



Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας
Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών:
Διαχείριση Τεχνικών Έργων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Εργοταξιακές πρακτικές για βιώσιμη κατασκευή: Πράσινα
εργοτάξια - Μείωση περιβαλλοντικού αποτυπώματος**

Γεωργία Γ. Γκέκα

Επιβλέπων Καθηγητής: Μιχαήλ Α. Μαντάς

Πάτρα, Σεπτέμβριος 2026

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή («συγγραφέας/δημιουργός») που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.



Εργοταξιακές πρακτικές για βιώσιμη κατασκευή: Πράσινα εργοτάξια
- Μείωση περιβαλλοντικού αποτυπώματος

Γεωργία Γκέκα

Επιτροπή Επίβλεψης Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπων Καθηγητής:

Μιχαήλ Α. Μαντάς

Αναπληρωτής Καθηγητής

Πανεπιστήμιο Μακεδονίας

Συν-Επιβλέπουσα Καθηγήτρια

Κλεοπάτρα Πετρουτσάτου

Καθηγήτρια

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Πάτρα, Σεπτέμβριος 2026

Θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς τον επιβλέποντα καθηγητή μου

Μιχαήλ Μαντά

για την πολύτιμη βοήθεια που μου παρείχε

κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Η παρούσα διπλωματική αφιερώνεται στην οικογένεια μου.

Περίληψη

Η παρούσα διατριβή εξετάζει τις εργοταξιακές πρακτικές για βιώσιμη κατασκευή, με ιδιαίτερη έμφαση στα πράσινα εργοτάξια και τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος κατά τη φάση κατασκευής. Η μελέτη ανταποκρίνεται στην αυξανόμενη ανάγκη αντιμετώπισης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που δημιουργούνται άμεσα από τις δραστηριότητες στα εργοτάξια, συμπεριλαμβανομένων των εκπομπών άνθρακα, της κατανάλωσης ενέργειας και καυσίμων, των αποβλήτων κατασκευών, του ενσωματωμένου άνθρακα, της σκόνης, του θορύβου, της χρήσης νερού και της αναποτελεσματικής διαχείρισης πόρων.

Για τη διερεύνηση του ζητήματος υιοθετήθηκε συνδυαστική μεθοδολογική προσέγγιση δύο σταδίων. Αρχικά διενεργήθηκε Συστηματική Βιβλιογραφική Ανασκόπηση (SLR) 32 πρόσφατων επιστημονικών μελετών, σύμφωνα με τη λογική PRISMA, για την ταυτοποίηση, ανάλυση και σύνθεση της σύγχρονης βιβλιογραφίας σχετικά με τις πρακτικές πράσινης κατασκευής, τις εκπομπές της φάσης κατασκευής, τις στρατηγικές κυκλικής οικονομίας, τα ψηφιακά συστήματα παρακολούθησης, τα συστήματα περιβαλλοντικής διαχείρισης και τους δείκτες περιβαλλοντικής απόδοσης. Στη συνέχεια διεξήχθη πρωτογενής ποσοτική έρευνα με δομημένο ερωτηματολόγιο σε 81 επαγγελματίες του κατασκευαστικού κλάδου, ώστε να αποτυπωθούν οι αντιλήψεις και οι στάσεις τους απέναντι στις βιώσιμες πρακτικές.

Η ανασκόπηση έδειξε ότι τα πράσινα εργοτάξια απαιτούν μια ολοκληρωμένη προσέγγιση και όχι μεμονωμένα περιβαλλοντικά μέτρα, ενώ ανέδειξε τη μείωση των εκπομπών άνθρακα και την ψηφιακή παρακολούθηση ως τα κυρίαρχα ερευνητικά ρεύματα. Η εμπειρική έρευνα επιβεβαίωσε σε σημαντικό βαθμό τα ευρήματα της βιβλιογραφίας: οι επαγγελματίες αναγνωρίζουν εντόνως την αξία των πρακτικών περιβαλλοντικής διαχείρισης (όλες με μέσο όρο άνω του 4,0 στην πεντάβαθμη κλίμακα), με κορυφαίες την ασφαλή διαχείριση επικίνδυνων υλικών (M.O.=4,52) και τη διαχείριση αποβλήτων, ενώ ως σημαντικότερη περιβαλλοντική επίπτωση αναδείχθηκε η παραγωγή αποβλήτων (M.O.=4,46). Ως κυριότερα εμπόδια καταγράφηκαν, σχεδόν ισοδύναμα, το υψηλό κόστος (M.O.=4,12) και η ελλιπής νομοθεσία/έλεγχος (M.O.=4,14). Το πιο κρίσιμο εύρημα είναι ένα σαφές χάσμα μεταξύ της υφιστάμενης ενημέρωσης και διοικητικής στήριξης (M.O.≈ 3,6–3,7) και της ισχυρής ζήτησης για εκπαίδευση (M.O.= 4,42), αυστηρότερους ελέγχους και θεσμική υποστήριξη — εύρημα που ενισχύεται από το ότι ένας στους τρεις συμμετέχοντες (33,3%) αγνοεί αν εφαρμόζεται σύστημα περιβαλλοντικής διαχείρισης στην εταιρεία του. Η μετάβαση προς το «πράσινο

εργοτάξιο» φαίνεται έτσι να εξαρτάται λιγότερο από την πειθώ ως προς την αξία των μέτρων και περισσότερο από την άρση οικονομικών/θεσμικών εμποδίων και την ενίσχυση της εκπαίδευσης.

Λέξεις-κλειδιά: Πράσινα Εργοτάξια, Βιώσιμη Κατασκευή, Περιβαλλοντικό Αποτύπωμα, Συστηματική Βιβλιογραφική Ανασκόπηση, Εμπειρική Έρευνα, Πλαίσιο Αξιολόγησης Εργοταξίων.

Construction site practices for sustainable construction: Green construction sites - Reducing environmental footprint

Georgia Gkeka

Abstract

This dissertation examines construction-site practices for sustainable construction, with particular emphasis on green construction sites and the reduction of environmental footprint during the construction phase. The study responds to the growing need to address the environmental impacts generated directly by construction-site activities, including carbon emissions, energy and fuel consumption, construction waste, embodied carbon, dust, noise, water use, and inefficient resource management.

A two-stage mixed methodological approach was adopted. First, a Systematic Literature Review (SLR) of 32 recent peer-reviewed studies was conducted following the PRISMA logic, in order to identify, analyse, and synthesize current literature on green construction practices, construction-phase emissions, circular-economy strategies, digital monitoring systems, environmental management systems, and environmental performance indicators. Subsequently, primary quantitative research was carried out through a structured questionnaire administered to 81 construction-sector professionals, capturing their perceptions of and attitudes toward sustainable site practices.

The review showed that green construction sites require an integrated approach rather than isolated environmental measures, and identified carbon-emissions reduction and digital monitoring as the dominant research streams. The empirical study largely corroborated these findings: professionals strongly recognise the value of environmental-management practices (all rated above 4.0 on the five-point scale), led by the safe handling of hazardous materials ($M=4.52$) and waste management, while waste generation emerged as the most important perceived impact ($M=4.46$). The principal barriers were, almost equally, high implementation cost ($M=4.12$) and insufficient legislation/enforcement ($M=4.14$). The most critical finding is a clear gap between current information and managerial support ($M\approx 3.6-3.7$) and a strong demand for training ($M=4.42$), stricter controls, and institutional support — reinforced by the fact that one in three respondents (33.3%) is unaware whether an environmental management

system operates in their company. The transition toward the “green construction site” therefore appears to depend less on convincing professionals of the value of measures and more on removing economic and institutional barriers and strengthening education and awareness.

Keywords: Green Construction Sites, Sustainable Construction, Environmental Footprint, Systematic Literature Review, Construction-site Assessment Framework.

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη	5
Abstract	7
Κατάλογος Πινάκων	11
Κατάλογος Σχημάτων	12
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....	13
1.1 Ορισμός και Σημαντικότητα του Ζητήματος	13
1.2 Υφιστάμενη Έρευνα.....	14
1.3 Ερευνητικοί Στόχοι.....	18
1.4 Μεθοδολογικό Πλαίσιο της Εργασίας	18
1.5 Δομή Διπλωματικής Εργασίας.....	20
Κεφάλαιο 2: Θεωρητικό Πλαίσιο	22
2.1 Πράσινα Εργοτάξια	22
2.2 Βιώσιμη Ανάπτυξη και Κατασκευαστικός Τομέας.....	23
2.3 Κυκλική Οικονομία στα Εργοτάξια.....	26
2.4 Περιβαλλοντικό Αποτύπωμα του Εργοταξίου.....	29
2.5 Διεθνή Πρότυπα και Συστήματα Πιστοποίησης	32
2.6 Δείκτες Περιβαλλοντικής Απόδοσης (KPIs)	34
Κεφάλαιο 3: Συστηματική Βιβλιογραφική Ανασκόπηση.....	37
3.1 Εισαγωγή	37
3.2 Ερευνητικό Πρωτόκολλο	38
3.3 Βιβλιομετρική Ανάλυση	44
3.4 Θεματική Ανάλυση	48
Κεφάλαιο 4: Εμπειρική Έρευνα	59
4.1 Σκοπός και Αντικείμενο της Έρευνας	59
4.2 Ταυτότητα Έρευνας	61
4.2.1 Ερευνητικός Σχεδιασμός	61
4.2.2 Πληθυσμός, Δειγματοληψία και Μέγεθος Δείγματος.....	63
4.2.3 Προφίλ του Δείγματος.....	64
4.2.4 Μέθοδοι Στατιστικής Επεξεργασίας και Ζητήματα Εγκυρότητας.....	68
4.3 Περιγραφή Ερωτημάτων Ερωτηματολογίου.....	69
4.4 Ανάλυση Αποτελεσμάτων	71
4.4.1 Συμβολή Πρακτικών στην Περιβαλλοντική Διαχείριση	72
4.4.2 Σπουδαιότητα Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων	76

4.4.3 Εμπόδια Εφαρμογής Βιώσιμων Πρακτικών	77
4.4.4 Παράγοντες Περιβαλλοντικού Αποτυπώματος	78
4.4.5 Ευαισθητοποίηση και Μελλοντική Διαχείριση	79
4.5 Σύνθεση Ευρημάτων	81
Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα & Μελλοντικές Κατευθύνσεις Έρευνας.....	84
5.1 Βασικά Συμπεράσματα.....	84
5.2 Απαντήσεις στα Ερευνητικά Ερωτήματα	87
5.3 Μελλοντικές Κατευθύνσεις Έρευνας.....	89
Βιβλιογραφικές Αναφορές	93
Παράρτημα Α: Ερωτηματολόγιο Έρευνας	99

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1. Αντιπροσωπευτικοί δείκτες περιβαλλοντικής απόδοσης.....	35
Πίνακας 2. Ενδεικτικά Search Strings.....	40
Πίνακας 3. Κριτήρια Ένταξης / Αποκλεισμού.	41
Πίνακας 4. Πεδία Εξαγωγής Δεδομένων.....	43
Πίνακας 5. Δημογραφικά και επαγγελματικά χαρακτηριστικά του δείγματος ($N = 81$).	68
Πίνακας 6. Δομή του ερωτηματολογίου ανά θεματική ενότητα.	69
Πίνακας 7. Αντιστοίχιση βιβλιογραφίας με θεματικές ενότητες ερωτηματολογίου.....	62
Πίνακας 8. Κατανομή συχνοτήτων, μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις των πρακτικών.....	75
Πίνακας 9. Σπουδαιότητα περιβαλλοντικών επιπτώσεων.	76
Πίνακας 10. Σπουδαιότητα εμποδίων εφαρμογής.....	78
Πίνακας 11. Παράγοντες περιβαλλοντικού αποτυπώματος.....	79
Πίνακας 12. Ευαισθητοποίηση και μελλοντική διαχείριση.....	81

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1. Συνολικό μεθοδολογικό πλαίσιο εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.	20
Σχήμα 2. Διάγραμμα ροής PRISMA για τη διαδικασία ταυτοποίησης, ελέγχου, αξιολόγησης επιλεξιμότητας και τελικής επιλογής των άρθρων που συμπεριλήφθηκαν στη συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση.	42
Σχήμα 3. Διάγραμμα κατανομής των άρθρων που συμπεριλήφθηκαν στη συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση ανά έτος δημοσίευσης.	45
Σχήμα 4. Διάγραμμα κατανομής των δημοσιεύσεων ανά περιοδικό.	46
Σχήμα 5. Θεματική κατανομή του σώματος πηγών της συστηματικής ανασκόπησης (n = 32· πολλαπλή ένταξη).	48
Σχήμα 6. Θεματικό Πλαίσιο πράσινων εργοταξιακών πρακτικών για τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος.	49
Σχήμα 7. Κατανομή του δείγματος κατά θέση εργασίας (N = 81).	65
Σχήμα 8. Κατανομή του δείγματος κατά εύρος επαγγελματικής εμπειρίας (N = 81).	65
Σχήμα 9. Κατανομή του δείγματος κατά είδος έργου (N = 81).	66
Σχήμα 10. Ύπαρξη Συστήματος Περιβαλλοντικής Διαχείρισης (π.χ. ISO 14001) στην εταιρεία. ...	67
Σχήμα 11. Συγκριτική επισκόπηση μέσων όρων ανά θεματικό άξονα (κλίμακα 1–5).	72
Σχήμα 12. Κατανομή απαντήσεων για τη συμβολή των δεκαπέντε πρακτικών (% επί N = 81).	73
Σχήμα 13. Ιεράρχηση των δεκαπέντε πρακτικών κατά μέσο όρο συμφωνίας (ράβδοι σφάλματος: τυπική απόκλιση).	74
Σχήμα 14. Κατανομή απαντήσεων για τη σπουδαιότητα των περιβαλλοντικών επιπτώσεων (% επί N = 81).	76
Σχήμα 15. Κατανομή απαντήσεων για τη σπουδαιότητα των εμποδίων (% επί N = 81).	77
Σχήμα 16. Κατανομή απαντήσεων για τους παράγοντες περιβαλλοντικού αποτυπώματος (% επί N = 81).	79
Σχήμα 17. Κατανομή απαντήσεων για την ευαισθητοποίηση και τη μελλοντική διαχείριση (% επί N = 81).	80
Σχήμα 18. Παρόν vs μελλοντική ζήτηση ευαισθητοποίησης, ανά γνώση ύπαρξης ΣΠΔ (ISO 14001).	82

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Ορισμός και Σημαντικότητα του Ζητήματος

Τα εργοτάξια αντιπροσωπεύουν σύνθετα περιβάλλοντα όπου λαμβάνουν χώρα ταυτόχρονα πολλές δραστηριότητες, που συχνά περιλαμβάνουν βαρύ εξοπλισμό, χειρισμό υλικών, προσωρινές κατασκευές και ένα ευρύ φάσμα εργαζομένων και διαφόρων ειδικοτήτων μηχανικών και συναφών επαγγελμάτων. Αυτές οι δραστηριότητες μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, όπως ατμοσφαιρική ρύπανση, εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, ηχορύπανση, παραγωγή σκόνης και μεγάλες ποσότητες αποβλήτων.

Μία από τις σημαντικότερες περιβαλλοντικές ανησυχίες που σχετίζονται με τα εργοτάξια είναι οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) που παράγονται από την κατανάλωση καυσίμων από τα μηχανήματα κατασκευών και τα οχήματα μεταφοράς. Ισχύει πως ο κατασκευαστικός τομέας αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες περιβαλλοντικής επιβάρυνσης παγκοσμίως, καθώς ευθύνεται για περίπου το 37% των παγκόσμιων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα που σχετίζονται με την ενέργεια και τις κατασκευές. Ο βαρύς εξοπλισμός, όπως οι εκσκαφείς, οι γερανοί, οι προωθητές και οι φορτωτές, συνήθως λειτουργεί με κινητήρες ντίζελ, οι οποίοι συμβάλλουν σημαντικά στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και στην τοπική ατμοσφαιρική ρύπανση. Μελέτες δείχνουν ότι η παρακολούθηση και η διαχείριση των εκπομπών από τον εξοπλισμό κατασκευών μπορεί να διαδραματίσει κρίσιμο ρόλο στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των κατασκευαστικών έργων (Fan et al., 2025).

Μια άλλη σημαντική περιβαλλοντική πρόκληση είναι τα απόβλητα που παράγονται στα εργοτάξια, τα οποία αντιπροσωπεύουν ένα μεγάλο ποσοστό των συνολικών στερεών αποβλήτων που παράγονται παγκοσμίως. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, τα κατασκευαστικά και κατεδαφιστικά απόβλητα αποτελούν περίπου το 35% του συνολικού όγκου αποβλήτων. Στα εργοτάξια χρησιμοποιούνται περίπου το 50% των παγκόσμιων πρώτων υλών, γεγονός που ενισχύει την ανάγκη εφαρμογής πρακτικών κυκλικής οικονομίας και βιώσιμης διαχείρισης πόρων. Η αναποτελεσματική διαχείριση υλικών, οι ακατάλληλες πρακτικές διάθεσης και η έλλειψη στρατηγικών ανακύκλωσης μπορούν να οδηγήσουν σε σημαντικές περιβαλλοντικές και οικονομικές απώλειες. Οι αποτελεσματικές πρακτικές διαχείρισης αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένων των προσεγγίσεων ανακύκλωσης και κυκλικής οικονομίας, μπορούν να μειώσουν σημαντικά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και να βελτιώσουν την αποδοτικότητα των πόρων στα έργα (Balasbaneh et al., 2025).

Η ηχορύπανση και οι εκπομπές σκόνης αντιπροσωπεύουν επίσης κρίσιμα περιβαλλοντικά και επαγγελματικά ζητήματα υγείας σε εργοταξιακά περιβάλλοντα. Οι δραστηριότητες στο πεδίο συχνά παράγουν υψηλά επίπεδα θορύβου και σωματιδίων που μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά τόσο τους εργαζόμενους όσο και τις όμορες κοινότητες. Η βιβλιογραφία υπογραμμίζει τη σημασία των συστημάτων παρακολούθησης και των στρατηγικών περιβαλλοντικής διαχείρισης για τον μετριασμό αυτών των επιπτώσεων και τη βελτίωση των συνθηκών εργασίας στα εργοτάξια (Huang et al., 2025; Kim et al., 2025).

Επιπλέον, τα εργοτάξια μπορούν να συμβάλουν στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος μέσω διατάραξης του εδάφους, μόλυνσης των υδάτων και αναποτελεσματικής χρήσης υλικών και πόρων. Ως αποτέλεσμα, υπάρχει αυξανόμενη ανάγκη για ολοκληρωμένες στρατηγικές περιβαλλοντικής διαχείρισης που να αντιμετωπίζουν ταυτόχρονα πολλαπλές διαστάσεις της περιβαλλοντικής απόδοσης.

Παρά την αυξανόμενη ευαισθητοποίηση σχετικά με αυτά τα ζητήματα, σε πολλά κατασκευαστικά έργα εξακολουθούν να κωλύεται η εφαρμογή αποτελεσματικών πρακτικών βιωσιμότητας λόγω διαφόρων εμποδίων, όπως η περιορισμένη γνώση, η έλλειψη τυποποιημένων μετρήσεων και οι οργανωτικοί περιορισμοί. Ως αποτέλεσμα, υπάρχει ανάγκη για συστηματικές προσεγγίσεις που να εντοπίζουν βέλτιστες πρακτικές και να παρέχουν τεκμηριωμένη καθοδήγηση για τη βελτίωση της περιβαλλοντικής απόδοσης στις κατασκευαστικές δραστηριότητες.

Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στις εργοταξιακές πρακτικές βιώσιμης κατασκευής και στις μεθόδους μείωσης του περιβαλλοντικού αποτυπώματος κατά τη φάση εκτέλεσης των έργων. Δεν εξετάζονται ζητήματα αρχιτεκτονικού σχεδιασμού «πράσινων κτιρίων», δεν γίνονται στατικοί υπολογισμοί κατασκευών ή λειτουργική ανάλυση των κατασκευών. Επιπλέον, δεν πραγματεύεται την τεχνική ανάλυση μηχανολογικού εξοπλισμού σε βάθος ούτε τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις άλλων βιομηχανικών δραστηριοτήτων εκτός εργοταξιακού περιβάλλοντος.

1.2 Υφιστάμενη Έρευνα

Τις τελευταίες δεκαετίες, η βιώσιμη ανάπτυξη έχει αναδειχθεί ως κεντρική προτεραιότητα στην παγκόσμια οικονομική και περιβαλλοντική πολιτική. Η έννοια της βιωσιμότητας περιλαμβάνει την εξισορρόπηση της προστασίας του περιβάλλοντος, της οικονομικής ανάπτυξης και της κοινωνικής ευημερίας, προκειμένου να διασφαλιστεί ότι οι τρέχουσες

ανάγκες καλύπτονται χωρίς να διακυβεύεται η ικανότητα των μελλοντικών γενεών να καλύψουν τις δικές τους ανάγκες. Μεταξύ των τομέων που συνδέονται στενότερα με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι ο κατασκευαστικός κλάδος, ο οποίος ευθύνεται για ένα σημαντικό μερίδιο της παγκόσμιας κατανάλωσης πόρων, της παραγωγής αποβλήτων και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Ο κατασκευαστικός τομέας είναι ένας από τους μεγαλύτερους καταναλωτές πρώτων υλών και ενέργειας παγκοσμίως, αντιπροσωπεύοντας σημαντικές περιβαλλοντικές πιέσεις καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής των κτιρίων και των έργων υποδομής. Αυτές οι επιπτώσεις περιλαμβάνουν την εξόρυξη φυσικών πόρων, την παραγωγή δομικών υλικών, τη λειτουργία του κατασκευαστικού εξοπλισμού και την παραγωγή αποβλήτων κατασκευών και κατεδαφίσεων. Η έρευνα δείχνει ότι οι κατασκευαστικές δραστηριότητες συμβάλλουν σημαντικά στις παγκόσμιες εκπομπές άνθρακα και στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος, υπογραμμίζοντας την ανάγκη για πιο βιώσιμες πρακτικές σε ολόκληρο τον τομέα (Wang et al., 2024).

Παρόλο που παραδοσιακά έχει δοθεί μεγάλη προσοχή στη βελτίωση της βιωσιμότητας των φάσεων σχεδιασμού και λειτουργίας των κτιρίων, η ίδια η φάση κατασκευής αναγνωρίζεται ολοένα και περισσότερο ως ένα κρίσιμο στάδιο στην περιβαλλοντική απόδοση των έργων. Οι δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα στα εργοτάξια - όπως η μεταφορά υλικών, η λειτουργία βαρέων μηχανημάτων, οι προσωρινές υποδομές και η διαχείριση αποβλήτων - μπορούν να συμβάλουν σημαντικά στην κατανάλωση ενέργειας, τις εκπομπές και την περιβαλλοντική ρύπανση (Geng et al., 2026). Κατά συνέπεια, η βελτίωση της βιωσιμότητας κατά τη φάση κατασκευής αποτελεί μια βασική ευκαιρία για τη μείωση του συνολικού περιβαλλοντικού αποτυπώματος του δομημένου περιβάλλοντος.

Σε απάντηση στις προκλήσεις αυτές, η έννοια της πράσινης κατασκευής έχει αποκτήσει σημαντική θέση τόσο στην ακαδημαϊκή έρευνα όσο και στην πρακτική του κλάδου. Η πράσινη κατασκευή αναφέρεται στην εφαρμογή περιβαλλοντικά υπεύθυνων πρακτικών και τεχνολογιών κατά τη διάρκεια της διαδικασίας κατασκευής, προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, διατηρώντας παράλληλα την αποτελεσματικότητα και την παραγωγικότητα του έργου. Τέτοιες πρακτικές περιλαμβάνουν ενεργειακά αποδοτικό εξοπλισμό, στρατηγικές μείωσης των αποβλήτων, βελτιωμένη διαχείριση υλικών και τη χρήση

ψηφιακών τεχνολογιών για την παρακολούθηση της περιβαλλοντικής απόδοσης (Gu et al., 2023).

Η αυξανόμενη έμφαση στη βιωσιμότητα έχει επίσης υποστηριχθεί από διεθνείς περιβαλλοντικές πολιτικές και κανονιστικά πλαίσια που στοχεύουν στη μείωση των εκπομπών άνθρακα και στην προώθηση της βιώσιμης ανάπτυξης υποδομών. Οι κυβερνήσεις, οι διεθνείς οργανισμοί και οι ενδιαφερόμενοι φορείς του κλάδου απαιτούν ολοένα και περισσότερο τα κατασκευαστικά έργα να συμμορφώνονται με τα περιβαλλοντικά πρότυπα και τις οδηγίες βιωσιμότητας, αναδεικνύοντας τη σημασία περιβαλλοντικά υπεύθυνων κατασκευαστικών πρακτικών.

Η έννοια των πρακτικών πράσινης κατασκευής αναφέρεται στην υιοθέτηση στρατηγικών, τεχνολογιών και προσεγγίσεων διαχείρισης που στοχεύουν στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των κατασκευαστικών διαδικασιών. Αυτές οι πρακτικές περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα μέτρων, όπως ενεργειακά αποδοτικά μέσα και εξοπλισμό, ελαχιστοποίηση αποβλήτων, βιώσιμη προμήθεια υλικών και βελτιωμένα συστήματα περιβαλλοντικής παρακολούθησης.

Ένας σημαντικός τομέας καινοτομίας περιλαμβάνει τη χρήση ψηφιακών τεχνολογιών για την ενίσχυση της περιβαλλοντικής παρακολούθησης και τη λήψη αποφάσεων κατά τη διάρκεια κατασκευαστικών έργων. Τεχνολογίες όπως η Μοντελοποίηση Πληροφοριών Κτιρίου (BIM), οι αισθητήρες του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) και τα συστήματα παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο επιτρέπουν στους διαχειριστές έργων να παρακολουθούν περιβαλλοντικούς δείκτες όπως οι εκπομπές άνθρακα, η κατανάλωση καυσίμων και η χρήση υλικών. Αυτές οι τεχνολογίες μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά την ικανότητα των ομάδων κατασκευής να εντοπίζουν αναποτελεσματικότητες και να εφαρμόζουν διορθωτικές ενέργειες (Li et al., 2025).

Εκτός από τις ψηφιακές τεχνολογίες, τα συστήματα περιβαλλοντικής διαχείρισης (EMS) διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην προώθηση βιώσιμων κατασκευαστικών πρακτικών. Διεθνή πρότυπα όπως το ISO 14001 παρέχουν πλαίσια για τη διαχείριση των περιβαλλοντικών ευθυνών και τη βελτίωση της περιβαλλοντικής απόδοσης σε επίπεδο οργανισμών και έργων. Η εφαρμογή τέτοιων συστημάτων σε εργοτάξια έχει τεκμηριωθεί ότι ενισχύει την περιβαλλοντική ευαισθητοποίηση, βελτιώνει τις πρακτικές διαχείρισης αποβλήτων και υποστηρίζει τη συμμόρφωση με τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς (Bakkass et al., 2025).

Μια άλλη σημαντική στρατηγική περιλαμβάνει την υιοθέτηση αρχών κυκλικής οικονομίας στα κατασκευαστικά έργα. Οι κυκλικές προσεγγίσεις δίνουν έμφαση στην αποδοτικότητα των

πόρων, τη μείωση των αποβλήτων και την επαναχρησιμοποίηση υλικών, προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής των κατασκευαστικών έργων. Αυτές οι πρακτικές περιλαμβάνουν την ανακύκλωση των κατασκευαστικών αποβλήτων, την επαναχρησιμοποίηση υλικών και τη βελτιστοποίηση της διαχείρισης των πόρων κατά τη φάση κατασκευής (Moustafa et al., 2025).

Επιπλέον, οι δείκτες περιβαλλοντικής απόδοσης (EPIs) και οι βασικοί δείκτες απόδοσης (KPIs) χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο για την αξιολόγηση και την παρακολούθηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των κατασκευαστικών δραστηριοτήτων. Αυτοί οι δείκτες επιτρέπουν στους διαχειριστές έργων και στους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής να αξιολογούν την περιβαλλοντική απόδοση και να εντοπίζουν ευκαιρίες βελτίωσης. Η ανάπτυξη τυποποιημένων περιβαλλοντικών δεικτών για τον κατασκευαστικό κλάδο είναι επομένως απαραίτητη για την υποστήριξη βιώσιμων κατασκευαστικών πρακτικών και τη βελτίωση της απόδοσης του έργου (Mrak et al., 2025).

Παρά τις εξελίξεις αυτές, η εφαρμογή πρακτικών πράσινης κατασκευής παραμένει άνιση μεταξύ διαφορετικών περιοχών και τύπων έργων. Πολλά κατασκευαστικά έργα εξακολουθούν να αντιμετωπίζουν προκλήσεις στην υιοθέτηση βιώσιμων πρακτικών λόγω οικονομικών περιορισμών, τεχνολογικών περιορισμών και έλλειψης ευαισθητοποίησης μεταξύ των ενδιαφερόμενων μερών.

Παρόλο που η βιβλιογραφία για τις βιώσιμες κατασκευές έχει επεκταθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια, πολλές υπάρχουσες μελέτες επικεντρώνονται κυρίως σε μεμονωμένες πτυχές της βιωσιμότητας, όπως η ενεργειακή απόδοση, η διαχείριση αποβλήτων ή η επιλογή υλικών. Ως αποτέλεσμα, το υπάρχον σύνολο γνώσεων συχνά παραμένει κατακερματισμένο, με περιορισμένη ενσωμάτωση διαφορετικών περιβαλλοντικών διαστάσεων στο πλαίσιο των εργασιών των εργοταξίων.

Επιπλέον, προηγούμενες έρευνες έχουν συχνά εξετάσει τη βιωσιμότητα σε επίπεδο κτιρίου ή έργου χωρίς να εστιάζουν συγκεκριμένα στη λειτουργική διάσταση των εργοταξίων. Ωστόσο, τα εργοτάξια αντιπροσωπεύουν ένα κρίσιμο στάδιο στον κύκλο ζωής του έργου όπου συμβαίνουν ταυτόχρονα πολλές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Επομένως, η ολοκληρωμένη κατανόηση των πρακτικών βιώσιμης διαχείρισης εργοταξίων είναι απαραίτητη για τη βελτίωση της περιβαλλοντικής απόδοσης των κατασκευαστικών έργων.

Για να αντιμετωπιστεί αυτό το κενό, απαιτείται συστηματική σύνθεση της υπάρχουσας έρευνας, προκειμένου να εντοπιστούν οι βασικές περιβαλλοντικές προκλήσεις, οι αποτελεσματικές πρακτικές πράσινης κατασκευής και οι αναδυόμενες τεχνολογικές λύσεις που μπορούν να υποστηρίξουν τη βιώσιμη διαχείριση εργοταξίων.

1.3 Ερευνητικοί Στόχοι

Ο κύριος στόχος της παρούσας έρευνας είναι η συστηματική ανασκόπηση και ανάλυση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας σχετικά με τις βιώσιμες πρακτικές εργοταξίων, προκειμένου να εντοπιστούν στρατηγικές που συμβάλλουν στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων κατά τη φάση κατασκευής.

Πιο συγκεκριμένα, η μελέτη στοχεύει στα εξής:

- Να εντοπίσει τις κύριες πηγές περιβαλλοντικών επιπτώσεων που σχετίζονται με τις δραστηριότητες εργοταξίων.
- Να εξετάσει τις πρακτικές πράσινης κατασκευής που εφαρμόζονται σήμερα για τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος.
- Να αναλύσει τους δείκτες περιβαλλοντικής απόδοσης που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της βιωσιμότητας των εργοταξίων.
- Να εντοπίσει τεχνολογικές καινοτομίες και προσεγγίσεις διαχείρισης που υποστηρίζουν τις βιώσιμες πρακτικές κατασκευής.

1.4 Μεθοδολογικό Πλαίσιο της Εργασίας

Η εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας ακολούθησε ένα δομημένο μεθοδολογικό πλαίσιο πέντε διαδοχικών φάσεων, το οποίο εκτείνεται από τον αρχικό ορισμό του ερευνητικού προβλήματος έως τη συνδυαστική σύνθεση των ευρημάτων και τη διατύπωση συμπερασμάτων. Το πλαίσιο αυτό συνδυάζει δύο συμπληρωματικές ερευνητικές προσεγγίσεις: μια Συστηματική Βιβλιογραφική Ανασκόπηση (SLR) για τη χαρτογράφηση της υφιστάμενης γνώσης και μια πρωτογενή ποσοτική (εμπειρική) έρευνα για τον έλεγχο και τον εμπλουτισμό αυτής της γνώσης με δεδομένα από το πεδίο. Η συνολική ροή απεικονίζεται στο Σχήμα 1.

Φάση Α — Ορισμός προβλήματος και σχεδιασμός. Αρχικά οριοθετήθηκε το ερευνητικό πρόβλημα και τεκμηριώθηκε η σημαντικότητά του (ενότητες 1.1–1.2), με βάση τη διαπίστωση ότι η φάση κατασκευής αποτελεί ένα κρίσιμο αλλά υπο-μελετημένο στάδιο του κύκλου ζωής

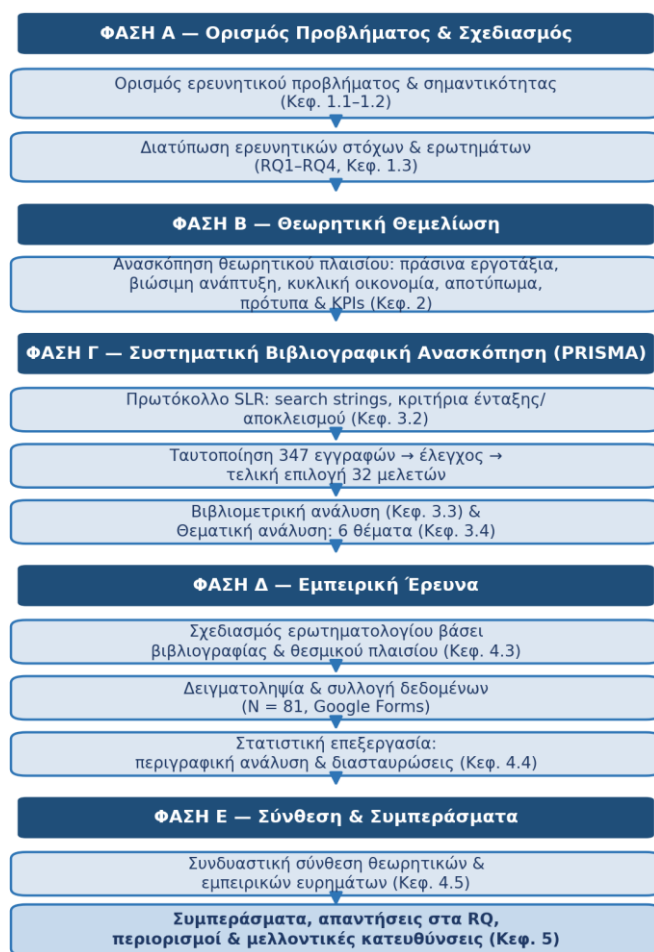
ενός έργου ως προς τις περιβαλλοντικές του επιδόσεις. Στη συνέχεια διατυπώθηκαν οι ερευνητικοί στόχοι και τα τέσσερα ερευνητικά ερωτήματα (RQ1–RQ5, ενότητα 1.3), τα οποία καθοδήγησαν όλα τα επόμενα στάδια.

Φάση Β — Θεωρητική θεμελίωση. Πραγματοποιήθηκε ανασκόπηση του θεωρητικού πλαισίου (Κεφάλαιο 2), που καλύπτει τις έννοιες των πράσινων εργοταξίων, της βιώσιμης ανάπτυξης στον κατασκευαστικό τομέα, της κυκλικής οικονομίας, του περιβαλλοντικού αποτυπώματος, καθώς και των διεθνών προτύπων/συστημάτων πιστοποίησης και των δεικτών περιβαλλοντικής απόδοσης. Η φάση αυτή παρείχε το εννοιολογικό υπόβαθρο τόσο για τη σχεδίαση του πρωτοκόλλου του SLR όσο και για τη διαμόρφωση των ερωτημάτων της εμπειρικής έρευνας.

