



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Σχολή Χημικών Μηχανικών και
Μηχανικών Περιβάλλοντος

Κατεύθυνση: Μηχανικών Περιβάλλοντος

ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

ΚΑΡΑΜΑΝΗ ΣΤΕΦΑΝΟΥ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Καθηγήτρια Κολοκοτσά Διονυσία

Επίκουρος καθηγητής Διαγγελάκης Νικόλαος

Καθηγητής Γουρνής Δημήτριος

Χανιά, Σεπτέμβριος, 2024

``Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για μη κερδοσκοπικό σκοπό, εκπαιδευτικού ή ερευνητικού χαρακτήρα, με την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για άλλη χρήση θα πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πολυτεχνείου Κρήτης``

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την υπεύθυνη καθηγήτρια της διπλωματικής μου εργασίας, κυρία Διονυσία Κολοκοτσά, για την ευκαιρία που μου έδωσε να εμβαθύνω τις γνώσεις μου πάνω στο δομημένο περιβάλλον και που με βοήθησε να συνειδητοποιήσω το επάγγελμα που θα ακολουθήσω. Επίσης, τους φίλους μου που με στήριξαν στις δυσκολίες που μπορεί να υπήρχαν όλα τα χρόνια των σπουδών μου. Τέλος, την οικογένεια μου που παρόλες τις δυσκολίες που μπορεί να υπήρχαν ήταν πάντα δίπλα μου και με στήριζαν με κάθε εφικτό τρόπο.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, στόχος είναι η κατανόηση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος μίας κατοικίας. Με την διεξαγωγή αποτελεσμάτων μέσω της ανάλυσης κύκλου ζωής, γίνεται η αξιολόγηση τους μέσω σύγκρισης και των τεσσάρων σεναρίων της κατοικίας. Το βασικό σενάριο είναι μία συμβατική κατοικία σχετικά με τον τρόπο κατασκευής της και την ενεργειακή απόδοση της και τα υπόλοιπα τρία σενάρια της κατοικίας έχουν διάφορες αλλαγές σε υλικά κατασκευής. Με την σύγκριση των τεσσάρων σεναρίων γίνεται αντιληπτή η διαφορά του περιβαλλοντικού αντίκτυπου των υλικών κατασκευής στα τέσσερα διαφορετικά σενάρια και αργότερα, διακρίνεται το μέγεθος του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας κατά την περίοδο λειτουργίας που έχει εν συγκρίσει των υπόλοιπων σταδίων της ζωής της κατοικίας.

Η μελέτη περίπτωσης είναι μία μονοκατοικία μίας τετραμελούς οικογένειας στην πόλη της Ελευσίνας που βρίσκεται στον Νομό Αττικής στην Ελλάδα. Το λογισμικό για την ανάλυση κύκλου ζωής που χρησιμοποιήθηκε είναι το Athena Impact Estimator for Buildings όπου αυτό το λογισμικό έχει την δυνατότητα να δίνει αποτελέσματα για κάθε στάδιο του κύκλου ζωής της κατοικίας. Τα στάδια του κύκλου ζωής της κατοικίας είναι η εξαγωγή της πρώτης ύλης από το περιβάλλον, η μεταφορά τους, η διαδικασία κατασκευής της κατοικίας, η περίοδος λειτουργίας της, η κατεδάφιση της και η επεξεργασία των αποβλήτων. Τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν για την εύρεση της ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας είναι το SketchUp για την τρισδιάστατη σχεδίαση της κατοικίας και ύστερα το Open Studio για την ενεργειακή μοντελοποίηση και προσομοίωση της.

Λέξεις κλειδιά: Ανάλυση κύκλου ζωής, περιβαλλοντικό αντίκτυπο, περιβαλλοντικό αποτύπωμα, υλικά κατασκευής, εκτιμώμενη ετήσια κατανάλωση ενέργειας, ενεργειακή απόδοση

ABSTRACT

In this thesis, the goal is to understand the environmental footprint of a residence. By conducting results through life cycle analysis, they are evaluated through comparison of all four scenarios of the residential building. The basic scenario is a conventional residential building in terms of its construction and energy efficiency and the remaining three scenarios have various changes in construction materials. By comparing the four scenarios, the difference of the environmental impact of the construction materials in the four different scenarios can be perceived and then the size of the environmental footprint of the total operational energy compared to the rest of the life stages of the residence is distinguished.

The case study is a residential building of a four-member family in the city of Eleusina located in Attica, Greece. The life cycle analysis software used is Athena Impact Estimator for Buildings which has the ability to give results for each stage of the life cycle of the residence. The stages of the life cycle of the building are the extraction of the raw material from the environment, their transport, the construction process of the building, its operational use, its demolition and the waste treatment. The software used to find the total operational energy is SketchUp for the 3D design of the residential building and then Open Studio for its energy modeling and simulation.

Keywords: Life Cycle Assessment, environmental impact, environmental footprint, construction materials, estimated annual energy consumption, energy efficiency

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	4
ABSTRACT	5
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	6
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ & ΕΙΚΟΝΕΣ.....	8
ΠΙΝΑΚΕΣ	10
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	11
1.1 Ορισμός.....	11
1.2 Σκοπός εφαρμογής ανάλυσης κύκλου ζωής.....	12
1.3 Κατηγορίες επιπτώσεων στην ανάλυση κύκλου ζωής.....	12
1.4 Στόχος διπλωματικής εργασίας	14
2. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ.....	14
2.1 Ανάλυση κύκλου ζωής σε κτίρια.....	14
2.2 Προκλήσεις ανάλυσης κύκλου ζωής	15
2.3 Εργαλεία για ανάλυση κύκλου ζωής	16
3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	17
3.1 Περιγραφή εργαλείου Athena Impact Estimator for Buildings.....	17
3.1.1 Athena Impact Estimator for Buildings	17
3.1.2 Περιορισμοί προγράμματος και παραδοχές μελέτης	18
3.2 Μελέτη περίπτωσης	18
3.3 Ενεργειακή Αξιολόγηση Κατοικίας	21
3.4 Συγκροτήματα κατοικίας	22
3.4.1 Συγκρότημα κολώνων και δοκών	23
3.4.2 Συγκρότημα πατωμάτων – θεμελίων	24
3.4.3 Συγκρότημα οροφής.....	26
3.4.4 Συγκρότημα τοίχων.....	27
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	32
4.1 Κατηγορίες επιπτώσεων	32
4.1.1 Δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη.....	32
4.1.2 Δυναμικό οξίνισης	34
4.1.3 Σωματίδια ανθρώπινης υγείας.....	35
4.1.4 Δυναμικό ευτροφισμού	36
4.1.5 Δυναμικό διάσπασης όζοντος.....	37
4.1.6 Δυναμικό δημιουργίας νέφους (όζον)	38
4.1.7 Συνολική πρωτογενής ενέργεια	39

4.1.8 Μη ανανεώσιμη ενέργεια	40
4.1.9 Κατανάλωση ορυκτών πόρων	41
4.2 Σύγκριση σεναρίων	43
4.2.1 Σύγκριση βασικού σεναρίου με πρώτο σενάριο	43
4.2.2 Σύγκριση βασικού σεναρίου με το δεύτερο σενάριο	48
4.2.3 Σύγκριση βασικού σεναρίου με το τρίτο σενάριο	53
4.3 Σύγκριση όλων των σεναρίων	57
5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	69
5.1 Συζήτηση	69
5.2 Συμπεράσματα	71
5.3 Διερεύνηση θέματος	73
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	74
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	76

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ & ΕΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 1 Διάγραμμα μηνών-θερμοκρασίας, υετού και ύψος νερού	18
Εικόνα 2: Κάτοψη κατοικίας στο AutoCAD	19
Εικόνα 3: Δεδομένα που εισήχθησαν στο Athena Impact Estimator for Buildings	20
Εικόνα 4 Ετήσια ενεργειακή κατανάλωση κατοικίας κατά την περίοδο λειτουργίας της.....	22
Εικόνα 5 Συγκρότημα κολώνων και δοκών.....	23
Εικόνα 6 Συγκρότημα βάσεων.....	24
Εικόνα 7 Πρώτο τμήμα συγκροτήματος πατώματος.....	25
Εικόνα 8 Δεύτερο τμήμα συγκροτήματος πατώματος	25
Εικόνα 9 Πρώτο τμήμα συγκροτήματος οροφής	26
Εικόνα 10 Δεύτερο τμήμα συγκροτήματος οροφής	27
Εικόνα 11 Συγκρότημα εξωτερικών τοίχων	28
Εικόνα 12: Ανοίγματα εξωτερικών τοίχων.....	29
Εικόνα 13 Φάκελος εξωτερικών τοίχων.....	29
Εικόνα 14 Συγκρότημα εσωτερικών τοίχων	30
Εικόνα 16 Διάγραμμα αποτελεσμάτων δυναμικού υπερθέρμανσης του πλανήτη	33
Εικόνα 17 Διάγραμμα και πίνακας κατανάλωσης ενέργειας και ενσωματωμένου άνθρακα ..	33
Εικόνα 18 Διάγραμμα αποτελεσμάτων δυναμικού οξίνισης	34
Εικόνα 19 Διάγραμμα αποτελεσμάτων σωματιδίων ανθρώπινης υγείας	35
Εικόνα 20 Διάγραμμα αποτελεσμάτων δυναμικού ευτροφισμού	36
Εικόνα 21 Διάγραμμα αποτελεσμάτων δυναμικού διάσπασης όζοντος	37
Εικόνα 22 Διάγραμμα αποτελεσμάτων δυναμικού δημιουργίας νέφους	38
Εικόνα 23 Διάγραμμα αποτελεσμάτων συνολικής πρωτογενούς ενέργειας	39
Εικόνα 24 Διάγραμμα αποτελεσμάτων μη ανανεώσιμης ενέργειας	40
Εικόνα 25 Διάγραμμα αποτελεσμάτων κατανάλωσης ορυκτών πόρων	41
Εικόνα 26 Διάγραμμα και πίνακας κατανάλωσης ενέργειας και ενσωματωμένης κατανάλωσης ορυκτών πόρων	41
Εικόνα 27 Διάγραμμα σύγκρισης βασικού με πρώτο σενάριο δυναμικού υπερθέρμανσης του πλανήτη ανά στάδιο κύκλου ζωής	44
Εικόνα 28 Διάγραμμα σύγκρισης βασικού με πρώτο σενάριο δυναμικού οξίνισης ανά στάδιο κύκλου ζωής	44
Εικόνα 29 Διάγραμμα σύγκρισης βασικού με πρώτο σενάριο σωματιδίων ανθρώπινης υγείας ανά στάδιο κύκλου ζωής	45
Εικόνα 30 Διάγραμμα σύγκρισης βασικού με πρώτο σενάριο δυναμικού ευτροφισμού ανά στάδιο κύκλου ζωής	45
Εικόνα 31 Διάγραμμα σύγκρισης βασικού με πρώτο σενάριο δυναμικού διάσπασης όζοντος ανά στάδιο κύκλου ζωής	46
Εικόνα 32 Διάγραμμα σύγκρισης βασικού με πρώτο σενάριο δυναμικού δημιουργίας νέφους ανά στάδιο κύκλου ζωής	46
Εικόνα 33 Διάγραμμα σύγκρισης βασικού με πρώτο σενάριο κατανάλωσης ορυκτών πόρων ανά στάδιο κύκλου ζωής	47
Εικόνα 34 Διάγραμμα σύγκρισης βασικού με δεύτερο σενάριο δυναμικού υπερθέρμανσης του πλανήτη ανά στάδιο κύκλου ζωής	49
Εικόνα 35 Διάγραμμα σύγκρισης βασικού με δεύτερο σενάριο δυναμικού οξίνισης ανά στάδιο κύκλου ζωής	49
Εικόνα 36 Διάγραμμα σύγκρισης βασικού με δεύτερο σενάριο σωματιδίων ανθρώπινης υγείας ανά στάδιο κύκλου ζωής.....	50

Εικόνα 37 Διάγραμμα σύγκρισης βασικού με δεύτερο σενάριο δυναμικού ευτροφισμού ανά στάδιο κύκλου ζωής	50
Εικόνα 38 Διάγραμμα σύγκρισης βασικού με δεύτερο σενάριο δυναμικού διάσπασης όζοντος ανά στάδιο κύκλου ζωής	51
Εικόνα 39 Διάγραμμα σύγκρισης βασικού με δεύτερο σενάριο δυναμικού δημιουργίας νέφους ανά στάδιο κύκλου ζωής.....	51
Εικόνα 40 Διάγραμμα σύγκρισης βασικού με δεύτερο σενάριο κατανάλωσης ορυκτών πόρων ανά στάδιο κύκλου ζωής	52
Εικόνα 41 Διάγραμμα σύγκρισης βασικού με τρίτο σενάριο δυναμικού υπερθέρμανσης του πλανήτη ανά στάδιο κύκλου ζωής	53
Εικόνα 42 Διάγραμμα σύγκρισης βασικού με τρίτο σενάριο δυναμικού οξίνισης ανά στάδιο κύκλου ζωής	54
Εικόνα 43 Διάγραμμα σύγκρισης βασικού με τρίτο σενάριο σωματιδίων ανθρώπινης υγείας ανά στάδιο κύκλου ζωής	54
Εικόνα 44 Διάγραμμα σύγκρισης βασικού με τρίτο σενάριο δυναμικού ευτροφισμού ανά στάδιο κύκλου ζωής	55
Εικόνα 45 Διάγραμμα σύγκρισης βασικού με τρίτο σενάριο δυναμικού διάσπασης όζοντος ανά στάδιο κύκλου ζωής	55
Εικόνα 46 Διάγραμμα σύγκρισης βασικού με τρίτο σενάριο δυναμικού δημιουργίας νέφους ανά στάδιο κύκλου ζωής	56
Εικόνα 47 Διάγραμμα σύγκρισης βασικού με τρίτο σενάριο κατανάλωσης ορυκτών πόρων ανά στάδιο κύκλου ζωής	56
Εικόνα 48 Διάγραμμα σύγκρισης σεναρίων δυναμικού υπερθέρμανσης του πλανήτη ανά στάδιο κύκλου ζωής	57
Εικόνα 49 Διάγραμμα σύγκρισης σεναρίων δυναμικού οξίνισης ανά στάδιο κύκλου ζωής ..	58
Εικόνα 50 Διάγραμμα σύγκρισης σεναρίων σωματιδίων ανθρώπινης υγείας ανά στάδιο κύκλου ζωής	59
Εικόνα 51 Διάγραμμα σύγκρισης σεναρίων δυναμικού ευτροφισμού ανά στάδιο κύκλου ζωής.....	60
Εικόνα 52 Διάγραμμα σύγκρισης σεναρίων δυναμικού διάσπασης όζοντος ανά στάδιο κύκλου ζωής	61
Εικόνα 53 Διάγραμμα σύγκρισης σεναρίων δυναμικού δημιουργίας νέφους ανά στάδιο κύκλου ζωής	62
Εικόνα 54 Διάγραμμα σύγκρισης σεναρίων κατανάλωσης ορυκτών πόρων ανά στάδιο κύκλου ζωής.....	63
Εικόνα 55 Διάγραμμα σύγκρισης σεναρίων δυναμικού υπερθέρμανσης του πλανήτη ανά συγκρότημα κατοικίας.....	64
Εικόνα 56 Διάγραμμα σύγκρισης σεναρίων δυναμικού οξίνισης ανά συγκρότημα κατοικίας	65
Εικόνα 57 Διάγραμμα σύγκρισης σεναρίων σωματιδίων ανθρώπινης υγείας ανά συγκρότημα κατοικίας	65
Εικόνα 58 Διάγραμμα σύγκρισης σεναρίων δυναμικού ευτροφισμού ανά συγκρότημα κατοικίας	66
Εικόνα 59 Διάγραμμα σύγκρισης σεναρίων δυναμικού διάσπασης όζοντος ανά συγκρότημα κατοικίας	66
Εικόνα 60 Διάγραμμα σύγκρισης σεναρίων δυναμικού δημιουργίας νέφους ανά συγκρότημα κατοικίας	67
Εικόνα 61 Διάγραμμα σύγκρισης σεναρίων κατανάλωσης ορυκτών πόρων ανά συγκρότημα κατοικίας	67

ΠΙΝΑΚΕΣ

Table 1 Ενεργειακές ανάγκες κατοικίας.....	21
Table 2 Χαρακτηριστικά υλικών κατασκευής.....	21
Table 3: Κύρια δεδομένα κατασκευής κατοικίας	23
Table 4 Δεδομένα βάσεων.....	24
Table 5 Δεδομένα πατωμάτων.....	24
Table 6 Δεδομένα οροφής	26
Table 7: Δεδομένα εξωτερικών τοίχων	27
Table 8: Δεδομένα ανοιγμάτων εξωτερικών τοίχων	28
Table 9 Δεδομένα εσωτερικών τοίχων.....	30
Table 10 Δεδομένα ανοιγμάτων εσωτερικών τοίχων.....	30
Table 11 Υλικά κατασκευής κατοικίας.....	31
Table 12 Αποτελέσματα δυναμικού υπερθέρμανσης του πλανήτη.....	32
Table 13 Αποτελέσματα δυναμικού οξίνισης.....	34
Table 14 Αποτελέσματα σωματιδίων ανθρώπινης υγείας.....	35
Table 15 Αποτελέσματα δυναμικού ευτροφισμού.....	36
Table 16 Αποτελέσματα δυναμικού διάσπασης όζοντος	37
Table 17 Αποτελέσματα δυναμικού δημιουργίας νέφους	38
Table 18 Αποτελέσματα συνολικής πρωτογενής ενέργειας	39
Table 19 Αποτελέσματα μη ανανεώσιμης ενέργειας	40
Table 20 Αποτελέσματα κατανάλωσης ορυκτών πόρων.....	41
Table 21 Σύγκριση σεναρίων δυναμικού υπερθέρμανσης του πλανήτη ανά στάδιο κύκλου ζωής.....	58
Table 22 Σύγκριση σεναρίων δυναμικού οξίνισης ανά στάδιο κύκλου ζωής.....	58
Table 23 Σύγκριση σεναρίων σωματιδίων ανθρώπινης υγείας ανά στάδιο κύκλου ζωής.....	59
Table 24 Σύγκριση σεναρίων δυναμικού ευτροφισμού ανά στάδιο κύκλου ζωής.....	60
Table 25 Σύγκριση σεναρίων δυναμικού διάσπασης όζοντος ανά στάδιο κύκλου ζωής	61
Table 26 Σύγκριση σεναρίων δυναμικού δημιουργίας νέφους ανά στάδιο κύκλου ζωής	62
Table 27 Σύγκριση σεναρίων κατανάλωσης ορυκτών πόρων ανά στάδιο κύκλου ζωής	63

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ορισμός

Αντικείμενο αυτής της διπλωματικής είναι η ανάλυση κύκλου ζωής μίας κατοικίας. Αρχικά πρέπει να δοθεί ο ορισμός της ανάλυσης κύκλου ζωής. Ο Δρ. Kloepffer, το 1992, έδωσε τον εξής ορισμός για την ανάλυση κύκλου ζωής: «Η ανάλυση κύκλου ζωής είναι η διαδικασία καταγραφής και ανάλυσης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ενός προϊόντος (χρήσης ενέργειας και πρώτων υλών, ρύπανση ατμόσφαιρας, νερού, εδάφους κ.ο.κ.) καθ' όλη την διάρκεια του κύκλου ζωής του, από τη σύλληψη μέχρι την απόρριψη του.»[1] Ένας πιο λεπτομερής και πιο κατανοητός ορισμός της ανάλυσης κύκλου ζωής είναι: «Ανάλυση Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ) είναι μια τεχνική εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που συνδέονται με κάποιο προϊόν, διεργασία ή δραστηριότητα προσδιορίζοντας και ποσοτικοποιώντας την ενέργεια και τα υλικά που χρησιμοποιούνται, καθώς και τα απόβλητα που απελευθερώνονται στο περιβάλλον, εκτιμώντας τις επιπτώσεις από τη χρήση της ενέργειας και των υλικών καθώς και των αποβλήτων και αναγνωρίζοντας και εκτιμώντας τις δυνατότητες περιβαλλοντικών βελτιώσεων. Η ανάλυση περιλαμβάνει ολόκληρο τον κύκλο ζωής του προϊόντος, της διεργασίας ή της δραστηριότητας: εξαγωγή και επεξεργασία πρώτων υλών, κατασκευή, συσκευασία, μεταφορά, χρήση, συντήρηση και απόρριψη και διαχείριση των αποβλήτων.» [2] Παρακάτω, αναφέρονται τα στάδια του κύκλου ζωής του προϊόντος, της διεργασίας ή της δραστηριότητας.

1. Εξαγωγή και επεξεργασία πρώτων υλών: Αρχικά, χρειάζεται ενέργεια για τις δραστηριότητες που απαιτούνται για την εξόρυξη των πρώτων υλών από το έδαφος ή την συλλογή αυτών. Επίσης, για να μπορούν να αξιοποιηθούν οι πρώτες ύλες είναι αναγκαίο να γίνει η επεξεργασία μέσω διάφορων διεργασιών, κατάλληλες για το κάθε προϊόν, διεργασία ή δραστηριότητα ή κάθε μία.
2. Κατασκευή: Στο στάδιο αυτό γίνεται η μετατροπή της πρώτης ύλης σε μορφή όπου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή του τελικού προϊόντος.
3. Συσκευασία: Περιλαμβάνονται όλες οι διεργασίες που απαιτούνται για την συσκευασία του τελικού προϊόντος.
4. Μεταφορά: Γίνεται η μεταφορά του συσκευασμένου τελικού προϊόντος στην αγορά μέσω μεταφορικών μέσων(οδικώς, αεροπορικώς, ακτοπλοϊκώς).
5. Χρήση και συντήρηση: Σε αυτό το στάδιο γίνεται η χρήση του προϊόντος και εάν είναι μεγάλης διάρκειας γίνεται και συντήρηση αυτού έως ότου να φτάσει το επόμενο στάδιο.

6. Απόρριψη και διαχείριση αποβλήτων: Τέλος, γίνεται η απόρριψη του προϊόντος στο τέλος της διάρκειας ζωής του ή γίνεται η διαχείριση του ώστε να γίνει ανακύκλωση.

1.2 Σκοπός εφαρμογής ανάλυσης κύκλου ζωής

Σκοπός της εφαρμογής της ανάλυσης κύκλου ζωής είναι η αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων που σχετίζονται με ένα προϊόν, διεργασία ή δραστηριότητα με την αναγνώριση και ποσοτικοποίηση της ενέργειας και των πρώτων υλών που χρησιμοποιούνται, καθώς και των αποβλήτων (στερεών, υγρών και αέριων), που απελευθερώνονται στο περιβάλλον. Επιπλέον, η αξιολόγηση των επιπτώσεων στο περιβάλλον, η χρήση των πρώτων υλών και της ενέργειας σε συνδυασμό με την παραγωγή των αποβλήτων. Η αναγνώριση και αξιολόγηση των δυνατοτήτων για αποτελεσματικές περιβαλλοντικές βελτιώσεις σε σχέση με τα ανωτέρω. Τέλος, η ορθολογική χρήση πρώτων υλών και ενέργειας σε κάθε στάδιο του κύκλου ζωής ενός προϊόντος ή ακόμη και σχεδιασμός νέων προϊόντων και παραγωγικών διαδικασιών.

1.3 Κατηγορίες επιπτώσεων στην ανάλυση κύκλου ζωής

Οι κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων που υπάρχουν στην ανάλυση κύκλου ζωής είναι οι εξής:

- Δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη

Ο δείκτης αυτός εκφράζεται σε $\text{kg CO}_2 \text{ eq}$ διότι το CO_2 συμμετέχει σε μεγάλο βαθμό στο φαινόμενο του θερμοκηπίου άρα και στην υπερθέρμανση του πλανήτη.

- Δυναμικό οξίνισης

Ο δείκτης αυτός εκφράζεται σε $\text{kg SO}_2 \text{ eq}$ διότι το SO_2 μετατρέπεται σε H_2SO_4 με προσθήκη νερού όπου είναι ισχυρό οξύ και μπορεί να αλλάξει το pH του νερού, εδάφους και του αέρα.

- Σωματίδια ανθρώπινης υγείας

Ο δείκτης αυτό εκφράζεται σε $\text{kg PM}_{2.5} \text{ eq}$ διότι κάποια σωματίδια με διάμετρο από $\leq 2.5 \mu\text{m}$ μπορούν να δημιουργήσουν αρνητικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία με την εισπνοή τους.

- Δυναμικό Ευτροφισμού

Ο δείκτης αυτός εκφράζεται σε kg N eq διότι το N έχει πολύ σημαντικό ρόλο στην δημιουργία ευτροφισμού.

- Δυναμικό διάσπασης όζοντος

Ο δείκτης αυτός εκφράζεται σε kg CFC-11 eq διότι οι CFC-11 αντιδρούν με το όζον που υπάρχει στην στρατόσφαιρα και έτσι γίνεται διάσπαση του όζοντος.

- Δυναμικό δημιουργίας νέφους(όζον)

Ο δείκτης αυτός εκφράζεται σε kg O₃ eq διότι το O₃ όταν βρίσκεται μέσα σε πόλεις και εισπνέεται από τους ανθρώπους μπορεί να δημιουργήσει πολύ σημαντικές επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου.

- Συνολική πρωτογενής ενέργεια

Ο δείκτης αυτός εκφράζεται σε MJ και αποτελείται από δύο δείκτες όπου είναι το άθροισμα των δύο επόμενων κατηγοριών. Η συνολική πρωτογενής ενέργεια είναι

- Μη ανανεώσιμη ενέργεια

Αυτός ο δείκτης είναι ο ένας από τους δύο δείκτες που αποτελείται η συνολική πρωτογενής ενέργεια. Ο συγκεκριμένος δείκτης εκφράζεται σε MJ και μετράει την κατανάλωση της μη ανανεώσιμης ενέργειας που χρειάστηκε καθ' όλη την διάρκεια του κύκλου ζωής του προϊόντος, δραστηριότητας ή διεργασίας.

- Κατανάλωση ορυκτών πόρων

Τέλος, ο δείκτης αυτός είναι ο δεύτερος από τους δύο που αποτελείται η συνολική πρωτογενής ενέργεια. Επίσης εκφράζεται σε MJ και μετράει την κατανάλωση ορυκτών πόρων που χρειάστηκε καθ' όλη την διάρκεια του κύκλου ζωής του προϊόντος, δραστηριότητας ή διεργασίας.

1.4 Στόχος διπλωματικής εργασίας

Ο στόχος της διπλωματικής εργασίας είναι η κατανόηση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος μίας κατοικίας μέσω της μεθόδου ανάλυσης κύκλου ζωής (LCA). Συγκεκριμένα, γίνεται ανάλυση κύκλου ζωής μίας κατοικίας με το βασικό σενάριο και ύστερα με άλλα τρία σενάρια, όπου στο βασικό σενάριο είναι μία συμβατική κατοικία, σχετικά με την κατασκευή και την ενεργειακή απόδοση της, και στα υπόλοιπα τρία σενάρια η κατοικία έχει διάφορες αλλαγές σε υλικά κατασκευής. Αρχικά, γίνεται ο τρισδιάστατος σχεδιασμός και ύστερα η ενεργειακή μοντελοποίηση και προσομοίωση του βασικού σεναρίου της κατοικίας για να βρεθούν οι συνολικές ενεργειακές ανάγκες της κατοικίας. Στην συνέχεια, πραγματοποιείται η ανάλυση κύκλου ζωής του βασικού σεναρίου της κατοικίας. Πραγματοποιείται ανάλυση κύκλου ζωής της κατοικίας και στα τρία σενάρια της. Οι διαφορές που προκύπτουν στα αποτελέσματα των τεσσάρων σεναρίων συγκρίνονται βάσει των διαφορετικών υλικών στην κατασκευή της κατοικίας αλλά και βάσει της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας κατά την περίοδο λειτουργίας της. Έτσι, καθίσταται κατανοητή η έννοια του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των υλικών κατασκευής αλλά και της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας κατά την περίοδο λειτουργίας μίας κατοικίας.

2. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

2.1 Ανάλυση κύκλου ζωής σε κτίρια

Αρχικά είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι το κτιριακό απόθεμα στην Ελλάδα ευθύνεται για το 36% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας της χώρας. [3] Ενώ η πλειονότητα των οδηγιών και των μελετών εστιάζει στις εκπομπές που ευθύνονται για την κατανάλωση ενέργειας κατά την περίοδο λειτουργίας ενός κτιρίου, η μέτρηση και ο μετριασμός των εκπομπών ενσωματωμένων στις τεράστιες ποσότητες των κατασκευαστικών υλικών κατά την διάρκεια σχεδιασμού παραμένει ασυνήθιστη πρακτική.[4] Η έννοια «ενσωματωμένων εκπομπών» είναι ανάλογη με εκείνη της «ενσωματωμένης ενέργειας» και αναφέρεται στις εκπομπές που σχετίζονται με την παραγωγή ενός αντικειμένου ή αγαθού. Η έννοια της «ενσωματωμένης ενέργειας» παρέχει ίσως το σημαντικότερο μέτρο για τον υπολογισμό του περιβαλλοντικού αντίκτυπου ενός υλικού – αντικειμένου. Η ενσωματωμένη ενέργεια περιγράφει την ποσότητα της ενέργειας που καταναλώθηκε για την παραγωγή ενός υλικού – αντικειμένου. [5] Όταν αναφέρεται η παραγωγή του υλικού – αντικειμένου βάσει ενός κτιρίου, εννοεί την εξόρυξη των πόρων, την μεταφορά τους, την επεξεργασία του ώστε να παραχθεί το τελικό προϊόν για να μπορεί να εκμεταλλευτεί, την κατασκευή του, την εγκατάσταση του, την επί τόπου κατασκευή, την συντήρηση, την επισκευή, την αντικατάσταση του και τελικά την καταστροφή και την απόρριψή του.[6]

Σε παγκόσμιο επίπεδο, ο τομέας των κτιρίων ευθύνεται για το 40% της χρήσης υλικών πόρων. [7] Η ενσωματωμένη ενέργεια ενός συμβατικού κτιρίου αποτελεί το 5%-36% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας κατά την διάρκεια ζωής του. Για τα χαμηλής κατανάλωσης κτίρια αποτελεί το 23%-58%, ενώ για τα nZEB (nearly Zero Energy Buildings) κτίρια όπου η ενεργειακή κατανάλωση τους κατά την διάρκεια λειτουργίας του κτιρίου είναι σχεδόν μηδενική ή μηδέν φτάνει να αποτελεί το 69%-100%. [8] Με τα παραπάνω δεδομένα φαίνεται η αναγκαιότητα για μείωση της ενσωματωμένης ενέργειας στα κτίρια αφού πλέον γίνονται αλλαγές για την αναβάθμιση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, άρα και την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας κατά την διάρκεια λειτουργίας τους. Αυτό δίνει όλη την βαρύτητα στην αναγκαιότητα μείωσης της ενσωματωμένης ενέργειας των υλικών κατασκευής των κτιρίων με την αποδοτικότερη χρήση τους ή την χρήση βιώσιμων υλικών κατασκευής. [4]

2.2 Προκλήσεις ανάλυσης κύκλου ζωής

Η ανάλυση κύκλου ζωής είναι ένα σημαντικό εργαλείο για την μείωση των συνολικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων των κτιρίων. Παρόλα αυτά, οι μέθοδοι και τα εργαλεία ανάλυσης κύκλου ζωής αντιμετωπίζουν σημαντικούς περιορισμούς και προκλήσεις. Βάσει μίας μελέτης όπου ερωτήθηκαν διάφοροι μέτοχοι στην Σκανδιναβική βιομηχανία κτιρίων που έχουν εμπειρία στην ανάλυση κύκλου ζωής στην επιχείρησή τους, βγήκαν τα παρακάτω συμπεράσματα[9]:

- Οι ερωτώμενοι της μελέτης περιέγραψαν την δυσκολία στην εύρεση και την συλλογή δεδομένων όταν εκτελούσαν την ανάλυση κύκλου ζωής ενός κτιρίου.
- Η σκανδιναβική βιομηχανία κτιρίων βρίσκει την ανάλυση κύκλου ζωής χρονοβόρα και δαπανηρή.
- Ο χειρισμός της φάσης τέλους ζωής(end-of-life phase) των κτιρίων στην ανάλυση κύκλου ζωής επισημάνθηκε ως μία πρόκληση. (Τα περιβαλλοντικά οφέλη της ανακύκλωσης, επαναχρησιμοποίησης και της ανάκτησης ενέργειας αντιπροσωπεύουν ένα σημαντικό κενό γνώσης στον κατασκευαστικό κλάδο)

Σε άλλη δημοσίευση, οι περιορισμοί και οι προκλήσεις που υπάρχουν στις τρέχουσες μεθόδους ανάλυσης κύκλου ζωής και τα εργαλεία είναι[10]:

- Οι εκτιμήσεις για συγκεκριμένη τοποθεσία: αρκετές τοπικές επιπτώσεις πρέπει να ληφθούν υπόψιν στις εκτιμήσεις κτιρίων, όπως είναι το μικροκλίμα.
- Η πολυπλοκότητα μοντέλου: τα κτίρια περιλαμβάνουν ένα μεγάλος εύρος υλικών/προϊόντων, αλληλοεπιδρώντας ως μέρος μίας σύνθετης διάταξης ή συστήματος.

- Η αβεβαιότητα σεναρίου: ο μεγάλος χρόνος λειτουργίας των κτιρίων, συμπεριλαμβανομένης της δυνατότητας μελλοντικής ανακαίνισης, δημιουργεί προβλήματα αβεβαιότητας στην ανάλυση κύκλου ζωής που δεν αντιμετωπίζονται επί του παρόντος.
- Η υγεία και ευεξία: οι παραδοσιακές μέθοδοι ανάλυσης κύκλου ζωής δεν απευθύνονται στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των εσωτερικών και εξωτερικών χώρων στην υγεία και την ευημερία.
- Τα δεδομένα των ανακυκλωμένων υλικών: η έλλειψη δεδομένων σχετικά με την χρήση απορριμμάτων και ανακυκλωμένων υλικών ως νέα δομικά υλικά.
- Η έλλειψη συνεκτίμησης κοινωνικών και οικονομικών πτυχών.
- Η έλλειψη ικανοτήτων αιτιολόγησης και υποστήριξης αποφάσεων: όπως είναι η διερεύνηση σεναρίων «τι θα γινόταν αν» για την αξιολόγηση εναλλακτικών επιλογών σχεδιασμού και επινόηση προσαρμοσμένων στρατηγικών, προωθώντας έτσι τον ενεργό έλεγχο κτιρίων και συνοικιών.
- Η έλλειψη ευθυγράμμισης με μοντέλα: όπως είναι η μοντελοποίηση κατασκευαστικών πληροφοριών(BIM), τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών(GIS) και οι δομές δεδομένων ανάλυσης κύκλου ζωής.
- Η έλλειψη πλήρους υποστήριξης χρονικών πληροφοριών: υπάρχει ανάγκη να ληφθούν υπόψη οι χρονικές πληροφορίες στο υπόβαθρο και στο πρώτο πλάνο του αποθέματος του κύκλου ζωής(LCI) και στις φάσεις εκτίμησης επιπτώσεων του κύκλου ζωής(LCIA) για την αντιμετώπιση των σταδίων συντήρησης, λειτουργίας, αποδόμησης, απόρριψης και ανακύκλωσης.

2.3 Εργαλεία για ανάλυση κύκλου ζωής

Αρχικά, υπάρχουν δύο κατηγορίες εργαλείων για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των κτιρίων. Η πρώτη κατηγορία εργαλείων βασίζεται στην εφαρμογή κριτηρίων, βάσει των οποίων ορίζονται τιμές σε επιλεγμένες παραμέτρους για να εκτιμηθούν οι περιβαλλοντικές τους επιπτώσεις (από μικρής έως μεγάλης κλίμακας). Η δεύτερη κατηγορία εργαλείων βασίζεται στη μεθοδολογία της ανάλυσης του κύκλου ζωής και εφαρμόζεται κυρίως στην επιλογή των κατάλληλων πρακτικών σχεδιασμού και των υλικών κατασκευής. Μέσα από την ανάλυση του κύκλου ζωής εξετάζεται ολοκληρωμένα το κατασκευαστικό προϊόν σε όλη την διάρκεια του κύκλου ζωής του, από την εξαγωγή των απαιτούμενων πρώτων υλών μέχρι την κατεδάφιση του. Το πλεονέκτημα της συγκεκριμένης κατηγορίας εργαλείων έγκειται στη δυνατότητα υπολογισμού των επιπτώσεων που προκύπτουν από το συνδυασμό συγκεκριμένων υλικών κατασκευής και τεχνικών σχεδιασμού. Παραδείγματα εργαλείων της δεύτερης κατηγορίας είναι: Bees (USA), Beat (Denmark), Envest (UK), ATHENA (Canada),

EcoQuantum (Netherlands), Team (France), Equer (France) και το KCL-Eco (Finland).[11]

Η επιλογή του Athena Impact Estimator for Buildings έγινε διότι μπορεί να εφαρμοστεί για νέες κατασκευές, ανακαινίσεις και προσθήκες σε όλους του τύπους κτιρίων. Μπορεί να μοντελοποιήσει πάνω από 1200 συνδυασμούς δομικών διατάξεων και διατάξεων φακέλου του κτιρίου. Επιτρέπει την γρήγορη και εύκολη σύγκριση πολλαπλών σχεδιαστικών επιλογών. Επιπλέον, το Athena Impact Estimator for Buildings παρέχει ένα προφίλ απογραφής κύκλου ζωής(LCI – Life Cycle Inventory) από την «κούνια έως τον τάφο» για ένα ολόκληρο κτίριο. Τα αποτελέσματα της απογραφής περιλαμβάνει την ροή από και προς την φύση: ενέργεια και ροές πρώτων υλών όπως και εκπομπές στον αέρα, στο νερό και στο έδαφος. Επίσης, οι χρήστες μπορούν γρήγορα να περιγράψουν τις διατάξεις του κτιρίου όπου χρειάζονται απλές πληροφορίες όπως είναι τα φορτία που δέχεται αυτή η διάταξη. Υπάρχει ευελιξία στην προσθήκη υλικών αν χρειάζεται ή αλλιώς μπορεί να προστεθεί ένας «λογαριασμός» υλικών από οποιοδήποτε σχεδιαστικό πρόγραμμα.

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Για την διεξαγωγή αποτελεσμάτων της ανάλυσης κύκλου ζωής της κατοικίας χρειάζεται το λογισμικό Athena Impact Estimator for Buildings όπου και αναλύεται παρακάτω. Στην συνέχεια, βρίσκεται η εκτιμώμενη ετήσια κατανάλωση ενέργειας της κατοικίας. Για την εκτιμώμενη ετήσια κατανάλωση ενέργειας της κατοικίας πραγματοποιείται η τρισδιάστατη σχεδίαση και η ενεργειακή μοντελοποίηση και προσομοίωση της με το λογισμικό SketchUp και Open Studio αντίστοιχα.

3.1 Περιγραφή εργαλείου Athena Impact Estimator for Buildings

3.1.1 Athena Impact Estimator for Buildings

Το Athena Impact Estimator for Buildings είναι ένα πρόγραμμα ανάλυσης κύκλου ζωής κτιρίου όπου μέσω της μοντελοποίησης του κτιρίου προκύπτουν αποτελέσματα για το περιβαλλοντικό αποτύπωμα του κτιρίου. Η ανάλυση κύκλου ζωής του κτιρίου αποτελείται από την κατασκευή των υλικών, συμπεριλαμβανομένης της εξόρυξης πόρων και του ανακυκλωμένου περιεχομένου, την μεταφορά τους, την κατασκευή επί τόπου, τις τοπικές διακυμάνσεις στην χρήση ενέργειας, μεταφοράς και άλλων παραγόντων, τον τύπο του κτιρίου και τη διάρκεια ζωής του, την συντήρηση και τις αλλαγές που θα χρειαστούν ανά τα χρόνια, της κατεδάφισης και της διάθεσης του. Τα αποτελέσματα για το περιβαλλοντικό αποτύπωμα του κτιρίου χωρίζεται σε επτά τομείς. Οι επτά τομείς είναι:

- Δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη

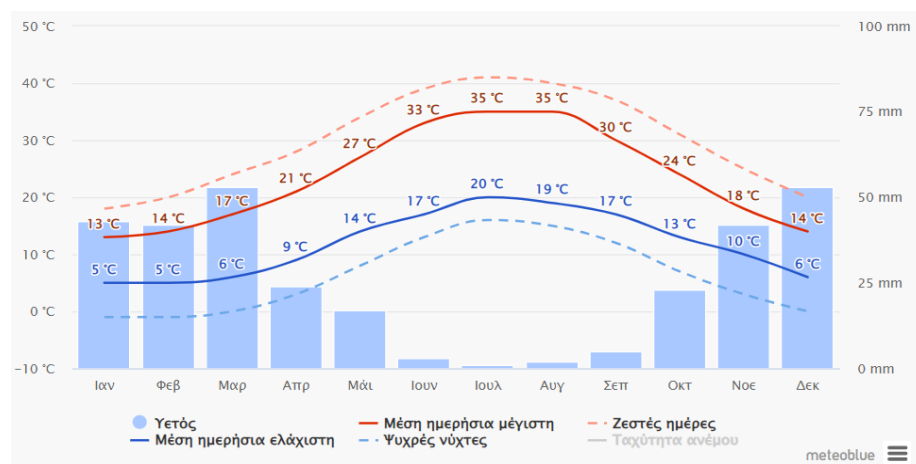
- Δυναμικό οξίνισης
- Δυναμικό αναπνευστικών επιδράσεων στην υγεία του ανθρώπου
- Δυναμικό καταστροφής της στρώσης του όζοντος
- Δυναμικό φωτοχημικού νέφους
- Δυναμικό ευτροφισμού
- Κατανάλωση ορυκτών καυσίμων

3.1.2 Περιορισμοί προγράμματος και παραδοχές μελέτης

Ο περιορισμός του συγκεκριμένου προγράμματος είναι ότι αφορά την Αμερική και τον Καναδά, για αυτό και στην Ευρώπη δεν χρησιμοποιείται συχνά. Αυτό επηρεάζει τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης διπλωματικής αφού το ενεργειακό μίγμα αλλάζει ανά χώρα αλλά και ανά περιφέρεια. Για να μπορέσει να γίνει η καλύτερη προσέγγιση, βρέθηκε το ενεργειακό μείγμα της Ελλάδας [12] όπου είναι $0,49\text{kgCO}_2/\text{kWh}$ και στο πρόγραμμα Athena Impact Estimator for Buildings δοκιμάστηκαν όλες οι τοποθεσίες που είναι διαθέσιμες και επιλέχθηκε η πόλη Portland ώστε να συσχετιστεί με το ενεργειακό μείγμα της Ελλάδας. Επιπλέον, το Athena Impact Estimator for Buildings δέχεται δεδομένα σχετικά με το κτίριο βάσει ορθογωνικών κατόψεων. Βάσει του παραπάνω δεδομένου, τα θεμέλια και η οροφή χωρίστηκαν σε δύο λόγω της κάτοψης του κτιρίου μελέτης ώστε να μπορεί να καταχωρηθεί και να αθροιστούν οι επιπτώσεις των εκάστοτε τμημάτων.

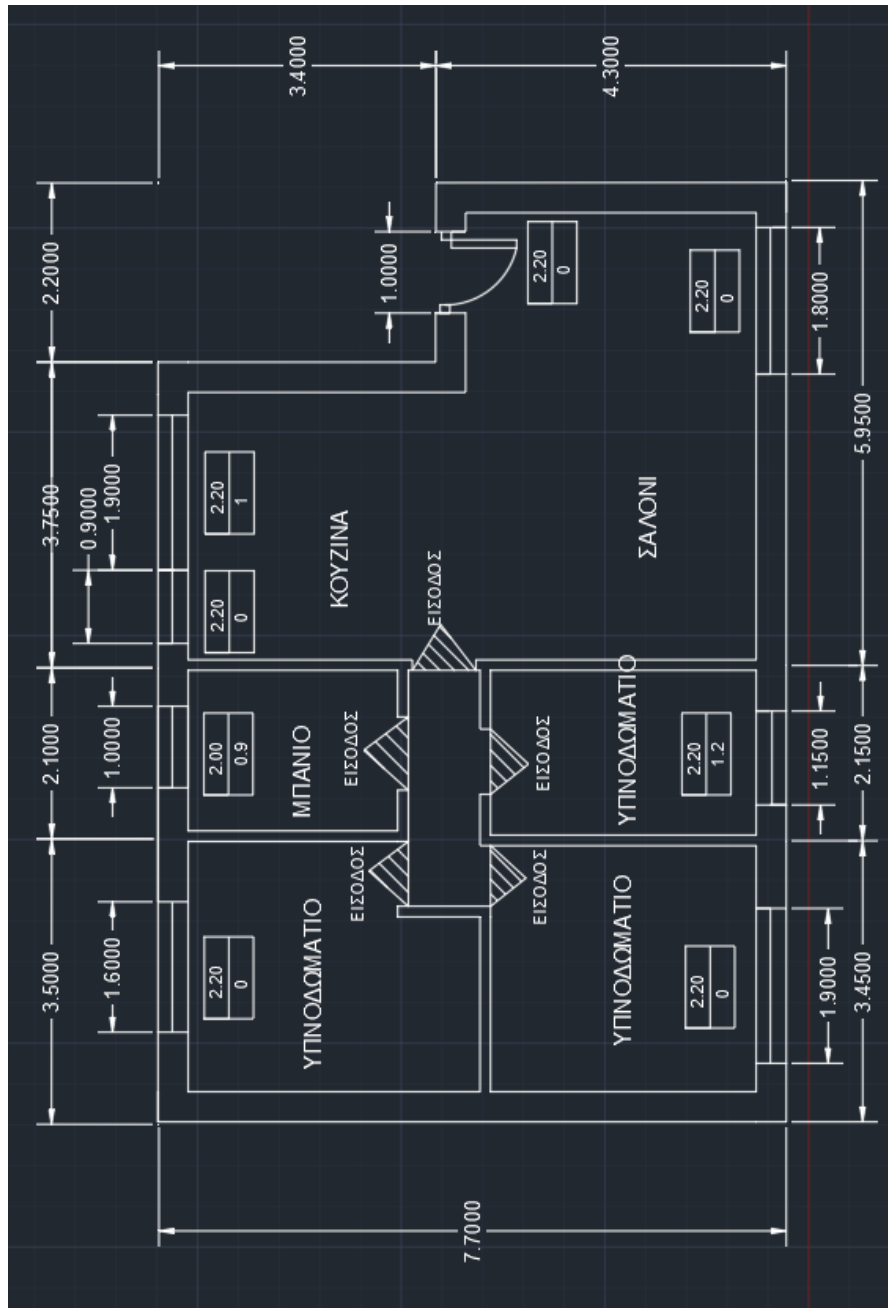
3.2 Μελέτη περίπτωσης

Η μελέτη περίπτωσης βρίσκεται στην Ελλάδα και συγκεκριμένα στην πόλη της Ελευσίνας. Αρχικά, πρέπει να αναφερθεί ότι η Ελευσίνα, με γεωγραφικό πλάτος 38.041 και γεωγραφικό μήκος 23.543, έχει υψόμετρο τα 5 μέτρα. Το κλίμα της πόλης χαρακτηρίζεται μεσογειακό και οι θερμοκρασίες το καλοκαίρι κατά μέσο όρο φτάνουν από 35°C έως 17°C , με μέσο όρο υετού τα 2mm για αυτούς τους τρεις μήνες, ενώ το χειμώνα φτάνουν από 14°C έως 5°C , με 46mm.



Εικόνα 1 Διάγραμμα μηνών-θερμοκρασίας, υετού και ύψος νερού

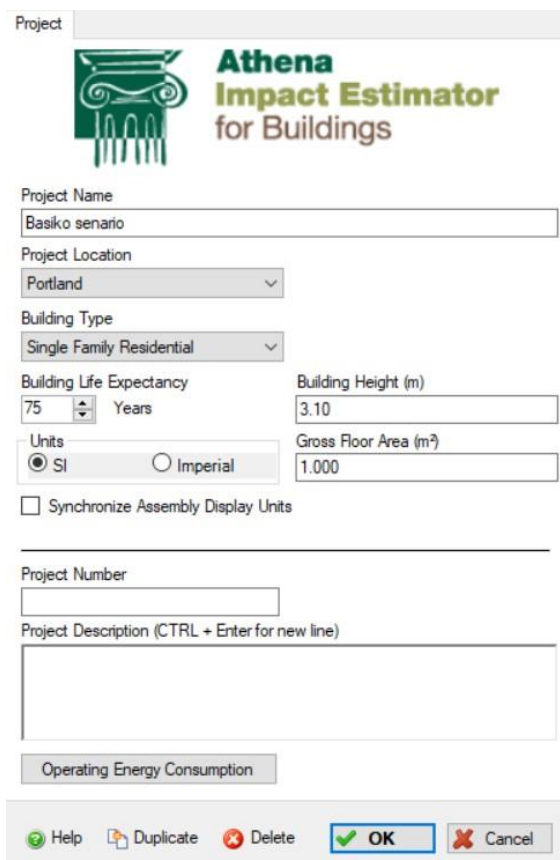
Η μελέτη περίπτωσης αφορά μία μονοκατοικία. Η μονοκατοικία στεγάζει 4 άτομα και αποτελείται από μία κουζίνα, ένα καθιστικό, τρία υπνοδωμάτια και ένα μπάνιο. Το εμβαδόν της μονοκατοικίας είναι 81,48m². Η κατεύθυνση της κεντρικής εισόδου της μονοκατοικίας είναι προς τα δυτικά.



Εικόνα 2: Κάτοψη κατοικίας στο AutoCAD

Τα δεδομένα που εισήχθησαν σχετικά με την περιγραφή του κτιρίου στο Athena Impact Estimator for Buildings:

- Τοποθεσία: Portland
- Τύπος κτιρίου: Κατοικία μίας οικογένειας
- Προσδόκιμος χρόνος ζωής: 75 χρόνια[13]
- Ύψος κτιρίου: 3.10m



The screenshot displays the 'Project' window of the Athena Impact Estimator for Buildings. The interface includes the following fields and controls:

- Project Name:** Basiko senario
- Project Location:** Portland (selected from a dropdown menu)
- Building Type:** Single Family Residential (selected from a dropdown menu)
- Building Life Expectancy:** 75 Years (with a spinner control)
- Building Height (m):** 3.10
- Gross Floor Area (m²):** 1.000
- Units:** SI (selected with a radio button), Imperial (unselected)
- ☐ Synchronize Assembly Display Units
- Project Number:** (empty text field)
- Project Description (CTRL + Enter for new line):** (empty text area)
- Operating Energy Consumption:** (button)
- Buttons at the bottom:** Help, Duplicate, Delete, OK (highlighted with a blue border), Cancel.

Εικόνα 3: Δεδομένα που εισήχθησαν στο Athena Impact Estimator for Buildings

Αρχικά συμπληρώνονται, το όνομα του έργου (Basiko senario), η τοποθεσία που βρίσκεται το έργο (Portland) ο τύπος κτιρίου (Single Family Residential). Επίσης, εισάγονται τα χρόνια του προσδόκιμου χρόνου ζωής του κτιρίου[14], το ύψος του κτιρίου και οι μονάδες μέτρησης που προκύπτουν τα αποτελέσματα.

3.3 Ενεργειακή Αξιολόγηση Κατοικίας

Αρχικά, έγινε η τρισδιάστατη μοντελοποίηση της κατοικίας μέσω SketchUp και ύστερα η ενεργειακή μοντελοποίηση και προσομοίωση της μέσω του Open Studio. Τα αποτελέσματα των ενεργειακών αναγκών της κατοικίας είναι τα παρακάτω:

	kWh	$\frac{kWh}{m^2}$ (81.48m ²)
Θέρμανση	10602.73	130.13
Ψύξη	520.49	6.39
Φωτισμός	376.68	
Ηλεκτρικές συσκευές	1960.04	
Σύνολο Ενεργειακών Αναγκών	13459.08	

Table 1 Ενεργειακές ανάγκες κατοικίας

Για την λειτουργία του μηχανισμού θέρμανσης και ψύξης προστέθηκε θερμοστάτης ώστε να λειτουργούν σε συγκεκριμένες θερμοκρασίες. Τα σημεία ρύθμισης του θερμοστάτη για θέρμανση και ψύξη είναι 20°C και 26°C.

Για την ενεργειακή μοντελοποίηση και προσομοίωση μέσω του Open Studio τα χαρακτηριστικά των υλικών που εισήχθησαν παρουσιάζονται παρακάτω:

	Χαρακτηριστικά				
Υλικά	Σκληρότητα	Πάχος(m)	Πυκνότητα(kg/m ³)	Ειδική Θερμότητα(J/kg*K)	Συντελεστής Θερμικής Αγωγιμότητας(W/m*K)
Σκυρόδεμα 1	VeryRough	0.15	2000	1000	1.35
Σκυρόδεμα 2	VeryRough	0.2	2000	1000	1.35
Ξύλο	Rough	0.12	800	1600	0.17
Διογκωμένη Πολυστερίνη	MediumSmooth	0.05	30	1450	0.033
Γυαλί	-	0.003	-	-	0.9
Αέρας	-	0.003	-	-	-

Table 2 Χαρακτηριστικά υλικών κατασκευής

Τα βήματα για την εύρεση του όγκου πετρελαίου θέρμανσης είναι τα παρακάτω:

Ετήσια κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση: 10602.73kWh ή $130.13 \frac{kWh}{m^2}$

Από βιβλιογραφία[15], το 1L diesel περιέχει περίπου 10kWh και με απόδοση 0.8 του λέβητα πετρελαίου έχουμε:

- Ετήσια κατανάλωση πετρελαίου θέρμανσης: 1060L

Στην συνέχεια, συμπληρώνεται η ηλεκτρική ενέργεια και οποιαδήποτε άλλη μορφή ενέργειας (για παράδειγμα τον όγκο πετρελαίου που χρειάζεται για θέρμανση η κατοικία) χρειάζεται το κτίριο ανά τον χρόνο κατά την περίοδο λειτουργίας του. Η ηλεκτρική ενέργεια είναι το άθροισμα της ετήσιας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για ψύξη, ηλεκτρικές συσκευές και φωτισμό.

Ετήσια κατανάλωση ενέργειας βασικού σεναρίου:

- Ηλεκτρική ενέργεια: 2857.21kWh
- Πετρέλαιο(Diesel): 1060L

Value	Unit	Of	Energy Type	Frequency	Action
2857.2	kWh	Of	Electricity	Per Year	
0.0	m³	Of	Natural Gas	Per Year	Compute Fuel
0.0	Litre	Of	LPG	Per Year	Compute Fuel
0.0	Litre	Of	Heavy Fuel	Per Year	Compute Fuel
1060.0	Litre	Of	Diesel	Per Year	Compute Fuel
0.0	Litre	Of	Gasoline	Per Year	Compute Fuel

Εικόνα 4 Ετήσια ενεργειακή κατανάλωση κατοικίας κατά την περίοδο λειτουργίας της

3.4 Συγκροτήματα κατοικίας

Βάσει του τρόπου εισαγωγής δεδομένων του Athena Impact Estimator for Buildings, έγινε διαίρεση της κατοικίας σε δύο τμήματα και συγκεκριμένα σε ένα μικρό τμήμα του σαλονιού και στο δεύτερο τμήμα που είναι η υπόλοιπη κατοικία. Αυτό πραγματοποιήθηκε για την εισαγωγή δεδομένων των θεμελίων και της οροφής που εισάγονται μόνο με ορθογωνικά τμήματα. Στο τέλος, συναθροίζονται οι επιπτώσεις των δύο τμημάτων και εξάγονται τα ανάλογα αποτελέσματα. Παρακάτω παρουσιάζονται τα κύρια δεδομένα που εισήχθησαν:

Εμβαδόν κατοικίας	81.48 m ²
Ύψος κτιρίου	3.10m
Αριθμός κολώνων	11
Αριθμός δοκών	7
Ύψος κολώνων	2.9m

Bay size¹	4.20m
Supported span²	3.70m
Υλικό κατασκευής κολώνων και δοκών	Σκυρόδεμα
Συνολικό μήκος εξωτερικών τοίχων	36.65m
Συνολικό μήκος εσωτερικών τοίχων	23.35m
Αριθμός παραθύρων	6
Συνολική επιφάνεια παραθύρων	16.28 m ²
Αριθμός πορτών	6

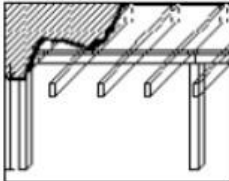
Table 3: Κύρια δεδομένα κατασκευής κατοικίας

3.4.1 Συγκρότημα κολώνων και δοκών

Τα δεδομένα που εισήχθησαν στο συγκρότημα των κολώνων και δοκών φαίνονται παρακάτω:

Assembly

Name:



Number of Columns:

Number of Beams:

Bay Size (m):

Supported Span (m):

Supported Area (m²):

Column Height (m):

Supported Element
☐ Floor
☒ Roof

Live Load
☒ 2.4 kPa
☐ 3.6 kPa
☐ 4.8 kPa

Units
☒ SI
☐ Imperial

Column Type
☐ Softwood Lumber
☐ Hollow Structural Steel
☐ Glulam
☐ LVL / PSL
☐ WF
☒ Concrete
☐ Precast Concrete Perimeter
☐ Precast Concrete Interior
☐ User Defined Concrete

Beam Type
☐ Glulam
☐ LVL / PSL
☐ WF
☒ Concrete
☐ Precast Concrete Perimeter
☐ Precast Concrete Interior
☐ User Defined Concrete

Εικόνα 5 Συγκρότημα κολώνων και δοκών

¹ Το Bay size είναι η απόσταση μεταξύ δύο κολώνων που βρίσκονται στην ίδια δοκό, άρα στην ίδια κατεύθυνση. Η απόσταση που καλύπτεται συγκεκριμένα είναι από την μία άκρη της μίας κολόνας στο μέσο της επόμενης.

² Το Supported span είναι η απόσταση μεταξύ των μεγαλύτερων σε μήκος δοκών και λόγω διαφορετικών αποστάσεων επιλέγεται η μεγαλύτερη απόσταση.

3.4.2 Συγκρότημα πατωμάτων – θεμελίων

Στα θεμέλια προστέθηκαν βάσεις με τα παρακάτω χαρακτηριστικά

Δεδομένα βάσεων	
Μήκος	4.4m
Πλάτος	4.4m
Πάχος	400mm

Table 4 Δεδομένα βάσεων

Το μήκος και πλάτος που εισήχθησαν είναι το συνολικό αφού η κάθε βάση είναι 0.4m x 0.4m και εφόσον υπάρχουν 11 κολώνες διαμορφώνεται στο παραπάνω συνολικό μήκος και συνολικό πλάτος.

Assembly Envelope

Name: foot

Length (m): 4.4

Width (m): 4.4

Thickness (mm): 400

Rebar

- ☒ 70 kg/m3
- ☐ 85 kg/m3
- ☐ 100 kg/m3

Concrete

- ☐ User Defined
- ☐ 15 MPa
- ☒ 25 MPa
- ☐ 30 MPa
- ☐ 35 MPa
- ☐ 40 MPa
- ☐ 55 MPa

Units

- ☒ SI
- ☐ Imperial

Εικόνα 6 Συγκρότημα βάσεων

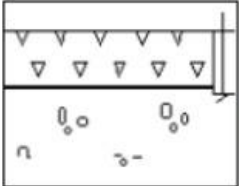
Επίσης, προστέθηκε και το πάτωμα σε δύο τμήματα λόγω του τρόπου εισαγωγής δεδομένων του συγκεκριμένου λογισμικού όπου αναφέρθηκε και σε παραπάνω κεφάλαιο.

