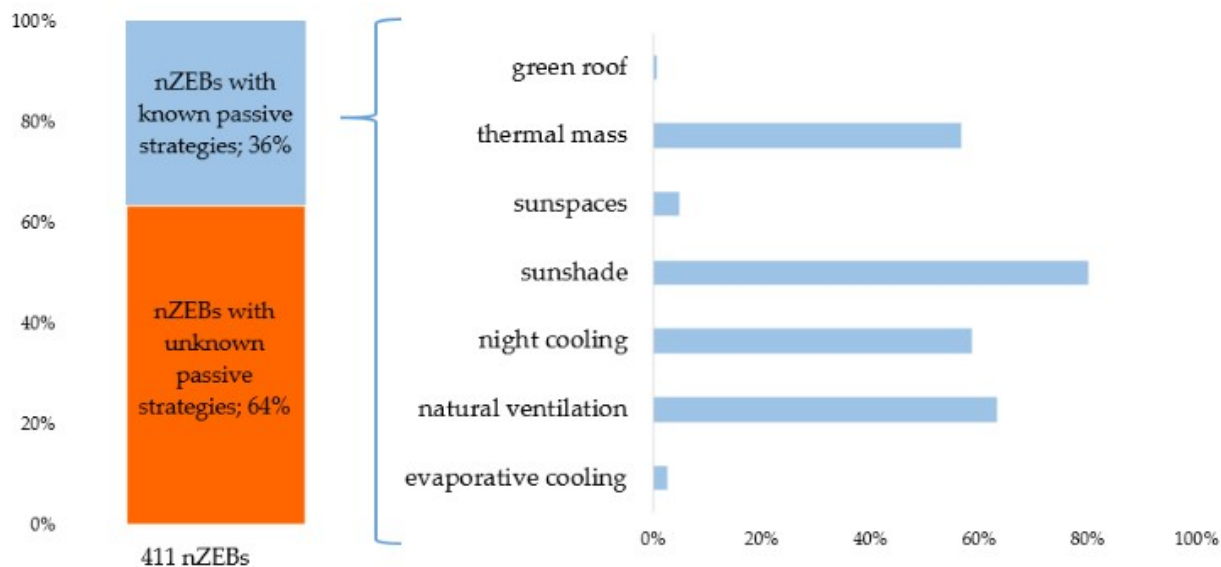
Επιπρόσθετα, οι σχολικές μονάδες, αναλόγως των δραστηριοτήτων στις οποίες ειδικεύονται, και αναλόγως του επιπέδου της μονάδας, έχουν διάφορες αίθουσες με συγκεκριμένες χρήσεις και συνακόλουθα απαιτήσεις σε ενέργεια. Συναντιούνται αίθουσες με ηλεκτρονικούς υπολογιστές, διάφορα εργαστήρια που έχουν συσκευές που καταναλώνουν ενέργεια, αίθουσες θεάτρου και αίθουσες εκμάθησης μουσικών οργάνων που απαιτούν συγκεκριμένο εξοπλισμό. Συνήθως ο εξοπλισμός όλων αυτών των αιθουσών καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια, οπότε προσαυξάνει τα ηλεκτρικά φορτία των σχολικών μονάδων κατά περίπτωση (EPA, 2011).

Οι σχολικές μονάδες χαρακτηρίζονται από τον μεγάλο αριθμό ανθρώπων, που συνωστιάζονται στις σχολικές αίθουσες σε συγκεκριμένες ώρες λειτουργίας. Συνέπεια αυτού είναι η ανάγκη αερισμού των σχολικών μονάδων. Συνηθέστερα, στις σχολικές μονάδες ο αερισμός επιτυγχάνεται με φυσικό τρόπο, διαμέσου της ροής αέρα από τις χαραμάδες των κουφωμάτων. Σπανίως, σε μεγάλες σχολικές μονάδες ή σε σχολικές μονάδες σύγχρονες, με κουφώματα υψηλής ποιότητας άρα και υψηλής αεροστεγανότητας υπάρχει η ανάγκη τοποθέτησης συστημάτων τεχνητού αερισμού του χώρου. Αυτό συνεπάγεται την ύπαρξη ενεργειακών απαιτήσεων αερισμού στις μονάδες αυτές (Ouf & Issa, 2017).

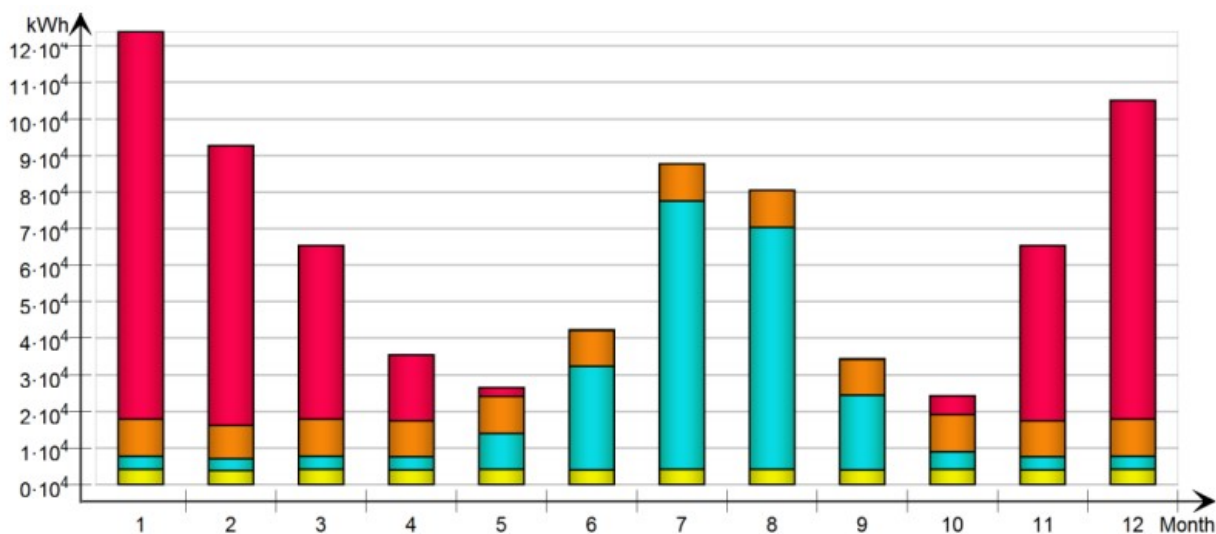
Τέλος, οι σχολικές μονάδες έχουν και κάποιες ενεργειακές απαιτήσεις ανεξάρτητες της διδασκαλίας, που οφείλονται σε εγκαταστάσεις σχετικές με την εύρυθμη λειτουργία της μονάδας. Προς τούτο λοιπόν απαιτείται φωτισμός σε κάποιους εξωτερικούς χώρους της μονάδας κατά την νύκτα για λόγους ασφαλείας. Επιπλέον στην μονάδα υπάρχει μια γραμματεία με τον εξοπλισμό της με σκοπό την διευκόλυνση της λειτουργίας της μονάδας και την εξυπηρέτηση τόσο των μαθητών όσο και των διδασκάλων. Ο εξοπλισμός της γραμματείας περιλαμβάνει συνήθως υπολογιστές και πολυμηχανήματα εκτύπωσης και σάρωσης, τηλεφωνικό κέντρο, τηλεομοιότυπο και οτιδήποτε άλλο απαραίτητο για την οργάνωση και την λειτουργία της σχολικής μονάδας. Κατά βάση, τα επιπρόσθετα φορτία που απαιτούνται για την ορθή λειτουργία μιας σχολικής μονάδας είναι ηλεκτρικά φορτία (Ouf & Issa, 2017).

Συνοψίζοντας λοιπόν, τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της λειτουργίας των σχολικών μονάδων οδηγούν σε συγκεκριμένες απαιτήσεις ενέργειας. Οι κυριότερες από αυτές είναι οι απαιτήσεις θερμικής ενέργειας για την παροχή θερμικής άνεσης στο εσωτερικό του κτιρίου και οι απαιτήσεις ηλεκτρικής ενέργειας, προερχόμενες κατά βάση από τα συστήματα φωτισμού και δευτερευόντως από διάφορες λειτουργίες που λαμβάνουν χώρα στη σχολική μονάδα και από την γραμματεία υποστήριξης της μονάδας. Σε πολύ μικρότερο βαθμό και όχι σε όλες τις σχολικές μονάδες εμφανίζονται απαιτήσεις θερμικής ενέργειας για παραγωγή ZNX, απαιτήσεις κλιματισμού και απαιτήσεις αερισμού των χώρων (Husein, 2018).

Στο Σχήμα 4.1 και στο γράφημα του Σχήματος 4.2, παρουσιάζονται οι ενεργειακές απαιτήσεις μιας σχολικής μονάδας δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στην περιοχή του Κουρδιστάν στο Βόρειο Ιρακ, μια περιοχή με παρόμοιες κλιματικές συνθήκες με μεγάλο μέρος της ηπειρωτικής ελληνικής επικράτειας. Στον πίνακα φαίνεται αριθμητικά η ποσότητα των φορτίων κάθε κατηγορίας που καταναλώνονται σε ένα έτος στην συγκεκριμένη μονάδα. Παρατηρείται λοιπόν ότι τα κυριότερα φορτία που απαιτεί η συγκεκριμένη σχολική μονάδα είναι τα φορτία θέρμανσης. Δεύτερα σε κατάταξη έρχονται τα φορτία κλιματισμού και αυτό οφείλεται στο ότι η μονάδα αυτή έχει ετήσια λειτουργία. Ακολουθούν τα φορτία ζεστού νερού χρήσης και τελευταία είναι τα φορτία φωτισμού του χώρου, τα οποία είναι χαμηλά καθώς ήδη έχουν τοποθετηθεί λαμπτήρες τεχνολογίας LED στο κτίριο (Husein, 2018).



Σχήμα 4.1: Κατανάλωση ενέργειας ανά κατηγορία σχολικής μονάδας στο Κουρδιστάν. Πηγή: (Husein, 2018)

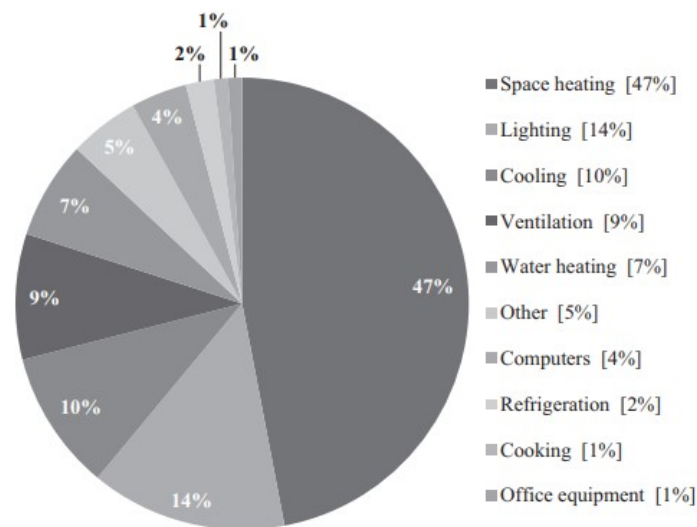


Σχήμα 4.2: Μηνιαίο προφίλ κατανάλωσης ενέργειας σχολικής μονάδας στο Κουρδιστάν. Πηγή: (Husein, 2018)

Στο γράφημα φαίνεται η κατανάλωση των φορτίων ανά μήνα. Τον χειμώνα επικρατούν τα θερμικά φορτία και το καλοκαίρι τα ψυκτικά φορτία. Τα φορτία ζεστού νερού χρήσης και τα φορτία φωτισμού έχουν ένα σταθερό προφίλ στο σύνολο των μηνών του έτους. Η εξειδίκευση του προφίλ των φορτίων ανά μήνα επιτρέπει τον καλύτερο σχεδιασμό λύσεων, οι οποίες

μπορούν να περιορίσουν τις απαιτήσεις του κτιρίου σε συγκεκριμένη εποχή του έτους για τα φορτία που εμφανίζουν διακυμάνσεις (Husein, 2018).

Μια μελέτη στις ΗΠΑ επιβεβαιώνει ότι οι κύριες κατηγορίες κατανάλωσης ενέργειας στις σχολικές μονάδες είναι η θέρμανση, ο κλιματισμός, ο φωτισμός και η παραγωγή ΖΝΧ και προσθέτει επιπλέον τον αερισμό. Σύμφωνα με τους Pereira και συν. (2014), τα φορτία θέρμανσης καλύπτουν σχεδόν το μισό των ενεργειακών απαιτήσεων των σχολικών μονάδων ενώ οι άλλες τέσσερις κατηγορίες κυμαίνονται περίξ του 10%. Φορτία για άλλες απαιτήσεις των σχολικών μονάδων όπως οι διάφορες χρήσεις, οι υπολογιστές, τα ψυγεία, το μαγείρεμα και ο εξοπλισμός γραφείου καταλαμβάνουν πολύ λιγότερα ποσοστά μικρότερα του 5%. Άλλωστε μέρος του εξοπλισμού αυτού όπως ο εξοπλισμός μαγειρέματος δεν υπάρχει στο σύνολο των σχολικών μονάδων. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται το προφίλ κατανάλωσης ενέργειας στα σχολεία των ΗΠΑ (Pereira et al., 2014).



Σχήμα 4.3: Κατανάλωση ενέργειας στις σχολικές μονάδες των ΗΠΑ. Πηγή: (Pereira et al., 2014)

4.2 Μετατροπές μονάδων σε nZEB / ZEB

Μια σχολική μονάδα, όπως κάθε κτίριο, μπορεί να μετατραπεί σε κτίριο σχεδόν μηδενικής ή ακόμη και μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας. Η μετατροπή αυτή απαιτεί τον περιορισμό των φορτίων, που απαιτούνται από την μονάδα και ταυτόχρονα την παραγωγή μέρους ή και του συνόλου των υπολειπόμενων φορτίων από την μονάδα, βάσει των ορισμών των κτιρίων nZEB και ZEB.

Στην ενότητα 4.1 καταγράφηκαν τα κυριότερα φορτία, οι σημαντικότερες ενεργειακές απαιτήσεις, που έχουν οι σχολικές μονάδες. Σαφέστατα, αναλόγως των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών της κάθε μονάδας υπάρχουν διαφορές, αλλά οι γενικές κατηγορίες ενεργειακών απαιτήσεων είναι αυτές που καταγράφηκαν. Οπότε λοιπόν, για την μετατροπή των σχολικών μονάδων σε κτίρια nZEB και ZEB σχεδιάζονται παρεμβάσεις, που να περιορίζουν τις απαιτήσεις ενέργειας ανά κατηγορία. Υπενθυμίζεται ότι οι κυριότερες κατηγορίες ενεργειακών απαιτήσεων είναι απαιτήσεις θερμικής ενέργειας για θέρμανση των χώρων και ηλεκτρικής ενέργειας ενώ σπανιότερα υπάρχουν απαιτήσεις θερμικής ενέργειας για παραγωγή ZNX, απαιτήσεις ψυκτικής ενέργειας για κλιματισμό και απαιτήσεις ηλεκτρικής ενέργειας για αερισμό των κτιρίων (Ouf & Issa, 2017).

Οι παρεμβάσεις που γίνονται σε υπάρχουσες σχολικές μονάδες, ώστε να τις μετατρέψουν σε nZEB ή ZEB, διακρίνονται σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τις παρεμβάσεις που αφορούν τον περιορισμό των απαιτήσεων σε ενέργεια του κτιρίου και η δεύτερη κατηγορία συγκεντρώνει τις παρεμβάσεις με τις οποίες επιτυγχάνεται παραγωγή ενέργειας, θερμικής ή ηλεκτρικής στο κτίριο.

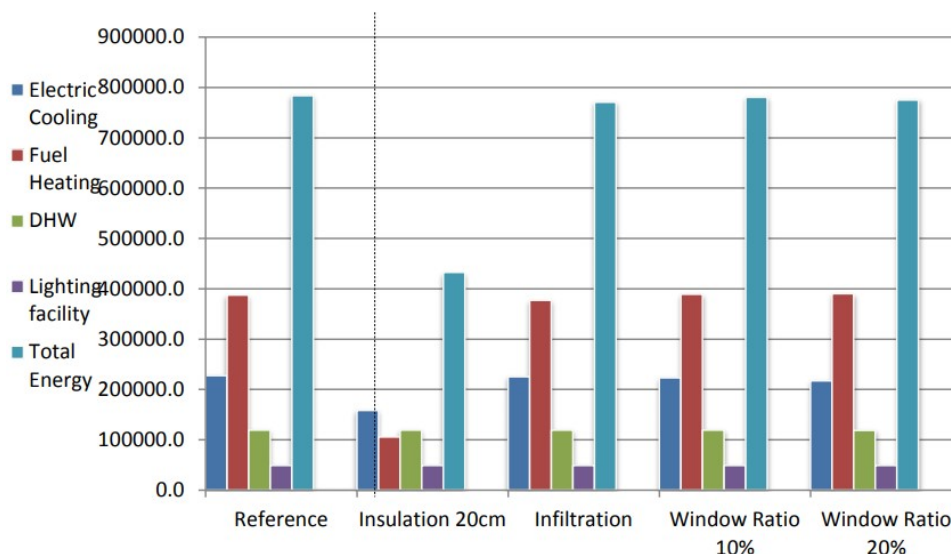
Αρχικά λοιπόν, σε μια σχολική μονάδα, πρέπει να γίνουν παρεμβάσεις στο ίδιο το κτίριο, σχετικές με την κατασκευή του ώστε να βελτιώσουν την ενεργειακή του απόδοση. Οι περισσότερες κτιριακές μονάδες είναι ήδη υφιστάμενα κτίρια. Αυτό καθιστά δύσκολη την εφαρμογή πολλών εκ των αρχών του βιοκλιματικού σχεδιασμού κτιρίων. Οι ευκολότερες παρεμβάσεις σε υφιστάμενα κτίρια είναι η θερμομόνωση του κελύφους του κτιρίου και η αλλαγή των κουφωμάτων. Με την θερμομόνωση επιτυγχάνεται ο περιορισμός των απωλειών θερμότητας από τα δομικά στοιχεία του κτιρίου, περιορίζοντας έτσι τα απαιτούμενα θερμικά φορτία για την θέρμανση των χώρων αλλά και τα ψυκτικά φορτία για τον κλιματισμό των

χώρων. Μελέτες έχουν δείξει ότι η θερμομόνωση μπορεί να περιορίσει στο μισό τις ενεργειακές απαιτήσεις των κτιρίων, περιορίζοντας τα φορτία θέρμανσης έως και 70%. Η θερμομόνωση μπορεί να τοποθετηθεί εύκολα, εξωτερικά του κτιρίου, χωρίς ιδιαίτερες επεμβάσεις στην υπάρχουσα κατασκευή, αναβαθμίζοντας έτσι και την πρόσοψη της μονάδας. Επιπλέον η θερμομόνωση πρέπει να τοποθετηθεί και στο δώμα ή την σκεπή για να περιορίσει και εκεί τις απώλειες θερμότητας (Ouf & Issa, 2017; Husein, 2018).

Η αλλαγή των κουφωμάτων έχει ακριβώς τον ίδιο στόχο με την τοποθέτηση θερμομόνωσης, τον περιορισμό των απωλειών θερμικών ή και ψυκτικών φορτίων από το κτίριο. Επιπρόσθετα όμως η χρήση καινούριων κουφωμάτων βελτιώνει την αεροστεγανότητα του κτιρίου, περιορίζοντας την είσοδο ψυχρού αέρα την χειμερινή περίοδο και θερμού την θερινή από το περιβάλλον στους εσωτερικούς χώρους, αέρα που θα πρέπει εν συνεχεία να θερμανθεί ή να ψυχθεί αντίστοιχα ώστε να φτάσει στην επιθυμητή θερμοκρασία θερμικής άνεσης. Εξαιτίας της ηλικίας τους, οι σχολικές μονάδες συνήθως έχουν κουφώματα κατασκευασμένα με αλουμίνιο χωρίς θερμοδιακοπή ή με ξύλο και με απλούς ή διπλούς υαλοπίνακες χωρίς όμως ενεργειακές μεμβράνες. Τα κουφώματα αυτά μπορούν να αντικατασταθούν με κουφώματα συνθετικά ή από αλουμίνια με θερμοδιακοπή, τα οποία φέρουν τουλάχιστον διπλούς ενεργειακούς υαλοπίνακες, ελαχιστοποιώντας κατ' αυτό τον τρόπο τις απώλειες φορτίων από τα ανοίγματα (Ouf & Issa, 2017; Husein, 2018).

Ο Husein (2018) ερευνήσε στρατηγικές βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης της σχολικής μονάδας, της οποίας οι καταναλώσεις παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη ενότητα. Δημιουργήθηκαν πέντε σενάρια, το ένα περιλαμβάνει την εξωτερική θερμομόνωση του κελύφους, το δεύτερο και το τρίτο αφορούν τη μείωση της επιφάνειας των ανοιγμάτων κατά 10% και 20% αντίστοιχα και το τέταρτο τον περιορισμό των ανεπιθύμητων εισαγωγών αέρα στο κτίριο εξαιτίας κυρίως των κουφωμάτων. Στο Σχήμα 4.1 φαίνεται η κατανάλωση ενέργειας στο υπάρχον κτίριο και οι διαφοροποιήσεις της κατανάλωσης ανά σενάριο. Φαίνεται ότι παραμένουν σταθερές οι καταναλώσεις φορτίων για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης και φωτισμού. Η χρήση της θερμομόνωσης έχει την μεγαλύτερη επίδραση, καθώς μειώνει σχεδόν κατά 40% τις συνολικές απαιτήσεις ενέργειας. Είναι εντυπωσιακή η μείωση των φορτίων θέρμανσης που επιφέρει, μείωση που ξεπερνάει το 70%. Αντιθέτως, η μείωση των φορτίων κλιματισμού φτάνει μόλις το 25%. Επόμενο σε επίδραση σενάριο είναι αυτό της μείωσης των διαρροών αέρα στο κτίριο από τα κουφώματα στο οποίο φαίνεται μια μείωση της τάξεως του 10% στα φορτία

θέρμανσης του κτιρίου. Τα άλλα δύο σενάρια οδηγούν σε ελάχιστη εξοικονόμηση ενέργειας. Αυτό δείχνει ότι σε υπάρχοντα κτίρια οι σημαντικότεροι τρόποι περιορισμού των απαιτήσεων ενέργειας είναι η θερμομόνωση και η αλλαγή των κουφωμάτων. Σημειώνεται ότι σε αυτή την μελέτη δεν εξετάζεται η χρήση κουφωμάτων υψηλότερης θερμομονωτικής ικανότητας, μόνο ο περιορισμός των διαρροών αέρα διαμέσου αυτών (Husein, 2018).



Σχήμα 4.4: Κατανάλωσης ενέργειας σχολικής μονάδας στο Κουρδιστάν ανά σενάριο αναβάθμισης του κτιρίου. Πηγή: (Husein, 2018)

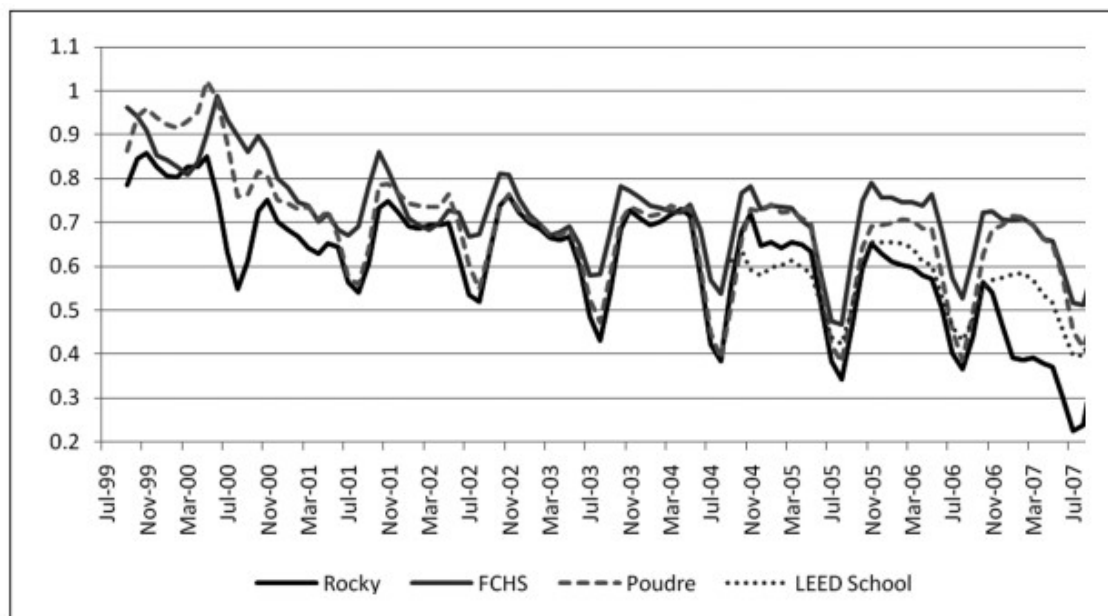
Το επόμενο βήμα που πρέπει να γίνει σε μια σχολική μονάδα, έτσι ώστε να μετατραπεί σε κτίριο nZEB ή ZEB, είναι η αντικατάσταση του συστήματος θέρμανσης με ένα αποδοτικότερο σύστημα και η χρήση αυτοματισμών βελτιστοποίησης της λειτουργίας του. Το ιδανικό θα ήταν η θέρμανση του κτιρίου με γεωθερμικό σύστημα, όμως η εγκατάστασή του είναι αρκετά δύσκολη, απαιτεί διαθέσιμο χώρο και είναι δαπανηρή. Η δεύτερη επιλογή είναι η χρήση ηλιοθερμικών συστημάτων προκειμένου να περιορίσουν τις ανάγκες λειτουργίας του συμβατικού συστήματος θέρμανσης, όμως συνήθως στα κτίρια αυτά η ταράτσα χρησιμοποιείται για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών για λόγους που προαναφέρθηκαν. Οι επόμενες επιλογές είναι η χρήση πιο αποδοτικών συμβατικών τεχνικών θέρμανσης όπως είναι η χρήση λεβήτων φυσικού αερίου, που έχουν υψηλότερη απόδοση από τους αντίστοιχους λέβητες πετρελαίου, ή η χρήση αντλιών θερμότητας, οι οποίες χρησιμοποιούν ηλεκτρικό ρεύμα για την παραγωγή θερμικών φορτίων, ρεύμα που μπορεί να παραχθεί από φωτοβολταϊκά συστήματα. Αν

μολαταύτα δεν μπορεί να εφαρμοστεί τίποτα από αυτά, τότε πρέπει να αντικατασταθούν οι λέβητες πετρελαίου με αντίστοιχους λέβητες σύγχρονης τεχνολογίας, οι οποίοι έχουν βελτιωμένο βαθμό απόδοσης. Τέλος, σε περίπτωση που η μονάδα βρίσκεται σε περιοχή με δίκτυο τηλεθέρμανσης πρέπει να συνδεθεί με αυτό, ώστε να εκμηδενιστούν οι απώλειες ενέργειας που λαμβάνουν χώρα κατά την μετατροπή της πρωτογενούς ενέργειας σε θερμική ενέργεια (EPA, 2011; Erhome-Kluttig & Erhome, 2016).

Η βελτίωση της απόδοσης των συστημάτων θέρμανσης συνολικά μπορεί να γίνει και με άλλους τρόπους όμως, ανεξάρτητους από την απόδοση των λεβήτων. Τεχνικές αντιστάθμισης της θερμοκρασίας μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος, θερμοστατικές κεφαλές σε σώματα έτσι ώστε να περιορίζεται η χρήση σωμάτων σε χώρους που δεν υπάρχουν συνεχείς χρήσεις, δημιουργία διάφορων θερμικών ζωνών με πολλαπλούς έξυπνους θερμοστάτες οι οποίοι μάλιστα μπορούν να προγραμματιστούν ώστε να τίθενται σε λειτουργία λίγο πριν και λίγο μετά την χρήση συγκεκριμένων αιθουσών είναι στοιχεία που μπορούν να βελτιώσουν τα υπάρχοντα συστήματα θέρμανσης. Άλλωστε, αυξάνοντας την απόδοση των συστημάτων θέρμανσης, επιτυγχάνεται η ίδια θέρμανση των χώρων, αποδίδονται δηλαδή τα ίδια θερμικά φορτία στους χώρους των σχολικών μονάδων με μείωση όμως της πρωτογενούς ενέργειας που δαπανάται για να παραχθούν αυτά τα φορτία (Kolokotsa et al., 2011; Schelly et al., 2010).