Φάση Γ — Συστηματική Βιβλιογραφική Ανασκόπηση. Καταρτίστηκε πρωτόκολλο SLR με καθορισμό συμβολοσειρών αναζήτησης (search strings) και κριτηρίων ένταξης/αποκλεισμού (ενότητα 3.2). Η αναζήτηση σε Scopus, Web of Science και Google Scholar εντόπισε 347 εγγραφές, οι οποίες, μετά την αφαίρεση διπλοτύπων και τον σταδιακό έλεγχο κατά τη λογική PRISMA, κατέληξαν σε 32 μελέτες. Ακολούθησε βιβλιομετρική ανάλυση (ενότητα 3.3) και θεματική ανάλυση που ανέδειξε έξι βασικές θεματικές ενότητες (ενότητα 3.4).

Φάση Δ — Εμπειρική έρευνα. Με βάση τα ευρήματα της βιβλιογραφίας και το θεσμικό πλαίσιο (ISO 14001:2015), σχεδιάστηκε δομημένο ερωτηματολόγιο (ενότητα 4.3). Ακολούθησε μη πιθανοτική δειγματοληψία και ηλεκτρονική συλλογή 81 έγκυρων απαντήσεων μέσω Google Forms (ενότητα 4.2), και εν συνεχεία περιγραφική στατιστική επεξεργασία και διασταυρώσεις (ενότητα 4.4).

Φάση Ε — Σύνθεση και συμπεράσματα. Τέλος, τα θεωρητικά και τα εμπειρικά ευρήματα συντέθηκαν συνδυαστικά (ενότητα 4.5) και οδήγησαν στη διατύπωση συμπερασμάτων, στην απάντηση των ερευνητικών ερωτημάτων, στην αναγνώριση των περιορισμών της έρευνας και στην πρόταση μελλοντικών ερευνητικών κατευθύνσεων (Κεφάλαιο 5).



Σχήμα 1. Συνολικό μεθοδολογικό πλαίσιο εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

1.5 Δομή Διπλωματικής Εργασίας

Η διπλωματική εργασία οργανώνεται ως εξής. Το Κεφάλαιο 1 εισαγάγει τον αναγνώστη ομαλά στην προβληματική του υπό μελέτη θέματος της διπλωματικής εργασίας. Το Κεφάλαιο 2 παρουσιάζει το θεωρητικό υπόβαθρο που σχετίζεται με τη βιώσιμη κατασκευή, τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των κατασκευαστικών δραστηριοτήτων και τα υπάρχοντα πλαίσια για πρακτικές πράσινης κατασκευής. Το Κεφάλαιο 3 περιγράφει τη μεθοδολογία έρευνας που χρησιμοποιήθηκε στη μελέτη, συμπεριλαμβανομένης της συστηματικής προσέγγισης ανασκόπησης της βιβλιογραφίας, της στρατηγικής αναζήτησης και των διαδικασιών ανάλυσης δεδομένων. Το Κεφάλαιο 4 παρουσιάζει τα αποτελέσματα της συστηματικής ανασκόπησης της βιβλιογραφίας, επισημαίνοντας βασικά θέματα και ευρήματα από τις επιλεγμένες μελέτες. Το

Κεφάλαιο 5 συζητά τις επιπτώσεις των ευρημάτων, εντοπίζει ερευνητικά κενά και προτείνει μελλοντικές ερευνητικές κατευθύνσεις. Τέλος, το Κεφάλαιο 6 συνοψίζει τα κύρια συμπεράσματα της μελέτης και σκιαγραφεί συστάσεις για ερευνητές και επαγγελματίες στον τομέα της βιώσιμης κατασκευής.

Κεφάλαιο 2: Θεωρητικό Πλαίσιο

2.1 Πράσινα Εργοτάξια

Η έννοια του πράσινου εργοταξίου έχει αναδειχθεί ως εργοταξιακή εξειδίκευση των αρχών της βιώσιμης κατασκευής. Ένα πράσινο εργοτάξιο δεν είναι απλώς ένα συμβατικό εργοτάξιο στο οποίο έχουν προστεθεί ορισμένοι περιβαλλοντικοί έλεγχοι, αλλά συνιστά ένα συστηματικά οργανωμένο και διαχειριζόμενο περιβάλλον κατασκευής, στο οποίο η χρήση πόρων, οι εκπομπές, τα απόβλητα, η ρύπανση και οι οικολογικές διαταραχές ελαχιστοποιούνται προληπτικά μέσω πρακτικών σχεδιασμού, τεχνολογίας και διαχείρισης.

Τα πράσινα εργοτάξια συνήθως ενσωματώνουν πρακτικές όπως εξοπλισμό χαμηλών εκπομπών, βελτιστοποιημένη εφοδιαστική αλυσίδα, ενεργειακά αποδοτικές προσωρινές εγκαταστάσεις, διαχωρισμό και ανακύκλωση αποβλήτων, έλεγχο σκόνης και θορύβου, μέτρα εξοικονόμησης νερού, περιβαλλοντικά υπεύθυνες πρακτικές προμηθειών, περιβαλλοντική εκπαίδευση των εργαζομένων και συστήματα παρακολούθησης της απόδοσης. Οι πρακτικές αυτές στοχεύουν στη μείωση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης των κατασκευαστικών δραστηριοτήτων, διατηρώντας παράλληλα την παραγωγικότητα, την ασφάλεια και την οικονομική αποδοτικότητα.

Οι Gu et al. (2023) αναγνωρίζουν την ικανότητα πράσινης κατασκευής του κατασκευαστή ως βασικό παράγοντα για την επίδοση βιωσιμότητας σε επίπεδο εργοταξίου. Η ικανότητα αυτή περιλαμβάνει την περιβαλλοντική ευαισθητοποίηση, την τεχνική επάρκεια, τα συστήματα διαχείρισης, τον συντονισμό των ενδιαφερόμενων μερών και την ικανότητα καινοτομίας. Με άλλα λόγια, ένα πράσινο εργοτάξιο δεν επιτυγχάνεται αποκλειστικά μέσω εξοπλισμού ή τεχνολογιών, αλλά μέσω της οργανωτικής ικανότητας ενσωμάτωσης των περιβαλλοντικών προτεραιοτήτων στις καθημερινές λειτουργίες.

Η ψηφιοποίηση καθίσταται ολοένα και πιο κεντρική σε αυτή τη μετάβαση. Οι Geng et al. (2026) δείχνουν ότι οι ψηφιακές τεχνολογίες μπορούν να βελτιώσουν τα αποτελέσματα μείωσης του άνθρακα μέσω παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο, προγνωστικής ανάλυσης και βελτιωμένου συντονισμού. Οι Bai et al. (2025) και Guo et al. (2026) καταδεικνύουν ομοίως πως τα συστήματα που είναι υπεύθυνα για την συλλογή δεδομένων μπορούν να υποστηρίξουν τη διαχείριση του άνθρακα κατά τη φάση κατασκευής. Τα ευρήματα αυτά υποδηλώνουν ότι το σύγχρονο πράσινο εργοτάξιο μετατρέπεται σε ένα περιβάλλον που παρακολουθείται και βασίζεται σε δεδομένα, και όχι σε ένα περιβάλλον που διέπεται μόνο από στατικές διαδικασίες.

Οι παράμετροι περιβαλλοντικής και επαγγελματικής υγείας αποτελούν επίσης αναπόσπαστο μέρος της έννοιας του πράσινου εργοταξίου. Οι Huang et al. (2025) εξετάζουν στρατηγικές διαχείρισης του θορύβου στις κατασκευές και δείχνουν ότι η βιώσιμη διαχείριση του εργοταξίου πρέπει να λαμβάνει υπόψη τόσο τις περιβαλλοντικές όσο και τις επαγγελματικές διαστάσεις. Οι Kim et al. (2025) δείχνουν περαιτέρω πώς τα ανθρωποκεντρικά συστήματα συναγερμού για τη σκόνη μπορούν να προστατεύσουν τους εργαζομένους, συμβάλλοντας παράλληλα στον ευρύτερο περιβαλλοντικό έλεγχο. Επομένως, τα πράσινα εργοτάξια πρέπει να νοούνται ως χώροι όπου η περιβαλλοντική απόδοση και η ευημερία των εργαζομένων διασταυρώνονται.

Ένα ακόμη καθοριστικό χαρακτηριστικό των πράσινων εργοταξίων είναι η χρήση δομημένων συστημάτων περιβαλλοντικής διαχείρισης. Οι Bakkass et al. (2025) δείχνουν πώς η εφαρμογή του ISO 14001 σε ένα εργοτάξιο μπορεί να ενισχύσει την περιβαλλοντική ευθύνη, τον λειτουργικό έλεγχο και την κανονιστική ευθυγράμμιση. Αυτό ενισχύει την άποψη ότι τα πράσινα εργοτάξια απαιτούν επίσημους μηχανισμούς διαχείρισης και όχι μόνο καλές προθέσεις ή μεμονωμένες πρακτικές.

Σε ευρύτερο επίπεδο, τα πράσινα εργοτάξια ενσωματώνουν μια προληπτική και όχι αντιδραστική προσέγγιση στη διαχείριση του περιβάλλοντος. Αντί να αντιμετωπίζουν τα απόβλητα, τις εκπομπές και τη ρύπανση εκ των υστέρων, η διαχείριση των πράσινων εργοταξίων επιδιώκει να προβλέψει και να μειώσει αυτές τις επιπτώσεις μέσω καλύτερου προγραμματισμού, οργάνωσης του εργοταξίου και λειτουργικού ελέγχου. Η προληπτική αυτή λογική είναι απολύτως συμβατή με τους στόχους της βιώσιμης κατασκευής και σχετίζεται άμεσα με την παρούσα διπλωματική εργασία.

2.2 Βιώσιμη Ανάπτυξη και Κατασκευαστικός Τομέας

Η βιώσιμη ανάπτυξη έχει καταστεί ένα από τα σημαντικότερα πλαίσια αναφοράς που διαμορφώνουν την πολιτική, την έρευνα και την επαγγελματική πρακτική στους βασικούς τομείς της παγκόσμιας οικονομίας. Στον πυρήνα της, η βιώσιμη ανάπτυξη επιδιώκει να εξισορροπήσει την οικονομική ανάπτυξη, την προστασία του περιβάλλοντος και την κοινωνική δικαιοσύνη με τρόπο που να υποστηρίζει τη μακροπρόθεσμη ανθρώπινη ευημερία. Μέσα σε αυτό το ευρύτερο πλαίσιο, ο κατασκευαστικός τομέας κατέχει ιδιαίτερα σημαντική θέση λόγω της εκτεταμένης χρήσης φυσικών πόρων, της ουσιαστικής συμβολής του στην

κατανάλωση ενέργειας και την παραγωγή αποβλήτων, καθώς και της στενής σχέσης του με την αστικοποίηση, την ανάπτυξη υποδομών και την οικονομική δραστηριότητα.

Ο κατασκευαστικός κλάδος αναγνωρίζεται ευρέως ως ένας από τους τομείς με την υψηλότερη περιβαλλοντική επιβάρυνση παγκοσμίως. Οι επιπτώσεις του εκτείνονται σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής των κτιριακών και τεχνικών έργων, από την εξόρυξη και επεξεργασία πρώτων υλών έως την κατασκευή, τη λειτουργία, τη συντήρηση, την ανακαίνιση και την κατεδάφιση. Ιστορικά, μεγάλο μέρος της συζήτησης για τη βιωσιμότητα στον κατασκευαστικό τομέα επικεντρώθηκε στην απόδοση των κτιρίων κατά τη φάση λειτουργίας, ιδίως σε σχέση με την ενεργειακή απόδοση, την ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος και τη μακροπρόθεσμη κατανάλωση πόρων. Ωστόσο, πλέον αναγνωρίζεται ολοένα και περισσότερο ότι η βιωσιμότητα πρέπει να εξετάζεται σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής του έργου, συμπεριλαμβανομένης της ίδιας της φάσης κατασκευής, η οποία έχει τύχει περιορισμένης μελέτης σε προηγούμενες έρευνες (Wang et al., 2024).

Οι κατασκευαστικές δραστηριότητες ασκούν πίεση στο περιβάλλον με διάφορους αλληλένδετους τρόπους. Σε αυτές περιλαμβάνονται η υψηλή ζήτηση για πρώτες ύλες, η εντατική χρήση μηχανημάτων που λειτουργούν με ντίζελ, η εκτεταμένη μεταφορά υλικών και εξοπλισμού, η προσωρινή κατάληψη γης, οι εκπομπές θορύβου και σκόνης και η παραγωγή αποβλήτων κατασκευών και κατεδαφίσεων. Οι επιπτώσεις αυτές εντείνονται από την ταχεία αστική ανάπτυξη, την επέκταση των υποδομών μεγάλης κλίμακας και τις αυξημένες επενδύσεις σε έργα του δομημένου περιβάλλοντος. Ως αποτέλεσμα, ο κατασκευαστικός τομέας θεωρείται πλέον κρίσιμο πεδίο για τη μετάβαση προς πιο βιώσιμα πρότυπα ανάπτυξης και για τον μετασχηματισμό προς χαμηλότερες εκπομπές άνθρακα.

Η βιωσιμότητα στις κατασκευές δεν περιορίζεται μόνο στις περιβαλλοντικές ανησυχίες. Περιλαμβάνει επίσης οικονομικές και κοινωνικές διαστάσεις, όπως η οικονομική αποδοτικότητα, η υγεία και η ασφάλεια των εργαζομένων, η ευημερία της κοινότητας, οι υπεύθυνες αλυσίδες εφοδιασμού και η μακροπρόθεσμη αξία των έργων. Αυτός ο πολυδιάστατος χαρακτήρας καθιστά τη βιώσιμη κατασκευή ένα σύνθετο και διεπιστημονικό πεδίο. Οι Mavi et al. (2021), στη συστηματική ανασκόπησή τους, τονίζουν ότι η βιωσιμότητα στις κατασκευές έχει εξελιχθεί σε έναν ευρύ ερευνητικό τομέα που περιλαμβάνει τη διακυβέρνηση, τη συμμετοχή των ενδιαφερόμενων μερών, την εκτέλεση του έργου, την περιβαλλοντική απόδοση και την καινοτομία. Ομοίως, οι Gu et al. (2023) υποστηρίζουν ότι η

ικανότητα πράσινης κατασκευής θα πρέπει να νοείται όχι μόνο ως τεχνική συμμόρφωση, αλλά και ως μια ευρύτερη οργανωτική και στρατηγική ικανότητα που ενσωματώνει την περιβαλλοντική ευθύνη στον σχεδιασμό, στις προμήθειες, στις λειτουργίες του εργοταξίου και στη λήψη αποφάσεων από τους εργολάβους.

Πιο πρόσφατη έρευνα υπογραμμίζει τη σημασία της ανθεκτικότητας και της προσαρμοστικότητας στα συστήματα βιώσιμων κατασκευών. Για παράδειγμα, οι Su et al. (2025) εξετάζουν την απόδοση της πράσινης κατασκευής σε έργα υποδομών μέσα από ένα πρίσμα πολυπλοκότητας, δείχνοντας ότι τα αποτελέσματα της βιωσιμότητας διαμορφώνονται από αλληλεξαρτώμενους τεχνικούς, διαχειριστικούς και συγκείμενους παράγοντες. Αυτό υποδηλώνει ότι η βιωσιμότητα στον κατασκευαστικό τομέα δεν πρέπει να θεωρείται ένα σταθερό σύνολο πρακτικών, αλλά μια δυναμική ικανότητα που απαιτεί συντονισμό μεταξύ ενδιαφερόμενων μερών, τεχνολογιών και θεσμικών πλαισίων.

Μια άλλη σημαντική μετατόπιση στη βιβλιογραφία αφορά τον αυξανόμενο ρόλο της ψηφιοποίησης στην υποστήριξη της βιώσιμης κατασκευής. Οι αναδυόμενες τεχνολογίες, όπως η Μοντελοποίηση Πληροφοριών Κτιρίων (BIM), τα ψηφιακά δίδυμα, οι αισθητήρες του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) και οι πλατφόρμες παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο, έχουν δημιουργήσει νέες δυνατότητες για την παρακολούθηση των εκπομπών, τη βελτιστοποίηση της χρήσης πόρων και τη βελτίωση της λήψης περιβαλλοντικών αποφάσεων. Οι Geng et al. (2026) δείχνουν ότι οι ψηφιακές τεχνολογίες μπορούν να υποστηρίξουν τη μείωση των εκπομπών άνθρακα στις κατασκευές βελτιώνοντας τη διαφάνεια, την προβλεπτική ικανότητα και τον λειτουργικό έλεγχο. Οι εξελίξεις αυτές δείχνουν ότι ο βιώσιμος μετασχηματισμός του κατασκευαστικού τομέα συνδέεται όλο και περισσότερο με την τεχνολογική καινοτομία, αλλά και με τη διοικητική μεταρρύθμιση.

Σε αυτό το πλαίσιο, η φάση κατασκευής αξίζει ιδιαίτερης προσοχής. Αν και το λειτουργικό στάδιο των κτιρίων συχνά κυριαρχεί στις σχετικές συζητήσεις για τον κύκλο ζωής, το στάδιο της κατασκευής συνδέεται με άμεσες εκπομπές, βραχυπρόθεσμη αλλά έντονη χρήση πόρων, τοπικές περιβαλλοντικές διαταραχές και οργανωτικές πρακτικές που επηρεάζουν τα αποτελέσματα βιωσιμότητας σε μεταγενέστερα στάδια. Συνεπώς, η κατανόηση της βιωσιμότητας στον κατασκευαστικό τομέα απαιτεί προσεκτικότερη εξέταση των διαδικασιών σε επίπεδο εργοταξίου, των περιβαλλοντικών ελέγχων και των πρακτικών διαχείρισης κατά την εκτέλεση του έργου.

Για τους σκοπούς της παρούσας μελέτης, η βιώσιμη κατασκευή νοείται ως η εφαρμογή περιβαλλοντικών, κοινωνικών και οικονομικών αρχών στην εγκατάσταση και διαχείριση ενός εργοταξίου, με ιδιαίτερη έμφαση στην ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων κατά τη φάση κατασκευής. Η οπτική αυτή συνδέεται άμεσα με την παρούσα μεταπτυχιακή εργασία, η οποία εστιάζει στις εργοταξιακές πρακτικές για βιώσιμη κατασκευή και στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των εργοταξίων μέσω της εφαρμογής πρακτικών πράσινου εργοταξίου.

2.3 Κυκλική Οικονομία στα Εργοτάξια

Η έννοια της κυκλικής οικονομίας έχει αποκτήσει ολοένα και πιο κεντρική θέση στις συζητήσεις για τη βιωσιμότητα στον κατασκευαστικό τομέα. Σε αντίθεση με το παραδοσιακό γραμμικό μοντέλο «εξόρυξη–παραγωγή–απόρριψη», η κυκλική οικονομία προωθεί συστήματα κλειστού βρόχου, στα οποία τα υλικά, τα εξαρτήματα και οι πόροι διατηρούνται σε χρήση για όσο το δυνατόν μεγαλύτερο χρονικό διάστημα μέσω της μείωσης, της επαναχρησιμοποίησης, της επισκευής, της ανακατασκευής και της ανακύκλωσης. Στο πλαίσιο των κατασκευών, οι αρχές της κυκλικής οικονομίας στοχεύουν στη μείωση της εξόρυξης παρθένων υλικών, στην ελαχιστοποίηση της παραγωγής αποβλήτων, στην επιμήκυνση του κύκλου ζωής των υλικών και στη βελτίωση της ανάκτησης αξίας στο τέλος της ωφέλιμης ζωής ενός κτιρίου.

Η σημασία της κυκλικής οικονομικής λογικής για τις κατασκευές είναι ιδιαίτερα μεγάλη, επειδή ο τομέας είναι ένας από τους μεγαλύτερους καταναλωτές πρώτων υλών παγκοσμίως και ένας από τους μεγαλύτερους παραγωγούς αποβλήτων. Τα απόβλητα κατασκευών και κατεδαφίσεων αντιπροσωπεύουν σημαντικό ποσοστό των συνολικών ροών στερεών αποβλήτων σε πολλές χώρες, ενώ οι συμβατικές πρακτικές δόμησης συχνά οδηγούν σε σημαντικές αναποτελεσματικότητες στη χρήση των υλικών, υπερπαραγγελίες, ζημιές στο εργοτάξιο και ανεπαρκή ανάκτηση στο τέλος του κύκλου ζωής. Κατά συνέπεια, η μετάβαση σε ένα κυκλικό μοντέλο κατασκευής θεωρείται ολοένα και περισσότερο απαραίτητη για τη βελτίωση της περιβαλλοντικής απόδοσης του δομημένου περιβάλλοντος.

Οι Moustafa et al. (2025) παρέχουν μια συστηματική ανασκόπηση των εφαρμογών της κυκλικής οικονομίας στον κατασκευαστικό τομέα και υποστηρίζουν ότι η κυκλικότητα θα πρέπει να νοείται μέσα από περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές διαστάσεις και όχι αποκλειστικά μέσω της ανάκτησης υλικών. Η ανάλυσή τους δείχνει ότι η κυκλική κατασκευή

περιλαμβάνει όχι μόνο την ανακύκλωση αποβλήτων, αλλά και την επανεξέταση των πρακτικών σχεδιασμού, των μοντέλων προμηθειών, της εφοδιαστικής οργάνωσης του εργοταξίου και της συνεργασίας μεταξύ των ενδιαφερόμενων μερών. Αυτό είναι σημαντικό, διότι η κυκλικότητα δεν αποτελεί απλώς ένα τεχνικό ζήτημα, αλλά και μία οργανωτική προβληματική.

Στην πράξη, οι στρατηγικές κυκλικής οικονομίας στον κατασκευαστικό τομέα περιλαμβάνουν τον σχεδιασμό για αποσυναρμολόγηση, την αρθρωτή κατασκευή, την προκατασκευή, τα διαβατήρια υλικών, την επιλεκτική κατεδάφιση, τον επιτόπου διαχωρισμό αποβλήτων και την επαναχρησιμοποίηση δευτερογενών υλικών. Ορισμένες από αυτές τις στρατηγικές εφαρμόζονται στο στάδιο του σχεδιασμού, ενώ άλλες σχετίζονται άμεσα με τις πρακτικές του εργοταξίου. Για παράδειγμα, ο προσεκτικός σχεδιασμός του εργοταξίου, η προστατευμένη αποθήκευση υλικών, τα αποτελεσματικά συστήματα παραγγελιών και ο διαχωρισμός των ροών αποβλήτων μπορούν να μειώσουν σημαντικά τις απώλειες και να βελτιώσουν τις δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης. Ο Ibe (2025) υπογραμμίζει ότι οι στρατηγικές διαχείρισης υλικών είναι κεντρικές για τη βελτιστοποίηση των πρακτικών κυκλικής οικονομίας στον κατασκευαστικό τομέα και ότι ο βελτιωμένος συντονισμός μεταξύ των φορέων της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι απαραίτητος για τη μείωση της αναποτελεσματικής διαχείρισης αποβλήτων και πόρων.

Η διαχείριση των αποβλήτων κατασκευών αποτελεί έναν από τους πιο εκτεταμένα μελετημένους τομείς σε αυτό το πεδίο. Οι Balasbaneh et al. (2025) δείχνουν ότι τα σενάρια διαχείρισης των αποβλήτων κατασκευών πρέπει να αξιολογούνται όχι μόνο ως προς τη μείωση της απόρριψης, αλλά και ως προς τις επιπτώσεις τους στη βιωσιμότητα του κύκλου ζωής. Η ανασκόπησή τους δείχνει ότι η ανακύκλωση, η επαναχρησιμοποίηση και οι εναλλακτικές οδοί επεξεργασίας αποβλήτων μπορεί να διαφέρουν σημαντικά ως προς την περιβαλλοντική αποτελεσματικότητά τους, ανάλογα με τον τύπο του υλικού, τις αποστάσεις μεταφοράς, τη διαθεσιμότητα υποδομών και τα όρια του συστήματος. Αυτό υποδηλώνει ότι οι στρατηγικές κυκλικής οικονομίας πρέπει να είναι προσαρμοσμένες στο εκάστοτε πλαίσιο και να βασίζονται σε τεκμηριωμένα στοιχεία και όχι σε απλουστευμένες παραδοχές.

Το ίδιο επιχείρημα ενισχύεται από τους Hasselsteen et al. (2025), οι οποίοι εξετάζουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των σεναρίων τέλους κύκλου ζωής στις Δηλώσεις Περιβαλλοντικών Προϊόντων. Η εργασία τους καταδεικνύει ότι τα περιβαλλοντικά οφέλη που

συνδέονται με τις επιλογές διαχείρισης αποβλήτων είναι συχνά πιο περίπλοκα από ό,τι υποδηλώνουν απλουστευτικές αντιλήψεις περί ανακύκλωσης. Επομένως, η κυκλικότητα στον κατασκευαστικό τομέα απαιτεί ισχυρές μεθόδους αξιολόγησης που λαμβάνουν υπόψη τις επιπτώσεις στο τέλος του κύκλου ζωής, τα αποφεύξιμα περιβαλλοντικά βάρη και τα ρεαλιστικά ποσοστά ανάκτησης.

Οι αρχές της κυκλικής οικονομίας συνδέονται επίσης στενά με τις στρατηγικές μείωσης του άνθρακα. Η επαναχρησιμοποίηση υλικών και η μείωση των αποβλήτων μπορούν να μειώσουν τον ενσωματωμένο άνθρακα, περιορίζοντας τη ζήτηση για παραγωγή, μεταφορά και διάθεση παρθένων υλικών. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε έναν τομέα όπου οι εκπομπές άνθρακα συνδέονται στενά με την εξόρυξη υλικών, την παραγωγή και την εφοδιαστική. Συνεπώς, οι πρακτικές της κυκλικής οικονομίας μπορούν να συμβάλουν όχι μόνο στην ελαχιστοποίηση των αποβλήτων, αλλά και σε ευρύτερους στόχους απανθρακοποίησης.

Παρά τις δυνατότητές της, η εφαρμογή των αρχών της κυκλικής οικονομίας στον κατασκευαστικό τομέα παραμένει άνιση. Στη βιβλιογραφία αναφέρονται συχνά αρκετά εμπόδια, όπως οι κατατεταγμένες αλυσίδες εφοδιασμού, οι κανονιστικοί περιορισμοί, η έλλειψη ιχνηλασιμότητας των υλικών, οι ανησυχίες για την ποιότητα των επαναχρησιμοποιούμενων υλικών, η ανεπαρκής ζήτηση για δευτερογενή προϊόντα στην αγορά και η γενικότερη προτίμηση για συμβατικά μοντέλα προμηθειών και παράδοσης. Επιπλέον, η εφαρμογή σε επίπεδο εργοταξίου μπορεί να είναι δύσκολη, επειδή οι κυκλικές στρατηγικές συχνά απαιτούν πρόσθετο σχεδιασμό, εκπαίδευση εργαζομένων, χώρο για διαλογή και αποθήκευση, καθώς και συντονισμό με εξωτερικά συστήματα ανάκτησης αποβλήτων.

Παρά τα παραπάνω, η κυκλική οικονομία παραμένει ένα από τα πιο ελπιδοφόρα πλαίσια για την επανεξέταση της βιωσιμότητας στις κατασκευές. Για την παρούσα διπλωματική εργασία, προσφέρει ένα σημαντικό εννοιολογικό πρίσμα για την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο οι πρακτικές σε επίπεδο εργοταξίου —ιδίως στη διαχείριση υλικών, στη διαχείριση αποβλήτων και στην εφοδιαστική αλυσίδα— μπορούν να υποστηρίξουν την περιβαλλοντικά υπεύθυνη κατασκευή. Στο πλαίσιο των πράσινων εργοταξίων, η λογική της κυκλικής οικονομίας μετατοπίζει την προσοχή από την τελική διάθεση των αποβλήτων προς την προληπτική διαχείριση και την αποδοτική χρήση των πόρων.

2.4 Περιβαλλοντικό Αποτύπωμα του Εργοταξίου

Το περιβαλλοντικό αποτύπωμα ενός εργοταξίου αναφέρεται στη συνολική περιβαλλοντική επιβάρυνση που προκαλείται από δραστηριότητες συνδεδεμένες με το εργοτάξιο κατά τη φάση κατασκευής ενός έργου. Το αποτύπωμα αυτό περιλαμβάνει άμεσες και έμμεσες επιπτώσεις που σχετίζονται με τη χρήση ενέργειας, τη λειτουργία μηχανημάτων, τη διαχείριση υλικών, τις μεταφορές, τις προσωρινές εγκαταστάσεις, τη διατάραξη του εδάφους, τη χρήση νερού, τις εκπομπές, τον θόρυβο, τη σκόνη και την παραγωγή αποβλήτων. Επειδή το εργοτάξιο είναι ο χώρος όπου υλοποιείται στην πράξη το έργο, αποτελεί βασικό πεδίο στο οποίο οι στόχοι βιωσιμότητας είτε υλοποιούνται είτε διακυβεύονται.

Αποτύπωμα Άνθρακα

Μία από τις σημαντικότερες διαστάσεις του περιβαλλοντικού αποτυπώματος ενός εργοταξίου είναι το αποτύπωμα άνθρακα. Το αποτύπωμα άνθρακα αναφέρεται γενικά στη συνολική ποσότητα εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που σχετίζονται με μια δραστηριότητα, διαδικασία, οργανισμό ή προϊόν, εκφρασμένη σε ισοδύναμο διοξειδίου του άνθρακα (CO₂e). Στον κατασκευαστικό τομέα, το αποτύπωμα άνθρακα του εργοταξίου προκύπτει από πηγές όπως η καύση καυσίμων σε βαρέα μηχανήματα, η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας σε προσωρινές εγκαταστάσεις, η μεταφορά εργαζομένων και υλικών και η εφοδιαστική λειτουργία που σχετίζεται με το εργοτάξιο.

Πρόσφατες μελέτες έχουν καταδείξει τη σημασία της ακριβέστερης λογιστικής αποτύπωσης των εκπομπών άνθρακα κατά τη φάση κατασκευής. Οι Guo et al. (2026) ενσωματώνουν το BIM και τη μοντελοποίηση που βασίζεται σε συντελεστές για την αξιολόγηση των καθημερινών εκπομπών άνθρακα και του κόστους κατασκευής, δείχνοντας πώς οι δυναμικές αλληλεπιδράσεις στο εργοτάξιο μπορούν να επηρεάσουν την επίδοση ως προς τις εκπομπές άνθρακα. Ομοίως, οι Bai et al. (2025) προτείνουν ένα πλαίσιο για τη μείωση των εκπομπών άνθρακα από τις κατασκευές μέσω παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο και οικονομετρικών μεθόδων, δίνοντας έμφαση στην αξία της περιβαλλοντικής διαχείρισης που βασίζεται σε δεδομένα. Οι μελέτες αυτές αντανakλούν μια αυξανόμενη ερευνητική τάση προς τη συνεχή και επιχειρησιακή αξιολόγηση των εκπομπών άνθρακα, αντί της στατικής ή αναδρομικής εκτίμησης.

Οι Liu et al. (2026) εξετάζουν περαιτέρω τη μείωση άνθρακα των αναδυόμενων τεχνολογιών της φάσης κατασκευής και υποδεικνύουν ότι η επιλογή τεχνολογίας μπορεί να επηρεάσει

σημαντικά τις επιδόσεις ως προς τις εκπομπές άνθρακα. Αυτό υπογραμμίζει το γεγονός ότι τα αποτυπώματα άνθρακα του εργοταξίου δεν αποτελούν απλώς περιγραφικές μετρήσεις, αλλά και παραμέτρους διαχείρισης που μπορούν να επηρεαστούν μέσω επιλογών εξοπλισμού, σχεδιασμού της εφοδιαστικής, ψηφιακής παρακολούθησης και οργανωτικής λήψης αποφάσεων.

Ενσωματωμένος Άνθρακας

Στενά συνδεδεμένη με το αποτύπωμα άνθρακα είναι η έννοια του ενσωματωμένου άνθρακα. Ο ενσωματωμένος άνθρακας αναφέρεται στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που σχετίζονται με την εξόρυξη, την παραγωγή, τη μεταφορά, την εγκατάσταση, τη συντήρηση και την επεξεργασία δομικών υλικών και στοιχείων στο τέλος του κύκλου ζωής τους. Ενώ ο λειτουργικός άνθρακας σχετίζεται με την ενέργεια που καταναλώνεται κατά τη χρήση του κτιρίου, ο ενσωματωμένος άνθρακας αφορά τις εκπομπές που είναι ενσωματωμένες στα υλικά και στις κατασκευαστικές διαδικασίες πριν από τη φάση λειτουργίας και πέραν αυτής.

Ο ενσωματωμένος άνθρακας είναι ιδιαίτερα σημαντικός για τα εργοτάξια, επειδή η παράδοση υλικών, οι δραστηριότητες εγκατάστασης, τα προσωρινά έργα, η χρήση εξοπλισμού και η διαχείριση αποβλήτων αποτελούν όλα μέρος του προφίλ εκπομπών που σχετίζεται με την υλοποίηση ενός κτιρίου. Αν και μεγάλο μέρος του ενσωματωμένου άνθρακα προέρχεται από την παραγωγή των υλικών, οι πρακτικές του εργοταξίου επηρεάζουν τα αποτελέσματα ως προς τον ενσωματωμένο άνθρακα, επηρεάζοντας την αποδοτικότητα χρήσης των υλικών, τις ανάγκες επανεπεξεργασίας, τα ποσοστά ζημιών, την παραγωγή αποβλήτων και την ένταση των μεταφορών.

Οι Li et al. (2025) εξετάζουν μια ολοκληρωμένη πλατφόρμα BIM–IoT για την αξιολόγηση και την παρακολούθηση των εκπομπών άνθρακα στην υλοποίηση προκατασκευασμένων κτιρίων, δείχνοντας πώς τα ψηφιακά συστήματα μπορούν να υποστηρίξουν καλύτερη παρακολούθηση των εκπομπών που σχετίζονται με τα υλικά κατά την κατασκευή. Οι Xu et al. (2025) προτείνουν επίσης ένα πλαίσιο για την εκτίμηση των εκπομπών άνθρακα από προκατασκευασμένα κτίρια κατά το στάδιο της κατασκευής, συνδέοντας την προσέγγιση του κύκλου ζωής με την πρακτική λήψη αποφάσεων στις κατασκευές. Οι Sandaruwan et al. (2025) εξετάζουν τεχνολογικά συστήματα για την παρακολούθηση του ενσωματωμένου άνθρακα και καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι τα ψηφιακά εργαλεία προσφέρουν σημαντικά οφέλη ως προς

τη διαφάνεια και τη βελτίωση της απόδοσης, αν και εξακολουθούν να υπάρχουν τεχνικά και οργανωτικά εμπόδια.

Η αυξανόμενη προσοχή στον ενσωματωμένο άνθρακα αντανακλά μια ευρύτερη μετατόπιση στη συζήτηση για τη βιωσιμότητα. Καθώς η λειτουργική ενεργειακή απόδοση βελτιώνεται μέσω μέτρων αποδοτικότητας των εγκαταστάσεων ενός εργοταξίου, η σχετική σημασία των ενσωματωμένων επιπτώσεων γίνεται εντονότερη. Κατά συνέπεια, οι βιώσιμες πρακτικές εργοταξίου πρέπει να λαμβάνουν ολοένα και περισσότερο υπόψη όχι μόνο τις άμεσες εκπομπές στο εργοτάξιο, αλλά και τον τρόπο με τον οποίο οι επιτόπου αποφάσεις επηρεάζουν το ανθρακικό φορτίο που σχετίζεται με τα υλικά.

Εκπομπές Scope 1, Scope 2 και Scope 3

Η εννοιολογική διάκριση μεταξύ εκπομπών Scope 1, Scope 2 και Scope 3 παρέχει ένα χρήσιμο πλαίσιο για την κατανόηση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των εργοταξίων με δομημένο και διαχειριστικά προσανατολισμένο τρόπο.

Οι εκπομπές Scope 1 είναι άμεσες εκπομπές από πηγές που ανήκουν ή ελέγχονται από τον οργανισμό ή το έργο, όπως η χρήση καυσίμων σε μηχανήματα έργων, γεννήτριες και οχήματα ιδιοκτησίας της εταιρείας που λειτουργούν στο εργοτάξιο.

Οι εκπομπές Scope 2 είναι έμμεσες εκπομπές που προκύπτουν από την κατανάλωση καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, θέρμανσης ή ψύξης που χρησιμοποιείται από το έργο, όπως η ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται σε γραφεία, φωτισμό και ψηφιακά συστήματα εργοταξίου.