	Πρώτο τμήμα	Δεύτερο τμήμα
Μήκος	9.35m	2.2m
Πλάτος	7.7m	4.3m
Πάχος	200mm	200mm

Table 5 Δεδομένα πατωμάτων

Assembly Envelope

Name:
foundation1



Length (m):
9.35

Width (m):
7.70

Thickness

☐ 100 mm

☒ 200 mm

Units

☒ SI

☐ Imperial

Concrete

☐ User Defined

☐ 15 MPa

☒ 25 MPa

☐ 30 MPa

☐ 35 MPa

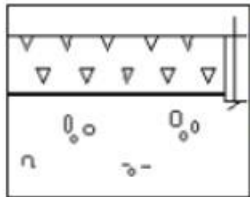
☐ 40 MPa

☐ 55 MPa

Εικόνα 7 Πρώτο τμήμα συγκροτήματος πατώματος

Assembly Envelope

Name:
foundation2



Length (m):
2.20

Width (m):
4.30

Thickness

☐ 100 mm

☒ 200 mm

Units

☒ SI

☐ Imperial

Concrete

☐ User Defined

☐ 15 MPa

☒ 25 MPa

☐ 30 MPa

☐ 35 MPa

☐ 40 MPa

☐ 55 MPa

Εικόνα 8 Δεύτερο τμήμα συγκροτήματος πατώματος

3.4.3 Συγκρότημα οροφής

Όπως και στα θεμέλια, η οροφή διαιρέθηκε σε δύο τμήματα για την σωστή εισαγωγή των δεδομένων. Παρακάτω παρουσιάζονται τα δεδομένα των δύο τμημάτων της οροφής:

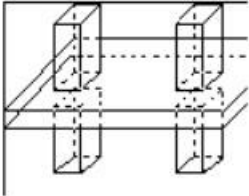
	Πρώτο τμήμα	Δεύτερο τμήμα
Πλάτος	7.7m	4.3m
Span	9.35m	2.2m
Διογκωμένη Πολυστερίνη	50mm	50mm

Table 6 Δεδομένα οροφής

Η διογκωμένη πολυστερίνη βρίσκεται στον υποφάκελο envelope(φάκελος) όπου εκεί προστίθενται υλικά που υπάρχουν σε μία οροφή.

Assembly Envelope

Name:
roof1



Roof Width (m):
7.70

Span (m):
9.35

Live Load
☒ 2.4 kPa
☐ 3.6 kPa
☐ 4.8 kPa

Units
☒ SI
☐ Imperial

Concrete
☐ User Defined
☐ 15 MPa
☒ 25 MPa
☐ 30 MPa
☐ 35 MPa
☐ 40 MPa
☐ 55 MPa

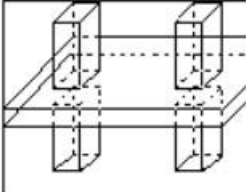
Roof area (m²): 72.00

Εικόνα 9 Πρώτο τμήμα συγκροτήματος οροφής

Assembly
Envelope

Name:

roof2



Roof Width (m):
4.30

Span (m):
2.20

Concrete
☐ User Defined
☐ 15 MPa
☒ 25 MPa
☐ 30 MPa
☐ 35 MPa
☐ 40 MPa
☐ 55 MPa

Live Load
☒ 2.4 kPa
☐ 3.6 kPa
☐ 4.8 kPa

Units
☒ SI
☐ Imperial

Roof area (m²): 9.46

Εικόνα 10 Δεύτερο τμήμα συγκροτήματος οροφής

3.4.4 Συγκρότημα τοίχων

Οι τοίχοι της κατοικίας διαιρέθηκαν σε δύο τύπους, στους εξωτερικούς και στους εσωτερικούς τοίχους. Αρχικά, τα δεδομένα των εξωτερικών τοίχων της κατοικίας παραθέτονται στον παρακάτω πίνακα:

Δεδομένα εξωτερικών τοίχων	
Συνολικό μήκος	36.65m
Ύψος	3.1m
Δομικό συστατικό τοίχου	Οπλισμένο σκυρόδεμα

Table 7: Δεδομένα εξωτερικών τοίχων

Το συνολικό μήκος των εξωτερικών και εσωτερικών τοίχων μετρήθηκε από το λογισμικό SketchUp, που χρειάστηκε για την ενεργειακή αξιολόγηση της κατοικίας και από το λογισμικό AutoCAD που χρειάστηκε για την δημιουργία της κάτοψης της κατοικίας. Οι τοίχοι επιλέχθηκε να κατασκευαστούν με οπλισμένο σκυρόδεμα για την αντοχή που τους διαθέτει.

Custom Wall
Opening
Envelope

Name:
ext walls

Length (m):
36.65

Height (m):
3.1

Units
☒ SI
☐ Imperial

Available Assembly Components

Used Components

Concrete Block
Cast in Place
Concrete Tilt Up
Cross Laminated Timber
Curtain
Insulated Concrete Form
Steel Stud
Wood Stud
Structural Insulated Panels
Metal Building System - Wall

[Concrete, Tilt-Up] - Tilt up 1

Add
Edit
Delete
Duplicate

Εικόνα 11 Συγκρότημα εξωτερικών τοίχων

Εκτός από τα γενικά δεδομένα των τοίχων πρέπει να εισαχθούν και δεδομένα για τα ανοίγματα που θα έχουν οι τοίχοι, δηλαδή πόσα κουφώματα, πόσες πόρτες θα υπάρχουν και τα υλικά κατασκευής αυτών.

Ανοίγματα εξωτερικών τοίχων	
Αριθμός κουφωμάτων	6
Συνολική επιφάνεια Κουφωμάτων	16.28m ²
Τύπος πλαισίου	Αλουμινίου με δυνατότητα διπλού γυαλιού
Τύπος γυαλιού	Διπλό γυαλί, μαλακός αέρας στο διάκενο
Αριθμός πορτών	1
Τύπος πόρτας	Ξύλινη

Table 8: Δεδομένα ανοιγμάτων εξωτερικών τοίχων

Custom Wall Opening Envelope

Windows

Number Of Windows: 6

Total Window Area (m²): 16.28

Window Materials

Use Last Configuration

☐ Fixed ☒ Operable

Frame Type: Aluminum Window Frame Double Pane

Glazing Type: Double Glazed Soft Coated Air
(double or triple pane)

Doors - Standard Size (32" x 7)

Number of Doors: 1

Door Width (m): 0.813

Door Height (m): 2.134

Door Materials

Use Last Configuration

Door Type: Solid Wood Door

Εικόνα 12: Ανοίγματα εξωτερικών τοίχων

Επίσης, στον φάκελο(envelope) των εξωτερικών τοίχων όπου προστίθενται υλικά που υπάρχουν στο συγκεκριμένο δομικό στοιχείο, προστέθηκε θερμομόνωση και συγκεκριμένα διογκωμένη πολυστερίνη 50mm όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα.

Custom Wall Opening Envelope

Selected Envelope Components

Expanded Polystyrene (50.00 mm)

Insert

Move Up

Move Down

Remove

Clear All

Save as predefined

Predefined Envelope Systems

Add

Εικόνα 13 Φάκελος εξωτερικών τοίχων

Σχετικά με τους εσωτερικούς τοίχους τα δεδομένα που εισήχθησαν είναι:

Δεδομένα εσωτερικών τοίχων	
Συνολικό μήκος	23.35m
Ύψος	3.1m
Δομικό συστατικό τοίχου	Οπλισμένο σκυρόδεμα

Table 9 Δεδομένα εσωτερικών τοίχων

Εικόνα 14 Συγκρότημα εσωτερικών τοίχων

Στα ανοίγματα των εσωτερικών τοίχων προστέθηκαν μόνο δεδομένα για τις πόρτες που υπάρχουν για τα διαφορετικά δωμάτια της κατοικίας.

Ανοίγματα εσωτερικών τοίχων	
Αριθμός κουφωμάτων	0
Συνολική επιφάνεια Κουφωμάτων	0m ²
Τύπος πλαισίου	-
Τύπος γυαλιού	-
Αριθμός πορτών	5
Τύπος πόρτας	Ξύλινη

Table 10 Δεδομένα ανοιγμάτων εσωτερικών τοίχων

Υλικά κατασκευής κατοικίας

Τα υλικά κατασκευής που χρησιμοποιήθηκαν για την κατοικία παρουσιάζονται παρακάτω:

Material	Unit	Total Quantity	Columns & Beams	Foundations	Roofs	Walls	Mass Value	Mass Unit
Aluminium Window Frame	kg	109.9387	0.0000	0.0000	0.0000	109.9387	0.1099	Tonnes
Concrete Benchmark USA 3000 psi	m ³	75.3273	0.0000	25.1546	25.2479	24.9248	173.6434	Tonnes
Concrete Benchmark USA 4000 psi	m ³	9.9018	9.9018	0.0000	0.0000	0.0000	22.8815	Tonnes
Double Glazed Soft Coated Air	m ²	33.7827	0.0000	0.0000	0.0000	33.7827	0.5470	Tonnes
Expanded Polystyrene	m ² (25mm)	365.9618	0.0000	0.0000	168.3617	197.6001	0.2635	Tonnes
Nails	Tonnes	0.0227	0.0000	0.0000	0.0000	0.0177	0.0227	Tonnes
Rebar, Rod, Light Sections	Tonnes	4.7114	1.1757	0.6023	1.3401	1.5933	4.7114	Tonnes
Small Dimension Softwood Lumber, kiln - dried	m ³	0.5761	0.0000	0.0000	0.0000	0.5761	0.2651	Tonnes
Stucco over porous surface	m ²	262.8695	0.0000	0.0000	0.0000	262.8695	9.4633	Tonnes
Water Based Latex Paint	L	146.2040	0.0000	0.0000	0.0000	146.2040	0.1097	Tonnes
Welded Wire Mesh/Ladder Wire	Tonnes	0.0736	0.0000	0.0000	0.0736	0.0000	0.0736	Tonnes

Table 11 Υλικά κατασκευής κατοικίας

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης κύκλου ζωής της κατοικίας που θα παρουσιαστούν εξήχθησαν από το Athena Impact Estimator for Buildings. Οι κατηγορίες επιπτώσεων όπως έχουν αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο είναι οι παρακάτω.

1. Δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη
2. Δυναμικό οξίνισης
3. Σωματίδια ανθρώπινης υγείας
4. Δυναμικό ευτροφισμού
5. Δυναμικό διάσπασης όζοντος
6. Δυναμικό δημιουργίας νέφους (όζον)
7. Συνολική πρωτογενής ενέργεια
8. Μη ανανεώσιμη ενέργεια
9. Κατανάλωση ορυκτών πόρων

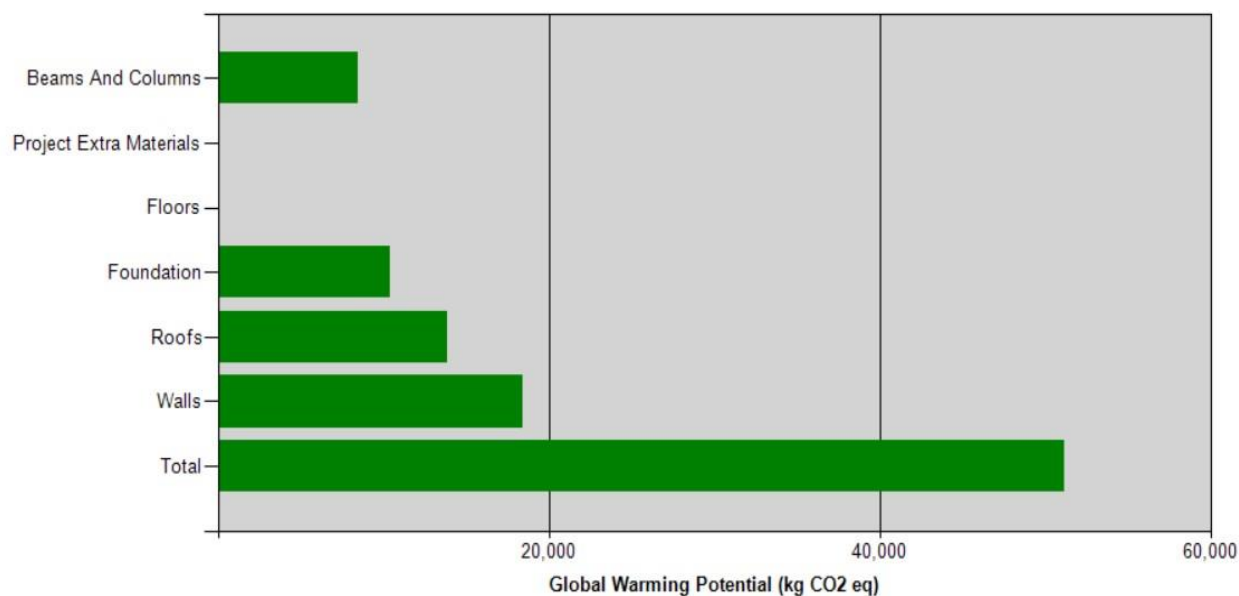
4.1 Κατηγορίες επιπτώσεων

4.1.1 Δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη

Τα αποτελέσματα του δυναμικού υπερθέρμανσης του πλανήτη παρουσιάζονται ανά συγκρότημα κατοικίας παρακάτω:

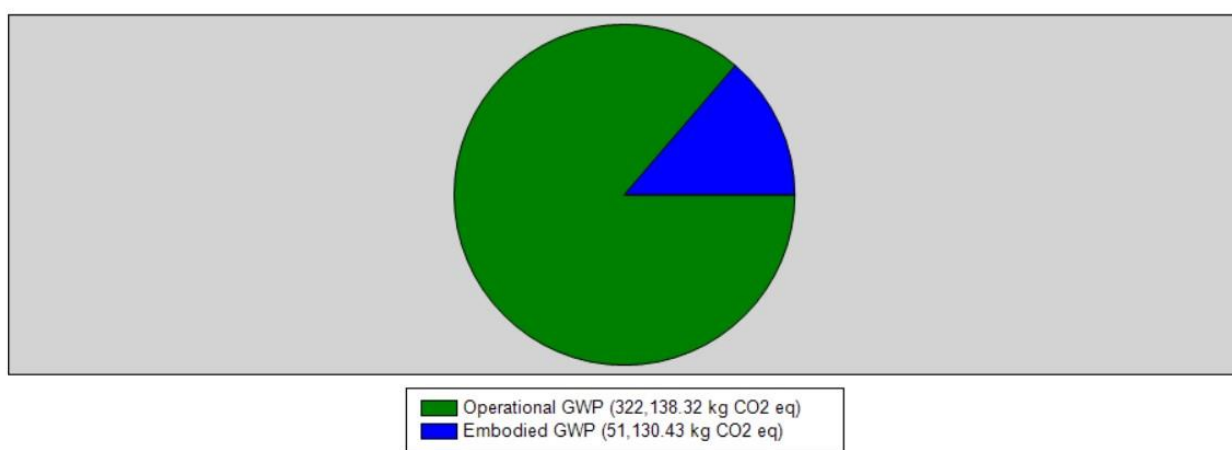
Συγκροτήματα	Μονάδα	Σύνολο
Δοκοί και Κολώνες	kg CO ₂ eq	8.46E+03
Θεμέλια	kg CO ₂ eq	1.04E+04
Οροφή	kg CO ₂ eq	1.38E+04
Τοίχοι	kg CO ₂ eq	1.84E+04
Σύνολο	kg CO ₂ eq	5.11E+04

Table 12 Αποτελέσματα δυναμικού υπερθέρμανσης του πλανήτη



Εικόνα 15 Διάγραμμα αποτελεσμάτων δυναμικού υπερθέρμανσης του πλανήτη

Παρακάτω παραθέτουμε το διάγραμμα που συγκρίνεται η συνεισφορά σε διοξείδιο του άνθρακα από την κατανάλωση ενέργειας κατά την περίοδο λειτουργίας της κατοικίας με την συνεισφορά του ενσωματωμένου άνθρακα(embodied carbon). Ο ενσωματωμένος άνθρακας αναφέρεται στα στάδια του κύκλου ζωής της κατοικίας εκτός της περιόδου λειτουργίας της κατοικίας. Η εξόρυξη πόρων, η μεταφορά τους, η επεξεργασία τους, η συντήρηση και το τέλος ζωής των υλικών κατασκευής της κατοικίας είναι τα στάδια που συμπληρώνουν τον ενσωματωμένο άνθρακα.



Operational GWP	Embodied GWP	Unit	Total
322,138.3	51,130.4	kg CO2 eq	373,268.8

Εικόνα 16 Διάγραμμα και πίνακας κατανάλωσης ενέργειας και ενσωματωμένου άνθρακα

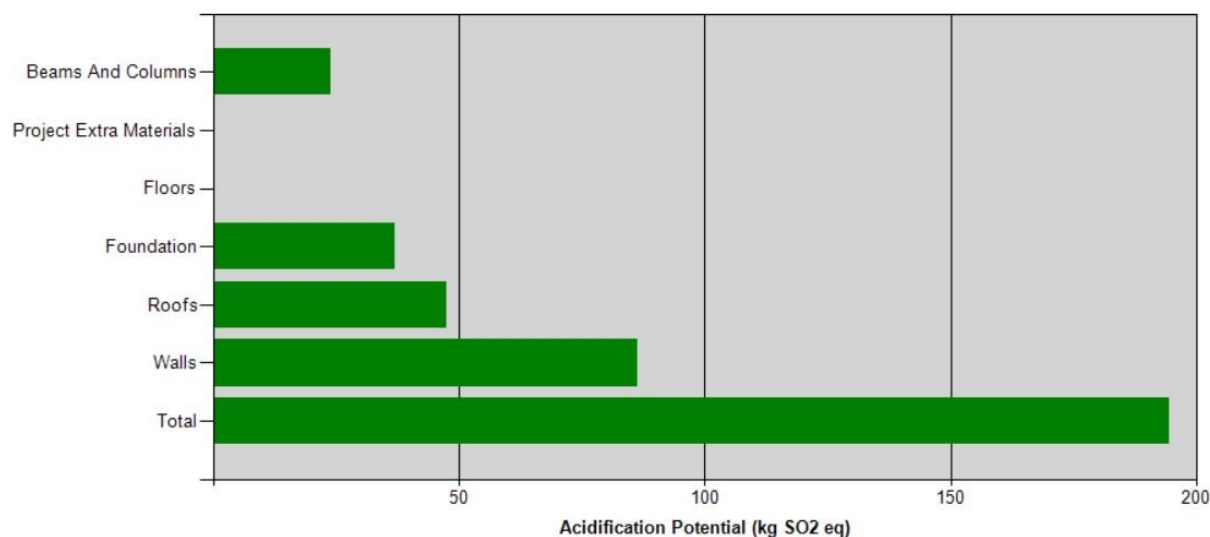
Η συνεισφορά στο δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη με την κατανάλωση ενέργειας κατά την περίοδο λειτουργίας της κατοικίας είναι κατά σχεδόν 6.5 φορές μεγαλύτερη από τον ενσωματωμένο άνθρακα των υλικών κατασκευής της κατοικίας. Αυτό δείχνει την σημαντική συνεισφορά της κατανάλωσης ενέργειας κατά την περίοδο λειτουργίας της κατοικίας στις συνολικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις της κατοικίας εν συγκρίσει του ενσωματωμένου άνθρακα των υλικών κατασκευής της κατοικίας.

4.1.2 Δυναμικό οξίνισης

Τα αποτελέσματα του δυναμικού οξίνισης παρουσιάζονται ανά συγκρότημα κατοικίας παρακάτω:

Συγκροτήματα	Μονάδα	Σύνολο
Δοκοί και Κολώνες	kg SO ₂ eq	2.40E+01
Θεμέλια	kg SO ₂ eq	3.70E+01
Οροφή	kg SO ₂ eq	4.75E+01
Τοίχοι	kg SO ₂ eq	8.62E+01
Σύνολο	kg SO ₂ eq	1.95E+02

Table 13 Αποτελέσματα δυναμικού οξίνισης



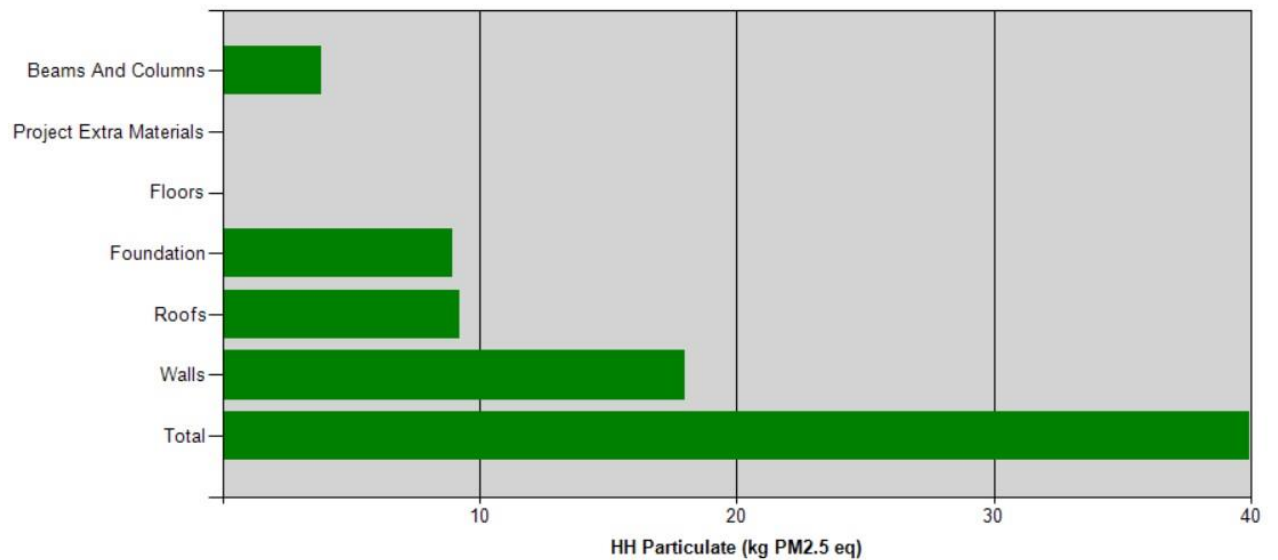
Εικόνα 17 Διάγραμμα αποτελεσμάτων δυναμικού οξίνισης

4.1.3 Σωματίδια ανθρώπινης υγείας

Τα αποτελέσματα των σωματιδίων ανθρώπινης υγείας παρουσιάζονται ανά συγκρότημα κατοικίας παρακάτω:

Συγκροτήματα	Μονάδα	Σύνολο
Δοκοί και Κολώνες	kg PM _{2.5} eq	3.84E+00
Θεμέλια	kg PM _{2.5} eq	8.91E+00
Οροφή	kg PM _{2.5} eq	9.24E+00
Τοίχοι	kg PM _{2.5} eq	1.80E+01
Σύνολο	kg PM _{2.5} eq	4.00E+01

Table 14 Αποτελέσματα σωματιδίων ανθρώπινης υγείας



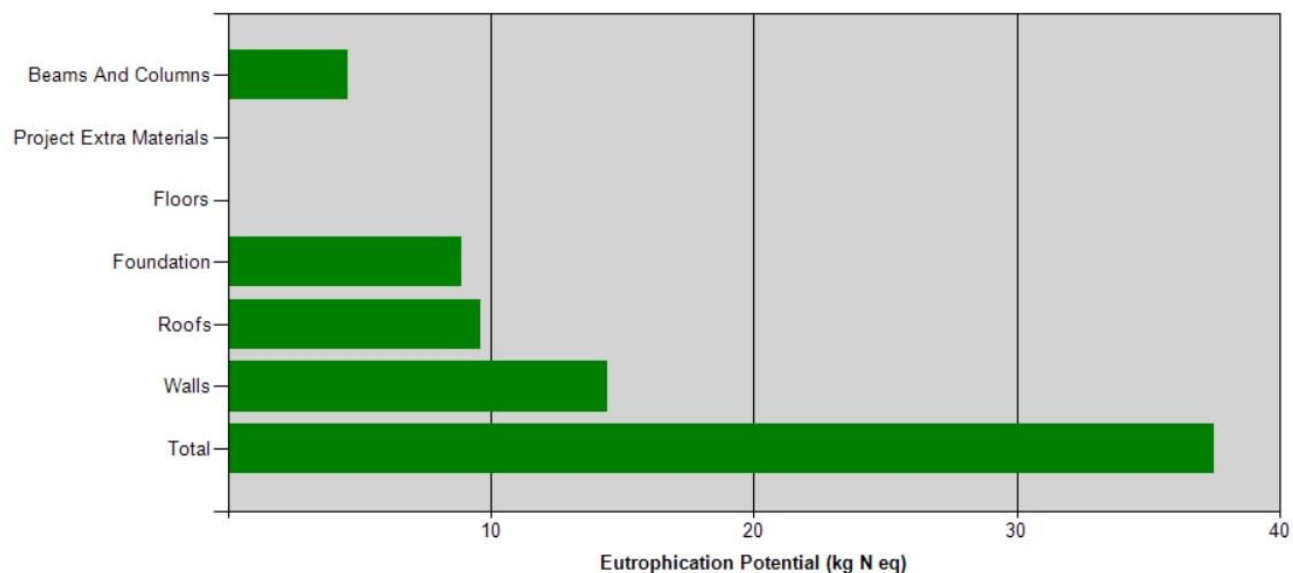
Εικόνα 18 Διάγραμμα αποτελεσμάτων σωματιδίων ανθρώπινης υγείας

4.1.4 Δυναμικό ευτροφισμού

Τα αποτελέσματα του δυναμικού ευτροφισμού παρουσιάζονται ανά συγκρότημα κατοικίας παρακάτω:

Συγκροτήματα	Μονάδα	Σύνολο
Δοκοί και Κολώνες	kg N eq	4.57E+00
Θεμέλια	kg N eq	8.90E+00
Οροφή	kg N eq	9.61E+00
Τοίχοι	kg N eq	1.45E+01
Σύνολο	kg N eq	3.75E+01

Table 15 Αποτελέσματα δυναμικού ευτροφισμού



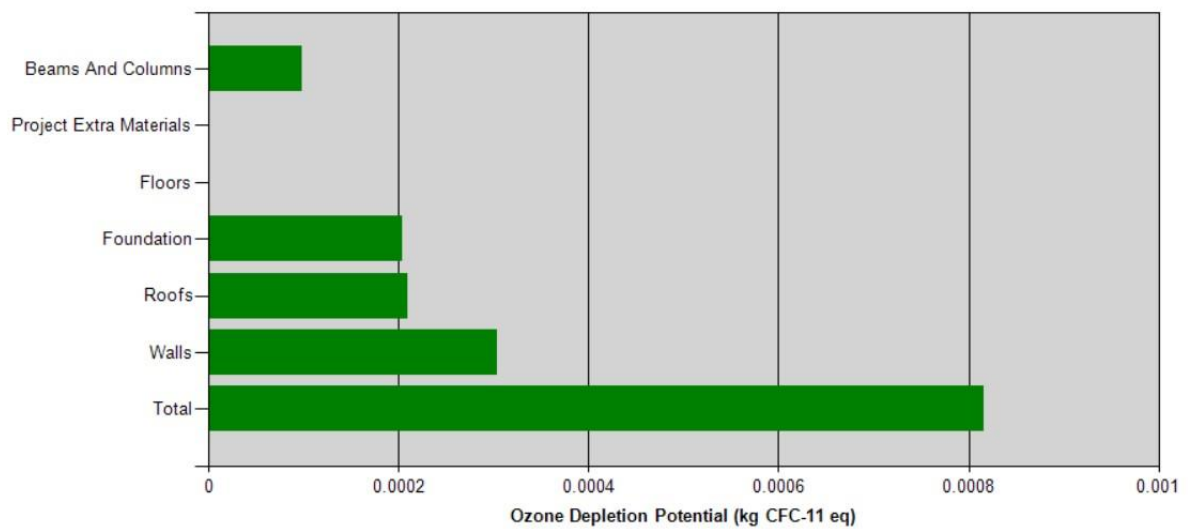
Εικόνα 19 Διάγραμμα αποτελεσμάτων δυναμικού ευτροφισμού

4.1.5 Δυναμικό διάσπασης όζοντος

Τα αποτελέσματα του δυναμικού διάσπασης όζοντος παρουσιάζονται ανά συγκρότημα κατοικίας παρακάτω:

Συγκροτήματα	Μονάδα	Σύνολο
Δοκοί και Κολώνες	kg CFC-11 eq	9.79E-05
Θεμέλια	kg CFC-11 eq	2.05E-04
Οροφή	kg CFC-11 eq	2.10E-04
Τοίχοι	kg CFC-11 eq	3.04E-04
Σύνολο	kg CFC-11 eq	8.16E-04

Table 16 Αποτελέσματα δυναμικού διάσπασης όζοντος



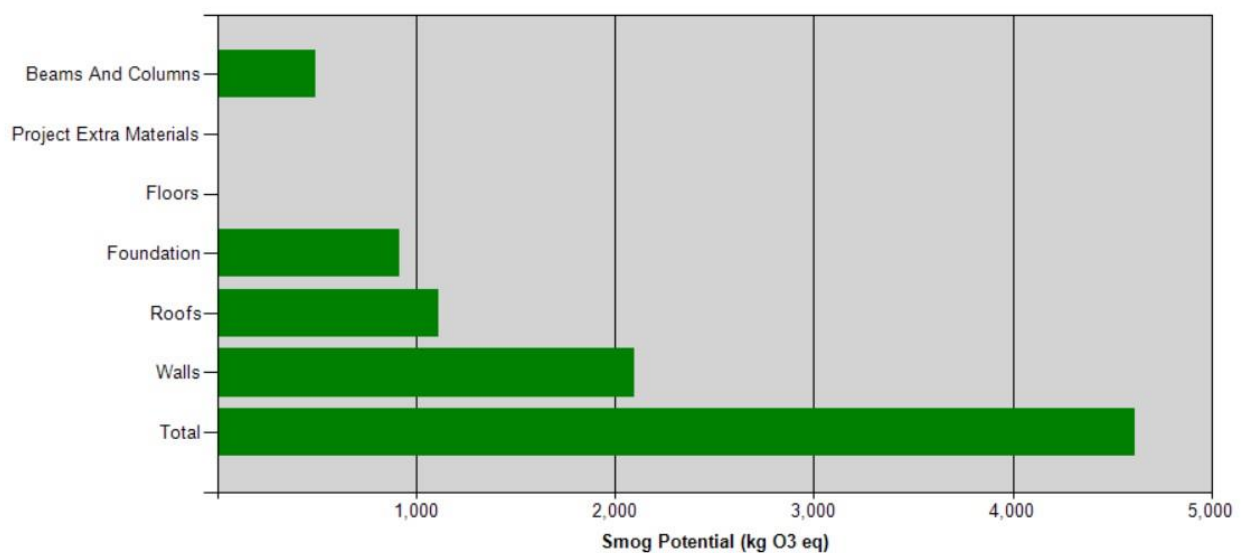
Εικόνα 20 Διάγραμμα αποτελεσμάτων δυναμικού διάσπασης όζοντος

4.1.6 Δυναμικό δημιουργίας νέφους (όζον)

Τα αποτελέσματα του δυναμικού δημιουργίας νέφους παρουσιάζονται ανά συγκρότημα κατοικίας παρακάτω:

Συγκροτήματα	Μονάδα	Σύνολο
Δοκοί και Κολώνες	kg O ₃ eq	4.96E+02
Θεμέλια	kg O ₃ eq	9.15E+02
Οροφή	kg O ₃ eq	1.11E+02
Τοίχοι	kg O ₃ eq	2.09E+03
Σύνολο	kg O ₃ eq	4.62E+03

Table 17 Αποτελέσματα δυναμικού δημιουργίας νέφους



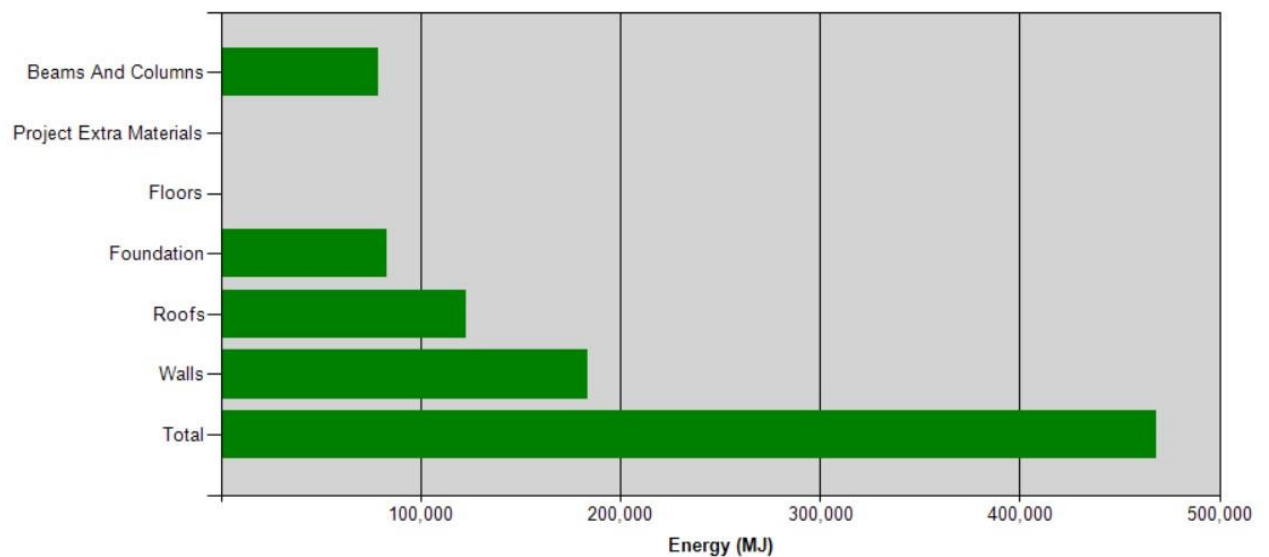
Εικόνα 21 Διάγραμμα αποτελεσμάτων δυναμικού δημιουργίας νέφους

4.1.7 Συνολική πρωτογενής ενέργεια

Τα αποτελέσματα της συνολικής πρωτογενής ενέργειας παρουσιάζονται ανά συγκρότημα κατοικίας παρακάτω:

Συγκροτήματα	Μονάδα	Σύνολο
Δοκοί και Κολώνες	MJ	7.90E+04
Θεμέλια	MJ	8.29E+04
Οροφή	MJ	1.23E+05
Τοίχοι	MJ	1.83E+05
Σύνολο	MJ	4.68E+05

Table 18 Αποτελέσματα συνολικής πρωτογενής ενέργειας



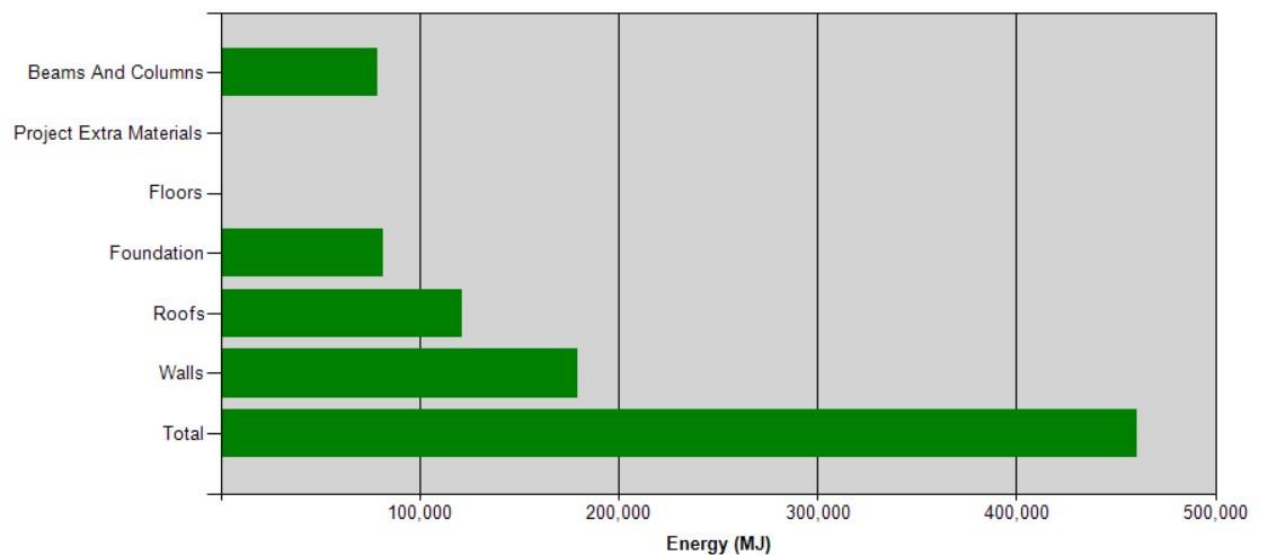
Εικόνα 22 Διάγραμμα αποτελεσμάτων συνολικής πρωτογενής ενέργειας

4.1.8 Μη ανανεώσιμη ενέργεια

Τα αποτελέσματα της μη ανανεώσιμης ενέργειας παρουσιάζονται ανά συγκρότημα κατοικίας παρακάτω:

Συγκροτήματα	Μονάδα	Σύνολο
Δοκοί και Κολώνες	MJ	7.86E+04
Θεμέλια	MJ	8.15E+04
Οροφή	MJ	1.21E+05
Τοίχοι	MJ	1.79E+05
Σύνολο	MJ	4.61E+05

Table 19 Αποτελέσματα μη ανανεώσιμης ενέργειας



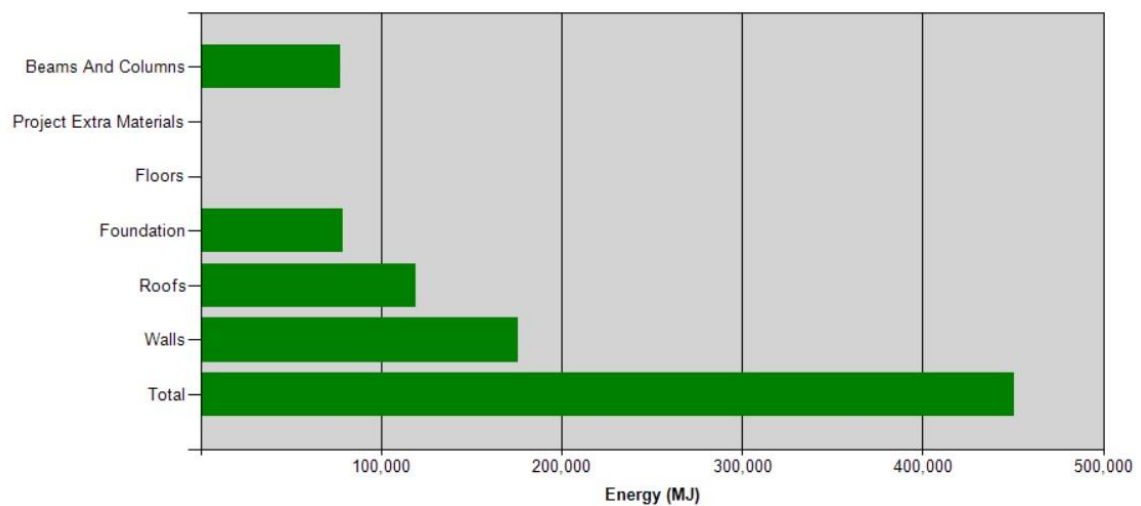
Εικόνα 23 Διάγραμμα αποτελεσμάτων μη ανανεώσιμης ενέργειας

4.1.9 Κατανάλωση ορυκτών πόρων

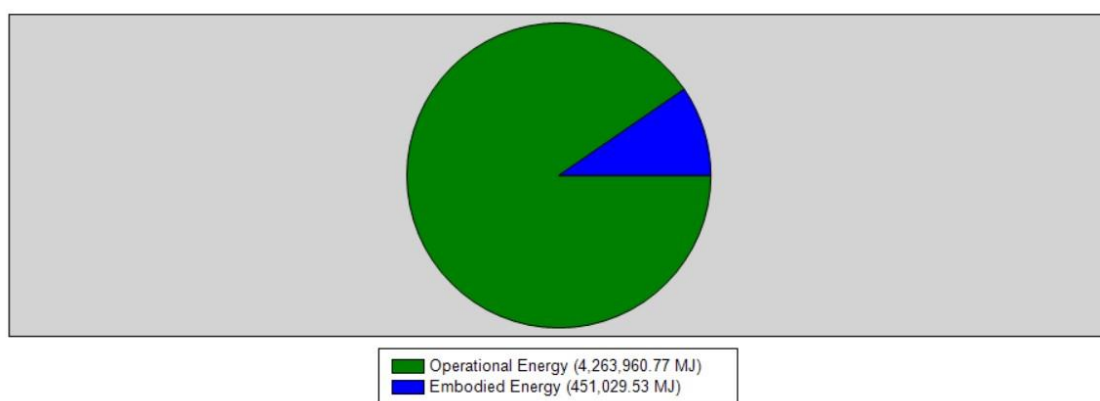
Τα αποτελέσματα της κατανάλωσης ορυκτών πόρων παρουσιάζονται ανά συγκρότημα κατοικίας παρακάτω:

Συγκροτήματα	Μονάδα	Σύνολο
Δοκοί και Κολώνες	MJ	7.75E+04
Θεμέλια	MJ	7.89E+04
Οροφή	MJ	1.19E+05
Τοίχοι	MJ	1.76E+05
Σύνολο	MJ	4.51E+05

Table 20 Αποτελέσματα κατανάλωσης ορυκτών πόρων



Εικόνα 24 Διάγραμμα αποτελεσμάτων κατανάλωσης ορυκτών πόρων



Operational Energy	Embodied Energy	Unit	Total
4,263,960.8	451,029.5	MJ	4,714,990.3

Εικόνα 25 Διάγραμμα και πίνακας κατανάλωσης ενέργειας και ενσωματωμένης κατανάλωσης ορυκτών πόρων

Η συνεισφορά στην κατανάλωση ορυκτών πόρων με την κατανάλωση ενέργειας κατά την περίοδο λειτουργίας της κατοικίας είναι κατά σχεδόν 9.5 φορές μεγαλύτερη από την ενσωματωμένη κατανάλωση ορυκτών πόρων των υλικών κατασκευής της κατοικίας. Όπως και στο δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη επίσης σε αυτή την κατηγορία επιπτώσεων διακρίνεται η μεγάλη συμμετοχή στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της κατοικίας από την κατανάλωση ενέργειας κατά την περίοδο λειτουργίας της κατοικίας.

Βάσει των παραπάνω αποτελεσμάτων αξίζει να σημειωθεί ότι το συγκρότημα κατοικίας που προκαλούσε σε μεγαλύτερο ποσοστό περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι το συγκρότημα των τοίχων. Το συγκρότημα των τοίχων που έχει την μεγαλύτερη συνεισφορά περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε όλες τις κατηγορίες επιπτώσεων έχει τουλάχιστον την διπλάσια από το συγκρότημα των κολώνων και δοκών που έχει την μικρότερη συνεισφορά. Έτσι, στο συγκρότημα των τοίχων χρειάζεται να γίνουν κάποιες αλλαγές ώστε να μειωθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της κατοικίας.

Η μείωση περιβαλλοντικών επιπτώσεων θα επιτευχθεί με την αλλαγή υλικών κατασκευής του συγκροτήματος τοίχων και την μείωση της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας κατά την περίοδο λειτουργίας της κατοικίας. Επιπλέον με την μείωση της ετήσιας ενεργειακής κατανάλωσης της κατοικίας κατά την περίοδο λειτουργίας της θα επηρεάσει σημαντικά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που επιφέρει η κατοικία. Η μείωση της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης κατά την περίοδο λειτουργίας της κατοικίας μπορεί να επιτευχθεί με προσθήκη και αύξηση μόνωσης και αντικατάσταση των κουφωμάτων με άλλα κουφώματα διαφορετικών υλικών κατασκευής. Αντίστοιχα, η μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του συγκροτήματος των τοίχων θα επιτευχθεί με την αλλαγή του υλικού κατασκευής των τοίχων.

Με τις αλλαγές που προτάθηκαν παραπάνω θα μειωθούν κατά πολύ οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της κατοικίας στο σύνολο της αφού με την αναβάθμιση της ενεργειακής απόδοσης της κατοικίας θα μειωθεί η συνολική κατανάλωση ενέργειας της κατοικίας κατά την περίοδο λειτουργίας της. Επίσης, με την αλλαγή του υλικού κατασκευής του συγκροτήματος τοίχων θα μειωθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις του συγκροτήματος που παίρνει μέρος στο μεγαλύτερο μέρος των συνολικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τα υπόλοιπα συγκροτήματα. Με την μείωση λοιπόν της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας κατά την περίοδο λειτουργίας της κατοικίας που δημιουργεί τις περισσότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε όλες τις κατηγορίες επιπτώσεων κατά πολύ εν συγκρίσει των άλλων σταδίων του κύκλου ζωής της κατοικίας και με την μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του συγκροτήματος τοίχων θα υπάρξει μία συνολική μείωση στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της κατοικίας.

4.2 Σύγκριση σεναρίων

Δημιουργήθηκαν τέσσερα σενάρια για τον σχεδιασμό μίας κατοικίας στην πόλη της Ελευσίνας ώστε να επιλεγεί το σενάριο με τις λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Οι αλλαγές που γίνονται στα σενάρια είναι στα υλικά κατασκευής της κατοικίας, στην μόνωση και στα κουφώματα της. Με τα διαφορετικά σενάρια που θα έχουν διαφορετικές ιδιότητες το κάθε ένα θα μπορεί να γίνει επιλογή του ιδανικού σεναρίου της κατοικίας.

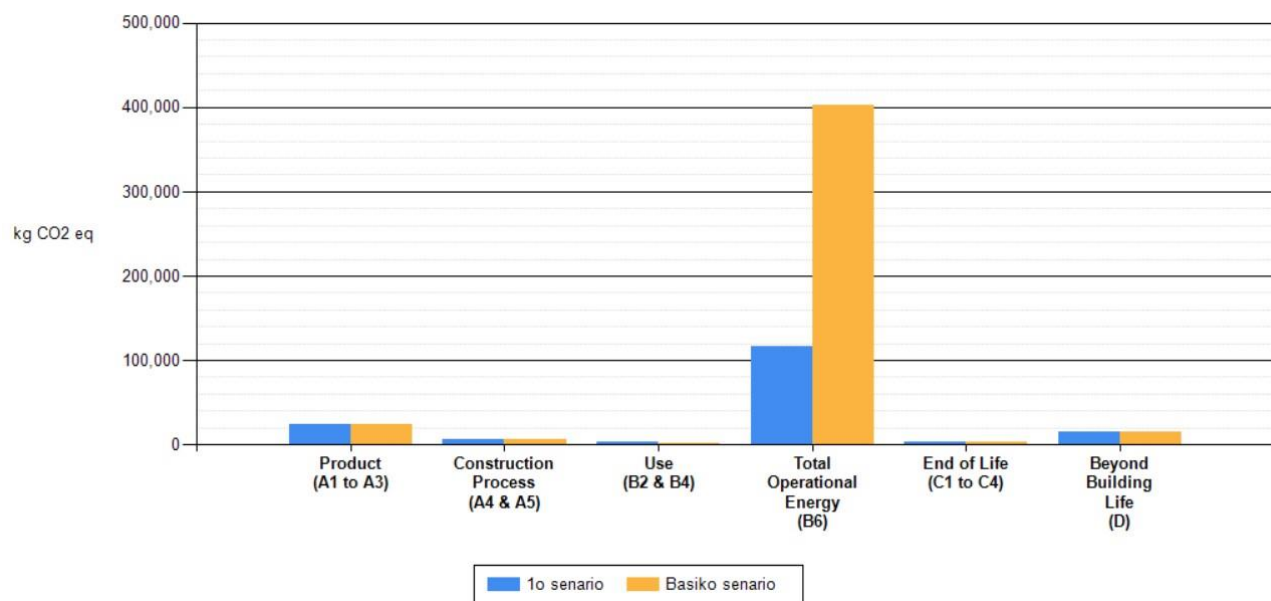
4.2.1 Σύγκριση βασικού σεναρίου με πρώτο σενάριο

Πρώτο σενάριο:

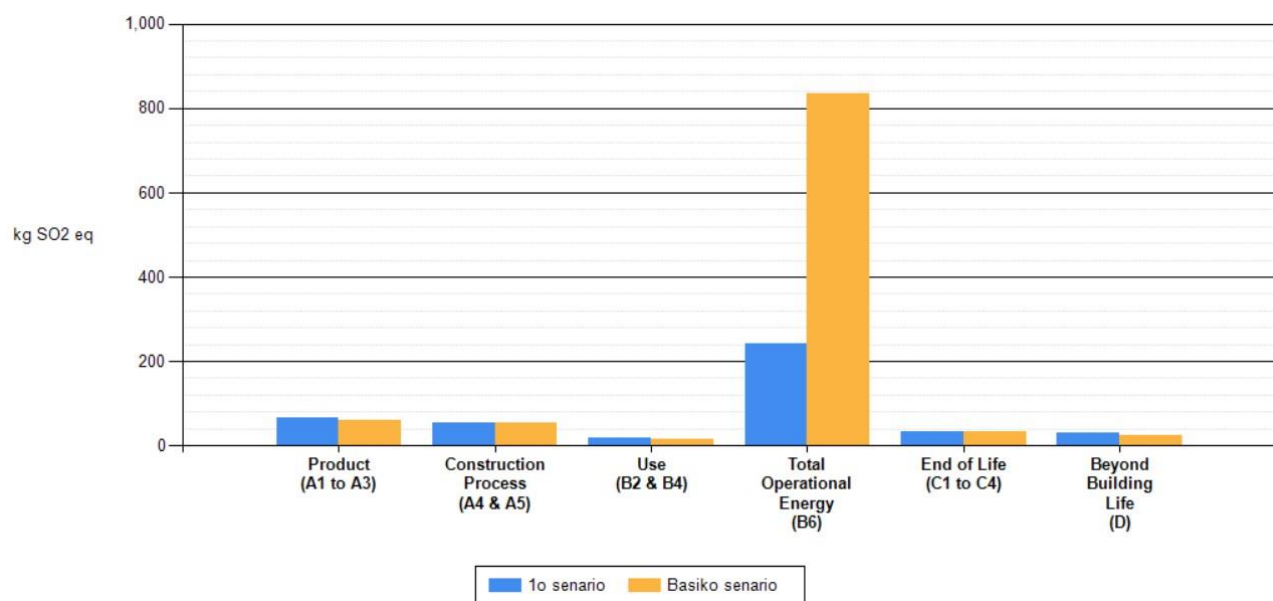
Οι αλλαγές που έγιναν στο πρώτο σενάριο είναι σχετικά με την μόνωση και τα κουφώματα της κατοικίας ώστε να μειωθεί η ετήσια ενεργειακή κατανάλωση της κατοικίας. Συγκεκριμένα, οι αλλαγές που έγιναν σε αυτό το σενάριο είναι οι εξής:

1. Προσθήκη 50mm διογκωμένης πολυστερίνης στα θεμέλια της κατοικίας
2. Προσθήκη επιπλέον 50mm διογκωμένης πολυστερίνης στους εξωτερικούς τοίχους της κατοικίας (Συνολικά 100mm)
3. Αντικατάσταση του αλουμινένιου πλαισίου σε PVC πλαίσιο και του διπλού υαλοπίνακα με μαλακό αέρα σε τριπλό υαλοπίνακα μαλακό αργό στο σύστημα κουφωμάτων
4. Αντικατάσταση του συστήματος θέρμανσης σε αντλία θερμότητας από τον λέβητα πετρελαίου

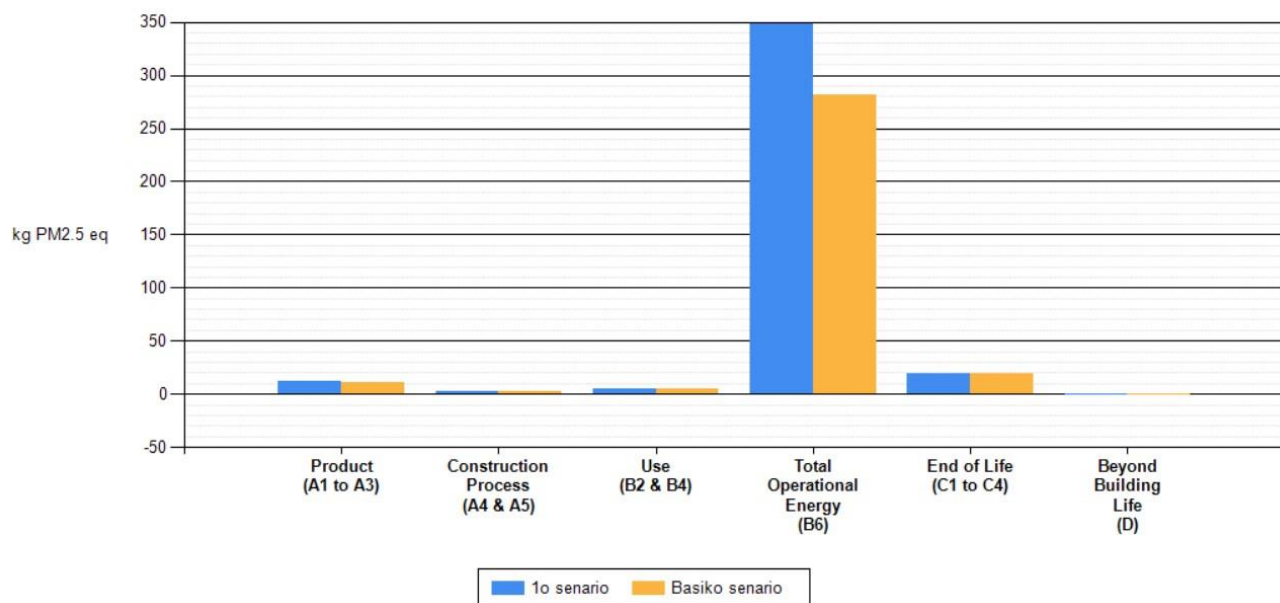
Παρακάτω παρουσιάζονται διαγράμματα σύγκρισης του βασικού σεναρίου με το πρώτο σενάριο:



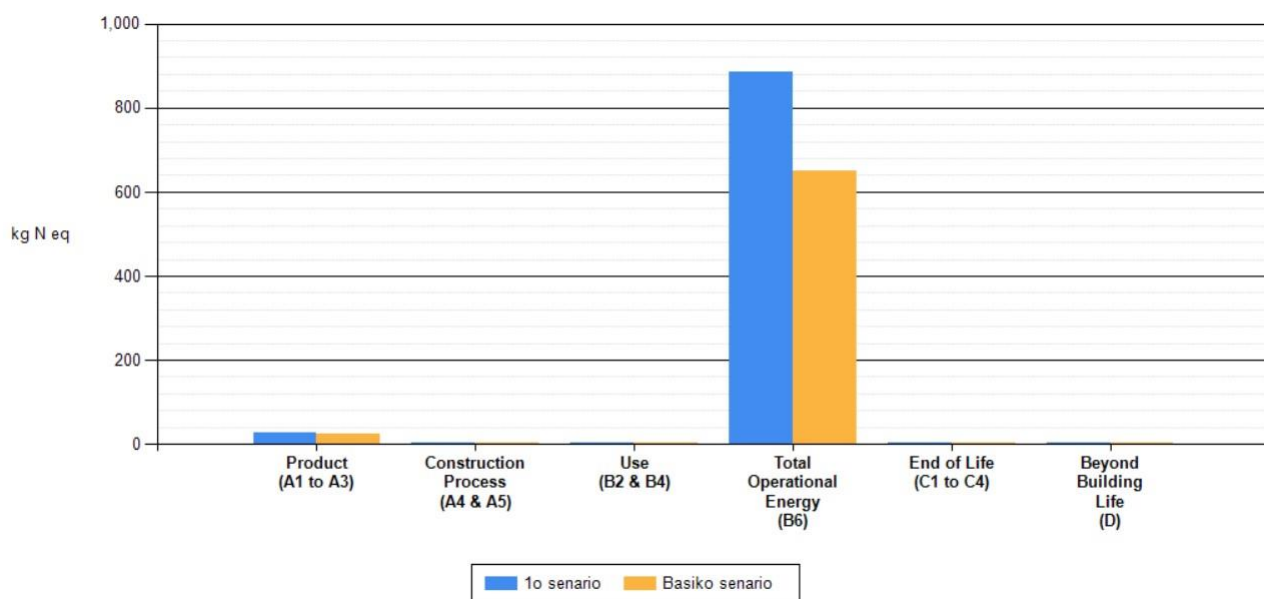
Εικόνα 26 Διάγραμμα σύγκρισης βασικού με πρώτο σενάριο δυναμικού υπερθέρμανσης του πλανήτη ανά στάδιο κύκλου ζωής



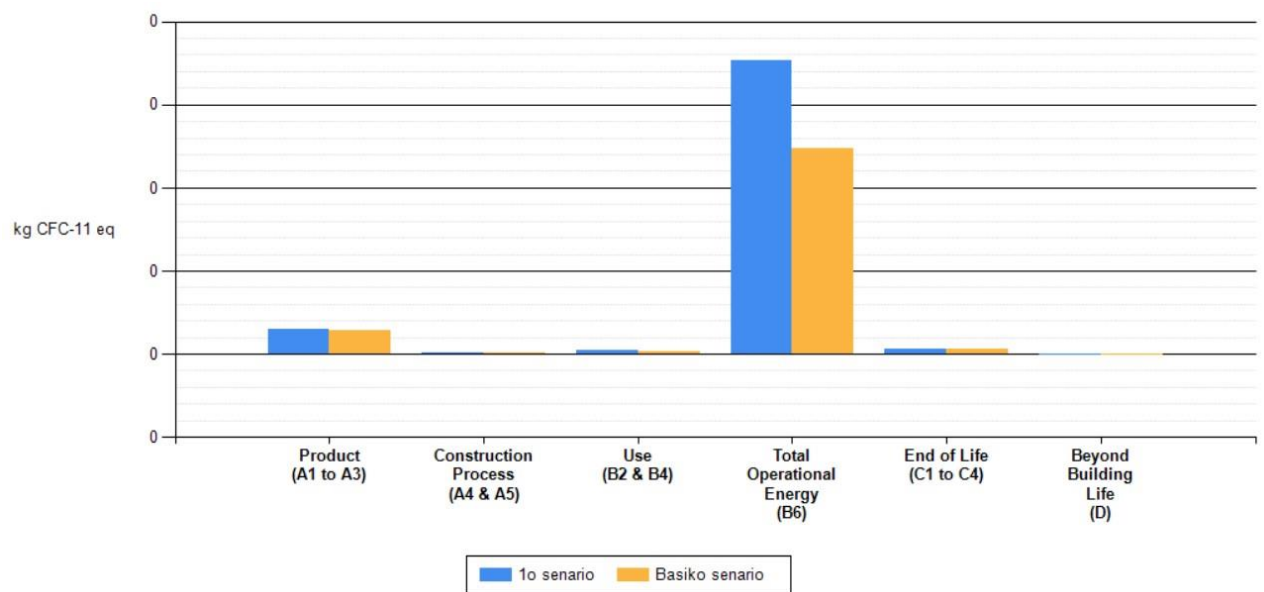
Εικόνα 27 Διάγραμμα σύγκρισης βασικού με πρώτο σενάριο δυναμικού οξίνισης ανά στάδιο κύκλου ζωής



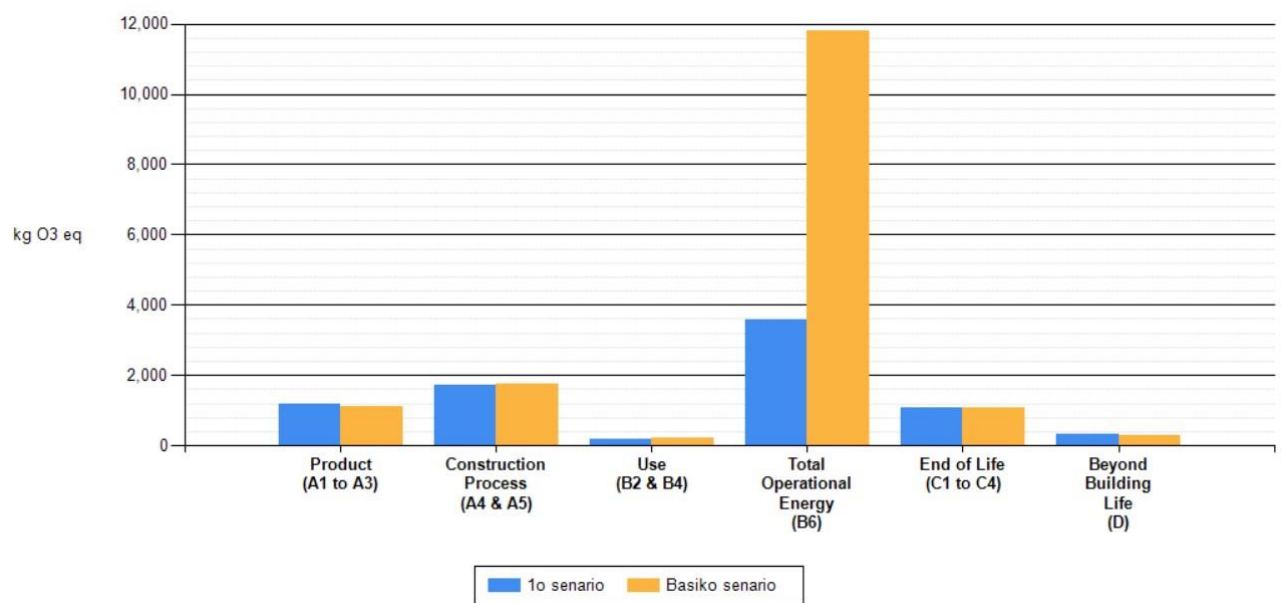
Εικόνα 28 Διάγραμμα σύγκρισης βασικού με πρώτο σενάριο σωματιδίων ανθρώπινης υγείας ανά στάδιο κύκλου ζωής



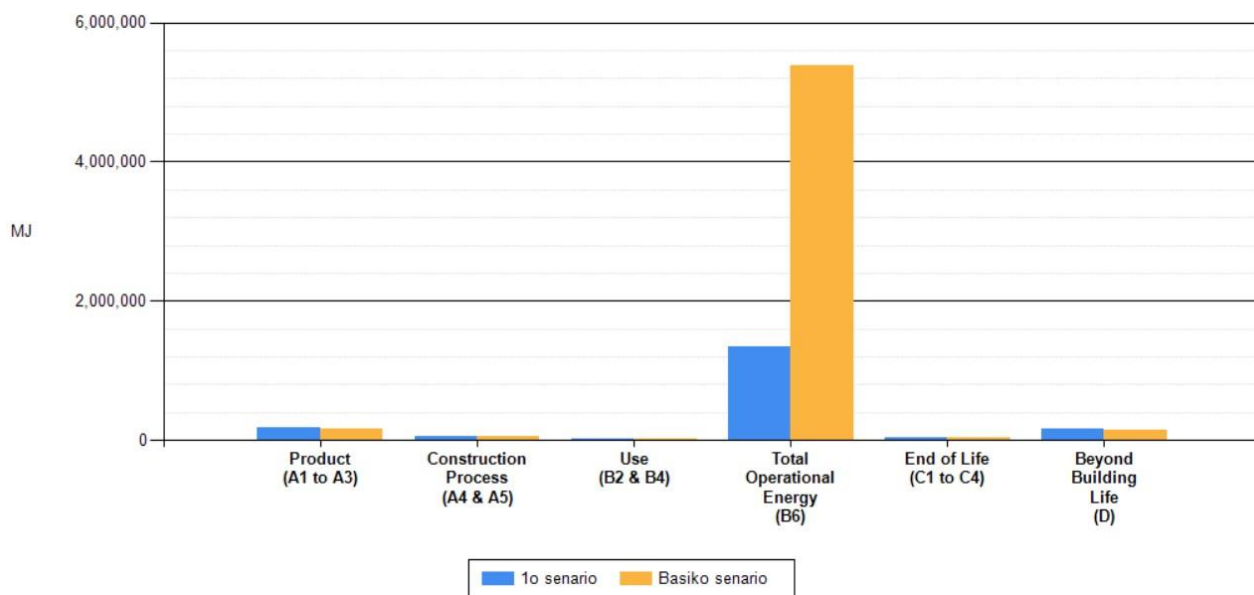
Εικόνα 29 Διάγραμμα σύγκρισης βασικού με πρώτο σενάριο δυναμικού ευτροφισμού ανά στάδιο κύκλου ζωής



Εικόνα 30 Διάγραμμα σύγκρισης βασικού με πρώτο σενάριο δυναμικού διάσπασης όζοντος ανά στάδιο κύκλου ζωής



Εικόνα 31 Διάγραμμα σύγκρισης βασικού με πρώτο σενάριο δυναμικού δημιουργίας νέφους ανά στάδιο κύκλου ζωής



Εικόνα 32 Διάγραμμα σύγκρισης βασικού με πρώτο σενάριο κατανάλωσης ορυκτών πόρων ανά στάδιο κύκλου ζωής

Στα παραπάνω διαγράμματα διακρίνεται ότι τη μεγαλύτερη συμμετοχή στην παραγωγή περιβαλλοντικών ρύπων (μετά το στάδιο της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας κατά την περίοδο λειτουργίας) έχει το στάδιο της παραγωγής προϊόντων σε όλες τις κατηγορίες επιπτώσεων εκτός από τα σωματίδια ανθρώπινης ενέργειας και του δυναμικού δημιουργίας νέφους. Το στάδιο παραγωγής προϊόντων έχει την μεγαλύτερη παραγωγή περιβαλλοντικών ρύπων λόγω της ανάγκης για κατανάλωση πετρελαίου, ηλεκτρισμού και άλλων ειδών ενέργειας για την εξόρυξη, μεταφορά και επεξεργασία προϊόντων αλλά και των χρονοβόρων αυτών διαδικασιών. Τα σωματίδια ανθρώπινης ενέργειας είναι περισσότερα στο στάδιο του τέλους ζωής της κατοικίας λόγω της κατεδάφισης της ενώ το δυναμικό δημιουργίας νέφους είναι μεγαλύτερο στο στάδιο της κατασκευής της κατοικίας λόγω συγκεντρωμένων μηχανημάτων στον τόπο κατασκευής.

Με την σύγκριση των δύο σεναρίων δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των σταδίων του κύκλου ζωής της κατοικίας εκτός από το στάδιο της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας κατά της περίοδο λειτουργίας της κατοικίας. Οι περισσότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις που έχει το πρώτο σενάριο σε όλα τα στάδια εκτός της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας κατά την περίοδο λειτουργίας της κατοικίας οφείλονται στα περισσότερα υλικά που χρειάστηκαν για την επιπρόσθετη μόνωση και τα κουφώματα της κατοικίας. Εφόσον χρησιμοποιήθηκαν περισσότερα υλικά για την ενεργειακή αναβάθμιση της κατοικίας παράγονται επιπλέον περιβαλλοντικοί ρύποι.

Στο στάδιο της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας κατά την περίοδο λειτουργίας της κατοικίας παράγεται το μεγαλύτερο μέρος των περιβαλλοντικών ρύπων. Μάλιστα, η διαφορά μεταξύ των δύο σεναρίων στο στάδιο αυτό είναι σημαντική στις περισσότερες κατηγορίες επιπτώσεων. Αυτό οφείλεται στην ενεργειακή αναβάθμιση που υπέστη η κατοικία στο πρώτο σενάριο. Με την ενεργειακή αναβάθμιση μειώθηκε σημαντικά η συνολική κατανάλωση ενέργειας κατά την περίοδο λειτουργίας της κατοικίας και επομένως οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε αυτό το στάδιο. Η κατηγορία των σωματιδίων ανθρώπινης υγείας, του δυναμικού ευτροφισμού και του δυναμικού διάσπασης όζοντος είναι οι κατηγορίες επιπτώσεων όπου έχουν μεγαλύτερη παραγωγή περιβαλλοντικών ρύπων.

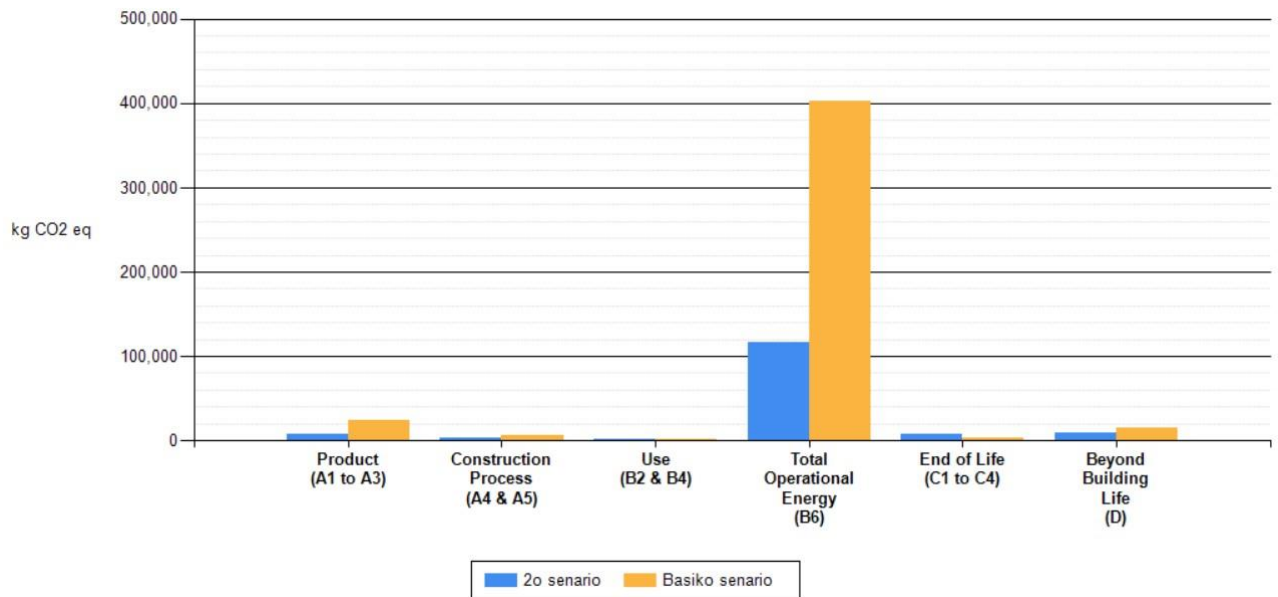
4.2.2 Σύγκριση βασικού σεναρίου με το δεύτερο σενάριο

Δεύτερο σενάριο:

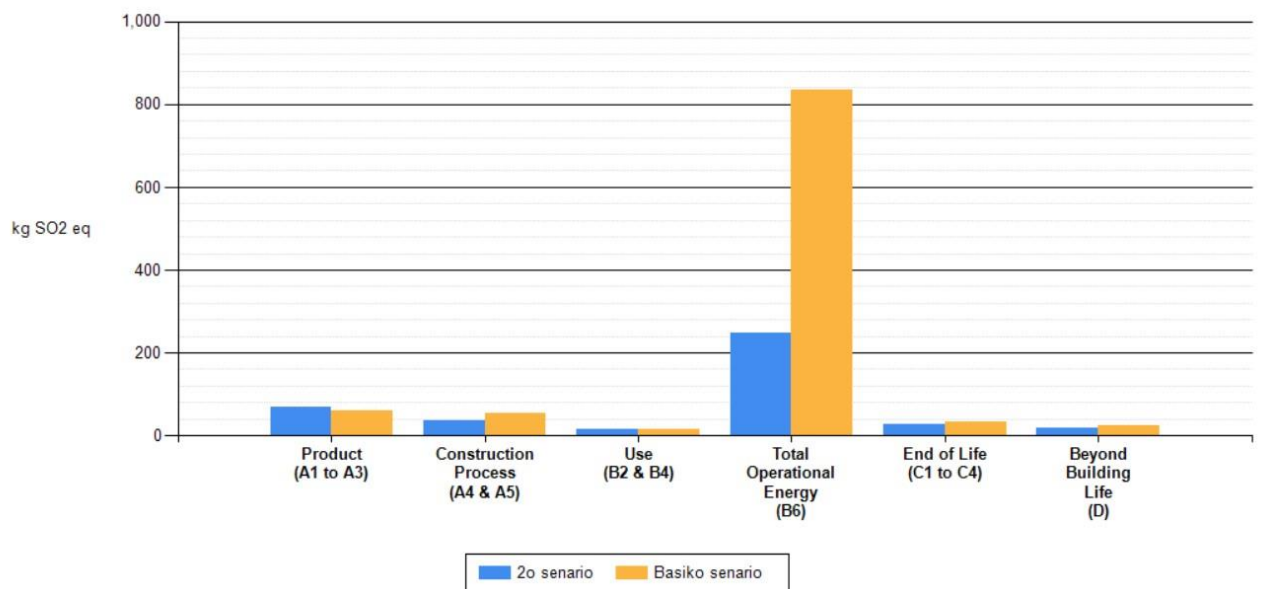
Οι τοίχοι είναι το συγκρότημα που επηρεάζει σε μεγαλύτερο ποσοστό τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της κατοικίας και σε αυτό το συγκρότημα έγινε αλλαγή καθώς και έγιναν και μερικές άλλες αλλαγές. Συγκεκριμένα, οι αλλαγές που έγιναν σε αυτό το σενάριο είναι οι εξής:

1. Αντικατάσταση του υλικού κατασκευής των εξωτερικών και εσωτερικών τοίχων με ξύλο (CLT)
2. Προσθήκη 60mm διογκωμένης πολυστερίνης στους εσωτερικούς τοίχους της κατοικίας
3. Προσθήκη επιπλέον 50mm διογκωμένης πολυστερίνης στους εξωτερικούς τοίχους της κατοικίας (Συνολικά 100mm)
4. Αντικατάσταση του αλουμινένιου πλαισίου σε PVC πλαίσιο και του διπλού υαλοπίνακα με μαλακό αέρα σε διπλό υαλοπίνακα μαλακό αργό στο σύστημα κουφωμάτων
5. Αντικατάσταση του συστήματος θέρμανσης σε αντλία θερμότητας από τον λέβητα πετρελαίου

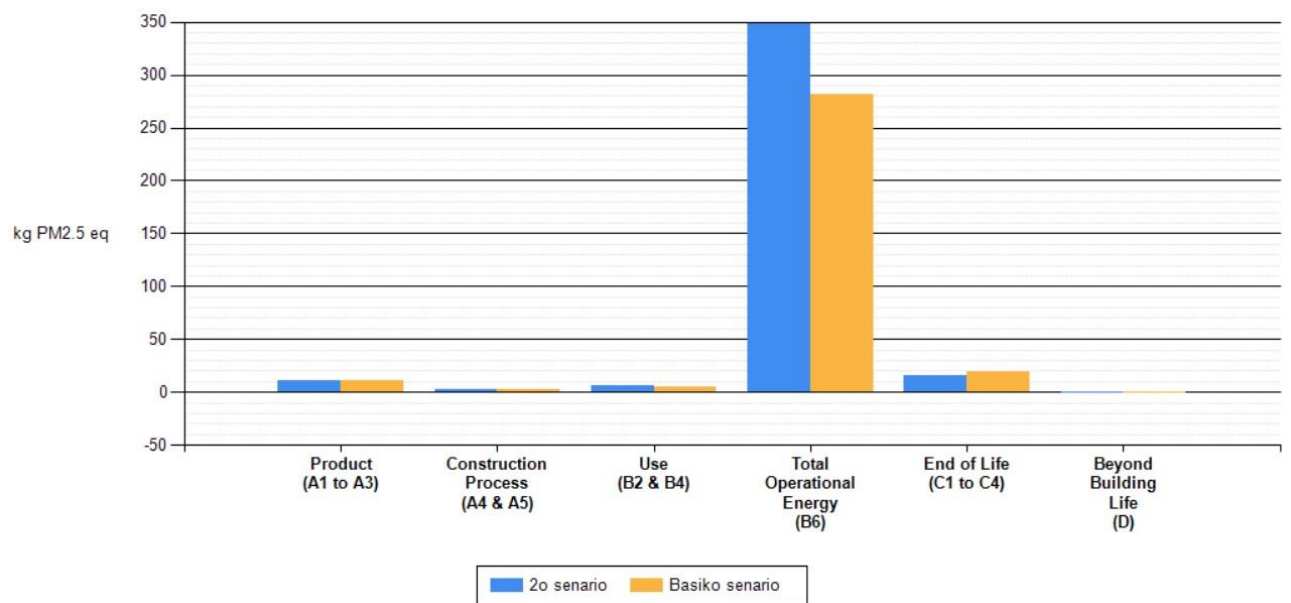
Παρακάτω παρουσιάζονται διαγράμματα σύγκρισης του βασικού σεναρίου με το δεύτερο σενάριο:



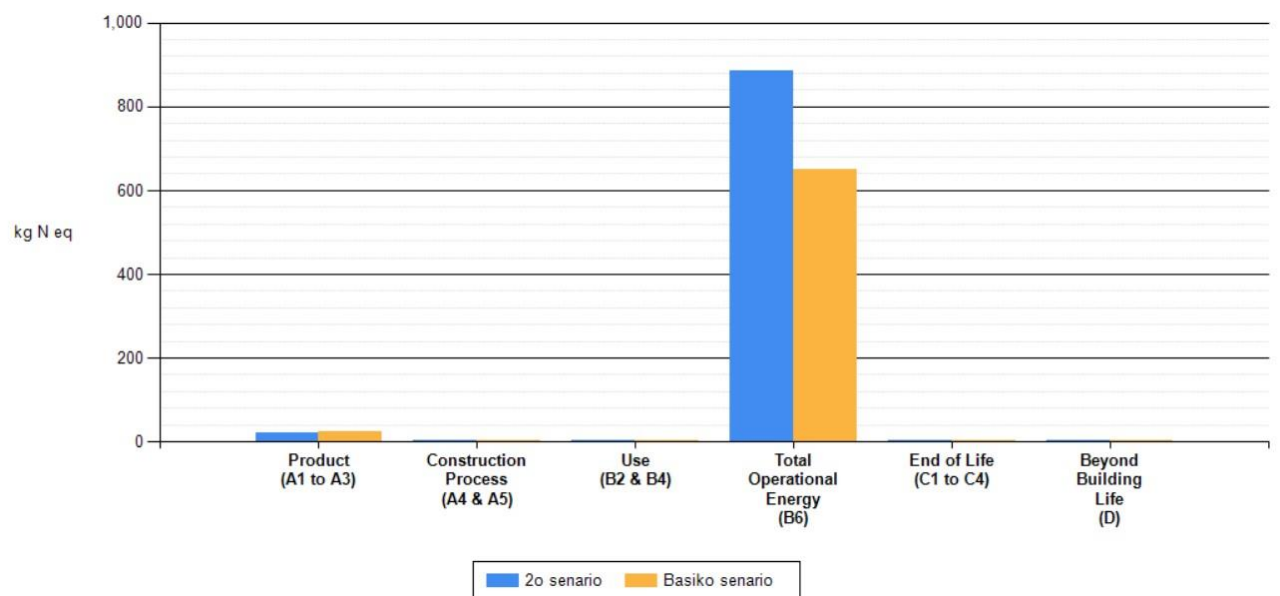
Εικόνα 33 Διάγραμμα σύγκρισης βασικού με δεύτερο σενάριο δυναμικού υπερθέρμανσης του πλανήτη ανά στάδιο κύκλου ζωής



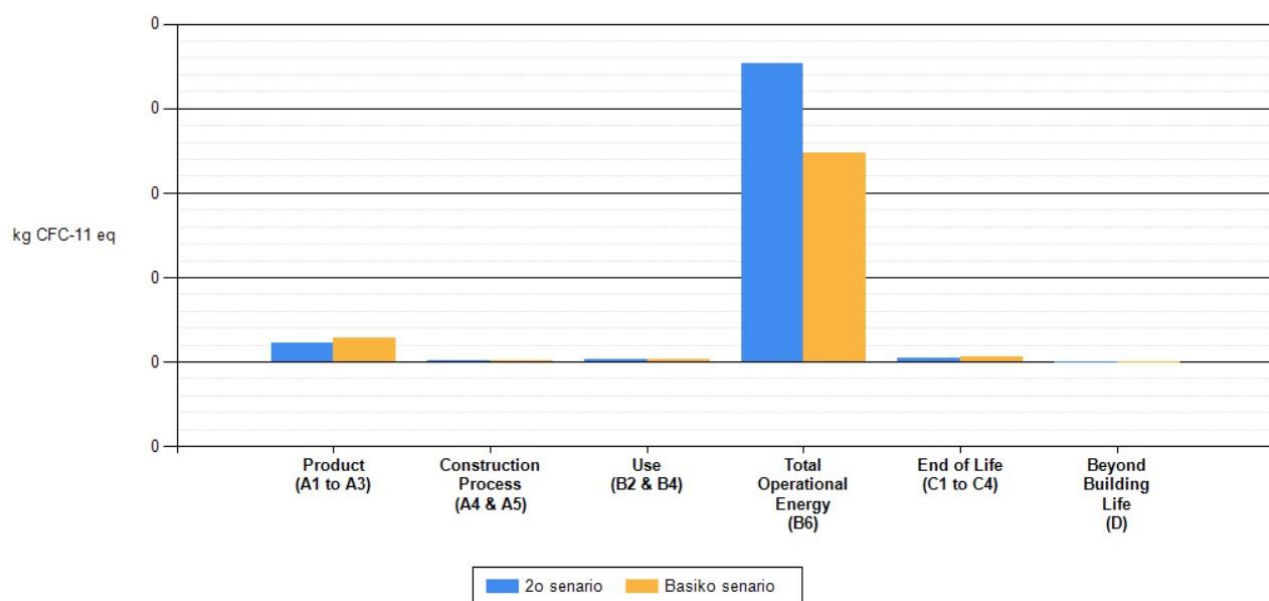
Εικόνα 34 Διάγραμμα σύγκρισης βασικού με δεύτερο σενάριο δυναμικού οξίνισης ανά στάδιο κύκλου ζωής



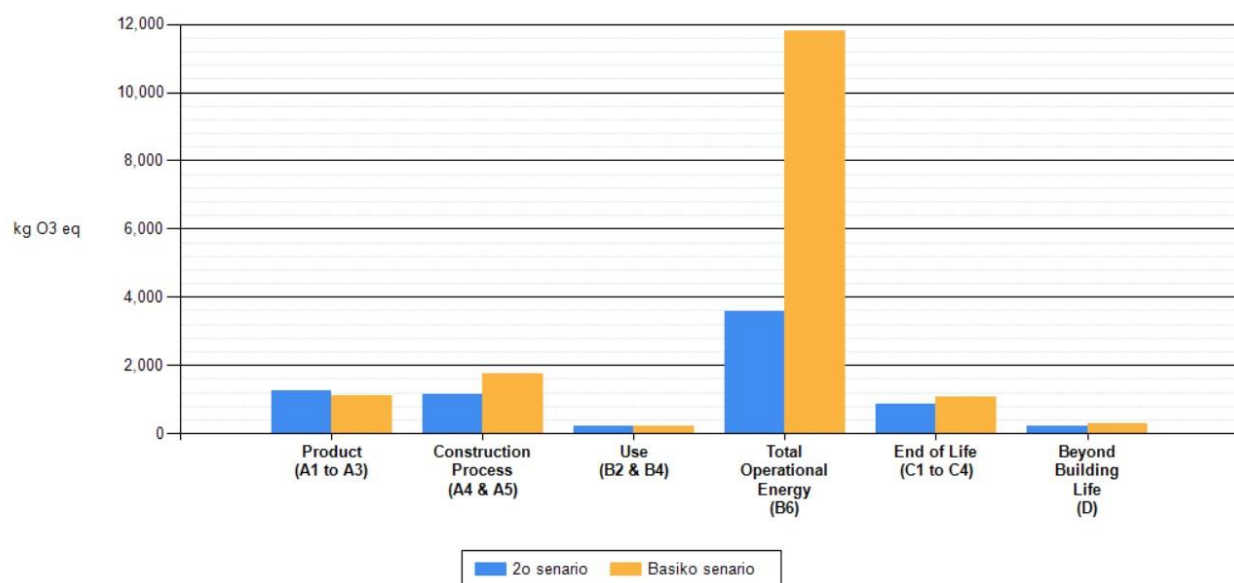
Εικόνα 35 Διάγραμμα σύγκρισης βασικού με δεύτερο σενάριο σωματιδίων ανθρώπινης υγείας ανά στάδιο κύκλου ζωής



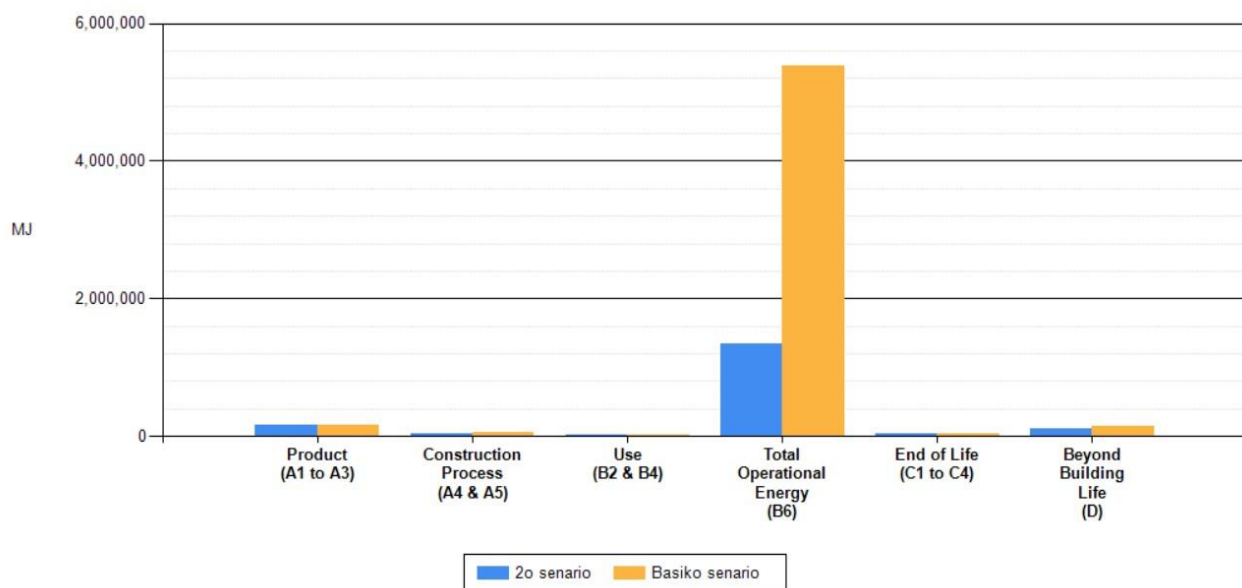
Εικόνα 36 Διάγραμμα σύγκρισης βασικού με δεύτερο σενάριο δυναμικού ευτροφισμού ανά στάδιο κύκλου ζωής



Εικόνα 37 Διάγραμμα σύγκρισης βασικού με δεύτερο σενάριο δυναμικού διάσπασης όζοντος ανά στάδιο κύκλου ζωής



Εικόνα 38 Διάγραμμα σύγκρισης βασικού με δεύτερο σενάριο δυναμικού δημιουργίας νέφους ανά στάδιο κύκλου ζωής



Εικόνα 39 Διάγραμμα σύγκρισης βασικού με δεύτερο σενάριο κατανάλωσης ορυκτών πόρων ανά στάδιο κύκλου ζωής

Με την σύγκριση των δύο σεναρίων παρατηρείται και εδώ ότι η μεγαλύτερη παραγωγή περιβαλλοντικών ρύπων γίνεται στο στάδιο της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας κατά την περίοδο λειτουργίας της κατοικίας. Εν συγκρίσει του βασικού σεναρίου, το δεύτερο σενάριο έχει πολύ λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις στις περισσότερες κατηγορίες επιπτώσεων εκτός από των σωματιδίων ανθρώπινης ενέργειας, του δυναμικού ευτροφισμού και του δυναμικού διάσπασης όζοντος.

Επιπροσθέτως, στο στάδιο της παραγωγής προϊόντων είναι περισσότερες οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε σχέση με τα υπόλοιπα στάδια κύκλου ζωής της κατοικίας εκτός από τις κατηγορίες επιπτώσεων των σωματιδίων ανθρώπινης υγείας και του δυναμικού δημιουργίας νέφους. Μεταξύ του βασικού και του δεύτερου σεναρίου δεν υπάρχουν μεγάλες διαφορές στις επιπτώσεις εκτός από το δυναμικού υπερθέρμανσης του πλανήτη στο στάδιο της παραγωγής προϊόντων που είναι εμφανείς οι μειωμένες επιπτώσεις του δεύτερου σεναρίου. Στο δυναμικό δημιουργίας νέφους είναι ευδιάκριτες οι αυξημένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής της κατοικίας εκτός του σταδίου χρήσης (επισκευή και αντικατάσταση υλικών) λόγω της μεγάλης χρήσης μηχανημάτων που χρειάζονται στα διαφορετικά στάδια όπου είναι συμπτυγμένα σε έναν τόπο. Τέλος, στην κατηγορία των σωματιδίων ανθρώπινης υγείας, μετά το στάδιο της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας κατά την περίοδο λειτουργίας της κατοικίας, οι μεγαλύτερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις βρίσκονται στο στάδιο του τέλους ζωής της κατοικίας λόγω της κατεδάφισης της. Με την κατεδάφιση της κατοικίας δημιουργούνται αιωρούμενα σωματίδια, τα σωματίδια ανθρώπινης υγείας, από το διαλυμένο μπετόν.

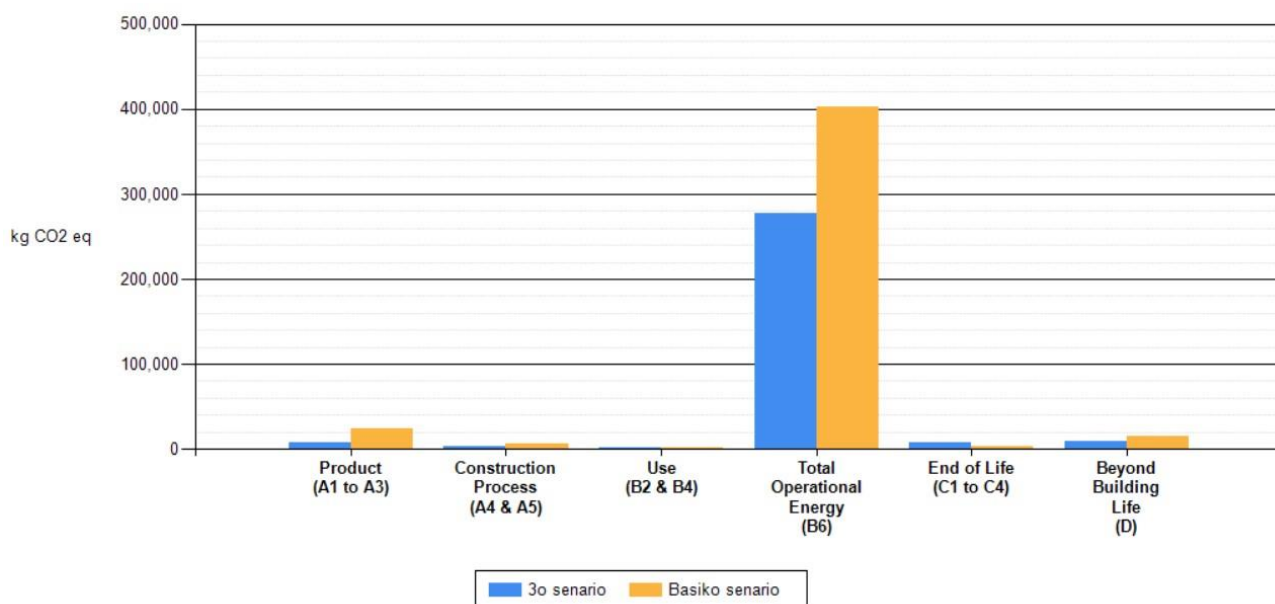
4.2.3 Σύγκριση βασικού σεναρίου με το τρίτο σενάριο

Τρίτο σενάριο:

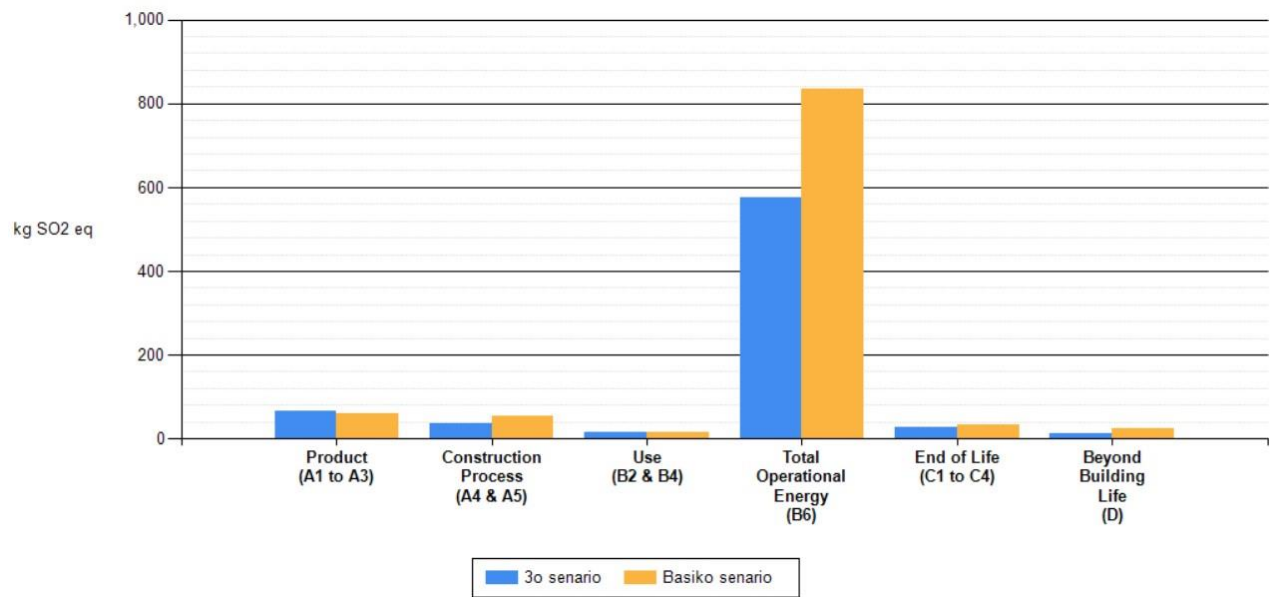
Εφόσον το συγκρότημα των τοίχων προκαλεί τις περισσότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε σχέση με τα υπόλοιπα συγκροτήματα και σε αυτό το σενάριο έγινε αλλαγή στους τοίχους της κατοικίας. Επιπλέον έγιναν κάποιες επιπρόσθετες αλλαγές. Συγκεκριμένα, οι αλλαγές που έγιναν σε αυτό το σενάριο είναι οι εξής:

1. Αντικατάσταση του υλικού κατασκευής των εξωτερικών και εσωτερικών τοίχων με ξύλο (CLT)
2. Προσθήκη 60mm διογκωμένης πολυστερίνης στους εσωτερικούς τοίχους της κατοικίας
3. Προσθήκη επιπλέον 50mm διογκωμένης πολυστερίνης στους εξωτερικούς τοίχους της κατοικίας (Συνολικά 100mm).

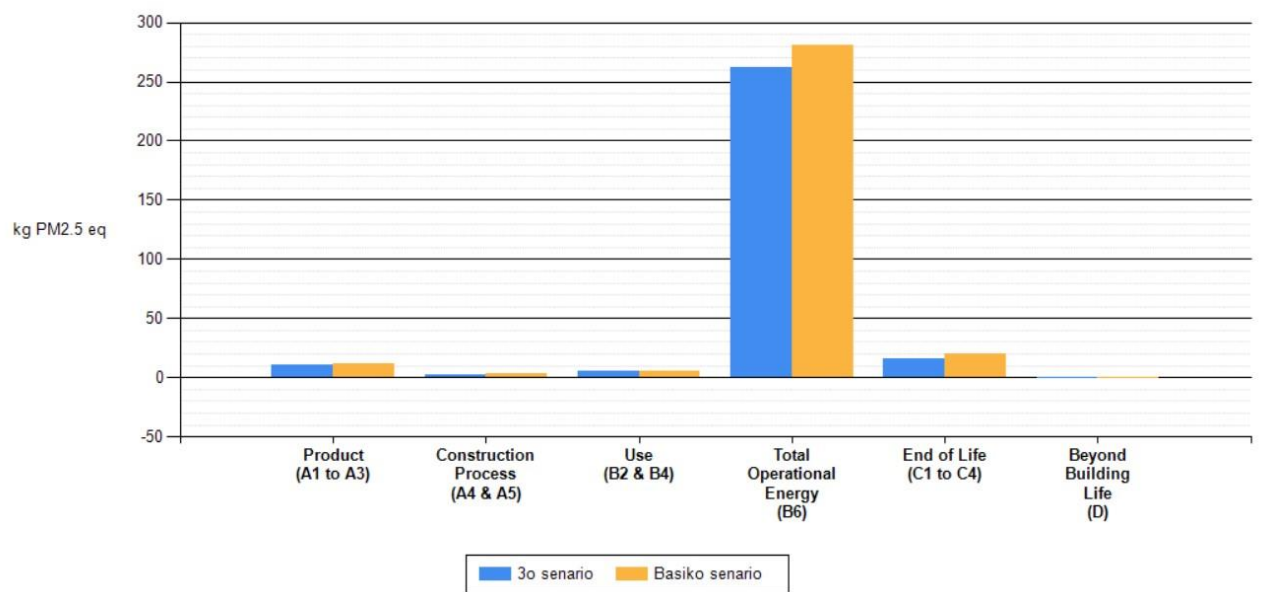
Παρακάτω παρουσιάζονται διαγράμματα σύγκρισης του βασικού σεναρίου με το τρίτο σενάριο:



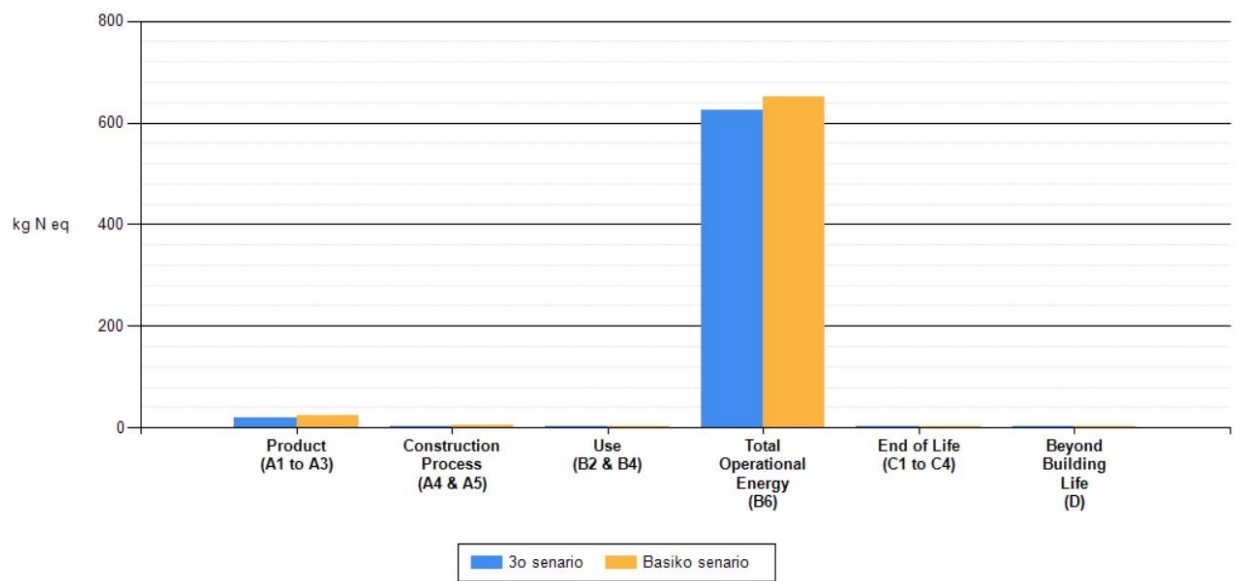
Εικόνα 40 Διάγραμμα σύγκρισης βασικού με τρίτο σενάριο δυναμικού υπερθέρμανσης του πλανήτη ανά στάδιο κύκλου ζωής



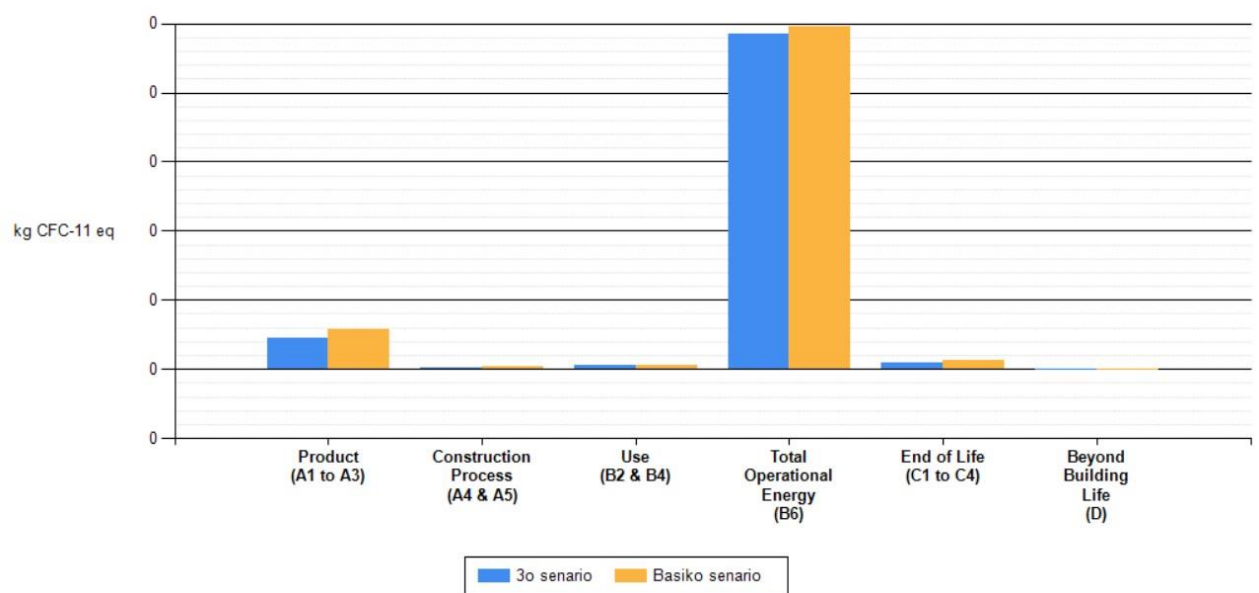
Εικόνα 41 Διάγραμμα σύγκρισης βασικού με τρίτο σενάριο δυναμικού οξίνισης ανά στάδιο κύκλου ζωής



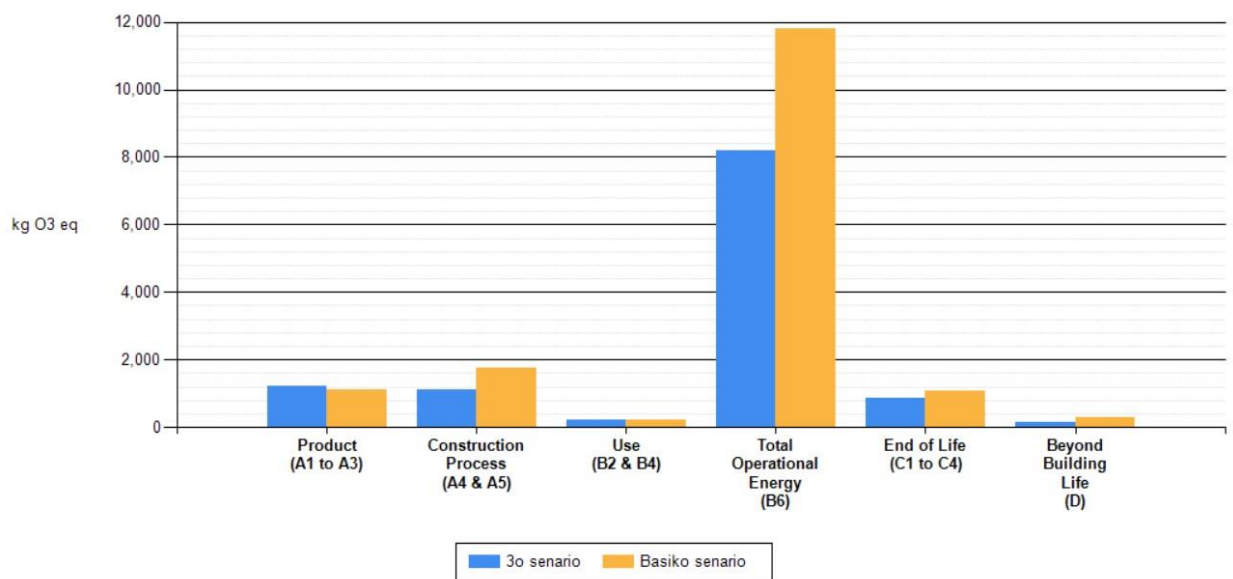
Εικόνα 42 Διάγραμμα σύγκρισης βασικού με τρίτο σενάριο σωματιδίων ανθρώπινης υγείας ανά στάδιο κύκλου ζωής



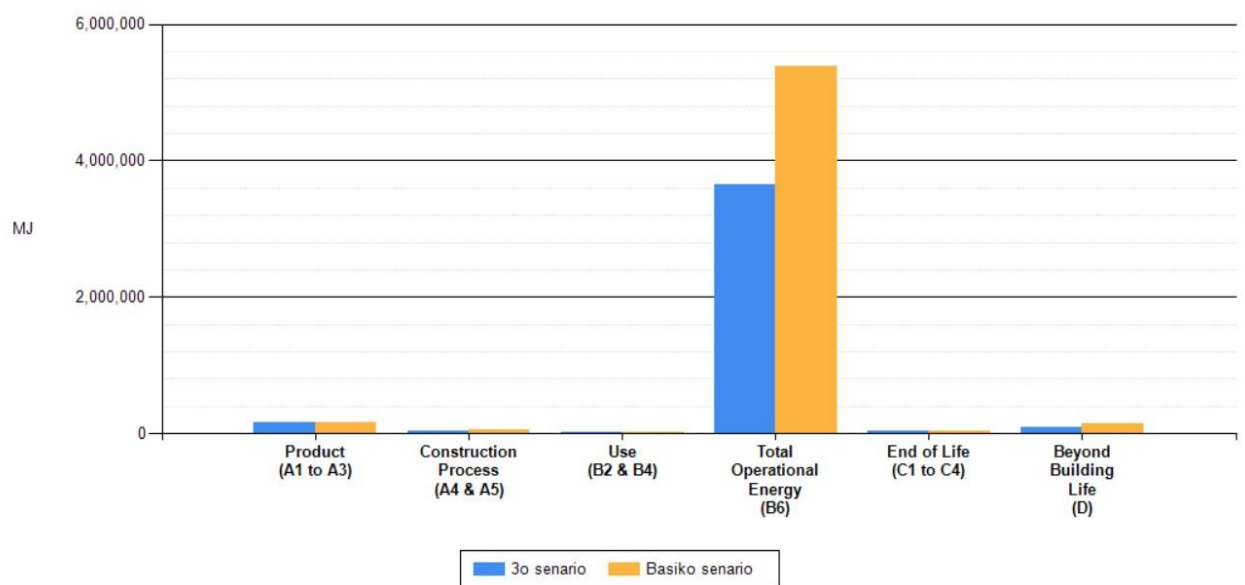
Εικόνα 43 Διάγραμμα σύγκρισης βασικού με τρίτο σενάριο δυναμικού εντροπισμού ανά στάδιο κύκλου ζωής



Εικόνα 44 Διάγραμμα σύγκρισης βασικού με τρίτο σενάριο δυναμικού διάσπασης όζοντος ανά στάδιο κύκλου ζωής



Εικόνα 45 Διάγραμμα σύγκρισης βασικού με τρίτο σενάριο δυναμικού δημιουργίας νέφους ανά στάδιο κύκλου ζωής

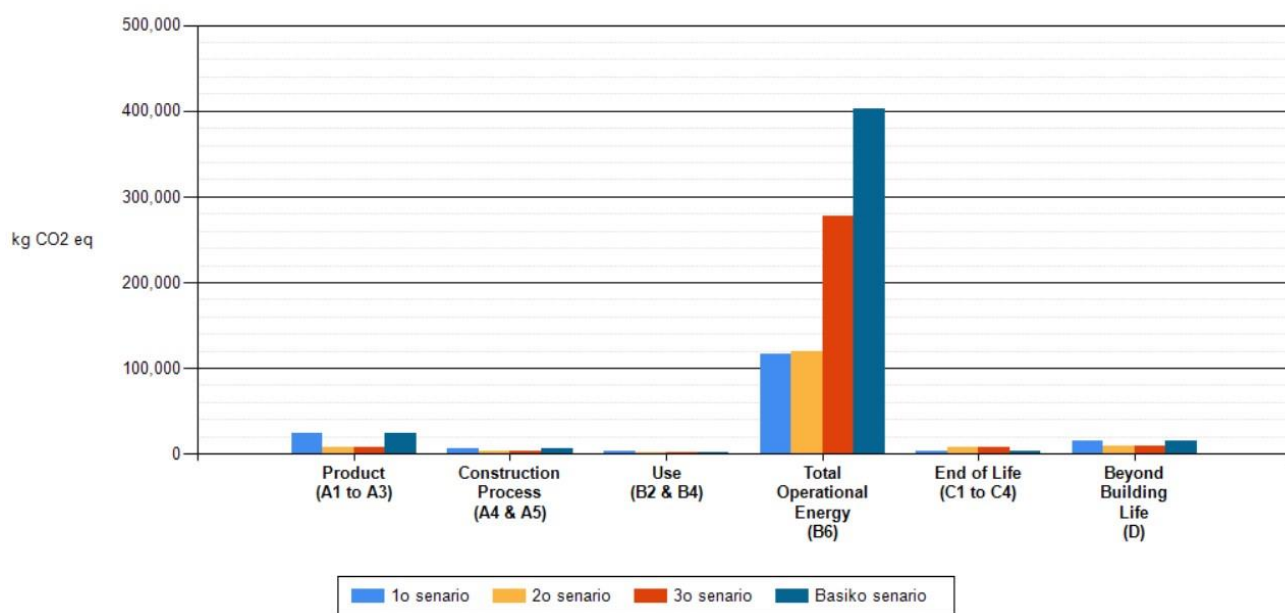


Εικόνα 46 Διάγραμμα σύγκρισης βασικού με τρίτο σενάριο κατανάλωσης ορυκτών πόρων ανά στάδιο κύκλου ζωής

Συγκρίνοντας τα δύο σενάρια παρατηρείται ότι στην κατηγορία του δυναμικού υπερθέρμανσης του πλανήτη υπάρχει αρκετή διαφορά μεταξύ των δύο σεναρίων στο στάδιο της παραγωγής προϊόντων ενώ στα υπόλοιπα στάδια δεν είναι τόσο ευδιάκριτες οι διαφορές τους. Στις υπόλοιπες κατηγορίες επιπτώσεων επίσης δεν υπάρχουν αισθητές διαφορές στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των δύο σεναρίων εκτός από την κατηγορία δυναμικού δημιουργίας νέφους στο στάδιο της κατασκευής.

Αντίθετα με τις υπόλοιπες συγκρίσεις, το βασικό σενάριο εν συγκρίσει του τρίτου σεναρίου έχει σε όλες τις κατηγορίες επιπτώσεων περισσότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις στην συνολική κατανάλωση ενέργειας κατά την περίοδο λειτουργίας της κατοικίας. Στις κατηγορίες σωματίδια ανθρώπινης υγείας, δυναμικού ευτροφισμού και δυναμικού διάσπασης όζοντος παρατηρείται μικρότερη διαφορά σε σχέση με τις υπόλοιπες κατηγορίες. Γενικότερα η διαφορά μεταξύ του βασικού και τρίτου σεναρίου σε αυτό το στάδιο είναι μικρότερη αναλογικά με τα υπόλοιπα σενάρια που ήταν πολύ μεγαλύτερες οι διαφορές. Οι διαφορές που υπάρχουν μεταξύ των σεναρίων και του τρίτου όπου το τρίτο σενάριο έχει λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις στο στάδιο της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας κατά την περίοδο λειτουργίας της κατοικίας στις κατηγορίες σωματίδια ανθρώπινης υγείας, δυναμικό ευτροφισμού και δυναμικό διάσπασης όζοντος, οφείλονται στην περιορισμένη μόνωση εν συγκρίσει του πρώτου και του δεύτερου σεναρίου αλλά και στην αλλαγή του υλικού κατασκευής των τοίχων. Με την αντικατάσταση του υλικού κατασκευής του τοίχου μειώθηκαν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής της κατοικίας αλλά και με την προσθήκη λιγότερης ποσότητας διογκωμένης πολυστερίνης.

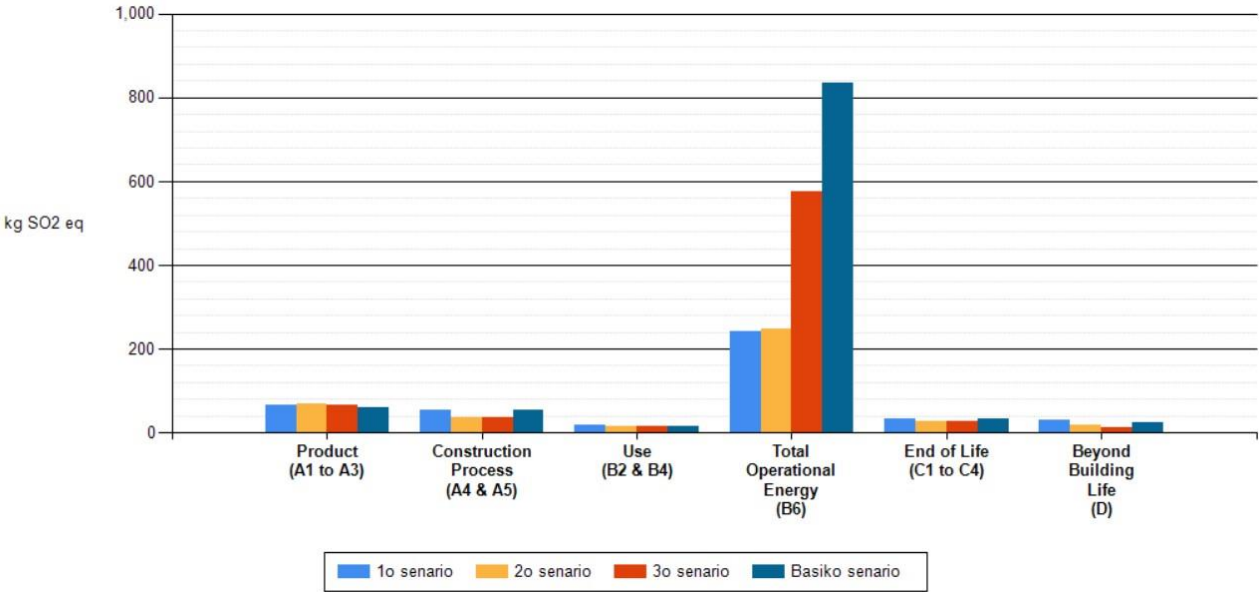
4.3 Σύγκριση όλων των σεναρίων



Εικόνα 47 Διάγραμμα σύγκρισης σεναρίων δυναμικού υπερθέρμανσης του πλανήτη ανά στάδιο κύκλου ζωής

Project Name	Unit	Product (A1toA3)	Construction Process (A4&A5)	Use (B2&B4)	Total Operational Energy (B6)	End of Life (C1toC4)	Beyond Building Life(D)	Total
1o senario	kg CO ₂ eq	2.44E+04	5.41E+03	2.48E+03	1.17E+05	2.99 E+03	1.54E+04	1.67E+05
2o senario	kg CO ₂ eq	8.10E+03	3.72E+03	2.10E+03	1.20E+05	7.02 E+03	9.82E+03	1.51E+05
3o senario	kg CO ₂ eq	7.68E+03	3.68E+03	1.97E+03	2.77E+05	7.05 E+03	8.82E+03	3.07E+05
Basiko senario	kg CO ₂ eq	2.34E+04	5.51E+03	1.97E+03	4.02E+05	3.04 E+03	1.44E+04	4.51E+05
Total	kg CO ₂ eq	6.36E+04	1.83E+04	8.52E+03	9.16E+05	2.01 E+04	4.84E+04	1.08E+06

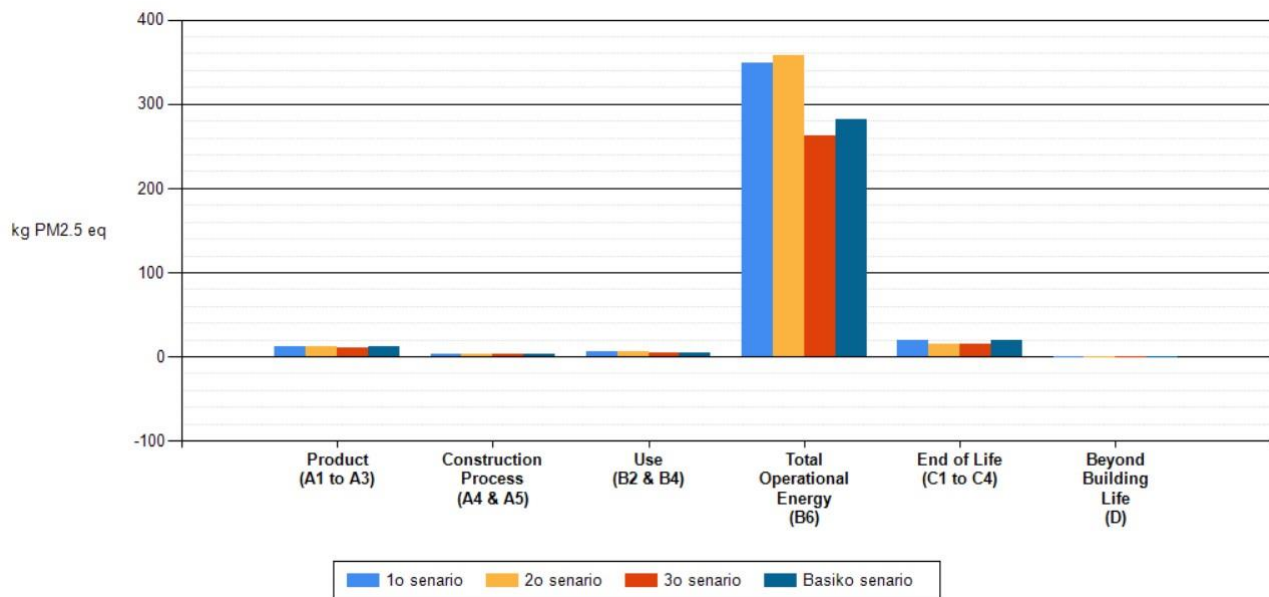
Table 21 Σύγκριση σεναρίων δυναμικού υπερθέρμανσης του πλανήτη ανά στάδιο κύκλου ζωής



Εικόνα 48 Διάγραμμα σύγκρισης σεναρίων δυναμικού οξίνισης ανά στάδιο κύκλου ζωής

Project Name	Unit	Product (A1toA3)	Construction Process (A4&A5)	Use (B2&B4)	Total Operational Energy (B6)	End of Life (C1toC4)	Beyond Building Life(D)	Total
1o senario	kg SO ₂ eq	6.71E+01	5.43E+01	1.87E+01	2.41E+02	3.34E+01	3.06E+01	4.45E+02
2o senario	kg SO ₂ eq	6.87E+01	3.63E+01	1.55E+01	2.47E+02	2.73E+01	1.95E+01	4.15E+02
3o senario	kg SO ₂ eq	6.63E+01	3.59E+01	1.46E+01	5.75E+02	2.74E+01	1.30E+01	7.32E+02
Basiko senario	kg SO ₂ eq	6.09E+01	5.53E+01	1.46E+01	8.34E+02	3.38E+01	2.41E+01	1.02E+03
Total	kg SO ₂ eq	2.63E+02	1.82E+02	6.35E+01	1.90E+03	1.22E+02	8.72E+01	2.61E+03

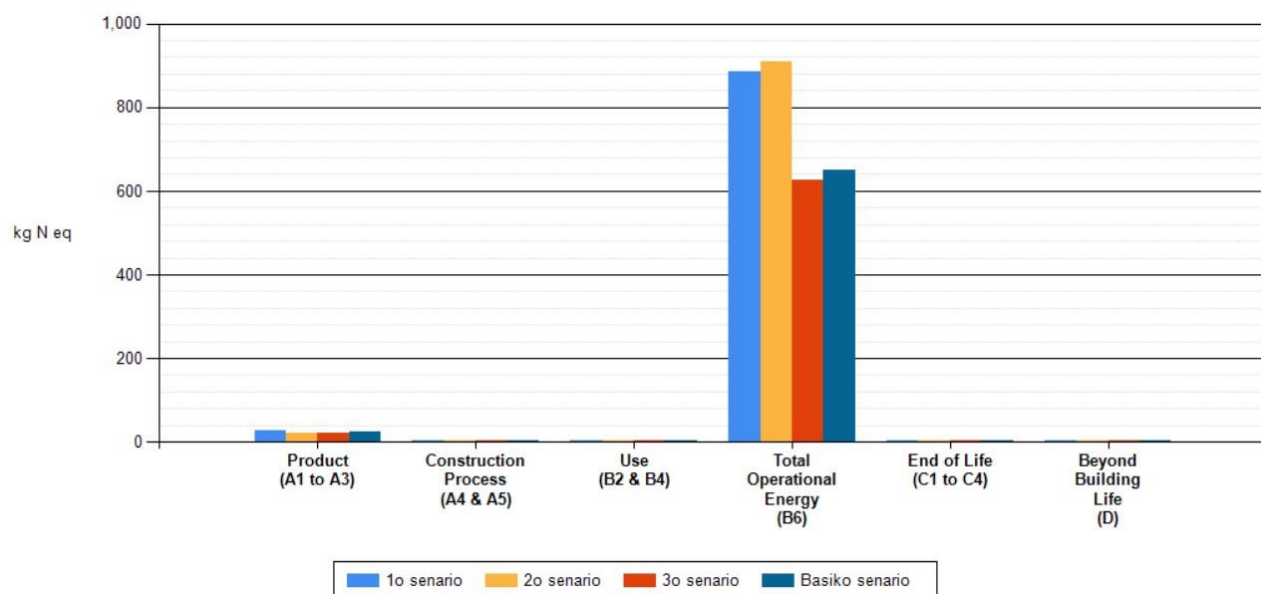
Table 22 Σύγκριση σεναρίων δυναμικού οξίνισης ανά στάδιο κύκλου ζωής



Εικόνα 49 Διάγραμμα σύγκρισης σεναρίων σωματιδίων ανθρώπινης υγείας ανά στάδιο κύκλου ζωής

Project Name	Unit	Product (A1toA3)	Construction Process (A4&A5)	Use (B2&B4)	Total Operational Energy (B6)	End of Life (C1toC4)	Beyond Building Life(D)	Total
1o senario	kg PM _{2.5} eq	1.21E+01	2.84E+00	5.31E+00	3.49E+02	1.94E+01	-9.17E-05	3.89E+02
2o senario	kg PM _{2.5} eq	1.13E+01	2.37E+00	5.94E+00	3.58E+02	1.56E+01	-5.85E-05	3.94E+02
3o senario	kg PM _{2.5} eq	1.05E+01	2.36E+00	4.96E+00	2.62E+02	1.55E+01	-6.15E-01	2.95E+02
Basiko senario	kg PM _{2.5} eq	1.13E+01	2.99E+00	4.96E+00	2.81E+02	1.99E+01	-6.15E-01	3.20E+02
Total	kg PM _{2.5} eq	4.51E+01	1.06E+01	2.12E+01	1.25E+03	7.04E+01	-1.23E+00	1.40E+03

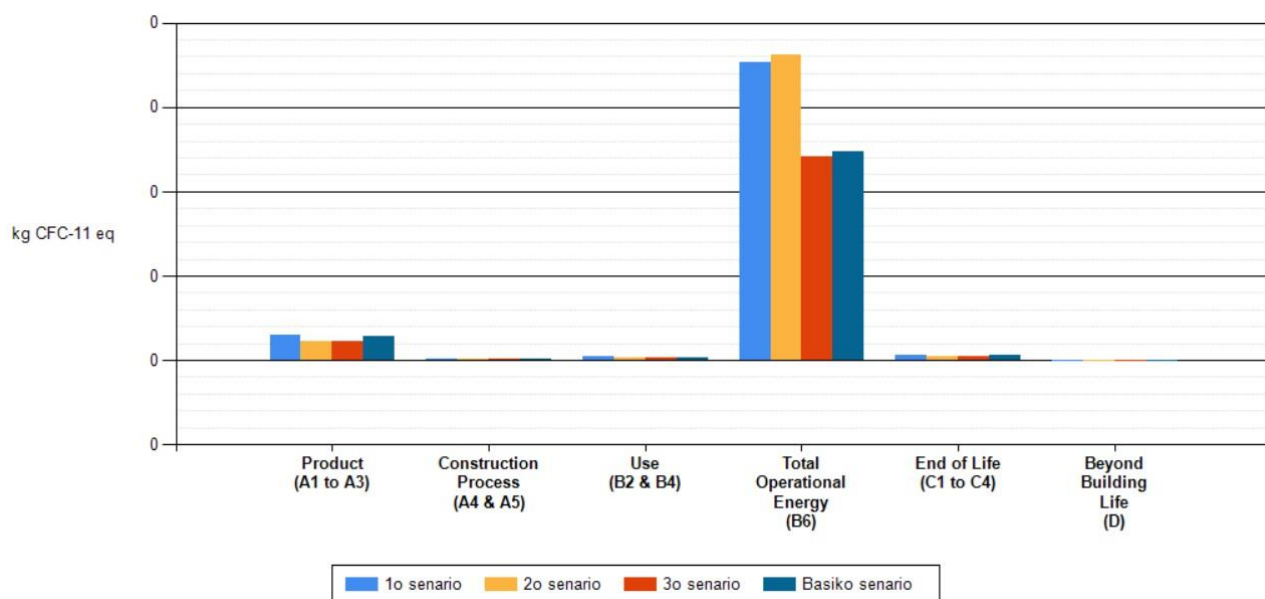
Table 23 Σύγκριση σεναρίων σωματιδίων ανθρώπινης υγείας ανά στάδιο κύκλου ζωής



Εικόνα 50 Διάγραμμα σύγκρισης σεναρίων δυναμικού ευτροφισμού ανά στάδιο κύκλου ζωής

Project Name	Unit	Product (A1toA3)	Construction Process (A4&A5)	Use (B2&B4)	Total Operational Energy (B6)	End of Life (C1toC4)	Beyond Building Life(D)	Total
1o senario	kg N eq	2.65E+01	4.30E+00	4.29E+00	8.85E+02	2.60E+00	1.82E+00	9.24E+02
2o senario	kg N eq	2.12E+01	2.95E+00	3.40E+00	9.09E+02	2.08E+00	1.16E+00	9.39E+02
3o senario	kg N eq	2.02E+01	2.92E+00	2.16E+00	6.26E+02	2.08E+00	1.06E+00	6.54E+02
Basiko senario	kg N eq	2.49E+01	4.37E+00	2.16E+00	6.51E+02	2.62E+00	1.72E+00	6.87E+02
Total	kg N eq	9.28E+01	1.45E+01	1.20E+01	3.07E+03	9.38E+00	5.76E+00	3.20E+03

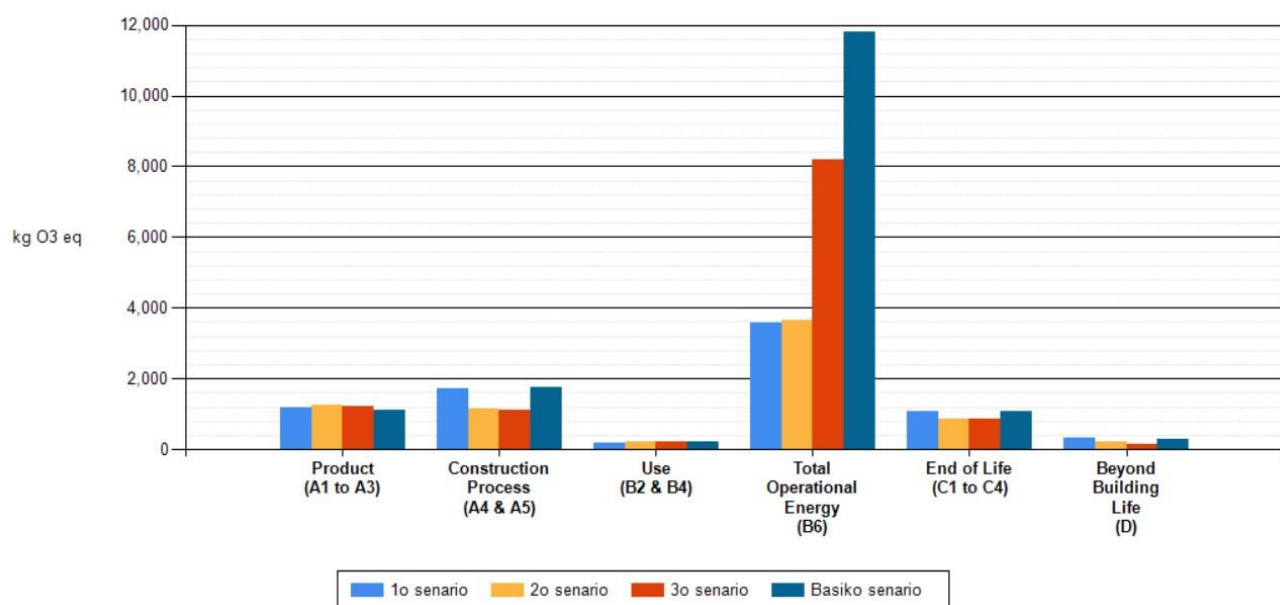
Table 24 Σύγκριση σεναρίων δυναμικού ευτροφισμού ανά στάδιο κύκλου ζωής



Εικόνα 51 Διάγραμμα σύγκρισης σεναρίων δυναμικού διάσπασης όζοντος ανά στάδιο κύκλου ζωής

Project Name	Unit	Product (A1toA3)	Construction Process (A4&A5)	Use (B2&B4)	Total Operational Energy (B6)	End of Life (C1toC4)	Beyond Building Life(D)	Total
1o senario	kg CFC-11 eq	5.98E-04	3.17E-05	9.62E-05	7.05E-03	1.18E-04	-4.19E-10	7.90E-03
2o senario	kg CFC-11 eq	4.60E-04	2.32E-05	7.14E-05	7.25E-03	9.21E-05	-2.68E-10	7.89E-03
3o senario	kg CFC-11 eq	4.50E-04	2.32E-05	5.64E-05	4.84E-03	9.19E-05	-4.38E-08	5.47E-03
Basiko senario	kg CFC-11 eq	5.70E-04	3.21E-05	5.64E-05	4.95E-03	1.20E-04	-4.40E-08	5.73E-03
Total	kg CFC-11 eq	2.08E-03	1.10E-04	2.80E-04	2.41E-02	4.22E-04	-8.85E-08	2.70E-02

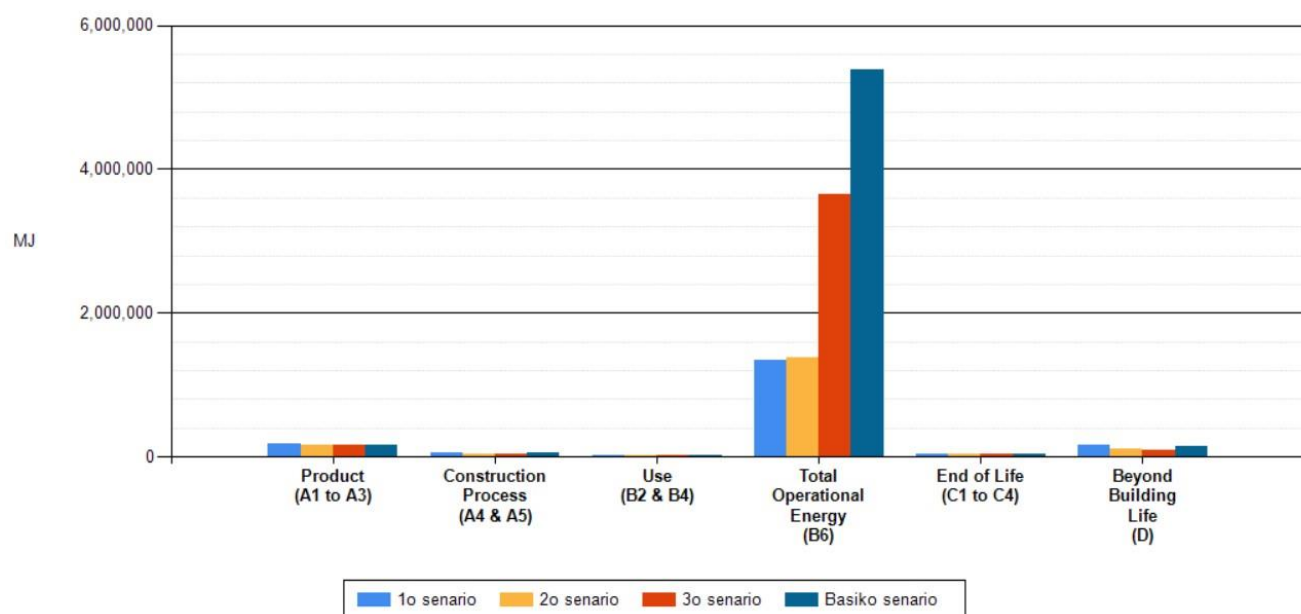
Table 25 Σύγκριση σεναρίων δυναμικού διάσπασης όζοντος ανά στάδιο κύκλου ζωής



Εικόνα 52 Διάγραμμα σύγκρισης σεναρίων δυναμικού δημιουργίας νέφους ανά στάδιο κύκλου ζωής

Project Name	Unit	Product (A1toA3)	Construction Process (A4&A5)	Use (B2&B4)	Total Operational Energy (B6)	End of Life (C1toC4)	Beyond Building Life(D)	Total
1o senario	kg O ₃ eq	1.18E+03	1.72E+03	2.00E+02	3.57E+03	1.06E+03	3.30E+02	8.06E+03
2o senario	kg O ₃ eq	1.26E+03	1.13E+03	2.05E+02	3.67E+03	8.71E+02	2.11E+02	7.34E+03
3o senario	kg O ₃ eq	1.23E+03	1.12E+03	2.05E+02	8.19E+03	8.72E+02	1.60E+02	1.18E+04
Basiko senario	kg O ₃ eq	1.13E+03	1.75E+03	2.05E+02	1.18E+04	1.07E+03	2.79E+02	1.63E+04
Total	kg O ₃ eq	4.80E+03	5.71E+03	8.15E+02	2.72E+04	3.88E+03	9.80E+02	4.34E+04

Table 26 Σύγκριση σεναρίων δυναμικού δημιουργίας νέφους ανά στάδιο κύκλου ζωής



Εικόνα 53 Διάγραμμα σύγκρισης σεναρίων κατανάλωσης ορυκτών πόρων ανά στάδιο κύκλου ζωής

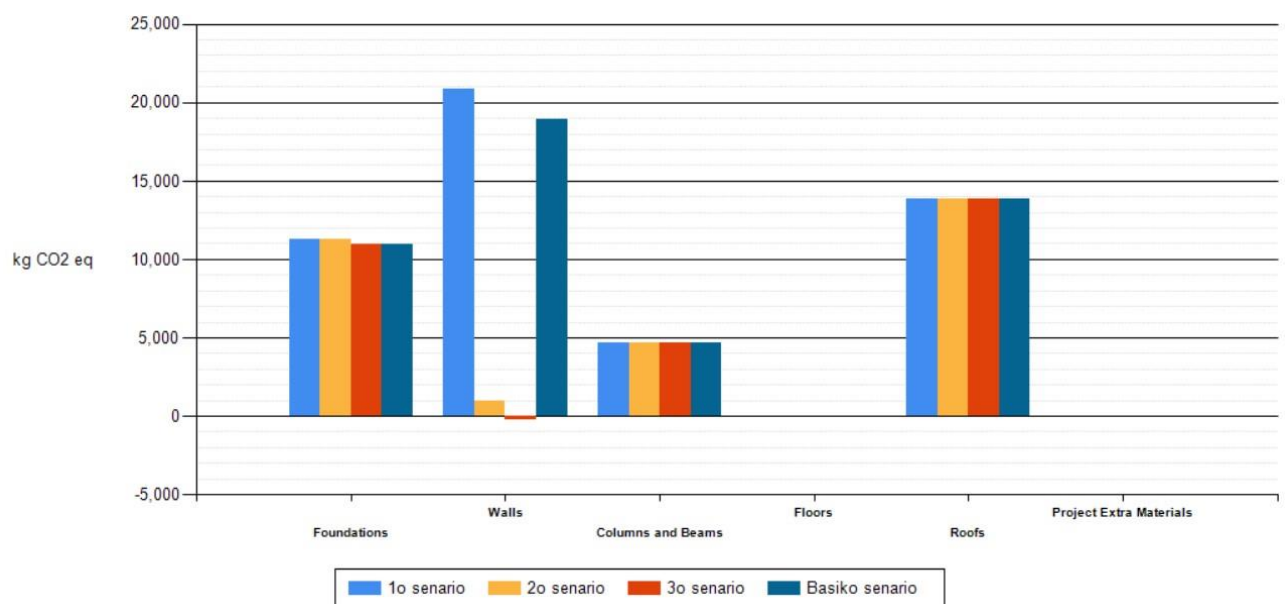
Project Name	Unit	Product (A1toA3)	Construction Process (A4&A5)	Use (B2&B4)	Total Operational Energy (B6)	End of Life (C1toC4)	Beyond Building Life(D)	Total
1o senario	MJ	1.76E+05	4.87E+04	2.76E+04	1.35E+06	4.08E+04	1.62E+05	1.80E+06
2o senario	MJ	1.64E+05	3.89E+04	2.41E+04	1.39E+06	3.31E+04	1.04E+05	1.75E+06
3o senario	MJ	1.57E+05	3.83E+04	2.32E+04	3.65E+06	3.34E+04	9.43E+05	4.00E+06
Basiko senario	MJ	1.60E+05	4.99E+04	2.32E+04	5.38E+06	4.15E+04	1.53E+05	5.81E+06
Total	MJ	6.56E+05	1.76E+05	9.80E+04	1.18E+07	1.49E+05	5.13E+05	1.34E+07

Table 27 Σύγκριση σεναρίων κατανάλωσης ορυκτών πόρων ανά στάδιο κύκλου ζωής

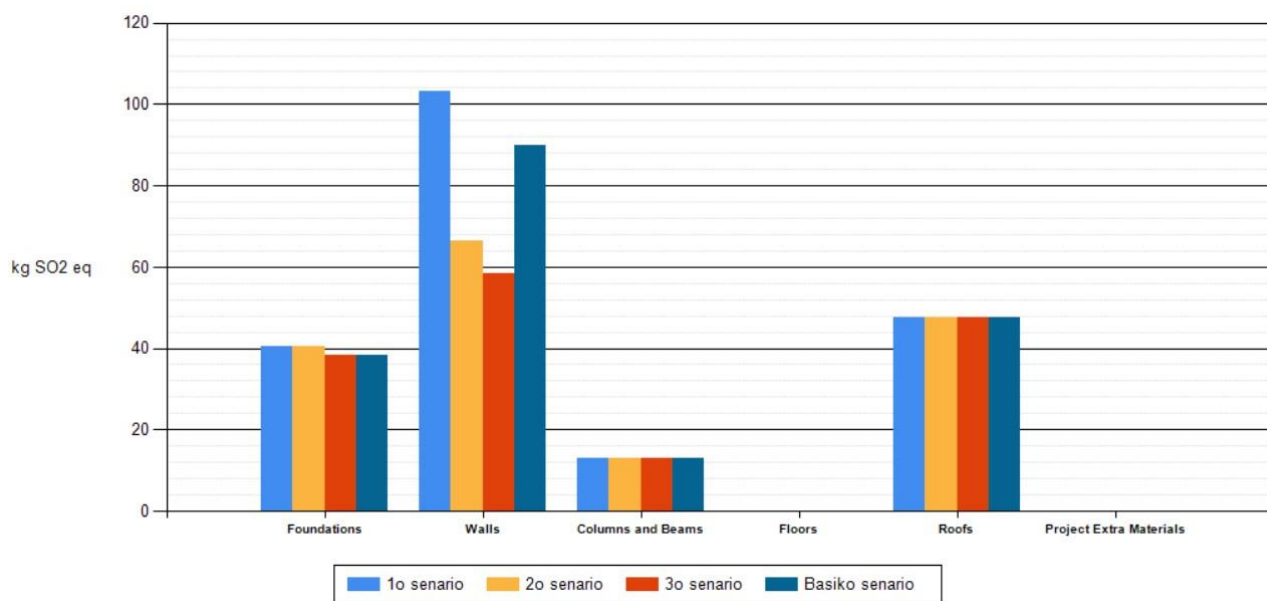
Αρχικά, με τα παραπάνω αποτελέσματα διακρίνεται ότι στο στάδιο της παραγωγής προϊόντων υπάρχουν οι περισσότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε όλες τις κατηγορίες επιπτώσεων εκτός του δυναμικού δημιουργίας νέφους που είναι το στάδιο κατασκευής. Η διαφορά στην κατηγορία του δυναμικού δημιουργίας νέφους υπάρχει διότι κατά την διαδικασία κατασκευής βρίσκονται στον τόπο κατασκευής πολλά μηχανήματα που λειτουργούν την ίδια ώρα και έτσι υπάρχει μεγαλύτερη δημιουργία όζοντος κατά την διαδικασία κατασκευής. Αντίστοιχα και στο στάδιο του τέλους ζωής που γίνεται η κατεδάφιση της κατασκευής λόγω των πολλών συμπυκνμένων μηχανημάτων που λειτουργούν την ίδια χρονική περίοδο, αυξάνεται το δυναμικό δημιουργίας του όζοντος.

Στις κατηγορίες σωματιδίων ανθρώπινης ενέργειας, δυναμικού ευτροφισμού και δυναμικού διάσπασης όζοντος το πρώτο και το δεύτερο σενάριο έχουν περισσότερες επιπτώσεις από τα άλλα σενάρια λόγω της επιπρόσθετης μόνωσης που διαθέτουν. Η μόνωση επηρεάζει την παραγωγή των ρύπων PM_{2.5}, N και CFC-11. Το N επηρεάζεται λόγω της ενέργειας που χρειάζεται η παραγωγή της διογκωμένης πολυστερίνης, το PM_{2.5} επηρεάζεται λόγω της παραγωγής του μονωτικού υλικού και το CFC-11 επηρεάζεται λόγω της χρήσης του για την βοήθεια στην δημιουργία του μονωτικού υλικού.[16] Οι υπόλοιπες κατηγορίες επιπτώσεων, δηλαδή το δυναμικού υπερθέρμανσης του πλανήτη, το δυναμικού οξίνισης, το δυναμικού δημιουργίας νέφους και η κατανάλωση ορυκτών πόρων έχουν μειωμένες επιπτώσεις στο πρώτο και δεύτερο σενάριο λόγω της ενεργειακής απόδοσης της κατοικίας. Εφόσον καταναλώνεται λιγότερη ενέργεια για θέρμανση και ψύξη στην κατοικία, άρα και λιγότερη παραγωγή ενέργειας στο σύνολο, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι μειωμένες.

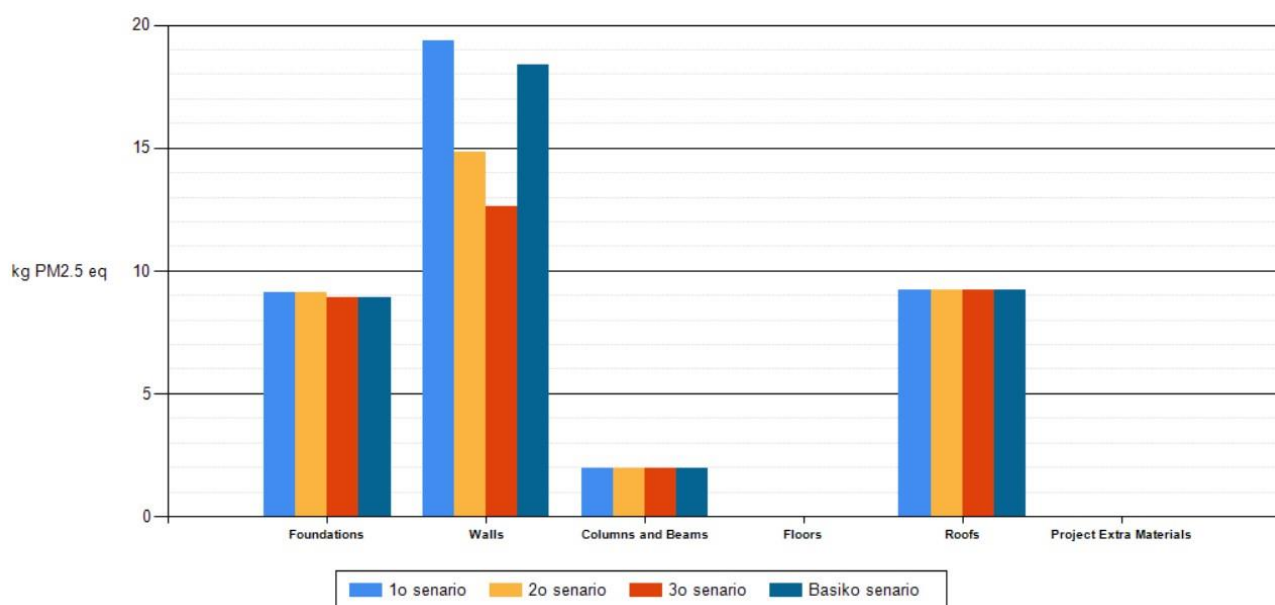
Τέλος, παρουσιάζονται παρακάτω τα διαγράμματα σύγκρισης των τεσσάρων σεναρίων βάσει των συγκροτημάτων κατοικίας λόγω των μεγαλύτερων περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκαλούν οι τοίχοι αλλά και λόγω των αλλαγών που έγιναν στο εκάστοτε συγκρότημα.



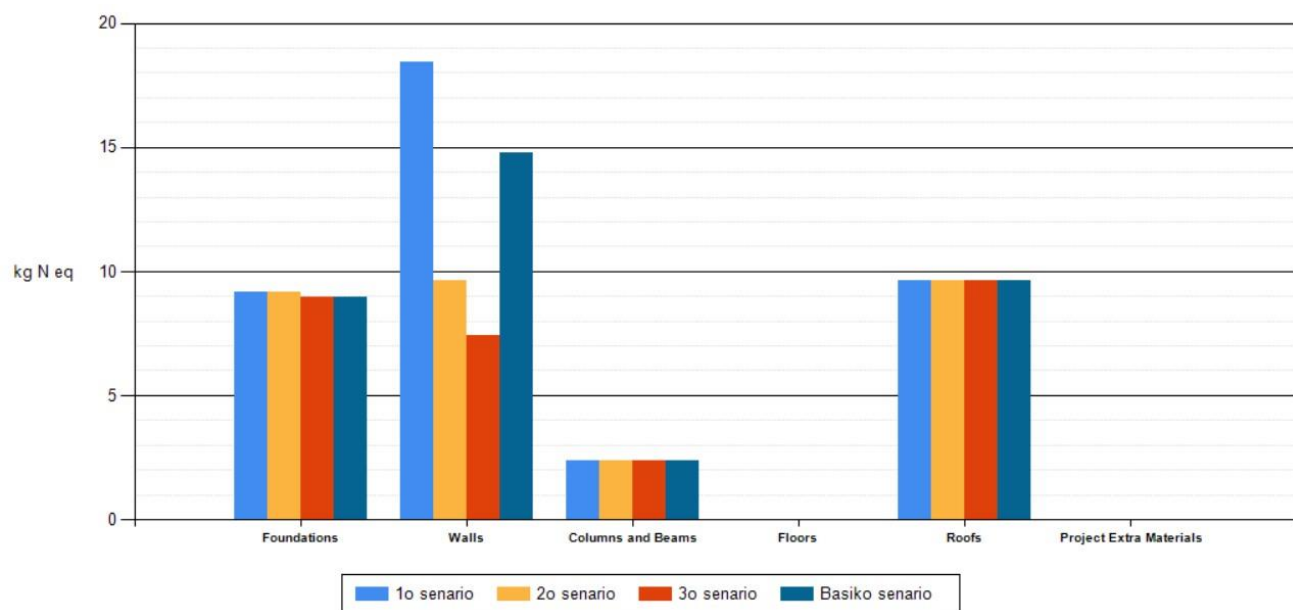
Εικόνα 54 Διάγραμμα σύγκρισης σεναρίων δυναμικού υπερθέρμανσης του πλανήτη ανά συγκρότημα κατοικίας



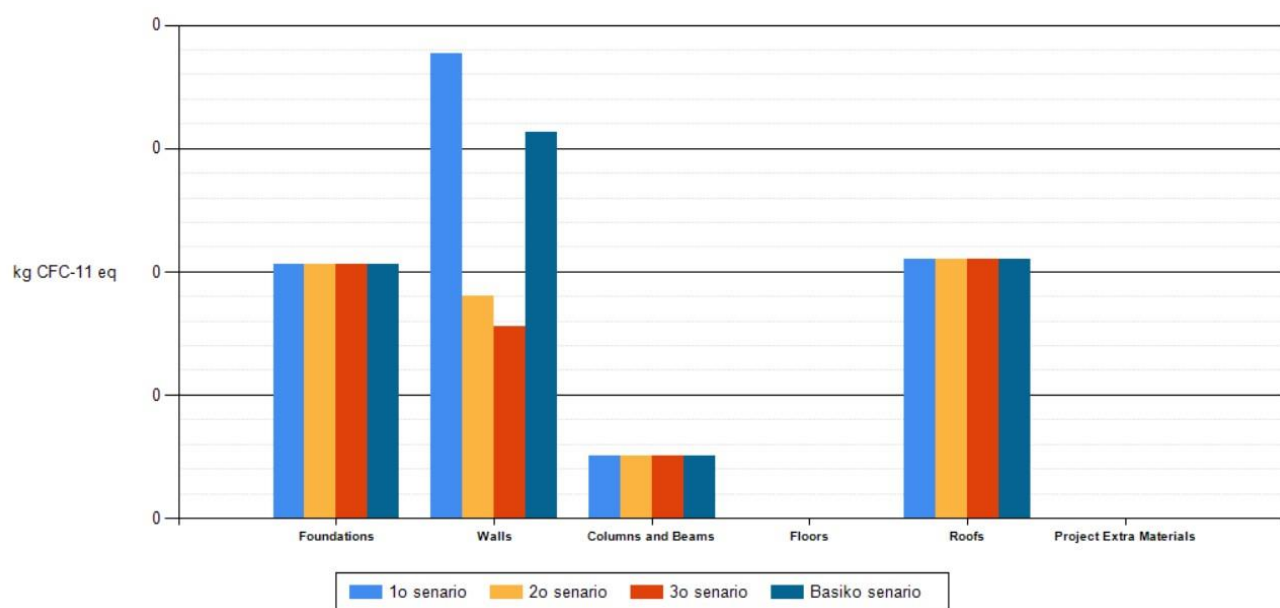
Εικόνα 55 Διάγραμμα σύγκρισης σεναρίων δυναμικού οξίνισης ανά συγκρότημα κατοικίας



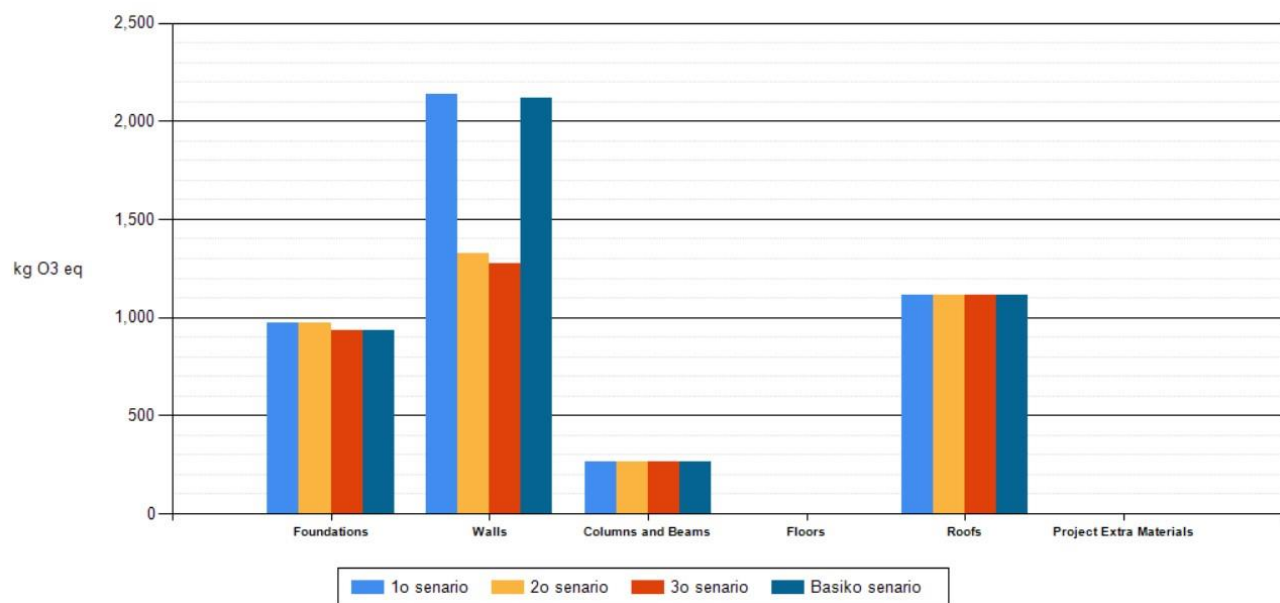
Εικόνα 56 Διάγραμμα σύγκρισης σεναρίων σωματιδίων ανθρώπινης υγείας ανά συγκρότημα κατοικίας



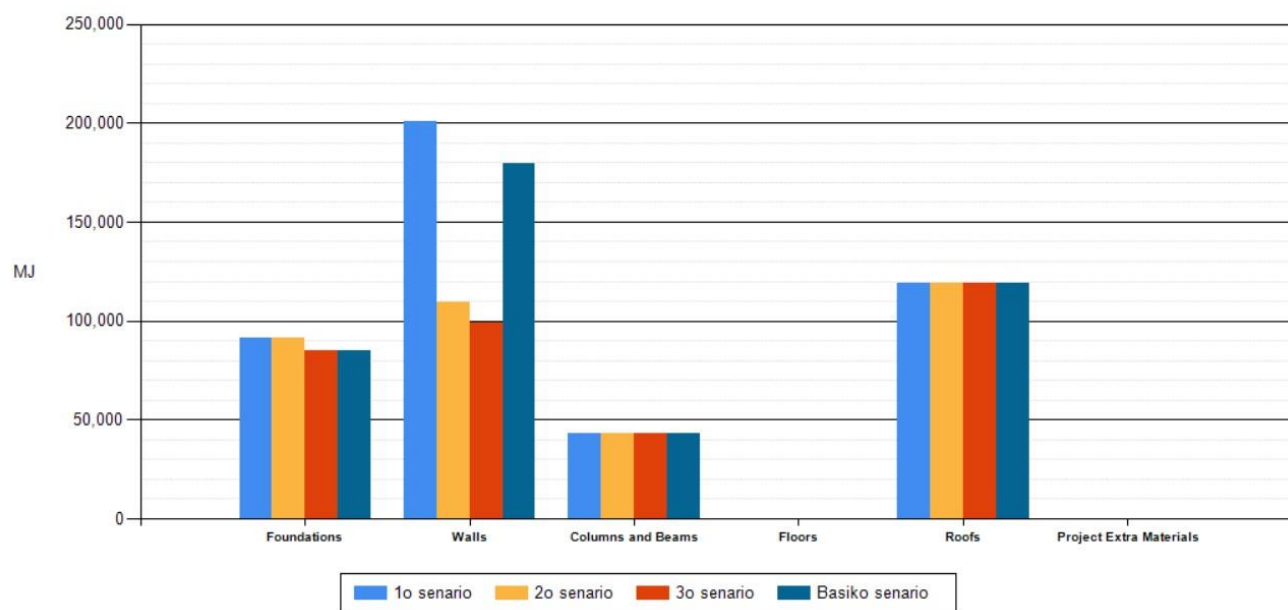
Εικόνα 57 Διάγραμμα σύγκρισης σεναρίων δυναμικού ευτροφισμού ανά συγκρότημα κατοικίας



Εικόνα 58 Διάγραμμα σύγκρισης σεναρίων δυναμικού διάσπασης όζοντος ανά συγκρότημα κατοικίας



Εικόνα 59 Διάγραμμα σύγκρισης σεναρίων δυναμικού δημιουργίας νέφους ανά συγκρότημα κατοικίας



Εικόνα 60 Διάγραμμα σύγκρισης σεναρίων κατανάλωσης ορυκτών πόρων ανά συγκρότημα κατοικίας

Αρχικά, στα συγκροτήματα των κολώνων και δοκών και οροφής δεν υπάρχουν αυξομειώσεις σε καμία κατηγορία επιπτώσεων αφού σε κανένα σενάριο δεν έγινε κάποια αλλαγή στα συγκεκριμένα συγκροτήματα. Το συγκρότημα των θεμελίων έχει ελάχιστες διαφορές σε όλες τις κατηγορίες επιπτώσεων αφού προστέθηκε μόνο μόνωση στο πρώτο και δεύτερο σενάριο.

Στο συγκρότημα τοίχων υπάρχουν μεγάλες διαφορές ανάμεσα στα σενάρια σε όλες τις κατηγορίες επιπτώσεων. Το τρίτο σενάριο είναι αυτό με τις λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε όλες τις κατηγορίες και με τεράστια διαφορά στην κατηγορία του δυναμικού υπερθέρμανσης του πλανήτη όπου αφού έχει αρνητικές επιπτώσεις δεν προκαλεί περιβαλλοντικές επιπτώσεις αλλά βοηθάει και στο συνολικό αποτέλεσμα. Αυτό παρόλα αυτά δεν θέτει το τρίτο σενάριο ιδανικό για την κατοικία αφού στις συνολικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις που παρουσιάστηκαν παραπάνω φαίνεται ότι το δεύτερο σενάριο έχει τις λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η μεγαλύτερη διαφορά στα αποτελέσματα της σύγκρισης σεναρίων ανά συγκρότημα κατοικίας μεταξύ του δεύτερου και του τρίτου σεναρίου στο συγκρότημα των τοίχων οφείλεται στην μεγαλύτερη ποσότητα υλικού που προστέθηκε στο δεύτερο σενάριο, δηλαδή η διογκωμένη πολυστερίνη.

Το συγκρότημα των τοίχων ως μεμονωμένο συγκρότημα που δεν είναι μέρος μίας κατασκευής, επιβαρύνει το περιβαλλοντικό του αντίκτυπο με την προσθήκη ενός υλικού αφού δεν προσδίδει κάτι στο συγκρότημα παρά μόνο περισσότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις λόγω εξόρυξης, επεξεργασίας, μεταφοράς και απόρριψης του επιπρόσθετου υλικού. Το συγκρότημα τοίχων είναι μέρος όμως μίας κατοικίας και η προσθήκη της διογκωμένης πολυστερίνης προσδίδει μόνωση και κατ'επέκταση μείωση στην συνολική κατανάλωση ενέργειας κατά την περίοδο λειτουργίας της κατοικίας. Η μείωση της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας κατά την περίοδο λειτουργίας της κατοικίας είναι πολύ μεγαλύτερη από τις περισσότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προσδίδει η διογκωμένη πολυστερίνη ως υλικό.

Ανάμεσα στο βασικό και στο πρώτο σενάριο δεν υπάρχουν μεγάλες διαφορές στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις όπως και στο δεύτερο και τρίτο σενάριο λόγω των παρόμοιων υλικών κατασκευής τους. Αφού το βασικό και το πρώτο σενάριο τα υλικά κατασκευής των συγκροτημάτων τους αποτελούνται από μπετόν και το συγκρότημα τοίχων του δεύτερου με το τρίτο σενάριο αποτελείται από ξύλο (CLT).

5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1 Συζήτηση

Αρχικά, δημιουργήθηκε το βασικό σενάριο όπου είναι μία κατοικία στην πόλη της Ελευσίνας. Αφότου σχεδιάστηκε, έγινε η ενεργειακή μοντελοποίηση και η ανάλυση κύκλου ζωής της κατοικίας προέκυψαν κάποια αποτελέσματα. Δημιουργήθηκαν επιπλέον τρία σενάρια με σκοπό την επιλογή του καλύτερου σεναρίου βάσει των περιβαλλοντικών επιπτώσεων για την δημιουργία της κατοικίας. Η ανάλυση κύκλου ζωής της κατοικίας που πραγματοποιήθηκε μέσω λογισμικού λαμβάνει υπόψιν τα υλικά κατασκευής της κατοικίας αλλά και την συνολική κατανάλωση ενέργειας κατά την περίοδο λειτουργίας της. Συγκεκριμένα, σχετικά με τα υλικά κατασκευής αναλύει όλα τα στάδια του κύκλου ζωής του κάθε ενός υλικού και αθροίζει το σύνολο των υλικών κατασκευής ώστε να προκύψουν τα αποτελέσματα για την κατοικία.

Βάσει των αποτελεσμάτων παρατηρήθηκε ότι το συγκρότημα των τοίχων είχε τις περισσότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις εν συγκρίσει των άλλων συγκροτημάτων. Επιπροσθέτως, η συνολική κατανάλωση ενέργειας κατά την περίοδο λειτουργίας της κατοικίας δημιουργούσε τις περισσότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις από όλα τα στάδια του κύκλου ζωής της κατοικίας και σε όλες τις κατηγορίες επιπτώσεων. Λόγω των ανώτερων αποτελεσμάτων η μελέτη επικεντρώθηκε στην μείωση της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας κατά την περίοδο λειτουργίας της κατοικίας μέσω της προσθήκης μόνωσης και την αλλαγή κουφωμάτων αλλά και στην αντικατάσταση του υλικού κατασκευής του συγκροτήματος των τοίχων ώστε να μειωθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις στο συγκρότημα με τις περισσότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις εν συγκρίσει των υπόλοιπων.

Η συνολική κατανάλωση ενέργειας κατά την περίοδο λειτουργίας της κατοικίας δημιουργεί της περισσότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις από οποιοδήποτε άλλο στάδιο του κύκλου ζωής της κατοικίας όπως έγινε κατανοητό από τα αποτελέσματα της μελέτης αλλά και των συγκρίσεων των σεναρίων. Η εξήγηση σχετικά με το παραπάνω αποτέλεσμα, δηλαδή η συνολική κατανάλωση ενέργειας κατά την περίοδο λειτουργίας της κατοικίας δημιουργεί τις περισσότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις οφείλεται στα πολλά χρόνια χρήσης της κατοικίας. Ο χρόνος ζωής της κατοικίας είναι τα 75 χρόνια, αυτό σημαίνει ότι επί 75 χρόνια η οικογένεια που διαμένει στην κατοικία κάνει χρήση των ηλεκτρικών συσκευών καθημερινά, όλο τον χρόνο. Επίσης, την αντίστοιχη εποχή κάνει χρήση των μέσων θέρμανσης και ψύξης για θερμική άνεση όπως είναι λογικό. Με τις παραπάνω χρήσεις, ειδικά των μέσων θέρμανσης και ψύξης που καταναλώνουν την περισσότερη ενέργεια, η συνολική κατανάλωση ενέργειας κατά την περίοδο λειτουργίας της κατοικίας δημιουργεί της περισσότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Οι συγκρίσεις που πραγματοποιήθηκαν ανάμεσα στα τέσσερα σενάρια έδειξαν ότι το τρίτο σενάριο είχε ελάχιστα καλύτερα αποτελέσματα από το δεύτερο σενάριο στα διαγράμματα σύγκρισης των σεναρίων ανά συγκρότημα της κατοικίας. Όπως αναφέρθηκε και στην ανάλυση αποτελεσμάτων της σύγκρισης σεναρίων ανά συγκρότημα της κατοικίας, τα καλύτερα αποτελέσματα του τρίτου σεναρίου στα συγκεκριμένα διαγράμματα οφείλονται στα πρόσθετα υλικά του συγκροτήματος τοίχων. Εφόσον δεν περιλαμβάνει την συνολική κατανάλωση ενέργειας κατά την περίοδο λειτουργίας της κατοικίας αλλά παρουσιάζονται μόνο τα υλικά κατασκευής του συγκροτήματος είναι λογικό να έχει περισσότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις το δεύτερο σενάριο. Το τρίτο σενάριο είχε καλύτερα αποτελέσματα στα διαγράμματα σύγκρισης των σεναρίων ανά στάδιο του κύκλου ζωής της κατοικίας σε τρεις κατηγορίες επιπτώσεων. Παρόλα αυτά το δεύτερο σενάριο είχε καλύτερα αποτελέσματα από το βασικό και το πρώτο σενάριο αλλά και το τρίτο σενάριο αφού είχε καλύτερα αποτελέσματα σε τέσσερις από τις επτά κατηγορίες επιπτώσεων. Επίσης, τα αποτελέσματα του δεύτερου σεναρίου είχαν μεγαλύτερη διαφορά στις τέσσερις κατηγορίες που είχε καλύτερα αποτελέσματα εν συγκρίσει του τρίτου σεναρίου που είχε μικρότερη διαφορά. Άρα, το δεύτερο σενάριο είναι η καλύτερη εκδοχή της κατοικίας.

Με την παραπάνω κατάληξη, δηλαδή ότι η καλύτερη εκδοχή της κατοικίας είναι το δεύτερο σενάριο καταλήγουμε στο ότι ο συνδυασμός της μείωσης της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας κατά την περίοδο λειτουργίας της κατοικίας και η αντικατάσταση του υλικού κατασκευής της κατοικίας είναι ο ιδανικός για τα καλύτερα αποτελέσματα. Οι δύο κυρίαρχοι παράμετροι που επηρεάζουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις δηλαδή η συνολική κατανάλωση ενέργειας κατά την περίοδο λειτουργίας της κατοικίας και το συγκρότημα τοίχων, είναι αυτοί που χρειάζονται επέμβαση για την μείωση των συνολικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων της κατοικίας για το ιδανικό αποτέλεσμα.

Το δεύτερο σενάριο διαθέτει διπλό πλαίσιο PVC με μαλακό αργό για κουφώματα, μόνωση EPS 50mm, ξύλο CLT στο συγκρότημα των τοίχων με επιπρόσθετη μόνωση EPS 50mm στους εξωτερικούς τοίχους (100mm συνολικά) και 60mm στους εσωτερικούς. Μέσω αυτών των αλλαγών το δεύτερο σενάριο είχε τις λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις στις κατηγορίες επιπτώσεων δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη, δυναμικό οξίνισης, δυναμικό δημιουργίας νέφους και κατανάλωσης ορυκτών πόρων.

Η μεγαλύτερη περιβαλλοντική επιβάρυνση της κατοικίας πραγματοποιείται στο στάδιο της παραγωγής προϊόντων στις περισσότερες κατηγορίες επιπτώσεων. Στο στάδιο της παραγωγής προϊόντων υπάρχει μεγάλη χρονική διάρκεια για την εξόρυξη ή την συλλογή πόρων, την μεταφορά τους και την επεξεργασία τους. Σε αυτή την χρονική διάρκεια καταναλώνεται μεγάλη ποσότητα ενέργειας μέσω των μηχανημάτων συλλογής/εξόρυξης πόρων, μέσω μεταφοράς των προϊόντων και μηχανημάτων επεξεργασίας. Η μικρότερη περιβαλλοντική επιβάρυνση της κατοικίας πραγματοποιείται κατά την διάρκεια του σταδίου χρήσης στις περισσότερες κατηγορίες επιπτώσεων όπου σε αυτό το στάδιο γίνεται χρήση των υλικών, συντήρηση αλλά και αντικατάσταση. Για την μείωση περιβαλλοντικών επιπτώσεων στο στάδιο της παραγωγής προϊόντων κάποιες λύσεις θα ήταν η χρήση αποδοτικότερων μηχανημάτων ή εξηλεκτρισμένων μηχανημάτων όπου θα χρησιμοποιούσαν ηλεκτρική ενέργεια που θα παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, η χρήση διαφορετικών υλικών κατασκευής που χρειάζονται λιγότερη επεξεργασία για την χρήση τους άρα και μειωμένο χρόνο στην χρήση μηχανημάτων και η χρήση υλικών κατασκευής που βρίσκονται στην περιοχή κατασκευής του εκάστοτε κτιρίου για μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων μεταφοράς.

5.2 Συμπεράσματα

Η διπλωματική αυτή μέσω της ανάλυσης κύκλου ζωής τεσσάρων σεναρίων σχεδιασμού μίας κατοικίας ανέδειξε την βαρύτητα που έχει το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των κτιρίων αλλά και τους τρόπους μείωσης του περιβαλλοντικού αποτυπώματος. Μέσω των τριών σεναρίων που προέκυψαν αφότου υπήρξε το βασικό σενάριο επιτεύχθηκε η μείωση της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας κατά την περίοδο λειτουργίας της κατοικίας και στα τρία σενάρια. Η μείωση αυτή προέκυψε από την προσθήκη μόνωσης και την αλλαγή κουφωμάτων στην κατοικία. Η μείωση που προέκυψε στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι αρκετά μεγαλύτερη συγκριτικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που υπήρξαν λόγω των πρόσθετων υλικών, δηλαδή επιπρόσθετη μόνωση και υλικά κουφωμάτων.

Η συνολική κατανάλωση ενέργειας κατά την περίοδο λειτουργίας της κατοικίας καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της κατοικίας. Μέσω των σεναρίων μειώθηκαν σε πολύ μεγάλο ποσοστό οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της κατοικίας. Άρα βάσει των αποτελεσμάτων που προέκυψαν είναι πολύ σημαντικό να μειωθεί το σύνολο κατανάλωσης ενέργειας στο δομημένο περιβάλλον. Επιπλέον, μία καλή αρχή θα ήταν να υπάρξουν περισσότεροι περιορισμοί στην κατανάλωση ενέργειας των νεόδμητων κτιρίων από πρώιμο στάδιο, το στάδιο της μελέτης. Ύστερα να γίνει προώθηση πρότυπων όπου εστιάζουν στην μείωση κατανάλωσης ενέργειας και συνολικά στην μείωση περιβαλλοντικών επιπτώσεων των κτιρίων. Ένα παράδειγμα είναι η χώρα της Σκωτίας όπου θα δημιουργήσει ένα δικό της ενεργειακό πρότυπο βάσει το πρότυπο του Παθητικού Κτιρίου ώστε να μειώσει το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των κτιρίων της.[17]

Η επίτευξη της μείωσης των ενσωματωμένων επιπτώσεων ήταν λόγω της αλλαγής του υλικού κατασκευής του συγκροτήματος των τοίχων. Αλλαγή έγινε μόνο στο συγκρότημα των τοίχων λόγω του μεγάλου μέρους που είχε στο σύνολο των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της κατοικίας. Με την αλλαγή του υλικού κατασκευής του συγκροτήματος των τοίχων μειώθηκαν αρκετά οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Αυτό δείχνει ότι με αλλαγή του υλικού κατασκευής στο συγκρότημα που καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ενός κτιρίου, υπάρχει μεγάλη μείωση στο περιβαλλοντικό αποτύπωμα του κτιρίου.

Το πρώτο σενάριο όπου σε αυτό υπήρξε ενεργειακή αναβάθμιση συγκριτικά με το βασικό σενάριο χωρίς διαφορές στα υλικά κατασκευής, είχε σημαντική μείωση στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις ενώ ουσιαστικά μειωνόταν η συνολική κατανάλωση ενέργειας κατά την περίοδο λειτουργίας της κατοικίας. Στο τρίτο σενάριο όπου έγινε αλλαγή του υλικού κατασκευής των τοίχων και έγινε μία πολύ φτωχή ενεργειακή αναβάθμιση υπήρξαν λιγότερο ιδανικά αποτελέσματα εν συγκρίσει του πρώτου σεναρίου αν και έγινε μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Στο δεύτερο σενάριο όπου έγινε σημαντική ενεργειακή αναβάθμιση αλλά και αντικατάσταση του υλικού κατασκευής των τοίχων παρουσιάστηκαν και τα καλύτερα αποτελέσματα συγκριτικά με τα υπόλοιπα σενάρια. Συμπερασματικά, η ιδανική λύση για μειωμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι όχι μόνο η καλή ενεργειακή του απόδοση αλλά και η χρήση υλικών κατασκευής που προσδίδουν λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις όπως είναι το ξύλο (CLT).

Η μελέτη αυτή θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως παράδειγμα για τις αλλαγές που υπήρξαν στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις μίας κατοικίας μέσω των διαφορετικών υλικών κατασκευής και της μείωσης συνολικής κατανάλωσης ενέργειας κατά την περίοδο λειτουργίας μίας κατοικίας.

5.3 Διερεύνηση θέματος

Για την διερεύνηση του συγκεκριμένου θέματος, δηλαδή της ανάλυσης κύκλου ζωής μίας κατοικίας και την μείωση του περιβαλλοντικού αντίκτυπου της, μπορεί να γίνει μεγαλύτερη αναφορά αλλά και δράση πάνω σε άλλα υλικά κατασκευής όπως είναι το βιώσιμο τσιμέντο (sustainable concrete). Επιπλέον, μέσω της χρήσης τοπικών υλικών το περιβαλλοντικό αντίκτυπο θα είναι μικρότερο της σύντομης μεταφοράς τους στο τόπο κατασκευής της μελέτης περίπτωσης. Χρήση ανακυκλώσιμων, επαναχρησιμοποιούμενων ή ανανεώσιμων υλικών κατασκευής. Επίσης, όπως αναφέρθηκε και στο παραπάνω υποκεφάλαιο, μπορεί να γίνει χρήση κάποιου πρότυπου για μείωση της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας κατά την περίοδο λειτουργίας ενός κτιρίου εφόσον καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Τελευταίο αλλά εξίσου σημαντικό, αν και το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε έχει πάρα πολλές δυνατότητες έχει κάποιους περιορισμούς όπως τον περιορισμό στην επιλογή πόλης εκτός της Αμερικής και του Καναδά. Μπορεί να γίνει χρήση διαφορετικού λογισμικού ανάλυσης κύκλου ζωής κτιρίων που να δίνει της επιλογές που χρειάζεται ο κάθε χρήστης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Γ. Δημητρίου, 'Ανάλυση κύκλου ζωής: Ένα συστηματικό όργανο για την διαχείριση του περιβάλλοντος', *Πανεπιστήμιο Πειραιώς*, τ. 49, τχ. 1–4.
- [2] Αβρααμίδης, Κυθραιώτου, Φάττα, 'Ανάλυση κύκλου ζωής ως υποστηρικτικό εργαλείο λήψης αποφάσεων για την οικολογική παραγωγή ελαιόλαδου', *Πανεπιστήμιο Κύπρου, Εργαστήριο Μηχανικής Περιβάλλοντος ΓΑΙΑ*.
- [3] European Construction Sector Observatory, 'Saving Energy at Home Programme', European Commission, Φεβρουαρίου 2017.
- [4] Man Yu, Mehdi Robati, Philip Oldfield, Thomas Wiedmann, Robert Crawford, Ali Akbar Nezhad, David Carmichael, 'The impact of value engineering on embodied greenhouse gas emissions in the built environment: A hybrid life cycle assessment', *Building and Environment*, doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106452>.
- [5] Suef Roaf, *Ecohouse*. Elsevier.
- [6] Ming Hu, 'A Building Life-Cycle Embodied Performance Index- The Relationship between Embodied Energy, Embodied Carbon and Environmental Impact', *Energies* 2020, τ. 13(8), τχ. Life Cycle Assessment (LCA) of Environmental and Energy Systems, doi: <https://doi.org/10.3390/en13081905>.
- [7] Becque R., Mackres E., Layke J., Aden N., Liu S., Managan K., Nesler C., Mazur-Stommen S., Petrichenko K., Graham P., 'Accelerating Building Efficiency: Eight Actions for Urban Leaders'. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://publications.wri.org/buildingefficiency/>
- [8] P. Chastas, T. Theodosiou, D. Bikas, K. Kontoleon, 'Embodied Energy and Nearly Zero Energy Buildings: A Review in Residential Buildings', *Elsevier*, τ. Procedia Environmental Sciences, τχ. 38, σσ. 554–561.
- [9] Reidun Dahl Schlanbusch, Selamawit Mamo Fufa, Tarja Hakkinen, Sirje Vares, Harpa Birgisdottir, Peter Ylmen, 'Experiences with LCA in the Nordic building industry - challenges, needs and solutions', *Energy Procedia* (2016), τ. 96, σσ. 82–93, doi: 10.1016/j.egypro.2016.09.106.
- [10] Abdulrahman Fnais, Yacine Rezgui, Ioan Petri, Thomas Beach, Jonathan Yeung, Ali Ghoroghi, Sylvain Kubicki, 'The application of life cycle assessment in buildings: challenges, and directions for future research', *The International Journal of Life Cycle Assessment* (2022), τ. 27, σσ. 627–654, doi: 10.1007/s11367-022-02058-5.
- [11] Assefa G., Glaumann M., Malmqvist T., Kindembe B., Hult M., Myhr U., Eriksson O., 'Environmental assessment of building properties - Where natural and social sciences meet: The case of EcoEffect', *Elsevier*, τ. Building and Environment (2007), τχ. 42, σσ. 1458–1464, doi: 10.1016/j.buildenv.2005.12.011.
- [12] Διεύθυνση εγγυήσεων προέλευσης και ενεργειακού μείγματος, 'Υπολειπόμενο ενεργειακό μείγμα Ελλάδας'. Διαχειριστής ΑΠΕ και εγγυήσεων προέλευσης, 2021. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.dapeep.gr/wp-content/uploads/2021/06/%CE%A5%CE%A0%CE%9F%CE%9B%CE%95%CE%99%CE%A0%CE%9F%CE%9C%CE%95%CE%9D%CE%9F%20%CE%95%CE%9D%CE%95%CE%A1%CE%93%CE%95%CE%99%CE%91%CE%9A%CE%9F%20%CE%9C%CE%95%CE%99%CE%93%CE%9C%CE%91%202020.pdf?t=1624011847>
- [13] Gu Hongmei, Liang Shaobo, Bergman Richard, 'Comparison of Building Construction and Life-Cycle Cost for a High-Rise Mass Timber Building with its Concrete Alternative'.
- [14] V. Penttala, 'Concrete and Sustainable Development', 94-M48.
- [15] EAUC, 'How much energy do you use?' Sustainability exchange. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο:

https://www.sustainabilityexchange.ac.uk/files/cambridge_regional_college_sus_how_much_energy_do_you_use_pdf.pdf

- [16] Parajuli Indira, Lee Heekwan, 'Integration Techniques for Environmental Impact Assessment of Industrial Pollutants', *International Journal of Environmental Protection*, τ. Vol. 7, τχ. Iss. 1, σ. PP. 1-7, 2017.
- [17] Energy Standards Review - Scottish Passivhaus Equivalent: Working Group. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.gov.scot/publications/energy-standards-review-scottish-passivhaus-equivalent-working-group-terms-of-reference/>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

1)

	Χαρακτηριστικά				
Υλικά	Σκληρότητα	Πάχος(m)	Πυκνότητα(kg/m ³)	Ειδική θερμότητα(J/(kg*K))	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας(W/(m*K))
Σκυρόδεμα	Πολύ σκληρό	0.15	2000	1000	1.35
Τούβλο	Σκληρό	0.1	1700	1000	0.68
Ξύλο	Σκληρό	0.12	800	1600	0.17
Πλακάκι	Σκληρό	0.005	2000	840	1.84
Σοβάς	Σκληρό	0.01	1800	1000	0.87
Αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη	Μέτριο μαλακό	0.05	40	1450	0.038
Γυαλί	-	0.003	-	-	0.9
Αέρας	-	0.003	-	-	-

2)

	Χαρακτηριστικά				
Υλικά	Σκληρότητα	Πάχος(m)	Πυκνότητα(kg/m ³)	Ειδική θερμότητα(J/(kg*K))	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας(W/(m*K))
Σκυρόδεμα	Πολύ σκληρό	0.15	2000	1000	1.35
CLT εξωτ.	Σκληρό	0.08	470	1600	0.12
CLT εσωτ.	Σκληρό	0.05	470	1600	0.12
Ξύλο	Σκληρό	0.12	800	1600	0.17
Πλακάκι	Σκληρό	0.005	2000	840	1.84
Σοβάς	Σκληρό	0.01	1800	1000	0.87
Διογκωμένη πολυστερίνη	Μέτριο σκληρό	0.06	25	1450	0.034
Γυαλί	-	0.003	-	-	0.9
Άργον	-	0.003	-	-	-

3)

	Ταράτσα	Εξωτερικός τοίχος	Εσωτερικός τοίχος	Εδαφόπλακα	Πόρτα	Οροφή	Κουφώματα
Εξωτερική επιφάνεια							
	Αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη	Σοβάς	Σοβάς	Σκυρόδεμα	Ξύλο	Σοβάς	Γυαλί
	Σκυρόδεμα	Τούβλο	Τούβλο	Πλακάκι		Σκυρόδεμα	Αέρας
	Σοβάς	Αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη	Σοβάς			Αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη	Γυαλί
		Τούβλο					
		Σοβάς					
Εσωτερική επιφάνεια							

4)

	Ταράτσα	Εξωτερικός τοίχος	Εσωτερικός τοίχος	Εδαφόπλακα	Πόρτα	Οροφή	Κουφώματα
Εξωτερική επιφάνεια							
	Διογκωμένη πολυστερίνη	Σοβάς	Σοβάς	Διογκωμένη πολυστερίνη	Ξύλο	Σοβάς	Γυαλί
	Σκυρόδεμα	CLT εξωτ.	CLT εσωτ.	Σκυρόδεμα		CLT εξωτ.	Άργον
	Σοβάς	Διογκωμένη πολυστερίνη	Διογκωμένη πολυστερίνη	Πλακάκι		Διογκωμένη πολυστερίνη	Γυαλί
		Διογκωμένη πολυστερίνη	CLT εσωτ.			Διογκωμένη πολυστερίνη	Άργον
		CLT εξωτ.	Σοβάς			Διογκωμένη πολυστερίνη	Γυαλί
		Σοβάς				CLT εξωτ.	
						Σοβάς	
Εσωτερική επιφάνεια							