Στο Σχήμα 4.5 οι Schelly και συν. (2010) παρουσιάζουν τη μείωση της ηλεκτρικής ενέργειας που λαμβάνει χώρα σε τέσσερις σχολικές μονάδες δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στις ΗΠΑ μεταξύ των ετών 2000 και 2007. Στις μονάδες αυτές εγκαταστάθηκε το 2000 ένα σύστημα θέρμανσης, κλιματισμού και αερισμού χώρων με κεντρικό ηλεκτρονικό έλεγχο, που επιτρέπει τον ακριβή προγραμματισμό της λειτουργίας του ανά χώρο της μονάδος. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την παύση ή τον περιορισμό της λειτουργίας του σε χώρους οι οποίοι δεν χρησιμοποιούνταν την δεδομένη στιγμή. Επί της ουσίας λοιπόν η μείωση των ηλεκτρικών φορτίων οφείλεται στη βελτίωση της απόδοσης των συστημάτων θέρμανσης, κλιματισμού και αερισμού εξαιτίας των συστημάτων αυτοματισμού και των πολλών θερμικών ζωνών του κτιρίου. Τον πρώτο χρόνο, μεταξύ 2000 και 2001, παρατηρείται η μεγαλύτερη μείωση. Παρατηρείται όμως συνεχής μείωση της κατανάλωσης για όλη την εφταετία και στα τέσσερα σχολεία, γεγονός που οφείλεται στο ότι στην πορεία των ετών οι χειριστές του συστήματος το προγραμματίζουν καλύτερα, μαθαίνοντάς το καλύτερα και βελτιώνοντας περαιτέρω την απόδοσή του. Είναι σαφές λοιπόν ότι η χρήση των έξυπνων συστημάτων ελέγχου των

συστημάτων θέρμανσης, αερισμού και κλιματισμού οδηγεί σε εξοικονόμηση ενέργειας και είναι σχεδόν προαπαιτούμενο σε μια μετατροπή κτιρίου σε nZEB ή ZEB (Schelly et al., 2010).



Σχήμα 4.5: Μείωση ενέργειας με εγκατάσταση συστήματος θέρμανσης, αερισμού και κλιματισμού σε τέσσερις σχολικές μονάδες των ΗΠΑ. Πηγή: (Schelly et al., 2010)

Σε μια υπάρχουσα σχολική μονάδα το επόμενο που πρέπει να γίνει, ώστε να μετατραπεί σε κτίριο nZEB ή ZEB, είναι ο περιορισμός της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Η κυριότερη κατανάλωση ενέργειας στις σχολικές μονάδες είναι ο φωτισμός, συχνά απαραίτητος και κατά την διάρκεια της ημέρας μέσα στις αίθουσες διδασκαλίας. Σε σύγχρονες σχολικές μονάδες επιλέγονται όσο το δυνατό μεγαλύτερα ανοίγματα με βάση τις αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού, ώστε να βελτιωθεί ο φωτισμός των χώρων. Σε υπάρχουσες μονάδες αυτό δεν είναι εφικτό. Εκείνο που μπορεί να γίνει είναι η χρήση λαμπτήρων ίδιου επιπέδου φωτισμού αλλά χαμηλότερης ενεργειακής κατανάλωσης, όπως για παράδειγμα είναι οι λαμπτήρες τεχνολογίας led. Επιπλέον, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανιχνευτές φωτός, έτσι ώστε η ενεργοποίηση και η απενεργοποίηση των λαμπτήρων να γίνεται αυτόματα, αναλόγως του επιπέδου φωτισμού κάθε αίθουσας. Με αυτό τον τρόπο οι λαμπτήρες τίθενται σε λειτουργία όταν είναι πραγματικά απαραίτητη η χρήση τους. Όσο αφορά τους λαμπτήρες που βρίσκονται στον εξωτερικό χώρο των κτιρίων και λειτουργούν τις βραδινές ώρες για την ασφάλεια του κτιρίου η ενεργοποίησή τους πρέπει να γίνεται αυτόματα με αισθητήρες φωτός και όχι με χρονοδιακόπτες, ώστε να

βρίσκονται σε λειτουργία μόνο όταν η ορατότητα στον χώρο δεν είναι επαρκής. Λαμπτήρες οι οποίοι δεν βρίσκονται περιμετρικά του κτιρίου, ώστε να είναι απαιτούμενη η λειτουργία τους στο σύνολο των νυχτερινών ωρών αλλά είναι τοποθετημένη στο προαύλιο ή σε ανοικτά κλιμακοστάσια των σχολικών μονάδων μπορούν να ενεργοποιούνται με αισθητήρες κίνησης κατά το βράδυ, έτσι ώστε να φωτίζουν τον χώρο σε περίπτωση που κάποιος προσπαθήσει να εισβάλει εντός αυτού (Kang et al., 2015; Erhome-Kluttig & Erhome, 2016).

Τα υπόλοιπα ηλεκτρικά φορτία του κτιρίου συχνά οφείλονται σε ηλεκτρικές συσκευές χρήσιμες για την λειτουργία της γραμματείας της σχολικής μονάδας ή την εκπαίδευση των μαθητών. Οι συσκευές αυτές μπορούν να αντικατασταθούν από συσκευές χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης. Για παράδειγμα το πολυμηχάνημα εκτυπώσεων μπορεί να αντικατασταθεί από ένα σύγχρονο πολυμηχάνημα με κριτήριο και την ενεργειακή του απόδοση. Οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές της αίθουσας υπολογιστών μπορούν να αντικατασταθούν από υπολογιστές χαμηλής ενεργειακής στάθμης. Επιπλέον, σε όσους χώρους υπάρχουν κλιματιστικές μονάδες μπορούν να αντικατασταθούν από σύγχρονες μονάδες υψηλής ενεργειακής απόδοσης με ρύθμιση του αριθμού στροφών του συμπιεστή τους (μονάδες inverter). Τέλος, σε περίπτωση που χρειάζεται κλιματισμός στο σύνολο του κτιρίου τότε καλύτερα είναι οι κλιματιστικές μονάδες να αντικατασταθούν από ένα σύγχρονο κλιματιστικό σύστημα με αντλία θερμότητας ή με πύργο ψύξης, συστήματα σαφώς αποδοτικότερα από ένα άθροισμα πολλών επιτοίχιων μονάδων (EPA, 2011; Erhome-Kluttig & Erhome, 2016).

Τέλος, σημαντική είναι η γνώμη των χρηστών της σχολικής μονάδας σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας και πρέπει να λαμβάνεται υπόψη. Θα πρέπει να ερωτώνται ανώνυμα, μέσω ερωτηματολογίου για στοιχεία όπως αν νοιώθουν να ζεσταίνονται ή να κρυώνουν σε συγκεκριμένες αίθουσες διδασκαλίας και εργαστηρίων της μονάδας, αν χρειάζονται περισσότερο φως σε κάποιες αίθουσες, αν τους επαρκεί το ζεστό νερό και άλλα. Διαμέσου των ερωτήσεων αυτών μπορούν να προγραμματιστούν τα αντίστοιχα συστήματα, ώστε να φέρνουν τους χώρους του κτιρίου στα βέλτιστα επίπεδα θερμικής και οπτικής άνεσης, περιορίζοντας για παράδειγμα την υπερβολική τους λειτουργία. Με αυτό τον τρόπο έμμεσα καθορίζεται ένα άλλο επίπεδο λειτουργίας των συστημάτων που συχνά οδηγεί σε εξοικονόμηση ενέργειας (Salleh et al., 2016).

Εφόσον περιοριστεί κατά το δυνατό η κατανάλωση ενέργειας από την σχολική μονάδα με εφαρμογή μέρους ή όλων των προτάσεων, ή και κάποιων πιο εξειδικευμένων που ταιριάζουν σε συγκεκριμένη μονάδα τότε το επόμενο βήμα είναι να καλυφθεί μέρος ή το σύνολο της εναπομείνουσας ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας από συστήματα παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ. Η ευκολότερη λύση είναι η χρήση της σκεπής ή του δώματος της μονάδας για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στοιχείων. Τα φωτοβολταϊκά μπορούν να καλύπτουν μέρος ή και το σύνολο των απαιτήσεων ενέργειας της μονάδας, καθιστώντας την ως μια μονάδα nZEB ή ZEB. Σε περίπτωση που η μονάδα χρησιμοποιεί και ZNX τότε αυτό θα καλύπτεται από ηλιακά συστήματα παραγωγής ZNX, ηλιακούς συλλέκτες δηλαδή. Σπάνια μπορούν να χρησιμοποιηθούν άλλες λύσεις σε μονάδες, κυρίως λόγω της τοποθεσίας τους, μέσα στα αστικά κέντρα ή στα κέντρα χωριών και συνήθως οι εξειδικευμένες αυτές λύσεις αφορούν μονάδες που επιλέγουν να παράγουν τα θερμικά τους φορτία με την χρήση της γεωθερμίας (Zeiler & Boxem, 2013; Erhome-Kluttig & Erhome, 2016).

4.3 Παραδείγματα

Το ερώτημα που προκύπτει όμως είναι ποιες από όλες τις προτάσεις έχουν εφαρμοστεί στην πράξη και ποια εν τέλει τα αποτελέσματά τους στις καταναλώσεις ενέργειας των σχολικών μονάδων. Προς τούτο παρατίθενται κάποια παραδείγματα σχολικών μονάδων nZEB και ZEB. Αρχικά παρατίθενται δύο μονάδες nZEB στην Ευρώπη, που μοιάζουν αρκετά με τα ελληνικά δεδομένα ως προς τη λειτουργία τους. Επιπλέον, αφορούν υπάρχουσες σχολικές μονάδες που ανακαινίστηκαν. Στο τέλος παρουσιάζεται μια μονάδα ZEB, η οποία κατασκευάστηκε από την αρχή στην Νότια Κορέα. Ο σχεδιασμός από την αρχή της μονάδας της επέτρεψε να γίνει ένα κτίριο χωρίς καμία ενεργειακή απαίτηση, καθώς αξιοποιήθηκαν δυνατότητες του βιοκλιματικού σχεδιασμού κτιρίων.



Σχήμα 4.6: Σχολική μονάδα nZEB στην Γερμανία. Πηγή: (Erhome-Kluttig & Erhome, 2016)

Το πρώτο παράδειγμα είναι μια σχολική μονάδα δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στην Στουτγάρδη της Γερμανίας. Η μονάδα κτίστηκε το 1966 και ανακαινίστηκε μεταξύ των ετών 2012 και 2014, ανακαίνιση κατά την οποία μετατράπηκε σε κτίριο nZEB. Στην μονάδα αυτή κάθε χρόνο φοιτούν περί τους 700 μαθητές. Στην μονάδα αυτή τοποθετήθηκε ένα σύστημα θέρμανσης από μια μονάδα συμπαραγωγής ενέργειας και δοχεία αποθήκευσης θερμού νερού, που καλύπτει τις ανάγκες θέρμανσης και ZNX. Οι δύο συμβατικοί λέβητες πετρελαίου παρέμειναν για να καλύπτουν φορτία αιχμής. Η μονάδα συμπαραγωγής παράγει και ηλεκτρική ενέργεια, η οποία διοχετεύεται στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας της περιοχής. Συμπληρωματικά έχει τοποθετηθεί και ένα φωτοβολταϊκό σύστημα στην οροφή, ονομαστικής ισχύος 7,5kWp (30 πάνελ με επιφάνεια περίπου 50m²), του οποίου επίσης η παραγόμενη ενέργεια διοχετεύεται στο δίκτυο. Επιπρόσθετα στο κτίριο εγκαταστάθηκε σύστημα αερισμού με ανάκτηση θερμότητας και οι λαμπτήρες του συστήματος φωτισμού αντικαταστάθηκαν από άλλους μικρότερης ισχύος, κατόπιν μελέτης φωτισμού του χώρου. Αισθητήρες εντός και εκτός των αιθουσών ρυθμίζουν αυτόματα το άνοιγμα των λαμπτήρων αναλόγως της στάθμης του φυσικού φωτισμού κάθε χώρου. Επιπρόσθετα αυτών, μονώθηκε το κέλυφος του κτιρίου με εξωτερική θερμομόνωση πάχους 18cm στους τοίχους και 20cm στην οροφή. Τα κουφώματα άλλαξαν και τοποθετήθηκαν κουφώματα με τριπλούς ενεργειακούς υαλοπίνακες (σε κάποιες ελάχιστες περιπτώσεις με διπλούς). Το σύνολο των αλλαγών κόστισαν κάτι περισσότερο από 12 εκατομμύρια ευρώ και το

αποτέλεσμα αυτών των αλλαγών ήταν η δημιουργία μιας σχολικής μονάδας nZEB με ετήσια κατανάλωση ενέργειας 63,4 kWh/m². Μάλιστα υπολογίστηκε και το τι χρειαζόταν για να μετατραπεί σε ZEB μονάδα και αυτό ήταν άλλα 2006 m² φωτοβολταϊκών (κοινώς περίπου άλλα 1000 φωτοβολταϊκά πάνελ) σε οριζόντια τοποθέτηση. Παρακάτω φαίνεται η συγκεκριμένη σχολική μονάδα (Erhome-Kluttig & Erhome, 2016).

Το δεύτερο παράδειγμα είναι μια σχολική μονάδα δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στην Ιταλία, συγκεκριμένα στην περιοχή της Τσεζένα, που κατασκευάστηκε τη δεκαετία του 1960 και ανακαινίστηκε πλήρως μεταξύ των ετών 2011-2014. Μετά την ενεργειακή αναβάθμιση του είναι ένα κτίσμα, που εντάσσεται στα κτήρια nZEB. Κατά την ανακαίνισή του το κέλυφος του κτιρίου μονώθηκε πλήρως εξωτερικά. Επιπλέον μονώθηκε το δάπεδο στα σημεία που βρίσκεται σε επαφή με το μη θερμαινόμενο υπόγειο. Το κλειστό γυμναστήριο της μονάδας μονώθηκε εσωτερικά και η οροφή του εξωτερικά. Έγινε αντικατάσταση των κουφωμάτων και τοποθετήθηκαν νέα συνθετικά κουφώματα με διπλούς ενεργειακούς υαλοπίνακες. Στα ανοίγματα τοποθετήθηκαν σκίαστρα (στόρια), ώστε να περιορίζεται η ακτινοβολία που εισέρχεται στο κτίριο την θερινή περίοδο. Στην οροφή του κτιρίου εγκαταστάθηκε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα επιφάνειας 433m² και ονομαστικής ισχύος 64,5kWp. Για την θέρμανση του κτιρίου τοποθετήθηκαν λέβητες φυσικού αερίου, συμπύκνωσης, μεταβλητής ισχύος από 13,4kW έως 215kW. Στα σώματα θέρμανσης τοποθετήθηκαν θερμοστατικές κεφαλές και σε αρκετές αίθουσες τοποθετήθηκαν θερμοστάτες. Σε αίθουσες με συγκεκριμένες ώρες χρήσης όπως τα γραφεία και το γυμναστήριο χρησιμοποιήθηκαν προγραμματιζόμενοι θερμοστάτες. Το κύκλωμα θέρμανσης διαχωρίστηκε και δημιουργήθηκαν ξεχωριστά κυκλώματα, δημιουργώντας αρκετές ζώνες θέρμανσης, οι οποίες μπορούν να λειτουργήσουν ανεξάρτητα μεταξύ τους. Τοποθετήθηκε σύστημα αερισμού των χώρων με ανάκτηση θερμότητας. Αποτέλεσμα αυτών των παρεμβάσεων είναι η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας του κτιρίου σε 20,3 kWh/m² ετησίως. Πλέον το κτίριο καλύπτει το 100% των απαιτήσεων του σε ηλεκτρική ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Μάλιστα παράγει περισσότερη από την ηλεκτρική ενέργεια που χρειάζεται, έτσι καλύπτει και ένα μέρος της θερμικής ενέργειας του κτιρίου στο ισοζύγιο ενέργειας. Συνολικά καλύπτει το 29% των συνολικών απαιτήσεων του σε ενέργεια από την παραγωγή των φωτοβολταϊκών. Συμπερασματικά, η συγκεκριμένη σχολική μονάδα εμφανίζει μείωση κατανάλωσης ενέργειας κατά 84% σε σχέση με την μέση κατανάλωση ενέργειας των

υπόλοιπων Ιταλικών σχολικών μονάδων. Μάλιστα το κόστος της ανακαίνισης δεν ξεπέρασε το 1.000.000 ευρώ (Erhome-Kluttig & Erhome, 2016).



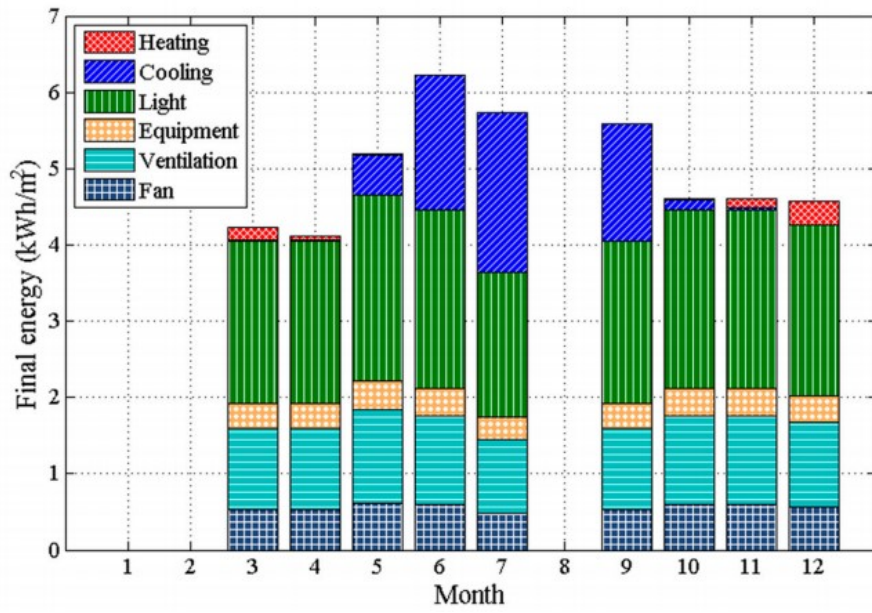
Σχήμα 4.7: Σχολική μονάδα nZEB στην Ιταλία. Πηγή: (Erhome-Kluttig & Erhome, 2016)

Ένα άλλο παράδειγμα είναι ένα σχολείο δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στην νοτιοδυτική Κορέα, στην πόλη Yongin-si, που εξυπηρετεί περίπου 600 μαθητές. Το σχολείο αυτό έχει σχεδιαστεί εξ αρχής ως ένα κτίριο ZEB. Χαρακτηρίζεται από τον σχεδιασμό του κελύφους με τρόπο ώστε να περιορίζει στο ελάχιστο την έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία. Χαρακτηρίζεται από θερμομόνωση με χρήση πάνελ ξύλου υψηλής πυκνότητας και κουφωμάτων με τριπλούς ενεργειακούς υαλοπίνακες. Χρησιμοποιεί ένα κεντρικό σύστημα θέρμανσης, κλιματισμού και αερισμού των χώρων του με μια κεντρική αντλία θερμότητας και μηχανικό εξαερισμό. Στο Σχήμα 4.8 φαίνεται η μορφή του σχολείου (Kang et al., 2015).



Σχήμα 4.8: Σχολική μονάδα ZEB στην Κορέα. Πηγή: (Kang et al., 2015)

Στο διάγραμμα του Σχήματος 4.9 φαίνονται οι καταναλώσεις του κτιρίου. Παρατηρείται ελαχιστοποίηση των θερμικών και των ψυκτικών φορτίων του κτιρίου και τα κύρια φορτία είναι φορτία φωτισμού. Βέβαια, τα φορτία για θέρμανση είναι χαμηλά εξαιτίας του ότι στην Κορέα, εκτός από την θερινή περίοδο, τα σχολεία κλείνουν και την χειμερινή περίοδο και συγκεκριμένα στο σύνολο των μηνών Ιανουαρίου και Φεβρουαρίου. Μπορεί όμως να γίνει αντίστοιχη σύγκριση οπτικά με τα φορτία της σχολικής μονάδας του Κουρδιστάν, όπου τα φορτία φωτισμού ήταν ελάχιστα μπροστά στα υπόλοιπα. Αυτό δείχνει τη βελτίωση της κατανάλωσης ενέργειας ενός κτιρίου σχεδιασμένου εξ αρχής ως ένα ενεργειακά αποδοτικό κτίριο (Kang et al., 2015).



Σχήμα 4.9: Μηνιαίο προφίλ κατανάλωσης ενέργειας εκπαιδευτικής μονάδας ZEB στην Κορέα. Πηγή: (Kang et al., 2015)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : *Ενεργειακή Αναβάθμιση Κτιρίων Στην Ελλάδα*

5.1 Κτιριακό δυναμικό

Το κτιριακό δυναμικό της Ελλάδος, όπως έχει καταγραφεί στην τελευταία απογραφή κτιρίων, αυτή του 2011, αποτελείται από περισσότερα από 4 εκατομμύρια κτίρια. Συγκεκριμένα, έχουν καταγραφεί σε αυτή την απογραφή 4.105.637 κτίρια, με το 92% αυτών να έχουν μια και μόνο χρήση και μόλις το 8% να έχουν μικτές χρήσεις. Κτίρια μιας χρήσης χαρακτηρίζονται από κοινές απαιτήσεις στον τομέα της ενέργειας και η ενεργειακή τους αναβάθμιση, στο σύνολο του κτιρίου, είναι συνήθως πιο εύκολη (ΕΛΣΤΑΤ, 2011).

Από το σύνολο των κτιρίων που έχουν καταγραφεί στην ελληνική επικράτεια, περισσότερα από τα μισά είναι ισόγεια (51,5%) ενώ ένα στα τρία έχουν έναν όροφο (33,3%). Μόλις το 15,2% των κτιρίων έχει δύο ή περισσότερους ορόφους. Το στοιχείο αυτό είναι σημαντικό, διότι ισόγεια κτίρια και κτίρια με έναν όροφο στην πλειοψηφία τους έχουν ένα και μόνο ιδιοκτήτη, γεγονός που επιτρέπει την εύκολη λήψη αποφάσεων σχετικά με κάθε φύσεως επεμβάσεις σε αυτά, όπως για παράδειγμα τις ενεργειακές επεμβάσεις (ΕΛΣΤΑΤ, 2011).

Το κτιριακό δυναμικό της Ελλάδας στην μεγάλη του πλειοψηφία συγκεντρώνεται στις περιφέρειες Αττικής και Κεντρικής Μακεδονίας, στις δύο περιοχές που βρίσκονται αντίστοιχα τα μητροπολιτικά κέντρα των Αθηνών – Πειραιώς και της Θεσσαλονίκης. Αθροιστικά οι δύο περιφέρειες συγκεντρώνουν περίπου το 1/3 του κτιριακού δυναμικού της χώρας. Επιπλέον, χαρακτηρίζονται από τον μεγάλο αριθμό πολυώροφων κτιρίων, καθώς στην περιφέρεια Αττικής κτίρια με δύο ή περισσότερους ορόφους πλησιάζουν το 40% του συνολικού αριθμού των κτιρίων και στην Κεντρική Μακεδονία φτάνουν σχεδόν το 20%, όταν στις λοιπές περιοχές της χώρας ο αριθμός τους είναι περίξ του 10%. Αυτό καθιστά διαφορετικές τις απαιτήσεις για την ενεργειακή αναβάθμιση του κτιριακού δυναμικού της χώρας στις περιφέρειες που περιλαμβάνουν τα μητροπολιτικά κέντρα της χώρας σε σχέση με τις υπόλοιπες περιφέρειες της χώρας. Στον Πίνακα 5.1 φαίνεται η κατανομή των κτιρίων ανά αριθμό ορόφων και περιφέρεια της χώρας (ΕΛΣΤΑΤ, 2011).

Πίνακας 5.1: Κατανομή κτιρίων ανά αριθμό ορόφων και περιφέρεια. Πηγή: (ΕΛΣΤΑΤ, 2011)

Περιγραφή	Σύνολο κτιρίων	Κτήρια κατά αριθμό ορόφων														Σύνολο κτιρίων
		0	%	1	%	2	%	3	%	4	%	5	%	6 και άνω	%	
ΣΥΝΟΛΟ ΕΛΛΑΔΟΣ	4.105.637	2.115.632	51,5	1.365.523	33,3	352.264	8,6	119.460	2,9	71.097	1,7	48.919	1,2	32.742	0,8	100,0
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΑΚΗΣ	286.365	184.538	64,4	75.249	26,3	16.255	5,7	4.536	1,6	3.075	1,1	1.752	0,6	960	0,3	100,0
ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	600.436	310.282	51,7	183.712	30,6	52.483	8,7	23.194	3,9	14.830	2,5	9.006	1,5	6.929	1,2	100,0
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	142.816	84.417	59,1	44.540	31,2	8.483	5,9	3.102	2,2	1.373	1,0	619	0,4	282	0,2	100,0
ΗΠΕΙΡΟΥ	176.352	114.510	64,9	46.277	26,2	10.656	6,0	3.248	1,8	1.283	0,7	300	0,2	78	0,0	100,0
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	342.557	221.040	64,5	91.639	26,8	18.567	5,4	4.563	1,3	3.316	1,0	2.394	0,7	1.038	0,3	100,0
ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	302.172	162.531	53,8	115.431	38,2	18.261	6,0	3.519	1,2	1.453	0,5	626	0,2	351	0,1	100,0
ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ	140.810	73.922	52,5	55.086	39,1	9.441	6,7	1.773	1,3	479	0,3	84	0,1	25	0,0	100,0
ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	303.064	167.199	55,2	108.254	35,7	17.854	5,9	4.666	1,5	2.709	0,9	1.150	0,4	1.232	0,4	100,0
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ	355.761	184.213	51,8	147.269	41,4	17.192	4,8	4.017	1,1	1.975	0,6	826	0,2	269	0,1	100,0
ΑΤΤΙΚΗΣ	783.752	264.955	33,8	228.316	29,1	139.999	17,9	59.247	7,6	38.455	4,9	31.577	4,0	21.203	2,7	100,0
ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	153.957	73.208	47,6	72.393	47,0	7.451	4,8	574	0,4	229	0,1	75	0,0	27	0,0	100,0
ΝΟΤΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	219.681	119.468	54,4	86.307	39,3	11.898	5,4	1.497	0,7	308	0,1	94	0,0	109	0,0	100,0
ΚΡΗΤΗΣ	297.914	155.349	52,1	111.050	37,3	23.724	8,0	5.524	1,9	1.612	0,5	416	0,1	239	0,1	100,0

Το κτιριακό δυναμικό της χώρας μπορεί να ομαδοποιηθεί αναλόγως της χρήσης του, καθώς κτίρια με όμοιες χρήσεις έχουν παρεμφερείς ανάγκες. Το 2011 λοιπόν, από τα κτίρια αποκλειστικής χρήσης σχεδόν 4 στα 5 (ποσοστό 80,2%) χρησιμοποιούνταν ως κατοικίες. Παρασάγγας απέχουν οι λοιπές χρήσεις κτιρίων. Ενδεικτικά καταγράφηκαν ως χρήσεις γραφείων – καταστημάτων μόλις το 4,1% των κτιρίων, ως εκκλησίες – μοναστήρια το 1,3%, ως ξενοδοχεία το 0,9%, ως βιομηχανικοί χώροι - εργαστήρια το 0,8% και ως σχολικά κτίρια το 0,5%. Με διάφορες άλλες χρήσεις καταγράφηκε το 12,7% των κτιρίων. Παρεμφερή είναι και τα ποσοστά που αντιστοιχούν στις χρήσεις κτιρίων μικτής χρήσης (των οποίων ο αριθμός είναι μικρότερος από 10% των κτιρίων αποκλειστικής χρήσης). Ο επόμενος πίνακας δίνει αναλυτικά τις χρήσεις των κτιρίων αποκλειστικής χρήσης ανά περιφέρεια της χώρας (ΕΛΣΤΑΤ, 2011).