Οι εκπομπές Scope 3 περιλαμβάνουν όλες τις άλλες έμμεσες εκπομπές που προκύπτουν σε ολόκληρη την αλυσίδα αξίας, όπως οι εκπομπές από την παραγωγή υλικών, τις μεταφορές που σχετίζονται με υπεργολάβους, την επεξεργασία αποβλήτων και τις μετακινήσεις των εργαζομένων.

Η κατηγοριοποίηση αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στον κατασκευαστικό τομέα, επειδή οι επιπτώσεις του εργοταξίου εκτείνονται πολύ πέρα από την ορατή χρήση καυσίμων. Ενώ οι άμεσες εκπομπές των μηχανημάτων είναι συχνά οι πιο εμφανείς, πολλά από τα μεγαλύτερα ανθρακικά βάρη μπορεί στην πραγματικότητα να προέρχονται από δραστηριότητες της αλυσίδας εφοδιασμού και από ροές υλικών. Οι Wang et al. (2024) σημειώνουν ότι οι αξιολογήσεις ανθρακικού αποτυπώματος κύκλου ζωής υπογραμμίζουν ολοένα και

περισσότερο τη σημασία των ανάντη και κατάντη διαδικασιών, οι οποίες δεν αποτυπώνονται πάντα στις συμβατικές αναφορές εργοταξίου. Ομοίως, οι Zeng et al. (2026) δείχνουν ότι οι εκπομπές κατά τη διάρκεια των φάσεων παραγωγής και κατασκευής πρέπει να αξιολογούνται από κοινού, προκειμένου να κατανοηθεί η πραγματική σημασία του άνθρακα κατά την υλοποίηση του έργου.

Το φάσμα των εκπομπών Scope 1–2–3 έχει επίσης σημαντική διαχειριστική αξία, επειδή βοηθά στον εντοπισμό των ορίων ευθύνης, των αναγκών συλλογής δεδομένων και των σημείων παρέμβασης. Για παράδειγμα, η ηλεκτροδότηση των μηχανημάτων και η χρήση καθαρότερων καυσίμων μπορούν να μειώσουν τις εκπομπές Scope 1, η προμήθεια ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές μπορεί να μειώσει τις εκπομπές Scope 2, ενώ οι κυκλικές πρακτικές προμηθειών, η βελτιστοποίηση των υλικών και η ενεργός εμπλοκή των προμηθευτών μπορούν να συμβάλουν στη διαχείριση των εκπομπών Scope 3. Κατ’ αυτόν τον τρόπο, το περιβαλλοντικό αποτύπωμα του εργοταξίου μπορεί να νοηθεί ως ένα μετρήσιμο και διαχειρίσιμο σύστημα άμεσων και έμμεσων επιπτώσεων.

2.5 Διεθνή Πρότυπα και Συστήματα Πιστοποίησης

Τα διεθνή πρότυπα και τα συστήματα πιστοποίησης διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση των πρακτικών βιωσιμότητας στον κατασκευαστικό τομέα. Παρέχουν πλαίσια, σημεία αναφοράς και κριτήρια αξιολόγησης που καθοδηγούν την περιβαλλοντική διαχείριση, βελτιώνουν τη λογοδοσία και ενθαρρύνουν την υιοθέτηση βέλτιστων πρακτικών.

Ένα από τα σημαντικότερα πρότυπα στο πλαίσιο της περιβαλλοντικής διαχείρισης εργοταξίων είναι το ISO 14001, το οποίο καθορίζει τις απαιτήσεις για τα συστήματα περιβαλλοντικής διαχείρισης. Το ISO 14001 δεν ορίζει συγκεκριμένα σταθερά αποτελέσματα απόδοσης, αλλά παρέχει ένα δομημένο πλαίσιο για τον εντοπισμό περιβαλλοντικών πτυχών, τον καθορισμό στόχων, την εφαρμογή ελέγχων, την παρακολούθηση της απόδοσης και την επιδίωξη συνεχούς βελτίωσης. Στον κατασκευαστικό τομέα, η σημασία του έγκειται στο ότι βοηθά τους διαχειριστές έργου και τις ομάδες έργου να συστηματοποιούν τις περιβαλλοντικές τους ευθύνες κατά την εκτέλεση του έργου. Οι Bakkass et al. (2025) παρέχουν στοιχεία που δείχνουν ότι η εφαρμογή του ISO 14001 μπορεί να υποστηρίξει μια πιο οργανωμένη και αποτελεσματική περιβαλλοντική διαχείριση στο εργοτάξιο.

Πέρα από τα πρότυπα διαχείρισης, τα συστήματα πιστοποίησης βιωσιμότητας έχουν διαμορφώσει καθοριστικά τις κατασκευαστικές πρακτικές διεθνώς. Τα δύο πλέον διαδεδομένα

είναι το LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), που αναπτύχθηκε από το U.S. Green Building Council (USGBC), και το BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method), που αναπτύχθηκε από το βρετανικό Building Research Establishment. Αν και αμφότερα είναι κατά βάση συστήματα αξιολόγησης σε επίπεδο κτιρίου, ενσωματώνουν σημαντικό αριθμό κριτηρίων που αφορούν άμεσα τη φάση κατασκευής και, επομένως, τη λειτουργία του εργοταξίου.

LEED. Το LEED οργανώνει την αξιολόγηση σε θεματικές κατηγορίες (μεταξύ άλλων: Βιώσιμες Τοποθεσίες, Αποδοτικότητα Νερού, Ενέργεια & Ατμόσφαιρα, Υλικά & Πόροι, Ποιότητα Εσωτερικού Περιβάλλοντος) και αποδίδει βαθμολογία που οδηγούν σε τέσσερα επίπεδα πιστοποίησης (Certified, Silver, Gold, Platinum). Σε επίπεδο εργοταξίου, ιδιαίτερη σημασία έχουν κριτήρια όπως η Πρόληψη Ρύπανσης από Κατασκευαστικές Δραστηριότητες (Construction Activity Pollution Prevention), η Διαχείριση/Εκτροπή Αποβλήτων Κατασκευής και Κατεδάφισης (Construction & Demolition Waste Management) και ο περιορισμός της διατάραξης του χώρου. Η πιο πρόσφατη έκδοση, LEED v5, που τέθηκε σε ισχύ τον Απρίλιο του 2025, αναδιοργανώνει το σύστημα γύρω από τρεις άξονες αντικτύπου — Απανθρακοποίηση (Decarbonization), Ποιότητα Ζωής (Quality of Life) και Οικολογική Διατήρηση/Αποκατάσταση— και εισάγει ως υποχρεωτική προϋπόθεση (prerequisite) την ποσοτικοποίηση και αξιολόγηση του ενσωματωμένου άνθρακα (embodied carbon) των κύριων υλικών, καθώς και εκτιμήσεις κλιματικής ανθεκτικότητας. Η μετατόπιση αυτή είναι ενδεικτική μιας ευρύτερης τάσης: η αξιολόγηση παύει να εστιάζει αποκλειστικά στο τελικό κτίριο και ενσωματώνει ολοένα και περισσότερο τις περιβαλλοντικές επιδόσεις της ίδιας της κατασκευαστικής διαδικασίας.

BREEAM. Το BREEAM αξιολογεί ένα έργο σε κατηγορίες όπως Διαχείριση (Management), Υγεία & Ευεξία, Ενέργεια, Μεταφορές, Νερό, Υλικά, Απόβλητα, Χρήση Γης & Οικολογία, Ρύπανση και Καινοτομία, αποδίδοντας βαθμολογία που αντιστοιχεί σε διαβαθμίσεις (από Pass έως Outstanding). Η σύνδεση με το εργοτάξιο είναι ιδιαίτερα ισχυρή μέσω της κατηγορίας Διαχείρισης —και ειδικότερα του κριτηρίου των υπεύθυνων κατασκευαστικών πρακτικών (responsible construction practices)— που επιβραβεύει την παρακολούθηση ενέργειας και νερού στο εργοτάξιο, τη μείωση των οχλήσεων προς γειτονικές χρήσεις, καθώς και τη συστηματική διαχείριση αποβλήτων κατασκευής. Η νέα έκδοση BREEAM New Construction Version 7, που κυκλοφόρησε στα τέλη Σεπτεμβρίου 2025, ενισχύει περαιτέρω τις αρχές της

κυκλικής οικονομίας, εντάσσοντας ως κριτήρια τον σχεδιασμό για αποσυναρμολόγηση (design for disassembly) και τη μακροβιότητα των υλικών.

Συγκριτικά, αμφότερα τα συστήματα μετατρέπουν ευρείες αρχές βιωσιμότητας σε μετρήσιμες, ελέγξιμες απαιτήσεις και δημιουργούν μια κοινή γλώσσα μεταξύ σχεδιαστών, εργολάβων, αναδόχων και ρυθμιστικών αρχών. Η επιρροή τους εκτείνεται πέρα από την ίδια την πιστοποίηση, καθώς διαχέουν περιβαλλοντικές προσδοκίες σε ολόκληρη την αλυσίδα αξίας. Ταυτόχρονα, η βιβλιογραφία επισημαίνει περιορισμούς: η πιστοποίηση μπορεί να ενθαρρύνει μια τυπική συμμόρφωση λογικής checklist αντί ουσιαστικού μετασχηματισμού, ενώ ορισμένα κριτήρια αφορούν περισσότερο το κτίριο ως τελικό προϊόν παρά τις δυναμικές, λειτουργικές πραγματικότητες της διαχείρισης ενός εργοταξίου. Για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας, τα LEED και BREEAM είναι σημαντικά όχι μόνο ως μηχανισμοί διακυβέρνησης, αλλά και ως πλαίσια αναφοράς που ορίζουν ποιες εργοταξιακές πρακτικές θεωρούνται «πράσινες» και πώς αυτές μπορούν να αξιολογηθούν.

2.6 Δείκτες Περιβαλλοντικής Απόδοσης (KPIs)

Οι Δείκτες Περιβαλλοντικής Απόδοσης (EPIs), οι οποίοι συχνά χρησιμοποιούνται ως Βασικοί Δείκτες Απόδοσης (KPIs), αποτελούν απαραίτητα εργαλεία για τη μέτρηση, τη σύγκριση και τη βελτίωση της επίδοσης βιωσιμότητας στις κατασκευές. Χωρίς δείκτες, οι περιβαλλοντικοί στόχοι παραμένουν ασαφείς και δύσκολο να διαχειριστούν. Οι KPIs μεταφράζουν τους στόχους βιωσιμότητας σε παρατηρήσιμες και ποσοτικοποιήσιμες μεταβλητές που υποστηρίζουν την παρακολούθηση, τη συγκριτική αξιολόγηση και τη λήψη αποφάσεων.

Στο πλαίσιο των κατασκευών, οι περιβαλλοντικοί KPIs μπορεί να περιλαμβάνουν μετρήσεις όπως η κατανάλωση καυσίμων, η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας, οι εκπομπές άνθρακα ανά δραστηριότητα ή ανά τετραγωνικό μέτρο, τα ποσοστά παραγωγής αποβλήτων, τα ποσοστά εκτροπής αποβλήτων, το ποσοστό ανακυκλωμένου περιεχομένου στα υλικά, η κατανάλωση νερού, τα επίπεδα σκόνης, τα επίπεδα θορύβου και τα περιστατικά μη συμμόρφωσης. Η επιλογή των δεικτών εξαρτάται από τον τύπο του έργου, τη διαθεσιμότητα δεδομένων, τις προτεραιότητες διαχείρισης και τις απαιτήσεις αναφοράς.

Για να είναι λειτουργικοί σε επίπεδο εργοταξίου, οι περιβαλλοντικοί δείκτες πρέπει να είναι μετρήσιμοι, συγκρίσιμοι μεταξύ έργων και συνδεδεμένοι με συγκεκριμένες αποφάσεις διαχείρισης. Με βάση τη βιβλιογραφία (ιδίως Mrak et al., 2025· Ahmed et al., 2024· Salamé et al., 2025) και την πρακτική των συστημάτων πιστοποίησης, οι δείκτες μπορούν να

ομαδοποιηθούν σε επτά λειτουργικές κατηγορίες που καλύπτουν τις κύριες περιβαλλοντικές διαστάσεις της κατασκευαστικής φάσης. Ο Πίνακας που ακολουθεί συνοψίζει αντιπροσωπευτικούς δείκτες, τυπικές μονάδες μέτρησης και τη διαχειριστική τους χρησιμότητα.

Κατηγορία	Αντιπροσωπευτικοί KPIs	Τυπική μονάδα
Ενέργεια	Κατανάλωση ενέργειας/καυσίμων ανά μονάδα παραγόμενου έργου· ποσοστό κάλυψης από ΑΠΕ	kWh ή L ανά m ² ή m ³ · %
Άνθρακας	Εκπομπές CO ₂ e ανά δραστηριότητα/φάση· ενσωματωμένος άνθρακας υλικών· εκπομπές ανά m ² δομημένης επιφάνειας	kg/t CO ₂ e· kg CO ₂ e/m ²
Νερό	Κατανάλωση νερού εργοταξίου· ποσοστό επαναχρησιμοποίησης/ανακύκλωσης νερού	m ³ · %
Απόβλητα	Παραγωγή αποβλήτων ανά μονάδα έργου· ποσοστό εκτροπής από ΧΥΤΑ (diversion rate)· ποσοστό ανακύκλωσης/επαναχρησιμοποίησης	kg/m ² · %
Υλικά	Ποσοστό ανακυκλωμένου περιεχομένου· ποσοστό υλικών τοπικής/βιώσιμης προέλευσης· δείκτης κυκλικότητας	%
Αέρας & οχλήσεις	Επίπεδα σκόνης (PM ₁₀ /PM _{2.5})· στάθμη θορύβου· περιστατικά υπέρβασης ορίων	μg/m ³ · dB(A)· αριθμός
Συμμόρφωση & διαχείριση	Περιστατικά μη συμμόρφωσης/περιβαλλοντικά συμβάντα· ποσοστό υλοποίησης προγραμμάτων ελέγχου· κατάρτιση προσωπικού	αριθμός· %

Πίνακας 1. Αντιπροσωπευτικοί δείκτες περιβαλλοντικής απόδοσης.

Η αξία ενός συστήματος KPIs δεν έγκειται μόνο στην καταγραφή της παρελθούσας επίδοσης, αλλά κυρίως στη δυνατότητα έγκαιρης παρέμβασης. Όπως τονίζουν οι Li et al. (2025), οι Bai et al. (2025) και οι Sandaruwan et al. (2025), η ενσωμάτωση ψηφιακών συστημάτων παρακολούθησης (IoT, BIM-based) αυξάνει τη συχνότητα, την ακρίβεια και την ανταπόκριση της συλλογής δεδομένων, μετατρέποντας τους δείκτες από εργαλείο αναφοράς (reporting) σε εργαλείο λήψης αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο. Με τον τρόπο αυτό, οι περιβαλλοντικοί KPIs λειτουργούν ως γέφυρα μεταξύ της φιλοδοξίας για βιωσιμότητα και της καθημερινής

διαχειριστικής δράσης, συνδέοντας την επίδοση του εργοταξίου με ευρύτερους στρατηγικούς στόχους (ανθρακική ουδετερότητα, κυκλική οικονομία, αναφορά ESG).

Οι Mrak et al. (2025) παρέχουν μια ευρεία επισκόπηση των δεικτών περιβαλλοντικής απόδοσης στον κατασκευαστικό κλάδο και τονίζουν την ανάγκη για πιο τυποποιημένα και πρακτικά συστήματα KPIs. Η ανασκόπησή τους υποδηλώνει ότι, ενώ υπάρχουν πολλοί διαθέσιμοι δείκτες, η εφαρμογή τους είναι συχνά ασυνεπής και αποσπασματική. Ορισμένοι δείκτες είναι υπερβολικά γενικοί για να υποστηρίξουν αποτελεσματικό έλεγχο σε επίπεδο εργοταξίου, ενώ άλλοι είναι δύσκολο να μετρηθούν σε πραγματικό χρόνο. Αυτό δημιουργεί ένα χάσμα μεταξύ της εννοιολογικής αξιολόγησης της βιωσιμότητας και της επιχειρησιακής περιβαλλοντικής διαχείρισης.

Τα συστήματα ψηφιακής παρακολούθησης μπορούν να ενισχύσουν τη χρησιμότητα των KPIs, βελτιώνοντας τη συχνότητα συλλογής δεδομένων, την ακρίβεια και την ανταπόκριση. Οι Li et al. (2025), Bai et al. (2025) και Sandaruwan et al. (2025) δείχνουν ότι οι ψηφιακές πλατφόρμες μπορούν να υποστηρίξουν πιο προηγμένη παρακολούθηση δεικτών που σχετίζονται με τον άνθρακα, ιδίως κατά τη φάση κατασκευής. Τέτοιες εξελίξεις είναι σημαντικές, διότι οι αποτελεσματικοί KPIs δεν θα πρέπει απλώς να αποτυπώνουν την προηγούμενη απόδοση, αλλά και να υποστηρίζουν την έγκαιρη παρέμβαση.

Οι KPIs είναι επίσης απαραίτητοι για τη σύνδεση της επίδοσης των εργοταξίων με ευρύτερους στρατηγικούς στόχους, όπως η ουδετερότητα άνθρακα, η εφαρμογή αρχών κυκλικής οικονομίας, η περιβαλλοντική συμμόρφωση και η αναφορά ESG. Υπό αυτή την έννοια, οι περιβαλλοντικοί δείκτες λειτουργούν ως γέφυρα μεταξύ της φιλοδοξίας για βιωσιμότητα και της διαχειριστικής δράσης.

Στην παρούσα μελέτη, οι KPIs έχουν ιδιαίτερη σημασία, επειδή ένας από τους κεντρικούς στόχους της διατριβής είναι να εντοπιστούν οι δείκτες που χρησιμοποιούνται στη βιβλιογραφία για την αξιολόγηση των πρακτικών πράσινων εργοταξίων και της μείωσης του περιβαλλοντικού αποτυπώματος. Ως εκ τούτου, οι KPIs δεν αντιμετωπίζονται μόνο ως τεχνικά μέτρα, αλλά και ως αναλυτικά εργαλεία που αποκαλύπτουν πώς η βιωσιμότητα ορίζεται και εφαρμόζεται στην πράξη κατά τη φάση κατασκευής.

Κεφάλαιο 3: Συστηματική Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

3.1 Εισαγωγή

Η παρούσα διπλωματική εργασία υιοθετεί μια Συστηματική Βιβλιογραφική Ανασκόπηση (SLR) ως βασική ερευνητική μεθοδολογία, προκειμένου να εντοπίσει, να αξιολογήσει και να συνθέσει την ακαδημαϊκή βιβλιογραφία σχετικά με τις εργοταξιακές πρακτικές για βιώσιμη κατασκευή, με ιδιαίτερη έμφαση στα πράσινα εργοτάξια και τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος κατά τη φάση κατασκευής. Ο σχεδιασμός της έρευνας βασίζεται σε μια δομημένη, διαφανή και αναπαραγώγιμη διαδικασία ανασκόπησης που επιτρέπει στη μελέτη να προχωρήσει πέρα από μια συμβατική αφηγηματική συζήτηση της υφιστάμενης βιβλιογραφίας και προς μια αυστηρή σύνθεση της υπάρχουσας γνώσης.

Η επιλογή μιας SLR είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για αυτό το θέμα, επειδή η βιβλιογραφία για τα βιώσιμα εργοτάξια είναι ιδιαίτερα κατακερματισμένη. Σχετικές μελέτες κατανέμονται σε διάφορα επικαλυπτόμενα θέματα, συμπεριλαμβανομένων των εκπομπών άνθρακα κατά την κατασκευή, του ενσωματωμένου άνθρακα, της διαχείρισης αποβλήτων, της κυκλικής οικονομίας, των ψηφιακών συστημάτων παρακολούθησης, των συστημάτων περιβαλλοντικής διαχείρισης και των δεικτών περιβαλλοντικής απόδοσης. Ενώ όλα αυτά τα θέματα σχετίζονται με τη βιωσιμότητα στις κατασκευές, δεν εξετάζονται πάντα μαζί στο συγκεκριμένο πλαίσιο του εργοταξίου. Ως αποτέλεσμα, είναι απαραίτητη μια συστηματική ανασκόπηση, προκειμένου να οργανωθεί το σώμα της βιβλιογραφίας σε συνεκτικές αναλυτικές κατηγορίες και να προσδιοριστεί τι είναι επί του παρόντος γνωστό, τι παραμένει ασαφές και ποια ζητήματα απαιτούν περαιτέρω εμπειρική διερεύνηση.

Η διαδικασία ανασκόπησης σε αυτή τη μελέτη ακολουθεί μια ακολουθία σαφώς καθορισμένων σταδίων: διατύπωση ερευνητικών ερωτημάτων, επιλογή βάσεων δεδομένων, διαμόρφωση συμβολοσειρών αναζήτησης, εφαρμογή κριτηρίων συμπερίληψης και αποκλεισμού, έλεγχος των εγγραφών, εξαγωγή σχετικών δεδομένων και θεματική σύνθεση ευρημάτων. Αυτή η δομή είναι σύμφωνη με την αποδεκτή πρακτική συστηματικής ανασκόπησης και βοηθά στη διασφάλιση της μεθοδολογικής διαφάνειας. Η ανασκόπηση έχει σχεδιαστεί κυρίως ως ποιοτική σύνθεση ευρημάτων, υποστηριζόμενη από περιγραφική χαρτογράφηση των μελετών που περιλαμβάνονται. Δεν επιχειρείται μετα-ανάλυση επειδή η αναμενόμενη βιβλιογραφία είναι ετερογενής στις μεθόδους, τις μονάδες ανάλυσης και τους τύπους αποτελεσμάτων.

Από μεθοδολογική άποψη, η SLR λειτουργεί ως θεμέλιο της διπλωματικής εργασίας. Καθορίζει τη θεωρητική και εμπειρική κατάσταση του πεδίου, προσδιορίζει κυρίως ερευνητικά ρεύματα και υποστηρίζει την ανάπτυξη ενός μεταγενέστερου σταδίου της μελέτης με ισχυρότερη ερευνητική πρωτοτυπία, όπως μια μελέτη περίπτωσης ή ένα εφαρμοσμένο πλαίσιο αξιολόγησης πράσινων εργοταξίων.

3.2 Ερευνητικό Πρωτόκολλο

Με βάση τους στόχους που αναλύθηκαν προγενέστερα κατά το υποκεφάλαιο 1.3, η παρούσα διπλωματική εξετάζει τα ακόλουθα ερευνητικά ερωτήματα:

- RQ₁ : Ποιες είναι οι κύριες περιβαλλοντικές επιπτώσεις που δημιουργούνται από τις δραστηριότητες εργοταξίων;
- RQ₂ : Ποιες πρακτικές πράσινης κατασκευής χρησιμοποιούνται σήμερα για τη βελτίωση της περιβαλλοντικής απόδοσης σε κατασκευαστικά έργα;
- RQ₃ : Ποιοι περιβαλλοντικοί δείκτες και μέθοδοι αξιολόγησης χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση βιώσιμων πρακτικών εργοταξίων;
- RQ₄ : Ποιες τεχνολογικές και διαχειριστικές καινοτομίες υποστηρίζουν τη βιώσιμη διαχείριση εργοταξίων;

Η αναζήτηση βιβλιογραφίας πραγματοποιήθηκε μέσω τριών κύριων πηγών:

- Scopus
- Web of Science
- Google Scholar

Το Scopus και το Web of Science επιλέχθηκαν ως οι κύριες βάσεις δεδομένων επειδή παρέχουν ισχυρή κάλυψη βιβλιογραφίας με αξιολόγηση από ομότιμους στη διαχείριση κατασκευών, τη μηχανική, την περιβαλλοντική επιστήμη και τη βιωσιμότητα. Επιτρέπουν επίσης το φιλτράρισμα κατά έτος δημοσίευσης, τύπο εγγράφου, γλώσσα και λέξεις-κλειδιά, κάτι που είναι απαραίτητο για μια διαφανή και αναπαραγώγιμη διαδικασία αναζήτησης.

Το Google Scholar χρησιμοποιήθηκε μόνο ως συμπληρωματική πηγή για τον εντοπισμό πιθανώς σχετικών άρθρων που δεν καταγράφηκαν στις δύο κύριες βάσεις δεδομένων. Λόγω της ευρύτερου φάσματος, τα αποτελέσματα του Google Scholar αντιμετωπίστηκαν με μεγαλύτερη προσοχή και συμπεριλήφθηκαν μόνο εάν πληρούσαν τα ίδια κριτήρια επιλεξιμότητας με τις εγγραφές που εντοπίστηκαν μέσω του Scopus και του Web of Science.

Δόθηκε προτεραιότητα σε άρθρα επιστημονικών περιοδικών με αξιολόγηση από ομοτίμους, επειδή ο στόχος της ανασκόπησης είναι η δημιουργία μιας ισχυρής ακαδημαϊκής βάσης τεκμηρίωσης. Ορισμένες εργασίες συνεδρίων από τον παρεχόμενο κατάλογο εξετάστηκαν κατά τη φάση της ευρύτερης σάρωσης, αλλά το τελικό προτιμώμενο βασικό δείγμα PRISMA επικεντρώθηκε σε άρθρα περιοδικών επειδή προσφέρουν πιο ολοκληρωμένες μεθοδολογικές λεπτομέρειες και ισχυρότερη ακαδημαϊκή βαρύτητα.

Η στρατηγική αναζήτησης αναπτύχθηκε από τον τίτλο της διπλωματικής εργασίας, τα ερευνητικά ερωτήματα και τα κύρια εννοιολογικά θέματα που προέκυψαν από την προκαταρκτική ανάγνωση του πεδίου. Ο σχεδιασμός των λέξεων-κλειδιών επικεντρώθηκε σε τέσσερις θεματικές ομάδες:

- construction site / construction phase
- sustainability / green construction
- environmental impact / footprint / emissions
- assessment / indicators / management systems

Οι κύριοι όροι αναζήτησης περιλάμβαναν:

- green construction site
- sustainable construction site
- green construction
- construction site sustainability
- construction environmental impact
- construction environmental footprint
- construction carbon emissions
- construction site emissions
- construction waste management
- embodied carbon
- environmental performance indicators
- construction site environmental management
- low-carbon construction

Η περίοδος αναζήτησης περιορίστηκε στο διάστημα 2015-2026, προκειμένου να καταγραφούν οι πιο πρόσφατες και σχετικές εξελίξεις στις πρακτικές πράσινης κατασκευής, τη μείωση των εκπομπών άνθρακα κατά τη φάση κατασκευής, τη διαχείριση του περιβάλλοντος σε επίπεδο εργοταξίου και τις τεχνολογίες ψηφιακής παρακολούθησης. Ωστόσο, κατά το στάδιο της επιλογής, ορισμένες προγενέστερες ανασκοπικές μελέτες διατηρήθηκαν μόνο εάν είχαν ισχυρή εννοιολογική συνάφεια και άμεση αξία για την οριοθέτηση του πεδίου.

Οι όροι συνδυάστηκαν με τελεστές Boolean ως εξής:

Κωδικός	Search string
S1	(“green construction site” OR “sustainable construction site” OR “green construction”) AND (“environmental impact” OR “environmental footprint” OR “carbon emissions”)
S2	(“construction site” OR “construction phase”) AND (“sustainability” OR “environmental management” OR “low-carbon”)
S3	(“construction waste management” OR “resource efficiency” OR “circular economy”) AND (“construction site” OR “construction industry”)
S4	(“construction carbon emissions” OR “embodied carbon” OR “scope 1” OR “scope 2” OR “scope 3”) AND (“construction phase” OR “construction site”)
S5	(“environmental performance indicators” OR “KPIs” OR “environmental assessment”) AND (“construction” OR “construction site”)

Πίνακας 2. Ενδεικτικά Search Strings.

Για να διασφαλιστεί η συνέπεια και η συνάφεια, χρησιμοποιήθηκαν τα ακόλουθα κριτήρια ένταξης και απόρριψης.

Κριτήρια ένταξης	Κριτήρια αποκλεισμού
Άρθρα επιστημονικών περιοδικών με σύστημα αξιολόγησης από ομότιμους κριτές (peer-reviewed)	Περιλήψεις συνεδρίων χωρίς πλήρες κείμενο εργασίας
Δημοσιεύσεις στην αγγλική γλώσσα	Μη αξιολογημένες από ομότιμους κριτές ή μη ακαδημαϊκές πηγές
Δημοσιευμένα μεταξύ 2015 και 2026	Διπλοεγγραφές
Άμεση συνάφεια με πρακτικές εργοταξίου ή με τη βιωσιμότητα κατά τη φάση κατασκευής	Μελέτες που επικεντρώνονται αποκλειστικά στη φάση λειτουργίας του κτιρίου

Εστίαση στο περιβαλλοντικό αποτύπωμα, τις εκπομπές, τα απόβλητα, τον ενσωματωμένο άνθρακα, τα Συστήματα Περιβαλλοντικής Διαχείρισης (EMS), τους Βασικούς Δείκτες Απόδοσης (KPIs) ή τη διαχείριση του περιβάλλοντος σε επίπεδο εργοταξίου	Μελέτες χωρίς σαφή περιβαλλοντική διάσταση σε επίπεδο εργοταξίου
Διαθέσιμο πλήρες κείμενο	Εγγραφές με ανεπαρκή βιβλιογραφικά στοιχεία

Πίνακας 3. Κριτήρια Ένταξης / Αποκλεισμού.

Η διαδικασία επιλογής διεξήχθη σε τέσσερα στάδια. Πρώτον, εντοπίστηκαν εγγραφές μέσω αναζητήσεων σε βάσεις δεδομένων χρησιμοποιώντας τις προκαθορισμένες λέξεις-κλειδιά και τις συμβολοσειρές αναζήτησης. Δεύτερον, αφαιρέθηκαν οι διπλοεγγραφές. Τρίτον, ελέγχθηκαν οι τίτλοι και οι περίληψεις για να προσδιοριστεί εάν το άρθρο είχε σαφή σύνδεση με τη βιωσιμότητα του εργοταξίου, τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος ή τη διαχείριση του περιβάλλοντος σε επίπεδο εργοταξίου. Τέταρτον, αξιολογήθηκαν τα πλήρη κείμενα των δυνητικά σχετικών άρθρων με βάση τα κριτήρια ένταξης.

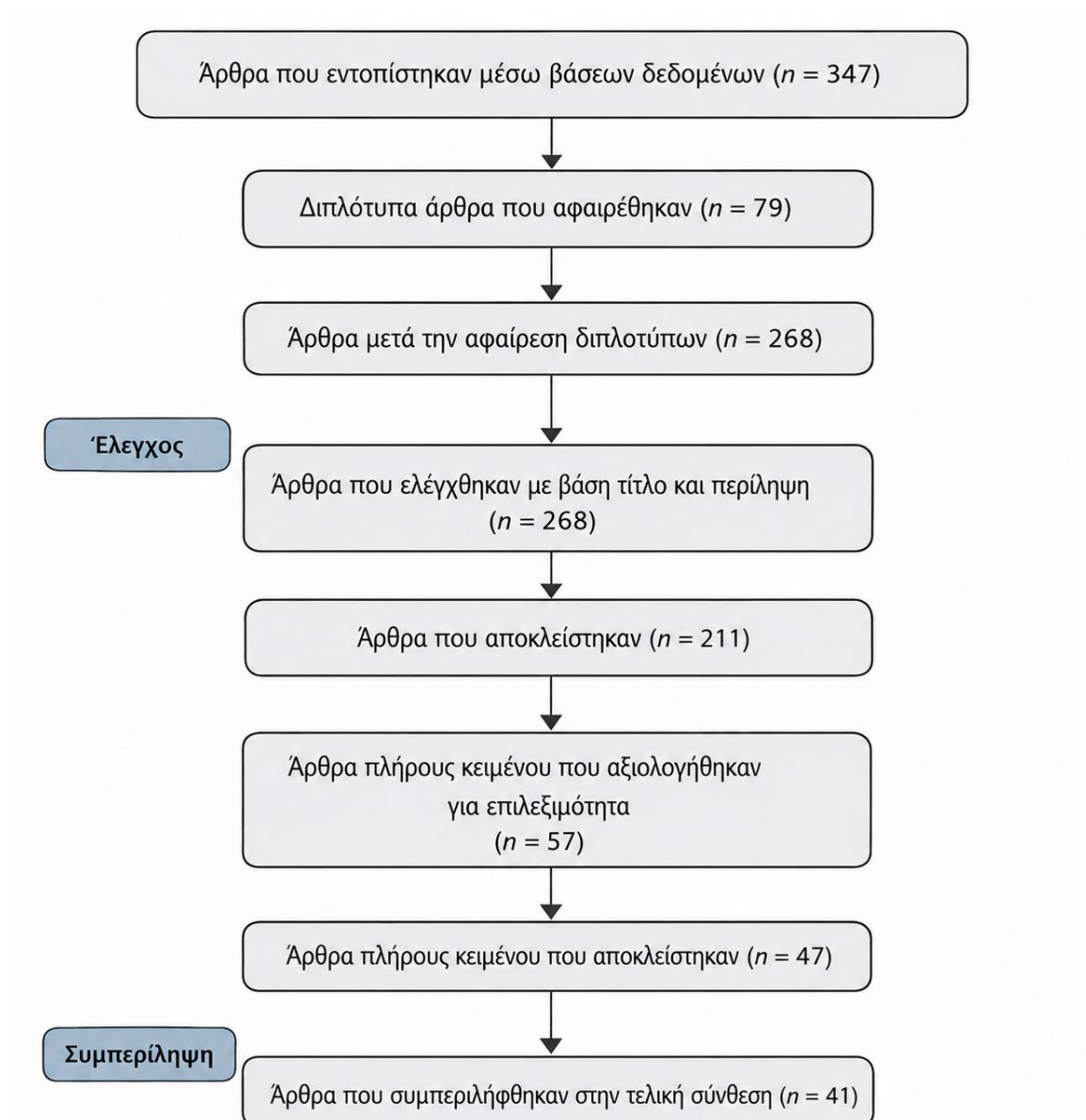
Στο στάδιο του τίτλου και της περίληψης, οι μελέτες αποκλείστηκαν εάν αφορούσαν μόνο τη βιωσιμότητα του κτιρίου σε λειτουργικό επίπεδο, τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό χωρίς συνάφεια με τη φάση κατασκευής ή τη γενική διαχείριση κατασκευών χωρίς περιβαλλοντική εστίαση. Στο στάδιο του πλήρους κειμένου, οι μελέτες αποκλείστηκαν εάν δεν είχαν άμεση συνάφεια με το εργοτάξιο, δεν αφορούσαν την περιβαλλοντική απόδοση ή συνέβαλαν μόνο οριακά στα ερευνητικά ερωτήματα.

Αυτή η σταδιακή διαδικασία επιλογής διασφάλισε ότι το τελικό δείγμα παρέμεινε ιδιαίτερα σχετικό με το θέμα της διατριβής και ότι οι επιλεγμένες μελέτες μπορούσαν να υποστηρίξουν μια ουσιαστική θεματική σύνθεση.

Η επιλογή των μελετών τεκμηριώθηκε μέσω ενός διαγράμματος ροής PRISMA, το οποίο καταρτίστηκε μετά την ολοκλήρωση του τελικού σταδίου ελέγχου. Το διάγραμμα καταγράφει:

- τον αριθμό των εγγράφων που εντοπίστηκαν σε κάθε βάση δεδομένων,
- τον αριθμό των διπλοτύπων που αφαιρέθηκαν,
- τον αριθμό των εγγράφων που ελέγχθηκαν ανά τίτλο και περίληψη,
- τον αριθμό των άρθρων πλήρους κειμένου που αξιολογήθηκαν,
- τον αριθμό των άρθρων που αποκλείστηκαν στο στάδιο του πλήρους κειμένου,

- τον τελικό αριθμό των μελετών που συμπεριλήφθηκαν στην ανασκόπηση.



Σχήμα 2. Διάγραμμα ροής PRISMA για τη διαδικασία ταυτοποίησης, ελέγχου, αξιολόγησης επιλεξιμότητας και τελικής επιλογής των άρθρων που συμπεριλήφθηκαν στη συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση.

Η διαδικασία επιλογής των μελετών ακολούθησε τα στάδια ταυτοποίησης, ελέγχου, αξιολόγησης ένταξης και τελικής συμπερίληψης, σύμφωνα με τη λογική του PRISMA. Συνολικά εντοπίστηκαν 347 άρθρα από τις επιλεγμένες βάσεις δεδομένων. Μετά την αφαίρεση των διπλοτύπων και την εφαρμογή των κριτηρίων ένταξης και αποκλεισμού, 41 άρθρα κρίθηκαν τελικά κατάλληλα για τη σύνθεση των αποτελεσμάτων.

