

Συγκριτική Αξιολόγηση Βιοκλιματικής και Συμβατικής Κατοικίας στην Ελλάδα με χρήση Δυναμικής Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (Dynamic LCA) και Ανάλυσης Βιωσιμότητας Κύκλου Ζωής (LCSA)

Ελένη Μαγγανά

Μεταπτυχιακή Φοιτήτρια ΔΧΤ/ΣΘΕΤ, ΕΑΠ

std1639972@ac.eap.gr

Μαρία Μπακατσάκη

Δρ. Μηχανικός Παραγωγής και Διοίκησης

και Μέλος ΣΕΠ ΔΧΤ/ΣΘΕΤ ΕΑΠ

maria.bakatsaki@ac.eap.gr

Περίληψη – Η αυξανόμενη ανάγκη για μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του κτιριακού τομέα καθιστά αναγκαία την εφαρμογή ολοκληρωμένων μεθοδολογιών αξιολόγησης της βιωσιμότητας των κτιρίων. Η παρούσα εργασία εξετάζει συγκριτικά μία συμβατική και μία βιοκλιματική κατοικία στην Ελλάδα, εφαρμόζοντας τη Δυναμική Ανάλυση Κύκλου Ζωής (Dynamic Life Cycle Assessment – DLCA), την Ανάλυση Κόστους Κύκλου Ζωής (Life Cycle Cost – LCC) και την Ανάλυση Βιωσιμότητας Κύκλου Ζωής (Life Cycle Sustainability Assessment – LCSA). Η μελέτη βασίζεται σε λειτουργική μονάδα κατοικίας επιφάνειας 120 m² και χρονικό ορίζοντα 50 ετών, ενώ ενσωματώνει τη χρονική μεταβολή του συντελεστή εκπομπών του ελληνικού ενεργειακού μίγματος μέσω της δυναμικής προσέγγισης. Παράλληλα αξιολογούνται το συνολικό κόστος κύκλου ζωής, η καθαρή παρούσα αξία (NPV) και κοινωνικοί δείκτες βιωσιμότητας στο πλαίσιο της S-LCA. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η βιοκλιματική κατοικία επιτυγχάνει μείωση της λειτουργικής ενεργειακής κατανάλωσης κατά 39,3% και περιορισμό των εκπομπών κατά 83.820 kg CO₂ σε σχέση με τη συμβατική κατοικία. Η ονομαστική ανάλυση κόστους κύκλου ζωής καταδεικνύει οικονομικό όφελος 45.000 €, ενώ η κοινωνική αξιολόγηση αναδεικνύει σημαντικά υψηλότερη συνολική επίδοση της βιοκλιματικής κατοικίας. Τα ευρήματα επιβεβαιώνουν ότι η ενσωμάτωση δυναμικών περιβαλλοντικών παραμέτρων και η ταυτόχρονη αξιολόγηση περιβαλλοντικών, οικονομικών και κοινωνικών δεικτών οδηγούν σε πληρέστερη αποτίμηση της βιωσιμότητας των κτιρίων και υποστηρίζουν την υιοθέτηση βιοκλιματικών στρατηγικών στον ελληνικό κτιριακό τομέα.

Λέξεις-Κλειδιά: Dynamic LCA, LCSA, Ανάλυση Κόστους Κύκλου Ζωής, Βιοκλιματική κατοικία, Βιωσιμότητα

I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο κτιριακός τομέας αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους καταναλωτές ενέργειας και μία από τις κύριες πηγές εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σε παγκόσμιο επίπεδο (Asdrubali et al., 2024). Η ανάγκη περιορισμού των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των

κτιρίων, σε συνδυασμό με τους στόχους για την κλιματική ουδετερότητα, έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη μεθοδολογιών που αξιολογούν την περιβαλλοντική, οικονομική και κοινωνική τους επίδοση σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής τους. Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής (Life Cycle Assessment – LCA) αποτελεί μία από τις πλέον διαδεδομένες μεθοδολογίες περιβαλλοντικής αξιολόγησης, καθώς επιτρέπει την ποσοτικοποίηση των επιπτώσεων ενός προϊόντος ή συστήματος από την παραγωγή έως το τέλος του κύκλου ζωής του (Finnveden et al., 2009; ISO, 2006a; ISO, 2006b).

Ωστόσο, η συμβατική (στατική) LCA βασίζεται σε σταθερές παραδοχές και δεν λαμβάνει υπόψη τη χρονική μεταβολή κρίσιμων παραμέτρων, όπως η σταδιακή αποανθρακοποίηση του ενεργειακού μίγματος (Beloïn-Saint-Pierre et al., 2020). Για την αντιμετώπιση αυτού του περιορισμού έχει αναπτυχθεί η Δυναμική Ανάλυση Κύκλου Ζωής (Dynamic Life Cycle Assessment – DLCA), η οποία ενσωματώνει τη χρονική διάσταση στους υπολογισμούς των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και παρέχει τη δυνατότητα για δυναμικά πιο ρεαλιστική εκτίμηση των λειτουργικών εκπομπών των κτιρίων (Slavkovic & Stephan, 2025).

Παράλληλα, η Ανάλυση Βιωσιμότητας Κύκλου Ζωής (Life Cycle Sustainability Assessment – LCSA) επεκτείνει την αξιολόγηση πέρα από την περιβαλλοντική διάσταση, συνδυάζοντας την Ανάλυση Κύκλου Ζωής (LCA), την Ανάλυση Κόστους Κύκλου Ζωής (Life Cycle Cost – LCC) και την κοινωνική αξιολόγηση (S-LCA), παρέχοντας μια ολοκληρωμένη αποτίμηση της βιωσιμότητας (Klöpper, 2008; United Nations Environment Programme, 2011).

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η συγκριτική αξιολόγηση μιας συμβατικής και μιας βιοκλιματικής κατοικίας στην Ελλάδα μέσω της εφαρμογής των μεθοδολογιών Dynamic LCA, LCC και LCSA. Η μελέτη εστιάζει στην ενσωμάτωση της χρονικής εξέλιξης του ελληνικού ενεργειακού μίγματος στους υπολογισμούς και στη συνδυαστική αξιολόγηση περιβαλλοντικών, οικονομικών και κοινωνικών δεικτών. Η επιλογή της

δυναμικής προσέγγισης βασίζεται στη σημασία της χρονικής διάστασης στην LCA (Beloïn-Saint-Pierre et al., 2020; Slavkovic & Stephan, 2025), ενώ η σύνθεση των τριών διαστάσεων της βιωσιμότητας ακολουθεί το πλαίσιο της LCSA (Klöpffer, 2008).

Η μακροχρόνια διάρκεια ζωής των κτιρίων καθιστά ιδιαίτερα σημαντική τη συνεκτίμηση χρονικά μεταβαλλόμενων παραμέτρων στην περιβαλλοντική αξιολόγηση. Με δεδομένο ότι η εξέλιξη του ενεργειακού μίγματος μπορεί να μεταβάλλει ουσιαστικά τις λειτουργικές εκπομπές κατά τη διάρκεια ζωής ενός κτιρίου, η Dynamic LCA αποτελεί κατάλληλο πλαίσιο για τη διερεύνηση τέτοιων μεταβολών (Beloïn-Saint-Pierre et al., 2020; Slavkovic & Stephan, 2025).

Η Ευρωπαϊκή Ένωση, μέσω της Οδηγίας για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων (EPBD) και του στόχου κλιματικής ουδετερότητας έως το 2050, καθιστά επιτακτική την υιοθέτηση εργαλείων αξιολόγησης που λαμβάνουν υπόψη τη χρονική διάσταση της ενεργειακής μετάβασης. Στο πλαίσιο αυτό, η Ελλάδα, με ταχέως εξελισσόμενο ενεργειακό μίγμα λόγω της σταδιακής απόσυρσης λιγνιτικών μονάδων και της αύξησης της διείσδυσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, αποτελεί ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα περίπτωση μελέτης για την εφαρμογή δυναμικών μεθοδολογιών αξιολόγησης βιωσιμότητας κτιρίων.

II. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

A. Περιγραφή Κατοικιών Μελέτης

Εξετάζονται δύο πανομοιότυπες ως προς την επιφάνεια (120 m²) κατοικίες στην κλιματική ζώνη B: μία συμβατική, με τυπικά δομικά και ενεργειακά χαρακτηριστικά χωρίς εκτεταμένη εφαρμογή βιοκλιματικών στρατηγικών, και μία βιοκλιματική, η οποία ενσωματώνει παθητικά και ενεργητικά συστήματα (θερμομόνωση, ηλιακό αίθριο, φυσικό αερισμό, φωτοβολταϊκά). Η ετήσια λειτουργική κατανάλωση ενέργειας ανέρχεται σε 16.800 kWh για τη συμβατική και 10.200 kWh για τη βιοκλιματική κατοικία.

B. Δυναμική Ανάλυση Κύκλου Ζωής (Dynamic LCA)

Η περιβαλλοντική αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε με τη μεθοδολογία Dynamic Life Cycle Assessment (DLCA), η οποία επεκτείνει τη συμβατική Ανάλυση Κύκλου Ζωής (LCA), ενσωματώνοντας τη χρονική μεταβολή των συντελεστών εκπομπών του ενεργειακού μίγματος (Beloïn-Saint-Pierre et al., 2020; Slavkovic & Stephan, 2025). Για τον σκοπό αυτό υιοθετήθηκε σενάριο σταδιακής αποανθρακοποίησης της ηλεκτροπαραγωγής, με μεταβαλλόμενους συντελεστές εκπομπών ανά δεκαετία, επιτρέποντας μια δυναμικά πιο ρεαλιστική εκτίμηση των λειτουργικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.

Ο υπολογισμός των εκπομπών ανά δεκαετία πραγματοποιήθηκε με βάση τη σχέση:

Εκπομπές CO₂ = Ετήσια κατανάλωση ενέργειας × 10 έτη × Συντελεστής εκπομπών περιόδου, όπου ο συντελεστής εκπομπών μειώνεται σταδιακά από 0,40 σε 0,12 kg CO₂/kWh στο διάστημα 2025–2075, σύμφωνα με το σενάριο σταδιακής αποανθρακοποίησης που υιοθετήθηκε στην παρούσα μελέτη.

C. Ανάλυση Κόστους Κύκλου Ζωής (LCC) και NPV

Το ονομαστικό LCC προκύπτει από το άθροισμα του αρχικού κόστους κατασκευής, του συνολικού κόστους ενέργειας και του κόστους συντήρησης στα 50 έτη (Fuller & Petersen, 1996). Παράλληλα υπολογίζεται η Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV) των ίδιων ταμειακών ροών με χρήση συντελεστή προεξόφλησης (Annuity Factor), και διερευνάται η ευαισθησία του αποτελέσματος ως προς το επιτόκιο προεξόφλησης (3%, 5%, 7%) και την τιμή ηλεκτρικής ενέργειας (0,15 / 0,20 / 0,30 €/kWh).

Η Καθαρή Παρούσα Αξία υπολογίστηκε με χρήση συντελεστή προεξόφλησης (Annuity Factor) $AF = [1 - (1+r)^{-n}] / r$, όπου r το προεξοφλητικό επιτόκιο και n ο χρονικός ορίζοντας των 50 ετών, εφαρμόζομενου στις ετήσιες ταμειακές ροές ενέργειας και συντήρησης (Fuller & Petersen, 1996).

D. Ανάλυση Βιωσιμότητας Κύκλου Ζωής (LCSA)

Για την ολοκληρωμένη αποτίμηση της βιωσιμότητας εφαρμόστηκε η μεθοδολογία Life Cycle Sustainability Assessment (LCSA), η οποία συνδυάζει την περιβαλλοντική αξιολόγηση (DLCA), την οικονομική αξιολόγηση (LCC) και την κοινωνική αξιολόγηση (S-LCA) (Klöpffer, 2008; United Nations Environment Programme, 2011). Η κοινωνική διάσταση εκτιμήθηκε μέσω επτά ποιοτικών δεικτών, οι οποίοι βαθμολογήθηκαν σε κλίμακα 1–5, επιτρέποντας τη συγκριτική αξιολόγηση των δύο κατοικιών ως προς την ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος, τη θερμική άνεση, τη λειτουργικότητα και τη συνολική συμβολή τους στη βιωσιμότητα (Klöpffer, 2008).

Οι επτά κοινωνικοί δείκτες που αξιολογήθηκαν περιλαμβάνουν: θερμική άνεση, ποιότητα εσωτερικού αέρα, επάρκεια φυσικού φωτισμού, κίνδυνο ενεργειακής φτώχειας, ηχομόνωση, επίδραση στην υγεία και ευημερία των χρηστών, καθώς και προσαρμοστικότητα στην κλιματική αλλαγή.

E. Ανάλυση Ευαισθησίας

Τέλος, πραγματοποιήθηκε ανάλυση ευαισθησίας ως προς την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας, το προεξοφλητικό επιτόκιο και το σενάριο αποανθρακοποίησης του ενεργειακού μίγματος, με στόχο την αξιολόγηση της αξιοπιστίας και της σταθερότητας των αποτελεσμάτων της μελέτης.

Η επεξεργασία των δεδομένων και οι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν με χρήση υπολογιστικών φύλλων Microsoft Excel, ενώ η γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων βασίστηκε στα δεδομένα που προέκυψαν από την εφαρμογή της μεθοδολογίας.

III. ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας επέτρεψε τη συγκριτική αξιολόγηση της συμβατικής και της βιοκλιματικής κατοικίας ως προς την περιβαλλοντική, οικονομική και κοινωνική τους επίδοση. Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν ότι η βιοκλιματική κατοικία παρουσιάζει σαφή πλεονεκτήματα σε σχέση με

τη συμβατική, τόσο ως προς τη λειτουργική κατανάλωση ενέργειας όσο και ως προς τις συνολικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής.

Η ετήσια κατανάλωση ενέργειας της συμβατικής κατοικίας υπολογίστηκε σε 16.800 kWh, ενώ της βιοκλιματικής σε 10.200 kWh, γεγονός που αντιστοιχεί σε συνολική εξοικονόμηση ενέργειας 39,3% σε χρονικό ορίζοντα 50 ετών. Η εφαρμογή της Dynamic LCA ανέδειξε ότι η σταδιακή αποανθρακοποίηση του ελληνικού ενεργειακού μίγματος επηρεάζει σημαντικά τις λειτουργικές εκπομπές CO₂, οδηγώντας σε συνολική μείωση 83.820 kg CO₂ υπέρ της βιοκλιματικής κατοικίας.

Η ανάλυση επεκτάθηκε και σε εναλλακτικά σενάρια αποανθρακοποίησης του ενεργειακού μίγματος. Σε ένα «αργό» σενάριο, με βραδύτερη μείωση του συντελεστή εκπομπών (από 0,50 σε 0,25 kg CO₂/kWh), η συνολική εξοικονόμηση εκπομπών της βιοκλιματικής κατοικίας ανέρχεται σε περίπου 105.600 kg CO₂, ενώ σε ένα «γρήγορο» σενάριο ταχύτερης ενεργειακής μετάβασης (από 0,32 σε 0,06 kg CO₂/kWh) η αντίστοιχη εξοικονόμηση περιορίζεται σε περίπου 66.660 kg CO₂.

Το εύρημα αυτό καταδεικνύει ότι, όσο ταχύτερα αποανθρακοποιείται το εθνικό ενεργειακό μίγμα, τόσο μικρότερο γίνεται το σχετικό περιβαλλοντικό όφελος της βιοκλιματικής επιλογής, χωρίς ωστόσο αυτό να αναιρεί την υπεροχή της.

Η οικονομική αξιολόγηση έδειξε ότι, παρά το υψηλότερο αρχικό κόστος κατασκευής, η βιοκλιματική κατοικία παρουσιάζει χαμηλότερο ονομαστικό κόστος κύκλου ζωής, με συνολικό οικονομικό όφελος 45.000 € σε σχέση με τη συμβατική λύση. Παράλληλα, η ανάλυση Καθαρής Παρούσας Αξίας κατέδειξε ότι το οικονομικό αποτέλεσμα επηρεάζεται από το προεξοφλητικό επιτόκιο και τις παραδοχές της ανάλυσης, γεγονός που αναδεικνύει τη σημασία της διερεύνησης εναλλακτικών οικονομικών σεναρίων.

Η εφαρμογή της μεθοδολογίας LCSA κατέδειξε ότι η βιοκλιματική κατοικία υπερτερεί και στην κοινωνική διάσταση της βιωσιμότητας, επιτυγχάνοντας μέση βαθμολογία 4,4/5, έναντι 2,1/5 της συμβατικής κατοικίας. Η υψηλότερη αξιολόγηση αποδίδεται κυρίως στη βελτιωμένη θερμική άνεση, στην καλύτερη ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος και στη συνολικά αυξημένη ποιότητα διαβίωσης.

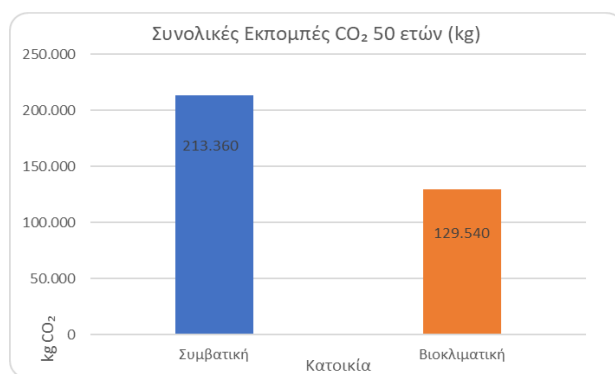
Αναλυτικότερα, η βιοκλιματική κατοικία υπερτερεί σε όλους τους επιμέρους κοινωνικούς δείκτες που εξετάστηκαν: θερμική άνεση (5/5 έναντι 2/5), ποιότητα εσωτερικού αέρα (4/5 έναντι 2/5), φυσικός φωτισμός (5/5 έναντι 2/5), κίνδυνος ενεργειακής φτώχειας (4/5 έναντι 2/5), ηχομόνωση (4/5 έναντι 3/5), υγεία και ευημερία χρηστών (5/5 έναντι 2/5) και προσαρμοστικότητα στην κλιματική αλλαγή (4/5 έναντι 2/5), αναδεικνύοντας τη συνολική συμβολή του βιοκλιματικού σχεδιασμού στην ποιότητα ζωής των ενοίκων.

Ο Πίνακας I συνοψίζει τα κύρια αποτελέσματα της συγκριτικής αξιολόγησης. Η βιοκλιματική κατοικία υπερτερεί σταθερά σε όλους τους περιβαλλοντικούς και κοινωνικούς δείκτες, καθώς και στο ονομαστικό κόστος κύκλου ζωής.

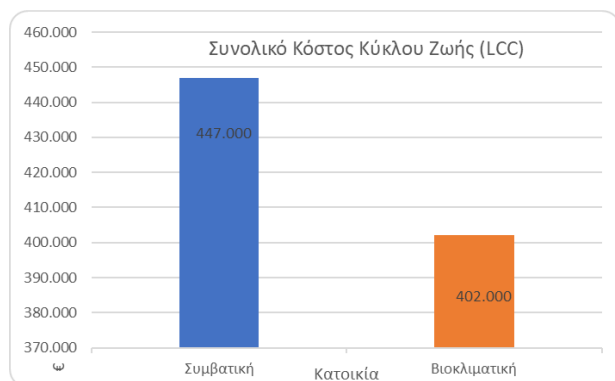
ΠΙΝΑΚΑΣ I
ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΔΥΟ ΚΑΤΟΙΚΙΩΝ

Δείκτης	Συμβατική	Βιοκλιματική
Ετήσια κατανάλωση ενέργειας (kWh)	16.800	10.200
Συνολική κατανάλωση 50 ετών (kWh)	840.000	510.000
Συνολικές εκπομπές CO ₂ (kg)	213.360	129.540
Συνολικό κόστος κύκλου ζωής (€)	447.000	402.000
Μέσος δείκτης S-LCA	2,1	4,4

Ως προς την ενεργειακή κατανάλωση, η βιοκλιματική κατοικία επιτυγχάνει μείωση 39,3% (Σχήμα 1), με αντίστοιχη μείωση 39,3% στις υπολογιζόμενες λειτουργικές εκπομπές CO₂.



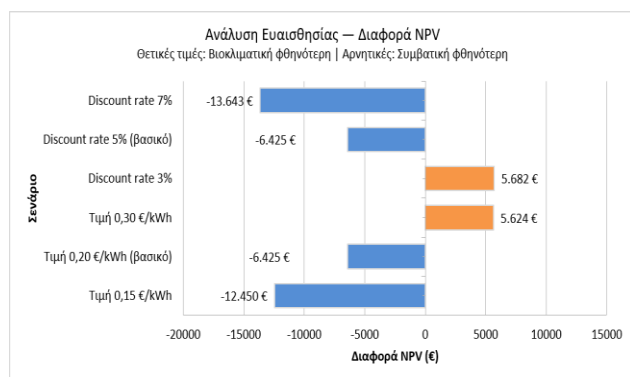
Σχήμα 1. Σύγκριση συνολικών λειτουργικών εκπομπών CO₂ συμβατικής και βιοκλιματικής κατοικίας.



Σχήμα 2. Σύγκριση συνολικού κόστους κύκλου ζωής (LCC) των δύο σεναρίων κατοικίας.

Η ανάλυση ευαισθησίας ανέδειξε ότι, ενώ η βιοκλιματική κατοικία υπερτερεί σταθερά σε περιβαλλοντικούς και κοινωνικούς δείκτες, το οικονομικό της πλεονέκτημα σε όρους Καθαρής Παρούσας Αξίας εξαρτάται κρίσιμα από το προεξοφλητικό επιτόκιο και την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας. Όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα II και στο Σχήμα 3, στο βασικό σενάριο (επιτόκιο 5%, τιμή ενέργειας 0,20 €/kWh) το οικονομικό αποτέλεσμα αντιστρέφεται οριακά υπέρ της συμβατικής κατοικίας κατά 6.425 €, ενώ σε χαμηλότερο επιτόκιο (3%) ή

υψηλότερη τιμή ενέργειας (0,30 €/kWh) το πλεονέκτημα επανέρχεται υπέρ της βιοκλιματικής λύσης.



Σχήμα 3. Διαφορά NPV ανά σενάριο ανάλυσης ευαισθησίας (Συμβατική – Βιοκλιματική).

Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι η εφαρμογή βιοκλιματικών στρατηγικών οδηγεί σε σημαντική μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης και των λειτουργικών εκπομπών CO₂, ενώ παράλληλα μειώνει το ονομαστικό συνολικό κόστος κύκλου ζωής, παρά το υψηλότερο αρχικό κόστος κατασκευής. Ωστόσο, η ανάλυση NPV καταδεικνύει ότι η οικονομική επίδοση εξαρτάται από το προεξοφλητικό επιτόκιο και την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας. Η συνδυαστική αξιολόγηση μέσω της Dynamic LCA και της LCSA αναδεικνύει τα περιβαλλοντικά και κοινωνικά πλεονεκτήματα της βιοκλιματικής κατοικίας, ενώ παράλληλα καταδεικνύει την ανάγκη συνεκτίμησης των οικονομικών παραδοχών κατά την αξιολόγηση της συνολικής βιωσιμότητας.

IV. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εφαρμογή της Δυναμικής Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (Dynamic LCA), της Ανάλυσης Κόστους Κύκλου Ζωής (LCC) και της Ανάλυσης Βιωσιμότητας Κύκλου Ζωής (LCSA) επέτρεψε την ολοκληρωμένη αξιολόγηση της περιβαλλοντικής, οικονομικής και κοινωνικής επίδοσης δύο διαφορετικών τύπων κατοικίας στην Ελλάδα.

Τα αποτελέσματα κατέδειξαν ότι η βιοκλιματική κατοικία παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα ως προς τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης, των λειτουργικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και του ονομαστικού συνολικού κόστους κύκλου ζωής, ενώ παράλληλα επιτυγχάνει υψηλότερη κοινωνική επίδοση σε σχέση με τη συμβατική κατοικία.

Ιδιαίτερη συμβολή της παρούσας εργασίας αποτελεί η ενσωμάτωση της χρονικής εξέλιξης του ελληνικού ενεργειακού μίγματος στην περιβαλλοντική αξιολόγηση, μέσω της εφαρμογής της Dynamic LCA, καθώς και η συνδυαστική αξιολόγηση των τριών διαστάσεων της βιωσιμότητας στο πλαίσιο της LCSA. Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει μια δυναμικά πιο ρεαλιστική και ολοκληρωμένη αποτίμηση της βιωσιμότητας των κτιρίων, καθώς λαμβάνει υπόψη τόσο τη χρονική μεταβολή περιβαλλοντικών παραμέτρων όσο και οικονομικές και κοινωνικές διαστάσεις (Beloin-Saint-Pierre et al., 2020; Klöpffer, 2008; Slavkovic & Stephan, 2025).

Τα ευρήματα της παρούσας εργασίας έχουν άμεση πρακτική αξία για τον ελληνικό κτιριακό τομέα, καθώς

παρέχουν ποσοτικά τεκμηριωμένα στοιχεία που μπορούν να υποστηρίξουν αποφάσεις σχεδιασμού, χρηματοδότησης και θεσμικής πολιτικής προς την κατεύθυνση της ενεργειακής αναβάθμισης του κτιριακού αποθέματος της χώρας.

Σημαντικό εύρημα της εργασίας αποτελεί η διαπίστωση ότι η οικονομική υπεροχή βιοκλιματικών λύσεων δεν είναι καθολική, αλλά εξαρτάται από τις παραδοχές προεξοφλήσεως και τιμής ενέργειας. Το εύρημα αυτό υπογραμμίζει την ανάγκη ρητής δημοσιοποίησης των οικονομικών παραδοχών σε συγκριτικές μελέτες κτιρίων, ώστε να αποφεύγονται απλουστευμένα συμπεράσματα που βασίζονται αποκλειστικά σε ονομαστικές, μη προεξοφλημένες συγκρίσεις κόστους.

Περιορισμό της παρούσας μελέτης αποτελεί η εξέταση ενός μόνο ζεύγους κατοικιών σε συγκεκριμένη κλιματική ζώνη, γεγονός που περιορίζει τη γενικευσιμότητα των αποτελεσμάτων. Επιπλέον, οι παραδοχές σχετικά με τη μελλοντική εξέλιξη της τιμής ενέργειας και του ενεργειακού μίγματος εισάγουν αβεβαιότητα στις μακροπρόθεσμες προβλέψεις.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η συγγραφέας ευχαριστεί την επιβλέπουσα καθηγήτρια κα. Μαρία Μπακατσάκη και τον συν-επιβλέποντα καθηγητή κ. Κωνσταντίνο Τσαγκαράκη για την καθοδήγηση κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Asdrubali, F., Fronzetti Colladon, A., Segneri, L., & Gandola, D. M. (2024). LCA and energy efficiency in buildings: Mapping more than twenty years of research. *Energy and Buildings*, 321. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114684>
- Beloin-Saint-Pierre, D., Albers, A., Hélias, A., Tiruta-Barna, L., Fantke, P., Levasseur, A., Benetto, E., Benoist, A., & Collet, P. (2020). Addressing temporal considerations in life cycle assessment. *Science of the Total Environment*, 743, 140700. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140700>
- Finnveden, G., Hauschild, M. Z., Ekvall, T., Guinee, J., Heijungs, R., Hellweg, S., & Suh, S. (2009). Recent developments in life cycle assessment. *Journal of Environmental Management*, 91(1), 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.06.018>
- Fuller, S. K., & Petersen, S. R. (1996). Life-cycle costing manual for the federal energy management program (NIST Handbook 135). National Institute of Standards and Technology. <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/HB/nbshandbook135.pdf>
- International Organization for Standardization. (2006a). ISO 14040: Environmental management—Life cycle assessment—Principles and framework. ISO.
- International Organization for Standardization. (2006b). ISO 14044: Environmental management—Life cycle assessment—Requirements and guidelines. ISO.
- Klöpffer, W. (2008). Life cycle sustainability assessment of products. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 13(2), 89–95. <https://doi.org/10.1065/lca2008.02.376>
- Slavkovic, K., & Stephan, A. (2025). Dynamic life cycle assessment of buildings and building stocks – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.115262>
- United Nations Environment Programme. (2011). Towards a life cycle sustainability assessment. <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/8021>