Πίνακας 5.2: Κατανομή κτιρίων ανά χρήση και περιφέρεια. Πηγή: (ΕΛΣΤΑΤ, 2011)

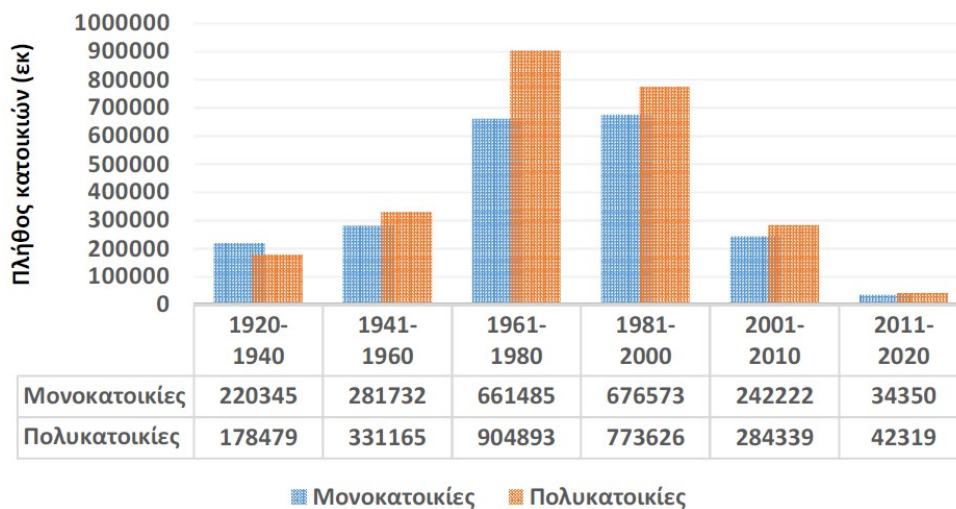
Περιγραφή	Κτίρια αποκλειστικής χρήσης																			
	Σύνολο κτιρίων αποκλειστικής χρήσης	Χρήση κτιρίων																Σύνολο κτιρίων αποκλειστικής χρήσης		
		Κατοικία	%	Εκκλησία - Μοναστήρι	%	Ξενοδοχείο	%	Εργοστάσιο - Εργαστήριο	%	Σχολικό κτίριο	%	Κατάστημα - Γραφείο	%	Σταθμός αυτοκινήτων (πάρκινγκ)	%	Νοσοκομείο, κλινική κλπ.	%		Άλλη χρήση	%
ΣΥΝΟΛΟ ΕΛΛΑΔΟΣ	3.775.848	2.990.324	79,2	47.872	1,3	34.736	0,9	30.731	0,8	19.474	0,5	153.510	4,1	16.952	0,4	1.749	0,0	480.500	12,7	100,0
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΑΚΗΣ	263.167	187.310	71,2	1.723	0,7	1.024	0,4	1.739	0,7	1.577	0,6	9.995	3,8	1.142	0,4	125	0,0	58.532	22,2	100,0
ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	533.601	404.726	75,8	3.040	0,6	2.743	0,5	5.629	1,1	2.888	0,5	19.645	3,7	2.860	0,5	287	0,1	91.783	17,2	100,0
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	132.823	88.508	66,6	1.778	1,3	316	0,2	962	0,7	950	0,7	4.094	3,1	1.766	1,3	57	0,0	34.392	25,9	100,0
ΗΠΕΙΡΟΥ	166.715	126.302	75,8	3.399	2,0	1.145	0,7	1.075	0,6	1.139	0,7	5.678	3,4	489	0,3	51	0,0	27.437	16,5	100,0
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	325.750	246.990	75,8	2.861	0,9	2.322	0,7	2.358	0,7	1.556	0,5	12.377	3,8	689	0,2	132	0,0	56.465	17,3	100,0
ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	280.277	229.363	81,8	4.308	1,5	1.677	0,6	2.426	0,9	1.298	0,5	9.070	3,2	694	0,2	89	0,0	31.352	11,2	100,0
ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ	133.501	103.780	77,7	1.840	1,4	4.557	3,4	756	0,6	523	0,4	6.740	5,0	1.190	0,9	39	0,0	14.076	10,5	100,0
ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	281.266	229.541	81,6	4.012	1,4	1.046	0,4	1.777	0,6	1.572	0,6	9.596	3,4	463	0,2	112	0,0	33.147	11,8	100,0
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ	334.089	267.128	80,0	6.843	2,0	2.459	0,7	2.638	0,8	1.629	0,5	9.849	2,9	1.350	0,4	99	0,0	42.094	12,6	100,0
ΑΤΤΙΚΗΣ	696.647	624.278	89,6	3.098	0,4	1.293	0,2	7.126	1,0	3.454	0,5	35.545	5,1	1.447	0,2	470	0,1	19.936	2,9	100,0
ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	147.898	113.483	76,7	3.059	2,1	1.998	1,4	961	0,6	602	0,4	6.168	4,2	1.585	1,1	73	0,0	19.969	13,5	100,0
ΝΟΤΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	205.206	150.638	73,4	6.352	3,1	8.946	4,4	1.221	0,6	770	0,4	11.808	5,8	2.834	1,4	101	0,0	22.536	11,0	100,0
ΚΡΗΤΗΣ	274.908	218.277	79,4	5.559	2,0	5.210	1,9	2.063	0,8	1.516	0,6	12.945	4,7	443	0,2	114	0,0	28.781	10,5	100,0

Η ιδιοκτησία των κτιρίων στην Ελλάδα είναι κατά βάση ιδιωτική. Από το σύνολο των κτιρίων της χώρας το 97% ανήκει σε ιδιώτες ενώ μόλις το 2,9% αντιστοιχεί στο δημόσιο. Το υπόλοιπο 0,1% αποτελεί συνιδιοκτησία (σε διάφορα ποσοστά) δημόσιου και ιδιωτικού τομέα. Μάλιστα, οι ιδιώτες έχουν στην ιδιοκτησία τους ένα μεγάλο αριθμό κτιρίων, της τάξεως του 20%, τα οποία χρησιμοποιούνται από τον δημόσιο τομέα. Αντίθετα, το δημόσιο κατέχει μόλις το 0,5% των κτιρίων που χρησιμοποιούνται από ιδιώτες (ΕΛΣΤΑΤ, 2011).

Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 5.2, τα σχολικά κτίρια αποτελούν μόλις το 0,5% των κτιρίων της χώρας. Η κατανομή τους είναι πανομοιότυπη στις περιφέρειες της χώρας. Ειδικότερα, το υψηλότερο ποσοστό σχολικών κτιρίων σε μια περιφέρεια είναι 0,7% και αφορά τις περιφέρειες Δυτικής Μακεδονίας και Ηπείρου ενώ το χαμηλότερο ποσοστό σχολικών

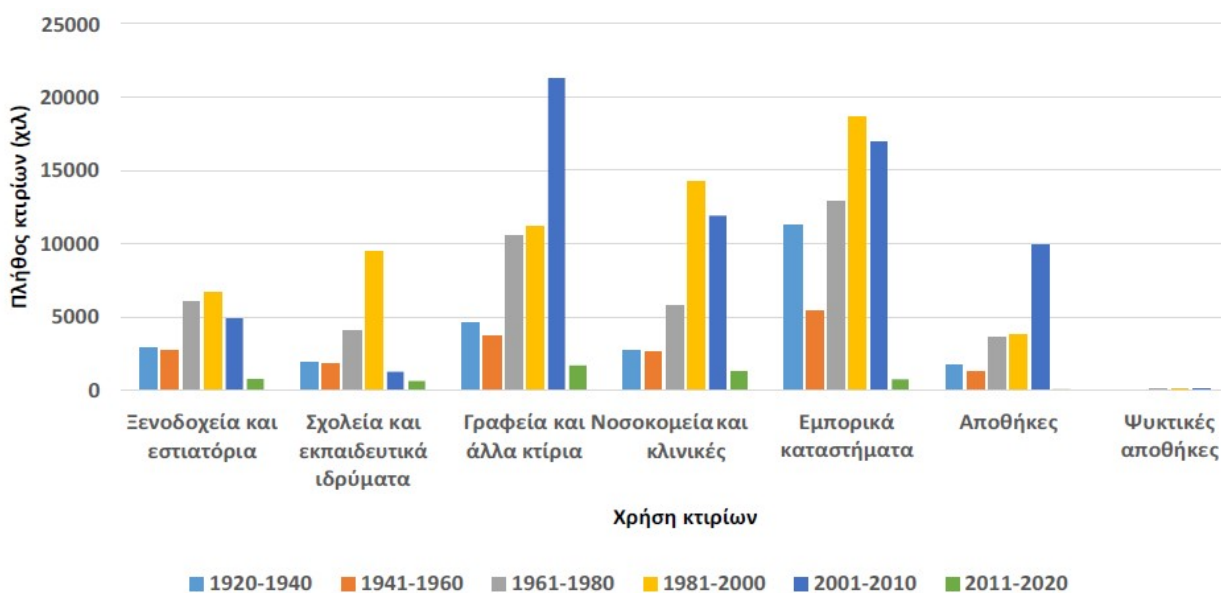
κτιρίων είναι 0,4% και εμφανίζεται στις περιφέρειες Ιονίων Νήσων, Βορείου Αιγαίου και Νοτίου Αιγαίου (ΕΛΣΤΑΤ, 2011).

Σημαντική όμως είναι και η ηλικιακή κατανομή των κτιρίων της χώρας. Σε πιο σύγχρονα κτίρια χρησιμοποιούνται υλικά ενεργειακά αποδοτικότερα προκειμένου να τηρούνται τα όρια των κανονισμών. Στην Ελλάδα όμως η πλειοψηφία των κτιρίων είναι μεγαλύτερη της εικοσαετίας. Όσον αφορά τα κτίρια που χρησιμοποιούνται για κατοικίες τα περισσότερα έχουν κατασκευαστεί μεταξύ των ετών 1961 και 1980 και 1981 - 2000. Αντίθετα, μετά το 2011, λόγω και της οικονομικής κρίσης, η κατασκευή κτιρίων ελαχιστοποιήθηκε. Σύμφωνα με την απογραφή κτιρίων του 2011 τα κτίρια κατοικίας τότε είχαν μέση ηλικία 31 έτη, κάτι που αν αναχθεί στο σήμερα αντιστοιχεί στα 40 έτη. Άλλωστε η νέα απογραφή του 2021 δεν θα δείξει μεγάλες διαφορές, καθώς όπως έχει αναφερθεί τα κτίρια που κατασκευάστηκαν μετά το 2011 είναι ελάχιστα. Στο γράφημα του Σχήματος 5.1 φαίνεται η ηλικιακή κατανομή των κτιρίων που χρησιμοποιούνται ως οικίες στην Ελλάδα (ΕΛΣΤΑΤ, 2011).



Σχήμα 5.1: Ηλικιακή κατανομή κτιριακού δυναμικού κατοικιών Ελλάδος. Πηγή: (Ελληνική Κυβέρνηση, 2020)

Ελαφρά νεότερο είναι το κτιριακό δυναμικό του τριτογενούς τομέα. Στους περισσότερους κλάδους του τριτογενούς τομέα τα περισσότερα κτίρια κατασκευάστηκαν μεταξύ των ετών 1981 - 2000 και 2001 - 2010. Μολαταύτα, και στον τριτογενή τομέα τα κτίρια είναι πεπαλαιωμένα και κυρίως κατασκευασμένα προ του ΚΕνΑΚ, άρα και με χαμηλές ενεργειακές αποδόσεις. Στο Σχήμα 5.2 φαίνεται η ηλικιακή κατανομή των κτιρίων του τριτογενούς τομέα στην Ελλάδα, ανά κλάδο (ΕΛΣΤΑΤ, 2011).



Σχήμα 5.2: Ηλικιακή κατανομή κτιριακού δυναμικού τριτογενούς τομέα Ελλάδος. Πηγή: (Ελληνική Κυβέρνηση, 2020)

Ειδικότερα, στα σχολικά κτίρια, όπως φαίνεται και από το παραπάνω σχήμα, η πλειοψηφία τους κατασκευάστηκε την μεταξύ των ετών 1981 - 2000 όπου κατασκευάστηκαν 9488 κτίρια, υπερδιπλάσια από οποιαδήποτε άλλη περίοδο. Επόμενη περίοδος είναι η 1961 – 1980, στην οποία κατασκευάστηκαν 4050 κτίρια για εκπαιδευτικούς σκοπούς. Μεταξύ των ετών 1921 - 1940 κατασκευάστηκαν 1900 σχολικά κτίρια και την μεταπολεμική περίοδο 1941 - 1960 κατασκευάστηκαν 1801 εκπαιδευτικά κτίρια. Σε αντίθεση με αυτά τα νούμερα, την περίοδο της έντονης ανάπτυξης της ελληνικής οικονομίας, μεταξύ των ετών 2001 και 2010 κατασκευάστηκαν μόλις 1270 σχολικά κτίρια, λιγότερα και από την περίοδο του μεσοπολέμου και την μεταπολεμική περίοδο. Σαφέστατα, μετά την έναρξη της οικονομικής κρίσης περιορίστηκε περαιτέρω η κατασκευή σχολικών κτιρίων, έτσι μεταξύ των ετών 2011 - 2020

κατασκευάστηκαν μόλις 658 σχολικά κτίρια. Αυτό συνεπάγεται ότι το σύνολο του εκπαιδευτικού κτιριακού δυναμικού της χώρας είναι πεπαλαιωμένο και ενεργειακά μη αποδοτικό. Μάλιστα, στον εκπαιδευτικό τομέα, το κτιριακό δυναμικό, ποσοστιαία είναι το πλέον πεπαλαιωμένο μεταξύ όλων των κλάδων του τριτογενούς τομέα. Στον παρακάτω πίνακα καταγράφονται τα εκπαιδευτικά κτίρια της Ελλάδος που έχουν κατασκευαστεί ανά χρονική περίοδο στην Ελλάδα (ΕΛΣΤΑΤ, 2011).

Πίνακας 5.3: Χρονική περίοδος κατασκευής σχολικών κτιρίων στην Ελλάδα. Πηγή: (ΕΛΣΤΑΤ, 2011)

Χρονική Περίοδος	Αριθμός εκπαιδευτικών κτιρίων που κατασκευάστηκαν
1921-1940	1900
1941-1960	1801
1961-1980	4050
1981-2000	9488
2001-2010	1270
2011-2020	658

5.2 Προγράμματα ενεργειακής αναβάθμισης κτιρίων

Τα περισσότερα κτίρια της ελληνικής επικράτειας, όπως παρουσιάστηκε στην προηγούμενη ενότητα, είναι κατασκευασμένα μεταξύ των ετών 1960 και 2000. Αυτό συνεπάγεται ότι έχουν μελετηθεί και περατωθεί προτού εφαρμοστεί ο ΚΕνΑΚ και κατά συνέπεια δεν είναι ενεργειακά αποδοτικά κτίρια. Μάλιστα, αρκετά από αυτά έχουν κατασκευαστεί και πριν θεσμοθετηθεί ο πρώτος κανονισμός θερμομόνωσης κτιρίων (το 1979), με αποτέλεσμα να μην φέρουν καμία διάταξη βελτίωσης της ενεργειακής τους απόδοσης. Επιπλέον, τα κτίρια αυτά είναι τουλάχιστον 20ετίας, με αποτέλεσμα να έχουν υποστεί φθορές που αυξάνουν περαιτέρω τις ενεργειακές απώλειές τους (ΕΛΣΤΑΤ, 2011).

Η ΕΕ έχει διακρίνει το πρόβλημα αυτό που υπάρχει στο σύνολο του Ευρωπαϊκού χώρου, γι' αυτό και παρακινεί τα κράτη να θεσπίσουν προγράμματα ενεργειακής αναβάθμισης του κτιριακού δυναμικού τους. Μάλιστα, επιδοτεί με σημαντικά ποσά τις αναβαθμίσεις αυτές. Η Ελλάδα ως κράτος - μέλος λαμβάνει μέρος των Ευρωπαϊκών κεφαλαίων προκειμένου να επιδοτήσει την ενεργειακή αναβάθμιση των κτιρίων, είτε του ιδιωτικού είτε του δημόσιου τομέα.

Προς τούτο, τα τελευταία χρόνια έχει προκηρύξει αρκετά προγράμματα επιδότησης της ενεργειακής αναβάθμισης των κτιρίων. Τα προγράμματα αυτά διακρίνονται στα προγράμματα που αφορούν το ιδιωτικό κτιριακό δυναμικό, με ναυαρχίδα αυτών είναι το πρόγραμμα «Εξοικονομώ» και στα προγράμματα που αφορούν τα δημόσια κτίρια.

Για τα ιδιωτικά κτίρια τα τελευταία χρόνια έχουν προκηρυχθεί διάφορα προγράμματα, που επιδοτούν την ενεργειακή τους αναβάθμιση. Το σημαντικότερο από αυτά είναι το πρόγραμμα «Εξοικονομώ», το οποίο μάλιστα στις τελευταίες του προκηρύξεις είχε τόση ζήτηση που προκαλεί άμεσες επαναπροκηρύξεις. Το πρόγραμμα αυτό, σε όλες του τις φάσεις, στόχευε στην ενεργειακή αναβάθμιση ιδιωτικών κτιρίων, που έχουν ως αποκλειστική τους χρήση την κατοικία. Άλλωστε, όπως παρουσιάστηκε στην πρώτη ενότητα, η κατοικία είναι η κύρια χρήση της πλειοψηφίας των ιδιωτικών κτιρίων της χώρας. Το πρόγραμμα «Εξοικονομώ», σε όλες του τις εκδόσεις, είναι το σημαντικότερο εργαλείο ενεργειακής αναβάθμισης ιδιωτικών κτιρίων με κύρια χρήση κατοικίας. Αυτό όμως δεν είναι το μοναδικό μέτρο - κίνητρο ενεργειακής αναβάθμισης κτιρίων. Ένα δεύτερο, σημαντικό πρόγραμμα αφορά τον συμψηφισμό του προστίμου νομιμοποίησης αυθαίρετων κατασκευών με κεφάλαια που δαπανούνται για την ενεργειακή αναβάθμιση των ίδιων κτιρίων. Σύμφωνα με τον Ν. 4178/2013, κατά την νομιμοποίηση της αυθαίρετης κατασκευής, ο ιδιοκτήτης, αντί να καταβάλει το πρόστιμο, μπορεί να χρησιμοποιήσει το 50% του προστίμου για να χρηματοδοτήσει την αγορά υλικών και την εργασία για την ενεργειακή αναβάθμιση του κτιρίου. Μοναδικό κριτήριο είναι η βελτίωση κατά μια ενεργειακή κατηγορία του κτιρίου (ή μείωση κατά 30% της πρωτογενούς κατανάλωσης ενέργειας). Με αυτό τον τρόπο δίνεται κίνητρο στους πολίτες να χρησιμοποιήσουν κεφάλαιο, που ούτως ή άλλως έπρεπε να καταβάλουν, για να βελτιώσουν ενεργειακά το σπίτι τους.

Λίγο νωρίτερα, με τον Ν. 4067/2012 δόθηκε άλλο ένα κίνητρο, το οποίο αυτή την φορά αφορά τα νεόδμητα κτίρια. Σύμφωνα με τον νόμο αυτό, νεόδμητα κτίρια τα οποία εντάσσονται στην υψηλότερη κατηγορία (A+) του ΚΕνΑΚ έχουν αυξημένο κατά 5% τον συντελεστή δόμησης. Αυτό συνεπάγεται ότι αν το κτίριο που θα κτιστεί σε ένα οικοπέδο είναι ενεργειακά αποδοτικό τότε μπορεί να έχει μεγαλύτερη επιφάνεια από ένα αντίστοιχο κτίριο με χαμηλότερη ενεργειακή απόδοση. Επιπλέον, αν η πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας του κτιρίου είναι μικρότερη του 16% του κτιρίου αναφοράς τότε ο συντελεστής δόμησης αυξάνεται ακόμη περισσότερο φτάνοντας το ποσοστό 10%. Αυτό είναι ένα επιπλέον κίνητρο αύξησης της ενεργειακής απόδοσης των νεόδμητων κτιρίων, ένα κίνητρο το οποίο πλέον δεν επιδοτεί σε

χρήμα αυτή την ενεργειακή βελτίωση αλλά επιδοτεί σε αύξηση της επιτρεπόμενης δόμησης εντός του οικοπέδου. Είναι λοιπόν ένα μέτρο που δεν κοστίζει καθόλου στο ελληνικό κράτος.

Ένα τελευταίο πρόγραμμα που στοχεύει στην ενεργειακή αναβάθμιση κτιρίων είναι το πρόγραμμα αύξησης των αποσβέσεων. Το πρόγραμμα αυτό αφορά μόνο τα κτίρια που ανήκουν σε επιχειρήσεις. Ο Ν. 4172/2013 αυξάνει τις αποσβέσεις για τις επιχειρήσεις σε επενδύσεις που αφορούν την ενεργειακή αναβάθμιση των εγκαταστάσεών τους. Με αυτό τον τρόπο δίνεται ένα κίνητρο, μέσω της έμμεσης μείωσης των φορολογικών βαρών μιας επιχείρησης, προς επένδυση στην ενεργειακή αναβάθμιση του κτιρίου της.

Αναφορικά με την ενεργειακή αναβάθμιση δημόσιων κτιρίων, έως το 2025 θα βρίσκεται σε ισχύ το πρόγραμμα «*Ηλέκτρα*»¹, σκοπός του οποίου είναι η ενεργειακή αναβάθμιση του κτιριακού αποθέματος που ανήκει στην ιδιοκτησία των φορέων της Γενικής Κυβέρνησης. Το εν λόγω πρόγραμμα αφορά παρεμβάσεις ενδεικτικά στο κτιριακό κέλυφος, στις επιμέρους ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις και παρεμβάσεις που αποδεδειγμένα συμβάλουν στην ενεργειακή αναβάθμιση των κτιρίων, συμπεριλαμβανομένης της στατικής ενίσχυσης, όπου απαιτείται.

5.3 Σχέδιο αύξησης αριθμού κτιρίων nZEB και ZEB

Τα κτίρια nZEB και ZEB προτοεφανίστηκαν στην ελληνική πραγματικότητα το 2013. Στον Ν. 4122/2013, ο οποίος προήλθε από ανάγκη εναρμόνισης του ελληνικού νομοθετικού πλαισίου με την ευρωπαϊκή οδηγία υπ' αριθμόν 31 του 2010, εμφανίζεται για πρώτη φορά ο ορισμός των κτιρίων σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας (ΚΣΜΚΕ είναι το ελληνικό αρκτικόλεξο, αντίστοιχο του διεθνώς χρησιμοποιούμενου nZEB). Σύμφωνα με τον νόμο αυτό, καθορίζεται για πρώτη φορά ως κτίριο σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας ένα κτίριο το οποίο έχει πολύ υψηλή ενεργειακή απόδοση. Οι τυχούσες χαμηλές ενεργειακές απαιτήσεις του πρέπει να καλύπτονται σε πολύ μεγάλο βαθμό από συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τα οποία βρίσκονται επί του κτιρίου ή πλησίον αυτού.

Ακολούθως, βασιζόμενη η πολιτική ηγεσία στην ανάγκη αύξησης των κτιρίων nZEB, τα οποία ορίστηκαν με τον νόμο Ν. 4122/2013, εκπόνησε το εθνικό σχέδιο αύξησης του αριθμού

¹ <https://cutt.ly/rQXFPYJ> (11/08/2021)

των κτιρίων με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας, το οποίο και δημοσιεύτηκε τον Δεκέμβριο του 2017. Η δημιουργία του σχεδίου ήταν μια υποχρέωση, που πρόκυπτε και αυτή από την Οδηγία 31/2010. Το σχέδιο αυτό, αφού παρουσιάζει την ελληνική πραγματικότητα του κτιριακού δυναμικού της χώρας, κατόπιν παρουσιάζει τα χαρακτηριστικά των κτιρίων nZEB. Τα σημαντικότερα στοιχεία του σχεδίου όμως είναι οι μελλοντικοί στόχοι, που καθορίζονται αλλά και οι πολιτικές που πρέπει να ακολουθηθούν ώστε να επιτευχθούν οι στόχοι αυτοί. Επιπλέον, καταγράφονται και τυχόν εμπόδια που υπάρχουν και περιορίζουν την αύξηση των κτιρίων nZEB στην χώρα. Το εθνικό σχέδιο αύξησης του αριθμού των κτιρίων με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας φιλοδοξεί λοιπόν να γίνει ο πυλώνας, γύρω από τον οποίο θα δημιουργηθούν οι πολιτικές και θα δοθούν τα αντίστοιχα κίνητρα, έτσι ώστε να ξεπεραστούν τα εμπόδια και οι φραγμοί και να αυξηθεί σημαντικά ο αριθμός των κτιρίων nZEB στην Ελλάδα. Τα κυριότερα περιεχόμενα του σχεδίου αυτού καταγράφονται στις επόμενες τρεις υποενότητες (Ελληνική Κυβέρνηση, 2020).

5.3.1 Κριτήρια καθορισμού κτιρίου ως nZEB

Τα κτίρια nZEB έχουν μια απροσδιοριστία ως προς τον ορισμό τους. Ορίζονται ως κτίρια με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας. Δεν είναι σαφής ο ορισμός τους, σε αντίθεση με τα κτίρια ZEB που ορίζονται σαφέστατα ως κτίρια με μηδενική κατανάλωση ενέργειας. Η λέξη σχεδόν που περιέχουν στον ορισμό τους τα κτίρια nZEB χρειάζεται αποσαφήνισή ή μάλλον καλύτερα χρειάζεται κριτήρια που θα την ορίζουν σαφώς. Στο εθνικό σχέδιο αύξησης του αριθμού των κτιρίων nZEB θεσπίζονται για πρώτη φορά στην Ελλάδα κριτήρια που καθορίζουν πότε ένα κτίριο θεωρείται ως κτίριο nZEB. Τα κριτήρια που θεσπίζονται είναι τέσσερα στον αριθμό και είναι τα ακόλουθα (Ελληνική Κυβέρνηση, 2020):

- 1) Ένα νέο κτίριο που χρησιμοποιείται για κατοικία θεωρείται ως κτίριο nZEB εάν και εφόσον η πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας του είναι κατά μέγιστο 80 kWh/m^2 ετησίως και η συμμετοχή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην παραγωγή της ενέργειας που καταναλώνει υπερβαίνει το 60%.
- 2) Ένα υφιστάμενο κτίριο με χρήση κατοικίας θεωρείται ως κτίριο nZEB εάν και εφόσον η πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας του είναι κατά μέγιστο 95 kWh/m^2 ετησίως και η συμμετοχή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην παραγωγή της ενέργειας που καταναλώνει ξεπερνάει το 50%.

- 3) Ένα νέο κτίριο τριτογενούς τομέα θεωρείται ως κτίριο nZEB εάν και εφόσον η πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας του είναι κατά μέγιστο 85 kWh/m^2 ετησίως και η συμμετοχή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην παραγωγή ενέργειας που καταναλώνει ξεπερνάει το 20%.
- 4) Ένα υφιστάμενο κτίριο τριτογενούς τομέα θεωρείται ως κτίριο nZEB εάν και εφόσον η πρωτογενής κατανάλωση ενέργειάς του είναι κατά μέγιστο 90 kWh/m^2 ετησίως και η συμμετοχή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην παραγωγή ενέργειας που καταναλώνει ξεπερνάει το 15%.

Όπως είναι σαφές η ανάγκη για θέσπιση τεσσάρων κριτηρίων προέκυψε από την διαφορετικότητα του κτιριακού δυναμικού της χώρας. Ένα νεόδμητο κτίριο μπορεί εύκολα να ενσωματώσει τεχνικές εξοικονόμησης ενέργειας έτσι ώστε να θεωρηθεί ως κτίριο nZEB. Ένα υφιστάμενο κτίριο όμως παρουσιάζει αντικειμενικές δυσκολίες ως προς την βελτίωσή του και για αυτό τον λόγο τα όρια για την μετατροπή υφιστάμενων κτιρίων σε κτίρια nZEB είναι υψηλότερα. Η δεύτερη διάκριση έχει να κάνει με την χρήση του κτιρίου. Τα κτίρια του τριτογενούς τομέα απαιτούν υψηλότερα ποσά ενέργειας για την λειτουργία τους, γι' αυτό και έχουν τεθεί κατά τι υψηλότερα όρια στα κριτήρια καθορισμού τους ως κτίρια nZEB (Ελληνική Κυβέρνηση, 2020).