Για την υποστήριξη συστηματικής σύγκρισης μεταξύ των μελετών που συμπεριλήφθηκαν, σχεδιάστηκε ένα δομημένο πλαίσιο εξαγωγής δεδομένων. Κάθε επιλεγμένο άρθρο εξετάστηκε χρησιμοποιώντας τα ακόλουθα πεδία δεδομένων:

Πεδίο	Περιγραφή
Συγγραφέας(-είς) / Έτος	Βιβλιογραφικά στοιχεία
Χώρα	Γεωγραφικό πλαίσιο
Τύπος μελέτης	Ανασκόπηση, εμπειρική μελέτη, case study
Τύπος έργου	Κτίριο, υποδομή, προκατασκευασμένο έργο, βιομηχανικός χώρος
Περιβαλλοντική διάσταση	Άνθρακας, απόβλητα, ενέργεια, σκόνη, θόρυβος, EMS, KPIs
Πρακτική σε επίπεδο εργοταξίου	Συγκεκριμένο μέτρο πράσινου εργοταξίου
Μέθοδος / Εργαλείο	BIM, IoT, LCA, EMS, πλαίσιο KPI, πλατφόρμα παρακολούθησης
Κύρια ευρήματα	Βασική συμβολή σχετική με την ανασκόπηση
Περιορισμοί	Κύριοι περιορισμοί που εντοπίστηκαν από τη μελέτη
Ερευνητικό κενό	Μελλοντικές ερευνητικές κατευθύνσεις ή άλυτα ζητήματα

Πίνακας 4. Πεδία Εξαγωγής Δεδομένων.

Το πλαίσιο εξαγωγής σχεδιάστηκε για να επιτρέπει τη σύγκριση μεταξύ μελετών που διαφέρουν ως προς τη μέθοδο έρευνας αλλά συγκλίνουν ως προς τη διαχείριση του περιβάλλοντος σε επίπεδο εργοταξίου.

Στην παρούσα συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση συμπεριλήφθηκαν επιστημονικές μελέτες και άρθρα που αφορούν τις βιώσιμες εργοταξιακές πρακτικές και τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος στον κατασκευαστικό κλάδο. Ειδικότερα, επιλέχθηκαν δημοσιεύσεις που εξετάζουν θέματα όπως τα πράσινα εργοτάξια, η διαχείριση αποβλήτων κατασκευών και κατεδαφίσεων, η εξοικονόμηση ενέργειας και νερού, η μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, η χρήση βιώσιμων υλικών, καθώς και η εφαρμογή συστημάτων περιβαλλοντικής διαχείρισης σε τεχνικά έργα. Επιπλέον, συμπεριλήφθηκαν μελέτες δημοσιευμένες σε έγκριτα επιστημονικά περιοδικά και ακαδημαϊκές βάσεις δεδομένων, στην αγγλική γλώσσα, με έμφαση σε πρόσφατες δημοσιεύσεις των τελευταίων ετών ώστε να αποτυπώνονται οι σύγχρονες πρακτικές και τεχνολογικές εξελίξεις.

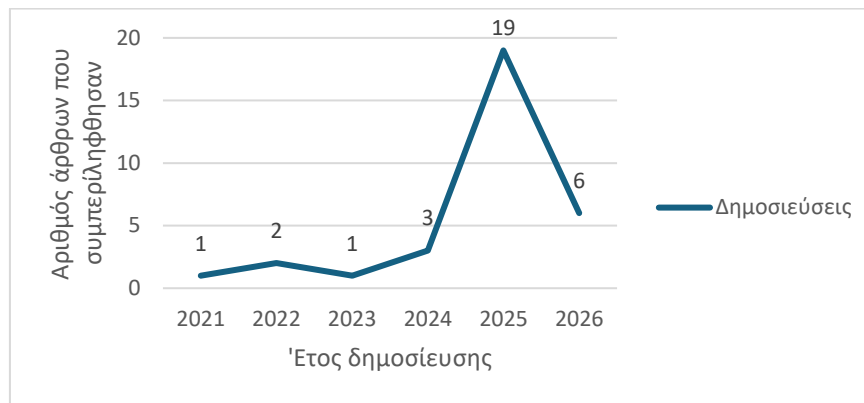
Από την ανασκόπηση αποκλείστηκαν μελέτες που δεν σχετίζονται άμεσα με το εργοταξιακό περιβάλλον ή τη φάση κατασκευής των έργων. Συγκεκριμένα, δεν συμπεριλήφθηκαν άρθρα που επικεντρώνονται αποκλειστικά στον αρχιτεκτονικό ή βιοκλιματικό σχεδιασμό κτιρίων, στη λειτουργική ενεργειακή απόδοση των κατασκευών μετά την ολοκλήρωσή τους ή σε γενικές θεωρητικές προσεγγίσεις της βιωσιμότητας χωρίς σύνδεση με εργοταξιακές πρακτικές. Επίσης αποκλείστηκαν μη επιστημονικές πηγές, άρθρα χωρίς πλήρες κείμενο, διπλές δημοσιεύσεις, καθώς και μελέτες με ανεπαρκή μεθοδολογική τεκμηρίωση ή περιορισμένη συνάφεια με το αντικείμενο της έρευνας.

3.3 Βιβλιομετρική Ανάλυση

Κατανομή Δημοσιεύσεων ανά Έτος

Η ανάλυση των επιλεγμένων μελετών δείχνει σημαντική αύξηση του επιστημονικού ενδιαφέροντος σχετικά με τις βιώσιμες κατασκευαστικές πρακτικές και τα πράσινα εργοτάξια κατά τα τελευταία χρόνια. Η πλειονότητα των δημοσιεύσεων που συμπεριλήφθηκαν στην παρούσα συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση δημοσιεύθηκε μεταξύ των ετών 2023 και 2026, με ιδιαίτερα υψηλή συγκέντρωση μελετών κατά τα έτη 2024 και 2025. Η αυξητική αυτή τάση καταδεικνύει τη διαρκώς αυξανόμενη σημασία της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας στον κατασκευαστικό τομέα και αντανακλά τη διεθνή πίεση για μείωση των εκπομπών άνθρακα, εφαρμογή αρχών κυκλικής οικονομίας και υιοθέτηση περιβαλλοντικά υπεύθυνων πρακτικών κατασκευής.

Η ενίσχυση της ερευνητικής δραστηριότητας συνδέεται άμεσα με τις διεθνείς πολιτικές βιωσιμότητας, τους στόχους κλιματικής ουδετερότητας και τη μετάβαση της κατασκευαστικής βιομηχανίας προς μοντέλα ανάπτυξης χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Παράλληλα, η ενσωμάτωση ψηφιακών τεχνολογιών στη διαχείριση κατασκευών έχει συμβάλει σημαντικά στην ταχεία ανάπτυξη του συγκεκριμένου ερευνητικού πεδίου.



Σχήμα 3. Διάγραμμα κατανομής των άρθρων που συμπεριλήφθηκαν στη συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση ανά έτος δημοσίευσης.

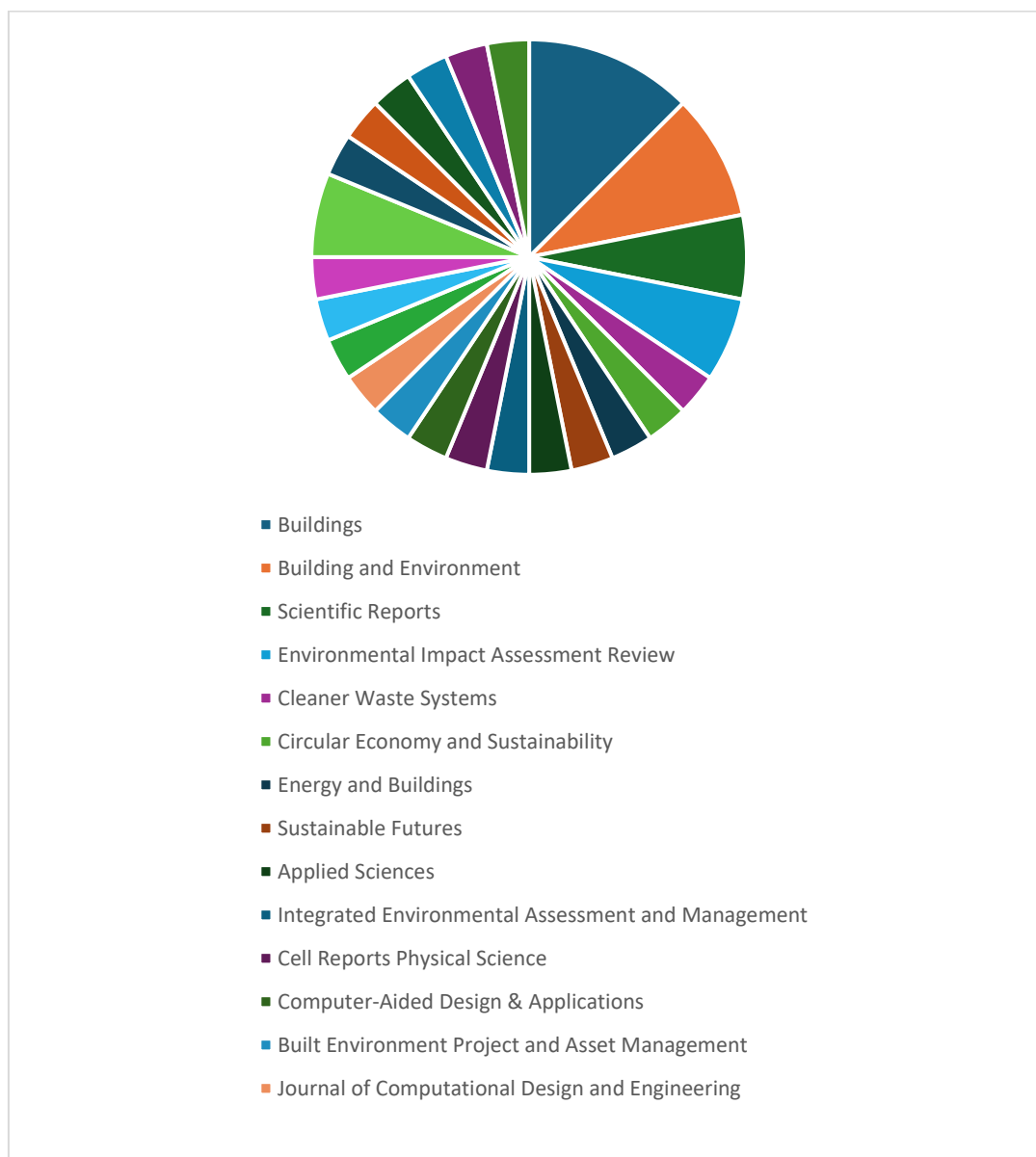
Κατανομή Δημοσιεύσεων ανά Επιστημονικό Περιοδικό

Οι επιλεγμένες μελέτες δημοσιεύθηκαν σε ένα ευρύ φάσμα επιστημονικών περιοδικών, γεγονός που αναδεικνύει τον διεπιστημονικό χαρακτήρα της έρευνας γύρω από τη βιώσιμη κατασκευή. Οι περισσότερες δημοσιεύσεις προέρχονται από περιοδικά που σχετίζονται με τη βιωσιμότητα, τη διαχείριση περιβάλλοντος, τη μηχανική κατασκευών και την κυκλική οικονομία.

Μεταξύ των περιοδικών που εμφανίζονται συχνότερα στο τελικό δείγμα περιλαμβάνονται:

- *Journal of Cleaner Production*
- *Buildings*
- *Building & Environment*
- *Circular Economy and Sustainability*
- *Scientific Reports*
- *Sustainability*
- *Environmental Impact Assessment Review*

Η παρουσία επιστημονικών περιοδικών υψηλού κύρους υποδηλώνει την επιστημονική ωριμότητα και τη συνεχώς αυξανόμενη ακαδημαϊκή σημασία του πεδίου. Επιπλέον, η ποικιλία των επιστημονικών περιοδικών καταδεικνύει ότι η βιώσιμη διαχείριση εργοταξίων εξετάζεται ταυτόχρονα από περιβαλλοντική, τεχνολογική, διοικητική και οικονομική σκοπιά.



Σχήμα 4. Διάγραμμα κατανομής των δημοσιεύσεων ανά περιοδικό.

Κατανομή ανά Βάσεις Δεδομένων

Η πλειονότητα των επιλεγμένων άρθρων ανακτήθηκε από διεθνώς αναγνωρισμένες ακαδημαϊκές βάσεις δεδομένων, όπως οι Scopus, Web of Science και Google Scholar. Η χρήση επιστημονικών βάσεων δεδομένων υψηλής αξιοπιστίας διασφάλισε την εγκυρότητα, τη συνάφεια και την επιστημονική ποιότητα της επιλεγμένης βιβλιογραφίας.

Οι περισσότερες δημοσιεύσεις αποτελούν άρθρα αξιολογημένα από ομότιμους κριτές (peer-reviewed articles), ενώ μικρότερο ποσοστό αντιστοιχεί σε πρακτικά συνεδρίων και βιβλιογραφικές ανασκοπήσεις.

Ανάλυση Αναφορών (Citation Analysis)

Η ανάλυση των αναφορών έδειξε ότι οι μελέτες που επικεντρώνονται στη μείωση εκπομπών άνθρακα, στην κυκλική οικονομία και στις ψηφιακές τεχνολογίες βιωσιμότητας συγκεντρώνουν τη μεγαλύτερη επιστημονική προσοχή. Οι μελέτες με τις περισσότερες αναφορές αφορούν κυρίως:

- την αξιολόγηση ανθρακικού αποτυπώματος,
- τη βιώσιμη διαχείριση υλικών,
- τους δείκτες περιβαλλοντικής απόδοσης,
- τη BIM-based περιβαλλοντική παρακολούθηση,
- και τις στρατηγικές ελαχιστοποίησης κατασκευαστικών αποβλήτων.

Ο αυξανόμενος αριθμός αναφορών τα τελευταία χρόνια υποδηλώνει ότι η έρευνα γύρω από τη βιωσιμότητα στις κατασκευές εξελίσσεται σε κεντρικό επιστημονικό πεδίο στη βιβλιογραφία της διαχείρισης κατασκευών και της περιβαλλοντικής μηχανικής.

Παράλληλα, μελέτες που ενσωματώνουν ψηφιακές τεχνολογίες όπως το Building Information Modeling (BIM), το Internet of Things (IoT) και τα συστήματα περιβαλλοντικής παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο φαίνεται να συγκεντρώνουν ολοένα και μεγαλύτερο επιστημονικό ενδιαφέρον λόγω της πρακτικής εφαρμογής τους στην επίτευξη περιβαλλοντικής βελτιστοποίησης και στόχων ανθρακικής ουδετερότητας.

Η συγκέντρωση της επιστημονικής προσοχής αποτυπώνεται και στη θεματική κατανομή του σώματος των 41 μελετών που συμπεριλήφθηκαν. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 5, η μείωση των εκπομπών άνθρακα αποτελεί σαφώς την πιο πολυσυζητημένη θεματική (16 μελέτες), επιβεβαιώνοντας ότι αποτελεί τον κεντρικό άξονα της σύγχρονης έρευνας για τα πράσινα εργοτάξια. Ακολουθούν, ισόβαθμα, οι ψηφιακές τεχνολογίες και τα συστήματα παρακολούθησης (10 μελέτες) και τα συστήματα περιβαλλοντικής διαχείρισης/αξιολόγησης (10 μελέτες), γεγονός που υποδηλώνει ότι το ερευνητικό ενδιαφέρον μετατοπίζεται από την απλή καταγραφή των επιπτώσεων προς τα εργαλεία μέτρησης, ελέγχου και βελτιστοποίησής

τους. Η ενεργειακή αποδοτικότητα και η βελτιστοποίηση πόρων (5 μελέτες), η κυκλική οικονομία (4 μελέτες) και η διαχείριση αποβλήτων (3 μελέτες) εμφανίζονται ως πιο εξειδικευμένες αλλά στενά διασυνδεδεμένες θεματικές. Σημειώνεται ότι το άθροισμα υπερβαίνει τις 32, καθώς αρκετές μελέτες εντάσσονται ταυτόχρονα σε περισσότερες θεματικές, ένδειξη του διαθεματικού χαρακτήρα του πεδίου.



Σχήμα 5. Θεματική κατανομή του σώματος πηγών της συστηματικής ανασκόπησης (n = 32· πολλαπλή ένταξη).

Η ανάλυση αυτή ενισχύει το βασικό συμπέρασμα της ανασκόπησης: η έρευνα για τα πράσινα εργοτάξια δεν είναι ομοιογενής, αλλά συγκροτείται γύρω από έναν κυρίαρχο πυρήνα (άνθρακας) και ένα πλέγμα αλληλοσυνδεδεμένων θεμάτων (ψηφιακά εργαλεία, EMS, πόροι, κυκλικότητα, απόβλητα), τα οποία τείνουν να εξετάζονται από κοινού και όχι μεμονωμένα.

3.4 Θεματική Ανάλυση

Η θεματική ανάλυση πραγματοποιήθηκε με στόχο την αναγνώριση των βασικών θεματικών κατηγοριών που προκύπτουν από την επιλεγμένη βιβλιογραφία σχετικά με τις βιώσιμες εργοταξιακές πρακτικές και τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος. Μέσα από τη συστηματική εξέταση των επιλεγμένων μελετών εντοπίστηκαν έξι βασικές θεματικές ενότητες.



Σχήμα 6. Θεματικό Πλαίσιο πράσινων εργοταξιακών πρακτικών για τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος.

3.4.1 Μείωση Εκπομπών Ανθρακα και Διαχείριση Ανθρακικού Αποτυπώματος

Ένα από τα κυρίαρχα θέματα που εντοπίστηκαν στη βιβλιογραφία αφορά τη μείωση των εκπομπών άνθρακα που παράγονται κατά τις κατασκευαστικές δραστηριότητες. Πολλές μελέτες επισημαίνουν ότι τα εργοτάξια συμβάλλουν σημαντικά στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου λόγω της κατανάλωσης καυσίμων, της λειτουργίας βαρέων μηχανημάτων, των μεταφορών και της παραγωγής κατασκευαστικών υλικών.

Η βιβλιογραφία προτείνει διάφορες στρατηγικές μείωσης εκπομπών, όπως:

- βελτιστοποίηση κατασκευαστικών διαδικασιών,
- χρήση ενεργειακά αποδοτικού εξοπλισμού,
- περιορισμό άσκοπης λειτουργίας μηχανημάτων,
- αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας,
- και εφαρμογή υλικών χαμηλού ανθρακικού αποτυπώματος.

Η μείωση των εκπομπών άνθρακα αποτελεί την κυρίαρχη θεματική ενότητα της σύγχρονης βιβλιογραφίας σχετικά με τα πράσινα εργοτάξια. Οι περισσότερες μελέτες επικεντρώνονται στην ανάπτυξη μεθοδολογιών υπολογισμού, παρακολούθησης και μείωσης των εκπομπών που

παράγονται κατά τη φάση κατασκευής, αναγνωρίζοντας ότι η συγκεκριμένη φάση συμβάλλει σημαντικά στο συνολικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα ενός έργου.

Οι Wang et al. (2024) πραγματοποίησαν μια εκτενή βιβλιογραφική ανασκόπηση των εκπομπών άνθρακα σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής των κτιρίων, καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι η φάση κατασκευής παραμένει λιγότερο μελετημένη συγκριτικά με τη φάση λειτουργίας, παρά τη σημαντική συνεισφορά της στις συνολικές εκπομπές. Αντίστοιχα, οι Xu et al. (2025), χρησιμοποιώντας προσέγγιση Life Cycle Assessment (LCA) και μελέτη περίπτωσης προκατασκευασμένων κτιρίων, ανέπτυξαν βελτιωμένο πλαίσιο υπολογισμού εκπομπών κατά τη φάση κατασκευής και διαπίστωσαν ότι η επιλογή υλικών και οι διαδικασίες μεταφοράς αποτελούν καθοριστικούς παράγοντες διαμόρφωσης του ανθρακικού αποτυπώματος.

Ένα δεύτερο ερευνητικό ρεύμα επικεντρώνεται στην παρακολούθηση εκπομπών σε πραγματικό χρόνο. Οι Bai et al. (2025) πρότειναν ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο που συνδυάζει περιβαλλοντική παρακολούθηση και οικονομετρική ανάλυση για τη συνεχή αξιολόγηση των εκπομπών άνθρακα στα εργοτάξια. Παρόμοια, οι Guo et al. (2026) ανέπτυξαν μοντέλο που ενσωματώνει BIM και agent-based modelling για την καθημερινή εκτίμηση εκπομπών και κόστους, αποδεικνύοντας ότι οι ψηφιακές τεχνολογίες μπορούν να υποστηρίξουν αποτελεσματικότερες αποφάσεις διαχείρισης.

Σε επίπεδο τεχνολογικών παρεμβάσεων, οι Liu et al. (2026) αξιολόγησαν το δυναμικό μείωσης άνθρακα διαφόρων αναδυόμενων τεχνολογιών κατασκευής, καταλήγοντας ότι η επιλογή κατάλληλων τεχνολογιών μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές μειώσεις εκπομπών. Αντίστοιχα, οι Fan et al. (2025) εξέτασαν, μέσω ανάλυσης κύκλου ζωής και αξιολόγησης επιπτώσεων στη δημόσια υγεία, την αντικατάσταση ή αναβάθμιση κατασκευαστικού εξοπλισμού ντίζελ, επιβεβαιώνοντας ότι η ανανέωση του στόλου μηχανημάτων αποτελεί μία από τις πλέον αποδοτικές στρατηγικές περιορισμού ατμοσφαιρικών ρύπων και εκπομπών άνθρακα.

Πέρα από τις μεθοδολογίες υπολογισμού και παρακολούθησης, η βιβλιογραφία περιλαμβάνει και εξειδικευμένες μελέτες ποσοτικοποίησης των εκπομπών σε συγκεκριμένους τύπους έργων. Οι Liang et al. (2025), μέσω μελετών περίπτωσης σε έργα βυθοκόρησης σε Guangzhou, Shenzhen και Malé, ανέπτυξαν την έννοια του «ορίου εκπομπών άνθρακα» (carbon emission quota) για την περίοδο κατασκευής, καταδεικνύοντας ότι η θέσπιση ποσοτικών ορίων μπορεί να λειτουργήσει ως εργαλείο ελέγχου των εκπομπών. Αντίστοιχα, οι Zeng et al. (2026) υπολόγισαν τις εκπομπές κατά τις φάσεις παραγωγής και κατασκευής γραμμών μεταφοράς

ηλεκτρικής ενέργειας, επεκτείνοντας την ανάλυση του ανθρακικού αποτυπώματος και πέρα από τα συμβατικά οικοδομικά έργα, στις γραμμικές υποδομές.

Μια σημαντική προϋπόθεση για τον ακριβή υπολογισμό αποτελεί η αξιόπιστη εκτίμηση των συντελεστών εκπομπών του εξοπλισμού. Οι Shin et al. (2025) επικαιροποίησαν τους συντελεστές φορτίου και εκπομπών για κατασκευαστικά μηχανήματα με βάση δεδομένα πραγματικής λειτουργίας στην Κορέα, αναδεικνύοντας ότι οι τυποποιημένες τιμές της βιβλιογραφίας συχνά αποκλίνουν από τις πραγματικές. Στο ίδιο πνεύμα, οι Teizer και Wandahl (2022) πρότειναν ένα απλοποιημένο σύστημα μέτρησης εκπομπών για κατασκευαστικό εξοπλισμό, διευκολύνοντας την πρακτική εφαρμογή της παρακολούθησης στο εργοτάξιο. Από τη σκοπιά των πρακτικών, οι Tetik et al. (2025), στο πλαίσιο της Lean Construction, διερεύνησαν βιώσιμες πρακτικές μείωσης των εκπομπών στο εργοτάξιο, ενώ οι Chen et al. (2026) συνέδεσαν τις στρατηγικές πράσινης κατασκευής με την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και τα οφέλη για τη δημόσια υγεία, υπογραμμίζοντας ότι η μείωση των εκπομπών έχει και άμεση κοινωνική διάσταση. Τέλος, οι μελέτες των Li et al. (2025), Sandaruwan et al. (2025) και Chen (2026), αν και επικεντρώνονται σε ψηφιακά εργαλεία, συνεισφέρουν ουσιαστικά και στη θεματική του άνθρακα, καθώς αφορούν την παρακολούθηση του ενσωματωμένου και λειτουργικού ανθρακικού αποτυπώματος.

Συνολικά, η βιβλιογραφία συγκλίνει στο ότι η αποτελεσματική διαχείριση του ανθρακικού αποτυπώματος απαιτεί συνδυασμό ακριβούς υπολογισμού εκπομπών, συνεχούς παρακολούθησης, υιοθέτησης ψηφιακών τεχνολογιών και εφαρμογής τεχνολογικών λύσεων χαμηλών εκπομπών άνθρακα.

3.4.2 Διαχείριση Κατασκευαστικών Αποβλήτων

Η διαχείριση αποβλήτων κατασκευών και κατεδαφίσεων αποτέλεσε μία ακόμη ιδιαίτερα σημαντική θεματική κατηγορία. Η βιβλιογραφία αναγνωρίζει σταθερά τα κατασκευαστικά απόβλητα ως μία από τις σημαντικότερες περιβαλλοντικές προκλήσεις του κατασκευαστικού κλάδου.

Οι επιλεγμένες μελέτες δίνουν έμφαση:

- στην ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση υλικών,
- στον διαχωρισμό αποβλήτων,
- στα συστήματα ανάκτησης υλικών,

- και στις αρχές της κυκλικής οικονομίας.

Οι Balasbaneh et al. (2025) προσέγγισαν το ζήτημα μέσω ανάλυσης κύκλου ζωής και αξιολόγησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των αποβλήτων που παράγονται κατά την κατασκευή και κατεδάφιση κτιρίων. Τα αποτελέσματά τους έδειξαν ότι η αύξηση των ποσοστών ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης υλικών μπορεί να μειώσει σημαντικά τόσο τις εκπομπές άνθρακα όσο και την κατανάλωση πρώτων υλών. Αντίστοιχα, οι Shajidha και Mortula (2025), μέσω βιβλιογραφικής ανασκόπησης και ανάλυσης πρακτικών διαχείρισης αποβλήτων, υπογράμμισαν ότι η αποτελεσματική διαλογή στην πηγή και η εφαρμογή συστημάτων ανάκτησης υλικών αποτελούν κρίσιμους παράγοντες επιτυχούς διαχείρισης αποβλήτων στα εργοτάξια.

Στη θεματική των αποβλήτων εντάσσονται και οι Hasselsteen et al. (2025), οι οποίοι, αναλύοντας σενάρια τέλους ζωής (End-of-Life) μέσω Περιβαλλοντικών Δηλώσεων Προϊόντος (EPD), αξιολόγησαν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των αποβλήτων κατασκευής. Τα ευρήματά τους ενισχύουν τη διαπίστωση των Balasbaneh et al. (2025) ότι η διαχείριση αποβλήτων πρέπει να αποτιμάται από την οπτική του πλήρους κύκλου ζωής και όχι μόνο ως ζήτημα τελικής διάθεσης· η επιλογή του σεναρίου τέλους ζωής (ανακύκλωση, επαναχρησιμοποίηση, ανάκτηση ενέργειας ή υγειονομική ταφή) επηρεάζει σημαντικά το συνολικό περιβαλλοντικό ισοζύγιο του έργου.

Συνολικά, οι τρεις μελέτες της θεματικής (Balasbaneh et al., 2025· Shajidha & Mortula, 2025· Hasselsteen et al., 2025) συγκλίνουν στο ότι η διαλογή στην πηγή και η μεγιστοποίηση των ποσοστών εκτροπής αποτελούν τους κρίσιμότερους μοχλούς μείωσης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

3.4.3 Κυκλική Οικονομία

Τα απόβλητα κατασκευών αποτελούν μία από τις πιο ορατές περιβαλλοντικές επιπτώσεις των εργοταξίων και η διαχείρισή τους είναι κεντρικής σημασίας για την απόδοση των πράσινων εργοταξίων. Οι Balasbaneh et al. (2025) δείχνουν ότι τα σενάρια διαχείρισης αποβλήτων θα πρέπει να αξιολογούνται από την οπτική γωνία της βιωσιμότητας του κύκλου ζωής και όχι μόνο όσον αφορά τη μείωση της απόρριψης. Αυτό σημαίνει ότι τα απόβλητα εργοταξίων θα πρέπει να αντιμετωπίζονται μέσω της πρόληψης, του διαχωρισμού, της ανακύκλωσης, της επαναχρησιμοποίησης και του προσεκτικού σχεδιασμού υλικών.

Στο πλαίσιο, αυτή η διάσταση αξιολογεί εάν το εργοτάξιο εφαρμόζει πρακτικά μέτρα μείωσης των αποβλήτων. Αυτά περιλαμβάνουν ξεχωριστές ροές αποβλήτων, διαλογή επί τόπου, επαναχρησιμοποίηση υλικών όπου είναι δυνατόν, μείωση των υπερβολικών παραγγελιών, σωστή αποθήκευση υλικών και συντονισμό με εγκαταστάσεις ανακύκλωσης ή ανάκτησης. Η πρόληψη των αποβλήτων είναι ιδιαίτερα σημαντική επειδή τα πιο βιώσιμα απόβλητα είναι τα απόβλητα που δεν παράγονται.

Η συμβολή της κυκλικής οικονομίας αναδεικνύεται ιδιαίτερα στις μελέτες των Ibe (2025) και Hasselsteen et al. (2025). Οι ερευνητές υποστηρίζουν ότι η μετάβαση από το γραμμικό μοντέλο «παραγωγή-χρήση-απόρριψη» σε κυκλικά μοντέλα διαχείρισης επιτρέπει τη διατήρηση της αξίας των υλικών για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, μειώνοντας παράλληλα τις ανάγκες εξόρυξης νέων πόρων. Μέσω ποιοτικών και συγκριτικών αναλύσεων, οι μελέτες αυτές καταδεικνύουν ότι η κυκλική οικονομία δεν αποτελεί μόνο περιβαλλοντική στρατηγική, αλλά και μηχανισμό βελτίωσης της οικονομικής αποδοτικότητας των κατασκευαστικών έργων.

Παράλληλα, οι Moustafa et al. (2025) εστίασαν στις προκλήσεις εφαρμογής κυκλικών πρακτικών στον κατασκευαστικό κλάδο, αναδεικνύοντας ζητήματα που σχετίζονται με τη διαθεσιμότητα υποδομών ανακύκλωσης, το κόστος εφαρμογής και τις υφιστάμενες κανονιστικές απαιτήσεις. Τα ευρήματά τους δείχνουν ότι, παρά τα σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη, η ευρεία υιοθέτηση κυκλικών πρακτικών εξακολουθεί να αντιμετωπίζει οργανωτικούς και τεχνικούς περιορισμούς.

Συνολικά, η βιβλιογραφία συγκλίνει στο ότι η αποτελεσματική διαχείριση αποβλήτων και η ενσωμάτωση αρχών κυκλικής οικονομίας μπορούν να συμβάλουν ουσιαστικά στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των εργοταξίων, ενισχύοντας παράλληλα την αποδοτικότητα των πόρων και τη βιωσιμότητα των κατασκευαστικών έργων.

3.4.4 Ψηφιακές Τεχνολογίες και Έξυπνη Διαχείριση Εργοταξίων

Ένα ταχέως αναπτυσσόμενο ερευνητικό θέμα αφορά την ενσωμάτωση ψηφιακών τεχνολογιών στη βιώσιμη διαχείριση εργοταξίων. Πολλές πρόσφατες μελέτες εξετάζουν τον ρόλο:

- του Building Information Modeling (BIM),
- του Internet of Things (IoT),
- της Τεχνητής Νοημοσύνης (AI),

- των cyber-physical systems,
- και των τεχνολογιών περιβαλλοντικής παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο.

Η βιβλιογραφία δείχνει ότι οι ψηφιακές τεχνολογίες βελτιώνουν σημαντικά:

- την ακρίβεια περιβαλλοντικής παρακολούθησης,
- τη διαχείριση πόρων,
- και τη διαδικασία λήψης αποφάσεων.

Τα BIM-based περιβαλλοντικά μοντέλα και τα IoT-enabled monitoring systems χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο για την παρακολούθηση:

- εκπομπών άνθρακα,
- κατανάλωσης ενέργειας,
- λειτουργίας εξοπλισμού,
- ποιότητας αέρα,
- και παραγωγής αποβλήτων σε πραγματικό χρόνο.

Οι Li et al. (2025) διερεύνησαν την εφαρμογή τεχνολογιών IoT για τη συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιδόσεις εργοταξίων. Μέσω εμπειρικής μελέτης διαπίστωσαν ότι η συνεχής παρακολούθηση δεικτών, όπως η κατανάλωση ενέργειας και οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, επιτρέπει την ταχύτερη αναγνώριση περιβαλλοντικών αποκλίσεων και τη βελτίωση της επιχειρησιακής απόδοσης.

Αντίστοιχα, οι Guo et al. (2026) ανέπτυξαν ένα ψηφιακό μοντέλο που συνδυάζει BIM και agent-based simulation για την εκτίμηση εκπομπών άνθρακα κατά τη φάση κατασκευής. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η χρήση ψηφιακών διδύμων (digital twins) μπορεί να υποστηρίξει αποτελεσματικότερες στρατηγικές μείωσης εκπομπών και καλύτερο προγραμματισμό εργασιών.

Οι Chen (2026) και Geng et al. (2026) επικεντρώθηκαν στη χρήση τεχνητής νοημοσύνης και αλγορίθμων πρόβλεψης για τη βελτιστοποίηση περιβαλλοντικών αποφάσεων. Μέσω αναλυτικών μοντέλων και υπολογιστικών προσομοιώσεων διαπιστώθηκε ότι οι τεχνολογίες αυτές μπορούν να προβλέψουν με μεγαλύτερη ακρίβεια τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις

διαφορετικών κατασκευαστικών επιλογών και να υποστηρίζουν πιο βιώσιμες πρακτικές διαχείρισης.

Παράλληλα, οι Sandaruwan et al. (2025) ανέδειξαν τη σημασία της ολοκληρωμένης διαχείρισης δεδομένων και της διαλειτουργικότητας μεταξύ διαφορετικών ψηφιακών πλατφορμών. Η μελέτη τους υποστηρίζει ότι η πραγματική αξία των ψηφιακών τεχνολογιών προκύπτει όταν αυτές λειτουργούν συνδυαστικά και όχι απομονωμένα.

Πέρα από την παρακολούθηση εκπομπών και ενέργειας, οι ψηφιακές τεχνολογίες αξιοποιούνται ολοένα και περισσότερο για τη διαχείριση των τοπικών περιβαλλοντικών οχλήσεων του εργοταξίου. Οι Kim et al. (2025) ανέπτυξαν και δοκίμασαν στο πεδίο ένα αυτοματοποιημένο, ανθρωποκεντρικό σύστημα ειδοποίησης για τη σκόνη, με στόχο την προστασία των εργαζομένων, ενώ οι Li και Han (2024) σχεδίασαν και υλοποίησαν ολοκληρωμένο σύστημα παρακολούθησης σκόνης στο εργοτάξιο. Αντίστοιχα, οι Huang et al. (2025), μέσω συστηματικής ανασκόπησης, χαρτογράφησαν τις μεθόδους αξιολόγησης, παρακολούθησης, μοντελοποίησης και ελέγχου του θορύβου με επίκεντρο τον εργαζόμενο. Οι μελέτες αυτές αναδεικνύουν ότι η «έξυπνη» διαχείριση δεν αφορά μόνο τον άνθρακα, αλλά και τις άμεσες οχλήσεις (σκόνη, θόρυβος) που επηρεάζουν τόσο το περιβάλλον όσο και την υγεία και ασφάλεια στο εργοτάξιο. Επιπλέον, οι Li et al. (2025) με την ενοποιημένη πλατφόρμα BIM–IoT για την παρακολούθηση εκπομπών σε προκατασκευασμένα έργα, οι Sandaruwan et al. (2025) με τα συστήματα παρακολούθησης ενσωματωμένου άνθρακα, και οι Teizer και Wandahl (2022) με το σύστημα μέτρησης εκπομπών εξοπλισμού, καταδεικνύουν τη σύγκλιση των ψηφιακών εργαλείων προς ολοκληρωμένα, διαλειτουργικά συστήματα περιβαλλοντικής διαχείρισης.

Συνολικά, τα ευρήματα της βιβλιογραφίας καταδεικνύουν ότι οι ψηφιακές τεχνολογίες μετασχηματίζουν τον τρόπο με τον οποίο παρακολουθούνται, αξιολογούνται και διαχειρίζονται οι περιβαλλοντικές επιδόσεις των εργοταξίων, αποτελώντας βασικό εργαλείο για την επίτευξη στόχων βιωσιμότητας.

3.4.5 Συστήματα Περιβαλλοντικής Διαχείρισης και Αξιολόγηση Βιωσιμότητας

Μία ακόμη σημαντική θεματική ενότητα αφορά την εφαρμογή Συστημάτων Περιβαλλοντικής Διαχείρισης (Environmental Management Systems – EMS) και πλαισίων αξιολόγησης βιωσιμότητας στα κατασκευαστικά έργα.

Αρκετές μελέτες εξετάζουν την εφαρμογή:

- του ISO 14001,
- δεικτών περιβαλλοντικής απόδοσης,
- εργαλείων περιβαλλοντικού ελέγχου,
- και συστημάτων πράσινης πιστοποίησης.

Οι Bakkass et al. (2025) και Ahmed et al. (2024) ανέπτυξαν πλαίσια αξιολόγησης βιωσιμότητας που βασίζονται σε δείκτες περιβαλλοντικής απόδοσης (KPIs). Μέσω πολυκριτηριακών αναλύσεων κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η χρήση δεικτών διευκολύνει την αντικειμενική αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιδόσεων και υποστηρίζει αποτελεσματικότερες διαδικασίες λήψης αποφάσεων.

Παράλληλα, οι Salamé et al. (2025) διερεύνησαν την εφαρμογή συστημάτων περιβαλλοντικής διαχείρισης σύμφωνα με το πρότυπο ISO 14001. Μέσα από εμπειρική ανάλυση διαπίστωσαν ότι οι επιχειρήσεις που εφαρμόζουν οργανωμένα περιβαλλοντικά συστήματα παρουσιάζουν καλύτερες επιδόσεις ως προς τη διαχείριση αποβλήτων, τη συμμόρφωση με τη νομοθεσία και τον έλεγχο των περιβαλλοντικών κινδύνων.

Οι Mrak et al. (2025) και Su et al. (2025) επικεντρώθηκαν στην ανάπτυξη ολοκληρωμένων πλαισίων αξιολόγησης που συνδυάζουν περιβαλλοντικούς, κοινωνικούς και οικονομικούς δείκτες. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η βιωσιμότητα των εργοταξίων δεν μπορεί να αξιολογηθεί αποκλειστικά με βάση περιβαλλοντικά κριτήρια, αλλά απαιτεί ολιστική προσέγγιση που λαμβάνει υπόψη πολλαπλές διαστάσεις της απόδοσης.

Οι Gu et al. (2023) και Luo et al. (2022), μέσω εμπειρικών ερευνών και πολυκριτηριακών αναλύσεων, διαπίστωσαν ότι το υψηλό αρχικό κόστος επένδυσης αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους ανασταλτικούς παράγοντες για την υιοθέτηση πράσινων τεχνολογιών στον κατασκευαστικό κλάδο. Παράλληλα, οι ερευνητές επισημαίνουν ότι η αβεβαιότητα σχετικά με την απόδοση των επενδύσεων συχνά αποθαρρύνει τις επιχειρήσεις από την εφαρμογή καινοτόμων λύσεων.

Οι Mavi et al. (2021) ανέδειξαν τη σημασία θεσμικών και οργανωτικών παραγόντων, επισημαίνοντας ότι η έλλειψη κατάλληλων πολιτικών κινήτρων και η ανεπαρκής περιβαλλοντική κουλτούρα αποτελούν σημαντικά εμπόδια για τη μετάβαση σε βιώσιμες

πρακτικές. Παρόμοια ευρήματα παρουσιάζουν οι Moustafa et al. (2025), οι οποίοι υπογραμμίζουν ότι η εφαρμογή αρχών κυκλικής οικονομίας συχνά περιορίζεται από ελλείψεις υποδομών και αδυναμίες της αγοράς ανακυκλωμένων υλικών.

Τέλος, οι Geng et al. (2026) εστίασαν στις προκλήσεις ενσωμάτωσης προηγμένων ψηφιακών τεχνολογιών, καταλήγοντας ότι η έλλειψη εξειδικευμένου προσωπικού, η δυσκολία διαχείρισης μεγάλου όγκου δεδομένων και τα προβλήματα διαλειτουργικότητας μεταξύ συστημάτων αποτελούν βασικά εμπόδια για την πλήρη αξιοποίηση των ψηφιακών εργαλείων βιωσιμότητας.

Συνολικά, η βιβλιογραφία καταδεικνύει ότι η επιτυχής εφαρμογή πράσινων εργοταξιακών πρακτικών προϋποθέτει όχι μόνο τεχνολογικές λύσεις αλλά και θεσμικές παρεμβάσεις, επενδύσεις σε ανθρώπινο δυναμικό και ενίσχυση της περιβαλλοντικής κουλτούρας του κατασκευαστικού τομέα. Επίσης, αναδεικνύεται η σημασία των συστημάτων περιβαλλοντικής διαχείρισης και των δεικτών αξιολόγησης ως βασικών εργαλείων για τη συστηματική παρακολούθηση και συνεχή βελτίωση της βιωσιμότητας των εργοταξίων.

3.4.6 Ενεργειακή Αποδοτικότητα και Βελτιστοποίηση Πόρων

Η αποδοτική χρήση πόρων και η ενεργειακή διαχείριση αποτελούν επίσης κεντρικές θεματικές της βιβλιογραφίας. Οι επιλεγμένες μελέτες επικεντρώνονται:

- στη μείωση κατανάλωσης ενέργειας,
- στην εξοικονόμηση νερού,
- στη βελτιστοποίηση χρήσης υλικών,
- και στην αποδοτική διαχείριση εξοπλισμού.

Οι Xu et al. (2025) χρησιμοποίησαν προσέγγιση Life Cycle Assessment για την αξιολόγηση της κατανάλωσης πόρων σε προκατασκευασμένα κτίρια και κατέδειξαν ότι η βελτιστοποίηση των μεταφορών και της εφοδιαστικής αλυσίδας μπορεί να μειώσει σημαντικά τόσο την κατανάλωση ενέργειας όσο και τις σχετικές εκπομπές άνθρακα.

Οι Fan et al. (2025) εξέτασαν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του κατασκευαστικού εξοπλισμού μέσω ανάλυσης κύκλου ζωής και διαπίστωσαν ότι η αντικατάσταση παλαιών μηχανημάτων με αποδοτικότερες τεχνολογίες μπορεί να επιφέρει σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας και μείωση ατμοσφαιρικών ρύπων.

Παράλληλα, οι Wang et al. (2024) ανέδειξαν τη σημασία της ενσωμάτωσης ενεργειακών δεικτών κατά τον σχεδιασμό και τη διαχείριση έργων, ενώ οι Chen et al. (2026) υποστήριξαν, μέσω μοντέλων προσομοίωσης, ότι η χρήση ψηφιακών εργαλείων μπορεί να συμβάλει στη βελτιστοποίηση της κατανάλωσης πόρων σε πραγματικό χρόνο.

Στη θεματική της αποδοτικότητας του εξοπλισμού εντάσσονται και οι Shin et al. (2025), οι οποίοι, εκτιμώντας τους συντελεστές εκπομπών μηχανημάτων από δεδομένα πραγματικής λειτουργίας, παρέχουν τη βάση για την αντικειμενική σύγκριση της αποδοτικότητας διαφορετικών τύπων εξοπλισμού και την τεκμηρίωση αποφάσεων αναβάθμισης του στόλου. Παράλληλα, οι Chen (2026), μέσω BIM-based προσεγγίσεων για κτίρια ουδέτερου άνθρακα και διαχείριση του ανθρακικού αποτυπώματος σε περιφερειακή κλίμακα, δείχνουν ότι η βελτιστοποίηση πόρων και ενέργειας μπορεί να υποστηριχθεί από ψηφιακά μοντέλα ήδη από τη φάση σχεδιασμού, συνδέοντας τη θεματική αυτή με τις ψηφιακές τεχνολογίες (3.4.4) και τη μείωση εκπομπών (3.4.1).

Συνολικά, τα ευρήματα υποδεικνύουν ότι η βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας και της διαχείρισης πόρων αποτελεί αναγκαία προϋπόθεση για την επίτευξη βιώσιμων εργοταξιακών πρακτικών και τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των κατασκευαστικών δραστηριοτήτων.

Κεφάλαιο 4: Εμπειρική Έρευνα

4.1 Σκοπός και Αντικείμενο της Έρευνας

Στα προηγούμενα κεφάλαια αναπτύχθηκε το θεωρητικό και κανονιστικό πλαίσιο της βιώσιμης κατασκευής, με έμφαση στην έννοια του «πράσινου εργοταξίου» και στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των κατασκευαστικών δραστηριοτήτων. Η βιβλιογραφική επισκόπηση ανέδειξε ότι το εργοτάξιο αποτελεί ένα από τα πλέον κρίσιμα στάδια του κύκλου ζωής ενός τεχνικού έργου ως προς τις περιβαλλοντικές του επιδόσεις, καθώς εκεί συγκεντρώνονται οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από μηχανήματα και μεταφορές, η παραγωγή στερεών αποβλήτων, η κατανάλωση ενέργειας και νερού, καθώς και οι οχλήσεις θορύβου και σκόνης. Το παρόν κεφάλαιο μεταβαίνει από τη θεωρητική τεκμηρίωση στην εμπειρική διερεύνηση, παρουσιάζοντας τα αποτελέσματα πρωτογενούς ποσοτικής έρευνας που διεξήχθη με δομημένο ερωτηματολόγιο.

Σκοπός της έρευνας είναι η αποτύπωση των αντιλήψεων, στάσεων και εκτιμήσεων των επαγγελματιών του κατασκευαστικού κλάδου σχετικά με τις πρακτικές περιβαλλοντικής διαχείρισης που εφαρμόζονται —ή θα μπορούσαν να εφαρμοστούν— στο εργοτάξιο, καθώς και η ανάδειξη των παραγόντων που διαμορφώνουν το περιβαλλοντικό του αποτύπωμα. Η εμπειρική αυτή προσέγγιση επιδιώκει να συνδέσει τη θεωρητική γνώση με την εργοταξιακή πραγματικότητα, εντοπίζοντας το χάσμα μεταξύ της θεωρητικά αναγνωρισμένης αξίας μιας πρακτικής και του βαθμού ενσωμάτωσής της στην καθημερινή πρακτική. Η επιλογή της ποσοτικής μεθοδολογίας θεωρήθηκε καταλληλότερη, δεδομένου ότι επιτρέπει τη συστηματική συλλογή συγκρίσιμων δεδομένων από σχετικά μεγάλο αριθμό αποκρινόμενων και την αποτύπωση τάσεων με μετρήσιμο τρόπο (Creswell & Creswell, 2018· Bryman, 2016).

Το αντικείμενο της έρευνας οριοθετείται από τους ακόλουθους επιμέρους στόχους, οι οποίοι αντιστοιχούν στη θεματική δομή του ερωτηματολογίου:

- Η αξιολόγηση του βαθμού στον οποίο οι επαγγελματίες του κλάδου θεωρούν ότι συγκεκριμένα μέτρα και πρακτικές συμβάλλουν στη βελτίωση της περιβαλλοντικής διαχείρισης και της βιωσιμότητας του εργοταξίου.
- Η ιεράρχηση της αντιλαμβανόμενης σπουδαιότητας των βασικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκύπτουν από τη λειτουργία ενός εργοταξίου.
- Ο εντοπισμός και η ιεράρχηση των κυριότερων εμποδίων που παρακωλύουν την εφαρμογή βιώσιμων πρακτικών.

- Η διερεύνηση των παραγόντων που σχετίζονται με το περιβαλλοντικό αποτύπωμα, ιδίως ως προς τις μεταφορές, τον προγραμματισμό και την εφοδιαστική αλυσίδα.
- Η αποτίμηση του επιπέδου περιβαλλοντικής ευαισθητοποίησης και των προσδοκιών για τη μελλοντική διαχείριση των εργοταξίων.

Με βάση τους παραπάνω στόχους, η έρευνα επιχειρεί να απαντήσει στα ακόλουθα ερευνητικά ερωτήματα: (α) Ποιες πρακτικές περιβαλλοντικής διαχείρισης αναγνωρίζονται από τους επαγγελματίες ως πλέον αποτελεσματικές για τη βιωσιμότητα του εργοταξίου; (β) Ποιες περιβαλλοντικές επιπτώσεις θεωρούνται πιο σημαντικές και πώς ιεραρχούνται; (γ) Ποια εμπόδια αξιολογούνται ως τα πιο καθοριστικά για την υιοθέτηση βιώσιμων πρακτικών; και (δ) Σε ποιο βαθμό αποτυπώνεται περιβαλλοντική ευαισθητοποίηση και προσδοκία θεσμικής και διοικητικής υποστήριξης στο πλαίσιο της μελλοντικής διαχείρισης των έργων; Τα ερωτήματα αυτά διατυπώθηκαν ώστε να είναι μετρήσιμα μέσω κλιμάκων στάσεων και να επιτρέπουν τη συγκριτική ανάλυση μεταξύ των θεματικών αξόνων.

Η σημασία της έρευνας εδράζεται στη διαπίστωση ότι, παρά την ωριμότητα του θεσμικού πλαισίου περιβαλλοντικής διαχείρισης —όπως αποτυπώνεται στο πρότυπο ISO 14001:2015 και στη συναφή νομοθεσία— η ουσιαστική ενσωμάτωση βιώσιμων πρακτικών στο εργοτάξιο εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη στάση, τη γνώση και τις προτεραιότητες των ίδιων των μηχανικών και του τεχνικού προσωπικού. Η καταγραφή των αντιλήψεων αυτών παρέχει χρήσιμη πληροφορία τόσο για τον σχεδιασμό στοχευμένων δράσεων ευαισθητοποίησης και εκπαίδευσης, όσο και για την ιεράρχηση των επενδύσεων σε τεχνολογίες και διαδικασίες μείωσης του περιβαλλοντικού αποτυπώματος. Απευθυνόμενη πρωτίστως σε μηχανικούς και στελέχη διαχείρισης έργων, η έρευνα φιλοδοξεί να προσφέρει τεκμηριωμένη βάση για τη λήψη αποφάσεων σε εργοταξιακό επίπεδο.

Ως προς την οριοθέτηση, η έρευνα έχει διερευνητικό–περιγραφικό χαρακτήρα και δεν αποσκοπεί στη γενίκευση των ευρημάτων στο σύνολο του κλάδου, αλλά στην αποτύπωση τάσεων εντός του εξεταζόμενου δείγματος. Ο αριθμός αποκρινόμενων ($N = 81$) και η μη πιθανοτική δειγματοληψία συνιστούν περιορισμούς που λαμβάνονται υπόψη κατά την ερμηνεία των αποτελεσμάτων· εντούτοις, η σύνθεση του δείγματος -με σημαντική συμμετοχή μηχανικών και ισόρροπη κατανομή ως προς την επαγγελματική εμπειρία- προσδίδει στα ευρήματα αξιοσημείωτη ενδεικτική αξία για τον κλάδο. Τα μεθοδολογικά χαρακτηριστικά και οι παραδοχές της έρευνας αναπτύσσονται αναλυτικά στην επόμενη ενότητα.

4.2 Ταυτότητα Έρευνας

Η παρούσα ενότητα παρουσιάζει τα μεθοδολογικά χαρακτηριστικά της έρευνας, ώστε να διασφαλίζεται η διαφάνεια και η ορθή ερμηνεία των ευρημάτων. Περιγράφονται ο ερευνητικός σχεδιασμός, το εργαλείο συλλογής δεδομένων, η διαδικασία δειγματοληψίας, το προφίλ των συμμετεχόντων και οι μέθοδοι στατιστικής επεξεργασίας.

4.2.1 Ερευνητικός Σχεδιασμός

Η έρευνα ακολούθησε ποσοτικό, συγχρονικό (cross-sectional) σχεδιασμό, με συλλογή δεδομένων σε μία περίοδο 10 ημερών μέσω αυτο-συμπληρούμενου, δομημένου ερωτηματολογίου (Saunders, Lewis & Thornhill, 2019). Ο συγχρονικός σχεδιασμός επιλέχθηκε διότι είναι κατάλληλος για την αποτύπωση στάσεων και αντιλήψεων ενός πληθυσμού σε δεδομένη περίοδο και επιτρέπει την οικονομική και ταχεία συλλογή μεγάλου όγκου δεδομένων. Το ερωτηματολόγιο διανεμήθηκε ηλεκτρονικά μέσω της πλατφόρμας Google Forms, καθώς και μέσω προσωπικών και επαγγελματικών δικτύων και πλατφορμών κοινωνικής δικτύωσης. Η χρήση διαδικτυακής φόρμας διασφάλισε την τυποποίηση της παρουσίασης των ερωτημάτων, την αποφυγή ελλείπων απαντήσεων μέσω υποχρεωτικών πεδίων, καθώς και την αυτόματη και απαλλαγμένη από σφάλματα μεταγραφής καταχώριση των δεδομένων (Dillman, Smyth & Christian, 2014).

Το εργαλείο σχεδιάστηκε με βάση τους ερευνητικούς στόχους και τη βιβλιογραφική επισκόπηση. Αποτελείται από κλειστού τύπου ερωτήματα, τα οποία διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: (α) ονομαστικές μεταβλητές για την καταγραφή του δημογραφικού προφίλ και του πλαισίου εργασίας, και (β) ερωτήματα στάσεων διατυπωμένα σε πεντάβαθμη κλίμακα Likert (Likert, 1932). Χρησιμοποιήθηκαν δύο εκδοχές της κλίμακας: μία κλίμακα συμφωνίας («Διαφωνώ απόλυτα» έως «Συμφωνώ απόλυτα») για τα ερωτήματα που αφορούν τη συμβολή πρακτικών και την ευαισθητοποίηση, και μία κλίμακα σπουδαιότητας («Καθόλου σημαντικό» έως «Πολύ σημαντικό») για τα ερωτήματα αξιολόγησης επιπτώσεων, εμποδίων και παραγόντων αποτυπώματος. Για τις ανάγκες της ποσοτικής επεξεργασίας, οι λεκτικές βαθμίδες κωδικοποιήθηκαν αριθμητικά από το 1 (μικρότερη συμφωνία/σπουδαιότητα) έως το 5 (μέγιστη συμφωνία/σπουδαιότητα).

Πέρα από τον σχεδιασμό της κλίμακας, καθοριστικής σημασίας για την εγκυρότητα του εργαλείου υπήρξε η απευθείας θεμελίωση των ερωτημάτων στη βιβλιογραφία και στο θεσμικό πλαίσιο. Η αντιστοίχιση κάθε θεματικής ενότητας του ερωτηματολογίου με τα ευρήματα της

συστηματικής ανασκόπησης (Κεφάλαιο 3) παρουσιάζεται στη συνέχεια και τεκμηριώνει τη συγκριτική ερμηνεία των αποτελεσμάτων που ακολουθούν.

Η επιλογή και η διατύπωση των ερωτημάτων δεν ήταν αυθαίρετη, αλλά προέκυψε άμεσα από τα ευρήματα της συστηματικής βιβλιογραφικής ανασκόπησης (Κεφάλαιο 3) και από το θεσμικό πλαίσιο (ISO 14001:2015). Κάθε θεματική ενότητα του ερωτηματολογίου αντιστοιχεί σε μία ή περισσότερες θεματικές κατηγορίες που αναδείχθηκαν στην ανασκόπηση, ώστε η εμπειρική έρευνα να ελέγχει εμπειρικά τις διαπιστώσεις της βιβλιογραφίας. Η αντιστοίχιση συνοψίζεται στον Πίνακα που ακολουθεί.

Ενότητα ερωτηματολογίου	Θεματική προέλευση (Κεφ. 3)	Ενδεικτικές πηγές τεκμηρίωσης
Β. Συμβολή πρακτικών (15 πρακτικές)	3.4.1–3.4.6 (όλα τα θέματα)	Balasbaneh 2025· Shajidha & Mortula 2025· Fan 2025· Xu 2025· Li 2025· Guo 2026· Mrak 2025· Bakkass 2025
Γ. Σπουδαιότητα επιπτώσεων (αέρας, θόρυβος, απόβλητα)	3.4.1 (εκπομπές)· 3.4.2 (απόβλητα)	Shin 2025· Fan 2025· Tetik 2025· Huang 2025· Kim 2025· Balasbaneh 2025· Hasselsteen 2025
Δ. Εμπόδια (κόστος, χρόνος, νομοθεσία)	3.4.5 (θεσμικά/οργανωτικά εμπόδια)	Gu 2023· Luo 2022· Mavi 2021· Moustafa 2025· Geng 2026
Ε. Παράγοντες αποτυπώματος (μεταφορές, δρομολόγια, προμηθευτές)	3.4.1 & 3.4.6 (εφοδιαστική, ενσωματωμένος άνθρακας)	Xu 2025· Wang 2024· Li 2025· Sandaruwan 2025
ΣΤ. Ευαισθητοποίηση & μέλλον (ενημέρωση, εκπαίδευση, έλεγχοι)	3.4.5 (EMS, κουλτούρα, αξιολόγηση)	Salamé 2025· Bakkass 2025· Mavi 2021· Mrak 2025· Ahmed 2024

Πίνακας 7. Αντιστοίχιση βιβλιογραφίας με θεματικές ενότητες ερωτηματολογίου.

Αναλυτικότερα, η αντιστοίχιση αυτή διαπερνά και τις έξι θεματικές ενότητες του εργαλείου. Οι δεκαπέντε πρακτικές της Ενότητας Β αντλήθηκαν απευθείας από τα έξι θέματα της ανασκόπησης: ο διαχωρισμός και η ανακύκλωση αποβλήτων από τους Balasbaneh et al. (2025) και Shajidha & Mortula (2025)· ο έλεγχος καυσίμων και τα μηχανήματα χαμηλής κατανάλωσης από τους Fan et al. (2025) και Shin et al. (2025)· τα ψηφιακά εργαλεία παρακολούθησης από τους Li et al. (2025), Guo et al. (2026) και Sandaruwan et al. (2025)· και τα οργανωτικά μέτρα (ορισμός υπευθύνων, μέτρηση δεικτών, διαδικασίες κινδύνου) από τους

Mrak et al. (2025), Ahmed et al. (2024) και Bakkass et al. (2025), σε αντιστοιχία με τις απαιτήσεις του ISO 14001:2015. Η Ενότητα Γ (σπουδαιότητα επιπτώσεων) στηρίχθηκε στην αναγνώριση των αέριων εκπομπών (Shin et al., 2025· Fan et al., 2025· Tetik et al., 2025), του θορύβου (Huang et al., 2025), της σκόνης (Kim et al., 2025· Li & Han, 2024) και των αποβλήτων (Balasbaneh et al., 2025· Hasselsteen et al., 2025) ως κύριων οχλήσεων του εργοταξίου. Η Ενότητα Δ (εμπόδια) διαμορφώθηκε με βάση τις μελέτες που εντοπίζουν το υψηλό κόστος (Gu et al., 2023· Luo et al., 2022), τα θεσμικά και πολιτικά κενά και την ανεπαρκή περιβαλλοντική κουλτούρα (Mavi et al., 2021· Moustafa et al., 2025), καθώς και τα τεχνικά εμπόδια της ψηφιοποίησης (Geng et al., 2026). Η Ενότητα Ε (παράγοντες αποτυπώματος) τεκμηριώθηκε από τους Xu et al. (2025) και Wang et al. (2024), που αναδεικνύουν τη βαρύτητα των μεταφορών, της εφοδιαστικής και του ενσωματωμένου άνθρακα, καθώς και από τους Li et al. (2025) και Sandaruwan et al. (2025). Τέλος, η Ενότητα ΣΤ (ευαισθητοποίηση και μέλλον) προέκυψε από τις μελέτες που τονίζουν τον ρόλο της εσωτερικής επικοινωνίας και των συστημάτων περιβαλλοντικής διαχείρισης (Salamé et al., 2025· Bakkass et al., 2025), της εκπαίδευσης και της περιβαλλοντικής κουλτούρας (Mavi et al., 2021) και της συστηματικής αξιολόγησης μέσω δεικτών (Mrak et al., 2025· Ahmed et al., 2024). Με τον τρόπο αυτό διασφαλίστηκε η εγκυρότητα περιεχομένου του ερωτηματολογίου, καθώς κάθε ερώτημα αντλεί τη θεμελίωσή του από τεκμηριωμένα ευρήματα της βιβλιογραφίας και από το ισχύον θεσμικό πλαίσιο.

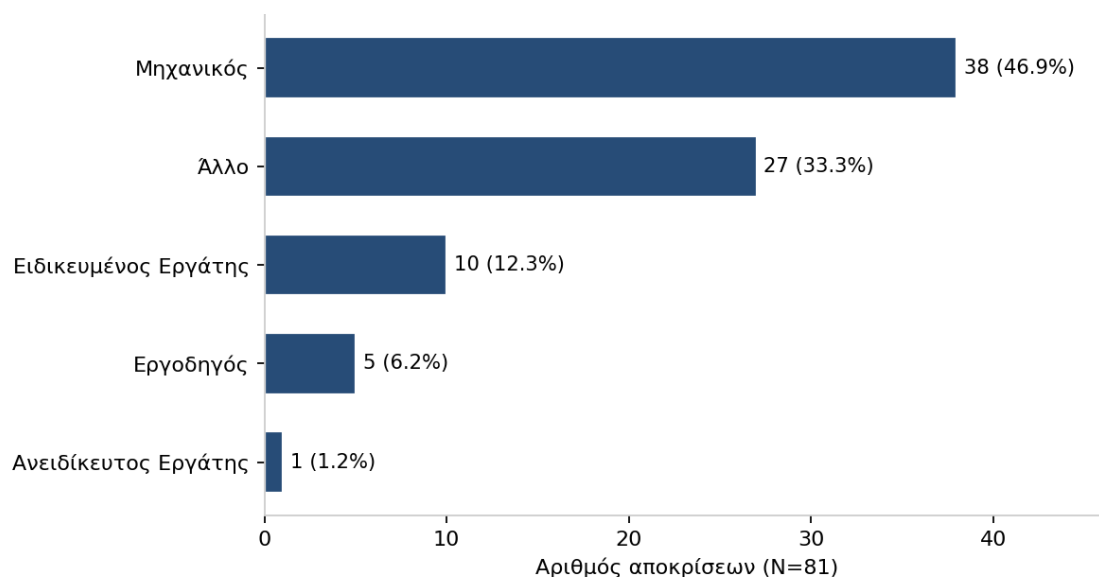
4.2.2 Πληθυσμός, Δειγματοληψία και Μέγεθος Δείγματος

Πληθυσμό αναφοράς της έρευνας αποτελούν οι επαγγελματίες που εμπλέκονται στην υλοποίηση τεχνικών έργων και στη λειτουργία εργοταξίων (μηχανικοί, εργοδηγοί, ειδικευμένο και τεχνικό προσωπικό). Λόγω της δυσκολίας προσδιορισμού ενός πλήρους δειγματοληπτικού πλαισίου για τον πληθυσμό αυτόν, εφαρμόστηκε μη πιθανοτική δειγματοληψία, ενισχυμένη με στοιχεία δειγματοληψίας χιονοστιβάδας μέσω της διάδοσης του συνδέσμου του ερωτηματολογίου σε επαγγελματικά δίκτυα (Cohen, Manion & Morrison, 2018). Συγκεντρώθηκαν συνολικά 81 έγκυρες, πλήρως συμπληρωμένες απαντήσεις (N = 81), χωρίς ελλείπουσες τιμές σε καμία μεταβλητή, γεγονός που οφείλεται στον σχεδιασμό της φόρμας με υποχρεωτικά πεδία. Το μέγεθος αυτό κρίνεται επαρκές για την εφαρμογή περιγραφικής στατιστικής ανάλυσης και την εξαγωγή ενδεικτικών συμπερασμάτων, με την επιφύλαξη ότι δεν επιτρέπει στατιστική γενίκευση στο σύνολο του πληθυσμού.

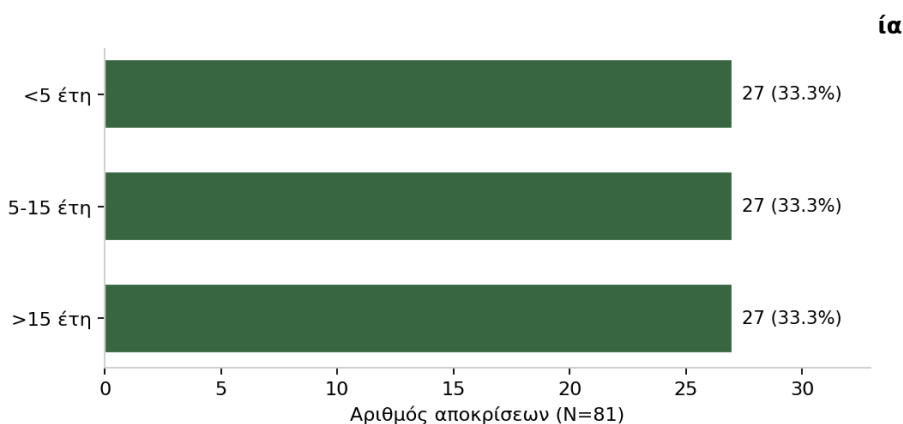
4.2.3 Προφίλ του Δείγματος

Η σύνθεση του δείγματος ως προς τα δημογραφικά και επαγγελματικά χαρακτηριστικά παρουσιάζεται συγκεντρωτικά στον Πίνακα 5 και απεικονίζεται γραφικά στα Σχήματα 7 έως 10. Ως προς τη θέση εργασίας, η πλειονότητα των συμμετεχόντων είναι μηχανικοί (38 άτομα, 46,9%), ενώ σημαντικό μερίδιο καταλαμβάνει η κατηγορία «Άλλο» (27 άτομα, 33,3%), η οποία περιλαμβάνει ρόλους που δεν εντάσσονται στις προκαθορισμένες βαθμίδες. Ακολουθούν οι ειδικευμένοι εργάτες (10 άτομα, 12,3%), οι εργοδηγοί (5 άτομα, 6,2%) και ένας ανειδίκευτος εργάτης (1,2%). Η υψηλή εκπροσώπηση των μηχανικών είναι σημαντική για τους σκοπούς της έρευνας, καθώς οι μηχανικοί διαμορφώνουν σε μεγάλο βαθμό τις αποφάσεις περιβαλλοντικής διαχείρισης στο εργοτάξιο.

Η κατηγορία «Άλλο» στη μεταβλητή της θέσης εργασίας (27 άτομα, 33,3%) εισήχθη ως ανοικτή επιλογή προκειμένου να συμπεριληφθούν επαγγελματικοί ρόλοι που εμπλέκονται στη λειτουργία ή στη διοίκηση τεχνικών έργων αλλά δεν εντάσσονται στις προκαθορισμένες βαθμίδες (μηχανικός, εργοδηγός, ειδικευμένος/ανειδίκευτος εργάτης). Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει κυρίως [project/site managers, στελέχη τεχνικού γραφείου, τεχνικούς ασφαλείας, υπεύθυνους ποιότητας, επιμετρητές, στελέχη προμηθειών, καθώς και διοικητικά/ακαδημαϊκά στελέχη]. Η σημαντική παρουσία της κατηγορίας αυτής (ένας στους τρεις συμμετέχοντες) δεν αποδυναμώνει την έρευνα· αντιθέτως, διευρύνει το φάσμα των οπτικών πέρα από την «κλασική» τεχνική ιεραρχία του εργοταξίου, ενσωματώνοντας ρόλους σχεδιασμού, εποπτείας, συμμόρφωσης και διοίκησης που επηρεάζουν εξίσου τις περιβαλλοντικές αποφάσεις. Δεδομένου ότι αρκετοί από τους ρόλους αυτούς λαμβάνουν ή επηρεάζουν στρατηγικές αποφάσεις, η συμπερίληψή τους ενισχύει την εγκυρότητα των ευρημάτων ως προς τη διαχειριστική διάσταση της βιωσιμότητας.



Σχήμα 7. Κατανομή του δείγματος κατά θέση εργασίας (N = 81).

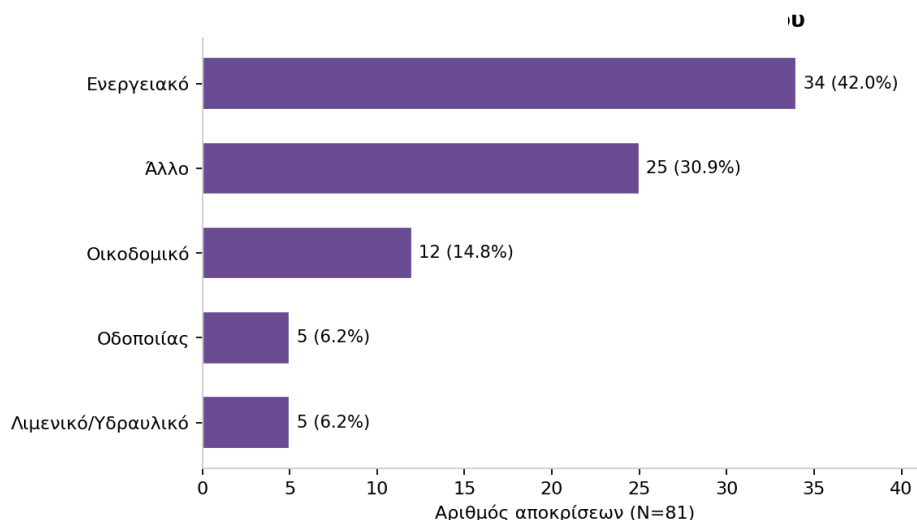


Σχήμα 8. Κατανομή του δείγματος κατά εύρος επαγγελματικής εμπειρίας (N = 81).

Ιδιαίτερο μεθοδολογικό πλεονέκτημα του δείγματος αποτελεί η απολύτως ισόρροπη κατανομή ως προς την επαγγελματική εμπειρία: οι τρεις κατηγορίες («κάτω των 5 ετών», «5–15 έτη» και «άνω των 15 ετών») εκπροσωπούνται από 27 άτομα η καθεμία (33,3%). Η ισοκατανομή αυτή ενισχύει τη δυνατότητα ισόρροπης αποτύπωσης τόσο των απόψεων νεότερων επαγγελματιών όσο και των έμπειρων στελεχών, μειώνοντας τον κίνδυνο μεροληψίας λόγω υπερεκπροσώπησης μιας ηλικιακής ή εμπειρικής ομάδας.

Ως προς το είδος του έργου στο οποίο δραστηριοποιούνται οι συμμετέχοντες, υπερτερούν τα ενεργειακά έργα (34 άτομα, 42,0%), ακολουθούμενα από την κατηγορία «Άλλο» (25 άτομα,

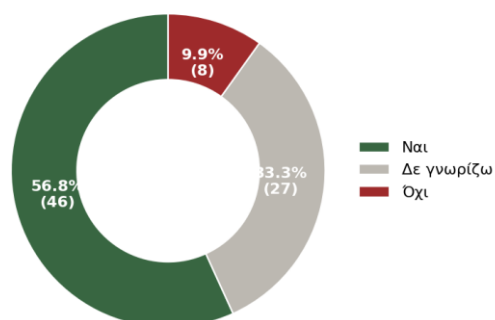
30,9%), τα οικοδομικά έργα (12 άτομα, 14,8%), και, με ισάριθμη εκπροσώπηση, τα έργα οδοποιίας και τα λιμενικά/υδραυλικά έργα (5 άτομα έκαστο, 6,2%). Η σημαντική παρουσία επαγγελματιών από τον τομέα των ενεργειακών έργων είναι αναμενόμενη, δεδομένης της στενής σύνδεσης του κλάδου με ζητήματα βιωσιμότητας και ενεργειακής μετάβασης.



Σχήμα 9. Κατανομή του δείγματος κατά είδος έργου (N = 81).