Τα αριθμητικά όρια που προέκυψαν στα κριτήρια αυτά δεν είναι τυχαία. Προήλθαν κατόπιν επεξεργασίας των δεδομένων που είχαν συλλεγεί μεταξύ των ετών 2011 και 2016 από την εκπόνηση ενεργειακών πιστοποιητικών στα κτίρια της χώρας. Κατόπιν στατιστικής ανάλυσης προέκυψαν οι καταναλώσεις ενέργειας που αντιστοιχούν σε κάθε κλάση του ενεργειακού πιστοποιητικού που εκδίδεται. Ακολούθως ορίστηκε ως κριτήριο θεώρησης ενός νεόδμητου κτιρίου (είτε κατοικία είτε κτίριο τριτογενούς τομέα) ως κτίριο nZEB εάν αυτό εντάσσεται στην ενεργειακή κλάση A και άνω. Αντίστοιχα, ένα υφιστάμενο κτίριο, είτε κατοικία είτε τριτογενούς τομέα, θεωρείται ως κτίριο nZEB εφόσον εντάσσεται στην ενεργειακή κλάση B+ και άνω. Αναλύοντας στατιστικά τα πιστοποιητικά ενεργειακής απόδοσης, προέκυψαν τα αριθμητικά όρια για τις κατηγορίες A και B+ των κτιρίων κατοικιών και τριτογενούς τομέα (Ελληνική Κυβέρνηση, 2020).

5.3.2 Στόχοι

Οι στόχοι που έχουν τεθεί για την ενεργειακή αναβάθμιση του κτιριακού δυναμικού της χώρας είναι ιδιαίτερα φιλόδοξοι. Σύμφωνα με το σχέδιο αυτό, δημιουργούνται τρεις φάσεις. Η πρώτη φάση που περιλαμβάνει την πρώτη τριετία από το 2018 έως το τέλος του 2020 χρησιμοποιείται για να γίνουν προπαρασκευαστικές ενέργειες στο νομοθετικό πλαίσιο και ταυτόχρονα για ενημέρωση και ευαισθητοποίηση των πολιτών στην ανάγκη εξοικονόμησης ενέργειας στα κτίρια. Σε γενικές γραμμές αυτά όντως έχουν γίνει, με αποτέλεσμα η χώρα να είναι έτοιμη να εισέλθει στην φάση δύο (Ελληνική Κυβέρνηση, 2020).

Η φάση δύο έχει ορίζοντα υλοποίησης μια 20ετία, από το 2021 έως και το 2040 και είναι η κύρια φάση εκσυγχρονισμού των κτιρίων σύμφωνα με το σχέδιο. Η φάση αυτή ονομάζεται φάση επιτάχυνσης και κατά την φάση αυτή αναμένεται ότι ο πολίτης αντιλαμβάνεται πλέον το κέρδος από μια ενεργειακή ανακαίνιση και δημιουργία ενός κτιρίου nZEB. Ταυτόχρονα, λόγω του όγκου των ανακαινίσεων οι τιμές αναμένεται να μειωθούν ενώ θα εισαχθούν και νέα καινοτόμα υλικά και τεχνικές που αυξάνουν περαιτέρω την ενεργειακή αποδοτικότητα των κτιρίων. Προοδευτικά, σε αυτή την φάση αναμένεται να εμφανιστεί μείωση των επιδοτήσεων έως και μηδενισμός τους, καθώς δεν θα είναι απαιτούμενες προκειμένου να πειστεί ο πολίτης να αναβαθμίσει ένα κτίριο που έχει στην κυριότητά του. Στην φάση αυτή αναμένεται να αναβαθμιστεί ένα μεγάλο μέρος του κτιριακού αποθέματος της χώρας (Ελληνική Κυβέρνηση, 2020).

Η τρίτη και τελευταία φάση προσδιορίζεται μεταξύ των ετών 2041 έως και 2050 και είναι η φάση της σταθεροποίησης. Σε αυτή την φάση πλέον οι ενεργειακές αναβαθμίσεις των κτιρίων θα γίνονται χωρίς καμία επιδότηση και η κατασκευή των nZEB θα λαμβάνει χώρα πλέον ως μια ιδιωτική επένδυση. Τούτο συμβαίνει γιατί τότε θα είναι αντιληπτά τα κέρδη από την ενεργειακή αναβάθμιση του κτιρίου και θα αποτελούν από μόνα τους κίνητρα προκειμένου κάποιος να μετατρέψει το κτίριο που κατέχει σε κτίριο nZEB (Ελληνική Κυβέρνηση, 2020).

Πέραν των στόχων για τα υφιστάμενα κτίρια, το σχέδιο αύξησης του αριθμού των κτιρίων nZEB περιέχει ένα επιπλέον φιλόδοξο στόχο, ο οποίος σχετίζεται με τα νεόδμητα κτίρια. Σύμφωνα με το σχέδιο λοιπόν, τα νεόδμητα κτίρια που λαμβάνουν άδεια οικοδομής από το 2021 και εντεύθεν θα πρέπει να είναι κτίρια nZEB. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα όλο το σύγχρονο κτιριακό δυναμικό της χώρας να αποτελείται από κτίρια χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας. Ίσως

αυτός είναι και ο πιο φιλόδοξος στόχος του σχεδίου, καθώς η εφαρμογή του στην ουσία τραβάει μια γραμμή βάσης στο τέλος του 2020 και από το 2021 και μετά κατασκευάζονται κτίρια nZEB στην Ελλάδα. Βέβαια το παρόν ακόμη δεν έχει θεσπιστεί νομοθετικά ώστε να γίνει υποχρεωτικό, κάτι που πρέπει να γίνει άμεσα έτσι ώστε να «αναγκάσει» τους αρχιτέκτονες να σχεδιάζουν εφεξής μόνο κτίρια nZEB (Ελληνική Κυβέρνηση, 2020).

5.3.3 Πολιτικές και κίνητρα

Σημαντικό ρόλο στην αύξηση του αριθμού των κτιρίων nZEB, είτε διαμέσου της ριζικής ανακαίνισης υφιστάμενων κτιρίων είτε διαμέσου της κατασκευής νέων κτιρίων, είναι τα κίνητρα που δίδονται διαμέσου διάφορων πολιτικών. Ήδη κάποιες πολιτικές και κίνητρα βρίσκονται σε ισχύ από τα προηγούμενα χρόνια. Τέτοια κίνητρα είναι η αύξηση του συντελεστή δόμησης για νέοδομητα κτίρια, η μείωση του προστίμου τακτοποίησης αυθαίρετων κατασκευών κατά 50% και η αύξηση του χρόνου των αποσβέσεων. Πέραν αυτών όμως πρέπει να δοθούν και άλλα κίνητρα, κατά βάση οικονομικά, καθώς, μετά την δεκαετή κρίση και την πανδημία του κορωνοϊού και την συνεπαγόμενη μείωση της οικονομικής δραστηριότητας, μεγάλο μέρος του πληθυσμού δεν έχει τα απαιτούμενα κεφάλαια για να αναβαθμίσει ενεργειακά το πεπαλαιωμένο κτιριακό δυναμικό ιδιοκτησίας του (Ελληνική Κυβέρνηση, 2020).

Όσον αφορά τα ιδιωτικά κτίρια της χώρας το πρόγραμμα «Εξοικονομώ», σε διάφορες αναβαθμισμένες εκδοχές του, αναμένεται να αποτελέσει την κύρια πολιτική ριζικής ανακαίνισης κτιρίων. Ήδη το 2019 έχει προκηρυχθεί το νέο πρόγραμμα με την ονομασία «Εξοικονομώ – Αυτονομώ», έχουν κατατεθεί οι αιτήσεις και βρίσκονται οι δικαιούχοι σε αναμονή των εκδόσεων απόφασης υπαγωγής ώστε να προχωρήσουν στην υλοποίησή του. Το πρόγραμμα αυτό οδηγεί πλέον στην δημιουργία κτιρίων nZEB, καθώς πέραν της ενεργειακής αναβάθμισης του κτιρίου επιδοτεί έξυπνα συστήματα διαχείρισης ενέργειας και συστήματα παραγωγής ενέργειας από φωτοβολταϊκά. Επιπρόσθετα, για πρώτη φορά, υπάρχει η δυνατότητα συνολικής ένταξης μιας πολυκατοικίας στο πρόγραμμα επιδότησης, κάτι που αυξάνει τον αριθμό των κτιρίων που μπορούν να επιδοτηθούν και εν τέλει να αναβαθμιστούν ενεργειακά. Επιπλέον του υπάρχοντος προγράμματος «Εξοικονομώ», σύμφωνα με δηλώσεις του αρμόδιου Υπουργού Ενέργειας και Περιβάλλοντος, αναμένεται νέος κύκλος του προγράμματος, εντός του 2021. Με διαρκείς επιδοτούμενους κύκλους αναμένεται να συνεχιστεί το πρόγραμμα τα επόμενα χρόνια, ώστε να

ανακαινιστεί ριζικά και να αναβαθμιστεί ενεργειακά ένα μεγάλο μέρος των κατοικιών της χώρας (Ελληνική Κυβέρνηση, 2020).

Αντίστοιχα, αναμένεται να δημιουργηθεί ένα πρόγραμμα «Εξοικονομώ» (ή πολλά μικρότερα) που θα αφορά κτίρια του τριτογενούς τομέα. Ήδη γίνονται αναφορές και θεωρείται πιθανότερο να ξεκινήσει ένα τέτοιο επιδοτούμενο πρόγραμμα στα κτίρια τουριστικής διαμονής, τα οποία άλλωστε είναι πολλά στην χώρα μας. Ακολούθως θα πρέπει να ληφθεί πρόνοια για τα καταστήματα και τα γραφεία, τα οποία την δεδομένη στιγμή δεν μπορούν να ενταχθούν στο πρόγραμμα «Εξοικονομώ». Τα προγράμματα «Εξοικονομώ» λοιπόν αναμένεται να είναι η ραχοκοκαλιά της ριζικής ανακαίνισης και ενεργειακής αναβάθμισης των ιδιωτικών κτιρίων της χώρας (Ελληνική Κυβέρνηση, 2020).

Όσον αφορά τα δημόσια κτίρια αυτά θα πρέπει να ενταχθούν στο πρόγραμμα «*Ηλέκτρα*». Το πρόγραμμα αυτό στοχεύει στην μόχλευση δημόσιων αλλά και ιδιωτικών κεφαλαίων με στόχο την ενεργειακή αναβάθμιση κτιρίων του δημόσιου τομέα. Σύμφωνα με το πρόγραμμα αυτό θα λαμβάνονται από τους φορείς του δημοσίου επενδυτικά δάνεια για την ενεργειακή αναβάθμιση του κτιριακού δυναμικού τους, τα οποία εν συνεχεία θα αποπληρώνονται διαμέσου του προγράμματος. Στην ουσία ο στόχος του προγράμματος είναι τα κεφάλαια που θα εξοικονομούνται από την ενεργειακή αναβάθμιση του κτιρίου να καλύπτουν εν τέλει το ποσό του δανεισμού. Επιπρόσθετα, στα κτίρια που ανήκουν στους ΟΤΑ (Οργανισμοί Τοπικής Αυτοδιοίκησης) αναμένεται να υπάρχει επιπλέον επιδότηση του κόστους ανακαίνισης του κτιρίου, κάτι που καθιστά ακόμη πιο θελκτικό το πρόγραμμα (Ελληνική Κυβέρνηση, 2020).

Σημαντικό ρόλο στην ενεργειακή αναβάθμιση των κτιρίων της χώρας αναμένεται να διαδραματίσει και το εθνικό ταμείο ενεργειακής απόδοσης, το οποίο περιλαμβάνεται στον σχεδιασμό της ενεργειακής πολιτικής της χώρας. Το ταμείο αυτό πρωταρχικά θα αποτελεί ένα ταμείο χαμηλότοκου δανεισμού και / ή εγγυοδοσίας επενδύσεων ενεργειακής αναβάθμισης κτιρίων. Επιπρόσθετα, εφόσον διαθέτει επαρκή κεφάλαια μπορεί να προχωρήσει σε μικρές ποσοστιαία επιδοτήσεις των επενδύσεων αυτών. Το ταμείο αυτό λοιπόν θα αποτελεί ένα από τα κύρια χρηματοδοτικά σχήματα επενδύσεων ενεργειακής αναβάθμισης κτιρίων, παρέχοντας ως κίνητρα τα χαμηλά επιτόκια και τις μικρές επιδοτήσεις (Ελληνική Κυβέρνηση, 2020).

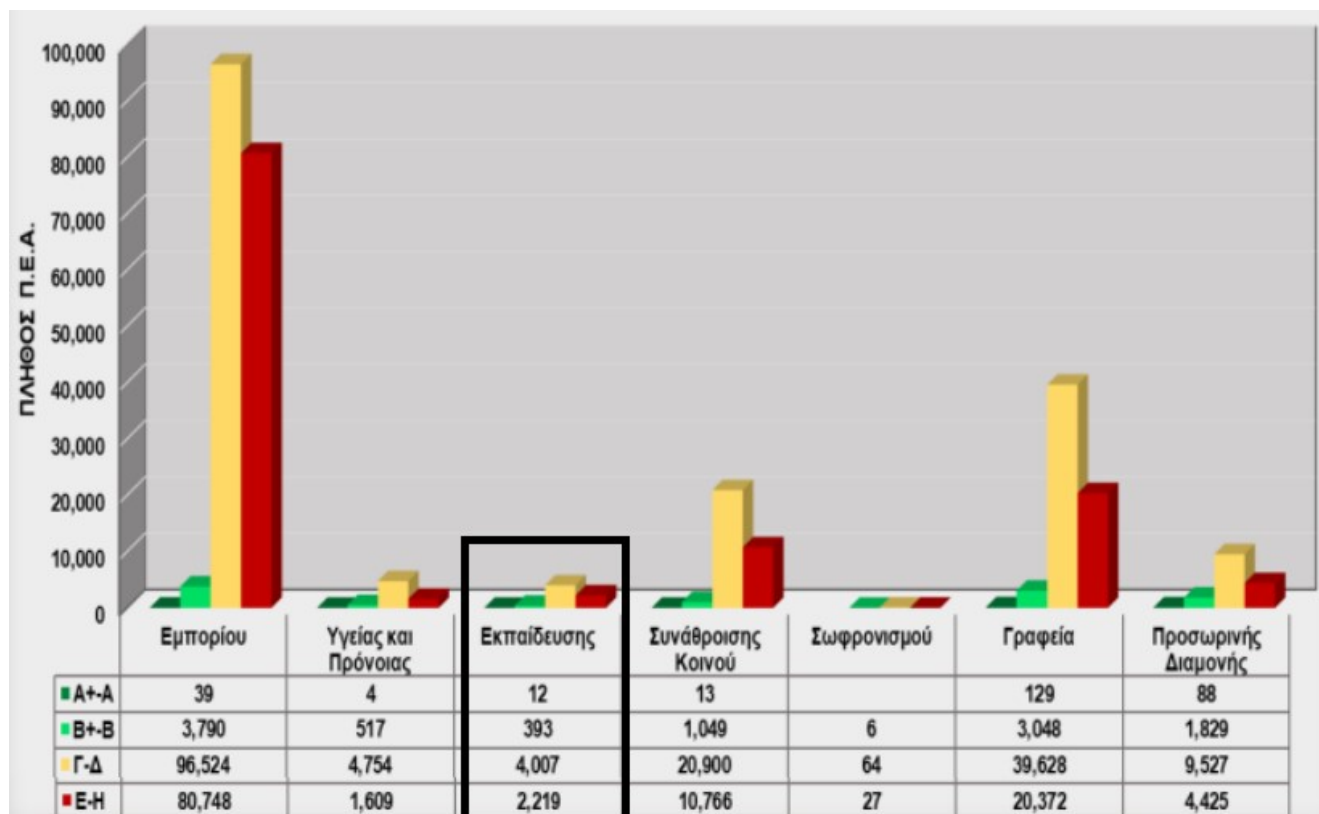
5.4 Στατιστικά στοιχεία

Η ενεργειακή αναβάθμιση του κτιριακού δυναμικού της χώρας αποτυπώνεται καλύτερα με τα στατιστικά στοιχεία που παρουσιάζει κάθε έτος το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας. Για τη δημιουργία των στατιστικών στοιχείων αξιοποιούνται τα δεδομένα από τα πιστοποιητικά ενεργειακής απόδοσης (ΠΕΑ), που εκδίδονται μετά την αναβάθμιση των κτιρίων, ώστε να πιστοποιήσουν το μέγεθος της αναβάθμισης που επιτεύχθηκε. Τα τελευταία στοιχεία δημοσιεύτηκαν τον Ιούνιο του 2020 και σε αυτά εμπεριέχονται δεδομένα από την αρχή καταγραφής το 2011 έως και το τέλος του 2019 (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2020).

Σύμφωνα με τα στοιχεία αυτά, κατά το έτος 2019 εκδόθηκαν στην πλειοψηφία τους (86%) ενεργειακά πιστοποιητικά που αφορούν τις κατοικίες (μονοκατοικίες, διαμερίσματα και πολυκατοικίες). Συνολικά τα πιστοποιητικά αυτά αφορούν κατοικίες έκτασης περίπου 24 εκατομμυρίων τετραγωνικών μέτρων. Αντίστοιχα, μόλις το 14% των πιστοποιητικών αφορούν κτίρια τριτογενούς τομέα και η πλειοψηφία τους αφορά καταστήματα (56%) και γραφεία (23%). Η έκταση όμως των κτιρίων του τριτογενούς τομέα που μελετήθηκε ως προς την ενεργειακή κατανάλωση ξεπερνάει κατά τι τα 8 εκατομμύρια τετραγωνικά μέτρα. Όσον αφορά τα εκπαιδευτικά κτίρια, το 2019 εκδόθηκε ΠΕΑ για μόλις 6 ιδιωτικά και 2 δημόσια νεόδμητα σχολικά κτίρια, τα οποία έχουν σχεδιαστεί και ανεγερθεί βάσει του αναθεωρημένου ΚΕνΑΚ του 2017. Επιπλέον, άλλο ένα κτίριο εκπαίδευσης έχει υποστεί ριζική ανακαίνιση το 2019 βάσει του αναθεωρημένου ΚΕνΑΚ. Σε αυτά μπορούν να προστεθούν 15 ιδιωτικά και 7 δημόσια νεόδμητα κτίρια εκπαίδευσης, που έχουν σχεδιαστεί και περατωθεί βάσει ΚΕνΑΚ και των οποίων το ΠΕΑ εκδόθηκε το 2019 (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2020).

Στο σύνολο της εννιαετίας 2011 – 2019, στις οποίες υπάρχουν αναλυτικά στατιστικά στοιχεία, εκδόθηκαν 6.631 ΠΕΑ που αφορούν εκπαιδευτικά κτίρια του τριτογενούς τομέα (ιδιωτικά εκπαιδευτικά κτίρια). Το αποτέλεσμα είναι η πλειοψηφία του υπάρχοντος κτιριακού δυναμικού εκπαίδευσης της χώρας να βρίσκεται στις κατώτερες ενεργειακά κατηγορίες. Ειδικότερα, 2.219 κτίρια βρίσκονται στις χειρίστες κατηγορίες Ε, Ζ και Η και άλλα 4.007 βρίσκονται στις κατηγορίες Γ και Δ. Αντιθέτως, μόλις 12 εκπαιδευτικά κτίρια βρίσκονται στις βέλτιστες ενεργειακά κατηγορίες Α και Α+ και πιθανώς κάποια από αυτά τα κτίρια να μπορούν

να θεωρηθούν ως κτίρια nZEB. Αυτό καθιστά ξεκάθαρο ότι μεγάλη πλειοψηφία του κτιριακού δυναμικού εκπαίδευσης της χώρας χρήζει ενεργειακής αναβάθμισης. Στο κάτωθι διάγραμμα φαίνεται το πλήθος των ΠΕΑ που εκδόθηκαν έως το τέλος του 2019 και η ενεργειακή κλάση που εντάσσονται τα κτίρια του τριτογενούς τομέα. Τα εκπαιδευτικά κτίρια βρίσκονται εντός μαύρου πλαισίου (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2020).

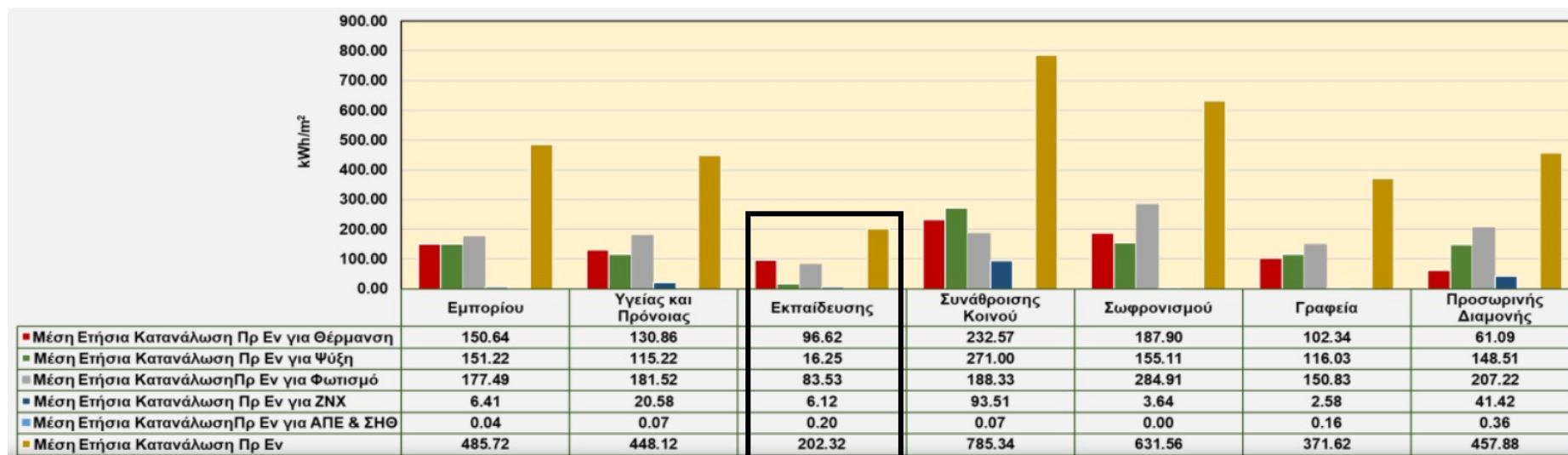


Σχήμα 5.3: Αριθμός ΠΕΑ και ενεργειακή κλάση κτιρίων τριτογενούς τομέα. Πηγή: (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2020)

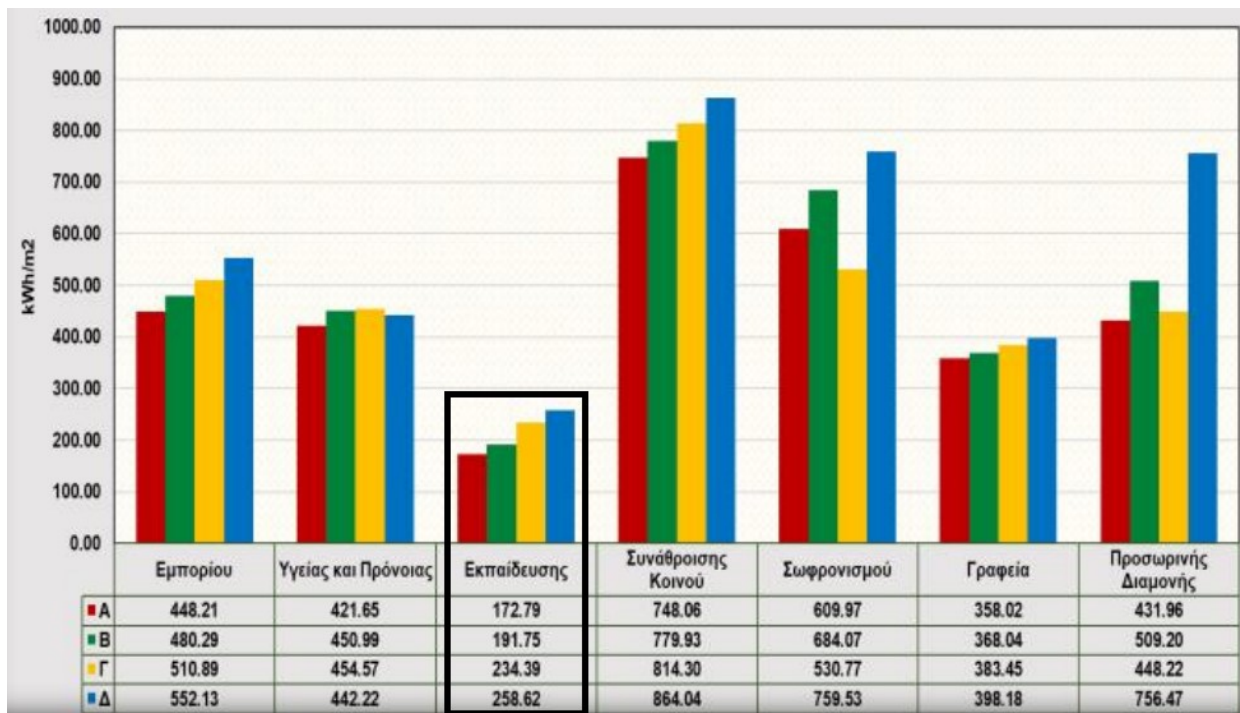
Στις εκπαιδευτικές μονάδες για τις οποίες εκδόθηκε ΠΕΑ προκύπτει ως κυριότερη κατανάλωση ενέργειας η θέρμανση με 96,2kWh ανά τετραγωνικό μέτρο. Ακολουθεί με πολύ μικρή διαφορά ο φωτισμός με 83,53kWh ανά τετραγωνικό μέτρο. Με πολύ μεγάλη διαφορά έπονται οι καταναλώσεις για ψύξη (16,25kWh/m²) και για ΖΝΧ (6,12kWh/m²). Τέλος, ελάχιστες είναι οι καταναλώσεις στα εκπαιδευτικά κτίρια για ΑΠΕ και συστήματα συμπαραγωγής ΣΗΘ (Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας), μόλις 0,2kWh/m². Από το σύνολο των μελετούμενων ενεργειακά κτιρίων εκπαίδευσης προκύπτει μέση κατανάλωση

ενέργειας ίση με $202,32 \text{ kWh/m}^2$. Στο Σχήμα 5.4 φαίνεται η κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια του τριτογενούς τομέα. Μέσα σε πλαίσιο ευρίσκονται τα στοιχεία που αφορούν τα κτίρια εκπαίδευσης (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2020).

Μάλιστα, όπως είναι φυσικό άλλωστε, παρατηρείται μια κλιμάκωση της κατανάλωσης ανάλογα της κλιματικής ζώνης της τοποθεσίας που βρίσκεται το κτίριο. Εκπαιδευτικά κτίρια στην Α κλιματική ζώνη καταναλώνουν μόλις $172,79 \text{ kWh}$ ανά τετραγωνικό μέτρο, την στιγμή που τα εκπαιδευτικά κτίρια στην Δ κλιματική ζώνη καταναλώνουν $258,62 \text{ kWh}$ ανά τετραγωνικό μέτρο. Τα κτίρια στις ενδιάμεσες ζώνες Β και Γ καταναλώνουν $191,75 \text{ kWh/m}^2$ και $234,39 \text{ kWh/m}^2$ αντίστοιχα. Ένα σχολικό κτίριο που βρίσκεται στα Ιωάννινα, άρα στην Δ κλιματική ζώνη, έχει μεγαλύτερη ανάγκη ενεργειακής αναβάθμισης από ένα κτίριο που βρίσκεται στις υπόλοιπες κλιματικές ζώνες της χώρας. Το Σχήμα 5.5 απεικονίζει την κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια του τριτογενούς τομέα ανά κλιματική ζώνη της χώρας. Σε μαύρο πλαίσιο επισημαίνονται πάλι τα κτίρια εκπαίδευσης (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2020).



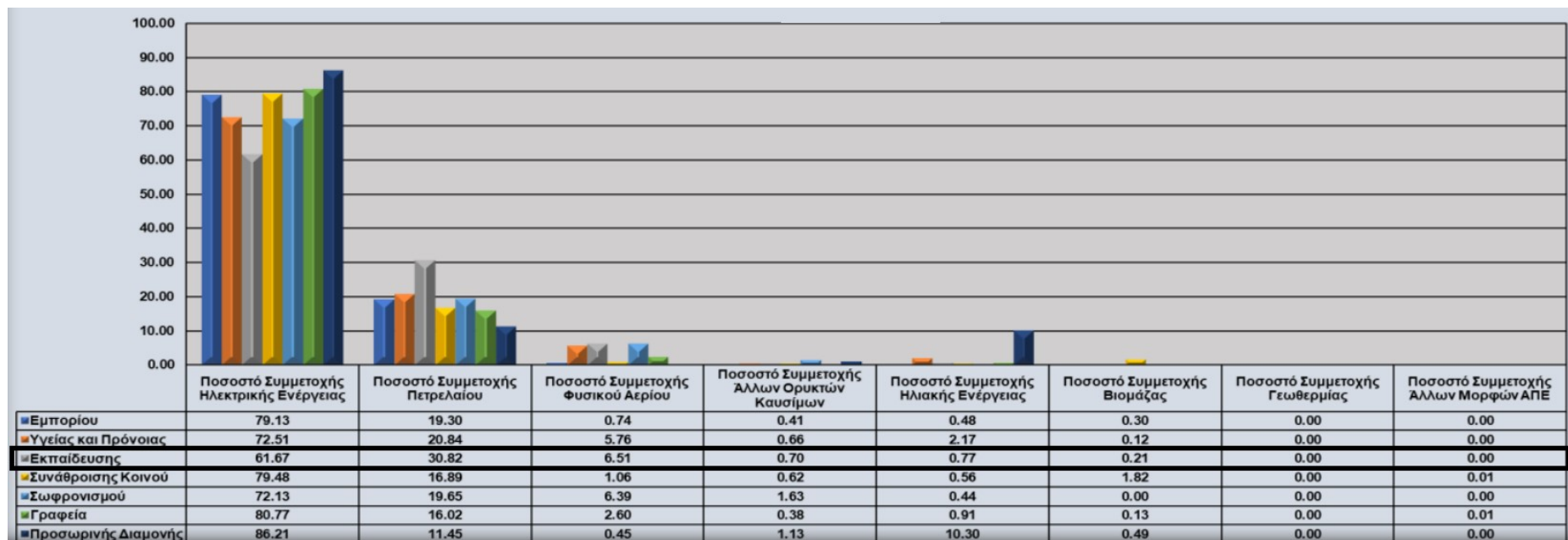
Σχήμα 5.4: Ετήσια κατανάλωση ενέργειας κτιρίων τριτογενούς τομέα. Πηγή: (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2020)



Σχήμα 5.5: Ετήσια κατανάλωση ενέργειας κτιρίων τριτογενούς τομέα ανά κλιματική ζώνη.

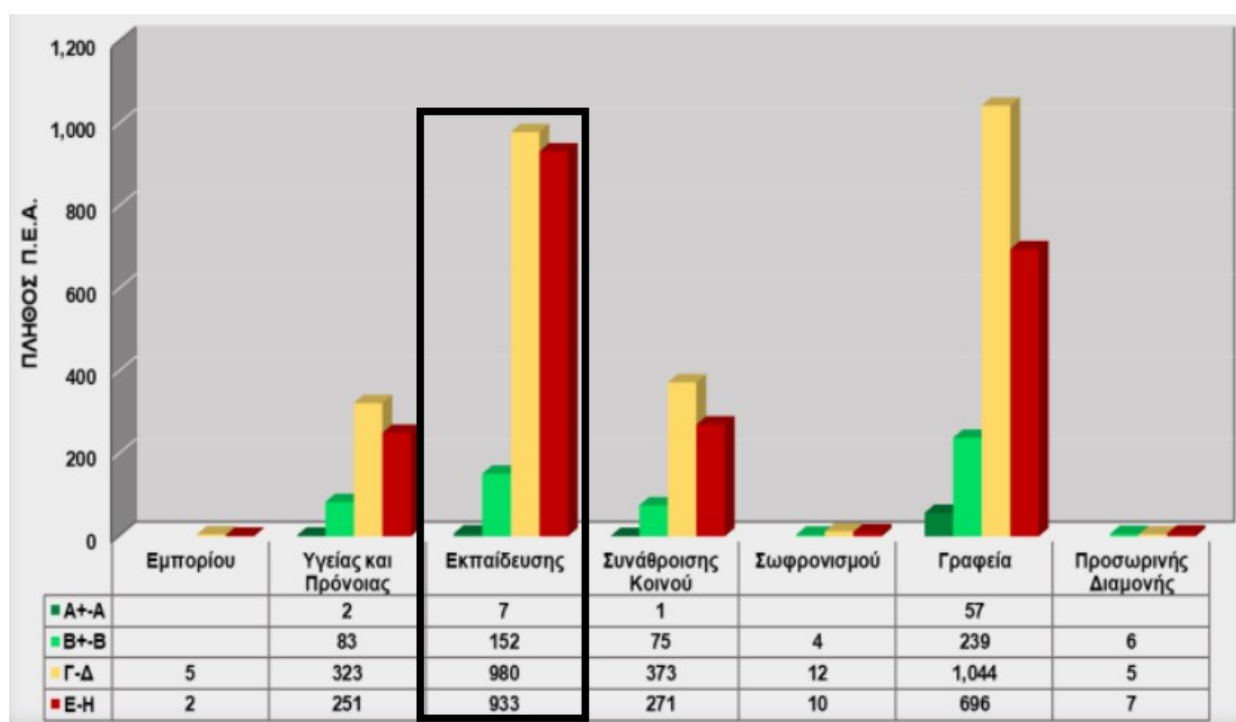
Πηγή: (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2020)

Σημαντικό όμως είναι και το ενεργειακό ισοζύγιο των εκπαιδευτικών κτιρίων. Η ενεργειακή τους κατανάλωση οφείλεται πρωτίστως στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, με ποσοστό συμμετοχής στην συνολική κατανάλωση ενέργειας του κτιρίου ίσο με 61,67%. Έπεται το πετρέλαιο, με ποσοστό 30,82%. Με πολύ μεγάλη διαφορά ακολουθούν οι υπόλοιπες πηγές ενέργειας. Ειδικότερα, προκύπτει κατανάλωση φυσικού αερίου 6,51%, ηλιακής ενέργειας 0,77%, άλλων ορυκτών καυσίμων 0,7% και βιομάζας 0,21%. Επιπρόσθετα είναι μηδενικές οι καταναλώσεις ενέργειας προερχόμενης από γεωθερμία ή άλλες ΑΠΕ. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται το ενεργειακό ισοζύγιο των κτιρίων του τριτογενούς τομέα και με μαύρο πλαίσιο επισημαίνονται τα εκπαιδευτικά κτίρια (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2020).



Σχήμα 5.6: Ενεργειακό ισοζύγιο κτιρίων τριτογενούς τομέα. Πηγή: (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2020)

Τα στοιχεία είναι περίπου τα ίδια εάν απομονωθούν τα κτίρια εκπαίδευσης που ανήκουν στον δημόσιο τομέα. Μεταξύ των ετών 2011 και 2019 εκδόθηκαν 2072 ΠΕΑ εκπαιδευτικών κτιρίων του δημοσίου και η πλειοψηφία τους ανήκει στις ενεργειακά χαμηλότερες κατηγορίες. Ειδικότερα, 933 κτίρια ανήκουν στις κατηγορίες Ε, Ζ και Η και άλλα 980 κτίρια στις κατηγορίες Γ και Δ. Αντίθετα, μόλις 7 κτίρια εντάσσονται στις κατηγορίες Α και Α+ ενώ άλλα 152 κτίρια εντάσσονται στις κατηγορίες Β και Β+. Στο παρακάτω γράφημα φαίνεται η αντίστοιχη κατάταξη των δημοσίων κτιρίων στις ενεργειακές κλάσεις. Με μαύρο πλαίσιο διακρίνονται τα κτίρια εκπαίδευσης (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2020).

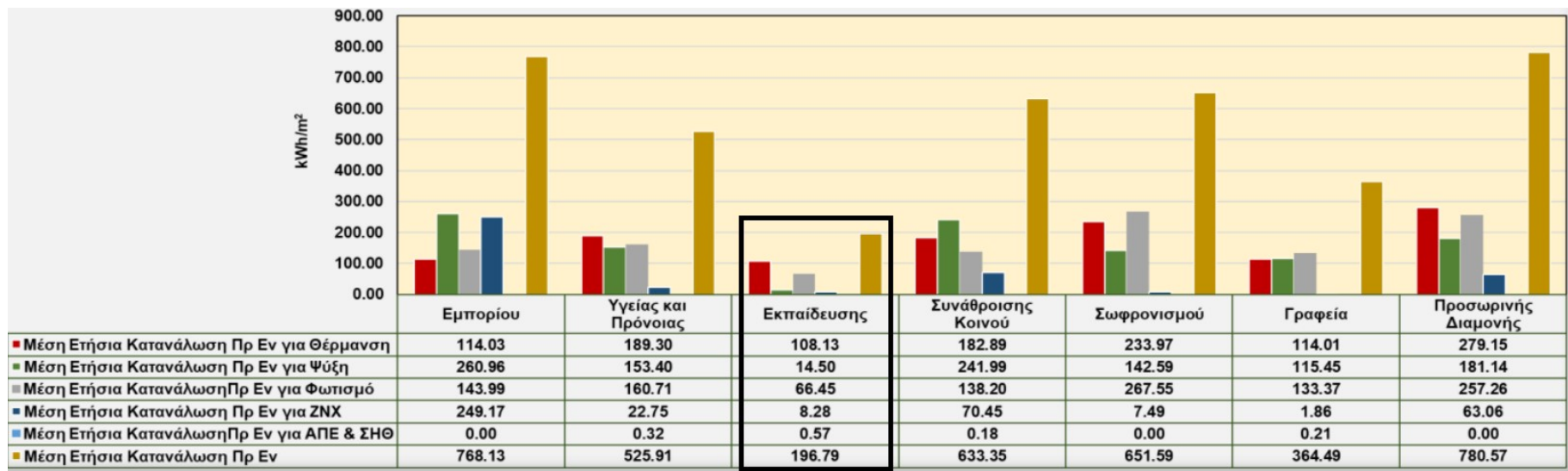


Σχήμα 5.7: Αριθμός ΠΕΑ και ενεργειακή κλάση κτιρίων δημόσιου τομέα. Πηγή: (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2020)

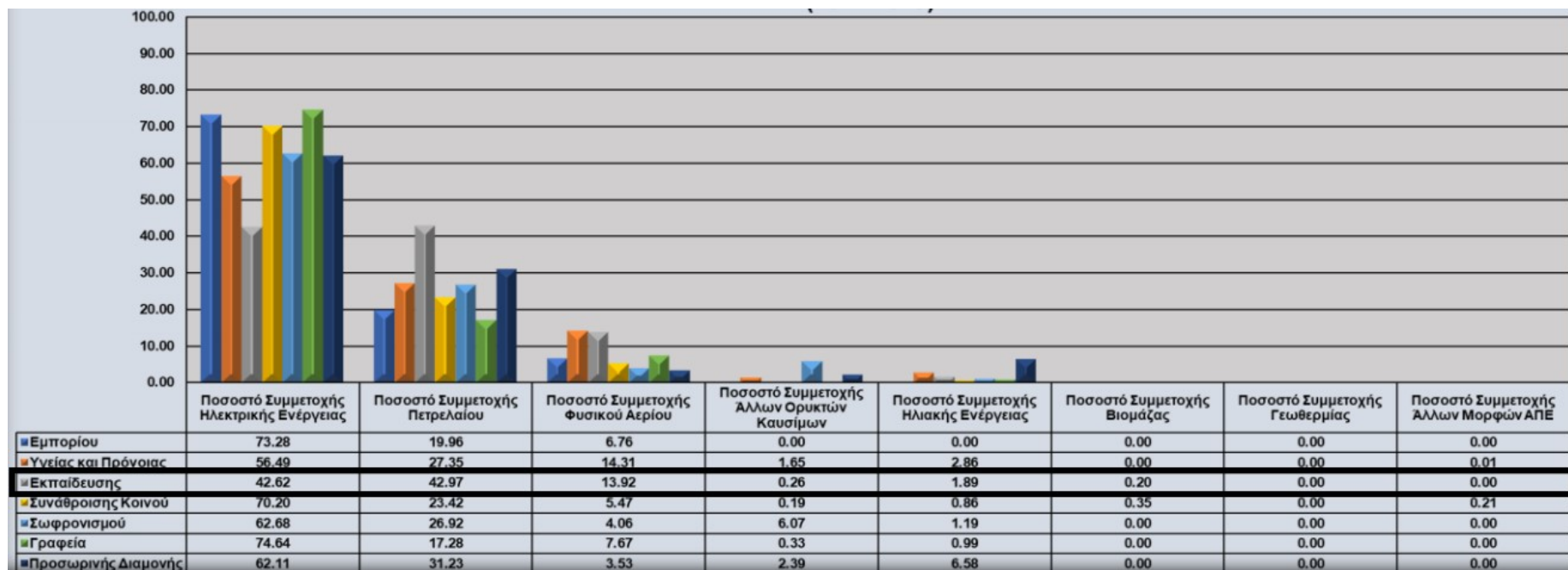
Πανομοιότυπες είναι και οι ενεργειακές τους καταναλώσεις, με την συνολική μέση κατανάλωση ενέργειας στα εκπαιδευτικά κτίρια του δημοσίου τομέα να υπολογίζεται σε 196,79 kWh/m². Μικρή διαφοροποίηση υπάρχει όμως ως προς τις χρήσεις της ενέργειας στα δημόσια εκπαιδευτικά κτίρια. Αυξημένες είναι οι καταναλώσεις που αφορούν την θέρμανση και ισούνται με 108,13 kWh/m², ενώ μειωμένες είναι οι καταναλώσεις φωτισμού, που ισούνται με 66,45 kWh/m². Περίπου στα ίδια επίπεδα παραμένουν οι καταναλώσεις για τα υπόλοιπα φορτία.

Συγκεκριμένα, για τα φορτία ψύξης καταναλίσκονται 14,5 kWh/m², για τα φορτία ZNX καταναλίσκονται 8,28 kWh/m² και για τα φορτία ΑΠΕ και ΣΗΘ καταναλίσκονται 0,57kWh/m². Όσον αφορά τις κλιματικές ζώνες και σε αυτή την περίπτωση, τα κτίρια στην Δ κλιματική ζώνη είναι τα πλέον ενεργοβόρα, σε αντίθεση με τα κτίρια στην Α κλιματική ζώνη που έχουν τις μικρότερες καταναλώσεις ενέργειας. Στο Σχήμα 5.8 απεικονίζονται οι ενεργειακές καταναλώσεις των κτιρίων του δημόσιου τομέα της χώρας. Στο μαύρο πλαίσιο εμπερικλείονται τα στοιχεία που αφορούν τα δημόσια κτίρια εκπαίδευσης (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2020).

Στα δημόσια κτίρια εκπαίδευσης παρατηρείται μια σημαντική τροποποίηση στο ενεργειακό τους ισοζύγιο. Σε αντίθεση με το σύνολο των εκπαιδευτικών κτιρίων, στην ομάδα των δημόσιων κτιρίων, ηλεκτρική ενέργεια και πετρέλαιο συμμετέχουν περίπου το ίδιο στο ενεργειακό ισοζύγιο με ποσοστά 42,62% και 42,97% αντίστοιχα. Επιπλέον, αυξημένη είναι η χρήση του φυσικού αερίου, του οποίου το ποσοστό συμμετοχής φτάνει το 13,92%. Οι υπόλοιπες πηγές ενέργειας είναι πολύ χαμηλά με ποσοστά συμμετοχής 1,89% για την ηλιακή ενέργεια, 0,26% για τα λοιπά ορυκτά καύσιμα, 0,2% για την βιομάζα και μηδενικές τιμές για γεωθερμία και άλλες μορφές ΑΠΕ. Στο Σχήμα 5.9 φαίνεται το ενεργειακό ισοζύγιο των κτιρίων του δημόσιου τομέα και στο μαύρο πλαίσιο περιέχονται οι πληροφορίες που αφορούν τα κτίρια εκπαίδευσης (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2020).

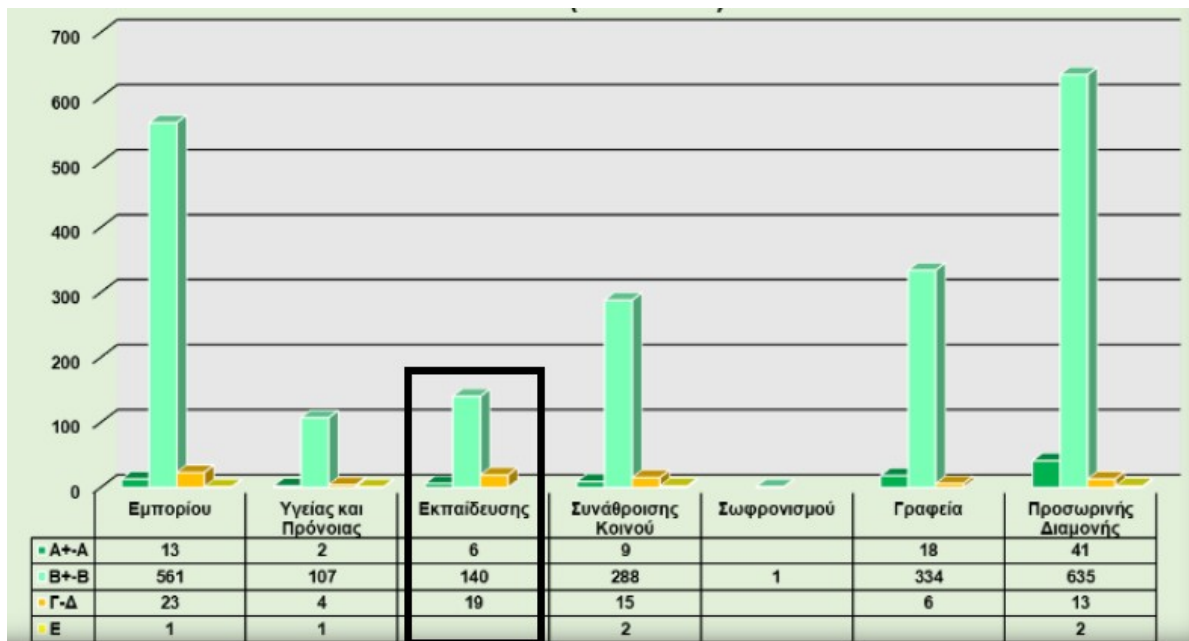


Σχήμα 5.8: Ετήσια κατανάλωση ενέργειας κτιρίων δημόσιου τομέα. Πηγή: (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2020)

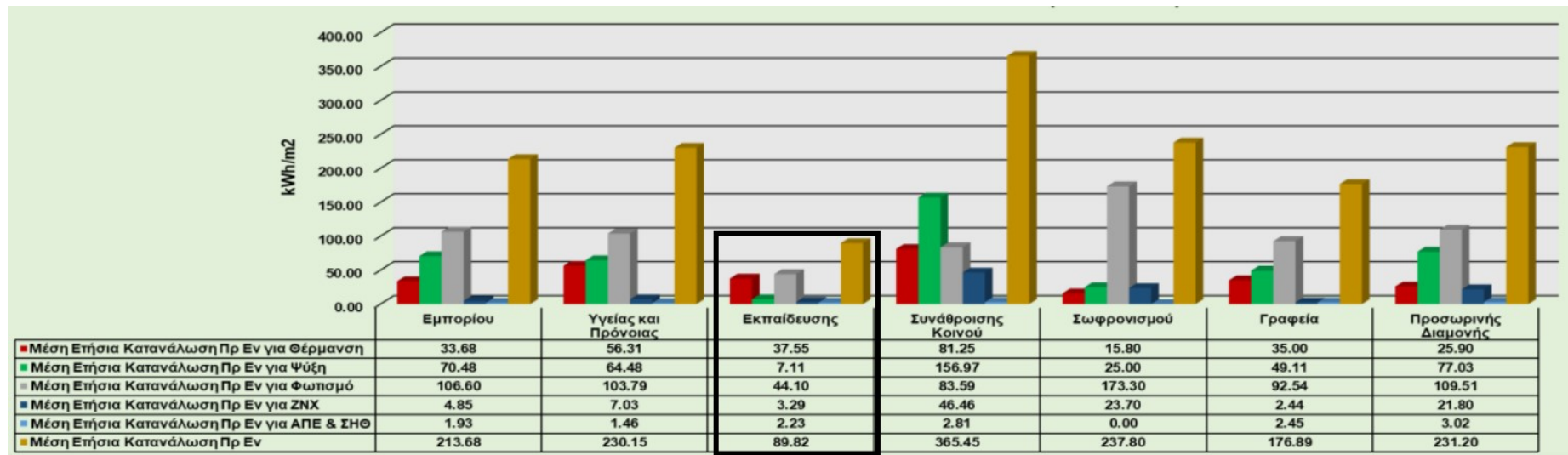


Σχήμα 5.9: Ενεργειακό ισοζύγιο κτιρίων δημόσιου τομέα. Πηγή: (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2020)

Την εννιαετία μεταξύ 2011-2019 έχουν εκδοθεί ΠΕΑ για 165 κτίρια εκπαίδευσης τριτογενούς τομέα, νεόδμητα ή ριζικά ανακαινισμένα. Η ενεργειακή βελτίωση είναι σαφέστατη, νοουμένου του ότι 6 κτίρια εντάσσονται στην κατηγορία Α - Α+ και άλλα 140 εντάσσονται στην κατηγορία Β - Β+. Μόλις 19 κτίρια εντάσσονται στις κατηγορίες Γ και Δ ενώ ούτε ένα δεν εντάσσεται σε χαμηλότερη της Δ κατηγορία. Το σύνολο των 165 κτιρίων εμφανίζει μέση κατανάλωση ενέργειας ίση με 89,82 kWh/m², μειωμένη κατά 55% από την μέση κατανάλωση του συνόλου των εκπαιδευτικών κτιρίων που αναφέρθηκε. Η μείωση της κατανάλωσης οφείλεται κυρίως στην μείωση των φορτίων θέρμανσης, για τα οποία πλέον καταναλίσκονται 34,55 kWh/m² μειωμένες κατά 64% από την μέση κατανάλωση θέρμανσης του συνόλου των εκπαιδευτικών κτιρίων. Αντιθέτως, η μείωση στα φορτία φωτισμού είναι μικρή, της τάξης του 47%, κάτι που αντιστοιχεί σε 44,1 kWh/m². Τέλος, 7,11 kWh/m² καταναλώνονται για την ψύξη των κτιρίων (μείωση 56%) και 3,29 kWh/m² για παραγωγή ΖΝΧ (μείωση 46%). Στα Σχήματα 5.10 και 5.11 φαίνεται η ενεργειακή κατάταξη των νεόδμητων ή ριζικά ανακαινισμένων κτιρίων του τριτογενούς τομέα, καθώς και η ενεργειακή τους κατανάλωση. Σε μαύρο πλαίσιο εσωκλείονται τα στοιχεία που αφορούν τα κτίρια εκπαίδευσης (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2020).

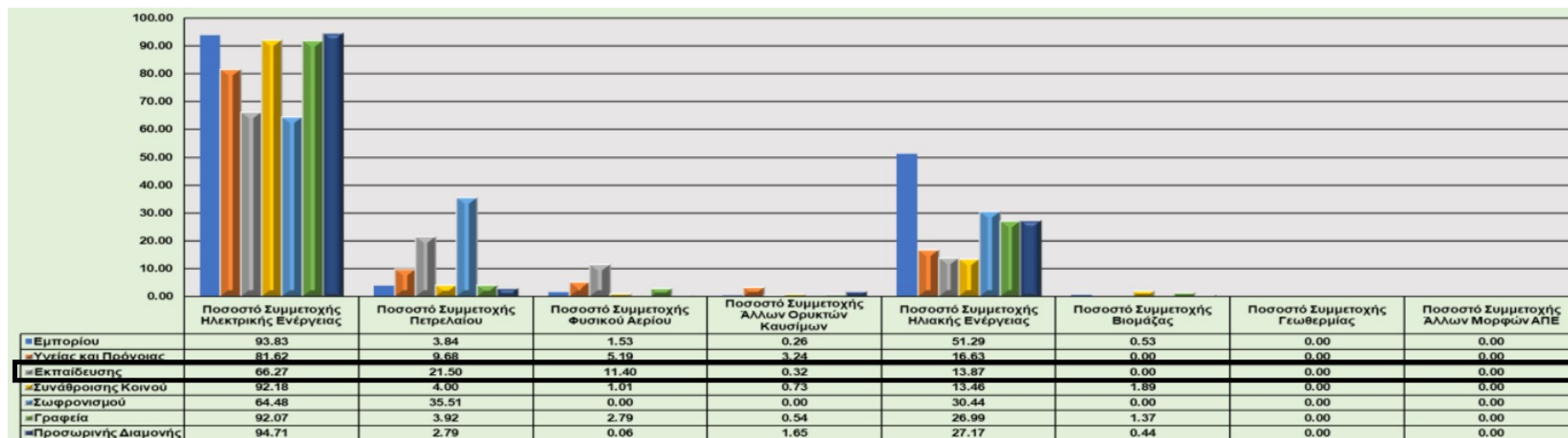


Σχήμα 5.10: Αριθμός ΠΕΑ και ενεργειακή κλάση νεόδμητων και ριζικά ανακαινισμένων κτιρίων τριτογενούς τομέα. Πηγή: (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2020)



Σχήμα 5.11: Ετήσια κατανάλωση ενέργειας νεόδμητων και ριζικά ανακαινισμένων κτιρίων τριτογενούς τομέα. Πηγή: (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2020)

Σημαντική είναι η μεταβολή στο ενεργειακό ισοζύγιο των νεόδμητων ή ανακαινισμένων κτιρίων εκπαίδευσης. Η συμμετοχή της ηλεκτρικής ενέργειας στο ενεργειακό ισοζύγιο είναι ίση με 66,27%, ελαφρά αυξημένη (5%) σε σχέση με το σύνολο των εκπαιδευτικών κτιρίων. Σημαντική μείωση εμφανίζει όμως η συμμετοχή του πετρελαίου, που από το 30,82% πέφτει στο 11,5%. Σημαντική αύξηση εμφανίζεται στην συμμετοχή του φυσικού αερίου στο ενεργειακό ισοζύγιο, η οποία σχεδόν διπλασιάζεται και φτάνει το 11,4%. Η σημαντικότερη αλλαγή στο ενεργειακό ισοζύγιο όμως είναι η αύξηση της χρήσης της ηλιακής ενέργειας, η οποία από σχεδόν μηδενικά ποσοστά φτάνει στο 13,87%. Η συμμετοχή των υπόλοιπων ορυκτών καυσίμων παραμένει χαμηλά, στο 0,37%, ενώ η βιομάζα εκμηδενίζεται όπως και η γεωθερμία και οι άλλες ΑΠΕ. Στο Σχήμα 5.12 φαίνεται το ενεργειακό ισοζύγιο των νεόδμητων και ριζικά ανακαινισμένων κτιρίων του τριτογενούς τομέα. Με μαύρο πλαίσιο επισημαίνονται τα στοιχεία που αφορούν τα κτίρια εκπαίδευσης (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2020).



Σχήμα 5.12: Ενεργειακό ισοζύγιο νεόδμητων και ριζικά ανακαινισμένων κτιρίων τριτογενούς τομέα. Πηγή: (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2020)

Στην ενότητα που έπεται παρουσιάζεται η θεωρητική αποτύπωση ενεργειακής αναβάθμισης στο κτήριο εφαρμογής.