Καθοριστικής σημασίας για τη συγκριτική ερμηνεία των αποτελεσμάτων είναι το ερώτημα σχετικά με την ύπαρξη συστήματος περιβαλλοντικής διαχείρισης (π.χ. ISO 14001) στην εταιρεία του αποκρινόμενου. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.4, το 56,8% (46 άτομα) δηλώνει ότι εφαρμόζεται τέτοιο σύστημα, ενώ μόλις το 9,9% (8 άτομα) απαντά αρνητικά. Αξιοσημείωτο είναι το ποσοστό 33,3% (27 άτομα) που δηλώνει άγνοια. Το εύρημα αυτό είναι ενδεικτικό ενός ελλείμματος εσωτερικής επικοινωνίας και ευαισθητοποίησης: ένας στους τρεις εργαζόμενους δεν γνωρίζει εάν στο εργασιακό του περιβάλλον λειτουργεί πιστοποιημένο σύστημα περιβαλλοντικής διαχείρισης, γεγονός που συνδέεται άμεσα με τα ευρήματα της Ενότητας 4.4 σχετικά με την ανάγκη ενημέρωσης και εκπαίδευσης.

1)



Σχήμα 10. Ύπαρξη Συστήματος Περιβαλλοντικής Διαχείρισης (π.χ. ISO 14001) στην εταιρεία.

Χαρακτηριστικό / Κατηγορία	Συχνότητα (n)	Ποσοστό (%)
Θέση εργασίας		
Μηχανικός	38	46.9
Άλλο	27	33.3
Ειδικευμένος Εργάτης	10	12.3
Εργοδηγός	5	6.2
Ανειδίκευτος Εργάτης	1	1.2
Επαγγελματική εμπειρία		
<5 έτη	27	33.3
5-15 έτη	27	33.3
>15 έτη	27	33.3
Είδος έργου		
Ενεργειακό	34	42.0

Χαρακτηριστικό / Κατηγορία	Συχνότητα (n)	Ποσοστό (%)
Άλλο	25	30.9
Οικοδομικό	12	14.8
Οδοποιίας	5	6.2
Λιμενικό/Υδραυλικό	5	6.2
Σύστημα Περιβαλλοντικής Διαχείρισης (ISO 14001)		
Ναι	46	56.8
Δε γνωρίζω	27	33.3
Όχι	8	9.9

Πίνακας 5. Δημογραφικά και επαγγελματικά χαρακτηριστικά του δείγματος (N = 81).

4.2.4 Μέθοδοι Στατιστικής Επεξεργασίας και Ζητήματα Εγκυρότητας

Τα δεδομένα υποβλήθηκαν σε περιγραφική στατιστική ανάλυση. Για τις δημογραφικές μεταβλητές υπολογίστηκαν απόλυτες και σχετικές συχνότητες, ενώ για τα ερωτήματα στάσεων χρησιμοποιήθηκαν μέτρα κεντρικής τάσης (αριθμητικός μέσος όρος, διάμεσος) και διασποράς (τυπική απόκλιση), σε συνδυασμό με την πλήρη κατανομή των συχνοτήτων ανά βαθμίδα της κλίμακας. Η αντιμετώπιση των κλιμάκων Likert ως ψευδο-διαστηματικών για τον υπολογισμό μέσων όρων αποτελεί ευρέως διαδεδομένη πρακτική στην έρευνα στάσεων, υπό την προϋπόθεση ότι συνοδεύεται από την παρουσίαση της κατανομής των συχνοτήτων, ώστε να μην αποκρύπτεται η πολυτροπικότητα των απαντήσεων (Boone & Boone, 2012· Field, 2018). Στην παρούσα εργασία τηρείται η σύσταση αυτή, με την ταυτόχρονη παράθεση μέσων όρων, τυπικών αποκλίσεων και σωρευτικών ραβδογραμμάτων.

Η εγκυρότητα περιεχομένου του εργαλείου διασφαλίστηκε μέσω της παραγωγής των ερωτημάτων απευθείας από τη βιβλιογραφική επισκόπηση και το θεσμικό πλαίσιο, καθώς και μέσω της θεματικής ομαδοποίησής τους σε συνεκτικούς άξονες. Η ομαδοποίηση των μεταβλητών σε εννοιολογικά συναφείς ενότητες ενισχύει τη δομική συνοχή του ερωτηματολογίου. Ως προς τους περιορισμούς, αναγνωρίζεται ότι η μη πιθανοτική

δειγματοληψία και το μέγεθος του δείγματος περιορίζουν τη δυνατότητα γενίκευσης, ενώ η αυτο-αναφορά ενδέχεται να εισάγει μεροληψία κοινωνικής επιθυμητότητας. Οι περιορισμοί αυτοί λαμβάνονται υπόψη στην ερμηνεία και δεν αναιρούν την ενδεικτική αξία των ευρημάτων.

4.3 Περιγραφή Ερωτημάτων Ερωτηματολογίου

Το ερωτηματολόγιο δομήθηκε σε έξι θεματικές ενότητες, οι οποίες αντανακλούν τους ερευνητικούς στόχους που τέθηκαν στην Ενότητα 4.1 και ακολουθούν λογική ροή από το γενικό προς το ειδικό: από την ταυτοποίηση του προφίλ του αποκρινόμενου, προς την αξιολόγηση συγκεκριμένων πρακτικών, επιπτώσεων, εμποδίων και παραγόντων, και, τέλος, προς τη διερεύνηση στάσεων ευαισθητοποίησης και μελλοντικών προσδοκιών. Η συνολική δομή συνοψίζεται στον Πίνακα 6 καθώς και στο Παράρτημα Α.

Ενότητα	Θεματικό αντικείμενο	Ερωτήματα	Τύπος κλίμακας
A	Δημογραφικά / προφίλ συμμετέχοντα και έργου	4	Κλειστού τύπου (ονομαστική)
B	Συμβολή πρακτικών στην περιβαλλοντική διαχείριση & βιωσιμότητα	15	Likert 5 βαθμίδων (συμφωνία)
Γ	Σπουδαιότητα περιβαλλοντικών επιπτώσεων εργοταξίου	3	Likert 5 βαθμίδων (σπουδαιότητα)
Δ	Σπουδαιότητα εμποδίων εφαρμογής βιώσιμων πρακτικών	3	Likert 5 βαθμίδων (σπουδαιότητα)
E	Παράγοντες περιβαλλοντικού αποτυπώματος	3	Likert 5 βαθμίδων (σπουδαιότητα)
ΣΤ	Περιβαλλοντική ευαισθητοποίηση & μελλοντική διαχείριση	6	Likert 5 βαθμίδων (συμφωνία)

Πίνακας 6. Δομή του ερωτηματολογίου ανά θεματική ενότητα.

Προφίλ συμμετέχοντα και έργου

Η πρώτη ενότητα περιλαμβάνει τέσσερα κλειστού τύπου ερωτήματα. Το πρώτο καταγράφει τη θέση εργασίας, επιτρέποντας τη διάκριση μεταξύ μηχανικών, εργοδηγών, ειδικευμένων και

ανειδίκευτων εργατών, καθώς και μιας ανοιχτής κατηγορίας «Άλλο». Το δεύτερο αποτυπώνει το εύρος της συνολικής επαγγελματικής εμπειρίας σε τρεις βαθμίδες, παρέχοντας μια έμμεση ένδειξη της εξοικείωσης του αποκρινόμενου με τις εργοταξιακές διαδικασίες. Το τρίτο προσδιορίζει το είδος του έργου, στοιχείο που επιτρέπει τη συγκριμενοποίηση των απαντήσεων ανάλογα με τη φύση των κατασκευαστικών δραστηριοτήτων. Το τέταρτο ερώτημα, σχετικά με την ύπαρξη συστήματος περιβαλλοντικής διαχείρισης (π.χ. ISO 14001:2015), λειτουργεί ως δείκτης της θεσμικής ωριμότητας του εργασιακού πλαισίου και διασυνδέει το προφίλ με την ουσία της έρευνας.

Συμβολή πρακτικών στην περιβαλλοντική διαχείριση

Η δεύτερη και εκτενέστερη ενότητα περιλαμβάνει δεκαπέντε δηλώσεις, στις οποίες ο αποκρινόμενος καλείται να εκφράσει τον βαθμό συμφωνίας του ως προς τη συμβολή της κάθε πρακτικής στη βελτίωση της περιβαλλοντικής διαχείρισης και της βιωσιμότητας του εργοταξίου. Οι πρακτικές καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα παρεμβάσεων: μέτρα μείωσης θορύβου, έλεγχο κατανάλωσης καυσίμων, ασφαλή διαχείριση επικίνδυνων υλικών, διαχωρισμό και ανακύκλωση αποβλήτων, συνεργασία με αδειοδοτημένους φορείς, εξοικονόμηση ενέργειας και νερού, χρήση μηχανημάτων χαμηλής κατανάλωσης, αξιοποίηση ψηφιακών εργαλείων και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τεχνολογίες περιορισμού σκόνης και θορύβου, καθώς και οργανωτικά μέτρα όπως ο ορισμός υπευθύνων, η μέτρηση περιβαλλοντικών δεικτών και η εφαρμογή διαδικασιών αντιμετώπισης κινδύνων.

Σπουδαιότητα περιβαλλοντικών επιπτώσεων

Η τρίτη ενότητα εστιάζει στην αντιλαμβανόμενη σπουδαιότητα τριών βασικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων του εργοταξίου: της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από μηχανήματα και οχήματα, της ηχορύπανσης από εργασίες και εξοπλισμό, και της παραγωγής μεγάλου όγκου αποβλήτων. Τα ερωτήματα διατυπώθηκαν σε κλίμακα σπουδαιότητας, με στόχο την ιεράρχηση των επιπτώσεων από τη σκοπιά των επαγγελματιών του πεδίου και τη σύγκριση της κατάταξης αυτής με τις προτεραιότητες που αναδεικνύονται στην Ενότητα Β.

Εμπόδια εφαρμογής βιώσιμων πρακτικών

Η τέταρτη ενότητα διερευνά τη σπουδαιότητα τριών δυνητικών εμποδίων στην εφαρμογή βιώσιμων πρακτικών: του υψηλού κόστους εφαρμογής των μέτρων, του περιορισμένου χρόνου υλοποίησης των έργων και της ελλιπούς περιβαλλοντικής νομοθεσίας ή ελέγχου. Τα εμπόδια αυτά εκπροσωπούν αντίστοιχα την οικονομική, τη χρονική/λειτουργική και τη θεσμική

διάσταση των περιορισμών που συναντώνται στην πράξη, παρέχοντας έτσι μια ολοκληρωμένη εικόνα των ανασταλτικών παραγόντων.

Παράγοντες περιβαλλοντικού αποτυπώματος

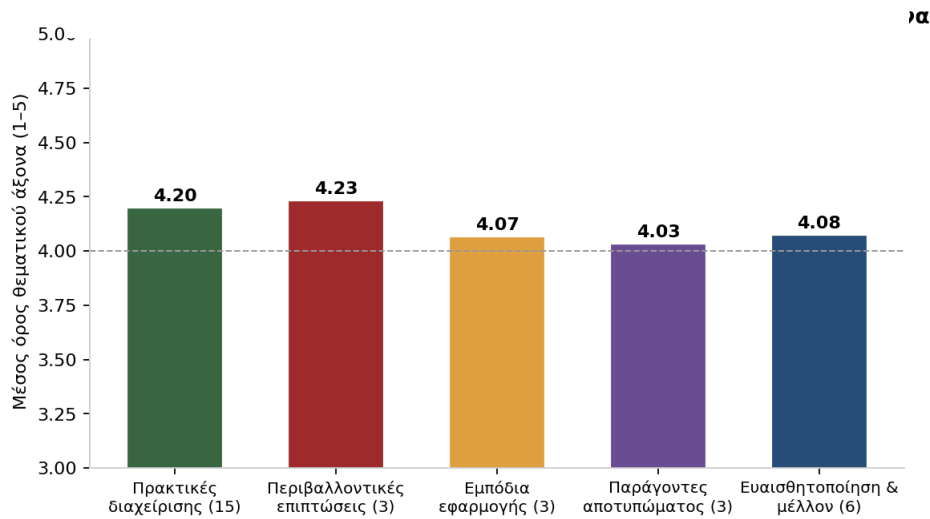
Η πέμπτη ενότητα εστιάζει ειδικότερα στο περιβαλλοντικό αποτύπωμα και περιλαμβάνει τρεις παράγοντες: τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) από τις μεταφορές υλικών, τον ορθό προγραμματισμό δρομολογίων για τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμων και την επιλογή προμηθευτών με περιβαλλοντικά κριτήρια. Η ενότητα αυτή συνδέει το εργοτάξιο με την ευρύτερη εφοδιαστική αλυσίδα, αναγνωρίζοντας ότι σημαντικό μέρος του αποτυπώματος προκύπτει από δραστηριότητες εκτός των στενών ορίων του.

Εναισθητοποίηση και μελλοντική διαχείριση

Η έκτη ενότητα περιλαμβάνει έξι δηλώσεις σε κλίμακα συμφωνίας, οι οποίες διερευνούν το επίπεδο ενημέρωσης για ορθές περιβαλλοντικές πρακτικές, τον βαθμό ενθάρρυνσης υπεύθυνης συμπεριφοράς από τη διοίκηση, την ανάγκη μεγαλύτερης εκπαίδευσης του προσωπικού, την απαίτηση για αυστηρότερους ελέγχους, την προσδοκία ότι η περιβαλλοντική διαχείριση θα αποτελέσει βασικό κριτήριο στα μελλοντικά έργα και, τέλος, τον ρόλο της κρατικής υποστήριξης. Η ενότητα αυτή μετατοπίζει την εστίαση από την τεχνική στη θεσμική και ανθρώπινη διάσταση της βιωσιμότητας, αποτυπώνοντας τόσο την υφιστάμενη κατάσταση όσο και τις προσδοκίες για το μέλλον του κλάδου.

4.4 Ανάλυση Αποτελεσμάτων

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται και ερμηνεύονται τα αποτελέσματα της έρευνας ανά θεματικό άξονα. Για κάθε ερώτημα παρατίθενται οι συχνότητες των απαντήσεων ανά βαθμίδα της κλίμακας, ο μέσος όρος (Μ.Ο.) και η τυπική απόκλιση (Τ.Α.), ενώ τα ευρήματα οπτικοποιούνται μέσω σωρευτικών ραβδογραμμάτων. Ως κατώφλι ισχυρά θετικής αποδοχής υιοθετείται το ποσοστό των δύο ανώτερων βαθμίδων («Συμφωνώ»/«Συμφωνώ απόλυτα» ή «Αρκετά»/«Πολύ σημαντικό»). Πριν από την κατά ενότητα ανάλυση, το Σχήμα 11 παρέχει μια συγκριτική επισκόπηση των μέσων όρων ανά θεματικό άξονα.

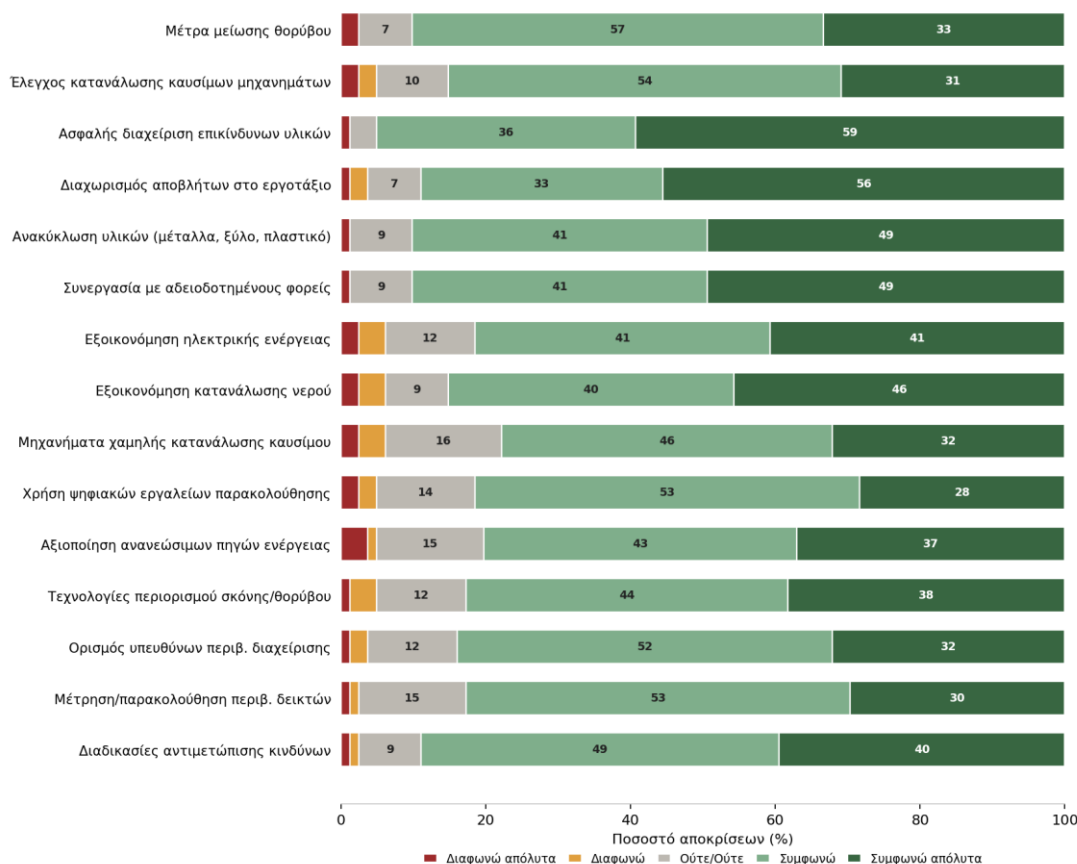


Σχήμα 11. Συγκριτική επισκόπηση μέσω όρων ανά θεματικό άξονα (κλίμακα 1–5).

Όπως προκύπτει από την επισκόπηση, και οι πέντε θεματικοί άξονες κινούνται σαφώς πάνω από το θεωρητικό ουδέτερο σημείο (τιμή 3). Ο άξονας των πρακτικών διαχείρισης συγκεντρώνει τον υψηλότερο συνολικό μέσο όρο, γεγονός που υποδηλώνει ισχυρή, σχεδόν ομόφωνη αναγνώριση της αξίας των επιμέρους μέτρων. Ακολουθεί η ομάδα των επιπτώσεων και των εμποδίων, ενώ ο άξονας της ευαισθητοποίησης, αν και θετικός, εμφανίζει τη μεγαλύτερη εσωτερική διακύμανση, όπως αναλύεται παρακάτω.

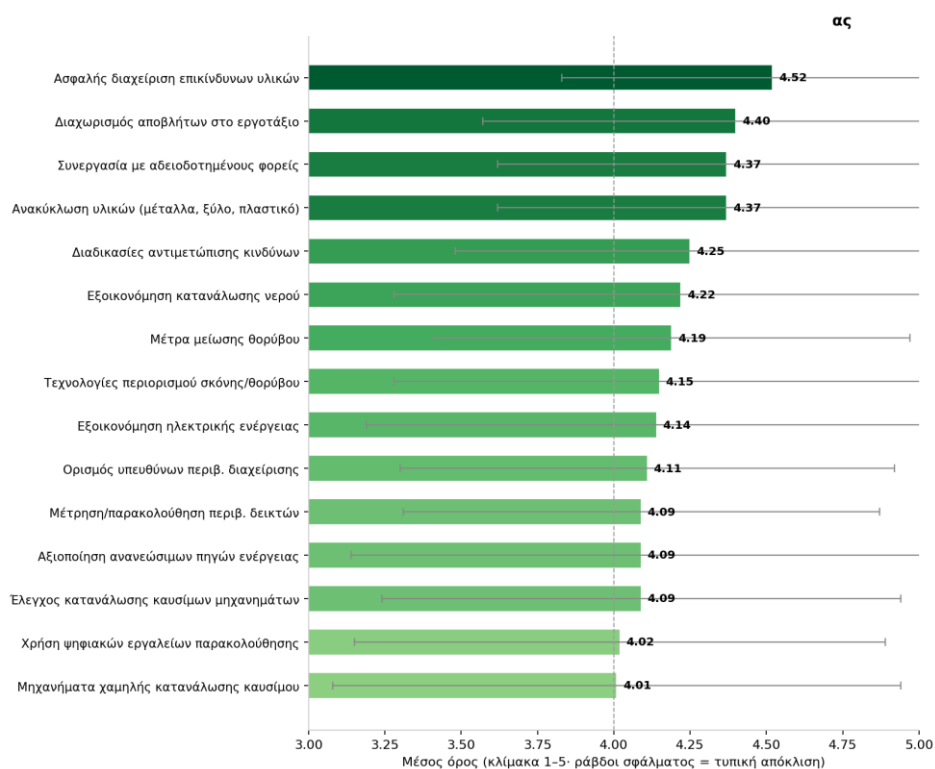
4.4.1 Συμβολή Πρακτικών στην Περιβαλλοντική Διαχείριση

Η ανάλυση των δεκαπέντε πρακτικών αποκαλύπτει εξαιρετικά υψηλά επίπεδα συμφωνίας ως προς τη συμβολή τους στη βιωσιμότητα του εργοταξίου. Όλες οι πρακτικές εμφανίζουν μέσο όρο άνω του 4,0, με μοναδική οριακή εξαίρεση τα μηχανήματα χαμηλής κατανάλωσης (Μ.Ο. = 4,01). Η υψηλότερη αποδοχή καταγράφεται για την τήρηση διαδικασιών ασφαλούς διαχείρισης επικίνδυνων υλικών (Μ.Ο. = 4,52· 95,1% θετικές απαντήσεις), ακολουθούμενη από τον διαχωρισμό αποβλήτων (Μ.Ο. = 4,40) και, ισόβαθμα, την ανακύκλωση υλικών και τη συνεργασία με αδειοδοτημένους φορείς διαχείρισης αποβλήτων (Μ.Ο. = 4,37 αμφότερες). Η συγκέντρωση των κορυφαίων θέσεων σε πρακτικές που σχετίζονται με τη διαχείριση αποβλήτων και επικίνδυνων υλικών υποδηλώνει ότι οι επαγγελματίες του κλάδου αναγνωρίζουν πρωτίστως τις παρεμβάσεις με άμεσο, ορατό και ρυθμιστικά κατοχυρωμένο αποτέλεσμα.



Σχήμα 12. Κατανομή απαντήσεων για τη συμβολή των δεκαπέντε πρακτικών (% επί N = 81).

Στον αντίποδα, οι πρακτικές με τη χαμηλότερη —αν και πάντοτε υψηλή— αποδοχή είναι η χρήση μηχανημάτων χαμηλής κατανάλωσης καυσίμου (Μ.Ο. = 4,01), η αξιοποίηση ψηφιακών εργαλείων παρακολούθησης (Μ.Ο. = 4,02) και η αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Μ.Ο. = 4,09). Είναι ενδιαφέρον ότι οι πρακτικές αυτές, οι οποίες απαιτούν συνήθως υψηλότερες κεφαλαιουχικές δαπάνες ή τεχνολογική ωριμότητα, συγκεντρώνουν τα μεγαλύτερα ποσοστά ουδέτερων απαντήσεων (έως 16% στην περίπτωση των μηχανημάτων χαμηλής κατανάλωσης). Το εύρημα αυτό είναι συνεπές με την ανάδειξη του κόστους ως κυρίαρχου εμποδίου στην Ενότητα Δ και υποδηλώνει μια ρεαλιστική επιφυλακτικότητα απέναντι σε παρεμβάσεις με αβέβαιη ή έμμεση απόδοση. Η σχετική ιεράρχηση όλων των πρακτικών, μαζί με τις τυπικές αποκλίσεις, αποτυπώνεται στο Σχήμα 13.



Σχήμα 13. Ιεράρχηση των δεκαπέντε πρακτικών κατά μέσο όρο συμφωνίας (ράβδοι σφάλματος: τυπική απόκλιση).

Δήλωση	Δ.Α.	Δ.	Ο/Ο	Σ.	Σ.Α.	Μ.Ο.	Τ.Α.
Μέτρα μείωσης θορύβου	2	0	6	46	27	4.19	0.78
Έλεγχος κατανάλωσης καυσίμων μηχανημάτων	2	2	8	44	25	4.09	0.85
Ασφαλής διαχείριση επικίνδυνων υλικών	1	0	3	29	48	4.52	0.69
Διαχωρισμός αποβλήτων στο εργοτάξιο	1	2	6	27	45	4.40	0.83
Ανακύκλωση υλικών (μέταλλα, ξύλο, πλαστικό)	1	0	7	33	40	4.37	0.75
Συνεργασία με αδειοδοτημένους φορείς	1	0	7	33	40	4.37	0.75
Εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας	2	3	10	33	33	4.14	0.95
Εξοικονόμηση κατανάλωσης νερού	2	3	7	32	37	4.22	0.94

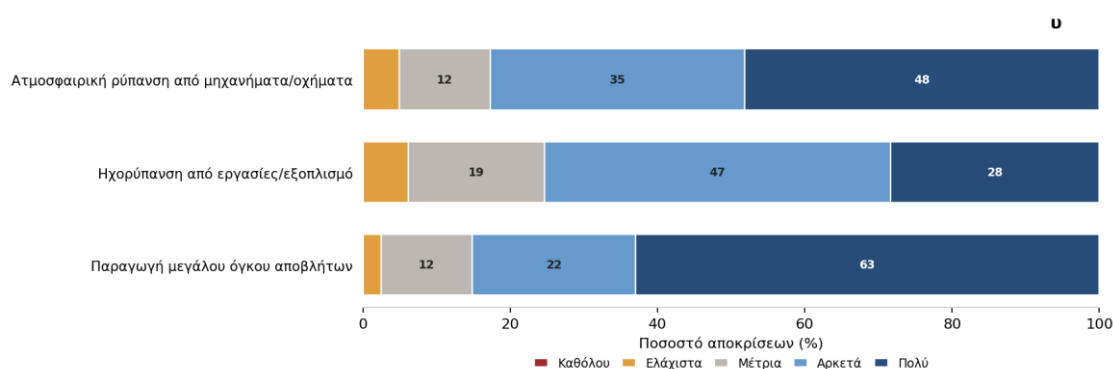
Δήλωση	Δ.Α.	Δ.	Ο/Ο	Σ.	Σ.Α.	Μ.Ο.	Τ.Α.
Μηχανήματα χαμηλής κατανάλωσης καυσίμου	2	3	13	37	26	4.01	0.93
Χρήση ψηφιακών εργαλείων παρακολούθησης	2	2	11	43	23	4.02	0.87
Αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας	3	1	12	35	30	4.09	0.95
Τεχνολογίες περιορισμού σκόνης/θορύβου	1	3	10	36	31	4.15	0.87
Ορισμός υπευθύνων περιβ. διαχείρισης	1	2	10	42	26	4.11	0.81
Μέτρηση/παρακολούθηση περιβ. δεικτών	1	1	12	43	24	4.09	0.78
Διαδικασίες αντιμετώπισης κινδύνων	1	1	7	40	32	4.25	0.77

Πίνακας 8. Κατανομή συχνοτήτων, μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις των πρακτικών.

Η συγκέντρωση των κορυφαίων θέσεων σε πρακτικές διαχείρισης αποβλήτων και επικίνδυνων υλικών (Μ.Ο.=4,52 και 4,37–4,40) είναι, σε μεγάλο βαθμό, αναμενόμενη και επιδέχεται μια διττή εξήγηση. Πρώτον, πρόκειται για πρακτικές με άμεσο, ορατό και ρυθμιστικά κατοχυρωμένο αποτέλεσμα: η νομοθεσία για τα επικίνδυνα υλικά και τα ΑΕΚΚ είναι σαφής και ελέγξιμη, με συνέπεια οι επαγγελματίες να τις αντιλαμβάνονται ως «αυτονόητες». Δεύτερον, το εύρημα επιβεβαιώνει εμπειρικά τη βιβλιογραφική διαπίστωση των Balasbaneh et al. (2025) και Shajidha & Mortula (2025) ότι η διαχείριση αποβλήτων αποτελεί τον πιο απτό μοχλό περιβαλλοντικής βελτίωσης στο εργοτάξιο. Αντιθέτως, οι χαμηλότερες (αν και υψηλές) βαθμολογίες των πρακτικών έντασης κεφαλαίου —μηχανήματα χαμηλής κατανάλωσης (4,01), ψηφιακά εργαλεία (4,02), ΑΠΕ (4,09)— και τα αυξημένα ποσοστά ουδέτερων απαντήσεων σε αυτές (13–16%) δεν υποδηλώνουν αμφισβήτηση της αξίας τους, αλλά ρεαλιστική επιφυλακτικότητα ως προς τη σκοπιμότητα/απόδοση της επένδυσης. Η ερμηνεία αυτή είναι εσωτερικά συνεκτική με την ανάδειξη του κόστους ως κορυφαίου εμποδίου (Ενότητα Δ) και αντηχεί τα ευρήματα των Gu et al. (2023) και Luo et al. (2022) για τον ανασταλτικό ρόλο του υψηλού αρχικού κόστους και της αβεβαιότητας απόδοσης.

4.4.2 Σπουδαιότητα Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων

Ως προς τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, η παραγωγή μεγάλου όγκου αποβλήτων αναδεικνύεται ως η σημαντικότερη (Μ.Ο. = 4,46), με το 63,0% του δείγματος να τη θεωρεί «πολύ σημαντική». Ακολουθεί η ατμοσφαιρική ρύπανση από μηχανήματα και οχήματα (Μ.Ο. = 4,26) και, με αισθητά χαμηλότερη αλλά εξακολουθητικά υψηλή βαθμολογία, η ηχορύπανση (Μ.Ο. = 3,98). Η ιεράρχηση αυτή είναι απολύτως συνεπής με τα ευρήματα της Ενότητας Β, όπου οι πρακτικές διαχείρισης αποβλήτων κατέλαβαν τις πρώτες θέσεις, επιβεβαιώνοντας μια εσωτερικά συνεκτική αντίληψη: οι επαγγελματίες αναγνωρίζουν τα απόβλητα τόσο ως την πιο κρίσιμη επίπτωση όσο και ως το πεδίο με τις πιο αναγκαίες παρεμβάσεις. Η σχετικά χαμηλότερη κατάταξη της ηχορύπανσης ενδέχεται να αντανακλά την αντίληψη ότι πρόκειται για όχληση τοπικού και προσωρινού χαρακτήρα, σε αντίθεση με τη διαρκή και ευρύτερη επιβάρυνση που συνεπάγονται τα απόβλητα και οι αέριες εκπομπές.



Σχήμα 14. Κατανομή απαντήσεων για τη σπουδαιότητα των περιβαλλοντικών επιπτώσεων (% επί N = 81).

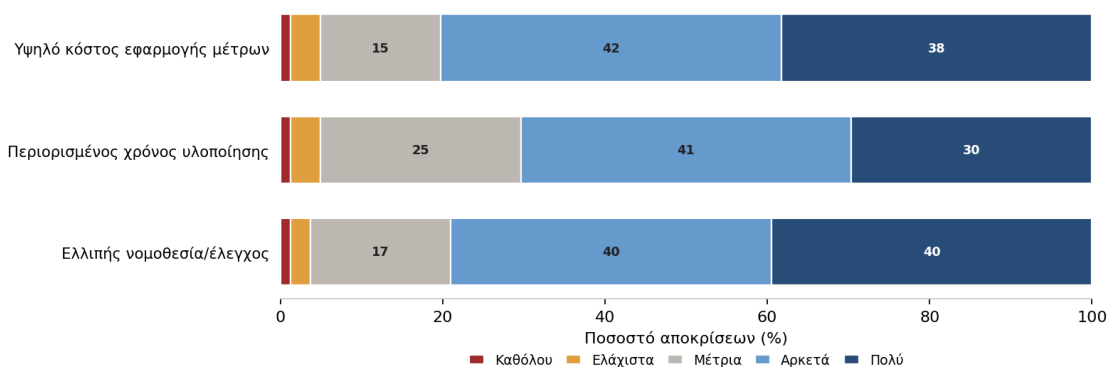
Δήλωση	Καθ.	Ελάχ.	Μέτ.	Αρκ.	Πολύ	Μ.Ο.	Τ.Α.
Ατμοσφαιρική ρύπανση από μηχανήματα/οχήματα	0	4	10	28	39	4.26	0.86
Ηχορύπανση από εργασίες/εξοπλισμό	0	5	15	38	23	3.98	0.85
Παραγωγή μεγάλου όγκου αποβλήτων	0	2	10	18	51	4.46	0.81

Πίνακας 9. Σπουδαιότητα περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Η ανάδειξη των αποβλήτων ως σημαντικότερης επίπτωσης (Μ.Ο.=4,46) και η σχετικά χαμηλότερη κατάταξη της ηχορύπανσης (3,98) είναι αναμενόμενη και ερμηνεύσιμη: τα απόβλητα και οι αέριες εκπομπές γίνονται αντιληπτά ως διαρκείς επιβαρύνσεις με ευρύτερο χωρικό αποτύπωμα, ενώ ο θόρυβος εκλαμβάνεται ως όχληση τοπικού και προσωρινού χαρακτήρα. Το κρίσιμο, ωστόσο, είναι η εσωτερική συνέπεια του δείγματος: η ιεράρχηση των επιπτώσεων (Ενότητα Γ) αντικατοπτρίζει την ιεράρχηση των πρακτικών (Ενότητα Β), όπου οι παρεμβάσεις στα απόβλητα προηγούνται. Οι επαγγελματίες, δηλαδή, αναγνωρίζουν τα απόβλητα ταυτόχρονα ως την πιο κρίσιμη επίπτωση και ως το πεδίο με τις πιο αναγκαίες παρεμβάσεις — ένδειξη μιας συνεκτικής και όχι αποσπασματικής αντίληψης. Το εύρημα επιβεβαιώνει τη βαρύτητα που αποδίδει η βιβλιογραφία (Balasbaneh et al., 2025· Hasselsteen et al., 2025) στη διαχείριση αποβλήτων, αλλά αναδεικνύει και μια πιθανή υποεκτίμηση του θορύβου σε σχέση με την έμφαση που δίνει η εξειδικευμένη βιβλιογραφία (Huang et al., 2025).

4.4.3 Εμπόδια Εφαρμογής Βιώσιμων Πρακτικών

Η ανάλυση των εμποδίων αναδεικνύει το υψηλό κόστος εφαρμογής των μέτρων ως τον σημαντικότερο ανασταλτικό παράγοντα (Μ.Ο. = 4,12), σε στενή απόσταση από την ελλιπή περιβαλλοντική νομοθεσία ή έλεγχο (Μ.Ο. = 4,14). Πράγματι, η ελλιπής νομοθεσία συγκεντρώνει οριακά τον υψηλότερο μέσο όρο, γεγονός που υπογραμμίζει ότι οι επαγγελματίες αποδίδουν εξίσου μεγάλη βαρύτητα στη θεσμική όσο και στην οικονομική διάσταση των περιορισμών. Ο περιορισμένος χρόνος υλοποίησης κατατάσσεται τρίτος (Μ.Ο. = 3,94), παραμένοντας ωστόσο σαφώς πάνω από το ουδέτερο σημείο. Η σχεδόν ισοδύναμη βαρύτητα κόστους και θεσμικού πλαισίου είναι ιδιαίτερα διαφωτιστική: υποδεικνύει ότι η προώθηση των βιώσιμων πρακτικών δεν είναι αποκλειστικά ζήτημα οικονομικών κινήτρων, αλλά απαιτεί παράλληλα την ενίσχυση του ρυθμιστικού και ελεγκτικού πλαισίου.



Σχήμα 15. Κατανομή απαντήσεων για τη σπουδαιότητα των εμποδίων (% επί N = 81).

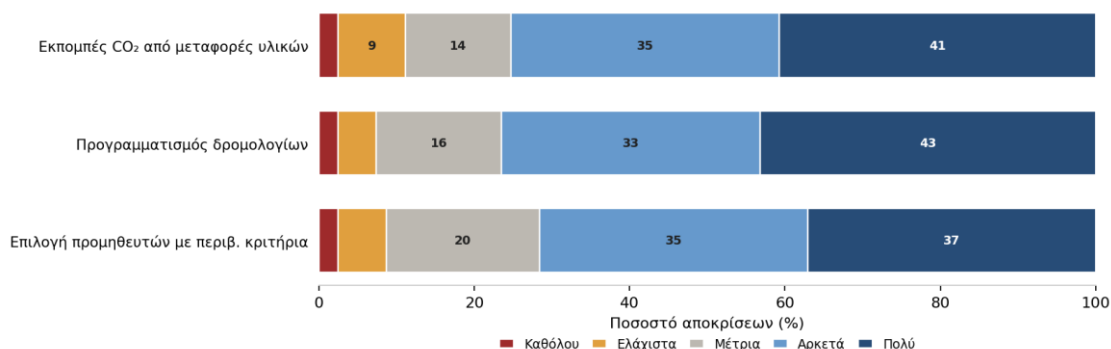
Δήλωση	Καθ.	Ελάχ.	Μέτ.	Αρκ.	Πολύ	M.O.	T.A.
Υψηλό κόστος εφαρμογής μέτρων	1	3	12	34	31	4.12	0.89
Περιορισμένος χρόνος υλοποίησης	1	3	20	33	24	3.94	0.90
Ελλιπής νομοθεσία/έλεγχος	1	2	14	32	32	4.14	0.88

Πίνακας 10. Σπουδαιότητα εμποδίων εφαρμογής.