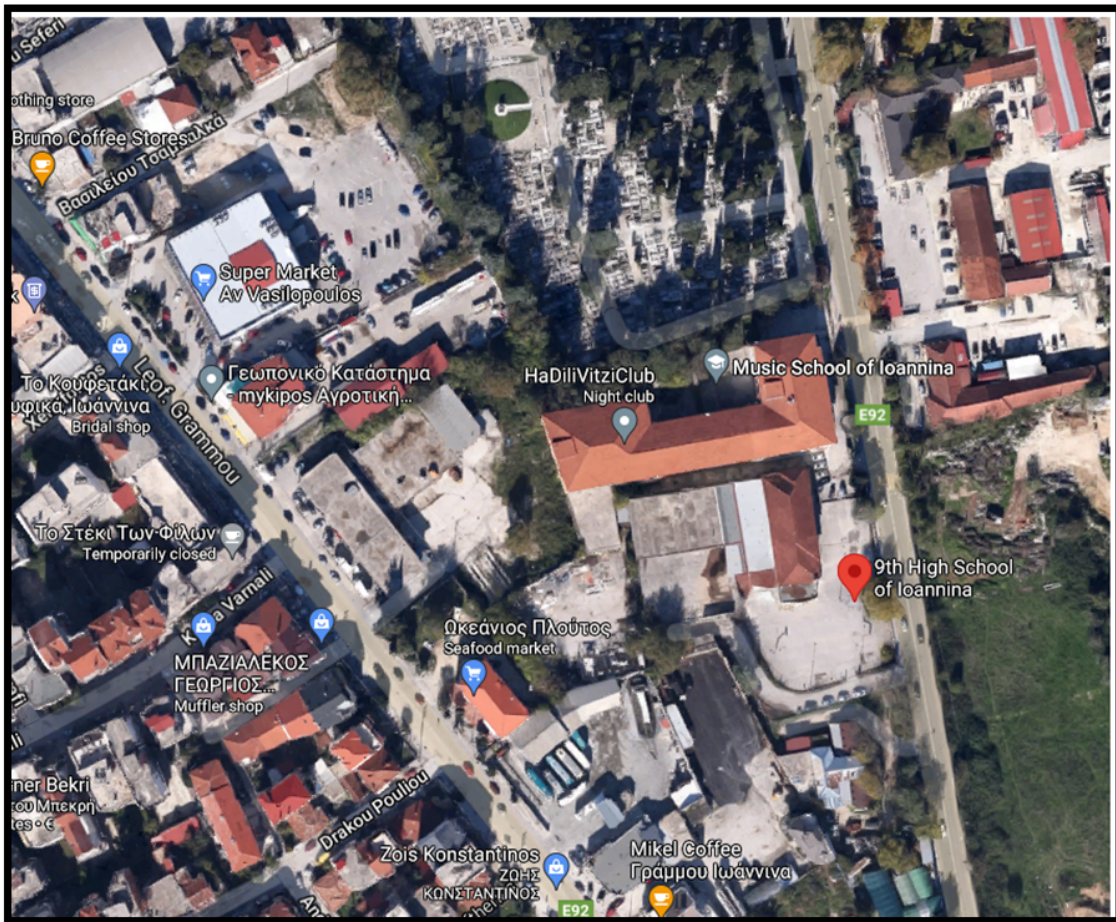
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : Μελέτη Περίπτωσης

Σημειώνεται ότι όλα τα αποτελέσματα που παραθέτονται στην παρούσα περίπτωση ότι δεν συνιστά προϊόν μελέτης περίπτωσης αλλά συλλογής πληροφοριών από επαγγελματίες του κλάδου. Ο στόχος της παρούσας ενότητας είναι να παρουσιάσει τη θεωρητική αποτύπωση ενεργειακής αναβάθμισης, όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα σε ένα κτήριο εφαρμογής. Η ανάλυση της αποτύπωσης της ενεργειακής κατάστασης στην υπάρχουσα εγκατάσταση καθώς και αναβάθμισης μέσω πρότασης μελλοντικών επεμβάσεων γίνεται με την χρήση της μεθοδολογίας του ΚΕνΑΚ, που αποτελεί και την τυποποιημένη μεθοδολογία ενεργειακής αξιολόγησης κτηρίων στην Ελλάδα. Ως μελέτη περίπτωσης λαμβάνεται μια σχολική εγκατάσταση στην περιοχή των Ιωαννίνων (9^ο Γυμνάσιο Ιωαννίνων). Οι γεωγραφικές και κτηριακές λεπτομέρειες της εγκατάστασης μελέτης αποτυπώνονται στην ενότητα αυτή.

6.1 Υφιστάμενη κατάσταση

6.1.1 Τοποθεσία

Όπως σημειώθηκε ανωτέρω, η κτηριακή εγκατάσταση βρίσκεται στην Περιφερειακή ενότητα Ιωαννίνων της Περιφέρειας Ηπείρου, όπως διαμορφώθηκε η αρχιτεκτονική της αυτοδιοίκησης και της αποκεντρωμένης διοίκησης βάσει του προγράμματος Καλλικράτης (Ν. 3852/2010). Η ακριβής γεωγραφική αποτύπωση της κτηριακής εγκατάστασης φέρει συντεταγμένες (39.6831, 20.83764) και απεικονίζεται στο Σχήμα 6.1. Η γεωγραφία της κτηριακής εγκατάστασης έχει μεγάλη σημασία στην ενεργειακή αξιολόγηση, αφού τα περιβαλλοντικά δεδομένα έχουν άμεση συσχέτιση με τις ενεργειακές καταναλώσεις. Με βάση τον ΚΕνΑΚ, η ελληνική επικράτεια διαιρείται σε τέσσερις κλιματικές ζώνες. Στον κάτωθι πίνακα δίνονται οι νομοί που υπάγονται στις τέσσερις κλιματικές ζώνες (από την θερμότερη στην ψυχρότερη).



Σχήμα 6.1: Ακριβής γεωγραφική αποτύπωση κτηριακής εγκατάστασης.

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ	ΝΟΜΟΙ
ΖΩΝΗ Α	Ηράκλειο, Χανιά, Ρέθυμνο, Λασιθί, Κυκλάδες, Δωδεκάνησα, Σάμος, Μεσσηνία, Λακωνία, Αργολίδα, Ζάκυνθος, Κεφαλονιά, Ιθάκη
ΖΩΝΗ Β	Κορινθία, Ηλεία, Αχαΐα, Αιτωλοακαρνανία, Φθιώτιδα, Φωκίδα, Βοιωτία, Αττική, Εύβοια, Μαγνησία, Σποράδες, Λέσβος, Χίος, Κέρκυρα, Λευκάδα, Θεσπρωτία, Πρέβεζα, Άρτα
ΖΩΝΗ Γ	Αρκαδία, Ευρυτανία, Ιωάννινα, Λάρισα, Καρδίτσα, Τρίκαλα, Πιερία, Ημαθία, Πέλλα, Θεσσαλονίκη, Κιλκίς, Χαλκιδική, Σέρρες, Καβάλα, Δράμα, Θάσος, Σαμοθράκη, Ξάνθη, Ροδόπη, Έβρος
ΖΩΝΗ Δ	Γρεβενά, Κοζάνη, Καστοριά, Φλώρινα

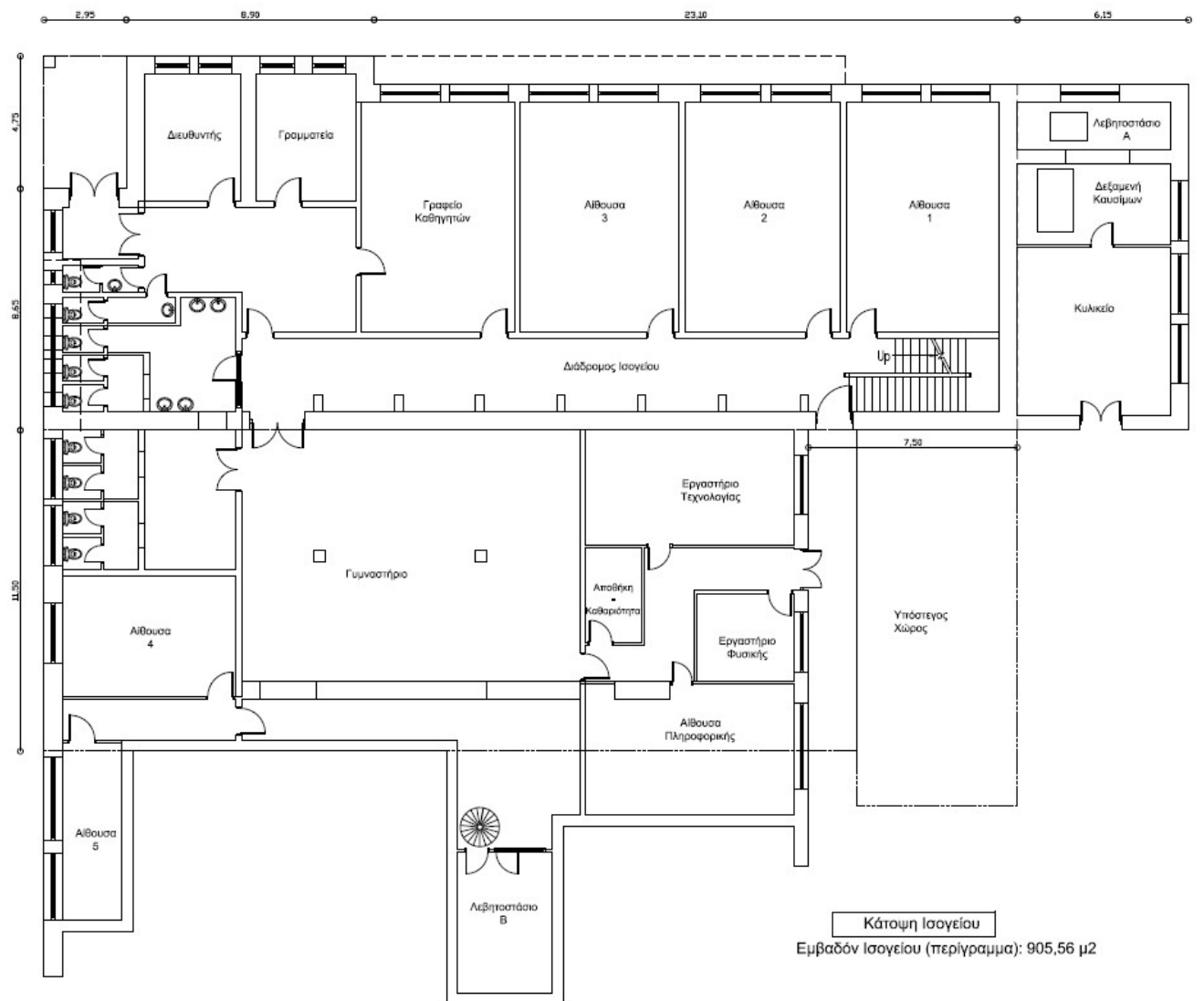
Σχήμα 6.2: Κλιματικές ζώνες κατά ΚΕΝΑΚ.

Τα κλιματικά αρχεία που λαμβάνονται υπόψη για την ενεργειακή αξιολόγηση περιλαμβάνουν τα δεδομένα που χρειάζονται για τους υπολογισμούς της ενεργειακής απόδοσης του κτηρίου (μέση μηνιαία εξωτερική θερμοκρασία, μέση μηνιαία ειδική υγρασία, μέση μηνιαία ολική ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο και σε κεκλιμένα επίπεδα, περίοδο θέρμανσης/ψύξης). Επίσης, σε κάθε νομό, οι περιοχές που βρίσκονται σε υψόμετρο πάνω από 500 μέτρα από την επιφάνεια της θάλασσας εντάσσονται στην επόμενη ψυχρότερη κλιματική ζώνη από εκείνη στην οποία ανήκουν, κάτι που δεν ισχύει οριακά για την περίπτωση εξέτασης, όπου το υψόμετρο είναι στα 480 m.

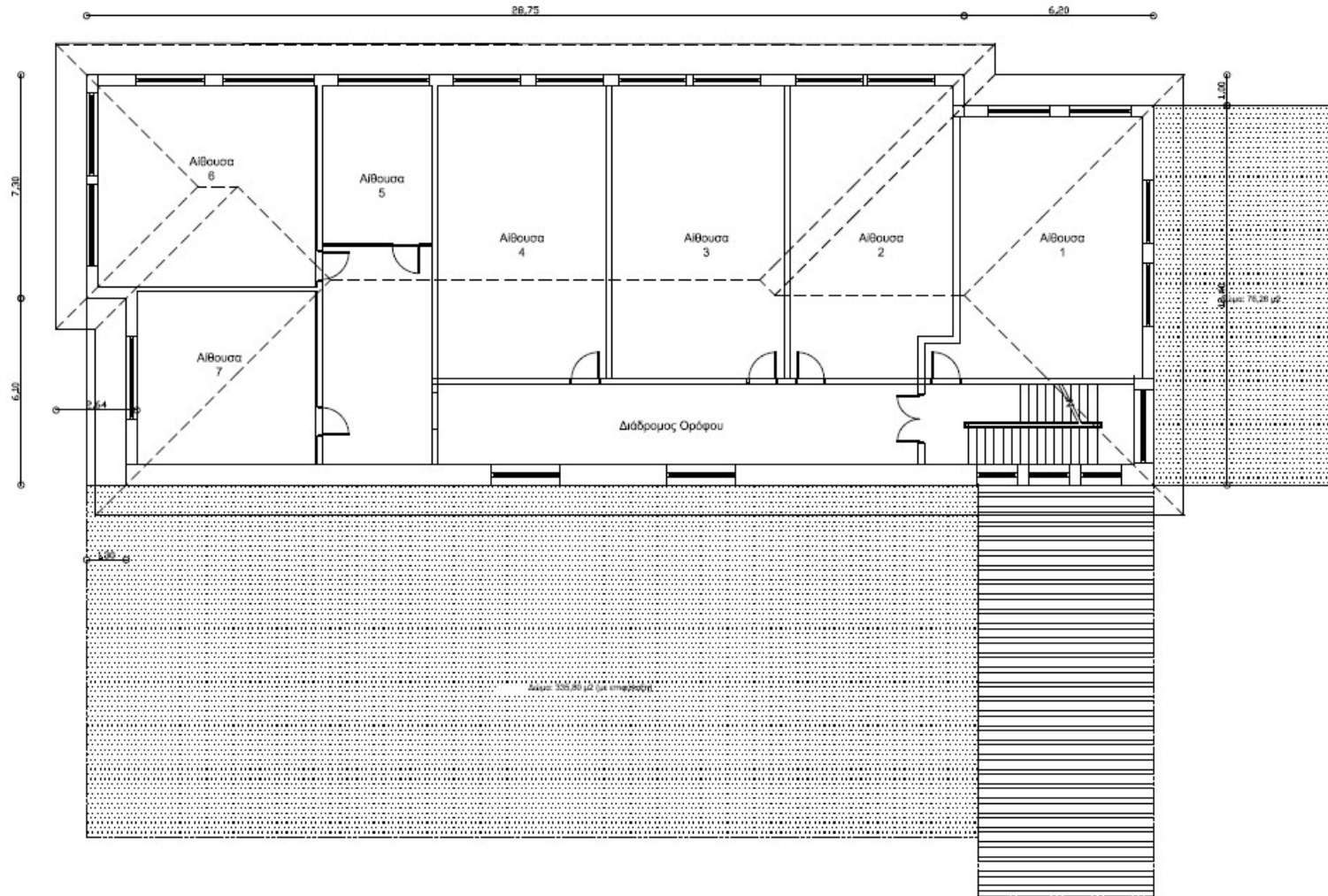
6.1.2 Κατασκευή

Τα χαρακτηριστικά κατασκευής του κτηρίου αποτελούν βασικές παράμετροι για την ενεργειακή του αξιολόγηση, όπως ορίζεται στον ΚΕνΑΚ. Στοιχεία για την χρονολογία, διαστάσεις και υλικά κατασκευής λαμβάνονται υπόψη στην συνολική αξιολόγηση. Η γεωγραφική αποτύπωση της κτηριακής εγκατάστασης παρουσιάζεται στα Σχήματα 6.3 και 6.4. Συνοπτικά, τα στοιχεία κατασκευής της κτηριακής εγκατάστασης έχουν ως εξής:

- Η εγκατάσταση χρονολογείται πριν το 1990 και ορίζεται ως παλιό κτήριο κατά ΚΕνΑΚ.
- Η συνολική εγκατάσταση του ισόγειου είναι 905 m².
- Η συνολική ωφέλιμη εγκατάσταση του ισόγειου είναι ~800 m².
- Η συνολική εγκατάσταση του 1^{ου} ορόφου είναι 455 m² ως ωφέλιμος χώρος εγκατάστασης.
- Το ισόγειο είναι παλαιότερη κατασκευή με λιθοδομή στο δάπεδο και μπετόν.
- Ο 1^{ος} όροφος είναι πρόσθετη νεότερη κατασκευή με μπετόν.
- Τα παράθυρα είναι με μεταλλικό πλαίσιο, ανοιγόμενα και αποτυπώνονται (σε πλήθος και διαστάσεις) στις κατόψεις της εγκατάστασης (28 στο ισόγειο και 22 στον 1^ο όροφο).
- Στα γραφεία του ισόγειου υπάρχει ψευδοροφή, ενώ υπάρχει κεραμοσκεπή, που καλύπτει μέρος του κτηρίου (κτίσμα 1^{ου} ορόφου).
- Η μια πλευρά του κτηρίου (δυτική πλευρά) εφάπτεται γειτονικής κτηριακής εγκατάστασης.



Σχήμα 6.3: Ακριβής αποτύπωση κτηριακής εγκατάστασης - Ισόγειο.



Σχήμα 6.4: Ακριβής αποτύπωση κτηριακής εγκατάστασης - 1^{ος} όροφος.

Με βάση τα ανωτέρω χαρακτηριστικά και λαμβάνοντας υπόψη τις οδηγίες του ΚΕνΑΚ, ορίζονται τρεις ξεχωριστές ζώνες προς εξέταση (κεντρικός χώρος ισόγειου, 1^{ος} όροφος και προσθετή ζώνη όπου υπάρχει μόνο ισόγειος χώρος). Με την αποτύπωση των βασικών δομικών χαρακτηριστικών της κτηριακής εγκατάστασης (τοίχοι, μεσοτοιχίες και παράθυρα) ορίζεται ο σκελετός για την ενεργειακή μοντελοποίηση. Επισημαίνεται ότι ο ΚΕνΑΚ προβλέπει και την προσθήκη επιπλέον δομικών χαρακτηριστικών (όπως πρόβολοι, τέντες, τοιχία και δοκάρια), που δεν αποτελούν αντικείμενο εξέτασης, δεδομένου ότι αυτού του είδους η πληροφορία δεν είναι διαθέσιμη.

6.2 Χρήση κτιρίου

Παράλληλα με τα κτηριακά χαρακτηριστικά, η χρήση του κτιρίου αποτελεί βασική παράμετρο εξέτασης κατά την ενεργειακή αξιολόγηση. Με βάση τον ΚΕνΑΚ, η χρήση του κτιρίου ορίζονται στην Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017 (§1.5. Κατηγορίες Κτηρίων. Πίνακας 1.5) - Ταξινόμηση των κτηρίων σύμφωνα με τη χρήση τους για τις ανάγκες της παρούσας τεχνικής οδηγίας:

Βασικές κατηγορίες κτηρίων	Χρήσεις κτηρίων που περιλαμβάνονται στις κατηγορίες
Κατοικίας	Μονοκατοικία, παλυκατοικία (κτήριο με περισσότερα του ενός ανεξάρτητα διαμερίσματα).
Προσωρινής διαμονής	Ξενοδοχείο, ξενώνας, οικτροφείο και κοιτώνας.
Συνάθροισης κοινού	Χώρος συνεδρίων, χώρος εκθέσεων, μουσείο, χώρος συναυλιών, θέατρο, κινηματογράφος, αίθουσα δικαστηρίων, κλειστό γυμναστήριο, κλειστό κολυμβητήριο, εστιατόριο, ζαχαροπλαστείο, καφενείο, τράπεζα, αίθουσα παλλαπιών χρήσεων.
Εκπαίδευσης	Νηπιαγωγείο, πρωτοβάθμια εκπαίδευση, δευτεροβάθμια εκπαίδευση, τριτοβάθμια εκπαίδευση, αίθουσα διδασκαλίας, φροντιστήριο.
Υγείας και κοινωνικής πρόνοιας	Νασοκομείο, κλινική, αγροτικό ιατρείο, υγειονομικός σταθμός, κέντρο υγείας, ιατρείο, ψυχιατρείο, ίδρυμα ατόμων με ειδικές ανάγκες, ίδρυμα χρονίως πασχόντων, οίκος ευγηρίας, βρεφοκομείο, βρεφικός σταθμός, παιδικός σταθμός.
Σωφρονισμού	Κρατητήριο, αναμορφωτήριο, φυλακή.
Εμπορίου	Κατάστημα, εμπορικό κέντρο, αγοράς και υπεραγοράς, φαρμακείο, κουρείο και κομμωτήριο, ινστιτούτο γυμναστικής.
Γραφείων	Γραφείο, βιβλιοθήκη.

Σχήμα 6.5: Ακριβής αποτύπωση χρήσης της κτηριακής εγκατάστασης. Πηγή: (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017)

Η περίπτωση εξέτασης είναι κτήριο δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, ενιαίας χρήσης όπου ορίζονται και οι τυπικές ώρες λειτουργίας με γνώμονα τα εξής χαρακτηριστικά: τη χρήση του κτηρίου, τον ανθρώπινο παράγοντα, δηλαδή από τις ιδιαιτερότητες που προσδίδουν σε κάθε γενική χρήση κτηρίου οι επιλογές και οι συνήθειες των χρηστών του, τις τοπικές συνθήκες, κλιματικές, λειτουργικές (ωράρια λειτουργίας) κ.ά. Για το κτήριο αναφοράς ορίζεται το τυπικό προφίλ χρήσης σε κτήριο δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης (13 ώρες/ημέρα, 5 μέρες/εβδομάδα, 9 μήνες/έτος), ενώ για τους υπολογισμούς των θερμικών και ψυκτικών φορτίων λαμβάνονται συγκεκριμένες περιόδους για τη θέρμανση και ψύξη ανάλογα την κλιματική ζώνη (για την Ζώνη Γ και Δ η περίοδος θέρμανσης είναι από την 15 Οκτωβρίου μέχρι και τις 30 Απριλίου και η περίοδος ψύξης από την 1^η Ιουνίου μέχρι και τις 31 Αυγούστου).

6.3 Ενεργειακές καταναλώσεις

Με την ανάλυση των επιμέρους στοιχείων της κτηριακής εγκατάστασης, η ανάλυση των ενεργειακών καταναλώσεων αποτελεί στοιχείο εξέτασης. Στην περίπτωση αυτή η ανάλυση που υλοποιείται έχει διττό χαρακτήρα. Αφενός ανάλυση από κάτω προς τα πάνω με την συλλογή και ανάλυση κατά ΚΕνΑΚ των καταναλώσεων των επιμέρους φορτίων και αφετέρου περαιτέρω συγκριτική αξιολόγηση με τις πραγματικές μετρήσεις όπως είναι διαθέσιμες από την κτηριακή εγκατάσταση. Το δεύτερο σκέλος είναι ιδιαίτερα σημαντικό αφού το ΚΕνΑΚ από μόνο του καταγραφεί την θεωρητική απόδοση ενός κτηρίου, η οποία όμως θα πρέπει να συσχετίζεται με την πραγματική απόδοση όπως αυτή καταγράφεται ex-post από τις πραγματικές ενεργειακές μετρήσεις στην κτηριακή εγκατάσταση.

6.3.1 Ηλεκτρικά φορτία

Η ανάλυση των ενεργειακών καταναλώσεων για τα ηλεκτρικά φορτία της εγκατάστασης αποτυπώνεται στην ενότητα αυτή. Τα βασικά ηλεκτρικά φορτία της εγκατάστασης, όπως ορίζονται και είναι διαθέσιμα για το κτήριο εφαρμογής, είναι ο φωτισμός και λοιπές ενεργειακές καταναλώσεις χρήσης για εκπαιδευτικούς σκοπούς. Εγκαταστάσεις air condition για ψύξη και θερμοσίφωνες για ζεστό νερό χρήσης δεν είναι διαθέσιμες στο χώρο. Τα αναλυτικά στοιχεία για τις φωτιστικές εγκαταστάσεις (ως το βασικό φορτίο κατανάλωσης) είναι:

- **65 φωτιστικά τετραγωνικού πλαισίου(4x4) –χαρακτηριστικών18W/10– Γραφεία**
- Τουαλέτες καθηγητών – 2x10W
- Τουαλέτες μαθητών 4 φωτιστικά διπλά – 36W/865
- 32 φωτιστικά διαδρόμου (τετραγωνικού πλαισίου 8x4) -- Διάδρομος ισογείου
- 16 φωτιστικά διπλά 36W/865 --Αίθουσα εκδηλώσεων
- **28 φωτιστικά διπλά 36W/865 – Αίθουσες**
- 2 φωτιστικά μονά 36W/865-- Σκάλα, πλατύσκαλο
- **21 φωτιστικά διπλά 36W/865—Αίθουσες**
- 3 φωτιστικά διπλά 36W/865 -- Διάδρομος 1^{ου} ορόφου
- **54 φωτιστικά διπλά – χαρακτηριστικά (TL-D) 36W/865 – Αίθουσες**
- 19 διπλά φωτιστικά 36W/865 για λοιπές χρήσεις

Με βάση τις διαθέσιμες πληροφορίες, λαμβάνονται υπόψη μόνο οι ζώνες συνεχούς χρήσης στη μοντελοποίηση (με έντονο χρωματισμό). Η συνολική ισχύς για φωτισμό ανέρχεται σε 11,20 KW, με το προφίλ ηλεκτρικής κατανάλωσης στην εγκατάσταση κατά ΚΕνΑΚ να διαμορφώνεται ως εξής:

Πίνακας 6.1: Προφίλ ηλεκτρικής κατανάλωσης στην εγκατάσταση - ΚΕνΑΚ.

Ενεργειακή κατανάλωση (kWh/m ²)	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μάι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ετήσιο
Φωτισμός	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	0.0	0.0	0.0	1.6	1.6	1.6	1.6	14.0

Σημειώνεται ότι η ανάλυση λαμβάνει υπόψη την παροχή φυσικού φωτισμού, με γνώμονα τις διάφανες επιφάνειες (παράθυρα) ως προς την προσομοίωση και παράλληλα τις ανάγκες οπτικής άνεσης, που καθορίζονται από το πρότυπο EN 12464-1 ανάλογα τη χρήση των χώρων. Για χώρους δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης η απαίτηση είναι τα 300 LUX, ενώ για χώρους όπως βιβλιοθήκες, αμφιθέατρα κτλ. είναι τα 500 LUX. Στη μελέτη αναφοράς λαμβάνονται τα 300 LUX ως τυπική απαίτηση με γνώμονα την βασική χρήση της εγκατάστασης.

Παράλληλα αναφέρεται και η συσχέτιση με τις καταναλώσεις, όπως ορίζονται από τις πραγματικές μετρήσεις διαθέσιμες από τους λογαριασμούς, όπως παρουσιάζονται στον κάτωθι πίνακα. Ο μέσος όρος κατανάλωσης για τα έτη 2018 και 2019 είναι στα 10790 KWh ανά έτος. Από τα ανωτέρω είναι εμφανές ότι υπάρχει μια βασική κατανάλωση στα 400-500 KWh ανά μήνα, που ορίζεται για τις βασικές λειτουργίες της κτηριακής εγκατάστασης και η διαφορά στους υπολοίπους μήνες ορίζεται για τον προσθετό φωτισμό της εγκατάστασης κατά τη λειτουργική χρήση του κτηρίου (π.χ. σχολικές αίθουσες). Για την συγκριτική αξιολόγηση με τα πραγματικά μεγέθη πρέπει να ληφθεί υπόψη η πραγματική διάσταση των χώρων με τις διατάξεις κατανάλωσης, οπότε στην ουσία η μέτρηση λαμβάνει μόνο τους συνεχώς ενεργούς χώρους του κτηρίου (αίθουσες, διάδρομοι και γραφεία με συνολική έκταση 700 m²). Στην περίπτωση αυτή, το ανοιγμένο ανά m² μέγεθος κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας είναι 15.4 KWh/m², που είναι πολύ κοντά στην θεωρητική κατά ΚΕνΑΚ κατανάλωση του υφιστάμενου κτηρίου.

Πίνακας 6.2: Προφίλ ηλεκτρικής κατανάλωσης στην εγκατάσταση – ΚΕνΑΚ.