Η σχεδόν ισοδύναμη βαρύτητα της ελλιπούς νομοθεσίας/ελέγχου (4,14) και του κόστους (4,12) είναι το πλέον διαφωτιστικό εύρημα της ενότητας και δεν ήταν αυτονόητο εκ των προτέρων: ενώ η βιβλιογραφία τονίζει συχνά το οικονομικό εμπόδιο (Gu et al., 2023· Luo et al., 2022), το δείγμα αποδίδει εξίσου μεγάλη σημασία στη θεσμική διάσταση. Η πιθανή εξήγηση είναι ότι, στο ελληνικό/τοπικό πλαίσιο, η αντιλαμβανόμενη χαλαρότητα ή ασυνέπεια του ελέγχου αποδυναμώνει τα κίνητρα συμμόρφωσης ακόμη και όταν υπάρχει βούληση. Το εύρημα αυτό επιβεβαιώνει εμπειρικά τη θέση των Mavi et al. (2021) για τον καθοριστικό ρόλο των θεσμικών/πολιτικών παραγόντων και των κινήτρων, και έχει άμεση σύνδεση με την Ενότητα ΣΤ, όπου η απαίτηση για αυστηρότερους ελέγχους (4,37) και κρατική υποστήριξη (4,28) είναι ιδιαίτερα ισχυρή. Συνεπώς, η πολιτική συνεπαγωγή είναι ότι τα οικονομικά κίνητρα από μόνα τους δεν αρκούν· απαιτείται παράλληλη ενίσχυση του ρυθμιστικού και ελεγκτικού πλαισίου.

4.4.4 Παράγοντες Περιβαλλοντικού Αποτυπώματος

Οι τρεις παράγοντες που σχετίζονται με το περιβαλλοντικό αποτύπωμα αξιολογούνται επίσης θετικά, με μέσους όρους από 3,98 έως 4,10. Ο ορθός προγραμματισμός δρομολογίων για τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμων κατατάσσεται πρώτος (M.O. = 4,10), ακολουθούμενος από τις εκπομπές CO₂ από τις μεταφορές υλικών (M.O. = 4,02) και την επιλογή προμηθευτών με περιβαλλοντικά κριτήρια (M.O. = 3,98). Χαρακτηριστικό της ενότητας αυτής είναι οι σχετικά υψηλές τυπικές αποκλίσεις (έως 1,06), οι οποίες υποδηλώνουν μεγαλύτερη διχογνωμία σε σύγκριση με τους υπόλοιπους άξονες. Η διασπορά αυτή ενδέχεται να αντανακλά διαφορετικά επίπεδα εξοικείωσης με την έννοια του αποτυπώματος της εφοδιαστικής αλυσίδας, ένα πεδίο που παραδοσιακά αντιμετωπίζεται ως εξωτερικό προς τα στενά όρια του εργοταξίου.



Σχήμα 16. Κατανομή απαντήσεων για τους παράγοντες περιβαλλοντικού αποτυπώματος (% επί N = 81).

Δήλωση	Καθ.	Ελάχ.	Μέτ.	Αρκ.	Πολύ	M.O.	T.A.
Εκπομπές CO ₂ από μεταφορές υλικών	2	7	11	28	33	4.02	1.06
Προγραμματισμός δρομολογίων	2	4	13	27	35	4.10	1.01
Επιλογή προμηθευτών με περιβ. κριτήρια	2	5	16	28	30	3.98	1.02

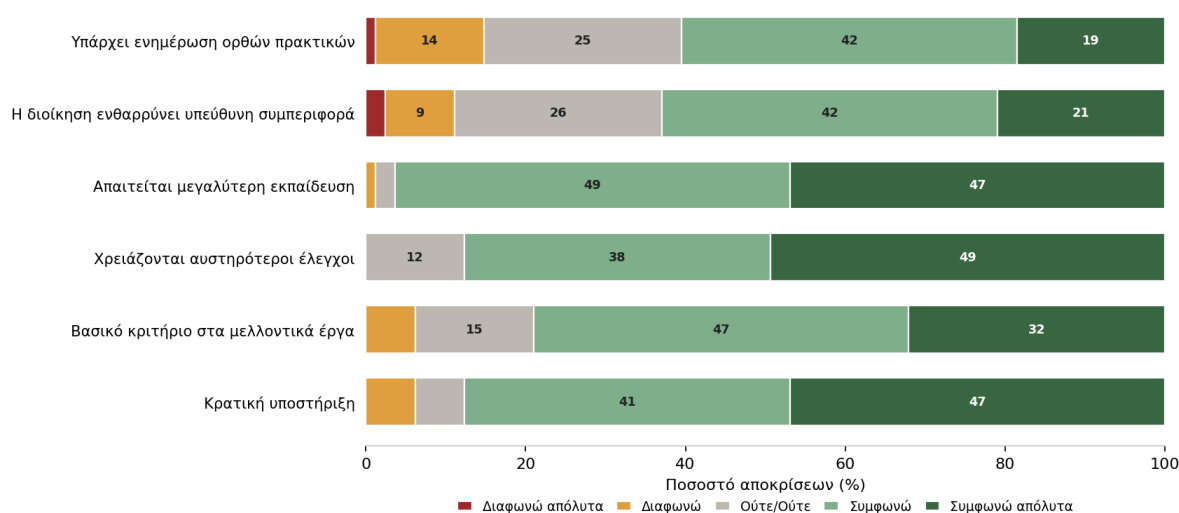
Πίνακας 11. Παράγοντες περιβαλλοντικού αποτυπώματος.

Οι παράγοντες της εφοδιαστικής αλυσίδας αξιολογούνται θετικά (3,98–4,10), αλλά με αισθητά υψηλότερες τυπικές αποκλίσεις (έως 1,06) από τους υπόλοιπους άξονες — εύρημα που χρήζει ερμηνείας. Η μεγαλύτερη διασπορά δείχνει διχογνωμία και αντανάκλα, κατά πάσα πιθανότητα, διαφορετικά επίπεδα εξοικείωσης με την έννοια του αποτυπώματος της εφοδιαστικής αλυσίδας, ένα πεδίο που παραδοσιακά αντιμετωπίζεται ως «εξωτερικό» προς τα στενά όρια του εργοταξίου. Η ερμηνεία αυτή συνάδει με τη βιβλιογραφία (Xu et al., 2025· Wang et al., 2024), η οποία υπογραμμίζει ότι σημαντικό μέρος του ανθρακικού αποτυπώματος προκύπτει από μεταφορές και επιλογή υλικών/προμηθευτών, αλλά ότι η διάσταση αυτή παραμένει λιγότερο ενσωματωμένη στην καθημερινή πρακτική. Το γεγονός ότι ο προγραμματισμός δρομολογίων κατατάσσεται πρώτος (4,10) είναι ενθαρρυντικό, καθώς πρόκειται για μέτρο χαμηλού κόστους και άμεσης εφαρμογής.

4.4.5 Ευαισθητοποίηση και Μελλοντική Διαχείριση

Η τελευταία ενότητα παρουσιάζει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον, καθώς αποκαλύπτει μια σαφή διχοτόμηση μεταξύ της υφιστάμενης κατάστασης και των μελλοντικών αναγκών. Οι δηλώσεις που αφορούν την τρέχουσα πραγματικότητα συγκεντρώνουν τους χαμηλότερους μέσους όρους ολόκληρου του ερωτηματολογίου: η ύπαρξη ενημέρωσης για ορθές περιβαλλοντικές

πρακτικές βαθμολογείται με Μ.Ο. 3,63 και η ενθάρρυνση υπεύθυνης συμπεριφοράς από τη διοίκηση με Μ.Ο. 3,70, με σημαντικά ποσοστά ουδέτερων και αρνητικών απαντήσεων (περίπου το ένα τέταρτο του δείγματος επιλέγει την ουδέτερη βαθμίδα). Αντιθέτως, οι δηλώσεις που αφορούν αναγκαίες μελλοντικές ενέργειες συγκεντρώνουν εξαιρετικά υψηλή συναίνεση: η ανάγκη μεγαλύτερης εκπαίδευσης του προσωπικού αναδεικνύεται στη δήλωση με τη μεγαλύτερη συμφωνία ολόκληρης της έρευνας (Μ.Ο. = 4,42· 96,3% θετικές απαντήσεις και την ελάχιστη τυπική απόκλιση, 0,61), ακολουθούμενη από την ανάγκη αυστηρότερων ελέγχων (Μ.Ο. = 4,37) και την κρατική υποστήριξη (Μ.Ο. = 4,28).



Σχήμα 17. Κατανομή απαντήσεων για την ευαισθητοποίηση και τη μελλοντική διαχείριση (% επί N = 81).

Η αντιπαράβολή αυτή είναι ιδιαίτερα διαφωτιστική: το δείγμα αποτυπώνει ένα παρόν με ελλείμματα ενημέρωσης και διοικητικής στήριξης, αλλά ταυτόχρονα εκφράζει ισχυρή προσδοκία και ζήτηση για εκπαίδευση, αυστηρότερο έλεγχο και θεσμική υποστήριξη. Το εύρημα αυτό συνδέεται άμεσα με το ποσοστό 33,3% των αποκρινομένων που δήλωσε άγνοια ως προς την ύπαρξη συστήματος περιβαλλοντικής διαχείρισης, επιβεβαιώνοντας ότι το έλλειμμα δεν εντοπίζεται τόσο στη βούληση ή στην αναγνώριση της αξίας των πρακτικών, όσο στη μετάφραση της βούλησης αυτής σε οργανωμένη ενημέρωση, εκπαίδευση και θεσμική δέσμευση.

Δήλωση	Δ.Α.	Δ.	Ο/Ο	Σ.	Σ.Α.	Μ.Ο.	Τ.Α.
Υπάρχει ενημέρωση ορθών πρακτικών	1	11	20	34	15	3.63	0.98
Η διοίκηση ενθαρρύνει υπεύθυνη συμπεριφορά	2	7	21	34	17	3.70	0.98

Δήλωση	Δ.Α.	Δ.	Ο/Ο	Σ.	Σ.Α.	Μ.Ο.	Τ.Α.
Απαιτείται μεγαλύτερη εκπαίδευση	0	1	2	40	38	4.42	0.61
Χρειάζονται αυστηρότεροι έλεγχοι	0	0	10	31	40	4.37	0.70
Βασικό κριτήριο στα μελλοντικά έργα	0	5	12	38	26	4.05	0.85
Κρατική υποστήριξη	0	5	5	33	38	4.28	0.84

Πίνακας 12. Ευαισθητοποίηση και μελλοντική διαχείριση.

Η διχοτόμηση μεταξύ της υφιστάμενης κατάστασης (ενημέρωση 3,63· διοικητική ενθάρρυνση 3,70) και της μελλοντικής ζήτησης (εκπαίδευση 4,42· έλεγχοι 4,37· κρατική υποστήριξη 4,28) είναι το σημαντικότερο και λιγότερο αυτονόητο εύρημα της έρευνας. Δεν επρόκειτο για δεδομένο αποτέλεσμα: θα μπορούσε κανείς να αναμένει ότι όσοι λειτουργούν σε ώριμα περιβάλλοντα θα εξέφραζαν μικρότερη ανάγκη για αλλαγή. Η πιθανή εξήγηση είναι ότι η ζήτηση για εκπαίδευση και θεσμική στήριξη είναι σχεδόν καθολική και ανεξάρτητη της τρέχουσας κατάστασης. Το εύρημα επιβεβαιώνει εμπειρικά τη θέση των Mavi et al. (2021) και Salamé et al. (2025) ότι η περιβαλλοντική κουλτούρα και η εσωτερική επικοινωνία είναι κρίσιμοι —αλλά ελλειπώς αναπτυγμένοι— παράγοντες. Η άμεση σύνδεση με το 33,3% που αγνοεί την ύπαρξη ΣΠΔ ενισχύει την ερμηνεία ότι το έλλειμμα δεν εντοπίζεται στη βούληση ή στην αναγνώριση της αξίας των πρακτικών, αλλά στη μετάφραση της βούλησης σε οργανωμένη ενημέρωση, εκπαίδευση και θεσμική δέσμευση.

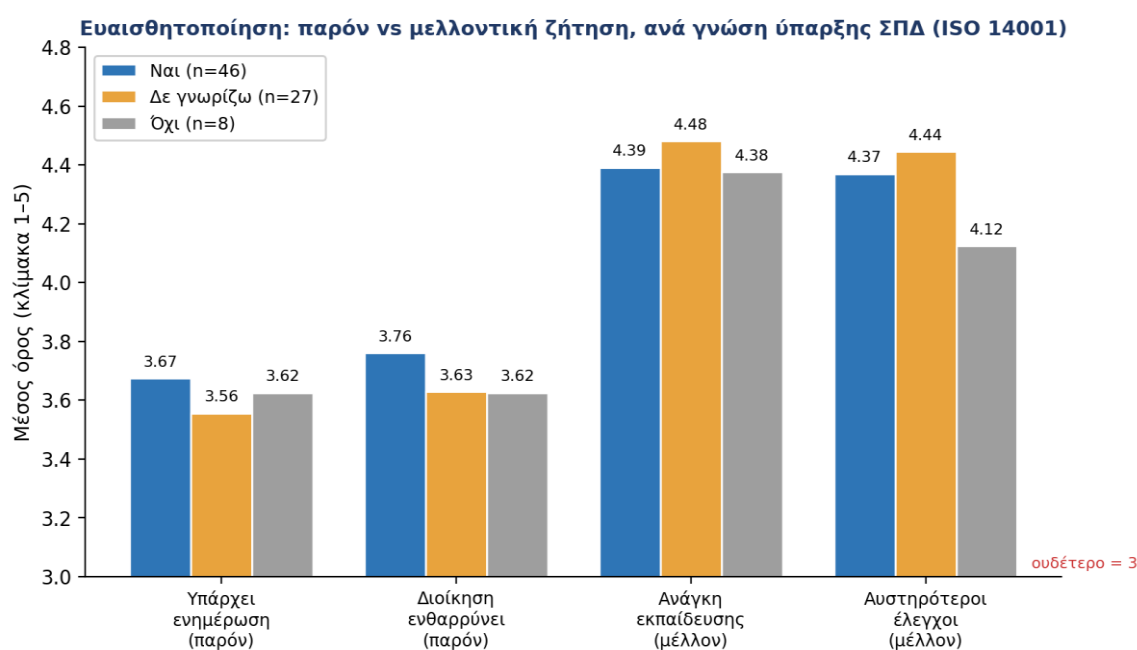
4.5 Σύνθεση Ευρημάτων

Πέρα από την ανάλυση κάθε θεματικού άξονα χωριστά, η συνδυαστική εξέταση πολλαπλών ερωτημάτων αναδεικνύει βαθύτερες σχέσεις στο εσωτερικό των δεδομένων. Όλοι οι θεματικοί άξονες κινούνται σαφώς πάνω από το ουδέτερο σημείο (συνολικοί μέσοι όροι: πρακτικές 4,20 επιπτώσεις 4,23 εμπόδια 4,07 αποτύπωμα 4,03 ευαισθητοποίηση 4,08), γεγονός που υποδηλώνει μια γενικευμένη, θετική στάση απέναντι στη βιωσιμότητα. Ωστόσο, η πραγματική αξία προκύπτει από τη διασταύρωση των αξόνων μεταξύ τους και με τα δημογραφικά χαρακτηριστικά.

Α. Το «παράδοξο της ευαισθητοποίησης» και το χάσμα βούλησης-εφαρμογής

Το κρίσιμότερο συνδυαστικό εύρημα προκύπτει από τη συσχέτιση των απαντήσεων στην Ενότητα ΣΤ με το δημογραφικό ερώτημα για την ύπαρξη Συστήματος Περιβαλλοντικής

Διαχείρισης (ΣΠΔ). Όπως φαίνεται στο Σχήμα 18, η ομάδα που δηλώνει άγνοια ως προς την ύπαρξη ΣΠΔ (27 άτομα, 33,3%) εκφράζει την ισχυρότερη ζήτηση για εκπαίδευση (Μ.Ο.=4,48) και αυστηρότερους ελέγχους (Μ.Ο.=4,44) — υψηλότερη ακόμη και από εκείνους που δηλώνουν ότι εφαρμόζεται ΣΠΔ στην εταιρεία τους (4,39 και 4,37 αντίστοιχα) — ενώ ταυτόχρονα αξιολογεί χαμηλότερα την υφιστάμενη ενημέρωση (3,56 έναντι 3,67). Με άλλα λόγια, όσοι βρίσκονται πιο μακριά από ένα οργανωμένο πλαίσιο περιβαλλοντικής διαχείρισης είναι αυτοί που το αναζητούν εντονότερα. Το εύρημα αυτό μετατρέπει το χαμηλό σκορ της «τρέχουσας ενημέρωσης» από απλή διαπίστωση σε διαγνωστικό δείκτη: το πρόβλημα δεν είναι η έλλειψη βούλησης, αλλά η απουσία θεσμικής διαμεσολάβησης.



Σχήμα 18. Παρόν vs μελλοντική ζήτηση ευαισθητοποίησης, ανά γνώση ύπαρξης ΣΠΔ (ISO 14001).

Η ανάλυση επιβεβαιώνει ένα σαφές χάσμα μεταξύ της υφιστάμενης κατάστασης (μέσος όρος των δηλώσεων «παρόντος» $\approx 3,67$) και της μελλοντικής ζήτησης (μέσος όρος δηλώσεων «μέλλοντος» $\approx 4,36$), διαφορά της τάξης των 0,69 μονάδων. Σημαντικό είναι ότι η ζήτηση για αλλαγή εμφανίζεται σχεδόν ανεξάρτητη από την τρέχουσα κατάσταση (η μεταξύ τους συσχέτιση είναι πρακτικά μηδενική), γεγονός που υποδηλώνει ότι η ζήτηση για εκπαίδευση, έλεγχο και υποστήριξη είναι σχεδόν καθολική στο δείγμα και δεν περιορίζεται σε όσους εργάζονται σε λιγότερο ώριμα περιβάλλοντα. Πρόκειται, ουσιαστικά, για ένα χάσμα βούλησης–εφαρμογής (knowing–doing gap): η αξία των πρακτικών αναγνωρίζεται ευρέως, αλλά η μετάφρασή της σε καθημερινή πρακτική παρεμποδίζεται.

B. Κόστος, θεσμικό πλαίσιο και επιφυλακτικότητα στις πρακτικές ένταξης κεφαλαίου

Η σύνδεση των Ενοτήτων Β και Δ φωτίζει τον μηχανισμό αυτού του χάσματος. Οι πρακτικές που συγκεντρώνουν τα υψηλότερα ποσοστά ουδέτερων απαντήσεων είναι ακριβώς οι εντάσεως κεφαλαίου: μηχανήματα χαμηλής κατανάλωσης (16,0% ουδέτερες), ΑΠΕ (14,8%) και ψηφιακά εργαλεία (13,6%), έναντι μόλις 3,7% για την ασφαλή διαχείριση επικίνδυνων υλικών. Δεδομένου ότι το κόστος (4,12) και η ελλιπής νομοθεσία/έλεγχος (4,14) αναδεικνύονται ως τα κορυφαία —και σχεδόν ισοδύναμα— εμπόδια, η επιφυλακτικότητα απέναντι στις δαπανηρές παρεμβάσεις είναι εσωτερικά συνεπής: οι επαγγελματίες αναγνωρίζουν την αξία τους αλλά διστάζουν ως προς τη σκοπιμότητα της επένδυσης χωρίς οικονομικά κίνητρα και σαφές ρυθμιστικό πλαίσιο. Η συνδυαστική αυτή ανάγνωση επιβεβαιώνει εμπειρικά τις θέσεις των Gu et al. (2023), Luo et al. (2022) και Mavi et al. (2021).

Γ. Διαφοροποιήσεις κατά ρόλο και εμπειρία

Η διασταύρωση των αξόνων με τη θέση εργασίας αποκαλύπτει ένα συνεκτικό μοτίβο: οι ειδικευμένοι εργάτες αξιολογούν υψηλότερα τις πρακτικές (4,38) και τις επιπτώσεις (4,47) — δηλαδή ό,τι είναι άμεσα ορατό στο πεδίο— αλλά χαμηλότερα τα εμπόδια (3,77), πιθανότατα επειδή είναι λιγότερο εκτεθειμένοι στις οικονομικές και ρυθμιστικές διαστάσεις. Αντιθέτως, οι μηχανικοί και η κατηγορία «Άλλο» (ρόλοι με μεγαλύτερη εμπλοκή στη λήψη αποφάσεων) αντιλαμβάνονται εντονότερα τα εμπόδια (4,02 και 4,23 αντίστοιχα). Ως προς την εμπειρία, αξιοσημείωτο είναι ότι οι πιο έμπειροι (>15 έτη) όχι μόνο δεν είναι τεχνοφοβικοί, αλλά αξιολογούν υψηλότερα τις ΑΠΕ (4,22) και τα ψηφιακά εργαλεία (4,19) από τους νεότερους, ενώ εκφράζουν και τη μεγαλύτερη ανάγκη εκπαίδευσης (4,48). Το εύρημα αυτό ανατρέπει την κοινή υπόθεση ότι η αντίσταση στις νέες τεχνολογίες προέρχεται από τα πιο έμπειρα στελέχη.

Συνθέτοντας τα παραπάνω, αναδεικνύονται τρεις βασικές διαπιστώσεις. Πρώτον, υπάρχει ευρεία και ισχυρή αναγνώριση της αξίας των πρακτικών περιβαλλοντικής διαχείρισης, με τις παρεμβάσεις διαχείρισης αποβλήτων και επικίνδυνων υλικών να ηγούνται τόσο της ιεράρχησης πρακτικών όσο και της ιεράρχησης επιπτώσεων — ένδειξη εσωτερικά συνεκτικής αντίληψης. Δεύτερον, τα εμπόδια (κόστος και θεσμικό πλαίσιο, σε ισοδύναμη βαρύτητα) και η επιφυλακτικότητα στις πρακτικές έντασης κεφαλαίου σχηματίζουν ένα συνεκτικό πλέγμα περιορισμών. Τρίτον, και κρισιμότερο, διαπιστώνεται ένα χάσμα βούλησης–εφαρμογής: η μετάβαση προς το «πράσινο εργοτάξιο» εξαρτάται λιγότερο από την πειθώ ως προς την αξία των μέτρων και περισσότερο από την άρση των οικονομικών και θεσμικών εμποδίων και την ενίσχυση της εκπαίδευσης και της ενημέρωσης του ανθρώπινου δυναμικού. Τα ευρήματα αυτά παρέχουν τεκμηριωμένη βάση για τα συμπεράσματα του επόμενου κεφαλαίου.

Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα & Μελλοντικές Κατευθύνσεις Έρευνας

5.1 Βασικά Συμπεράσματα

Η παρούσα διπλωματική εργασία διερεύνησε τις εργοταξιακές πρακτικές για βιώσιμη κατασκευή, συνδυάζοντας μια συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση 32 πρόσφατων μελετών με μια πρωτογενή εμπειρική έρευνα σε 81 επαγγελματίες του κλάδου. Η συνδυαστική αυτή ανάγνωση δεν παρήγαγε απλώς μια λίστα διαπιστώσεων, αλλά ανέδειξε μια συνεκτική εικόνα για την κατάσταση και τις προοπτικές του «πράσινου εργοταξίου». Στην ενότητα αυτή τα κυριότερα συμπεράσματα δεν παρατίθενται ως μεμονωμένα και ισοδύναμα ευρήματα, αλλά συζητούνται ως αλληλένδετες όψεις ενός ενιαίου ζητήματος: της απόστασης που χωρίζει τη θεωρητικά αναγνωρισμένη αξία των βιώσιμων πρακτικών από την ουσιαστική ενσωμάτωσή τους στην καθημερινή εργοταξιακή πραγματικότητα. Για τον λόγο αυτό, η παρουσίαση κάθε διαπίστωσης συνοδεύεται από τη διατύπωση συγκεκριμένων κατευθύνσεων αντιμετώπισης, ώστε το κεφάλαιο να μην περιορίζεται στην επισημάνση των προβλημάτων αλλά να προτείνει και ρεαλιστικές λύσεις.

Το πρώτο και πλέον γενικό συμπέρασμα είναι ότι το πράσινο εργοτάξιο απαιτεί μια ολοκληρωμένη, συστημική προσέγγιση και όχι την αποσπασματική υιοθέτηση μεμονωμένων μέτρων. Τόσο η βιβλιογραφία όσο και η εμπειρική έρευνα συγκλίνουν στο ότι η περιβαλλοντική επίδοση ενός εργοταξίου προκύπτει από τη συνδυασμένη διαχείριση εκπομπών, αποβλήτων, ενέργειας, πόρων και οχλήσεων, υποστηριζόμενη από οργανωτικά συστήματα και ψηφιακά εργαλεία. Η σχεδόν ομοιόμορφα υψηλή αποδοχή και των πέντε θεματικών αξόνων (συνολικοί μέσοι όροι από 4,03 έως 4,23) επιβεβαιώνει ότι οι επαγγελματίες δεν αντιλαμβάνονται τη βιωσιμότητα ως άθροισμα ανεξάρτητων παρεμβάσεων, αλλά ως ένα ενιαίο πεδίο. Πρακτικά, αυτό σημαίνει ότι η αποτελεσματική μετάβαση δεν επιτυγχάνεται με την επιλεκτική εφαρμογή «εύκολων» μέτρων, αλλά μέσω της θεσμοθέτησης ενός συστήματος περιβαλλοντικής διαχείρισης (κατά ISO 14001) που να εντάσσει τις επιμέρους πρακτικές σε ένα κοινό πλαίσιο στόχων, ευθυνών και δεικτών παρακολούθησης σε επίπεδο έργου.

Σε αυτό το πλαίσιο, η διαχείριση αποβλήτων αναδείχθηκε ως ο πιο απτός και ευρέως αναγνωρισμένος μοχλός βελτίωσης, καταλαμβάνοντας κορυφαία θέση τόσο ως αντιλαμβανόμενη επίπτωση (Μ.Ο. = 4,46) όσο και ως πεδίο αναγκαίων παρεμβάσεων (ασφαλής διαχείριση επικίνδυνων υλικών 4,52, διαχωρισμός αποβλήτων 4,40). Το εύρημα

αυτό δεν αποτελεί απλώς διαπίστωση προτεραιότητας, αλλά υποδεικνύει και τον προφανέστερο χώρο άμεσης δράσης: η καθιέρωση υποδομών διαλογής στην πηγή, η θέσπιση ποσοτικών στόχων εκτροπής αποβλήτων από τον χώρο ταφής, η συστηματική συνεργασία με αδειοδοτημένους φορείς και η ένταξη δεικτών ανακύκλωσης στους όρους των συμβάσεων αποτελούν μέτρα χαμηλού σχετικού κόστους και υψηλής, ορατής απόδοσης, τα οποία μπορούν να λειτουργήσουν ως αφετηρία για τη σταδιακή ωρίμανση μιας ευρύτερης περιβαλλοντικής κουλτούρας στο εργοτάξιο.

Το επόμενο συμπέρασμα αφορά τη φύση των εμποδίων. Το υψηλό κόστος εφαρμογής (Μ.Ο. = 4,12) και η ελλιπής περιβαλλοντική νομοθεσία ή ο ανεπαρκής έλεγχος (Μ.Ο. = 4,14) αναδείχθηκαν ως δύο σχεδόν ισοδύναμα και αλληλοενισχυόμενα εμπόδια. Η διαπίστωση αυτή έχει άμεση πρακτική σημασία, διότι ανατρέπει την απλουστευτική αντίληψη ότι η βιωσιμότητα είναι αποκλειστικά ζήτημα κόστους. Η ταυτόχρονη βαρύτητα της θεσμικής διάστασης υποδεικνύει ότι η αντιμετώπιση οφείλει να είναι διπλή: αφενός η άρση του οικονομικού εμποδίου μέσω στοχευμένων κινήτρων (επιδοτήσεων, φορολογικών ελαφρύνσεων, πράσινων κριτηρίων στις δημόσιες προμήθειες και χρηματοδοτικών εργαλείων που μετριάζουν το αρχικό κόστος επένδυσης)· αφετέρου η ενίσχυση του ρυθμιστικού και ελεγκτικού πλαισίου, ώστε οι βιώσιμες πρακτικές να μην εξαρτώνται από την προαιρετική ευαισθησία της κάθε εταιρείας, αλλά να καθίστανται απαίτηση με σαφείς και ελέγξιμους όρους. Καθοριστική, εδώ, είναι και η μετάβαση από τη λογική του αρχικού κόστους στη λογική του κόστους κύκλου ζωής, που αναδεικνύει τη μακροπρόθεσμη απόδοση των επενδύσεων αυτών.

Η ίδια ανάγνωση εξηγεί και την επιφυλακτικότητα που καταγράφηκε απέναντι στις πρακτικές ένταξης κεφαλαίου. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, τα ψηφιακά εργαλεία παρακολούθησης και ο σύγχρονος εξοπλισμός χαμηλής κατανάλωσης αναγνωρίζονται ως αξιόλογα (όλα με Μ.Ο. άνω του 4,0), αλλά συγκεντρώνουν τα υψηλότερα ποσοστά ουδέτερων απαντήσεων (13–16%), σε άμεση συνάφεια με το εμπόδιο του κόστους. Η επιφυλακτικότητα αυτή δεν είναι τεchnοφοβία αλλά ρεαλιστική στάθμιση κόστους–οφέλους υπό συνθήκες αβεβαιότητας. Αντίστοιχα, η λύση δεν είναι η πειθώ περί της αξίας τους —η οποία ήδη αναγνωρίζεται— αλλά η μείωση της αντιλαμβανόμενης επενδυτικής αβεβαιότητας: μέσω πιλοτικών και επιδεικτικών έργων που τεκμηριώνουν την απόδοση σε πραγματικές συνθήκες, μοντέλων μίσθωσης ή κοινής χρήσης εξοπλισμού, σταδιακής (κλιμακωτής) υιοθέτησης και συγχρηματοδότησης, ώστε το ρίσκο της πρώτης εφαρμογής να μην το επωμίζεται μόνη της η κάθε επιχείρηση.

Το κρισιμότερο, ωστόσο, συμπέρασμα της εργασίας είναι η ύπαρξη ενός σαφούς χάσματος βούλησης–εφαρμογής (knowing–doing gap). Ενώ η αξία των βιώσιμων πρακτικών αναγνωρίζεται σχεδόν ομόφωνα, η υφιστάμενη ενημέρωση και διοικητική στήριξη υπολείπονται αισθητά της εκπεφρασμένης ζήτησης: οι δηλώσεις για την τρέχουσα κατάσταση συγκεντρώνουν τους χαμηλότερους μέσους όρους του ερωτηματολογίου (ενημέρωση 3,63, ενθάρρυνση από τη διοίκηση 3,70), ενώ οι δηλώσεις για τις αναγκαίες μελλοντικές ενέργειες κορυφώνονται (ανάγκη εκπαίδευσης 4,42, αυστηρότεροι έλεγχοι 4,37, κρατική υποστήριξη 4,28). Το ότι ένας στους τρεις συμμετέχοντες (33,3%) αγνοεί αν εφαρμόζεται σύστημα περιβαλλοντικής διαχείρισης στην εταιρεία του αποτυπώνει ένα έλλειμμα εσωτερικής επικοινωνίας που λειτουργεί ως βασικός ανασταλτικός παράγοντας. Η λύση εντοπίζεται λιγότερο στην τεχνική και περισσότερο στην ανθρώπινη και θεσμική διάσταση: δομημένα προγράμματα εκπαίδευσης και ενημέρωσης, σαφής εσωτερική επικοινωνία της περιβαλλοντικής πολιτικής, ορισμός υπευθύνων περιβάλλοντος ανά έργο, τακτική και ορατή αναφορά δεικτών, καθώς και ένταξη της περιβαλλοντικής ενημέρωσης στις καθημερινές διαδικασίες του εργοταξίου.

Ιδιαίτερη σημασία, τέλος, έχει η διαπίστωση ότι η ανάγκη για εκπαίδευση και υποστήριξη είναι σχεδόν καθολική και δεν περιορίζεται στους νεότερους ή τους λιγότερο εξοικειωμένους. Αντίθετα προς τη συνήθη υπόθεση, τα πλέον έμπειρα στελέχη (άνω των 15 ετών) αξιολόγησαν υψηλότερα τις ανανεώσιμες πηγές (4,22) και τα ψηφιακά εργαλεία (4,19) και εξέφρασαν τη μεγαλύτερη ζήτηση για εκπαίδευση (4,48). Το εύρημα αυτό απομακρύνει το πρόβλημα από το πλαίσιο της «αντίστασης των παλαιότερων στην τεχνολογία» και υποδεικνύει ότι οι παρεμβάσεις εκπαίδευσης δεν πρέπει να στοχεύουν επιλεκτικά μία ομάδα, αλλά να σχεδιάζονται διαγενεακά, αξιοποιώντας μάλιστα την εμπειρία των έμπειρων στελεχών ως φορέων μετάδοσης καλών πρακτικών. Συνολικά, τα παραπάνω συγκλίνουν σε ένα κεντρικό μήνυμα: η μετάβαση προς το πράσινο εργοτάξιο εξαρτάται λιγότερο από την πειθώ ως προς την αξία των μέτρων και περισσότερο από έναν συνδυασμό οικονομικών κινήτρων, ισχυρότερου θεσμικού πλαισίου, συστηματικής εκπαίδευσης και ουσιαστικής εσωτερικής επικοινωνίας.

Συνοψίζοντας τις παραπάνω διαπιστώσεις σε ένα ενιαίο πλαίσιο δράσης, οι προτεινόμενες παρεμβάσεις μπορούν να οργανωθούν σε τέσσερις αλληλοσυμπληρούμενες πυλώνες. Ο πρώτος είναι οικονομικός και αφορά τη μείωση του αντιλαμβανόμενου κόστους και ρίσκου των βιώσιμων επενδύσεων, μέσω επιδοτήσεων, φορολογικών κινήτρων, χρηματοδοτικών

εργαλείων και πιλοτικών έργων που τεκμηριώνουν την απόδοση. Ο δεύτερος είναι θεσμικός και αφορά την ενίσχυση του ρυθμιστικού και ελεγκτικού πλαισίου, την ένταξη περιβαλλοντικών κριτηρίων στις δημόσιες συμβάσεις και την καθιέρωση μετρήσιμων δεικτών περιβαλλοντικής επίδοσης σε επίπεδο έργου. Ο τρίτος είναι εκπαιδευτικός και αφορά τη συστηματική, διαγενεακή κατάρτιση του ανθρώπινου δυναμικού, η οποία αναδείχθηκε ως η ισχυρότερη ζήτηση του δείγματος. Ο τέταρτος, τέλος, είναι επικοινωνιακός και αφορά την άρση του ελλείμματος εσωτερικής ενημέρωσης, με σαφή διάχυση της περιβαλλοντικής πολιτικής, ορισμό υπευθύνων και τακτική αναφορά αποτελεσμάτων. Η ισχύς του πλαισίου αυτού έγκειται στη συνέργειά του: κανένας πυλώνας δεν επαρκεί μόνος του, καθώς το κόστος, το θεσμικό πλαίσιο, η γνώση και η επικοινωνία λειτουργούν ως συγκοινωνούντα δοχεία στη μετάβαση προς το πράσινο εργοτάξιο. Τα ευρήματα αυτά παρέχουν τεκμηριωμένη βάση για τις απαντήσεις στα ερευνητικά ερωτήματα και για τις κατευθύνσεις που ακολουθούν.