Περίοδος Εξέτασης (Μήνας & Έτος)					Κατανάλωση	
01 ^{ος}	2018/2019	–	02ος	2018/2019	1000	KWh
02 ^{ος}	2018/2019	–	03ος	2018/2019	1226	KWh
03 ^{ος}	2018/2019	–	04ος	2018/2019.	1102	KWh
04 ^{ος}	2018/2019	–	05ος	2018/2019	577	KWh
05 ^{ος}	2018/2019	–	06ος	2018/2019	614	KWh
06 ^{ος}	2018/2019	–	07ος	2018/2019	498	KWh
07 ^{ος}	2018/2019	–	08ος	2018/2019	400	KWh
08 ^{ος}	2018/2019	–	09ος	2018/2019	742	KWh
09 ^{ος}	2018/2019	–	10ος	2018/2019	950	KWh
10 ^{ος}	2018/2019	–	11ος	2018/2019	1151	KWh
11 ^{ος}	2018/2019	–	12ος	2018/2019	1349	KWh
12 ^{ος}	2018/2019	–	01ος	2019/2020	1181	KWh

6.3.2 Θερμικά φορτία

Για τις θερμικές ανάγκες του κτηρίου υπάρχουν διαθέσιμοι 2 λέβητες (1 λέβητας μεγάλος με θερμική ικανότητα 80.000 ικανότητα/h και ένας 1 λέβητας μικρός 15000 ικανότητα/h). Με βάση τα μεγέθη αυτά και τα δεδομένα για την ροή του θερμικού φορτίου στην εγκατάσταση, αποτυπώνεται κάτωθι το προφίλ κατανάλωσης για την θέρμανση του κτηρίου κατά ΚΕνΑΚ.

Πίνακας 6.3: Προφίλ κατανάλωσης θέρμανσης στην εγκατάσταση – Μετρήσεις

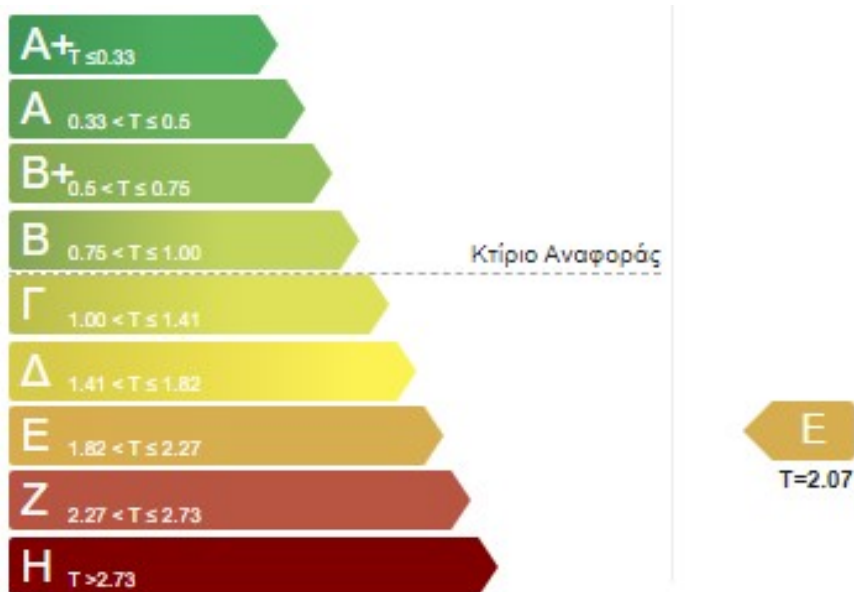
Ενεργειακή κατανάλωση (kWh/m ²)	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μάι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ετήσιο
Θέρμανση	34.7	22.8	10.7	4.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	12.4	31.6	118.8

Η αντίστοιχη συνολική κατανάλωση ενέργειας πετρελαίου για θέρμανση είναι στα 115.0 KWh/m². Παράλληλα είναι διαθέσιμα και τα ετήσια στοιχεία κατανάλωσης πετρελαίου, που είναι 8,500 λίτρα/έτος, ποσό που αντιστοιχεί σε κατανάλωση ~75600 KWh (1 λίτρο πετρέλαιο έχει θερμιδικό ισοδύναμο στις 8.9 k) πρωτογενούς ενέργειας. Με αναγωγή στους χώρους θέρμανσης του κτηρίου (γραφεία και αίθουσες) προκύπτει η ανά m² κατανάλωση στα 111.25 KWh/m², που είναι πολύ κοντά στην θεωρητική κατά ΚΕνΑΚ κατανάλωση του υφιστάμενου κτηρίου.

6.4 Ενεργειακή κατάταξη υφιστάμενου κτιρίου

Με γνώμονα την ανάλυση των βασικών καταναλώσεων της κτηριακής εγκατάστασης, έπεται η ενεργειακή αξιολόγηση του κτηρίου. Όπως ορίζεται από το πρόγραμμα προσομοίωσης, το κτήριο κατατάσσεται στην κατηγορία Ε και βαθμό απόδοσης 2.07. Τα επιμέρους μεγέθη πρωτογενούς κατανάλωσης, όπως ορίζονται από τον ΚΕνΑΚ, αναφέρονται στον ακόλουθο πίνακα. Είναι εμφανές ότι η ενεργειακή κατάταξη του κτηρίου χρήζει βελτίωσης με κατάλληλες παρεμβάσεις ενεργειακής εξοικονόμησης. Από το σύνολο των δράσεων που ορίζονται στον ΚΕνΑΚ, αναφέρονται οι πιο σχετικές/άμεσα υλοποιήσιμες. Πιο συγκεκριμένα:

- 1) Οι παρεμβάσεις στη δομή του κτηρίου είναι εκτός πεδίου εφαρμογής.
- 2) Οι παρεμβάσεις πρέπει να στοχεύουν στην μεγάλη κατανάλωση του κτηρίου (θέρμανση), όπου υπάρχει και η μεγάλη απόκλιση με το κτήριο αναφοράς.
- 3) Οι παρεμβάσεις στοχεύουν στις υπάρχουσες καταναλώσεις της κτηριακής εγκατάστασης (ανάγκη για ψύξη και ζεστό νερό χρήσης δεν αποτελούν αντικείμενο εξέτασης).
- 4) Η εγκατάσταση συστημάτων παραγωγής ενέργειας είναι επίσης ένα σενάριο που ζητήθηκε από τον διαχειριστή του κτηρίου.



Σχήμα 6.6: Αποτύπωση απόδοσης της κτηριακής εγκατάστασης.

Πίνακας 6.4: Προφίλ πρωτογενούς ενέργειας στην εγκατάσταση

Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ανά χρήση (kWh/m ²)		
Τελική χρήση	Κτίριο αναφοράς (RR)	Υπάρχον κτίριο (EP)
Θέρμανση	54.1	137.6
Φωτισμός	31.9	40.5
Σύνολο (kWh/m ²)	86.0	178.1

Με γνώμονα τα ανωτέρω, οι σχετικές παρεμβάσεις περιγράφονται στην επόμενη ενότητα. Παράλληλα με τις δυνητικές τεχνικές παρεμβάσεις, αναφέρεται κάτωθι η οικονομική αξιολόγηση αυτών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 : *Ενεργειακή Αναβάθμιση Κτιρίου*

7.1 Εισαγωγή

Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή, ο στόχος της παρούσας ενότητας είναι να εξετάσουν οι σχετικές παρεμβάσεις που δύναται να υλοποιηθούν στην κτηριακή εγκατάσταση για τη βελτίωση της ενεργειακής της απόδοσης. Παράλληλα με τις δυνητικές τεχνικές παρεμβάσεις, παρουσιάζεται στο σημείο αυτό η οικονομική αξιολόγηση αυτών. Για το σκοπό αυτό της οικονομικής αξιολόγησης, αποτυπώνονται συνοπτικά οι πιο τυπικοί δείκτες αξιολόγησης.

Η Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ, Net Present Value - NPV) είναι το άθροισμα των παρούσων αξιών των εισερχόμενων και εξερχόμενων ταμειακών ροών κατά τη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου. Μετράει το πλεόνασμα ή την έλλειψη ταμειακών ροών σε όρους παρούσας αξίας, σε σχέση με το κόστος κεφαλαίων (cost of funds) που χρησιμοποιήθηκαν για μια επένδυση. Η ΚΠΑ είναι ένα χρήσιμο εργαλείο, που χρησιμοποιείται στην οικονομική επιστήμη (economics), στα χρηματοοικονομικά (finance) και στη λογιστική (accounting) για να καθοριστεί αν μια επένδυση ή ένα έργο κρίνεται συμφέρον για να χρηματοδοτηθεί ή όχι. Τα βήματα για τον υπολογισμό της ΚΠΑ είναι:

- Καθορισμός όλων των ταμειακών ροών που συνδέονται με ένα έργο ή μια επένδυση καθώς και το χρονικό διάστημα κατά το οποίο αυτές θα προκύψουν.
- Καθορισμός του κατάλληλου προεξοφλητικού επιτοκίου, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της παρούσας αξίας των μελλοντικών ταμειακών ροών.

Η μέθοδος υπολογισμού είναι (Καντιάνης, 2021):

$$\text{ΚΠΑ} = \sum_{t=1}^N \frac{\text{Ταμειακές Ροές}}{(1+r)^t} - \text{Αρχική Επένδυση} \quad \text{Σχέση 7.1}$$

όπου t η χρονική περίοδος, N η χρονική διάρκεια της επένδυσης και r το προεξοφλητικό επιτόκιο. Σε σχέση με την επένδυση:

- μηδενική καθαρή παρούσα αξία (ΚΠΑ = 0) σημαίνει ότι τα έσοδα από το έργο αποπληρώνουν την αρχική επένδυση, χωρίς όφελος ή ζημιά για τον επενδυτή.
- θετική καθαρή παρούσα αξία (ΚΠΑ>0) σημαίνει ότι η επένδυση είναι κερδοφόρα.
- αρνητική καθαρή παρούσα αξία (ΚΠΑ<0) σημαίνει ότι η επένδυση καταλήγει σε ζημιά.

Ένας άλλος δείκτης που χρησιμοποιείται είναι ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (EBA, Internal Rate of Return, IRR) ως το προεξοφλητικό επιτόκιο, το οποίο εξισώνει την παρούσα αξία των πρόσθετων ετήσιων ταμειακών ροών, οι οποίες προέρχονται από το πρόγραμμα, με το αρχικό κόστος του προγράμματος. Με άλλα λόγια, ο EBA είναι το προεξοφλητικό επιτόκιο, το οποίο μηδενίζει την καθαρή παρούσα αξία του προγράμματος. Ο EBA μιας επένδυσης υπολογίζεται ως εξής (Καντιάνης, 2021):

$$CF_0 = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1 + IRR)^t} \quad \text{Σχέση 7.2}$$

όπου CF_0 η πρόσθετη ετήσια ταμειακή ροή (η ταμειακή ροή μπορεί να πάρει θετική ή αρνητική τιμή) έτους t και $t=0, 1, 2, \dots, n$ και IRR ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης.

Κατόπιν της συνοπτικής παρουσίασης των επιμέρους δεικτών, έπεται η αξιολόγηση των πιθανών δράσεων εξοικονόμησης.

7.2 Ενεργειακή αναβάθμιση – Θερμομόνωση

Η πιο άμεση μορφή ενεργειακής αναβάθμισης είναι η ενίσχυση της θερμομόνωσης της εγκατάστασης, παράλληλα με την αλλαγή των κουφωμάτων στα παράθυρα. Τα δεδομένα παρέχονται τυποποιημένα από το πρόγραμμα προσομοίωσης με βάση τα στοιχεία που ορίζονται στον οδηγό του προγράμματος Εξοικονομώ-Αυτονομώ (Πίνακας 4.1.1 *Ανώτατα όρια δαπανών των επιλέξιμων παρεμβάσεων*). Παράλληλα, για τα κουφώματα οι πιο συχνές επεμβάσεις σύμφωνα με τις απαιτήσεις του ΚΕνΑΚ (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε., Πίνακες 3.13α, 3.13β και 3.13γ) και τον Οδηγό του Εξοικονομώ-Αυτονομώ ορίζονται στο πρόγραμμα προσομοίωσης. Και στις δυο περιπτώσεις, η αλλαγή στον συντελεστή θερμοχωρητικότητας U , λόγω της επιλογής υλικών, αποτελεί την παράμετρο που επηρεάζει τις ανάγκες για θέρμανση του χώρου και κατ' επέκταση την κατανάλωση καυσίμων για θέρμανση. Στην παρούσα μελέτη περίπτωσης η επιλογή της

θερμομόνωσης είναι αντικείμενο εξέτασης. Από την λίστα παρεμβάσεων, επιλέγεται μόνωση των εξωτερικών τοίχων. Το U αρχικοποιείται με την τιμή $U=0.5 \text{ W/m}^2$ ως μια τιμή για τα σύγχρονα θερμομονωτικά υλικά. Με την παρέμβαση αυτή, η τιμή της ενεργειακής απόδοσης του κτηρίου είναι 1,75 στην κατηγορία Δ με επιμέρους κατανάλωση για τη θέρμανση της εγκατάστασης.

Πίνακας 7.1: Προφίλ πρωτογενούς ενέργειας στην εγκατάσταση – Σενάριο 1.

Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ανά χρήση (kWh/m ²)		
Τελική χρήση	Κτίριο αναφοράς (RR)	Υπάρχον κτίριο (EP)
Θέρμανση	54.1	110.6
Φωτισμός	31.9	40.5
Σύνολο (kWh/m ²)	86.0	151.1

Πίνακας 7.2: Αποτελέσματα τεχνοοικονομικής ανάλυσης – Σενάριο 1.

Έτος	Έσοδα (ευρώ)
0	-9000.00
1	1530.00
2	1545.30
3	1560.75
4	1576.36
5	1592.12
6	1608.05
7	1624.13
8	1640.37
9	1656.77
10	1673.34
11	1690.07
12	1706.97
13	1724.04
14	1741.28
15	1758.70
16	1776.28
17	1794.05
18	1811.99
19	1830.11
20	1848.41
NPV	11,104.49
IRR (7 ΕΤΗ)	5%

Ακολούθως παρέχεται η τεχνοοικονομική απόδοση της εγκατάστασης. Οι βασικές παράμετροι είναι:

- Όπως αναφέρθηκε και ανωτέρω, η εξοικονόμηση για θέρμανση είναι στα 18%, που αντιστοιχεί σε 20% εξοικονόμηση θέρμανσης από πετρέλαιο.
- Κόστος πετρελαίου μεταξύ 0,9 – 1,1 ευρώ /λίτρο².
- Θερμομόνωση μόνο στους τοίχους που εκτίθενται στον εξωτερικό αέρα, με συνολική διάσταση ~500 m².³
- Κόστος θερμομόνωσης ανά m²: ~18 €/m² ως μια ενδεικτική τιμή για την κτηριακή επέμβαση σε μεγάλη εγκατάσταση.
- Για την αξιολόγηση της επένδυσης ορίζεται το NPV-rate: 0.05 ενώ για το IRR η περίοδος αξιολόγησης ορίζεται στα 7 έτη.

Αναφέρονται ανωτέρω τα αποτελέσματα της τεχνοοικονομικής ανάλυσης για μια περίοδο 20 ετών. Έτος 0 είναι το έτος αναφοράς, οπότε γίνεται η επένδυση. Από τα αποτελέσματα διαφαίνεται ότι το κόστος για την αναβάθμιση είναι περιορισμένο, ενώ παράλληλα εξασφαλίζεται και η βιωσιμότητα της επένδυσης. Γενικά, η εφαρμογή μέτρων θερμομόνωσης ορίζεται ως μια μη παρεμβατική παρέμβαση, που υπό προϋποθέσεις μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικά ποσοστά εξοικονόμησης ενέργειας και για τον λόγο αυτό προτιμάται σε παλαιές εγκαταστάσεις. Πρέπει να τονιστεί ότι, μολονότι η αλλαγή κουφωμάτων ή θερμομόνωση του κτηριακού σκελετού αποτελούν τις πιο άμεσες δράσεις εξοικονόμησης, δεν επαρκούν για την υιοθέτηση της θεώρησης του σχεδόν μηδενικού κτηρίου. Η αλλαγή του συστήματος θέρμανσης είναι απαραίτητη δράση για την επίτευξη του nZEB. Στο πλαίσιο αυτό εξετάζεται η εγκατάσταση της μονάδας θέρμανσης στην επόμενη ενότητα.

² <https://cutt.ly/XQXsNpf> (11/08/2021)

³ <https://cutt.ly/NQXsC61> (11/08/2021)

7.3 Ενεργειακή αναβάθμιση συστήματος θέρμανσης

Στην ενότητα αυτή γίνεται η διερεύνηση της κάλυψης των αναγκών θέρμανσης με εναλλακτικούς τρόπους. Περιπτώσεις, όπως δυνατότητας χρήσης ΑΠΕ, συστήματα γεωθερμίας ή αντλίες θερμότητας δύναται να αποτελέσουν αντικείμενο εξέτασης. Δεδομένης της χρήσης της στέγης για εγκατάσταση Φ/Β και μη δυνατότητας χρήσης γεωθερμίας, εξετάζεται η περίπτωση αντικατάστασης της θέρμανσης με αντλία θερμότητας, που αποτελεί πλέον μια διαδεδομένη και κατάτι οικονομική προσέγγιση.

Σημειώνεται ότι το μέγεθος της εγκατάστασης απαιτεί την ορθή διαστασιολόγηση, ώστε να υπολογιστούν οι πραγματικές ανάγκες θέρμανσης. Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα, το μέγεθος των λεβήτων είναι ~110 KW, όμως η χρήση του συστήματος αντιστοιχεί σε πραγματική ανάγκη ~75KW συστήματος (λαμβάνοντας μια τυπική λειτουργία για 6.5 μήνες/έτος, 8 ώρες/ημέρα, 20 μέρες/μήνα). Πλέον διατίθενται τυποποιημένες μονάδες των 25 KW, οπότε θεωρείται η εγκατάσταση 3 αντλιών θερμότητας 25 KW έκαστη. Το κύριο χαρακτηριστικό της αντλίας είναι ο δείκτης απόδοσης COP= 4.41, οπότε και η ηλεκτρική κατανάλωση για την περίοδο τους έτος είναι ~6,000 KWh-e/μονάδα. Σε ετήσια βάση η συνολική κατανάλωση είναι ~18,000 KWh-e για τις τρεις μονάδες. Πρέπει να τονιστεί ότι η μελέτη αυτή λαμβάνει υπόψη όχι τις θεωρητικές ανάγκες της εγκατάστασης αλλά την πραγματική χρήση του συστήματος με βάση τις ετήσιες καταναλώσεις. Στην περίπτωση αυτή, η ενεργειακή απόδοση της εγκατάστασης παρατίθεται στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 7.3: Προφίλ πρωτογενούς ενέργειας στην εγκατάσταση –Σενάριο 2.

Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ανά χρήση (kWh/m ²)		
Τελική χρήση	Κτίριο αναφοράς (RR)	Υπάρχον κτίριο (EP)
Θέρμανση	54.1	91.5
Φωτισμός	31.9	40.5
Σύνολο (kWh/m ²)	86.0	131.0

Με την αλλαγή της μονάδας θέρμανσης, η νέα ενεργειακή κλάση κατά ΚΕνΑΚ είναι πάλι στην κατηγορία Δ, με βαθμό απόδοσης 1.52.

Ακολούθως αποτυπώνεται η τεχνοοικονομική μελέτη για το σύστημα. Η μελέτη λαμβάνει το κόστος εξοπλισμού και εγκατάστασης και ορίζεται στα ~30.000 ευρώ⁴, ενώ ~5.000 ευρώ είναι το κόστος εγκατάστασης, που εμπειρικά ανέρχεται σε 15-20% του κόστους εξοπλισμού, μαζί με τις τροποποιήσεις στη διάταξη,. Άλλες παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη:

- Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ 0,16 €/KWh - 0,20 €/KWh.⁵
- Κόστος πετρελαίου μεταξύ 0,9 – 1,1 €/liter.
- Χρονική περίοδος αξιολόγησης ορίζεται τα 15 έτη, με NPV-rate= 5%.
- Αξιολόγηση IRR της επένδυσης τα 7 χρονιά.

Πίνακας 7.4: Αποτελέσματα τεχνοοικονομικής ανάλυσης – Σενάριο 2.

Έτος	Κόστος Θέρμανσης		Έσοδα (ευρώ)
	Πετρέλαιο	Ηλεκτρισμός	
0			-35000
1	7650	3240	4410
2	7727	3240	4487
3	7804	3240	4564
4	7882	3240	4642
5	7961	3240	4721
6	8040	3240	4800
7	8121	3240	4881
8	8202	3240	4962
9	8284	3240	5044
10	8367	3240	5127
11	8450	3240	5210
12	8535	3240	5295
13	8620	3240	5380
14	8706	3240	5466
15	8793	3240	5553
NPV			15,063.93
IRR (7 ΕΤΗ)			-2%

Τα αποτελέσματα αναφέρονται στον ανωτέρω πίνακα. Όπως φαίνεται, το κόστος του εξοπλισμού είναι αρκετά υψηλό, ώστε να υπάρξει μια κερδοφόρα επένδυση. Σε κάθε περίπτωση, το NPV είναι

⁴ <https://cutt.ly/LQXdtCY> (11/08/2021). Αναζητώντας στην αγορά, μια τυπική αντλία με ΦΠΑ ανέρχεται σε κόστος ~12.000€, οπότε το κόστος ανέρχεται σε ~30.000€ για τρεις αντλίες.

⁵ <https://cutt.ly/QQXdBNc> (11/08/2021).

θετικό, οπότε πρέπει να ληφθεί υπόψη και το περιβαλλοντικό ισοζύγιο για τη σημαντικότητα της επένδυσης.

7.4 Φωτοβολταϊκό σύστημα για ηλεκτροπαραγωγή

Παράλληλα με τις δράσεις εξοικονόμησης, όπως αναφέρθηκαν ανωτέρω, το σενάριο τοπικής παραγωγής (εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος) εξετάζεται ως επέμβαση ενεργειακής αναβάθμισης. Πρέπει να τονιστεί ότι η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας είναι χαμηλή στην κτηριακή εγκατάσταση, οπότε δυο σενάρια επέμβασης εξετάζονται:

- I. εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος μόνο
- II. εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος σε συνδυασμό με αντλία θερμότητας

Σε κάθε περίπτωση, κατά ΚΕνΑΚ το φωτοβολταϊκό δύναται να καλύπτει την συνολική ηλεκτρική κατανάλωση. Για τον λόγο αυτό επιλέγονται:

- Τύπος, επιφάνεια (m^2), ισχύς (KW)
- Συντελεστής αξιοποίησης ηλιακής ακτινοβολίας κατά Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1, λαμβάνοντας υπόψη και τη δυνατότητα ενεργειακού συμψηφισμού. Στην περίπτωση εξέτασης λαμβάνεται υπόψη η δυνατότητα συμψηφισμού, ώστε η αναγωγή των καταναλώσεων να γίνεται σε ετήσια και όχι μηνιαία βάση.
- Προσανατολισμός: Βοράς 0° , Ανατολή 90° , Νότος 180° και Δύση 270° - Ο βέλτιστος προσανατολισμός για τα Φ/Β είναι ο νότιος (180°), αλλά στην περίπτωση εξέτασης τοποθέτηση δυτικά είναι η αναγκαία εγκατάσταση, οπότε συνοδεύεται με μια απώλεια - 15%
- Κλίση: Συνήθως για την Ελλάδα και για ετήσια χρήση η κλίση κυμαίνεται μεταξύ 25° - 31°

Σχετικά με τον συντελεστή αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας από Φ/Β, ο μέσος ετήσιος συντελεστής αξιοποίησης της ηλιακής ακτινοβολίας δείχνει τη μέση ετήσια απόδοση με την οποία το Φ/Β μετατρέπει την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια. Η μέση ετήσια απόδοση μιας Φ/Β εγκατάστασης συνεκτιμάται από:

- Την ονομαστική απόδοση των Φ/Β στοιχείων που δίνει ο κατασκευαστής. Η ονομαστική απόδοση είναι ο λόγος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας προς τη συνολική προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία κάθετης πρόσπτωσης στο Φ/Β πλαίσιο. Η ηλεκτρική απόδοση εξαρτάται από τον τύπο των Φ/Β στοιχείων: μονοκρυσταλλικό, πολυκρυσταλλικό κ.ά.
- Τις πιθανές απώλειες εγκατάστασης λόγω παλαιότητας των Φ/Β στοιχείων
- Τη συνολική ονομαστική απόδοση της Φ/Β εγκατάστασης, συμπεριλαμβανομένων και των βοηθητικών συστημάτων που χρησιμοποιούνται όπως διανομείς, μετατροπείς κ.ά.

Η μέση πραγματική απόδοση των Φ/Β στοιχείων σε συνθήκες εξωτερικού περιβάλλοντος για τα κλιματικά δεδομένα της Ελλάδας, όπως έχει καταγραφεί σε διάφορες εγκαταστάσεις, κυμαίνεται περίπου 15% χαμηλότερα από την ονομαστική απόδοση του κατασκευαστή. Για την περιοχή των Ιωαννίνων, όπου η θεωρητική παραγωγή είναι 1550 KWH/KW/έτος, λαμβάνοντας υπόψη τις απώλειες λόγω προσανατολισμού αλλά και πραγματικής λειτουργίας, υφίσταται πραγματική ετήσια παραγωγή 1085 KWH/KW/έτος.

Με την αναφορά των βασικών χαρακτηριστικών παραμέτρων της Φ/Β εγκατάστασης, λαμβάνει χώρα η κατάσταση και εκτίμηση της ενεργειακής κατάστασης. Για δεδομένη ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση ~10790 KWh, υφίσταται επιλογή εγκατάστασης ενός συστήματος 10 KW, με ετήσια παραγωγή 10850 KWh. Επόμενο βήμα είναι η αξιολόγηση χωρομέτρησης των Φ/Β στη στέγη. Σε γενικές γραμμές ένα τυπικό κρυσταλλικό (μονοκρυσταλλικό ή πολυκρυσταλλικό) φωτοβολταϊκό πάνελ καταλαμβάνει 0,7 - 0,8 τετραγωνικά μέτρα για κάθε 100 Watt, συμπεριλαμβανομένου και του πλαισίου από αλουμίνιο. Στην περίπτωση της επίπεδης επιφάνειας, όπως είναι το παράδειγμα εξέτασης, το σύστημα καταλαμβάνει περισσότερο χώρο μιας και η έτοιμη κλίση για τα φωτοβολταϊκά που προσφέρει μια στέγη θα πρέπει να κατασκευαστεί με ειδικές βάσεις στήριξης των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Το αποτέλεσμα είναι η κάθε σειρά φωτοβολταϊκών πλαισίων να απαιτεί μια απόσταση από την προηγούμενη σειρά ώστε να αποφεύγεται η σκίαση των φωτοβολταϊκών στοιχείων. Ένας γενικός κανόνας για τις επίπεδες οροφές είναι ότι χρειάζονται χονδρικά 15 τετραγωνικά μέτρα ανά εγκατεστημένο KW (οπότε η συνολική εγκατάσταση απαιτεί έκταση 150 m² –διαθέσιμη στην εγκατάσταση)⁶.

⁶ <https://cutt.ly/rQXKxd5> (11/08/2021).

Σε περίπτωση εγκατάστασης στο χώρο, η ενεργειακή απόδοση της εγκατάστασης αποτυπώνεται στον Πίνακα 7.5.

Πίνακας 7.5: Προφίλ πρωτογενούς ενέργειας στην εγκατάσταση –Σενάριο 3.

Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ανά χρήση (kWh/m ²).		
Τελική χρήση	Κτίριο αναφοράς (RR)	Υπάρχον κτίριο (EP)
Θέρμανση	54.1	137.6
Φωτισμός	31.9	0
Σύνολο (kWh/m ²)	86.0	137.6

Παράλληλα, λαμβάνονται υπόψη οι οικονομικές παράμετροι για μια εγκατάσταση 10 KW. Το κόστος μιας εγκατάστασης 10 KW είναι τυποποιημένο στην Ελλάδα και περιλαμβάνει τα κόστη των επιμέρους στοιχείων:

- Φωτοβολταϊκά πλαίσια
- Αντιστροφείας DC/AC
- Ηλεκτρολογικό υλικό: καλώδια, ασφάλειες, πίνακες DC-AC
- Βάσεις στήριξης: προφίλ αλουμινίου, άγκιστρα κτλ.

Το κόστος είναι στα 1.000 ευρώ/KW⁷, λαμβάνοντας υπόψη και το κόστος εγκατάστασης, οπότε για την περίπτωση εξέτασης είναι τα 10.000 ευρώ. Με βάση τα ανωτέρω, λαμβάνει χώρα η τεchnοοικονομική αξιολόγηση. Για την εξοικονόμηση ενέργειας λαμβάνεται υπόψη και το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας, όπου κυμαίνεται μεταξύ (0,16-0,20 ευρώ/KWh). Με βάση τα δεδομένα αυτά, αναφέρονται κάτωθι τα οικονομικά χαρακτηριστικά της επένδυσης.

⁷ <https://cutt.ly/UQXfrc7> (11/08/2021). Η μέση τιμή αγοράς είναι 1 €/W, με κόστος υλικών ~0.4 €/W, inverter 2500€, βάσεις 1500€ και ηλεκτρολογικά και εγκατάσταση ~2.000€.

Πίνακας 7.6: Αποτελέσματα τεχνοοικονομικής ανάλυσης – Σενάριο 3.

Έτος	Ενεργειακή Απόδοση (KWh)	Έσοδα (ευρώ)
0		-10000
1	10850	1953.00
2	10687	1923.71
3	10527	1894.85
4	10369	1866.43
5	10214	1838.43
6	10060	1810.85
7	9909	1783.69
8	9761	1756.94
9	9614	1730.58
10	9470	1704.62
11	9328	1679.05
12	9188	1653.87
13	9050	1629.06
14	8915	1604.62
15	8781	1580.55
16	8649	1953.00
17	8519	1923.71
18	8392	1894.85
19	8266	1866.43
20	8142	1838.43
NPV		11,120.11
IRR (7 ΕΤΗ)		7%

Όπως διαφαίνεται και από τη μελέτη, τα οικονομικά της επένδυσης είναι θετικά για την πρώτη 7-ετία αλλά και για το εύρος ζωής 20 ετών, που είναι η προσδοκώμενη διάρκεια της εγκατάστασης.

Παρόμοια εξέταση γίνεται και για την εγκατάσταση του Φ/Β σε συνδυασμό με αντλία θερμότητας. Η διαστασιολόγηση του συστήματος αναφέρεται στην προηγούμενη ενότητα. Στην παρούσα ενότητα θεωρείται η πρόσθετη ανάγκη για 18000KWh-e για τις ανάγκες θέρμανσης. Οι ανάγκες αυτές απαιτούν πρόσθετη εγκατάσταση Φ/Β συστήματος ~16,5 KW και περαιτέρω επιφάνεια 247,5 m². Η μέγιστη δυνατή κάλυψη όμως είναι συνολικά 300 m², οπότε υπάρχει περιορισμός προς το μέγεθος της εγκατάστασης. Πιο συγκεκριμένα, το μέγιστο εγκατάστασης Φ/Β στο χώρο είναι τα 20 KW, με δυνατότητα ετήσιας παραγωγής αντίστοιχα τις 21700 KWh. Οι περαιτέρω ηλεκτρικές απαιτήσεις δύναται να καλυφθούν από τη διασύνδεση με το ηλεκτρικό

δίκτυο. Πιο συγκεκριμένα, από τις 18000 KWh πρόσθετες KWh της αντλίας θερμότητας, οι 10850 KWh καλύπτονται από το Φ/Β και οι υπόλοιπες 7150 KWh από το δίκτυο. Στην περίπτωση αυτή, η κατά ΚΕνΑΚ απόδοση της κτηριακής εγκατάστασης είναι Β με βαθμό απόδοσης (0.98) και τα επιμέρους στοιχεία καταναλώσεων αναφέρονται στον κάτωθι πίνακα.

Πίνακας 7.7: Προφίλ πρωτογενούς ενέργειας στην εγκατάσταση –Σενάριο 4.

Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ανά χρήση (kWh/m ²)		
Τελική χρήση	Κτίριο αναφοράς (RR)	Υπάρχον κτίριο (EP)
Θέρμανση	54.1	84.5
Φωτισμός	31.9	0
Σύνολο (kWh/m ²)	86.0	84.5

Πίνακας 7.8: Αποτελέσματα τεχνοοικονομικής ανάλυσης – Σενάριο 4.

Έτος	Κόστος Θέρμανσης		Έσοδα θέρμανσης (ευρώ)	Έσοδα φωτισμού (ευρώ)	Συνολικά Έσοδα / Έξοδα
	Πετρέλαιο	Ηλεκτρισμός			
0					-53000
1	7650	1287	6363	1953.00	8316.00
2	7727	1316	6410	1923.71	8333.91
3	7804	1345	6459	1894.85	8353.46
4	7882	1374	6508	1866.43	8374.66
5	7961	1402	6559	1838.43	8397.48
6	8040	1429	6611	1810.85	8421.93
7	8121	1456	6664	1783.69	8448.01
8	8202	1483	6719	1756.94	8475.71
9	8284	1509	6774	1730.58	8505.02
10	8367	1535	6831	1704.62	8535.94
11	8450	1561	6889	1679.05	8568.47
12	8535	1586	6949	1653.87	8602.60
13	8620	1611	7009	1629.06	8638.33
14	8706	1635	7071	1604.62	8675.66
15	8793	1659	7134	1580.55	8714.59
NPV					33,206.94
IRR (7 ETH)					3%

Παράλληλα, η συνολική τεχνοοικονομική μελέτη εξετάζεται ως σύνθεση της εγκατάστασης Φ/Β και αντλίας θερμότητας. Τα οικονομικά δεδομένα, όπως αναφέρθηκαν στις προηγούμενες ενότητες, και τα έσοδα υπολογίζονται, λαμβάνοντας υπόψη τόσο το κόστος ενέργειας για το φωτισμό όσο και την εξοικονόμηση του κόστους για την κάλυψη του φορτίου της αντλίας θερμότητας, που αντικαθιστά με τη σειρά της το κόστος πετρελαίου. Τα αποτελέσματα της τεχνοοικονομικής ανάλυσης παρέχονται στον ανωτέρω πίνακα.

Από τα ανωτέρω διαφαίνεται ότι η επένδυση είναι βιώσιμη, αλλά περιορίζεται η βιωσιμότητα από την μη δυνατότητα πλήρους κάλυψης της οροφής με Φ/Β συστήματα. Σε περίπτωση πλήρους κάλυψης τότε, τόσο το οικονομικό αποτέλεσμα όσο και η ενεργειακή απόδοση, θα ήταν βελτιωμένη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 : Συμπεράσματα

Έναν από τους πιο σημαντικούς παράγοντες προς την εκπομπή ρύπων και την αυξημένη κατανάλωση ενέργειας κατέχει δίχως αμφιβολία ο κτιριακός τομέας, αφού τα κτίρια έχουν άμεσες περιβαλλοντικές επιπτώσεις μέσα από τη χρήση πρωτογενών υλικών, την κατανάλωση φυσικών πόρων και την παραγωγή ρύπων και οικιακών αποβλήτων. Σύμφωνα με στοιχεία της Ευρωπαϊκής Ένωσης η κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση ψύξη, φωτισμό και ζεστό νερό χρήσης στον οικιακό και τριτογενή κτιριακό τομέα, αναλογεί στο 40% περίπου της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης στην Ευρώπη. Έτσι, κτίρια κατοικιών συνδυαστικά με αυτά του τριτογενούς τομέα (σχολεία, εκπαιδευτικά ιδρύματα, κλινικές νοσοκομεία γυμναστήρια κολυμβητήρια, γραφεία, εστιατόρια, ξενώνες, ξενοδοχεία) αποτελούν από τους μεγαλύτερους τελικούς καταναλωτές ενέργειας, με άμεση την ανάγκη της διαχείρισης και περαιτέρω μείωσης αυτής της κατανάλωσης. Ο στόχος της παρούσας μελέτης είναι να εξετάσει το ζήτημα της ενεργειακής διαχείρισης και εξοικονόμησης σε δημόσια κτήρια με εκπαιδευτικό χαρακτήρα, κτίρια τα οποία έχει την δυνατότητα να αναβαθμίσει το ίδιο το κράτος.

Αρχικά, μια ανάλυση της βιβλιογραφίας παρέχεται με την ανάλυση της υπάρχουσας κατάστασης στον τομέα της εξοικονόμησης ενέργειας τόσο σε ευρωπαϊκό επίπεδο όσο και σε ελληνικό επίπεδο. Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στην υιοθέτηση της ιδέας του παθητικού κτηρίου όσο και στην εφαρμογή των δράσεων ενεργειακής εξοικονόμησης στην Ελλάδα.

Σε δεύτερο επίπεδο, ο στόχος της παρούσας εργασίας είναι η ανάλυση της υπάρχουσας ενεργειακής κατάστασης σε μια κτηριακή εγκατάσταση και η τεχνοοικονομική ανάλυση για μελλοντικές ενεργειακές επεμβάσεις. Η ανάλυση γίνεται για ένα κτήριο δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στην περιοχή των Ιωαννίνων, όπου τα δεδομένα έχουν συλλεγεί και παρουσιάζονται στη μελέτη. Κατόπιν, με χρήση ενός προγράμματος ενεργειακής μελέτης (κατά ΚΕνΑΚ) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ενεργειακής κατάστασης όσο και τα αποτελέσματα για δυναμικές αναβαθμίσεις όπως ορίζονται για την κτηριακή εγκατάσταση. Τα βασικά συμπεράσματα από την μελέτη είναι τα εξής:

- Όλες οι μέθοδοι κτηριακής αναβάθμισης που εξετάζονται οδηγούν σε ενεργειακή εξοικονόμηση
- Η θερμομόνωση της κτηριακής εγκατάστασης οδηγεί σε μείωση της κατανάλωσης για θέρμανση μέσω μείωσης των απαιτήσεων για θερμική ενέργεια
- Η θερμομόνωση της κτηριακής εγκατάστασης οδηγεί σε μείωση της κατανάλωσης κατά ~20 % στην εγκατάσταση που αναφέρεται
- Με αισιόδοξη εκτίμηση του κόστους θερμομόνωσης της κτηριακής εγκατάστασης για μέρος του κτηρίου, λαμβάνεται μια θετική οικονομική απόδοση της επένδυσης
- Η εγκατάσταση μιας λύσης με αντλίες θερμότητας οδηγεί σε σημαντικό κόστος ενεργειακής εξοικονόμησης, δεδομένης και της κατανάλωσης για ανάγκες θέρμανσης
- Η εγκατάσταση μιας λύσης με αντλίες θερμότητας έχει πολύ υψηλό κόστος, ενώ παράλληλα και η βιωσιμότητα της επένδυσης εξασφαλίζεται σε πολλά χρόνια
- Η εγκατάσταση μιας λύσης με αντλίες θερμότητας πρέπει να αξιολογηθεί σε συνδυασμό με τις υπάρχουσες εγκαταστάσεις για θέρμανση
- Η εγκατάσταση ενός Φ/Β 10 KW εξετάζεται για την κάλυψη των αναγκών ηλεκτρισμού της κτηριακής εγκατάστασης
- Η εγκατάσταση των Φ/Β έχει υψηλότερο κόστος από την θερμομόνωση, ενώ απαιτεί και τη δέσμευση της οροφής για την εγκατάσταση του συστήματος
- Η εγκατάσταση των Φ/Β (με σύστημα net-metering και ενεργειακού συμψηφισμού) οδηγεί σε θετικά οικονομική απόδοση της επένδυσης
- Η εγκατάσταση των Φ/Β σε συνδυασμό με τις αντλίες θερμότητας είναι η λύση που οδηγεί σε μεγάλη ενεργειακή οικονομία
- Το διαθέσιμο εμβαδόν της οροφής περιορίζει τη δυνατότητα εγκατάστασης Φ/Β που να καλύπτει το πλήθος των αναγκών
- Το συνολικό κόστος είναι ιδιαίτερα αυξημένο, ενώ παράλληλα και η βιωσιμότητα της επένδυσης εξασφαλίζεται μετά από τα 7 έτη

Από τον υπολογισμό των κριτηρίων αξιολόγησης διαφαίνεται ότι η επένδυση δεν είναι συμφέρουσα με καθαρά οικονομικούς ορούς. Το NPV είναι θετικό μετά από τα 8-9 έτη σε κάθε επένδυση, ενώ παράλληλα και ο βαθμός απόδοσης IRR είναι περιορισμένος για μια περίοδο 5-6 έτη, που είναι μια τυπική συντηρητική περίοδος για την αξιολόγηση μιας επενδυτικής κίνησης. Αυτός είναι και ο λόγος οπου οι δράσεις αυτές δεν είναι μαζικά σε εφαρμογή, ενώ παράλληλα απαιτείται και η επιδότηση αυτών μέσω προγραμμάτων όπως το Εξοικονομώ – Αυτονομώ, ώστε να γίνουν ελκυστικές από τους τελικούς καταναλωτές.

Σε ένα όμως δημόσιο έργο, όπως είναι ένα κτήριο δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, αυτό που έχει μεγαλύτερη σημασία είναι η αύξηση της συνολικής κοινωνικής ευημερίας και όχι αποκλειστικά το κέρδος. Υπάρχουν υψηλές παράπλευρες ωφέλειες, οι οποίες δε συν- θεωρούνται στην αξιολόγηση όπως το περιβαλλοντικό κέρδος που προκύπτει, είτε μέσω της μείωσης του CO₂ έμμεσα είτε μέσω της βελτίωσης της ποιότητας της ζωής τόσο των άμεσα εμπλεκόμενων ατόμων (π.χ. μαθητές, καθηγητές), όσο και των έμμεσα εμπλεκόμενων (π.χ. πολίτες) λόγω αντικατάστασης του παλαιού λέβητα.

Σημειώνεται ότι η συγκεκριμένη επένδυση μπορεί να αποτελέσει και σημείο αναφοράς συνολικά για την πόλη και παράλληλα να αποτελέσει εφαλτήριο για δράσεις εξηλεκτρισμού και εξοικονόμησης που δύνανται να υλοποιηθούν σε αλλά δημοσιά κτήρια της πόλης. Η προσέγγιση αυτή είναι προς την κατεύθυνση της υιοθέτησης της ιδέας της έξυπνης πόλης για την πόλη των Ιωαννίνων, χρησιμοποιώντας νέα συστήματα, φιλικά προς το περιβάλλον, ιδέα που είναι στο πλάνο της πόλης όπως διαφαίνεται και με την συμμετοχή της σε καινοτόμα προγράμματα της Ευρωπαϊκής Ένωσης όπως το *intelligent cities alliance*⁸ και το *Mission Board “100 climate neutral cities by 2030”*⁹.

⁸ <https://cutt.ly/iQJLSKy> (11/08/2021)

⁹ <https://cutt.ly/UQJLT7P> (11/08/2021)

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Ελληνόγλωσσες

- Βιττής, Ν. (2018). *Οικονομική Αξιολόγηση Ενεργειακής Αναβάθμισης Δημόσιου Κτιρίου*. Διπλωματική Εργασία, Τομέας Μεταφορών και Διαχείρισης Έργων, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη. <https://cutt.ly/xkSnJPb>
- Ελληνική Κυβέρνηση (2020). *Έκθεση μακροπρόθεσμης στρατηγικής για την κινητοποίηση επενδύσεων για την ανακαίνιση και μετατροπή του εθνικού κτιριακού αποθέματος, αποτελούμενου από κατοικίες και εμπορικά κτίρια, δημόσια και ιδιωτικά, σε υψηλής ενεργειακής απόδοσης, απαλλαγμένο από ανθρακούχες εκπομπές έως το 2050*. <https://cutt.ly/BQXIghg>
- ΕΛΣΤΑΤ (2011). *Απογραφή Κτιρίων 2011*. <https://cutt.ly/OQXYaWd>
- Καντιάνης, Δ. (2021). *Οικονομική Αξιολόγηση Επενδύσεων στην Αγορά Ακινήτων*. Σημειώσεις μαθήματος: ‘Οικονομική Ακίνητης Περιουσίας’. <https://cutt.ly/eQXGFb9>
- ΚΕνΑΚ (ΦΕΚ Β΄ 2367/12.7.2017). *Έγκριση Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων*. <https://cutt.ly/zx9J3Co>
- Νόμος 3852/2010 (ΦΕΚ Α΄ 87/07.06.2010). *Νέα Αρχιτεκτονική της Αυτοδιοίκησης και της Αποκεντρωμένης Διοίκησης - Πρόγραμμα Καλλικράτης*. <https://cutt.ly/RQJnFlf>
- Νόμος 4067/2012 (ΦΕΚ Α΄ 79/09.04.2012). *Νέος Οικοδομικός Κανονισμός*. <https://cutt.ly/lnz0JYD>
- Νόμος 4122/2013 (ΦΕΚ Α΄ 42/19.02.2013). *Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων - Εναρμόνιση με την Οδηγία 2010/31/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου και λοιπές διατάξεις*. <https://cutt.ly/bnz2a9B>
- Νόμος 4172/2013 (ΦΕΚ Α΄ 167/23.07.2013). *Φορολογία εισοδήματος, επείγοντα μέτρα εφαρμογής του ν. 4046/2012, του ν. 4093/2012 και του ν. 4127/2013 και άλλες διατάξεις*. <https://cutt.ly/7nz0438>
- Νόμος 4178/2013 (ΦΕΚ Α΄ 174/08.08.2013). *Αντιμετώπιση της Αυθαίρετης Δόμησης - Περιβαλλοντικό Ισοζύγιο και άλλες διατάξεις*. <https://cutt.ly/anz0Qpk>
- Οδηγία 2010/31/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου. <https://cutt.ly/Cnz2RsQ>
- Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1 (2017). *Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης*. <https://cutt.ly/tQJWmLL>
- Υπηρεσία Ενέργειας (2015). *Τεχνικός Οδηγός για τα Κτίρια με Σχεδόν Μηδενική Κατανάλωση Ενέργειας*. Υπουργείο Ενέργειας, Εμπορίου, Βιομηχανίας και Τουρισμού, Κυπριακή Δημοκρατία. Εκδόσεις Γραφείου Τύπου και Πληροφοριών, Λευκωσία. <https://cutt.ly/kx9IXJK>

Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (2020). *Ενεργειακές επιθεωρήσεις και στατιστική ανάλυση για το έτος 2019 και της χρονικής περιόδου 2011-2019*. <https://cutt.ly/WQXO0BF>

Ξενόγλωσσες

- Alshibani, A. (2020). Prediction of the Energy Consumption of School Buildings. *Applied Sciences*, 10(17), 5885. <https://doi.org/10.3390/app10175885>
- Andrea, V., Tampakis, S., Karanikola, P., & Georgopoulou, M. (2020). The Citizens' Views on Adaptation to Bioclimatic Housing Design: Case Study from Greece. *Sustainability*, 12(12), 4984. <https://doi.org/10.3390/su12124984>
- Ascione, F., Bianco, N., De Rossi, F., De Masi, F., & Vanoli, G. (2016). Concept, Design and Energy Performance of a Net Zero-Energy Building in Mediterranean Climate. *Procedia Engineering*, 169, 16-37. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.10.004>
- Bajcinovci, B., & Jerliu, F. (2016). Achieving Energy Efficiency in Accordance with Bioclimatic Architecture Principles. *Environmental and Climate Technologies*, 18, 54-63. <https://doi.org/10.1515/rtuect-2016-0013>
- Becchio, C., Bottero, M., Corgnati, S., Ghiglione, C. (2015). nZEB design: Challenging between energy and economic targets. *Energy Procedia*, 78, 2070-2075. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.226>
- Boros, I., Stoian, D., Nagy-György, T., & Stoian, V. (2019). Monitoring System of an Energy Efficient School Building. *ITM of Conferences*, 29, 1-6 <https://doi.org/10.1051/itmconf/20192902009>
- BP (2020). *Statistical Review of World Energy* (69th Ed.). BP Editions. <https://cutt.ly/nx9O0ce>
- CRES (2018). *Energy Efficiency Trends and Policies in Greece*. Center of Renewable Energy Sources and Saving Publications, Funded EU by Horizon 2020 Framework Program, Athens. <https://cutt.ly/ix9PyBn>
- Dimoudi, A., & Kostarela, P. (2009). Energy Monitoring and Conservation Potential in School Buildings in the C' Climatic Zone of Greece. *Renewable Energy*, 34(1), 289-296. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.04.025>
- Elias, S. (2018). Climate Change and Energy. *The Encyclopedia of Anthropocene*, 1, 457-466. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809665-9.10515-4>
- EN 12464-1 (2011). *Light and lighting. Lighting of work places. Indoor work places*. <https://cutt.ly/sQJOjks>
- EPA (2004). *Photochemical Smog - what it means for us*. South Australian Environment Protection Authority. <https://cutt.ly/Rx9P3F4>
- EPA (2011). *Energy Efficiency Programs in K-12 Schools*. Local Government Climate and Energy Strategy Series. <https://cutt.ly/3ch5hgl>

- Erhome-Kluttig, H., & Erhome, H. (2016). *Solution Sets for Zero Emission / Zero Energy School Buildings: Guidelines for Energy Retrofitting – Towards Zero Emission Schools with High performance Indoor Environment*. Booklet for EU project School of the Future. <https://cutt.ly/vch5UF5>
- EU (2015). *EU ETS Handbook*. European Union Editions. <https://cutt.ly/wx9Adu>
- Eurostat (2020). *Energy Statistics – An Overview*. Statistics Explained. Eurostat Publications. <https://cutt.ly/Xx9Avey>
- Eurostat. (2021). *Energy Saving Statistics*. Statistics Explained. Eurostat Publications. <https://cutt.ly/Vx9AUy3>
- Giorgetta, M., Jungclaus, J., Reick, C., Legutke, S., Bader, J., et al. (2013). Climate and carbon cycle changes from 1850 to 2100 in MPI-ESM simulations for the Coupled Model Intercomparison Project phase 5. *Journal of Advances in Modelling Earth Systems*, 15(3), 572-597. <https://doi.org/10.1002/jame.20038>
- Grade, F., & Donn, M. (2014). Solution sets and net zero energy buildings: A review of 30 Net ZEBs case studies worldwide. *IEA SHC Task 40 / EBC Annex 52*. <https://cutt.ly/2QXTf2W>
- Grennfelt, P., Engleryd, A., Forsius, M., Hov, Ø., Rodhe, H., & Cowling, E. (2020). Acid rain and air pollution: 50 years of progress in environmental science and policy. *Ambio*, 49, 849-864. <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01244-4>
- Hoy, M. (2016). Smart Buildings: An Introduction to the Library of the Future. *Medical Reference Services Quarterly*, 35(3), 326-331. <https://doi.org/10.1080/02763869.2016.1189787>
- Kang, J.E., Ahn, K.U., Park, C.S., & Schuetze, T. (2015). Assessment of Passive vs. Active Strategies for a School Building Design. *Sustainability*, 7(11), 15136-15151. <https://doi.org/10.3390/su71115136>
- Karlessi, T., Kampelis, N., Kolokotsa, D., Santamouris, M., Standardi, L., Isidori, D., & Cristalli, C. (2017). The Concept of Smart and NZEB Buildings and the Integrated Approach. *Procedia Engineering*, 180, 1316-1325. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.294>
- Kim, J.H., Kim, H.R., & Kim, J.T. (2015). Analysis of Photovoltaic Applications in Zero Energy Buildings. Cases of IEA SHC//EBC Task40/Annex52. *Sustainability*, 7(7), 8782-8800. <https://doi.org/10.3390/su7078782>
- Kolokotsa, D., Rovas, D., Kosmatopoulos, E., & Kalaitzakis, K. (2011). A Roadmap Towards Intelligent Net Zero- and Positive-Energy Buildings. *Solar Energy*. 85(12), 3067-3084. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2010.09.001>
- Li, X., & Wen, J. (2014). *Net-zero energy impact building clusters emulator for operation strategy development*. ASHRAE Annual Conference, at Seattle, WA, USA; June 28-July 02; 2014. <https://cutt.ly/SQXvVq4>
- Lou, S., Tsang, E., Li, D., Lee, E., & Lam, J. (2017). Towards Zero Energy School Building Designs in Hong Kong. *Energy Procedia*, 105, 182-187. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.299>

- Lu, Y., Zhang, X.-P., Huang, Z., Lu, J., & Wang, C. (2019). Definition and Design of Zero Energy Buildings. Chapter in e-Book Green Energy Advances.
<http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.80708>
- Marszal, A., & Heiselberg, P. (2011). *Zero Energy Building definition – a literature review*. IEA SHC/ECBCS Task 40/Annex 52 – Towards Net Zero Energy Solar Buildings.
<https://cutt.ly/UQXcVsu>
- Mateus, R., Silva, S.M., & Almeida, M.G. (2017). The Importance of the solar Systems to Achieve nZEB Level in the Energy Renovation of Southern Europe’s Buildings. Conference Article. First International Conference on Building Integrated Renewable Energy Systems, pp. 82.1-82.8, 978-9963-697-23-6. <https://cutt.ly/lch6TMX>
- Ouf, M., & Issa, M. (2017). Energy Consumption Analysis of School Buildings in Manitoba. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 6(2), 359-371.
<https://doi.org/10.1016/j.ijsbe.2017.05.003>
- Paoletti, G., Pascuas, R., Perneti, R., & Lollini, R. (2017). Nearly Zero Energy Buildings: An Overview of the Main Construction Features across Europe. *Buildings*, 7(2), 43.
<https://doi.org/10.3390/buildings7020043>
- Patnaik, A., Akbari, M.A., & Saha, P.C. (2013). Renewable Resources in Zero Energy Buildings with Economical and Environmental Aspects: A Case Study in Odisha. *International Journal of Scientific & Engineering Research*. 4(12), 32-37. <https://cutt.ly/4cjwCz>
- Pereira, L., Raimondo, D., Corgnati, S., & da Silva, M. (2014). Energy Consumption in Schools – A Review Paper. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 40, 911-922.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.010>
- Perlova, E., Platonova, M., Gorshkov, A., & Rakova, X. (2015). Concept of Zero Energy Buildings. *Procedia Engineering*, 100, 1505-1514.
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.01.522>
- PIMES (2015). *Guide for Bioclimatic Design. Task WP2.4*. Part of Concerto EU Projects.
<https://cutt.ly/Bx9F2BP>
- Pless, S., & Torcellini, P. (2010). *Net-Zero Energy Buildings: A Classification System Based on Renewable Energy Supply Options*. Technical Report. National Renewable Energy Laboratory – NREL. U.S. Department of Energy. Colorado. <https://doi.org/10.2172/983417>
- Husein, H.A. (2018). Energy Efficiency Optimization in a Typical School Building: Kurdistan Typical School Buildings as a Case Study. *Eurasian Journal of Science & Engineering*, 3(3), 83-91. <https://cutt.ly/Hcjq7BT>
- Salleh, M., Kandar, M., & Sakip, S. (2016). Benchmarking for Energy Efficiency on School Buildings Design: A Review. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 222, 211-218.
<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.05.149>
- Sameti, M., Kasaeian, A., & Astaraie, F. (2014a). Simulation of a ZEB Electrical Balance with a Hybrid Small Wind/PV. *Science and Education*, 2(1), 5-11. <https://cutt.ly/LQXRbxx>

- Sameti, M., Kasaeian, A., Mohammadi, S., & Sharifi, N. (2014b). Thermal Performance Analysis of a Fully Mixed Solar Storage Tank in ZEB Hot Water System. *Sustainable Energy*, 2(2), 52-56. <https://cutt.ly/ucjw3HB>
- Schelly, C., Cross, J., Franzen, W., Hall, P., & Reeve, S. (2010). Reducing Energy Consumption and Creating a Conservation Culture in Organizations: A Case Study of One Public School District. *Environment and Behavior*, 43(3), 316-343. <https://doi.org/10.1177/0013916510371754>
- Steffen, W., Rockström, J., Richardson, K., Lenton, T., Folke, C., et al. (2018). Trajectories of the earth system in the anthropocene. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(33), 8252-8259. <https://doi.org/10.1073/pnas.1810141115>
- Torcellini, P., Pless, S., Deru, M., & Crawley, D. (2006). Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition. Conference Paper. ACCEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings. California. <https://cutt.ly/Xx9GIsY>
- Tsikra, P., & Andreou, E. (2017). Investigation of the Energy Saving Potential in Existing School Buildings in Greece. The Role of Shading and Daylight Strategies in Visual Comfort and Energy Savings. *Procedia Environmental Sciences*. 38, 204-211. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2017.03.107>
- Watson, D. (2010). Bioclimatic Design: Principles and Practices. Update in Chapter Bioclimatic Design Research in Book *Solar Energy: An Annual Review of Research and Development*. 5, 402-438. https://doi.org/10.1007/978-1-4613-0837-9_6
- Zeiler, W., & Boxem, G. (2013). Net-zero Energy Building Schools. *Renewable Energy*. 49, 282-286. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.01.013>