5.2 Απαντήσεις στα Ερευνητικά Ερωτήματα

Στην ενότητα αυτή τα τέσσερα ερευνητικά ερωτήματα απαντώνται συνθετικά, φέρνοντας σε διάλογο το θεωρητικό πλαίσιο του Κεφαλαίου 2, τα ευρήματα της συστηματικής βιβλιογραφικής ανασκόπησης του Κεφαλαίου 3 και τα πρωτογενή εμπειρικά δεδομένα του Κεφαλαίου 4. Στόχος δεν είναι απλώς η παράθεση μιας απάντησης ανά ερώτημα, αλλά η ανάδειξη του βαθμού στον οποίο η βιβλιογραφία και η έρευνα συγκλίνουν, αλληλοσυμπληρώνονται ή, σε ορισμένες περιπτώσεις, αποκλίνουν — ώστε τα δύο σκέλη της εργασίας να συνομιλούν και να κουμπώνουν μεταξύ τους.

RQ1 — Κύριες περιβαλλοντικές επιπτώσεις των εργοταξίων. Σε θεωρητικό επίπεδο, η ενότητα 2.4 για το περιβαλλοντικό αποτύπωμα του εργοταξίου περιέγραψε ένα ευρύ φάσμα επιπτώσεων: εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από μηχανήματα, μεταφορές και υλικά, παραγωγή αποβλήτων κατασκευής και κατεδάφισης, κατανάλωση ενέργειας, καυσίμων και νερού, καθώς και οχλήσεις σκόνης και θορύβου. Η συστηματική ανασκόπηση εξειδίκευσε το φάσμα αυτό, με τα θέματα της μείωσης εκπομπών (3.4.1) και της διαχείρισης αποβλήτων (3.4.2) να συγκεντρώνουν τη μεγαλύτερη ερευνητική προσοχή. Η εμπειρική έρευνα επιβεβαίωσε και ιεράρχησε αυτή την εικόνα: η παραγωγή αποβλήτων αξιολογήθηκε ως η σημαντικότερη επίπτωση (M.O. = 4,46), ακολουθούμενη από την ατμοσφαιρική ρύπανση (4,26) και την ηχορύπανση (3,98). Η σύγκλιση είναι σαφής ως προς τα απόβλητα και τις εκπομπές (Balasbaneh et al., 2025· Shin et al., 2025), ενώ η σχετικά χαμηλότερη κατάταξη του θορύβου υποδηλώνει μια πιθανή υποεκτίμηση σε σχέση με την έμφαση που του αποδίδει η

εξειδικευμένη βιβλιογραφία (Huang et al., 2025) — σημείο όπου εμπειρία και θεωρία αποκλίνουν ελαφρώς και το οποίο αξίζει περαιτέρω διερεύνηση.

RQ2 — Πρακτικές πράσινης κατασκευής. Το θεωρητικό υπόβαθρο των ενότητων 2.1 (πράσινα εργοτάξια) και 2.3 (κυκλική οικονομία) όρισε το πράσινο εργοτάξιο ως ένα συστηματικά οργανωμένο περιβάλλον όπου οι πόροι, οι εκπομπές και τα απόβλητα ελαχιστοποιούνται προληπτικά. Η ανασκόπηση (3.4.2, 3.4.3, 3.4.6) ανέδειξε ως κυρίαρχες πρακτικές τη διαχείριση και ανακύκλωση αποβλήτων, την ασφαλή διαχείριση επικίνδυνων υλικών, τον έλεγχο κατανάλωσης καυσίμων και ενέργειας, την αξιοποίηση ψηφιακών εργαλείων και ανανεώσιμων πηγών, καθώς και οργανωτικά μέτρα. Η εμπειρική έρευνα έδειξε ότι όλες αυτές αναγνωρίζονται ως πολύτιμες (M.O. > 4,0), με τις πρακτικές διαχείρισης αποβλήτων να ηγούνται — εύρημα που κουμπώνει άμεσα με τις αρχές της κυκλικής οικονομίας του Κεφαλαίου 2. Ταυτόχρονα, οι πρακτικές ένταξης κεφαλαίου υιοθετούνται με μεγαλύτερη επιφύλαξη, γεγονός που συνδέει την απάντηση του RQ2 με το εμπόδιο του κόστους (Gu et al., 2023· Luo et al., 2022) και αναδεικνύει ότι η θεωρητική αξία μιας πρακτικής δεν αρκεί από μόνη της για την εφαρμογή της.

RQ3 — Δείκτες και μέθοδοι αξιολόγησης. Οι ενότητες 2.5 (διεθνή πρότυπα και συστήματα πιστοποίησης) και 2.6 (δείκτες περιβαλλοντικής απόδοσης) περιέγραψαν ένα ώριμο πλαίσιο αξιολόγησης: περιβαλλοντικούς δείκτες (ενέργεια, άνθρακας, νερό, απόβλητα, υλικά, αέρας/θόρυβος, συμμόρφωση), συστήματα διαχείρισης κατά ISO 14001, αναλύσεις κύκλου ζωής (LCA) και συστήματα πιστοποίησης (LEED, BREEAM). Η ανασκόπηση (3.4.5) επιβεβαίωσε τον αυξανόμενο ρόλο της ψηφιακής παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο (Mrak et al., 2025· Sandaruwan et al., 2025· Li et al., 2025). Το κρίσιμο, ωστόσο, εμπειρικό εύρημα είναι ότι το ώριμο αυτό πλαίσιο δεν φτάνει πάντοτε στο πεδίο: το γεγονός ότι ένας στους τρεις εργαζομένους αγνοεί αν λειτουργεί σύστημα περιβαλλοντικής διαχείρισης στην εταιρεία του δείχνει ένα χάσμα μεταξύ της θεσμικής ύπαρξης των εργαλείων και της ουσιαστικής τους διάχυσης. Εδώ η θεωρία περιγράφει το «τι υπάρχει», ενώ η έρευνα αποκαλύπτει «πόσο φτάνει στους ανθρώπους».

RQ4 — Τεχνολογικές και διαχειριστικές καινοτομίες. Στο τεχνολογικό σκέλος, η βιβλιογραφία (3.4.4) ανέδειξε το BIM, το IoT, την τεχνητή νοημοσύνη, τα ψηφιακά δίδυμα (digital twins) και την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο (Guo et al., 2026· Li et al., 2025· Chen, 2026· Geng et al., 2026). Στο διαχειριστικό σκέλος, καθοριστικά αναδείχθηκαν τα συστήματα περιβαλλοντικής διαχείρισης, η εκπαίδευση και η περιβαλλοντική κουλτούρα, η

συστηματική χρήση δεικτών και η θεσμική υποστήριξη. Η εμπειρική έρευνα συνέδεσε τα δύο σκέλη με τρόπο αποκαλυπτικό: ενώ οι τεχνολογικές καινοτομίες αναγνωρίζονται ως αξιόλογες, οι διαχειριστικές και ανθρώπινες παρεμβάσεις (εκπαίδευση, έλεγχοι, κρατική στήριξη) αναδείχθηκαν ως η κορυφαία και πιο επείγουσα ζήτηση των επαγγελματιών. Με άλλα λόγια, η έρευνα δείχνει ότι η καινοτομία στο εργοτάξιο δεν είναι πρωτίστως ζήτημα διαθεσιμότητας τεχνολογίας, αλλά οργανωτικής και ανθρώπινης ωριμότητας που θα επιτρέψει την αξιοποίησή της.

Συνολικά, η αντιπαραβολή των τεσσάρων ερευνητικών ερωτημάτων αναδεικνύει μια συνεκτική σχέση ανάμεσα στα δύο σκέλη της εργασίας. Η βιβλιογραφία του Κεφαλαίου 2 και η συστηματική ανασκόπηση του Κεφαλαίου 3 παρείχαν τον «χάρτη» του πεδίου —ποιες είναι οι επιπτώσεις, οι πρακτικές, οι δείκτες και οι καινοτομίες— ενώ η εμπειρική έρευνα αποτύπωσε «πού βρισκόμαστε» πάνω σε αυτόν τον χάρτη, δηλαδή την απόσταση ανάμεσα στην αναγνώριση και στην εφαρμογή. Τα δύο σκέλη δεν λειτουργούν παράλληλα αλλά αλληλοτροφοδοτούνται: η θεωρία εξηγεί γιατί οι επαγγελματίες ιεραρχούν όπως ιεραρχούν, και η έρευνα δείχνει πού η θεωρητική γνώση δεν έχει ακόμη μεταφραστεί σε πράξη. Η σύγκλιση αυτή ενισχύει την εγκυρότητα των ευρημάτων και θεμελιώνει τις κατευθύνσεις που ακολουθούν.

5.3 Μελλοντικές Κατευθύνσεις Έρευνας

Περιορισμοί της έρευνας

Τα ευρήματα της παρούσας εργασίας θα πρέπει να ερμηνεύονται υπό το πρίσμα ορισμένων περιορισμών, οι οποίοι αφορούν τόσο το εμπειρικό όσο και το βιβλιογραφικό σκέλος και οι οποίοι, αντί να αποδυναμώνουν τα συμπεράσματα, οριοθετούν την εμβέλειά τους και υποδεικνύουν τα επόμενα ερευνητικά βήματα. Ο σημαντικότερος περιορισμός σχετίζεται με τη δειγματοληψία: η εμπειρική έρευνα βασίστηκε σε μη πιθανοτική δειγματοληψία ευκολίας και χιονοστιβάδας, με 81 αποκρινομένους. Το μέγεθος και η φύση του δείγματος καθιστούν τα αποτελέσματα ενδεικτικά και όχι γενικεύσιμα στο σύνολο του κλάδου, ενώ επέβαλαν τον περιορισμό της ανάλυσης σε περιγραφικό και συγκριτικό επίπεδο· δεν κατέστη δυνατός ο επαγωγικός έλεγχος υποθέσεων ή η πολυμεταβλητή ανάλυση, που θα απαιτούσαν μεγαλύτερο και αντιπροσωπευτικότερο δείγμα.

Ένας δεύτερος περιορισμός απορρέει από τη μέθοδο συλλογής. Η χρήση αυτο-συμπληρούμενου ερωτηματολογίου ενδέχεται να εισάγει μεροληψία κοινωνικής

επιθυμητότητας, ιδίως σε ένα θέμα με ισχυρό θετικό πρόσημο όπως η βιωσιμότητα· τα υψηλά και ομοιόμορφα σκορ θετικής αποδοχής πρέπει, επομένως, να ερμηνεύονται με τη δέουσα επιφύλαξη. Επιπλέον, ο συγχρονικός (cross-sectional) σχεδιασμός αποτυπώνει στάσεις σε μία μόνο χρονική στιγμή και δεν επιτρέπει συμπεράσματα για τη διαχρονική εξέλιξη των αντιλήψεων ή για σχέσεις αιτίου–αποτελέσματος. Περιοριστικά λειτούργησαν, τέλος, και οι ανοικτές κατηγορίες «Άλλο» στις μεταβλητές της θέσης εργασίας και του είδους έργου, οι οποίες δεν συνοδεύτηκαν από πεδίο ελεύθερου κειμένου και έτσι περιόρισαν τη λεπτομερή ανάλυση της σύνθεσής τους.

Στο βιβλιογραφικό σκέλος, η συστηματική ανασκόπηση περιορίστηκε σε αγγλόγλωσσες δημοσιεύσεις της περιόδου 2015–2026 και κατέληξε σε 32 μελέτες, με έμφαση σε άρθρα περιοδικών. Συνεπώς, ενδέχεται να μην αποτυπώνει πλήρως τη «γκρίζα» βιβλιογραφία, τις τοπικές ή εθνικές πρακτικές, ούτε πολύ πρόσφατες εξελίξεις, ενώ η βιβλιομετρική ανάλυση περιορίζεται από τη μικρή ηλικία του σώματος των πηγών και, κατά συνέπεια, από τον περιορισμένο αριθμό ετεροαναφορών. Οι περιορισμοί αυτοί δεν αναιρούν την αξία των ευρημάτων, αλλά καθορίζουν με σαφήνεια το πλαίσιο εντός του οποίου αυτά ισχύουν.

Μελλοντικές κατευθύνσεις έρευνας

Οι παραπάνω περιορισμοί υποδεικνύουν, σχεδόν αντιστρόφως, και τις πλέον άμεσες κατευθύνσεις για μελλοντική έρευνα. Η προφανέστερη είναι η επανάληψη της μελέτης με μεγαλύτερο, πιθανοτικό και αντιπροσωπευτικό δείγμα, που θα επιτρέψει τη μετάβαση από την περιγραφική στην επαγωγική και πολυμεταβλητή στατιστική (παραγοντική ανάλυση, μοντέλα δομικών εξισώσεων, μοντέλα πρόβλεψης) και, έτσι, τον έλεγχο των σχέσεων που η παρούσα εργασία εντόπισε μόνο ενδεικτικά. Εξίσου κρίσιμη είναι η διερεύνηση του «χάσματος βούλησης–εφαρμογής» με διαχρονικές (longitudinal) μελέτες και με συνδυασμό ποσοτικών και ποιοτικών μεθόδων — συνεντεύξεων και ομάδων εστίασης — που θα φωτίσουν τα βαθύτερα αίτια του πέρα από όσα μπορεί να αποτυπώσει ένα κλειστό ερωτηματολόγιο.

Μια δεύτερη ομάδα κατευθύνσεων στρέφεται προς τη σύνδεση των αντιλήψεων με την πραγματική επίδοση. Μελέτες περίπτωσης (case studies) σε πραγματικά πράσινα εργοτάξια, με μέτρηση αντικειμενικών δεικτών —κατανάλωσης ενέργειας και νερού, εκπομπών, ποσοστών εκτροπής αποβλήτων— θα επέτρεπαν τη σύγκριση μεταξύ του τι δηλώνουν οι επαγγελματίες και του τι συμβαίνει στην πράξη. Παράλληλα, δεδομένης της ισχυρής ζήτησης για εκπαίδευση και θεσμική στήριξη που κατέγραψε η έρευνα, ιδιαίτερη αξία θα είχε η

πειραματική αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας στοχευμένων παρεμβάσεων — προγραμμάτων εκπαίδευσης και ευαισθητοποίησης, αλλά και οικονομικών ή θεσμικών κινήτρων— ώστε να τεκμηριωθεί ποιες δράσεις μεταφράζουν πράγματι την πρόθεση σε συμπεριφορά. Τέλος, κλαδικά εξειδικευμένες μελέτες (ενεργειακά, οδικά, λιμενικά και υδραυλικά έργα) θα μπορούσαν να αναδείξουν διαφοροποιήσεις που οι υποομάδες του παρόντος δείγματος δεν επέτρεψαν να αναλυθούν επαγωγικά.

Πέρα, ωστόσο, από τη βελτίωση και την επέκταση της συγκεκριμένης έρευνας, τα ευρήματα ανοίγουν προοπτικές και προς ευρύτερα, διεπιστημονικά πεδία που υπερβαίνουν το στενό αντικείμενο της εργασίας. Ένα πρώτο τέτοιο πεδίο είναι η απανθρακοποίηση της εφοδιαστικής αλυσίδας της κατασκευής: η υψηλή διασπορά των απαντήσεων στους παράγοντες αποτυπώματος δείχνει ότι η διάσταση αυτή —εκπομπές Scope 3, ενσωματωμένος άνθρακας υλικών, περιβαλλοντικές δηλώσεις προϊόντων (EPD) και κριτήρια επιλογής προμηθευτών— χρήζει αυτοτελούς ερευνητικής προσοχής. Ένα δεύτερο πεδίο είναι η κυκλική οικονομία και η διαχείριση αποβλήτων κατασκευής και κατεδάφισης, με έμφαση σε διαβατήρια υλικών, σχεδιασμό για αποσυναρμολόγηση, αστική εξόρυξη (urban mining) και αγορές δευτερογενών υλικών.

Ένα τρίτο πεδίο αφορά την έρευνα πολιτικής και θεσμικού σχεδιασμού: τις πράσινες δημόσιες προμήθειες, την τιμολόγηση του άνθρακα στον κατασκευαστικό κλάδο, τον σχεδιασμό αποτελεσματικών κινήτρων και την οικονομική ανάλυση της υιοθέτησης συστημάτων περιβαλλοντικής διαχείρισης (ISO 14001, EMAS). Στενά συνδεδεμένη είναι και η συμβολή της συμπεριφορικής και οργανωσιακής επιστήμης, η οποία θα μπορούσε να μελετήσει την περιβαλλοντική κουλτούρα και την κουλτούρα ασφάλειας στο εργοτάξιο, τον ρόλο της ηγεσίας, και τον σχεδιασμό συμπεριφορικών παρεμβάσεων και εκπαιδευτικών μεθοδολογιών — ζητήματα που η παρούσα έρευνα ανέδειξε ως καθοριστικά αλλά δεν μπορούσε να εξετάσει σε βάθος. Σε τεχνολογικό επίπεδο, η ψηφιακή και η υπολογιστική έρευνα (ψηφιακά δίδυμα, παρακολούθηση μέσω IoT σε πραγματικό χρόνο, βελτιστοποίηση με τεχνητή νοημοσύνη, ολοκλήρωση BIM–LCA και αυτοματοποίηση/ρομποτική) προσφέρει ένα ταχέως αναπτυσσόμενο πεδίο, του οποίου η πρακτική εφαρμοσιμότητα, η διαλειτουργικότητα και η οικονομική σκοπιμότητα σε ελληνικό και τοπικό πλαίσιο παραμένουν ανοικτά ερωτήματα.

Μια επιπλέον, ιδιαίτερα γόνιμη κατεύθυνση είναι η διεθνής και συγκριτική έρευνα. Η συγκριτική αποτίμηση (benchmarking) της ελληνικής εργοταξιακής πρακτικής έναντι αντίστοιχων ευρωπαϊκών και διεθνών δεδομένων θα επέτρεπε την αξιολόγηση του βαθμού

ωριμότητας του εγχώριου κλάδου, την ανάδειξη μεταφερόμενων καλών πρακτικών και τη διερεύνηση του κατά πόσον το «χάσμα βούλησης-εφαρμογής» που εντοπίστηκε αποτελεί τοπικό ή ευρύτερο φαινόμενο. Τέτοιες διακρατικές μελέτες θα μπορούσαν, επιπλέον, να φωτίσουν τον ρόλο των διαφορετικών θεσμικών και ρυθμιστικών πλαισίων στη διαμόρφωση των στάσεων και της συμπεριφοράς των επαγγελματιών, συνδέοντας τα ευρήματα με τη συζήτηση περί προτύπων και πιστοποιήσεων του Κεφαλαίου 2.

Στενά συνδεδεμένη με την ισχυρή ζήτηση για εκπαίδευση είναι και η έρευνα γύρω από τη μηχανική παιδεία και την επαγγελματική κατάρτιση. Η ενσωμάτωση της περιβαλλοντικής διαχείρισης εργοταξίου στα προγράμματα σπουδών των πολυτεχνικών σχολών και στη διάβιου επαγγελματική επιμόρφωση, καθώς και ο σχεδιασμός και η αξιολόγηση κατάλληλων εκπαιδευτικών μεθοδολογιών, αποτελούν αυτοτελή ερευνητικά αντικείμενα με άμεση πρακτική απήχηση. Παράλληλα, η τυποποίηση ενός κοινά αποδεκτού συνόλου δεικτών περιβαλλοντικής επίδοσης σε επίπεδο εργοταξίου —ώστε τα δεδομένα να καθίστανται συγκρίσιμα μεταξύ έργων, εταιρειών και χωρών— θα προσέφερε την απαραίτητη μεθοδολογική υποδομή για το σύνολο των προαναφερθεισών ερευνητικών κατευθύνσεων.

Τέλος, δύο ακόμη κατευθύνσεις διευρύνουν την οπτική προς την κοινωνική και τη συστημική διάσταση της βιωσιμότητας. Η πρώτη αφορά την υγεία, την επαγγελματική ασφάλεια και την κοινωνική βιωσιμότητα του εργοταξίου —την έκθεση των εργαζομένων σε σκόνη και θόρυβο, την ευημερία τους, καθώς και την κοινωνική (S) διάσταση των κριτηρίων ESG και τη δίκαιη μετάβαση— πτυχές που συμπληρώνουν την περιβαλλοντική εστίαση της παρούσας εργασίας. Η δεύτερη αφορά τη μετάβαση από την οπτική του εργοταξίου στην οπτική του συνολικού κύκλου ζωής του έργου, με ένταξη της εργοταξιακής φάσης σε ολοκληρωμένες αναλύσεις κύκλου ζωής, σε στόχους μηδενικού ισοζυγίου άνθρακα και σε στρατηγικές ενεργειακής αναβάθμισης του υφιστάμενου κτιριακού αποθέματος. Συνολικά, οι κατευθύνσεις αυτές υποδεικνύουν ότι το πεδίο του πράσινου εργοταξίου ωριμάζει: από μεμονωμένες, περιγραφικές αποτυπώσεις προς μια διεπιστημονική ερευνητική ατζέντα που γεφυρώνει τη μηχανική, την οικονομία, την πολιτική, τη συμπεριφορική επιστήμη και την ψηφιακή τεχνολογία.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

- Ahmed, M., Khan, N., & Ayub, M. (2024). Green construction practices and economic performance: The mediating role of social performance and environmental performance. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 20(5), 1396–1406. <https://doi.org/10.1002/ieam.4894>
- Bai, F., Cai, Q., Zheng, X., Lei, Z., Wang, W., Liang, J., Guo, J., & Qi, J. (2025). An integrated framework for reducing construction carbon emissions using real-time monitoring and econometrics. *Scientific Reports*, 15, 34188. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-15479-7>
- Bakkass, S., Semlali Aouragh Hassani, N., Ben Hachmi, M. K., & El Hilali, A. (2025). Implementation of an environmental management system (ISO 14001) on an underground gallery construction site in Casablanca Morocco. *Cleaner Waste Systems*, 11, 100259. <https://doi.org/10.1016/j.clwas.2025.100259>
- Balasbanch, A. T., Sher, W., Li, J., & Ashour, A. (2025). Systematic review of construction waste management scenarios: Informing life cycle sustainability analysis. *Circular Economy and Sustainability*, 5, 529–553. <https://doi.org/10.1007/s43615-024-00424-z>
- Boone, H. N., & Boone, D. A. (2012). Analyzing Likert Data. *Journal of Extension*, 50(2), 1–5.
- BRE Group. (2025). BREEAM New Construction Version 7. Building Research Establishment (BRE).
- Bryman, A. (2016). *Social Research Methods* (5th ed.). Oxford University Press.
- Chen, L., Liu, Z., Liu, Y., Chen, Z., Huang, L., Dong, L., Li, X., Xie, Z., Hua, J., & Shi, J. (2026). Green construction strategies to combat climate change and public-health issues. *Cell Reports Physical Science*, 7(1), 103044. <https://doi.org/10.1016/j.xcrp.2025.103044>

- Chen, S.-Y. (2026). BIM-based climate action for mitigation and adaptation: Carbon-neutral buildings and regional carbon footprint management. *Computer-Aided Design & Applications*, 23(1), 68–84. <https://doi.org/10.14733/cadaps.2026.68-84>
- Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2018). *Research Methods in Education* (8th ed.). Routledge.
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches* (5th ed.). SAGE Publications.
- Dillman, D. A., Smyth, J. D., & Christian, L. M. (2014). *Internet, Phone, Mail, and Mixed-Mode Surveys: The Tailored Design Method* (4th ed.). John Wiley & Sons.
- Fan, H., Huang, Z., & Xie, Y. (2025). Cost-effectiveness assessment of retrofitting construction equipment for reducing diesel emissions—A life cycle and public health effects perspective. *Environmental Impact Assessment Review*, 113, 107864. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2025.107864>
- Field, A. (2018). *Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics* (5th ed.). SAGE Publications.
- Geng, L., Li, S., Noroozinejad Farsangi, E., Xu, X., & Tam, V. W. Y. (2026). How do digital technologies reduce carbon emissions in the construction industry? A systematic review. *Energy and Buildings*, 350, 116605. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2025.116605>
- Gu, J., Guo, F., Peng, X., & Wang, B. (2023). Green and sustainable construction industry: A systematic literature review of the contractor's green construction capability. *Buildings*, 13(2), 470. <https://doi.org/10.3390/buildings13020470>

Guo, Q., Su, S., Gan, V. J. L., Liu, C., Feng, J., & Ding, W. (2026). Daily construction carbon emissions and costs assessment from an interaction perspective: Integration of BIM and agent-based modeling. *Environmental Impact Assessment Review*, 116, 108109. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2025.108109>

Hasselsteen, L., Brisson Stapel, E., Birgisdóttir, H., Sørensen, C. G., & Kanafani, K. (2025). Evaluating the environmental impact of construction waste: A comprehensive analysis of End-of-Life scenarios in Environmental Product Declarations. *Building and Environment*, 280, 113159. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.113159>

Huang, X., Luo, H., Kang, J., & Liu, J. (2025). Worker-centric construction noise management: A systematic review of assessment, monitoring, modelling, and control. *Building and Environment*, 280, 113131. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.113131>

Ibe, C. N. (2025). Optimising circular economy practices in construction: A systematic review of material management strategies. *Built Environment Project and Asset Management*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1108/BEPAM-02-2024-0026>

International Organization for Standardization. (2015). ISO 14001:2015 — Environmental management systems: Requirements with guidance for use. ISO.

Kim, H., Kim, J., & Wang, S. (2025). Automated human-centric construction dust alert system for construction workers: Field test operation and technical review. *Journal of Computational Design and Engineering*, 12(11), 37–52. <https://doi.org/10.1093/jcde/qwaf101>

Li, M., & Han, W. (2024). Design and implementation of construction site dust monitoring system. In *Proceedings of the 2024 8th International Conference on Electronic Information Technology and Computer Engineering (EITCE 2024)* (pp. 620–625). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3711129.3711236>

- Li, X., Jiang, M., Lin, C., Chen, R., Weng, M., & Jim, C. Y. (2025). Integrated BIM–IoT platform for carbon emission assessment and tracking in prefabricated building materialization. *Resources, Conservation and Recycling*, 215, 108122. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2025.108122>
- Liang, S., Chen, W., Li, L., & Liu, F. (2025). A study of carbon emission quota for construction period of dredging projects: Case studies in Guangzhou, Shenzhen, and Malé. *Buildings*, 15(13), 2293. <https://doi.org/10.3390/buildings15132293>
- Likert, R. (1932). A Technique for the Measurement of Attitudes. *Archives of Psychology*, 22(140), 1–55.
- Liu, Z., Xia, Z., Li, J., Wang, Y., Zhang, Y., Li, X., & Yang, Q. (2026). Carbon reduction potential and selection strategies of emerging construction-phase technologies. *Scientific Reports*, 16, 7863. <https://doi.org/10.1038/s41598-026-39122-1>
- Luo, W., Sandanayake, M., Hou, L., Tan, Y., & Zhang, G. (2022). A systematic review of green construction research using scientometrics methods. *Journal of Cleaner Production*, 366, 132710. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132710>
- Mavi, R. K., Gengatharen, D., & Mavi, N. (2021). Sustainability in construction projects: A systematic literature review. *Sustainability*, 13(4), 1932. <https://doi.org/10.3390/su13041932>
- Moustafa, Z., Asif, M., & Wuni, I. Y. (2025). Circular economy in the building sector: A systematic review of environmental, economic, and social dimensions. *Sustainable Futures*, 9, 100690. <https://doi.org/10.1016/j.sfr.2025.100690>
- Mrak, I., Galjanić, K., Hanak, T., & Marović, I. (2025). An overview of environmental performance indicators in the construction industry. *Applied Sciences*, 15(22), 12135. <https://doi.org/10.3390/app152212135>

Salamé, J. M., Nicolai, I., Saidani, M., & Leroy, Y. (2025). Enhancing and monitoring the environmental performance of complex industrial projects: A communication-based approach.

Cleaner Environmental Systems, 18, 100295. <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2025.100295>

Sandaruwan, I. P. T., Illankoon, C., & Yiu, T. W. (2025). Technology-based embodied carbon emissions tracking and monitoring systems for buildings: Review of systems, benefits, limitations, challenges and future directions. *Buildings*, 15(24), 4421.

<https://doi.org/10.3390/buildings15244421>

Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2019). *Research Methods for Business Students* (8th ed.). Pearson Education.

Shajidha, H., & Mortula, M. M. (2025). Sustainable waste management in the construction industry. *Frontiers in Sustainable Cities*. Advance online publication.

<https://doi.org/10.3389/frsc.2025.1582239>

Shin, D., Moon, S., Ham, J., Kim, H., Yoo, C., Kim, S., & Park, S. (2025). Modernizing load and emission factors for construction machinery based on real-world operation: Estimation of emission data in Korea. *Environmental Pollution*, 366, 125530.

<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.125530>

Su, Y., Liu, J., & Zheng, Z. (2025). Enhancing the green construction performance resilience in infrastructure projects: A complexity perspective. *Buildings*, 15(15), 2594.

<https://doi.org/10.3390/buildings15152594>

Teizer, J., & Wandahl, S. (2022). Simplified emissions measurement system for construction equipment. In *Construction Research Congress 2022: Computer Applications, Automation, and Data Analytics* (pp. 474–482). American Society of Civil Engineers.

<https://doi.org/10.1061/9780784483961.050>

Tetik, M., Pikas, E., Koskela, L. J., & Vendel, K.-R. (2025). Construction site emissions: Exploring sustainable practices. In O. Seppänen, L. Koskela, & K. Murata (Eds.), *Proceedings of the 33rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC33)* (pp. 1208–1218). <https://doi.org/10.24928/2025/0127>

U.S. Green Building Council. (2025). LEED v5 for Building Design and Construction: Reference guide. USGBC.

Wang, G., Luo, T., Luo, H., Liu, R., Liu, Y., & Liu, Z. (2024). A comprehensive review of building lifecycle carbon emissions and reduction approaches. *City and Built Environment*, 2, Article 12. <https://doi.org/10.1007/s44213-024-00036-1>

Xu, H., Kim, J. I., & Chen, J. (2025). Improved framework for estimating carbon emissions from prefabricated buildings during the construction stage: Life cycle assessment and case study. *Building and Environment*, 272(4), 112599. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.112599>

Zeng, T., Chen, Y., Wang, L., Yuan, M., Ma, B., Wu, H., Liu, J., & Lu, Y. (2026). Carbon emission calculation during the production and construction phases of overhead transmission lines. *Energies*, 19(4), 873. <https://doi.org/10.3390/en19040873>

Παράρτημα Α: Ερωτηματολόγιο Έρευνας

Παρακάτω αποτυπώνεται το πλήρες ερωτηματολόγιο που διανεμήθηκε στα πλαίσια της εμπειρικής έρευνας του 4^{ου} Κεφαλαίου.

Ενότητα 1. Δημογραφικά Στοιχεία

Ερώτηση 1: Θέση Εργασίας

- Ανειδίκευτος Εργάτης
- Ειδικευμένος Εργάτης
- Εργοδηγός
- Μηχανικός
- Άλλο

Ερώτηση 2: Εύρος συνολικής επαγγελματικής εμπειρίας

- <5 έτη
- 5-15 έτη
- >15 έτη

Ερώτηση 3: Είδος έργου που απασχολείται ο συμμετέχων

- Οικοδομικό
- Οδοποιίας
- Ενεργειακό
- Λιμενικό – Υδραυλικό
- Άλλο

Ερώτηση 4: Υπάρχει εφαρμογή περιβαλλοντικού συστήματος διαχείρισης στην εταιρεία σας; (π.χ. ISO 14001)

- Ναι
- Όχι
- Δε γνωρίζω

Ενότητα 2: Περιβαλλοντική Διαχείριση και Βιώσιμες Πρακτικές Εργοταξίου

Παρακαλώ δηλώστε τον βαθμό στον οποίο συμφωνείτε ή διαφωνείτε ότι τα παρακάτω μέτρα/πρακτικές συμβάλλουν στη βελτίωση της περιβαλλοντικής διαχείρισης και της βιωσιμότητας του εργοταξίου (Διαφωνώ απόλυτα, διαφωνώ, Ούτε Συμφωνώ/Ούτε διαφωνώ, Συμφωνώ, Συμφωνώ απόλυτα).

1. Μέτρα μείωσης θορύβου.
2. Έλεγχος κατανάλωσης καυσίμων μηχανημάτων.
3. Τήρηση διαδικασιών ασφαλούς αποθήκευσης και διαχείρισης επικίνδυνων υλικών.
4. Διαχωρισμός αποβλήτων στο εργοτάξιο.
5. Ανακύκλωση υλικών όπως μέταλλα, ξύλο και πλαστικό.
6. Συνεργασία με αδειοδοτημένους φορείς διαχείρισης αποβλήτων.
7. Εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας (π.χ. περιορισμός άσκοπης χρήσης φωτισμού και εξοπλισμού, χρήση ενεργειακά αποδοτικών συσκευών).
8. Εξοικονόμηση κατανάλωσης νερού (έλεγχος διαρροών, περιορισμός άσκοπης χρήσης νερού).
9. Χρήση μηχανημάτων με μειωμένη κατανάλωση καυσίμου.
10. Χρήση ψηφιακών εργαλείων για την οργάνωση και παρακολούθηση του εργοταξίου (π.χ. καταγραφή καυσίμων, εξοπλισμού ή εργασιών).
11. Αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.
12. Χρήση τεχνολογιών περιορισμού σκόνης και θορύβου.
13. Ορισμός υπευθύνων περιβαλλοντικής διαχείρισης.
14. Μέτρηση και παρακολούθηση περιβαλλοντικών δεικτών.
15. Εφαρμογή διαδικασιών αντιμετώπισης περιβαλλοντικών κινδύνων.

Ενότητα 3: Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις και Παράγοντες Επιρροής

Πόσο σημαντικές θεωρείτε τις παρακάτω περιβαλλοντικές επιπτώσεις του εργοταξίου; (Καθόλου Σημαντικό, Ελάχιστα Σημαντικό, Μέτρια Σημαντικό, Αρκετά Σημαντικό, Πολύ Σημαντικό)

1. Ατμοσφαιρική ρύπανση από μηχανήματα και οχήματα.
2. Ηχορύπανση από εργασίες και εξοπλισμό.
3. Παραγωγή μεγάλου όγκου αποβλήτων.

Πόσο σημαντικά είναι τα παρακάτω εμπόδια στην εφαρμογή βιώσιμων πρακτικών στο εργοτάξιο; (Καθόλου Σημαντικό, Ελάχιστα Σημαντικό, Μέτρια Σημαντικό, Αρκετά Σημαντικό, Πολύ Σημαντικό)

1. Υψηλό κόστος εφαρμογής μέτρων.
2. Περιορισμένος χρόνος υλοποίησης έργου.
3. Ελλιπής περιβαλλοντική νομοθεσία ή έλεγχος.

Πόσο σημαντικούς θεωρείτε τους παρακάτω παράγοντες σχετικά με το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των εργοταξίων; (Καθόλου Σημαντικό, Ελάχιστα Σημαντικό, Μέτρια Σημαντικό, Αρκετά Σημαντικό, Πολύ Σημαντικό)

1. Τις εκπομπές CO₂ που προκύπτουν από τις μεταφορές υλικών.
2. Τον σωστό προγραμματισμό δρομολογίων για τη μείωση κατανάλωσης καυσίμων.
3. Την επιλογή προμηθευτών με περιβαλλοντικά κριτήρια

Ενότητα 4: Περιβαλλοντική Κουλτούρα και Μελλοντικές Προοπτικές

Παρακαλώ δηλώστε τον βαθμό στον οποίο συμφωνείτε ή διαφωνείτε με τις παρακάτω προτάσεις σχετικά με την περιβαλλοντική ευαισθητοποίηση και τη μελλοντική διαχείριση των εργοταξίων (Διαφωνώ απόλυτα, διαφωνώ, Ούτε Συμφωνώ/Ούτε διαφωνώ, Συμφωνώ, Συμφωνώ απόλυτα).

1. Υπάρχει ενημέρωση για ορθές περιβαλλοντικές πρακτικές.
2. Η διοίκηση ενθαρρύνει περιβαλλοντικά υπεύθυνη συμπεριφορά.
3. Απαιτείται μεγαλύτερη εκπαίδευση προσωπικού.
4. Χρειάζονται αυστηρότεροι περιβαλλοντικοί έλεγχοι.
5. Η περιβαλλοντική διαχείριση θα αποτελέσει βασικό κριτήριο στα μελλοντικά έργα.
6. Η κρατική υποστήριξη θα βοηθούσε στην εφαρμογή βιώσιμων πρακτικών.

Υπεύθυνη Δήλωση Συγγραφέα:

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν.1599/1986, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης.