



«Σχολή Θετικών Επιστημών & Τεχνολογίας (ΣΘΕΤ)»

«ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ»

Διπλωματική Εργασία

«Η Κοστολόγηση Τεχνικών Έργων στη Φάση της Προσφοράς ως
Εργαλείο Αποτελεσματικής Διοίκησης Τεχνικών Έργων»

«Ελένη Γιουβαντζίκουλου»

Πολιτικός Μηχανικός ΤΕ

Επιβλέπουσα καθηγήτρια: «Μαρία Μπακατσάκη»

Πάτρα, «Σεπτέμβριος» «2026»

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία της φοιτήτριας («Γιουβαντζίκογλου Ελένης») 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.



«Η Κοστολόγηση Τεχνικών Έργων στη Φάση της Προσφοράς ως
Εργαλείο Αποτελεσματικής Διοίκησης Τεχνικών Έργων»

«Ελένη Γιουβαντζίκογλου»

Επιτροπή Επίβλεψης Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:
«Μαρία Μπακατσάκη»

Συν-Επιβλέπων Καθηγητής:
«Δημήτριος Κουμανάκος»

Πάτρα, «Σεπτέμβριος» «2026»

Στον Θεοχάρη

Περίληψη

Η παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία διερευνά τη διαδικασία κοστολόγησης των τεχνικών έργων κατά τη φάση της υποβολής προσφοράς, με στόχο την ανάδειξή της ως δυναμικού εργαλείου λήψης αποφάσεων και όχι ως στατικής λογιστικής καταγραφής. Μέσω συνδυασμού εκτεταμένης βιβλιογραφικής επισκόπησης και συστηματικής αξιοποίησης της επαγγελματικής εμπειρίας της συγγραφέως από πραγματικά τεχνικά έργα, αναλύονται οι κρίσιμες παράμετροι που διασφαλίζουν την ακρίβεια των προϋπολογισμών προσφοράς, ιδίως υπό τις σημερινές συνθήκες έντονης οικονομικής αστάθειας και ανατιμήσεων υλικών. Προτείνεται μεθοδολογικό πλαίσιο προσδιορισμού κρίσιμων παραμέτρων κοστολόγησης, συλλογής και αξιολόγησης τεχνικοοικονομικών δεδομένων και ανάλυσης αποκλίσεων μεταξύ αρχικής εκτίμησης και τελικού κόστους υλοποίησης, το οποίο τεκμηριώνεται θεωρητικά μέσω αντιστοίχισης με ευρήματα πραγματικών, δημοσιευμένων μελετών και μέσω αριθμητικής επίδειξης του μηχανισμού του, βάσει τυπικών αναλογιών κόστους που αναφέρονται στη διεθνή βιβλιογραφία. Η εργασία ολοκληρώνεται με συζήτηση της συμβολής της στη διεθνή βιβλιογραφία. Τα αναμενόμενα ευρήματα αφορούν στη χαρτογράφηση των κυριότερων παραγόντων υπέρβασης κόστους και στη διαμόρφωση βέλτιστων πρακτικών και ενός πρότυπου μοντέλου για τη σύνταξη ρεαλιστικών και ανθεκτικών προϋπολογισμών προσφοράς.

Λέξεις – Κλειδιά

Κοστολόγηση Τεχνικών Έργων, Φάση Προσφοράς, Ανάλυση Αποκλίσεων, Διαχείριση Κινδύνου, Ανατιμήσεις Υλικών, Διοίκηση Τεχνικών Έργων, Πρότυπο Μοντέλο Κοστολόγησης

« Cost Estimation of Technical Projects in the Tendering Phase as a Tool for Effective Construction Project Managemen »

«Eleni Giouvantzikoglou»

Abstract

This Master's Thesis investigates the cost estimation process of technical (construction) projects during the tendering phase, aiming to establish costing not as a static accounting record but as a dynamic decision-support tool. Combining an extensive literature review with the systematic use of the author's professional experience on real technical projects, the critical parameters that safeguard the accuracy of tender budgets are analyzed, particularly under current conditions of economic instability and material price escalation. A methodological framework is proposed for identifying critical costing parameters, collecting and evaluating technical-economic data, and analyzing the deviations between the initial estimate and the actual implementation cost, which is conceptually validated by mapping it against findings of real, published studies and through a numerical demonstration of its mechanism, based on typical cost ratios reported in the international literature. The thesis concludes with a discussion of its contribution to the existing literature. The expected findings concern the mapping of the main factors driving cost overruns and the formulation of best practices and a standard model for drafting realistic and resilient tender budgets.

Keywords

Construction Cost Estimation, Tendering Phase, Deviation Analysis, Risk Management, Material Price Escalation, Construction Project Management, Standard Costing Model

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	v
Abstract	vi
Περιεχόμενα	vii
Κατάλογος Σχημάτων	ix
Κατάλογος Πινάκων	x
Συντομογραφίες & Ακρωνύμια.....	xi
1 Εισαγωγή.....	1
1.1 Αντικείμενο και Σκοπός της Εργασίας	2
1.2 Η Σημασία της Φάσης της Προσφοράς στα Τεχνικά Έργα	2
1.3 Μεθοδολογική Προσέγγιση	4
1.4 Ερευνητικά Ερωτήματα	4
1.5 Σημασία και Συνεισφορά της Έρευνας.....	5
1.6 Περιορισμοί της Έρευνας	5
1.7 Δομή της Εργασίας	5
1.8 Ορισμοί Βασικών Εννοιών	6
2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	8
2.1 Αρχές Διοίκησης Τεχνικών Έργων και Κύκλος Ζωής Έργου	8
2.2 Σύγχρονες Μέθοδοι Κοστολόγησης και Προϋπολογισμού	11
2.3 Παράγοντες Αβεβαιότητας και Διαχείριση Κινδύνου (Risk Management)	13
2.4 Ανάλυση του Φαινομένου των Ανατιμήσεων και Μηχανισμοί Αναπροσαρμογής Κόστους.....	15
2.5 Συγκριτική Αποτίμηση των Μεθόδων και Θεωρητική Σύθεση	16
2.6 Κενά της Υπάρχουσας Βιβλιογραφίας και Τοποθέτηση της Παρούσας Έρευνας	17
2.7 Μεθοδολογία Αναζήτησης και Επιλογής Βιβλιογραφίας	17
3 Προτεινόμενη Μέθοδος Κοστολόγησης Τεχνικών Έργων στη Φάση της Προσφοράς	19
3.1 Προσδιορισμός Κρίσιμων Παραμέτρων Κοστολόγησης.....	19
3.2 Διαδικασία Συλλογής και Αξιολόγησης Τεχνικοοικονομικών Δεδομένων	20
3.3 Μοντέλο Ανάλυσης Αποκλίσεων	21
3.4 Πλαίσιο Εφαρμογής, Παραδοχές και Περιορισμοί του Μοντέλου.....	22
4 Εφαρμογή και Θεωρητική Επικύρωση του Προτεινόμενου Πλαισίου.....	24
4.1 Σκοπός και Λογική της Προσέγγισης	24
4.2 Αντιστοίχιση Κρίσιμων Παραμέτρων με Εμπειρικά Ευρήματα της Διεθνούς Βιβλιογραφίας	24
4.3 Συγκριτική Ανάλυση Αιτιών Υπέρβασης Κόστους σε Διαφορετικές Αγορές....	25
4.4 Αριθμητική Επίδειξη του Μοντέλου Ανάλυσης Αποκλίσεων	25
4.5 Ανάλυση Ευαισθησίας του Συνθετικού Δείκτη Απόκλισης	27

4.6	Παραλλαγές Εφαρμογής ανά Τύπο Έργου	28
4.7	Περιορισμοί της Θεωρητικής Επικύρωσης.....	30
5	Συμπεράσματα – Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα	31
5.1	Σύνοψη Ευρημάτων: Γιατί Αποτυγχάνουν οι Αρχικές Εκτιμήσεις;	31
5.2	Στρατηγικές Βελτίωσης της Διοίκησης μέσω της Ακριβούς Κοστολόγησης	31
5.3	Προτάσεις για ένα «Πρότυπο Μοντέλο Κοστολόγησης Προσφοράς»	32
5.4	Συμπεράσματα και Μελλοντικές Προοπτικές.....	32
5.5	Πρακτικές Συστάσεις προς Τεχνικές Εταιρείες	33
6	Στοιχεία Πρωτοτυπίας της Έρευνας	35
6.1	Η Πρωτοτυπία ως Κριτήριο Αξιολόγησης σε Εφαρμοσμένη Έρευνα.....	35
6.2	Στοιχεία Πρωτοτυπίας της Παρούσας ΜΔΕ	35
6.3	Συγκριτική Τοποθέτηση της Παρούσας Εργασίας.....	36
6.4	Περιορισμοί της Πρωτοτυπίας.....	37
7	Βιβλιογραφία.....	37
8	Παράρτημα Α: Συνοπτικός Πίνακας Βιβλιογραφικών Πηγών	42
9	Παράρτημα Β: Λίστα Ελέγχου Κρίσιμων Παραμέτρων Κοστολόγησης Προσφοράς.....	43
10	Παράρτημα Γ: Ενδεικτικός Αναλυτικός Πίνακας Επιμέτρησης (Bill of Quantities) 44	
11	Παράρτημα Δ: Υπολογιστικό Φύλλο Εφαρμογής του Μοντέλου Ανάλυσης Αποκλίσεων.....	45

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1. Στάδια Ωρίμανσης της Εκτίμησης Κόστους και Αντίστοιχα Περιθώρια Ακρίβειας	11
Σχήμα 2. Ταξινόμηση Παραγόντων Αβεβαιότητας στην Κοστολόγηση Προσφοράς.....	14
Σχήμα 3. Θεματική Κατανομή των Βιβλιογραφικών Αναφορών της ΜΔΕ	18
Σχήμα 4. Ροή της Προτεινόμενης Μεθοδολογίας.....	19
Σχήμα 5. Ενδεικτική Ποσοστιαία Κατανομή Κόστους ανά Κατηγορία	26
Σχήμα 6. Αριθμητική Επίδειξη Αποκλίσεων Δι ανά Κατηγορία Κόστους.....	27
Σχήμα 7. Ανάλυση Ευαισθησίας του Δείκτη ΔΣ υπό Τρία Αριθμητικά Σενάρια.....	28
Σχήμα 8. Ενδεικτική Σύγκριση του Συνθετικού Δείκτη ΔΣ σε Τρεις Παραλλαγές Τύπου Έργου	29
Σχήμα 9. Δομικά Στοιχεία του Προτεινόμενου «Πρότυπου Μοντέλου Κοστολόγησης Προσφοράς».....	32

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1. Συγκριτική Αποτίμηση Μεθόδων Κοστολόγησης Τεχνικών Έργων	13
Πίνακας 2. Ενδεικτικές Αιτίες Υπέρβασης Κόστους ανά Θεματική Κατηγορία	16
Πίνακας 3. Ενδεικτικοί Όροι Αναζήτησης Βιβλιογραφίας.....	17
Πίνακας 4. Κρίσιμες Παράμετροι Κοστολόγησης Προσφοράς ανά Κατηγορία Κόστους .	19
Πίνακας 5. Πηγές Τεχνικοοικονομικών Δεδομένων και Διαβάθμιση Αξιοπιστίας.....	21
Πίνακας 6. Επεξήγηση Συμβολισμών του Μοντέλου Ανάλυσης Αποκλίσεων	22
Πίνακας 7. Αντιστοίχιση Κρίσιμων Παραμέτρων του Μοντέλου με Εμπειρικά Ευρήματα Πραγματικών Μελετών	24
Πίνακας 8. Ενδεικτική Κατανομή Κόστους Προσφοράς ανά Κατηγορία	25
Πίνακας 9. Αριθμητική Επίδειξη του Δείκτη Απόκλισης Δι και του Συνθετικού Δείκτη ΔΣ	26
Πίνακας 10. Ανάλυση Ευαισθησίας του Δείκτη ΔΣ υπό Τρία Αριθμητικά Σενάρια Ανατίμησης Υλικών.....	28
Πίνακας 11. Ενδεικτικές Παραλλαγές Ποσοστιαίας Κατανομής Κόστους ανά Τύπο Έργου	29
Πίνακας 12. Σύνοψη Προτεινόμενων Στρατηγικών Βελτίωσης και Αντίστοιχη Βιβλιογραφική Τεκμηρίωση	31
Πίνακας 13. Συγκριτική Τοποθέτηση της Παρούσας ΜΔΕ έναντι Χαρακτηριστικών Προσεγγίσεων της Βιβλιογραφίας	37

Συντομογραφίες & Ακρωνύμια

ΜΔΕ: Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

ΔΧΤ: Διαχείριση Τεχνικών Έργων

ΑΤΗΕ / ΑΤΟΕ: Αναλυτικά Τιμολόγια Ηλεκτρομηχανολογικών / Οικοδομικών
Εργασιών

PM: Project Management (Διοίκηση Έργων)

BIM: Building Information Modeling (Μοντελοποίηση Πληροφοριών Κτιρίου)

ANN: Artificial Neural Network (Τεχνητό Νευρωνικό Δίκτυο)

EVA: Earned Value Analysis (Ανάλυση Δεδουλευμένης Αξίας)

QTO: Quantity Takeoff (Επιμέτρηση Ποσοτήτων)

1 Εισαγωγή

Η διοίκηση τεχνικών έργων (Project Management) αποτελεί έναν από τους πιο απαιτητικούς κλάδους της σύγχρονης οικονομίας, καθώς συνδυάζει τη μηχανική επιστήμη, τη χρηματοοικονομική διαχείριση και την επιχειρησιακή έρευνα. Στο σημερινό περιβάλλον, η επιτυχία ενός έργου δεν κρίνεται πλέον μόνο από την αρτιότητα της κατασκευής, αλλά κυρίως από την ικανότητα της διοίκησης να τηρήσει τους περιορισμούς του "σιδηρού τριγώνου": Χρόνος, Κόστος και Ποιότητα.

Ιδιαίτερα στον τομέα των κτιριακών έργων και των ενεργειακών υποδομών, οι προκλήσεις έχουν ενταθεί δραματικά την τελευταία πενταετία. Η παγκόσμια αστάθεια στις εφοδιαστικές αλυσίδες, οι γεωπολιτικές αναταράξεις και η ενεργειακή μετάβαση έχουν δημιουργήσει ένα σκηνικό έντονης αβεβαιότητας. Σε αυτό το πλαίσιο, η διαδικασία της κοστολόγησης κατά τη φάση της προσφοράς αναδεικνύεται στον κρίσιμότερο παράγοντα για τη βιωσιμότητα των κατασκευαστικών επιχειρήσεων.

1.1 Αντικείμενο και Σκοπός της Εργασίας

Αντικείμενο της παρούσας ΜΔΕ αποτελεί η διερεύνηση της διαδικασίας κοστολόγησης των τεχνικών έργων κατά την κρίσιμη φάση της υποβολής προσφοράς. Κεντρικός στόχος είναι η ανάδειξη της κοστολόγησης όχι ως μια στατική λογιστική καταγραφή, αλλά ως ένα δυναμικό εργαλείο λήψης αποφάσεων που θωρακίζει τη διοίκηση του έργου έναντι οικονομικών αστοχιών. Η εργασία επιδιώκει να αναλύσει τις παραμέτρους εκείνες που διασφαλίζουν την ακρίβεια των προϋπολογισμών, τη βιωσιμότητα της κατασκευαστικής επιχείρησης και την έγκαιρη ολοκλήρωση των έργων.

Ειδικότερα, η εργασία θέτει τους ακόλουθους επιμέρους στόχους:

1. την καταγραφή και ταξινόμηση των σύγχρονων μεθόδων και εργαλείων κοστολόγησης τεχνικών έργων, όπως αυτά αποτυπώνονται στη διεθνή βιβλιογραφία
2. τον προσδιορισμό των κρίσιμων παραμέτρων που επηρεάζουν την ακρίβεια μιας οικονομικής προσφοράς
3. την ανάπτυξη ενός μοντέλου ανάλυσης αποκλίσεων μεταξύ αρχικής εκτίμησης και τελικού κόστους υλοποίησης
4. τη θεωρητική επικύρωση του προτεινόμενου πλαισίου μέσω αντιστοίχισής του με ευρήματα πραγματικών, δημοσιευμένων μελετών και μέσω αριθμητικής επίδειξης του μαθηματικού του μηχανισμού.

Η επιλογή του θέματος δεν είναι τυχαία, συνδέεται άμεσα με την επαγγελματική ιδιότητα της συγγραφέως ως μηχανικού με ενεργό εμπλοκή στη σύνταξη οικονομικών προσφορών τεχνικών έργων, γεγονός που της επιτρέπει να συνδυάσει την ακαδημαϊκή τεκμηρίωση με πρακτική επίγνωση των δυσκολιών που ανακύπτουν στην καθημερινή άσκηση του επαγγέλματος.

1.2 Η Σημασία της Φάσης της Προσφοράς στα Τεχνικά Έργα

Η φάση της προσφοράς αποτελεί το κρίσιμότερο σημείο του κύκλου ζωής ενός τεχνικού έργου από οικονομικής άποψης, καθώς σε αυτήν καθορίζεται μια δεσμευτική τιμή για ένα αντικείμενο που δεν έχει ακόμη κατασκευαστεί, συχνά με ελλιπή ή μεταβαλλόμενα δεδομένα σχεδιασμού. Όπως επισημαίνουν οι Nia, Taheri και Jamalpour [13], η αξιοπιστία

των εκτιμήσεων στο προκατασκευαστικό στάδιο είναι καθοριστική για την επιτυχία του έργου, ενώ οι Arditi, Alnajjar και Vingert [19] τεκμηριώνουν τις πρακτικές δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι εκτιμητές λόγω περιορισμένου χρόνου, ελλιπούς τεκμηρίωσης σχεδιασμού και ελλιπούς πρακτικής γνώσης κατασκευής.

Η σημασία της φάσης αυτής ενισχύεται περαιτέρω από το γεγονός ότι τα σφάλματα ή οι υποεκτιμήσεις που εισάγονται στην προσφορά είναι εξαιρετικά δύσκολο να διορθωθούν στη συνέχεια, καθώς η τιμή της σύμβασης έχει ήδη δεσμεύσει τον ανάδοχο. Οι Bowen και Edwards [42] είχαν επισημάνει έγκαιρα ότι οι αιτιοκρατικές μέθοδοι πρόβλεψης τιμής δεν επαρκούν υπό συνθήκες αβεβαιότητας και ελλιπούς πληροφόρησης — παρατήρηση που αποκτά ιδιαίτερη βαρύτητα σήμερα, σε μια περίοδο έντονων και απρόβλεπτων διακυμάνσεων στις τιμές οικοδομικών υλικών. Οι Sayed, Abdel-Hamid και El-Dash [52], μέσω ανάλυσης 29 παραγόντων που συλλέχθηκαν από τη βιβλιογραφία και αξιολογήθηκαν από δεκατέσσερις project managers, κατέδειξαν ότι η μείωση των παραγόντων αυτών σε έναν πυρήνα κρίσιμων μεταβλητών, μέσω τεχνικής Pareto, μπορεί να περιορίσει σημαντικά την απόκλιση κόστους. Αντίστοιχα, οι Arif, Lodi και Azhar [53], μελετώντας 46 ολοκληρωμένα έργα στο Πακιστάν, ανέδειξαν την πρώιμη εμπλοκή του αναδόχου στη διαδικασία εκτίμησης και τον έλεγχο του κόστους εργατικών ως τους σημαντικότερους παράγοντες ακρίβειας.

Η σωστή διαχείριση της φάσης της προσφοράς λειτουργεί επομένως ως το «θεμέλιο» πάνω στο οποίο στηρίζεται η μετέπειτα αποτελεσματική διοίκηση του έργου.

1.3 Μεθοδολογική Προσέγγιση

Για την προσέγγιση του θέματος ακολουθείται μια συνδυαστική μεθοδολογία που εστιάζει στη θεωρητική και εμπειρική διερεύνηση. Αρχικά, πραγματοποιείται εκτενής βιβλιογραφική επισκόπηση σε διεθνή πρότυπα, με σκοπό την ανάλυση των σύγχρονων μεθόδων κοστολόγησης και των εργαλείων ανάλυσης κινδύνου. Η θεωρητική αυτή βάση εμπλουτίζεται και εξειδικεύεται μέσω της συστηματικής αξιοποίησης προσωπικής επαγγελματικής εμπειρίας από την ενασχόληση με πραγματικά τεχνικά έργα. Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει τη σε βάθος ανάλυση των πρακτικών δυσκολιών που ανακύπτουν κατά τη σύνταξη προσφορών, όπως η διαχείριση ελλιπών δεδομένων και οι προκλήσεις από τις ανατιμήσεις της αγοράς, προσφέροντας μια τεκμηριωμένη σύνδεση των ακαδημαϊκών αρχών με την καθημερινή πρακτική της διοίκησης έργων.

Η μεθοδολογική πορεία της εργασίας ολοκληρώνεται σε τρεις διαδοχικές φάσεις: πρώτον, την ανάπτυξη του τριμερούς μεθοδολογικού πλαισίου —προσδιορισμός κρίσιμων παραμέτρων, συλλογή και αξιολόγηση δεδομένων, ανάλυση αποκλίσεων— (Κεφάλαιο 3)· δεύτερον, την επικύρωσή του σε θεωρητικό επίπεδο και την αριθμητική επίδειξη του μηχανισμού του (Κεφάλαιο 4)· και τρίτον, τη συναγωγή συμπερασμάτων και προτάσεων βέλτιστης πρακτικής (Κεφάλαιο 5), με στόχο τη διαμόρφωση ενός λειτουργικού «πρότυπου μοντέλου κοστολόγησης προσφοράς».

1.4 Ερευνητικά Ερωτήματα

Η εργασία διαρθρώνεται γύρω από τα ακόλουθα ερευνητικά ερωτήματα:

- EE1: Ποιες είναι οι κρίσιμες παράμετροι που καθορίζουν την ακρίβεια μιας οικονομικής προσφοράς τεχνικού έργου;
- EE2: Πώς επηρεάζουν οι πρόσφατες ανατιμήσεις υλικών τη σχέση εκτιμηθέντος και τελικού κόστους υλοποίησης;
- EE3: Ποιο μεθοδολογικό πλαίσιο συλλογής δεδομένων και ανάλυσης αποκλίσεων μπορεί να ενισχύσει την αξιοπιστία της κοστολόγησης προσφοράς;
- EE4: Ποιες βέλτιστες πρακτικές μπορούν να ενσωματωθούν σε ένα «πρότυπο μοντέλο κοστολόγησης προσφοράς», αξιοποιήσιμο από τεχνικές εταιρείες;

1.5 Σημασία και Συνεισφορά της Έρευνας

Η συνεισφορά της παρούσας εργασίας εντοπίζεται σε τρία επίπεδα. Σε θεωρητικό επίπεδο, συνθέτει διάσπαρτη διεθνή βιβλιογραφία γύρω από τη φάση της προσφοράς, η οποία συνήθως εξετάζεται αποσπασματικά (είτε ως ζήτημα τεχνικών εκτίμησης, είτε ως ζήτημα διαχείρισης κινδύνου, είτε ως ζήτημα υπερβάσεων κόστους), σε ένα ενιαίο αναλυτικό πλαίσιο. Σε μεθοδολογικό επίπεδο, προτείνει ένα απλό, εφαρμόσιμο μοντέλο ανάλυσης αποκλίσεων, κατάλληλο για χρήση από μικρομεσαίες τεχνικές επιχειρήσεις που δεν διαθέτουν εξειδικευμένα λογισμικά κοστολόγησης. Σε πρακτικό επίπεδο, τέλος, τα ευρήματα και οι προτάσεις της εργασίας απευθύνονται άμεσα σε τεχνικές εταιρείες, μηχανικούς και project managers, με στόχο τη βελτίωση της ακρίβειας των προσφορών τους και, κατ' επέκταση, της κερδοφορίας και της βιωσιμότητάς τους.

1.6 Περιορισμοί της Έρευνας

Η παρούσα εργασία δεν φιλοδοξεί να αναπτύξει ένα πλήρως αυτοματοποιημένο λογισμικό κοστολόγησης, ούτε να καλύψει το σύνολο των τύπων τεχνικών έργων (οδοποιία, υδραυλικά, Η/Μ εγκαταστάσεις, ειδικά έργα) με την ίδια λεπτομέρεια. Η εφαρμογή του προτεινόμενου πλαισίου στο Κεφάλαιο 4 έχει θεωρητικό/αριθμητικό χαρακτήρα, βασισμένη σε αντιστοίχιση με ευρήματα της διεθνούς βιβλιογραφίας και σε ενδεικτικές, ποσοστιαίες αριθμητικές επιδείξεις, χωρίς αναφορά σε συγκεκριμένο πραγματικό ή υποθετικό έργο, και αποσκοπεί στην επίδειξη της εσωτερικής συνέπειας του προτεινόμενου μοντέλου και όχι στη διεξαγωγή στατιστικά γενικεύσιμων συμπερασμάτων. Η πλήρης εμπειρική επικύρωση του μοντέλου σε πραγματικά έργα αποτελεί πρόταση για μελλοντική έρευνα, όπως αναλύεται στην Ενότητα 5.4.

1.7 Δομή της Εργασίας

Η εργασία διαρθρώνεται σε έξι κεφάλαια.

Το παρόν 1ο Κεφάλαιο παρουσιάζει το αντικείμενο, τους στόχους, τα ερευνητικά ερωτήματα και τη μεθοδολογική προσέγγιση της εργασίας.

Το 2ο Κεφάλαιο περιλαμβάνει την εκτενή βιβλιογραφική ανασκόπηση, οργανωμένη σε θεματικούς άξονες: τις αρχές διοίκησης τεχνικών έργων, τις σύγχρονες μεθόδους κοστολόγησης, τους παράγοντες αβεβαιότητας και διαχείρισης κινδύνου, το φαινόμενο των

ανατιμήσεων, μια συγκριτική αποτίμηση των μεθόδων και τον εντοπισμό των κενών της υπάρχουσας έρευνας.

Το 3ο Κεφάλαιο αναπτύσσει την προτεινόμενη μέθοδο προσδιορισμού κρίσιμων παραμέτρων, συλλογής δεδομένων και ανάλυσης αποκλίσεων.

Το 4ο Κεφάλαιο επιχειρεί τη θεωρητική επικύρωση του πλαισίου, αντιστοιχίζοντάς το με ευρήματα πραγματικών μελετών της βιβλιογραφίας και επιδεικνύοντας τον μαθηματικό του μηχανισμό μέσω αριθμητικών παραδειγμάτων.

Το 5ο Κεφάλαιο συνοψίζει τα ευρήματα, προτείνει στρατηγικές βελτίωσης και ένα πρότυπο μοντέλο κοστολόγησης προσφοράς, και διατυπώνει προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

Το 6ο και τελευταίο Κεφάλαιο αναλύει διεξοδικά τα στοιχεία πρωτοτυπίας της παρούσας ΜΔΕ.

1.8 Ορισμοί Βασικών Εννοιών

Για τη διευκόλυνση της ανάγνωσης, παρατίθενται συνοπτικοί ορισμοί των βασικών εννοιών που χρησιμοποιούνται στην εργασία:

- Αποτελεσματική διοίκηση τεχνικών έργων: η ικανότητα της διοίκησης να ολοκληρώσει το έργο εντός των τριών περιορισμών του «σιδηρού τριγώνου» (χρόνος, κόστος, ποιότητα), διασφαλίζοντας παράλληλα την οικονομική βιωσιμότητα της κατασκευαστικής επιχείρησης· η έννοια αναλύεται διεξοδικά στην Ενότητα 2.1 [56], [57].
- Κοστολόγηση προσφοράς: η διαδικασία εκτίμησης του συνολικού κόστους υλοποίησης ενός τεχνικού έργου κατά το στάδιο σύνταξης της οικονομικής προσφοράς, πριν από την ανάθεση της σύμβασης.
- Άμεσο κόστος: το κόστος υλικών, εργατικών και μηχανημάτων που ενσωματώνεται απευθείας στο φυσικό αντικείμενο του έργου.
- Έμμεσο κόστος / Γενικά έξοδα: το κόστος υποστηρικτικών λειτουργιών του έργου (εργοταξιακή οργάνωση, διοίκηση, ασφάλιση) που δεν αντιστοιχεί άμεσα σε φυσικό αντικείμενο.
- Αποθεματικό απροβλέπτων (contingency): ποσό που προβλέπεται στον προϋπολογισμό για την κάλυψη κινδύνων και απρόβλεπτων γεγονότων.

- Απόκλιση κόστους (Δι): η ποσοστιαία διαφορά μεταξύ εκτιμηθέντος και πραγματικού κόστους μιας κατηγορίας δαπάνης, όπως ορίζεται στην Ενότητα 3.3.
- Υπέρβαση κόστους (cost overrun): η θετική απόκλιση του τελικού κόστους υλοποίησης σε σχέση με τον αρχικό προϋπολογισμό της σύμβασης.
- Ανατίμηση υλικών: η αύξηση της τιμής αγοράς ενός δομικού υλικού μεταξύ της χρονικής στιγμής σύνταξης της προσφοράς και της χρονικής στιγμής προμήθειάς του κατά την κατασκευή.

Τέλος, οι μαθηματικοί συμβολισμοί που χρησιμοποιούνται στο μοντέλο ανάλυσης αποκλίσεων των Ενοτήτων 3.3 και 4.4 έχουν την ακόλουθη σημασία:

- i : ο δείκτης της κατηγορίας κόστους — υλικά, εργατικά, υπεργολαβίες, γενικά έξοδα, απρόβλεπτα.
- $C_{\text{προσφ}}$: ο συνολικός προϋπολογισμός (τίμημα) της οικονομικής προσφοράς, σε ευρώ· δεδομένο του φακέλου προσφοράς.
- $C_{\text{εκτ},i}$: το εκτιμηθέν κόστος της κατηγορίας i κατά τη σύνταξη της προσφοράς, σε ευρώ· δεδομένο του φακέλου προσφοράς.
- $C_{\text{πραγ},i}$: το πραγματικό κόστος της κατηγορίας i κατά την υλοποίηση, σε ευρώ· δεδομένο του απολογισμού του έργου.
- w_i : η βαρύτητα (μερίδιο) της κατηγορίας i στον προϋπολογισμό προσφοράς, $w_i = C_{\text{εκτ},i} / C_{\text{προσφ}}$, εκφρασμένη σε ποσοστό.
- Δ_i : ο δείκτης ποσοστιαίας απόκλισης της κατηγορίας i , $\Delta_i (\%) = [(C_{\text{πραγ},i} - C_{\text{εκτ},i}) / C_{\text{εκτ},i}] \times 100$ · θετική τιμή δηλώνει υπέρβαση, αρνητική υστέρηση δαπάνης.
- $\Delta\Sigma$: ο συνθετικός δείκτης απόκλισης του έργου, $\Delta\Sigma (\%) = \Sigma (w_i \times \Delta_i)$ · εκφράζει τη συνολική ποσοστιαία απόκλιση επί του προϋπολογισμού προσφοράς και συγκρίνεται απευθείας με το ποσοστό του εργολαβικού οφέλους.

2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

2.1 Αρχές Διοίκησης Τεχνικών Έργων και Κύκλος Ζωής Έργου

Πριν από την ανάλυση των επιμέρους αρχών, κρίνεται σκόπιμο να προσδιοριστεί η ίδια η έννοια της αποτελεσματικής διοίκησης τεχνικών έργων, η οποία τίθεται στον τίτλο της παρούσας ΜΔΕ. Ως αποτελεσματική διοίκηση νοείται η ικανότητα της διοίκησης να ολοκληρώσει το έργο εντός των τριών αλληλοεξαρτώμενων περιορισμών του «σιδηρού τριγώνου» —χρόνου, κόστους και ποιότητας— σχήματος που αποδίδεται στον Barnes, ο οποίος το εισήγαγε το 1969 στο σεμινάριό του «Time and Money in Contract Control» ως εποπτικό μέσο για την ταυτόχρονη διαχείριση των τριών αυτών μεγεθών [56], διασφαλίζοντας παράλληλα την οικονομική βιωσιμότητα του φορέα υλοποίησης. Η

προσθήκη της τελευταίας αυτής διάστασης δεν είναι σχηματική: η διεθνής βιβλιογραφία έχει σταδιακά απομακρυνθεί από την ταύτιση της επιτυχίας ενός έργου αποκλειστικά με την τήρηση χρόνου και προϋπολογισμού. Ο Atkinson [57], εισάγοντας τον ίδιο τον όρο «iron triangle» στη σχετική συζήτηση, υποστήριξε ότι τα τρία αυτά κριτήρια είναι ανεπαρκή ως μέτρο επιτυχίας —χαρακτηρίζοντας κόστος και χρόνο ως «δύο εικασίες» και την ποιότητα ως «φαινόμενο»— και εισηγήθηκε τη διεύρυνσή τους με πρόσθετα κριτήρια. Αναγνωρίζεται, έτσι, ότι ένα έργο μπορεί να παραδοθεί εμπρόθεσμα και τεχνικά άρτια και, παρ' όλα αυτά, να αποβεί ζημιογόνο για τον ανάδοχο, εφόσον η συμβατική τιμή είχε εξαρχής υποεκτιμηθεί. Υπό τον ορισμό αυτόν, η αποτελεσματικότητα της διοίκησης δεν κρίνεται μόνο κατά την εκτέλεση του έργου, αλλά θεμελιώνεται ήδη στο στάδιο κατά το οποίο διαμορφώνεται η δεσμευτική οικονομική του βάση — τη φάση της προσφοράς, η οποία αποτελεί και το αντικείμενο της παρούσας εργασίας.

Η αποτελεσματική διοίκηση των τεχνικών έργων στηρίζεται ιστορικά στην ολοκλήρωση της παρακολούθησης κόστους με τον χρονικό προγραμματισμό, μια σχέση που έχει αναδειχθεί ως θεμελιώδης ήδη από τις πρώτες συστηματικές προσεγγίσεις της διοίκησης έργων. Οι Rasdorf και Abudayyeh [1] κατέγραψαν πρώιμα τα ζητήματα ποιότητας, ακεραιότητας και επικαιροποίησης των δεδομένων που διέπουν τα συστήματα ελέγχου κόστους-χρονοδιαγράμματος, προτείνοντας τη λογική του «πακέτου εργασίας» (work package) ως βάση ολοκλήρωσης. Στο ίδιο πνεύμα, ο Kibler [2] ανέδειξε τον ρόλο των τάσεων απόδοσης (trend-based information) στην αντικειμενική αποτίμηση της προόδου του έργου, ενώ ο Sears [3] είχε ήδη από νωρίτερα τεκμηριώσει πώς η ενοποίηση CPM και κόστους παρέχει ρεαλιστικές προβλέψεις ταμειακών ροών και επιτρέπει την ανάλυση επιπτώσεων από μεταβολές στο αντικείμενο του έργου. Πιο πρόσφατα, οι Jung κ.ά. [4] εφάρμοσαν αντίστοιχη λογική ολοκληρωμένου ελέγχου σε έργα πυρηνικής ενέργειας, ενώ οι Liu, Wang και Tian [5] ανέπτυξαν σύστημα διαχείρισης πληροφοριών για την ενοποίηση κόστους-χρονοδιαγράμματος σε έργα πυρηνικών σταθμών, καταδεικνύοντας ότι η ανάγκη ολοκλήρωσης παραμένει διαχρονική ανεξαρτήτως κλίμακα και τύπου έργου.

Παράλληλα με τη σχέση κόστους-χρόνου, σημαντικό ρεύμα της βιβλιογραφίας εστιάζει στη λογιστική παρακολούθηση βάσει δραστηριοτήτων (activity-based costing). Η Robinson Fayek [6] παρουσίασε μια προσέγγιση ενοποίησης εκτίμησης, προγραμματισμού και κοστολόγησης μέσω κωδικών δραστηριότητας, κατάλληλη ιδιαίτερα για μικρομεσαίες κατασκευαστικές επιχειρήσεις, ενώ οι Maxwell, Back και Toon [7] και οι Back, Maxwell

και Isidore [8] επέκτειναν τη λογική αυτή στη βελτιστοποίηση συνεργείων και στην αξιολόγηση βελτίωσης διαδικασιών υπό συνθήκες αβεβαιότητας. Η ενσωμάτωση σύγχρονων ψηφιακών εργαλείων στον κύκλο ζωής του έργου αποτυπώνεται από τους Chen κ.ά. [9], οι οποίοι συνδύασαν μοντέλα BIM με γενετικούς αλγορίθμους για τη βέλτιστη κατανομή συνεργείων, ενώ οι ElSahly, Ahmed και Abdelfatah [10], μέσω συστηματικής ανασκόπησης, κατέγραψαν το σύνολο των μοντέλων βελτιστοποίησης χρόνου-κόστους που έχουν αναπτυχθεί τις τελευταίες δεκαετίες, αναδεικνύοντας τη σταδιακή μετάβαση από αμιγώς λογιστικές σε ολοκληρωμένες, αποφασιοκεντρικές προσεγγίσεις διοίκησης έργων.

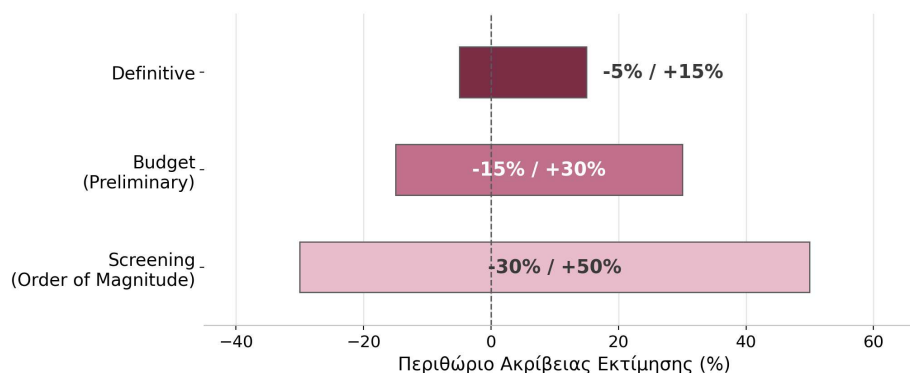
Συμπληρωματικά, οι Olawale και Sun [54], μελετώντας την πρακτική ελέγχου κόστους και χρόνου σε 250 κορυφαίες κατασκευαστικές εταιρείες του Ηνωμένου Βασιλείου, κατέληξαν σε κατάλογο βέλτιστων πρακτικών για τον σχεδιασμό, την παρακολούθηση, την αναφορά και την ανάλυση του ελέγχου έργου, επιβεβαιώνοντας ότι οι αδυναμίες εντοπίζονται συχνότερα στο στάδιο του αρχικού σχεδιασμού παρά στην καθαυτή εκτέλεση — εύρημα άμεσα συναφές με τη θέση της παρούσας εργασίας για την κρισιμότητα της φάσης της προσφοράς.

Είναι σκόπιμο να τονιστεί ότι η βιβλιογραφία αυτή, αν και δεν εστιάζει αποκλειστικά στη φάση της προσφοράς, θέτει το θεωρητικό υπόβαθρο πάνω στο οποίο στηρίζεται η παρούσα εργασία: η κοστολόγηση προσφοράς δεν μπορεί να αντιμετωπίζεται ως μεμονωμένη, στατική διαδικασία, αλλά ως το πρώτο κρίκο μιας αλυσίδας ολοκληρωμένου ελέγχου κόστους-χρόνου που εκτείνεται σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής του έργου.

Μια κριτική ανάγνωση των μελετών [1]–[10] αναδεικνύει μια σαφή εξελικτική πορεία: από τα πρώιμα, κυρίως περιγραφικά συστήματα ελέγχου κόστους-χρονοδιαγράμματος της δεκαετίας του 1980–1990 [2], [3], προς όλο και πιο ποσοτικοποιημένες και εξειδικευμένες προσεγγίσεις (activity-based costing [6]–[8], ενοποίηση με BIM [9]) και, τέλος, προς συστηματικές ανασκοπήσεις που επιχειρούν να συνθέσουν το ευρύ αυτό πεδίο [10]. Κοινό χαρακτηριστικό όλων των προσεγγίσεων παραμένει η αναγνώριση ότι η ποιότητα των δεδομένων εισόδου (input data quality) είναι εξίσου, αν όχι περισσότερο, καθοριστική από την εκλέπτυνση του υπολογιστικού μοντέλου που χρησιμοποιείται — παρατήρηση που θα αποτελέσει κεντρικό άξονα του προτεινόμενου πλαισίου συλλογής δεδομένων στην Ενότητα 3.2.

2.2 Σύγχρονες Μέθοδοι Κοστολόγησης και Προϋπολογισμού

Η κοστολόγηση στη φάση της προσφοράς αποτελεί διαχρονικά αντικείμενο έρευνας, με τις μεθόδους να εξελίσσονται από τις παραδοσιακές αναλυτικές προσεγγίσεις προς σύγχρονα υπολογιστικά και τεχνητής νοημοσύνης εργαλεία. Ο Gilleard [11] κατέγραψε τα βασικά μοντέλα εννοιολογικής και παραμετρικής κοστολόγησης που στηρίζονται σε ιστορικά δεδομένα μονάδος κόστους, ενώ ο Nichols [12] ανέλυσε τα στάδια ωρίμανσης μιας εκτίμησης (screening, budget, definitive) και τα αντίστοιχα περιθώρια ακρίβειας, όπως αποτυπώνεται στο Σχήμα 1. Οι Ahn κ.ά. [16] εισήγαγαν την έννοια της «επιρροής χαρακτηριστικού» (attribute impact) για τη στάθμιση παραγόντων κόστους σε πρώιμο στάδιο σχεδιασμού, ενώ αρκετές πρόσφατες μελέτες εστιάζουν σε μοντέλα μηχανικής μάθησης: οι Nia, Taheri και Jamalpour [13] εξέτασαν την αξιοπιστία των εκτιμήσεων στο στάδιο πριν την κατασκευή, οι Jassim κ.ά. [14] ανέπτυξαν μοντέλο προκαταρκτικής κοστολόγησης κτιριακών έργων και οι Karadimos και Anthopoulos [15] συνέταξαν ταξινόμια τεχνικών μηχανικής μάθησης για την κοστολόγηση κατασκευών.



Σχήμα 1. Στάδια Ωρίμανσης της Εκτίμησης Κόστους και Αντίστοιχα Περιθώρια Ακρίβειας

Η τάση ενσωμάτωσης τεχνητής νοημοσύνης επιβεβαιώνεται ευρέως: οι Ujong, Mbadike και Alaneme [17] χρησιμοποίησαν τεχνητά νευρωνικά δίκτυα για την πρόβλεψη κόστους και διάρκειας έργων, οι Habib, Abouhamad και Bayoumi [18] ανέπτυξαν πλαίσιο συνδυαστικής μάθησης (ensemble learning) για την πρόβλεψη κόστους σε διαδικασίες υποβολής προσφορών, ενώ οι Liu, Yang και Yu [21] πρότειναν υβριδικό μοντέλο απόσταξης γνώσης (knowledge distillation) σε συνδυασμό με νευρωνικά δίκτυα οπισθοδιάδοσης για την αντιμετώπιση της έλλειψης δεδομένων εκπαίδευσης σε προκατασκευασμένα έργα. Η ενσωμάτωση της Μοντελοποίησης Πληροφοριών Κτιρίου (BIM) στην κοστολόγηση αναδεικνύεται από τους Vitaliano κ.ά. [22], οι οποίοι εξέτασαν

συστηματικά τις προκλήσεις διαλειτουργικότητας μεταξύ BIM και AI, από τους Matějka και Vitásek [28], που συνέκριναν μεθόδους κοστολόγησης με χρήση BIM, από τους Pishdad-Bozorgi και Onungwa [32], που ανέλυσαν την εφαρμογή 5D BIM σε ολόκληρο τον κύκλο κόστους-πληρωμών, και από τους Alathamneh, Collins και Azhar [33], που πραγματοποίησαν συστηματική ανασκόπηση της ποσοτικοποίησης εργασιών (quantity takeoff) βάσει BIM.

Σε επίπεδο αυτοματοποίησης της εξαγωγής δεδομένων από τεχνικές προδιαγραφές, οι Akanbi και Zhang [23] ανέπτυξαν αλγορίθμους επεξεργασίας φυσικής γλώσσας που πέτυχαν υψηλή ακρίβεια στην αντιστοίχιση υλικών με τιμοκαταλόγους, ενώ οι Chou και Tseng [20] δημιούργησαν σύστημα εμπειρογνωμοσύνης βασισμένο σε αποθήκη δεδομένων έργου για μεταφορικά έργα. Ειδικότερα ως προς τη δομή του κόστους της προσφοράς, οι Hegazy και Moselhi [24] κατέγραψαν, μέσω έρευνας σε εργολήπτες Καναδά και ΗΠΑ, τον τρόπο κοστολόγησης άμεσου κόστους, γενικών εξόδων έργου και προσαύξησης κέρδους, οι Effat, Hosny και Dorra [25] ανέπτυξαν νευρωνικό μοντέλο πρόβλεψης έμμεσου κόστους (site overheads) στην Αίγυπτο, οι Han, Lee και Woo [26] πρότειναν μεθοδολογία ενσωμάτωσης του έμμεσου κόστους των υπεργολάβων στην εκτιμώμενη τιμή δημοσίων έργων, και ο Chao [27] ανέπτυξε σύστημα υποστήριξης αποφάσεων βασισμένο σε νευρωνικά δίκτυα για την εκτίμηση ποσοστού γενικών εξόδων έργου κατά την υποβολή προσφοράς. Τέλος, οι Hamilton και Westney [30] συνόψισαν τις βέλτιστες πρακτικές κοστολόγησης ανά στάδιο ωρίμανσης έργου (concept, development, execution), οι Ahlawat και Singh [29] ανέλυσαν συνδυαστικά τη διαδικασία προ-συμβατικής κοστολόγησης με τις στρατηγικές τιμολόγησης προσφοράς, ενώ οι Wang κ.ά. [31] πρότειναν πιθανοτικό μοντέλο ταχείας εκτίμησης τιμής προσφοράς που συνδυάζει προσομοίωση κόστους με πολυπαραγοντική αξιολόγηση.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η πλειονότητα των μελετών μηχανικής μάθησης που παρουσιάστηκαν [17], [18], [21] αναφέρουν επιδόσεις πρόβλεψης με σφάλμα κάτω του 5–10%, υπό την προϋπόθεση όμως ότι εκπαιδεύονται σε επαρκές και ποιοτικό ιστορικό δείγμα έργων παρόμοιου τύπου — προϋπόθεση που, στην πράξη, ελάχιστες μικρομεσαίες τεχνικές επιχειρήσεις στην Ελλάδα μπορούν να ικανοποιήσουν λόγω περιορισμένου όγκου ολοκληρωμένων έργων και έλλειψης συστηματικής ψηφιακής καταγραφής. Το κενό αυτό ενισχύει περαιτέρω το επιχείρημα υπέρ ενός απλούστερου, «υβριδικού» πλαισίου, όπως

αυτό που αναπτύσσεται στο Κεφάλαιο 3, το οποίο αξιοποιεί τις αρχές της συστηματικής ταξινόμησης παραμέτρων χωρίς να απαιτεί μεγάλο όγκο δεδομένων εκπαίδευσης.

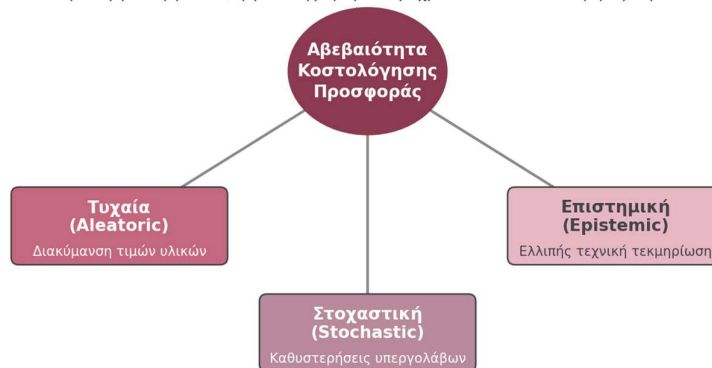
Πίνακας 1. Συγκριτική Αποτίμηση Μεθόδων Κοστολόγησης Τεχνικών Έργων

Μέθοδος	Πλεονεκτήματα	Περιορισμοί	Ενδεικτικές πηγές
Αναλυτική / Παραδοσιακή (ΑΤΗΕ, ΑΤΟΕ, επιμέτρηση)	Υψηλή ακρίβεια με πλήρη σχέδια· θεσμικά αποδεκτή	Χρονοβόρα· απαιτεί πλήρη τεχνική τεκμηρίωση	Hegazy & Moselhi (1995) [24] Arditi κ.ά. (2002) [19]
Παραμετρική	Ταχεία εκτίμηση με ελάχιστα δεδομένα	Εξάρτηση από την ποιότητα των ιστορικών δεδομένων	Gilleard (2006) [11] Ahn κ.ά. (2014) [16]
Μηχανική μάθηση / ANN	Σφάλμα 5–10% με επαρκή δεδομένα	Απαιτεί μεγάλο ιστορικό δείγμα· περιορισμένη διαφάνεια	Ujong κ.ά. (2022) [17] Habib κ.ά. (2025) [18]
BIM-based / 5D BIM	Αυτόματη ποσοτικοποίηση, λιγότερα σφάλματα επιμέτρησης	Υψηλό κόστος υλοποίησης	Matějka & Vitásek (2018) [28] Pishdad-Bozorgi & Onungwa (2024) [32]
Πιθανοτικά / Ασαφή μοντέλα	Ενσωματώνουν ρητά την αβεβαιότητα	Απαιτούν εξειδικευμένη τεχνογνωσία	Nieto-Morote & Ruz-Vila (2011) [35] Khodakarami & Abdi (2014) [41]

Πηγή: σύνθεση της συγγραφέως με βάση τις αναφορές [11], [16]–[19], [24], [28], [32], [35], [41].

2.3 Παράγοντες Αβεβαιότητας και Διαχείριση Κινδύνου (Risk Management)

Η αβεβαιότητα αποτελεί εγγενές χαρακτηριστικό της φάσης της προσφοράς, καθώς η κοστολόγηση καλείται να προηγηθεί της πλήρους ωρίμανσης του σχεδιασμού. Οι Curto κ.ά. [34] διέκριναν συστηματικά τις τυχαίες (aleatoric), στοχαστικές και επιστημικές αβεβαιότητες που επηρεάζουν τα αποθεματικά κόστους έκτακτων αναγκών (contingency reserves), ενώ οι Nieto-Morote και Ruz-Vila [35] ανέπτυξαν ασαφές (fuzzy) πολυκριτηριακό μοντέλο για την αξιολόγηση κινδύνου σε κατασκευαστικά έργα. Η ανάγκη ρεαλιστικής αποτίμησης της ακρίβειας εκτιμήσεων αναδεικνύεται και από τους Kaiser και Ullrich [36], οι οποίοι, μέσω μελέτης περίπτωσης σε πρόγραμμα έργων πληροφοριακών συστημάτων, έδειξαν ότι η αξιολόγηση της ακρίβειας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον δείκτη μέτρησης που επιλέγεται. Η ταξινόμηση των βασικών κατηγοριών αβεβαιότητας που προκύπτουν από τη βιβλιογραφία αυτή αποτυπώνεται συνοπτικά στο Σχήμα 2.



Σχήμα 2. Ταξινόμηση Παραγόντων Αβεβαιότητας στην Κοστολόγηση Προσφοράς

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η σύνδεση της πολυπλοκότητας του έργου με το κόστος: οι Zhao κ.ά. [37] ανέπτυξαν δομικό μοντέλο που αποδεικνύει άμεση επίδραση της πολυπλοκότητας εργασιών και οργάνωσης στο κόστος, ενώ έμμεση επίδραση ασκούν παράγοντες αγοράς, νομικού πλαισίου και εξωτερικού περιβάλλοντος. Αντίστοιχα ευρήματα, ως προς τη σημασία της αναγνώρισης διαστάσεων πολυπλοκότητας (κίνδυνος, μέγεθος έργου, χρονικό πλαίσιο) για τη βελτίωση της ακρίβειας κοστολόγησης σε σύνθετα έργα, καταγράφονται στη διεθνή βιβλιογραφία [38], όπως και ευρήματα σχετικά με τους παράγοντες που επηρεάζουν την ανακρίβεια κόστους σε μεγάλης κλίμακας έργα υποδομών, με τις αστοχίες εκτίμησης, τις τοπικές πιέσεις και τους μεγάλους χρόνους επεξεργασίας να αναδεικνύονται ως κυρίαρχοι παράγοντες στη φάση σχεδιασμού [39]. Σε επίπεδο ποσοτικής μοντελοποίησης της αβεβαιότητας, οι Desse και Jekale Mengesha [40] ανέπτυξαν μεθοδολογία γκρι-ασαφούς ανάλυσης δεδουλευμένης αξίας (grey-fuzzy earned value analysis) για την πρόβλεψη κόστους υπό ελλιπή δεδομένα, ενώ οι Khodakarami και Abdi [41] πρότειναν προσέγγιση Μπεϋζιανών δικτύων για τη μοντελοποίηση των αλληλεξαρτήσεων μεταξύ κονδυλίων κόστους, ζήτημα που συχνά παραβλέπεται στην παραδοσιακή πιθανοτική ανάλυση κινδύνου. Ήδη από τη δεκαετία του 1980, οι Bowen και Edwards [42] είχαν επισημάνει ότι οι αιτιοκρατικές (deterministic) μέθοδοι πρόβλεψης τιμής δεν επαρκούν για τη διαχείριση της αβεβαιότητας και της ελλιπούς πληροφόρησης, προτείνοντας πιθανοτικές και έμπειρες (expert system) προσεγγίσεις ως εναλλακτική.

2.4 Ανάλυση του Φαινομένου των Ανατιμήσεων και Μηχανισμοί Αναπροσαρμογής Κόστους

Η υπέρβαση κόστους (cost overrun) αποτελεί ένα από τα πλέον μελετημένα φαινόμενα στη διεθνή βιβλιογραφία διοίκησης τεχνικών έργων. Οι Shehu κ.ά. [43] ανέλυσαν συγκριτικά τα αίτια υπέρβασης κόστους σε έργα της Μαλαισίας, οι Le-Hoai, Lee και Lee [44] συνέκριναν τις καθυστερήσεις και τις υπερβάσεις κόστους σε μεγάλα έργα του Βιετνάμ με άλλες χώρες, ενώ ο Plebankiewicz [45] ανέπτυξε μοντέλο πρόβλεψης υπέρβασης κόστους και οι Odeck και Kjerkreit [46] πραγματοποίησαν 20ετή αναδρομική μελέτη ακρίβειας εκτιμήσεων κόστους σε οδικά έργα. Πιο πρόσφατα, οι Ammar, Abdel-Monem και El-Dash [47] εντόπισαν, μέσω παραγοντικής και παλινδρομικής ανάλυσης σε έργα οδοποιίας στην Αίγυπτο, την κακή ποιότητα υλικών, τις μεταβολές αντικειμένου εργασιών και τις αποκλίσεις ποσοτήτων ως κύριες αιτίες υπέρβασης κόστους, ενώ οι Daoud, El Hefnawy και Wefki [48] κατέγραψαν αντίστοιχους παράγοντες (ανεπαρκής προγραμματισμός, αλλαγές αντικειμένου, καθυστερήσεις πληρωμών) σε μεγάλα έργα υποδομής στην Αίγυπτο.

Σε θεωρητικό επίπεδο, οι Love, Ahiaga-Dagbui και Irani [49] πρότειναν τη μετάβαση από ντετερμινιστικές σε πιθανοτικές, πλουραλιστικές θεωρίες αιτιότητας για την ερμηνεία των υπερβάσεων κόστους σε έργα υποδομών μεταφορών, τονίζοντας τη σημασία των αλληλεξαρτήσεων μεταξύ αιτιών. Σχετικά με τη στρατηγική τιμολόγησης της προσφοράς, ενδιαφέρον παρουσιάζουν και τα ευρήματα σχετικά με τις στρατηγικές τιμολόγησης που ακολουθούν εργολήπτες σε αναπτυσσόμενες αγορές, όπου ο καθορισμός του περιθωρίου κέρδους (mark-up) βασίζεται συχνά αποκλειστικά σε ιστορικό κόστος και όχι σε ανάλυση συνθηκών αγοράς ή ανταγωνισμού [55], πρακτική που ενέχει αυξημένο κίνδυνο απόκλισης σε περιόδους έντονης μεταβλητότητας τιμών.

Παράλληλα, σημαντικό ρεύμα της βιβλιογραφίας συνδέει την πρόωπη εμπλοκή του εργολάβου (early contractor involvement) με τη βελτίωση της ακρίβειας κοστολόγησης: οι Sædal κ.ά. [50] κατέγραψαν, μέσω μελέτης περίπτωσης στη Νορβηγία, τα οφέλη της πρόωμης εμπλοκής στην ομάδα σχεδιασμού, ενώ οι Botha και Scheepbouwer [51], εξετάζοντας 288 έργα αποκατάστασης υποδομών μετά τους σεισμούς του Christchurch, τεκμηρίωσαν στατιστικά τη σημαντική βελτίωση της οικονομικής απόδοσης και της ακρίβειας κόστους σε έργα που επωφελήθηκαν από πρόωπη συμμετοχή του κατασκευαστή. Οι κυριότερες αιτίες υπέρβασης κόστους που καταγράφονται στις μελέτες αυτές ταξινομούνται ανά θεματική κατηγορία στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2. Ενδεικτικές Αιτίες Υπέρβασης Κόστους ανά Θεματική Κατηγορία

Θεματική Κατηγορία	Ενδεικτικές Αιτίες	Αναφορές
Αγορά / Τιμές Υλικών	Απρόβλεπτη ανατίμηση πρώτων υλών, διακυμάνσεις συναλλάγματος	[34], [47]
Σχεδιασμός / Τεχνική Τεκμηρίωση	Ελλιπή σχέδια, μεταβολές αντικειμένου εργασιών, αποκλίσεις ποσοτήτων	[19], [48]
Διαδικασία Προσφοράς	Περιορισμένος χρόνος σύνταξης, υποκειμενική επιλογή ποσοστών γενικών εξόδων	[24], [52]
Οργάνωση / Πολυπλοκότητα Έργου	Πολυπλοκότητα εργασιών και οργάνωσης, μέγεθος έργου	[37], [38]
Διαχείριση Κινδύνου	Απουσία συστηματικής ανάλυσης κινδύνου, στατικό αποθεματικό προβλέπτων	[35], [41]

Πηγή: σύνθεση της συγγραφέως από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση των Ενότητων 2.3–2.4.

Τα ευρήματα αυτά συνδέονται άμεσα με το αντικείμενο της παρούσας ΜΔΕ, καθώς αναδεικνύουν ότι οι αποφάσεις και οι πρακτικές που λαμβάνονται πριν ακόμη από την υπογραφή της σύμβασης —δηλαδή κατά τη φάση της προσφοράς— επηρεάζουν καθοριστικά την τελική οικονομική έκβαση του έργου, επιβεβαιώνοντας το στοιχείο πρωτοτυπίας που τίθεται ως στόχος της εργασίας.

2.5 Συγκριτική Αποτίμηση των Μεθόδων και Θεωρητική Σύνθεση

Από τη συγκριτική επισκόπηση του Πίνακα 1 προκύπτει ότι δεν υπάρχει μία «βέλτιστη» μέθοδος κοστολόγησης, αλλά η καταλληλότητα κάθε προσέγγισης εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα δεδομένων, το μέγεθος και την πολυπλοκότητα του έργου, καθώς και τους διαθέσιμους πόρους (χρόνο, τεχνογνωσία, λογισμικό) της τεχνικής επιχείρησης. Οι παραδοσιακές αναλυτικές μέθοδοι παραμένουν κυρίαρχες στα ελληνικά δημόσια έργα λόγω της υποχρεωτικής χρήσης εγκεκριμένων Αναλυτικών Τιμολογίων, ενώ οι μέθοδοι τεχνητής νοημοσύνης και BIM, αν και τεκμηριωμένα ακριβέστερες υπό προϋποθέσεις [17], [18], [21], [32], προϋποθέτουν επενδύσεις σε τεχνογνωσία και υποδομή που δεν είναι πάντοτε προσιτές σε μικρομεσαίες κατασκευαστικές επιχειρήσεις.

Στο πλαίσιο αυτό, η παρούσα εργασία δεν επιδιώκει την υιοθέτηση μιας εξειδικευμένης υπολογιστικής μεθόδου, αλλά την ανάπτυξη ενός υβριδικού, «ελαφρού» πλαισίου (Κεφάλαιο 3) που συνδυάζει στοιχεία αναλυτικής κοστολόγησης, συστηματικής ταξινόμησης κρίσιμων παραμέτρων και απλής ποσοτικής ανάλυσης αποκλίσεων, ώστε να είναι άμεσα εφαρμόσιμο από τεχνικές επιχειρήσεις κάθε μεγέθους.

2.6 Κενά της Υπάρχουσας Βιβλιογραφίας και Τοποθέτηση της Παρούσας Έρευνας

Παρά τον όγκο της σχετικής βιβλιογραφίας, εντοπίζονται τρία κενά που η παρούσα εργασία επιχειρεί να καλύψει. Πρώτον, η πλειονότητα των μελετών εστιάζει στον έλεγχο κόστους κατά το στάδιο της κατασκευής και όχι στην προληπτική διαχείριση της φάσης της προσφοράς [43]–[46]. Δεύτερον, ελάχιστες μελέτες εξετάζουν ειδικά την επίδραση των πρόσφατων, έντονων ανατιμήσεων υλικών στην ακρίβεια της κοστολόγησης προσφοράς, ζήτημα ιδιαίτερα επίκαιρο για την ελληνική και τη διεθνή αγορά μετά το 2021–2022. Τρίτον, οι προτεινόμενες μεθοδολογίες τείνουν να είναι είτε υπερβολικά απλουστευμένες (σταθερά ποσοστά γενικών εξόδων και απροβλέπτων), είτε υπερβολικά πολύπλοκες και υπολογιστικά απαιτητικές (μοντέλα ANN, Bayesian networks) για την καθημερινή πρακτική μικρομεσαίων τεχνικών επιχειρήσεων. Η παρούσα ΜΔΕ τοποθετείται στο ενδιάμεσο αυτό κενό, προτείνοντας ένα απλό αλλά τεκμηριωμένο πλαίσιο, άμεσα εφαρμόσιμο στην ελληνική πραγματικότητα.

2.7 Μεθοδολογία Αναζήτησης και Επιλογής Βιβλιογραφίας

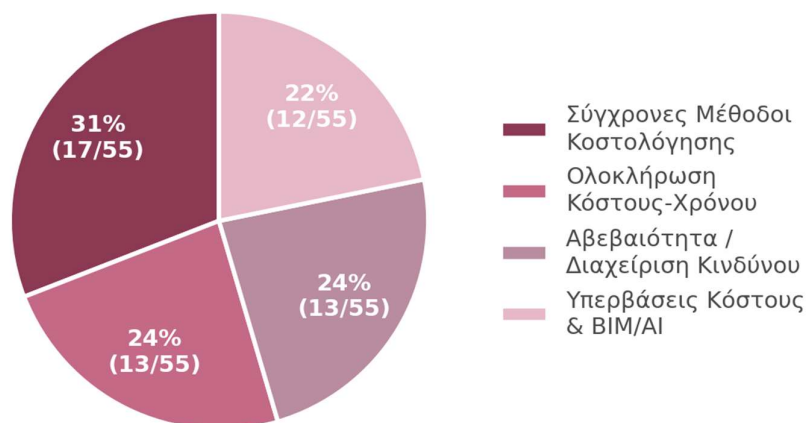
Η βιβλιογραφική αναζήτηση πραγματοποιήθηκε κυρίως στη βάση δεδομένων Scopus, συμπληρωματικά δε σε Google Scholar, καλύπτοντας κατά κύριο λόγο δημοσιεύσεις της τελευταίας εικοσαετίας, με έμφαση στην περίοδο 2020–2026 προκειμένου να αποτυπωθούν οι πλέον πρόσφατες εξελίξεις σε μεθόδους κοστολόγησης βασισμένες σε τεχνητή νοημοσύνη και BIM. Οι λέξεις-κλειδιά που χρησιμοποιήθηκαν, μεμονωμένα και σε συνδυασμούς, παρατίθενται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3. Ενδεικτικοί Όροι Αναζήτησης Βιβλιογραφίας

Θεματική Ενότητα	Όροι Αναζήτησης (EN)
Μέθοδοι κοστολόγησης	"construction cost estimation", "parametric cost estimating", "bid pricing"
Ολοκλήρωση κόστους-χρόνου	"cost and schedule integration", "activity-based costing"
Αβεβαιότητα / κίνδυνος	"cost contingency", "construction risk assessment", "Bayesian cost risk"
Υπερβάσεις κόστους	"cost overrun construction", "factors affecting cost accuracy"
BIM / Τεχνητή Νοημοσύνη	"BIM cost estimation", "machine learning construction cost", "neural network cost prediction"

Ως κριτήρια ένταξης ορίστηκαν: (α) δημοσίευση σε επιστημονικό περιοδικό, πρακτικά συνεδρίου ή κεφάλαιο βιβλίου με κρίση από ομοτίμους, (β) άμεση συνάφεια με την

κοστολόγηση, τον προϋπολογισμό ή τη διαχείριση κινδύνου τεχνικών/κατασκευαστικών έργων, και (γ) διαθεσιμότητα πλήρους κειμένου ή έγκυρης περίληψης. Εξαιρέθηκαν εργασίες εκτός του πεδίου των τεχνικών/κατασκευαστικών έργων (π.χ. αμιγώς λογισμικού, εκτός εάν η μεθοδολογία ήταν άμεσα μεταφέρσιμη), καθώς και πηγές χωρίς σαφή επιστημονική τεκμηρίωση. Από την αρχική συλλογή άνω των 58 πιθανών πηγών, επιλέχθηκαν και αξιοποιήθηκαν 55 βιβλιογραφικές αναφορές, η θεματική κατανομή των οποίων παρουσιάζεται στο Σχήμα 3. Σε αυτές προστέθηκαν δύο πηγές θεμελίωσης της έννοιας της αποτελεσματικής διοίκησης τεχνικών έργων [56], [57], οπότε ο συνολικός αριθμός βιβλιογραφικών αναφορών της ΜΔΕ ανέρχεται σε 57.

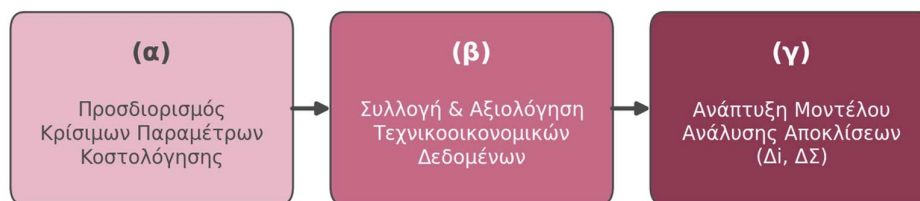


Σχήμα 3. Θεματική Κατανομή των Βιβλιογραφικών Αναφορών της ΜΔΕ

Όπως προκύπτει από το Σχήμα 3, η πλειονότητα των πηγών αφορά σύγχρονες μεθόδους κοστολόγησης, ακολουθούμενη από τρεις περίπου ισοδύναμες κατηγορίες (ολοκλήρωση κόστους-χρόνου· αβεβαιότητα/κίνδυνος· υπερβάσεις κόστους & BIM/AI), γεγονός που επιβεβαιώνει την ισορροπημένη κάλυψη των θεματικών αξόνων της Ενότητας 2.1–2.4.

3 Προτεινόμενη Μέθοδος Κοστολόγησης Τεχνικών Έργων στη Φάση της Προσφοράς

Το παρόν κεφάλαιο αναπτύσσει το μεθοδολογικό πλαίσιο της εργασίας, το οποίο διαρθρώνεται σε τρία διαδοχικά στάδια, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 4: (α) προσδιορισμός κρίσιμων παραμέτρων κοστολόγησης, (β) συλλογή και αξιολόγηση τεχνικοοικονομικών δεδομένων, και (γ) ανάπτυξη μοντέλου ανάλυσης αποκλίσεων.



Σχήμα 4. Ροή της Προτεινόμενης Μεθοδολογίας

3.1 Προσδιορισμός Κρίσιμων Παραμέτρων Κοστολόγησης

Με βάση τη βιβλιογραφική ανασκόπηση του Κεφαλαίου 2, οι κρίσιμες παράμετροι που επηρεάζουν την ακρίβεια της κοστολόγησης μιας τεχνικής προσφοράς ταξινομούνται σε πέντε κατηγορίες, όπως συνοψίζονται στον Πίνακα 4.

Πίνακας 4. Κρίσιμες Παράμετροι Κοστολόγησης Προσφοράς ανά Κατηγορία Κόστους

Κατηγορία κόστους	Κρίσιμη παράμετρος	Κίνδυνος	Ενδεικτικές πηγές
Άμεσο κόστος υλικών	Ακρίβεια επιμέτρησης, επικαιρότητα τιμοκαταλόγου	Υψηλός (ανατιμήσεις)	Gilleard (2006) [11] Arditi κ.ά. (2002) [19]
Εργατικά	Παραγωγικότητα συνεργείων, τοπικές αμοιβές	Μέτριος	Hegazy & Moselhi (1995) [24] Sayed κ.ά. (2023) [52]
Υπεργολαβίες	Πληρότητα προσφορών, έμμεσο κόστος συντονισμού	Υψηλός	Han κ.ά. (2025) [26]
Γενικά έξοδα (εργοταξίου & επιχείρησης)	Ποσοστό επί άμεσου κόστους — τεκμηριωμένο ή εμπειρικό	Υψηλός αν εμπειρικό	Chao (2010) [27] Effat κ.ά. (2026) [25]
Αποθεματικό απροβλέπτων	Στατικό ποσοστό έναντι συστηματικής ανάλυσης κινδύνου	Πολύ υψηλός	Curto κ.ά. (2024) [34] Khodakarami & Abdi (2014) [41]

Στις παραπάνω κατηγορίες προστίθεται, ως διαχρονικά κρίσιμος παράγοντας στη σημερινή συγκυρία, η μεταβλητότητα των τιμών πρώτων υλών (ανατιμήσεις), η οποία αναλύεται εκτενέστερα στην Ενότητα 2.4 και ενσωματώνεται στο προτεινόμενο μοντέλο ως ξεχωριστός συντελεστής αναπροσαρμογής κόστους ανά κατηγορία υλικού.

Αναλύοντας περαιτέρω κάθε κατηγορία: το άμεσο κόστος υλικών αποτελεί, όπως επιβεβαιώνεται και από την αριθμητική επίδειξη του Κεφαλαίου 4, τη μεγαλύτερη σε ποσοστό κατηγορία κόστους σε κτιριακά έργα, και συνεπώς η ακρίβεια της επιμέτρησης και η επικαιρότητα του τιμοκαταλόγου έχουν δυσανάλογα μεγάλη επίδραση στη συνολική ακρίβεια της προσφοράς [11], [19]. Τα εργατικά, αν και συνήθως λιγότερο ασταθή από τα υλικά, επηρεάζονται από την παραγωγικότητα των συνεργείων και τις τοπικές συνθήκες της αγοράς εργασίας, ζήτημα που αναδεικνύεται από τη μελέτη των Arif, Lodi και Azhar [53] για το Πακιστάν· αν και δεν εντοπίστηκε αντίστοιχη μελέτη ειδικά για την ελληνική αγορά, ο μηχανισμός επίδρασης θεωρείται μεταφέρσιμος.

Το κόστος υπεργολαβιών παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, καθώς συχνά η αρχική προσφορά ενσωματώνει μόνο το άμεσο κόστος του υπεργολάβου, παραλείποντας το έμμεσο κόστος συντονισμού, εποπτείας και ενδεχόμενων καθυστερήσεων που βαρύνουν τον ανάδοχο, ζήτημα που τεκμηριώνεται αναλυτικά από τους Han, Lee και Woo [26]. Τα γενικά έξοδα εργοταξίου και επιχείρησης, τέλος, αποτελούν συχνά «μαύρο κουτί» στην πράξη, καθώς υπολογίζονται με εμπειρικά, σταθερά ποσοστά αντί να συνδέονται ρητά με τη διάρκεια και την πολυπλοκότητα του συγκεκριμένου έργου, όπως προτείνουν οι Chao [27] και οι Effat, Hosny και Dorra [25] μέσω μοντέλων πρόβλεψης βασισμένων σε χαρακτηριστικά του έργου.

3.2 Διαδικασία Συλλογής και Αξιολόγησης Τεχνικοοικονομικών Δεδομένων

Η συλλογή δεδομένων βασίζεται σε τρεις πηγές: (α) επίσημα Αναλυτικά Τιμολόγια Εργασιών (ATHE/ATOE) και εγκεκριμένους τιμοκαταλόγους δημοσίων έργων, (β) προσφορές προμηθευτών και υπεργολάβων που συλλέγονται κατά τη σύνταξη της προσφοράς, και (γ) ιστορικά στοιχεία κόστους από ολοκληρωμένα έργα της επιχείρησης, τα οποία αποτελούν και τη βάση εμπειρικής επικύρωσης του μοντέλου. Οι πηγές αυτές, μαζί με τη διαβάθμιση της αξιοπιστίας τους και τον ενδεδειγμένο τρόπο αξιοποίησής τους, συνοψίζονται στον Πίνακα 5.

Πίνακας 5. Πηγές Τεchnικοοικονομικών Δεδομένων και Διαβάθμιση Αξιοπιστίας

Πηγή δεδομένων	Στάδιο χρήσης	Διαβάθμιση αξιοπιστίας
Επίσημα ΑΤΗΕ / ΑΤΟΕ	Οριστική εκτίμηση κόστους	Υψηλή
Προσφορές προμηθευτών & υπεργολάβων	Προϋπολογισμός → Οριστική εκτίμηση κόστους	Μέτρια–Υψηλή (εξαρτάται από ημερομηνία)
Ιστορικά στοιχεία επιχείρησης	Προκαταρκτική εκτίμηση → Προϋπολογισμός	Μέτρια (χρειάζεται αναπροσαρμογή στον χρόνο)
Δείκτες τιμών αγοράς / ΕΛΣΤΑΤ	Όλα τα στάδια (αναπροσαρμογή εκτιμήσεων)	Υψηλή για γενικές τάσεις

Η αξιολόγηση της αξιοπιστίας των δεδομένων ακολουθεί τη λογική διαβάθμισης ακρίβειας ανά στάδιο ωρίμανσης εκτίμησης (προκαταρκτική εκτίμηση → προϋπολογισμός → οριστική εκτίμηση· screening → budget → definitive) που περιγράφει ο Nichols [12], προσαρμοσμένη στις ιδιαιτερότητες της ελληνικής αγοράς. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη διαχείριση ελλειπών ή αντικρουόμενων δεδομένων, ζήτημα που αναδεικνύεται συχνά στη βιβλιογραφία [19], [55], μέσω της υιοθέτησης εύρους τιμών (αντί μεμονωμένης εκτίμησης) για τις παραμέτρους υψηλής αβεβαιότητας, και της τεκμηρίωσης κάθε παραδοχής με σαφή αναφορά στην πηγή προέλευσής της, ώστε να διασφαλίζεται η ιχνηλασιμότητα της τελικής προσφοράς.

3.3 Μοντέλο Ανάλυσης Αποκλίσεων

Το προτεινόμενο μοντέλο ανάλυσης αποκλίσεων συγκρίνει, για κάθε κατηγορία κόστους i (άμεσο κόστος υλικών, εργατικά, υπεργολαβίες, γενικά έξοδα, απρόβλεπτα), το αρχικά εκτιμηθέν κόστος στην προσφορά ($C_{εκτ,i}$) με το πραγματικό κόστος υλοποίησης ($C_{πραγ,i}$), υπολογίζοντας τον δείκτη απόκλισης:

$$\Delta i (\%) = [(C_{πραγ,i} - C_{εκτ,i}) / C_{εκτ,i}] \times 100$$

Η προσέγγιση αυτή αντλεί από τη λογική της ανάλυσης δεδουλευμένης αξίας (Earned Value Analysis), όπως προσαρμόστηκε για συνθήκες αβεβαιότητας από τους Desse και Jekale Mengesha [40] μέσω grey-fuzzy EVA, καθώς και από τη λογική μοντελοποίησης αλληλεξαρτήσεων μεταξύ κονδυλίων κόστους των Khodakarami και Abdi [41]. Οι αποκλίσεις Δi ταξινομούνται περαιτέρω κατά αιτία (μεταβολή ποσότητας, ανατίμηση υλικού, σφάλμα αρχικής εκτίμησης, απρόβλεπτο γεγονός), ακολουθώντας το πλαίσιο ταξινόμησης αιτιών υπέρβασης κόστους που προτείνουν οι Ammar κ.ά. [47] και οι Daoud κ.ά. [48].

Επιπλέον, ορίζεται συνολικός συνθετικός δείκτης απόκλισης έργου ($\Delta\Sigma$), ως σταθμισμένος μέσος όρος των επιμέρους Δi με βάρη το ποσοστό συμμετοχής κάθε κατηγορίας στο συνολικό κόστος προσφοράς (w_i):

$$\Delta\Sigma (\%) = \Sigma (w_i \times \Delta i)$$

Ο δείκτης $\Delta\Sigma$ επιτρέπει τη συνολική αποτίμηση της απόδοσης μιας προσφοράς με ένα ενιαίο μέγεθος, διευκολύνοντας τη σύγκριση μεταξύ διαφορετικών έργων της ίδιας επιχείρησης στο πλαίσιο διαχρονικής παρακολούθησης της ακρίβειας των εκτιμήσεών της — λειτουργία ανάλογη με αυτή που προτείνουν οι Kaiser και Ullrich [36] για προγράμματα έργων πληροφορικής. Το αποτέλεσμα είναι ένας πίνακας αποκλίσεων ανά κατηγορία και αιτία, ο οποίος τροφοδοτεί άμεσα τη θεωρητική επικύρωση του Κεφαλαίου 4 και τη διαμόρφωση προτάσεων βέλτιστης πρακτικής στο Κεφάλαιο 5.

Οι συμβολισμοί των παραπάνω τύπων επεξηγούνται συνοπτικά στον Πίνακα 6 (βλ. και Ενότητα 1.8).

Πίνακας 6. Επεξήγηση Συμβολισμών του Μοντέλου Ανάλυσης Αποκλίσεων

Σύμβολο	Τι σημαίνει	Πώς προκύπτει	Μονάδα
i	Η κατηγορία κόστους: υλικά · εργατικά · υπερβολαβίες · γενικά έξοδα · απρόβλεπτα	—	—
Σπροσφ	Ο συνολικός προϋπολογισμός της προσφοράς	Δεδομένο — φάκελος προσφοράς	€
Σεκτ, i	Εκτιμηθέν κόστος της κατηγορίας i στην προσφορά	Δεδομένο — φάκελος προσφοράς	€
Σπραγ, i	Πραγματικό κόστος της κατηγορίας i στην υλοποίηση	Δεδομένο — απολογισμός έργου	€
w_i	Βάρος της κατηγορίας i στον προϋπολογισμό	$w_i = \Sigma \text{εκτ},i / \text{Σπροσφ}$	%
Δi	Ποσοστιαία απόκλιση εκτίμησης – πραγματικού κόστους	$\Delta i = [(\text{Σπραγ},i - \text{Σεκτ},i) / \text{Σεκτ},i] \times 100$	%
$\Delta\Sigma$	Συνθετικός δείκτης του έργου	$\Delta\Sigma = \Sigma (w_i \times \Delta i)$	%

Πώς διαβάζονται: $\Delta i = +14,5\%$ σημαίνει ότι η κατηγορία κόστισε 14,5% περισσότερο από ό,τι είχε προβλεφθεί· $\Delta\Sigma = +7,62\%$ σημαίνει ότι το σύνολο του έργου υπερέβη τον προϋπολογισμό προσφοράς κατά 7,62%. Επειδή τα w_i είναι μερίδια του ίδιου προϋπολογισμού, το άθροισμα $w_i \times \Delta i$ ισούται με τη συνολική ποσοστιαία υπέρβαση (βλ. Ενότητα 4.4 και Παράρτημα Δ).

3.4 Πλαίσιο Εφαρμογής, Παραδοχές και Περιορισμοί του Μοντέλου

Το προτεινόμενο μοντέλο βασίζεται σε τρεις παραδοχές: (α) ότι η κατηγοριοποίηση του κόστους σε πέντε βασικές ομάδες (Πίνακας 4) είναι επαρκής για την πλειονότητα των κτιριακών και έργων υποδομής μικρής–μεσαίας κλίμακας, (β) ότι υπάρχει διαθεσιμότητα

τόσο του αρχικού φακέλου προσφοράς όσο και των τελικών οικονομικών στοιχείων υλοποίησης, και (γ) ότι οι αιτίες απόκλισης μπορούν να ταξινομηθούν, έστω με κάποιο βαθμό υποκειμενικότητας, σε ένα πεπερασμένο σύνολο κατηγοριών. Περιορισμός του μοντέλου αποτελεί το γεγονός ότι δεν λαμβάνει ρητά υπόψη τις αλληλεξαρτήσεις μεταξύ κατηγοριών κόστους (π.χ. μια καθυστέρηση λόγω υπεργολάβου μπορεί να προκαλέσει έμμεσα αύξηση γενικών εξόδων εργοταξίου λόγω παράτασης διάρκειας) — ζήτημα που η βιβλιογραφία αντιμετωπίζει μέσω πολυπλοκότερων μοντέλων Bayesian [41], και το οποίο προτείνεται ως κατεύθυνση μελλοντικής επέκτασης του παρόντος πλαισίου (Ενότητα 5.4).

4 Εφαρμογή και Θεωρητική Επικύρωση του Προτεινόμενου Πλαισίου

4.1 Σκοπός και Λογική της Προσέγγισης

Η επιλογή θεωρητικής, αντί εμπειρικής, επικύρωσης οφείλεται στο γεγονός ότι η πλήρης, αξιόπιστη εφαρμογή του μοντέλου του Κεφαλαίου 3 προϋποθέτει πρόσβαση τόσο στον αρχικό φάκελο προσφοράς όσο και στα τελικά οικονομικά στοιχεία υλοποίησης ενός πραγματικού έργου — δεδομένα που δεν κατέστη δυνατό να συμπεριληφθούν στο παρόν στάδιο της εργασίας. Αντί να παρουσιαστεί ένα υποθετικό «παράδειγμα έργου» ως πραγματικό, κρίθηκε προτιμότερο το πλαίσιο να αξιολογηθεί με βάση: πρώτον, τη συνέπειά του με ήδη τεκμηριωμένα, δημοσιευμένα ευρήματα (Ενότητα 4.2–4.3)· και δεύτερον, μια αμιγώς μαθηματική επίδειξη της λογικής του δείκτη απόκλισης, χωρίς ισχυρισμό αναπαράστασης πραγματικού έργου (Ενότητα 4.4–4.6).

4.2 Αντιστοίχιση Κρίσιμων Παραμέτρων με Εμπειρικά Ευρήματα της Διεθνούς Βιβλιογραφίας

Ο Πίνακας 7 αντιστοιχίζει κάθε κατηγορία κόστους του προτεινόμενου μοντέλου (Πίνακας 4, Ενότητα 3.1) με συγκεκριμένες, ήδη δημοσιευμένες εμπειρικές μελέτες που την αναδεικνύουν ως σημαντική πηγή απόκλισης, τεκμηριώνοντας ότι η δομή του μοντέλου δεν είναι αυθαίρετη αλλά απορρέει άμεσα από τα ευρήματα της βιβλιογραφικής ανασκόπησης του Κεφαλαίου 2.

Πίνακας 7. Αντιστοίχιση Κρίσιμων Παραμέτρων του Μοντέλου με Εμπειρικά Ευρήματα Πραγματικών Μελετών

Κατηγορία κόστους	Τι τεκμηριώνει η διεθνής εμπειρική βιβλιογραφία	Ενδεικτικές πηγές
Άμεσο κόστος υλικών / ανατιμήσεις	Η ανατίμηση υλικών καταγράφεται ως κύρια πηγή αβεβαιότητας κόστους	Curto κ.ά. (2024) [34] Ammar κ.ά. (2026) [47]
Εργατικά	Η παραγωγικότητα των συνεργείων και οι τοπικές συνθήκες επηρεάζουν την ακρίβεια	Hegazy & Moselhi (1995) [24] Arif κ.ά. (2015) [53]
Υπεργολαβίες / έμμεσο κόστος	Συστηματική υποεκτίμηση του έμμεσου κόστους των υπεργολάβων	Han κ.ά. (2025) [26]
Γενικά έξοδα	Υποκειμενικότητα στον καθορισμό των ποσοστών γενικών εξόδων	Chao (2010) [27] Effat κ.ά. (2026) [25]
Αποθεματικό προβλέπτων / κίνδυνος	Ανάγκη συστηματικής, αντί εμπειρικής, ανάλυσης κινδύνου	Nieto-Morote & Ruz-Vila (2011) [35] Khodakarami & Abdi (2014) [41]

4.3 Συγκριτική Ανάλυση Αιτιών Υπέρβασης Κόστους σε Διαφορετικές Αγορές

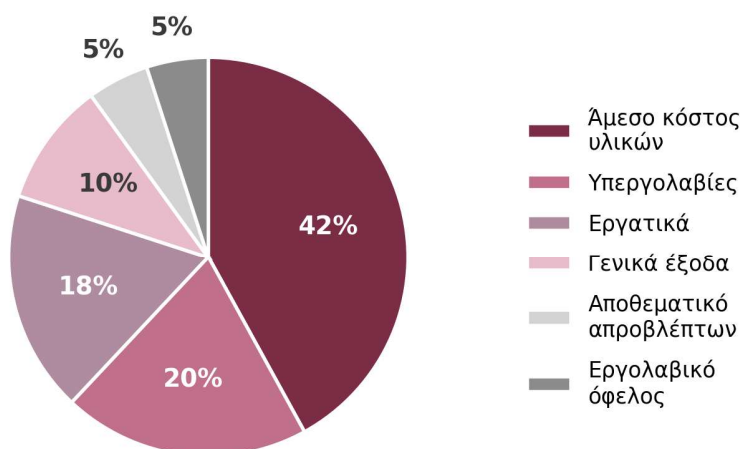
Μια πρόσθετη μορφή θεωρητικής επικύρωσης προκύπτει από τη συγκριτική εξέταση των αιτιών υπέρβασης κόστους που έχουν καταγραφεί σε πραγματικές, εμπειρικές μελέτες από διαφορετικές χώρες και οικονομικά περιβάλλοντα: τη Μαλαισία [43], το Βιετνάμ [44], τη Νορβηγία [46] και την Αίγυπτο [47], [48]. Παρά τις σημαντικές διαφορές στο επίπεδο ανάπτυξης, το κανονιστικό πλαίσιο και τον τύπο των εξεταζόμενων έργων μεταξύ των χωρών αυτών, οι επιμέρους μελέτες συγκλίνουν σε ένα κοινό πυρήνα θεματικών κατηγοριών αιτιών — μεταβολές αντικειμένου εργασιών, ανακρίβεια αρχικής εκτίμησης, διακυμάνσεις τιμών υλικών και ανεπαρκής διαχείριση κινδύνου — οι οποίες καλύπτονται πλήρως από τις πέντε κατηγορίες κόστους του Πίνακα 4. Η διεθνής αυτή σύγκλιση αποτελεί έμμεση, αλλά ισχυρή, ένδειξη ότι η ταξινόμηση του προτεινόμενου μοντέλου δεν περιορίζεται στην ελληνική αγορά, αλλά αντανακλά ευρύτερα, διεθνώς παρατηρούμενα πρότυπα συμπεριφοράς κόστους σε τεχνικά έργα.

4.4 Αριθμητική Επίδειξη του Μοντέλου Ανάλυσης Αποκλίσεων

Για την επίδειξη του μαθηματικού μηχανισμού του δείκτη Δί και του συνθετικού δείκτη ΔΣ (Ενότητα 3.3), χρησιμοποιείται στη συνέχεια ένα αμιγώς αριθμητικό παράδειγμα, εκφρασμένο σε ποσοστά επί του συνολικού προϋπολογισμού προσφοράς, χωρίς αναφορά σε συγκεκριμένο έργο ή φορέα. Οι τιμές που χρησιμοποιούνται προσεγγίζουν τυπικές αναλογίες κόστους που αναφέρονται στη βιβλιογραφία [24]–[27] για κτιριακά έργα. Η κατανομή που χρησιμοποιείται παρατίθεται στον Πίνακα 8 και αποτυπώνεται γραφικά στο Σχήμα 5. Η πλήρης, σε απόλυτα μεγέθη, εκδοχή του ίδιου παραδείγματος, υπό μορφή υπολογιστικού φύλλου, παρατίθεται στο Παράρτημα Δ.

Πίνακας 8. Ενδεικτική Κατανομή Κόστους Προσφοράς ανά Κατηγορία

Κατηγορία Κόστους	Τυπικό Ποσοστό επί Συνόλου
Άμεσο κόστος υλικών	42%
Εργατικά	18%
Υπεργολαβίες	20%
Γενικά έξοδα εργοταξίου/επιχείρησης	10%
Αποθεματικό απροβλέπτων	5%
Εργολαβικό όφελος	5%
Σύνολο	100%

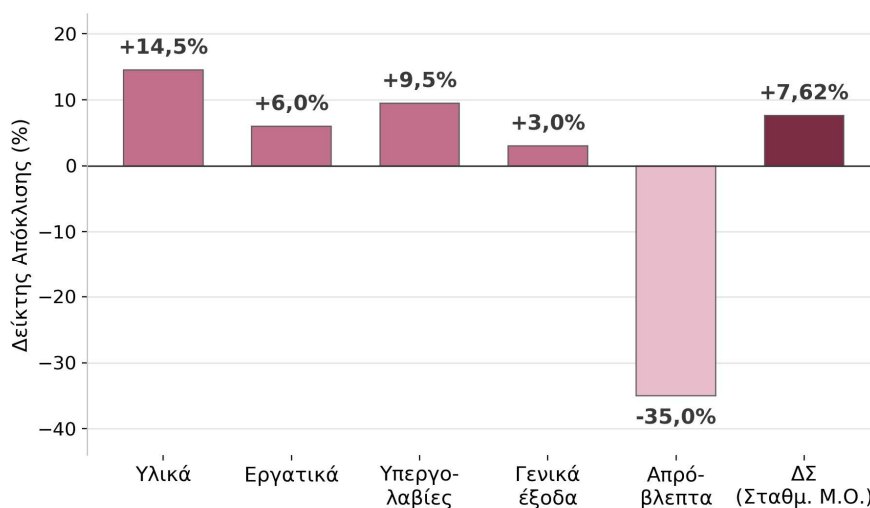


Σχήμα 5. Ενδεικτική Ποσοστιαία Κατανομή Κόστους ανά Κατηγορία

Εφαρμόζοντας τον τύπο του δείκτη Δι (Ενότητα 3.3) με ενδεικτικές, αριθμητικά πιθανές αποκλίσεις ανά κατηγορία —συμβατές με το εύρος τιμών που αναφέρουν οι μελέτες του Πίνακα 7— προκύπτει η επίδειξη του Πίνακα 9. Οι επιμέρους αποκλίσεις του Πίνακα 9 αποτυπώνονται γραφικά στο Σχήμα 6.

Πίνακας 9. Αριθμητική Επίδειξη του Δείκτη Απόκλισης Δι και του Συνθετικού Δείκτη ΔΣ

Κατηγορία	Ποσοστό επί Συνόλου (wi)	Ενδεικτική Απόκλιση Δι (%)	Ενδεικτική Αιτία (κατά Πίνακα 7)
Υλικά	42%	+14,5%	Ανατίμηση τιμών [34], [47]
Εργατικά	18%	+6,0%	Παραγωγικότητα/διάρκεια [24], [53]
Υπεργολαβίες	20%	+9,5%	Έμμεσο κόστος υπεργολάβων [26]
Γενικά έξοδα	10%	+3,0%	Παράταση χρονοδιαγράμματος [27]
Απρόβλεπτα	5%	-35,0%	Μερική ανάλωση αποθεματικού [35], [41]
Συνθετικός Δείκτης ΔΣ	95%	≈ +7,62%	Σταθμισμένος μέσος όρος (Ενότητα 3.3)



Σχήμα 6. Αριθμητική Επίδειξη Αποκλίσεων Δι ανά Κατηγορία Κόστους

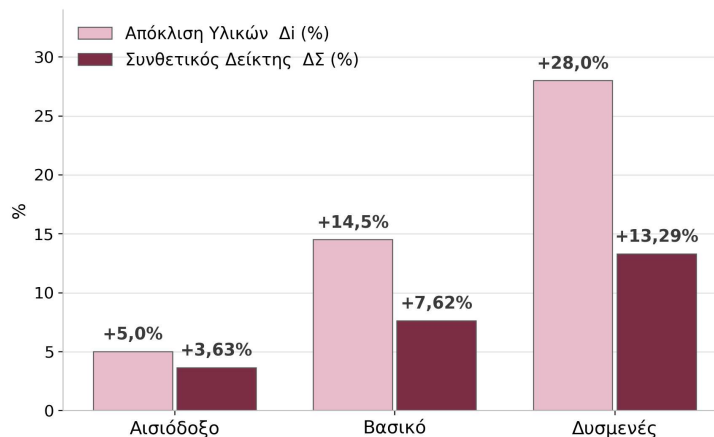
Το παράδειγμα καταδεικνύει ότι, όταν η κατηγορία υλικών —η οποία τυπικά συμμετέχει με το μεγαλύτερο ποσοστό (wi) στο σύνολο του προϋπολογισμού— εμφανίζει και τη μεγαλύτερη ποσοστιαία απόκλιση, η επίδρασή της στον συνθετικό δείκτη ΔΣ είναι δυσανάλογα μεγάλη σε σχέση με τις υπόλοιπες κατηγορίες, ανεξάρτητα από το αν πρόκειται για συγκεκριμένο έργο. Το μαθηματικό αυτό αποτέλεσμα είναι εγγενές στον ορισμό του σταθμισμένου μέσου όρου (Ενότητα 3.3) και δεν εξαρτάται από καμία παραδοχή σχετικά με πραγματικό έργο — αποτελεί, συνεπώς, ισχυρό επιχείρημα υπέρ της προτεινόμενης πρακτικής (Ενότητα 5.2) για δυναμική, αντί σταθερής, αναπροσαρμογή τιμών ειδικά στην κατηγορία των υλικών.

4.5 Ανάλυση Ευαισθησίας του Συνθετικού Δείκτη Απόκλισης

Συμπληρωματικά, εξετάζεται η ευαισθησία του δείκτη ΔΣ σε τρία ενδεικτικά, καθαρά αριθμητικά σενάρια απόκλισης της κατηγορίας υλικών (αισιόδοξο, βασικό, δυσμενές), με τις υπόλοιπες κατηγορίες να παραμένουν σταθερές στα ποσοστά του Πίνακα 8. Και εδώ, τα σενάρια δεν αντιστοιχούν σε συγκεκριμένο έργο, αλλά σε εύρος τιμών συμβατό με τις διακυμάνσεις τιμών υλικών που αναφέρει η βιβλιογραφία [34], [47]. Τα αποτελέσματα των τριών σεναρίων παρουσιάζονται στον Πίνακα 10 και αποτυπώνονται γραφικά στο Σχήμα 7.

Πίνακας 10. Ανάλυση Ευαισθησίας του Δείκτη ΔΣ υπό Τρία Αριθμητικά Σενάρια Ανατίμησης Υλικών

Σενάριο	Απόκλιση Κατηγορίας Υλικών	Συνθετικός Δείκτης ΔΣ (%)
Αισιόδοξο	+5,0%	+3,63%
Βασικό	+14,5%	+7,62%
Δυσμενές	+28,0%	+13,29%



Σχήμα 7. Ανάλυση Ευαισθησίας του Δείκτη ΔΣ υπό Τρία Αριθμητικά Σενάρια

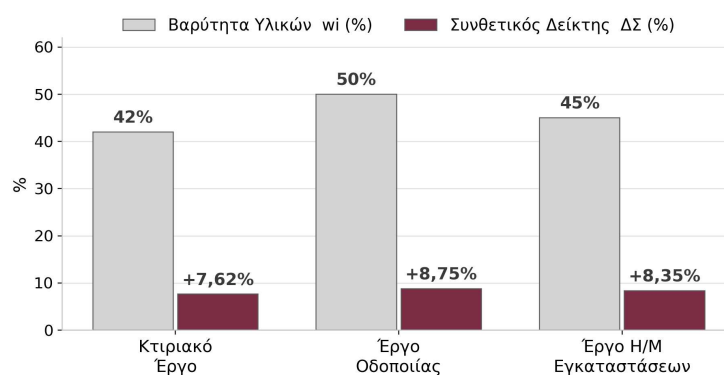
Η ανάλυση ευαισθησίας επιβεβαιώνει τη δυσανάλογα μεγάλη επίδραση της κατηγορίας υλικών στον συνολικό δείκτη απόκλισης ΔΣ, δεδομένου του υψηλού της ποσοστού συμμετοχής (42%, Πίνακας 8). Η παρατήρηση αυτή ενισχύει περαιτέρω την πρόταση της Ενότητας 5.2 για υιοθέτηση δυναμικού, αντί σταθερού, συντελεστή αναπροσαρμογής τιμών ειδικά για την κατηγορία των υλικών.

4.6 Παραλλαγές Εφαρμογής ανά Τύπο Έργου

Η σχετική βαρύτητα (w_i) κάθε κατηγορίας κόστους διαφέρει ανάλογα με τον τύπο του τεχνικού έργου. Ο Πίνακας 11 παρουσιάζει ενδεικτικές, αμιγώς ποσοστιαίες παραλλαγές της κατανομής κόστους για δύο επιπλέον τύπους έργων —οδοποιίας και ηλεκτρομηχανολογικών (Η/Μ) εγκαταστάσεων— βασισμένες σε τυπικές αναλογίες που αναφέρονται στη σχετική βιβλιογραφία [26], [46], χωρίς και πάλι αναφορά σε συγκεκριμένο έργο ή φορέα. Η επίδραση των διαφορετικών αυτών κατανομών στον συνθετικό δείκτη ΔΣ αποτυπώνεται στο Σχήμα 8.

Πίνακας 11. Ενδεικτικές Παραλλαγές Ποσοστιαίας Κατανομής Κόστους ανά Τύπο Έργου

Κατηγορία Κόστους	Κτιριακό Έργο	Έργο Οδοποιίας	Έργο Η/Μ Εγκαταστάσεων
Υλικά / εξοπλισμός	42%	50%	45%
Εργατικά	18%	20%	15%
Υπεργολαβίες	20%	20%	25%
Γενικά έξοδα	10%	5%	10%
Απρόβλεπτα	5%	5%	5%



Σχήμα 8. Ενδεικτική Σύγκριση του Συνθετικού Δείκτη ΔΣ σε Τρεις Παραλλαγές Τύπου Έργου

Η σύγκριση των τριών παραλλαγών υποδεικνύει, σε καθαρά αριθμητικό/θεωρητικό επίπεδο, ότι έργα με μεγαλύτερη σχετική βαρύτητα υλικών (π.χ. οδοποιία) είναι εκ κατασκευής περισσότερο εκτεθειμένα σε αποκλίσεις λόγω ανατιμήσεων, εύρημα συνεπές με τη διαπίστωση των Odeck και Kjerkreit [46] για την ιδιαίτερη ευαισθησία των οδικών έργων. Το εύρημα αυτό, εφόσον επιβεβαιωθεί σε πραγματικά δεδομένα, θα μπορούσε να αποτελέσει τη βάση για διαφοροποιημένα, ανά κατηγορία έργου, ποσοστά αποθεματικού απροβλέπτων στο πλαίσιο του προτεινόμενου πρότυπου μοντέλου της Ενότητας 5.3.

Σημειώνεται ότι, στις παραλλαγές οδοποιίας και Η/Μ εγκαταστάσεων του Πίνακα 11, τα ποσοστά αθροίζουν σε 100%, καθώς το εργολαβικό όφελος δεν απομονώνεται ως ξεχωριστή κατηγορία, σε αντίθεση με το κτιριακό έργο (95% κατηγορίες κόστους και 5% εργολαβικό όφελος, Πίνακας 8). Κατά συνέπεια, οι τιμές ΔΣ του Σχήματος 8 έχουν ενδεικτικό χαρακτήρα και αποτυπώνουν την τάση —τη μεγαλύτερη έκθεση των έργων με υψηλή βαρύτητα υλικών— και όχι μια αυστηρή ποσοτική σύγκριση μεταξύ των τύπων έργων.

4.7 Περιορισμοί της Θεωρητικής Επικύρωσης

Η προσέγγιση του παρόντος κεφαλαίου, ακριβώς επειδή αποφεύγει εσκεμμένα να παρουσιάσει ένα υποθετικό παράδειγμα ως πραγματικό έργο, δεν μπορεί να υποκαταστήσει την εμπειρική επικύρωση σε πραγματικά δεδομένα. Οι αριθμητικές επιδείξεις των Ενοτήτων 4.4–4.6 αποδεικνύουν τη λογική συνέπεια και την εσωτερική εγκυρότητα του μαθηματικού μηχανισμού του μοντέλου, όχι όμως και την ακριβή προγνωστική του ισχύ σε πραγματικές συνθήκες, η οποία θα πρέπει να αποτελέσει αντικείμενο μελλοντικής εφαρμογής σε δείγμα πραγματικών, ολοκληρωμένων έργων, όπως προτείνεται στην Ενότητα 5.4.

5 Συμπεράσματα – Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα

5.1 Σύνοψη Ευρημάτων: Γιατί Αποτυγχάνουν οι Αρχικές Εκτιμήσεις;

Η σύνθεση της βιβλιογραφικής ανασκόπησης και της θεωρητικής επικύρωσης του Κεφαλαίου 4 οδηγεί στη διάκριση τριών βασικών κατηγοριών αιτιών αποτυχίας των αρχικών εκτιμήσεων: (α) μεθοδολογικές αιτίες, όπως η υιοθέτηση σταθερών, μη τεκμηριωμένων ποσοστών γενικών εξόδων και αποθεματικού [24]–[27]· (β) αιτίες αγοράς, κυρίως η απρόβλεπτη μεταβλητότητα τιμών υλικών, η οποία δεν ενσωματώνεται επαρκώς σε στατικά μοντέλα κοστολόγησης [34], [47]· και (γ) αιτίες διαδικασίας, όπως ο περιορισμένος χρόνος σύνταξης προσφοράς και η ελλιπής τεχνική τεκμηρίωση κατά την υποβολή της [19], [41], [48]. Τόσο η αντιστοίχιση με ευρήματα πραγματικών μελετών (Ενότητα 4.2) όσο και η αριθμητική επίδειξη (Ενότητα 4.4) ανέδειξαν την κατηγορία των υλικών ως εκείνη με τη δυναμικότερη μεγαλύτερη επίδραση στη συνολική απόκλιση, επιβεβαιώνοντας την κεντρική θέση της παρούσας εργασίας ότι οι ανατιμήσεις αποτελούν σήμερα την πλέον κρίσιμη πηγή αβεβαιότητας στην κοστολόγηση προσφοράς.

5.2 Στρατηγικές Βελτίωσης της Διοίκησης μέσω της Ακριβούς Κοστολόγησης

Με βάση τα ευρήματα των Κεφαλαίων 3 και 4, προτείνονται πέντε στρατηγικές βελτίωσης της διοίκησης μέσω της ακριβούς κοστολόγησης, οι οποίες συνοψίζονται στον Πίνακα 12 μαζί με το αναμενόμενο όφελος και τη βιβλιογραφική τους τεκμηρίωση.

Πίνακας 12. Σύνοψη Προτεινόμενων Στρατηγικών Βελτίωσης και Αντίστοιχη Βιβλιογραφική Τεκμηρίωση

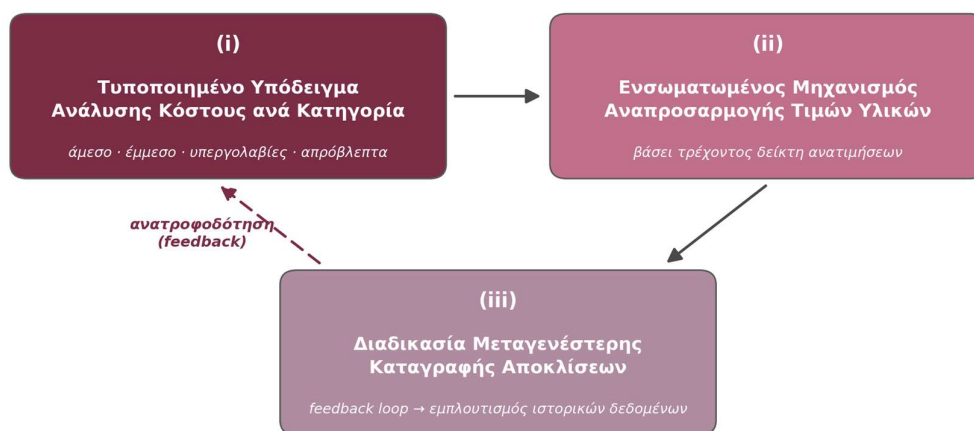
Στρατηγική	Αναμενόμενο Όφελος	Βιβλιογραφική Τεκμηρίωση
Τήρηση βάσης ιστορικών δεδομένων κόστους	Βελτίωση ακρίβειας παραμετρικών εκτιμήσεων	[12], [30]
Δυναμικός συντελεστής αναπροσαρμογής τιμών υλικών	Μείωση απόκλισης στην κατηγορία υλικών	[34], [47]
Ρητή, απλοποιημένη ανάλυση κινδύνου για το αποθεματικό προβλέπτων	Ρεαλιστικότερο contingency, αντί εμπειρικού άγιου ποσοστού	[35], [41]
Πρώιμη εμπλοκή τεχνικού προσωπικού υλοποίησης στην προσφορά	Βελτίωση συνολικής ακρίβειας κόστους	[50], [51]
Πλήρης τεκμηρίωση έμμεσου κόστους υπεργολαβών	Μείωση απόκλισης στην κατηγορία υπεργολαβών	[26]

Οι παραπάνω στρατηγικές δεν είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους: η τήρηση ιστορικών δεδομένων (Πίνακας 12, γραμμή 1) τροφοδοτεί τόσο τον δυναμικό συντελεστή

αναπροσαρμογής όσο και την ανάλυση κινδύνου, ενισχύοντας τη συνολική συνέργεια του προτεινόμενου πλαισίου.

5.3 Προτάσεις για ένα «Πρότυπο Μοντέλο Κοστολόγησης Προσφοράς»

Συνθέτοντας το μεθοδολογικό πλαίσιο του Κεφαλαίου 3 με τα ευρήματα του Κεφαλαίου 4, προτείνεται η διαμόρφωση ενός «πρότυπου μοντέλου κοστολόγησης προσφοράς» με τρία δομικά στοιχεία, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 9: (i) τυποποιημένο υπόδειγμα ανάλυσης κόστους ανά κατηγορία (άμεσο, έμμεσο, υπεργολαβίες, απρόβλεπτα), (ii) ενσωματωμένο μηχανισμό αναπροσαρμογής τιμών υλικών βάσει τρέχοντος δείκτη ανατιμήσεων, και (iii) διαδικασία μεταγενέστερης καταγραφής αποκλίσεων (feedback loop), ώστε κάθε ολοκληρωμένο έργο να εμπλουτίζει τη βάση ιστορικών δεδομένων και να βελτιώνει την ακρίβεια των επόμενων προσφορών.



Σχήμα 9. Δομικά Στοιχεία του Προτεινόμενου «Πρότυπου Μοντέλου Κοστολόγησης Προσφοράς»

5.4 Συμπεράσματα και Μελλοντικές Προοπτικές

Η παρούσα εργασία επιχειρεί να αναδείξει τη φάση της προσφοράς όχι ως απλή διαδικασία τιμολόγησης, αλλά ως στρατηγικό σημείο απόφασης που καθορίζει εν πολλοίς την τελική οικονομική έκβαση ενός τεχνικού έργου, ιδίως υπό τις σημερινές συνθήκες αστάθειας των τιμών υλικών. Το προτεινόμενο πλαίσιο —προσδιορισμός κρίσιμων παραμέτρων, τεκμηριωμένη συλλογή δεδομένων, ποσοτική ανάλυση αποκλίσεων— παρέχει ένα απλό, εφαρμόσιμο εργαλείο για τεχνικές εταιρείες κάθε μεγέθους, χωρίς να απαιτεί εξειδικευμένη υπολογιστική υποδομή.

Ως μελλοντική έρευνα προτείνονται: πρώτον, η εφαρμογή και εμπειρική επικύρωση του προτεινόμενου μοντέλου σε δείγμα πραγματικών, ολοκληρωμένων έργων, ώστε τα ευρήματα να αποκτήσουν εμπειρική και στατιστική γενικευσιμότητα, συμπληρώνοντας τη θεωρητική επικύρωση του Κεφαλαίου 4· δεύτερον, η διεξαγωγή έρευνας με δομημένα ερωτηματολόγια σε μηχανικούς και project managers ελληνικών τεχνικών εταιρειών, με στόχο την ιεράρχηση των κρίσιμων παραμέτρων κοστολόγησης και την καταγραφή των πρακτικών που πράγματι εφαρμόζονται στην ελληνική αγορά — προσέγγιση που έχει το πρόσθετο πλεονέκτημα ότι παρακάμπτει το εμπόδιο της πρόσβασης σε εμπιστευτικά οικονομικά στοιχεία συγκεκριμένων έργων· τρίτον, η διερεύνηση της δυνατότητας ενσωμάτωσης απλών εργαλείων μηχανικής μάθησης, κατ' αναλογία με τις προσεγγίσεις που καταγράφηκαν στην Ενότητα 2.2, στην ελληνική αγορά τεχνικών έργων· τέταρτον, η επέκταση του μοντέλου ώστε να λαμβάνει ρητά υπόψη τις αλληλεξαρτήσεις μεταξύ κατηγοριών κόστους, όπως συζητήθηκε στην Ενότητα 3.4· και πέμπτον, η ανάπτυξη απλού ψηφιακού εργαλείου (π.χ. υπολογιστικού φύλλου) που θα υλοποιεί το προτεινόμενο πρότυπο μοντέλο, διευκολύνοντας την πρακτική του υιοθέτηση από τεχνικές εταιρείες.

5.5 Πρακτικές Συστάσεις προς Τεχνικές Εταιρείες

Συνοψίζοντας το σύνολο της ανάλυσης, διατυπώνονται οι ακόλουθες άμεσα εφαρμόσιμες συστάσεις προς τεχνικές εταιρείες και μηχανικούς που εμπλέκονται στη σύνταξη προσφορών:

- Τηρείτε αρχείο ιστορικών τιμών ανά κατηγορία υλικού και εργασίας, επικαιροποιούμενο τουλάχιστον ανά τρίμηνο.
- Μην υιοθετείτε σταθερό ποσοστό αποθεματικού απροβλέπτων για όλα τα έργα· διαφοροποιήστε το ανάλογα με τον βαθμό πολυπλοκότητας και αβεβαιότητας του συγκεκριμένου έργου.
- Ζητείτε πάντα αναλυτική, τεκμηριωμένη προσφορά από υπεργολάβους, με ρητή αναφορά σε ενδεχόμενο έμμεσο κόστος.
- Συνδέστε τις τιμές υλικών υψηλής μεταβλητότητας (χάλυβας, καύσιμα, σκυρόδεμα) με δημόσιους δείκτες τιμών, ώστε η προσφορά να ενσωματώνει ρητή παραδοχή αναπροσαρμογής.

- Μετά την ολοκλήρωση κάθε έργου, καταγράφετε συστηματικά τις αποκλίσεις Δι ανά κατηγορία, ώστε να τροφοδοτείτε τη βάση ιστορικών δεδομένων της επόμενης προσφοράς.
- Εντάξτε, όπου είναι εφικτό, τεχνικό προσωπικό με εμπειρία υλοποίησης στη διαδικασία σύνταξης της προσφοράς, έστω και ανεπίσημα.

6 Στοιχεία Πρωτοτυπίας της Έρευνας

Το παρόν κεφάλαιο αναλύει διεξοδικά τα στοιχεία πρωτοτυπίας της παρούσας ΜΔΕ, θέμα που είχε παρουσιαστεί συνοπτικά στην αρχική Ενδιάμεση Έκθεση Προόδου και στην Ενότητα 1.5, και το οποίο κρίνεται σκόπιμο να αναπτυχθεί ξεχωριστά και σε μεγαλύτερο βάθος, ώστε να καταστεί σαφής η συνεισφορά της εργασίας σε σχέση με την υπάρχουσα βιβλιογραφία.

6.1 Η Πρωτοτυπία ως Κριτήριο Αξιολόγησης σε Εφαρμοσμένη Έρευνα

Σε εφαρμοσμένες, επαγγελματικά προσανατολισμένες ΜΔΕ, όπως η παρούσα, η πρωτοτυπία δεν αναζητείται συνήθως στην εφεύρεση θεμελιωδών νέων μαθηματικών εργαλείων, αλλά σε τρεις εναλλακτικές, εξίσου έγκυρες μορφές συνεισφοράς: (α) τη σύνθεση διάσπαρτης βιβλιογραφίας σε ένα συνεκτικό, νέο εννοιολογικό πλαίσιο, (β) τη μεταφορά και προσαρμογή υπαρχόντων εργαλείων σε ένα πεδίο ή πλαίσιο εφαρμογής στο οποίο δεν έχουν συστηματικά εφαρμοστεί, και (γ) την ανάπτυξη πρακτικών, άμεσα εφαρμόσιμων εργαλείων που γεφυρώνουν το χάσμα μεταξύ ακαδημαϊκής έρευνας και καθημερινής επαγγελματικής πρακτικής. Η παρούσα εργασία διεκδικεί πρωτοτυπία και στις τρεις αυτές διαστάσεις, όπως αναλύεται στη συνέχεια.

6.2 Στοιχεία Πρωτοτυπίας της Παρούσας ΜΔΕ

Πρώτον, θεματική εστίαση στη φάση της προσφοράς. Όπως τεκμηριώθηκε στην Ενότητα 2.6, το μεγαλύτερο μέρος της διεθνούς βιβλιογραφίας για την κοστολόγηση και τον έλεγχο κόστους τεχνικών έργων επικεντρώνεται στο στάδιο της κατασκευής [1]–[10], [50]–[51], αντιμετωπίζοντας τη φάση της προσφοράς ως απλή είσοδο (input) και όχι ως αντικείμενο συστηματικής ανάλυσης. Η παρούσα εργασία αντιστρέφει αυτή την έμφαση, τοποθετώντας τη φάση της προσφοράς στο επίκεντρο της ανάλυσης.

Δεύτερον, σύνθεση τεσσάρων διακριτών ρευμάτων βιβλιογραφίας. Η εργασία συνδυάζει, σε ένα ενιαίο πλαίσιο, ευρήματα από τέσσερα ρεύματα που συνήθως εξετάζονται χωριστά στη βιβλιογραφία: την ολοκλήρωση κόστους-χρονοδιαγράμματος (Ενότητα 2.1), τις σύγχρονες μεθόδους κοστολόγησης (Ενότητα 2.2), τη διαχείριση αβεβαιότητας/κινδύνου (Ενότητα 2.3) και το φαινόμενο των ανατιμήσεων (Ενότητα 2.4). Η σύνθεση αυτή, η οποία αποτυπώνεται συνοπτικά στον Πίνακα 7 του Κεφαλαίου 4, δεν εντοπίστηκε σε αυτή τη μορφή σε καμία από τις 57 πηγές που εξετάστηκαν.

Τρίτον, ο συνθετικός δείκτης απόκλισης ΔΣ. Ο δείκτης ΔΣ (Ενότητα 3.3), ως σταθμισμένος μέσος όρος επιμέρους αποκλίσεων κατηγοριών κόστους με βάρη το ποσοστό συμμετοχής τους στον προϋπολογισμό, συνιστά πρωτότυπη μεθοδολογική πρόταση της παρούσας εργασίας. Ενώ η λογική της δεδουλευμένης αξίας (EVA) [40] και η μοντελοποίηση αλληλεξαρτήσεων κονδυλίων κόστους [41] προϋπάρχουν στη βιβλιογραφία ως ανεξάρτητα εργαλεία, ο συνδυασμός τους σε έναν απλό, ενιαίο δείκτη, κατάλληλο για χρήση χωρίς εξειδικευμένο λογισμικό, δεν εντοπίστηκε ως τέτοιος σε κάποια από τις εξετασθείσες πηγές.

Τέταρτον, εστίαση στη χρονική συγκυρία των ανατιμήσεων υλικών (2021 και εξής). Αν και η μεταβλητότητα τιμών αναγνωρίζεται γενικά ως παράγοντας κινδύνου στη βιβλιογραφία [34], [47], η ρητή ενσωμάτωσή της ως ξεχωριστής, μετρήσιμης συνιστώσας του μοντέλου ανάλυσης αποκλίσεων (Ενότητα 3.3–3.4), προσαρμοσμένης στη σημερινή, ιδιαίτερα ασταθή οικονομική συγκυρία, αποτελεί στοιχείο επικαιρότητας που ενισχύει την πρακτική αξία της εργασίας.

Πέμπτον, το «ελαφρύ» (lightweight), προσιτό σε MME πλαίσιο. Όπως αναλύθηκε στην Ενότητα 2.5, οι πλέον ακριβείς μέθοδοι της βιβλιογραφίας (ANN, BIM 5D, Bayesian networks) απαιτούν τεχνογνωσία και δεδομένα εκπαίδευσης εκτός εμβέλειας των περισσότερων ελληνικών μικρομεσαίων τεχνικών επιχειρήσεων. Το προτεινόμενο πλαίσιο σχεδιάστηκε σκόπιμα ώστε να είναι εφαρμόσιμο με βασικά υπολογιστικά φύλλα, γεφυρώνοντας το χάσμα μεταξύ ακαδημαϊκής εξειδίκευσης και καθημερινής πρακτικής εφικτότητας — στοιχείο που τεκμηριώνεται και από το πρακτικό εργαλείο αυτοελέγχου του Παραρτήματος Β.

6.3 Συγκριτική Τοποθέτηση της Παρούσας Εργασίας

Ο Πίνακας 13 τοποθετεί συγκριτικά την παρούσα εργασία απέναντι σε τρεις χαρακτηριστικές, ήδη υπάρχουσες προσεγγίσεις της βιβλιογραφίας, αναδεικνύοντας το συγκεκριμένο κενό που καλείται να καλύψει.

Πίνακας 13. Συγκριτική Τοποθέτηση της Παρούσας ΜΔΕ έναντι Χαρακτηριστικών Προσεγγίσεων της Βιβλιογραφίας

Προσέγγιση	Εστίαση	Απαιτούμενη Τεχνογνωσία/Δεδομένα	Θέση της Παρούσας Εργασίας
Μοντέλα ANN/Μηχανικής Μάθησης [17], [18], [21]	Πρόβλεψη κόστους με υψηλή ακρίβεια	Υψηλή (μεγάλα ιστορικά δεδομένα, λογισμικό)	Εναλλακτική, απλούστερη προσέγγιση για ΜΔΕ χωρίς τέτοιους πόρους
Bayesian/Fuzzy μοντέλα κινδύνου [35], [41]	Μοντελοποίηση αλληλεξαρτήσεων αβεβαιότητας	Μέτρια–Υψηλή (εξειδικευμένη στατιστική γνώση)	Αντλεί τη λογική τους σε απλοποιημένη, προσβάσιμη μορφή (δείκτης ΔΣ)
Εμπειρικές μελέτες υπερβάσεων κόστους [43]–[48]	Καταγραφή αιτιών εκ των υστέρων (ex-post)	Χαμηλή–Μέτρια (στατιστική ανάλυση ερωτηματολογίων/δεδομένων)	Μεταφέρει τα ευρήματα σε προληπτικό (ex-ante) εργαλείο για τη φάση της προσφοράς

6.4 Περιορισμοί της Πρωτοτυπίας

Για λόγους ακαδημαϊκής εντιμότητας, επισημαίνεται ότι κανένα από τα επιμέρους συστατικά στοιχεία του προτεινόμενου πλαισίου (κατηγοριοποίηση κόστους, ανάλυση δεδουλευμένης αξίας, ανάλυση ευαισθησίας, αποθεματικό κινδύνου) δεν αποτελεί, μεμονωμένα, νέα επινόηση — όλα βασίζονται ρητά σε ήδη τεκμηριωμένα εργαλεία της διεθνούς βιβλιογραφίας, όπως αναλυτικά παραπέμπεται σε όλο το Κεφάλαιο 3. Η πρωτοτυπία της εργασίας έγκειται στον συνδυασμό, την προσαρμογή και την εφαρμογή αυτών των εργαλείων σε ένα συγκεκριμένο, μέχρι σήμερα ανεπαρκώς μελετημένο πλαίσιο (η φάση της προσφοράς, υπό συνθήκες ανατιμήσεων, στη μικρομεσαία ελληνική κατασκευαστική αγορά), και όχι στην εφεύρεση θεμελιωδώς νέας μεθοδολογίας. Ο βαθμός πρωτοτυπίας που περιγράφεται στο παρόν κεφάλαιο θα πρέπει να αξιολογηθεί υπό αυτό το πρίσμα.

7 Βιβλιογραφία

- [1] Rasdorf, W. J., & Abudayyeh, O. Y. (1991). Cost-and schedule-control integration: Issues and needs. *Journal of Construction Engineering and Management*, 117(3), 486–502.
- [2] Kibler, B. E. (1992). Integrated cost and schedule control: a piece of cake. *Cost Engineering*, 34(7), 15–22.
- [3] Sears, G. A. (1981). CPM/Cost: An integrated approach. *Journal of the Construction Division*, 107(2), 227–238.
- [4] Jung, Y., Moon, B., Kim, Y., & Kim, W. (2015). Integrated cost and schedule control systems for nuclear power plant construction. *Science and Technology of Nuclear Installations*, 2015, 190925.

- [5] Liu, W., Wang, Y., & Tian, L. (2001). Management information system for cost-schedule integration control for nuclear power projects. *Journal of Tsinghua University*, 41(2), 122–125.
- [6] Robinson Fayek, A. (2001). Activity-based job costing for integrating estimating, scheduling, and cost control. *Cost Engineering*, 43(8), 23–30.
- [7] Maxwell, D. A., Back, W. E., & Toon, J. (1998). Optimization of crew configurations using activity-based costing. *Journal of Construction Engineering and Management*, 124(2), 162–168.
- [8] Back, W. E., Maxwell, D. A., & Isidore, L. J. (2000). Activity-based costing as a tool for process improvement evaluations. *Journal of Management in Engineering*, 16(2), 48–58.
- [9] Chen, Y., Feng, C., Wang, Y., & Wu, H. (2011). Using BIM model and genetic algorithms to optimize the crew assignment for construction project planning. *International Journal of Technology*, 2(3), 179–188.
- [10] ElSahly, O. M., Ahmed, S., & Abdelfatah, A. (2023). Systematic review of the time-cost optimization models in construction management. *Sustainability*, 15(6), 5578.
- [11] Gilleard, J. D. (2006). Computer assisted conceptual and parametric estimating. In *Management, Quality and Economics in Building* (pp. 1012–1023).
- [12] Nichols, G. D. (2007). More about cost estimating process analyzer projects. *Control* (Chicago, Ill), 20(4), 63–65.
- [13] Nia, S. B., Taheri, M., & Jamalpour, R. (2023). Achieving realistic cost estimates in building construction projects. *International Journal of Construction Engineering and Management*, 12(3), 81–90.
- [14] Jassim, H. S. H., Hasan, M. F., Altaee, M. J., & Gamil, Y. (2025). A model for preliminary cost estimation in buildings construction projects. *Frontiers in Built Environment*, 11, 1359777.
- [15] Karadimos, P., & Anthopoulos, L. A. (2024). A taxonomy of machine learning techniques for construction cost estimation. *Innovative Infrastructure Solutions*, 9, 420.
- [16] Ahn, J., Ji, S., Park, M., Kim, S., & Suh, S. (2014). The attribute impact concept: Applications in case-based reasoning and parametric cost estimation. *Automation in Construction*, 43, 195–203.
- [17] Ujong, J. A., Mbadike, E. M., & Alaneme, G. U. (2022). Prediction of cost and duration of building construction using artificial neural network. *Asian Journal of Civil Engineering*, 23(7), 1117–1139.
- [18] Habib, O., Abouhamad, M. M., & Bayoumi, A. E. M. M. (2025). Ensemble learning framework for forecasting construction costs. *Automation in Construction*, 170, 105903.
- [19] Arditi, D. A., Alnajjar, A., & Vingert, N. (2002). Construction cost estimating support system. *Cost Engineering*, 44(10), 17–25.

- [20] Chou, J., & Tseng, H. (2011). Establishing expert system for prediction based on the project-oriented data warehouse. *Expert Systems with Applications*, 38(1), 640–651.
- [21] Liu, Q., Yang, S., & Yu, D. (2025). Enhancing construction cost estimation with knowledge distillation and BP neural networks for few-shot learning. *Results in Engineering*, 27, 106236.
- [22] Vitaliano, S., Cascone, S., Torresin, S., & Maracchini, G. (2025). The future of construction cost management: AI-driven BIM integration for enhanced decision-making. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 766, 932–951.
- [23] Akanbi, T., & Zhang, J. (2021). Design information extraction from construction specifications to support cost estimation. *Automation in Construction*, 131, 103835.
- [24] Hegazy, T. M., & Moselhi, O. E. S. (1995). Elements of cost estimation: a survey in Canada and the United States. *Cost Engineering*, 37(5), 27–33.
- [25] Effat, A., Hosny, O. A., & Dorra, E. M. (2026). An artificial neural network model for predicting the indirect cost of construction projects in Egypt. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 698, 339–353.
- [26] Han, S., Lee, S., & Woo, S. (2025). A model for reflecting subcontractor's indirect costs in the estimated price of public construction project. *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 41(10), 349–357.
- [27] Chao, L. (2010). Estimating project overheads rate in bidding: DSS approach using neural networks. *Construction Management and Economics*, 28(3), 287–299.
- [28] Matějka, P., & Vitásek, S. (2018). Comparison of different cost estimation methods with use of building information modelling (BIM). In *Engineering for Rural Development* (pp. 843–849).
- [29] Ahlawat, S., & Singh, U. P. (2025). Pre-tender cost estimation and bid pricing. In *Handbook of Construction Project Management* (pp. 347–369).
- [30] Hamilton, A. C., & Westney, R. E. (2002). Cost estimating best practices. *AACE International Transactions*, EST021–EST025.
- [31] Wang, W., Wang, S., Tsui, Y., & Hsu, C. (2012). A factor-based probabilistic cost model to support bid-price estimation. *Expert Systems with Applications*, 39(5), 5358–5366.
- [32] Pishdad-Bozorgi, P., & Onungwa, I. O. (2024). Analysis of 5D BIM for cost estimation, cost control, and payments. *Journal of Information Technology in Construction*, 29, 525–548.
- [33] Alathamneh, S., Collins, W. A., & Azhar, S. (2024). BIM-based quantity takeoff: Current state and future opportunities. *Automation in Construction*, 165, 105549.
- [34] Curto, D., Acebes, F., Gonzalez-Varona, J. M., & Poza, D. (2024). Impact of aleatoric, stochastic and epistemic uncertainties on project cost contingency reserves. *arXiv preprint*.

- [35] Nieto-Morote, A., & Ruz-Vila, F. (2011). A fuzzy multi-criteria decision-making model for construction projects risk assessment. *International Journal of Project Management*.
- [36] Kaiser, M., & Ullrich, C. (2014). Estimation accuracy in large IS programs - Insights from a descriptive case study. *ECIS 2014 Proceedings*.
- [37] Zhao, L., Mbachu, J. I., Liu, Z., Zhao, X., & Wang, B. (2021). Investigating the causal relationships between project complexities and project cost: An empirical study from New Zealand. *Advances in Civil Engineering*, 2021, 6624647.
- [38] Sridarran, P., Keraminiyage, K., & Herszon, L. (2017). Improving the cost estimates of complex projects in the project-based industries. *Built Environment Project and Asset Management*, 7(2), 173–184.
- [39] Mirhosseini, A. F., Pitera, K. A., Odeck, J., & Welde, M. (2022). Sustainable project management: Reducing the risk of cost inaccuracy using a PLS-SEM approach. *Sustainability*, 14(2), 960.
- [40] Desse, E. M., & Jekale Mengesha, W. (2024). Predicting construction cost under uncertainty using grey-fuzzy earned value analysis. *Heliyon*, 10(6), e27662.
- [41] Khodakarami, V., & Abdi, A. (2014). Project cost risk analysis: A Bayesian networks approach for modeling dependencies between cost items. *International Journal of Project Management*, 32(7), 1233–1245.
- [42] Bowen, P. A., & Edwards, P. J. (1985). Uncertainty and incomplete information in the evaluation of building projects. *Investment Analysts Journal*, 14(26), 11–21.
- [43] Shehu, Z., et al. (2014). Cost overrun in the Malaysian construction industry projects: A comparative study. *International Journal of Project Management*, 32(4), 712–724.
- [44] Le-Hoai, L., Lee, Y. D., & Lee, J. Y. (2008). Delay and cost overruns in Vietnam large construction projects. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 12, 367–377.
- [45] Plebankiewicz, E. (2018). Model of prediction of cost overrun in construction projects. *Sustainability*, 10(12), 4387.
- [46] Odeck, J., & Kjerkeit, A. (2019). The accuracy of construction cost estimates: A 20-year retrospective on road projects. *Transport Policy*, 82, 91–102.
- [47] Ammar, T., Abdel-Monem, M. S., & El-Dash, K. M. (2026). Using factor analysis and regression technique to predict cost overrun in road network construction projects. *Scientific African*, 31, e03172.
- [48] Daoud, A. O., El Hefnawy, M., & Wefki, H. (2023). Investigation of critical factors affecting cost overruns and delays in Egyptian megaconstruction projects. *Alexandria Engineering Journal*, 83, 326–334.

- [49] Love, P. E., Ahiaga-Dagbui, D. D., & Irani, Z. (2016). Cost overruns in transportation infrastructure projects. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 92, 184–194.
- [50] Sødal, A. H., Lædre, O., Svalestuen, F., & Lohne, J. (2014). Early contractor involvement: Advantages and disadvantages for the design team. *22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 519–531.
- [51] Botha, P. S., & Scheepbouwer, E. (2015). Relationship between early contractor involvement and financial performance in the rebuilding of infrastructure in Christchurch, New Zealand. *Transportation Research Record*, 2504, 66–72.
- [52] Sayed, M., Abdel-Hamid, M., & El-Dash, K. M. (2023). Improving cost estimation in construction projects. *International Journal of Construction Management*, 23(1), 135–143.
- [53] Arif, F., Lodi, S. H., & Azhar, N. (2015). Factors influencing accuracy of construction project cost estimates in Pakistan: Perception and reality. *International Journal of Construction Management*, 15(1), 59–70.
- [54] Olawale, Y. A., & Sun, M. (2015). Construction project control in the UK: Current practice, existing problems and recommendations for future improvement. *International Journal of Project Management*, 33(3), 623–637.
- [55] Amalia, K. R., Handayani, E., Dwiretnani, A., & Harianto, R. (2023). Pricing strategy for project tender by contractor. *AIP Conference Proceedings*, 2677(1).
- [56] Barnes, M. (2007). Some origins of modern project management: A personal history. *PM World Today*, 2(11).
- [57] Atkinson, R. (1999). Project management: cost, time and quality, two best guesses and a phenomenon, it's time to accept other success criteria. *International Journal of Project Management*, 17(6), 337–342.

8 Παράρτημα Α: Συνοπτικός Πίνακας Βιβλιογραφικών Πηγών

Ο ακόλουθος πίνακας παρέχει συνοπτική επισκόπηση όλων των βιβλιογραφικών πηγών που αξιοποιήθηκαν στην παρούσα ΜΔΕ, ταξινομημένων κατά θεματική κατηγορία, ώστε να διευκολύνεται η γρήγορη αναφορά και η περαιτέρω μελέτη από τον αναγνώστη.

Αρ.	Θεματική Κατηγορία	Ενδεικτικό Εύρημα / Συνεισφορά
[1]–[5]	Ολοκλήρωση Κόστους-Χρονοδιαγράμματος	Θεμελίωση της λογικής ολοκληρωμένου ελέγχου κόστους-χρόνου σε διάφορους τύπους έργων
[6]–[8]	Λογιστική Βάσει Δραστηριοτήτων	Μέθοδοι activity-based costing για εκτίμηση, προγραμματισμό και έλεγχο κόστους
[9]–[10]	Ψηφιακά Εργαλεία στον Κύκλο Ζωής	Ενσωμάτωση BIM και βελτιστοποίησης χρόνου-κόστους
[11]–[16]	Παραδοσιακές & Παραμετρικές Μέθοδοι Κοστολόγησης	Στάδια ωρίμανσης εκτίμησης, παραμετρικά μοντέλα, attribute impact
[17]–[21]	Μηχανική Μάθηση στην Κοστολόγηση	ANN, ensemble learning, knowledge distillation για πρόβλεψη κόστους
[22], [28], [32]–[33]	BIM-based Κοστολόγηση	5D BIM, quantity takeoff, διαλειτουργικότητα BIM-AI
[23], [20]	Αυτοματοποίηση Επεξεργασίας Δεδομένων	NLP για εξαγωγή δεδομένων από προδιαγραφές, data warehouse συστήματα
[24]–[27], [30]	Δομή Κόστους Προσφοράς	Άμεσο/έμμεσο κόστος, γενικά έξοδα, βέλτιστες πρακτικές
[29], [31], [55]	Στρατηγικές Τιμολόγησης Προσφοράς	Πρακτικές mark-up και pre-tender pricing
[34]–[36], [39]–[42]	Αβεβαιότητα και Ανάλυση Κινδύνου	Fuzzy, Bayesian, grey-fuzzy EVA μοντέλα διαχείρισης αβεβαιότητας
[37]–[38]	Πολυπλοκότητα Έργου και Κόστος	Επίδραση πολυπλοκότητας οργάνωσης/εργασιών στο κόστος
[43]–[48], [54]	Υπερβάσεις Κόστους	Αίτια και μοντέλα πρόβλεψης υπέρβασης κόστους σε διάφορες χώρες
[49]	Θεωρία Αιτιότητας Υπερβάσεων	Πιθανοτική, πλουραλιστική θεωρία αιτιότητας
[50]–[51]	Πρώιμη Εμπλοκή Εργολάβου	Συσχέτιση ECI με βελτιωμένη ακρίβεια κόστους
[52]–[53]	Παράγοντες Ακρίβειας Εκτίμησης	Ανάλυση Pareto παραγόντων, εμπειρικές μελέτες Αιγύπτου/Πακιστάν

9 Παράρτημα Β: Λίστα Ελέγχου Κρίσιμων Παραμέτρων Κοστολόγησης Προσφοράς

Το ακόλουθο πρακτικό εργαλείο (checklist), προϊόν σύνθεσης της βιβλιογραφικής ανασκόπησης και του προτεινόμενου μοντέλου του Κεφαλαίου 3, μπορεί να χρησιμοποιηθεί από μηχανικούς και τεχνικές εταιρείες κατά τη σύνταξη μιας οικονομικής προσφοράς, ως εργαλείο αυτοελέγχου πληρότητας.

A/A	Στοιχείο Ελέγχου	Ναι / Όχι / Προς Έλεγχο
1	Έχει πραγματοποιηθεί πλήρης, αναλυτική επιμέτρηση ποσοτήτων;	
2	Ο τιμοκατάλογος υλικών είναι επικαιροποιημένος (< 30 ημερών);	
3	Έχουν ληφθεί έγγραφες προσφορές από τουλάχιστον δύο προμηθευτές/υπεργολάβους ανά κατηγορία εργασίας;	
4	Το ποσοστό γενικών εξόδων στηρίζεται σε ιστορικά στοιχεία και όχι σε αυθαίρετη παραδοχή;	
5	Έχει υπολογιστεί ξεχωριστό αποθεματικό για ανατιμήσεις υλικών, πέραν του γενικού αποθεματικού προβλέπτων;	
6	Έχει καταγραφεί ρητά η πηγή κάθε βασικής παραδοχής της προσφοράς (τεκμηρίωση/ιχνηλασιμότητα);	
7	Έχει ελεγχθεί η συνέπεια μεταξύ χρονοδιαγράμματος και υποθέσεων κόστους εργατικών/εξοπλισμού;	
8	Έχει ζητηθεί, έστω άτυπα, η γνώμη τεχνικού προσωπικού με εμπειρία υλοποίησης παρόμοιων έργων;	
9	Υπάρχει σαφής διαδικασία για την καταγραφή αποκλίσεων μετά την ολοκλήρωση του έργου;	

10 Παράρτημα Γ: Ενδεικτικός Αναλυτικός Πίνακας Επιμέτρησης (Bill of Quantities)

Ο ακόλουθος πίνακας παρουσιάζει, σε επίπεδο μεγαλύτερης λεπτομέρειας, ενδεικτική ανάλυση επιμέτρησης για επιλεγμένες κατηγορίες εργασιών, ώστε να αποτυπωθεί ο τρόπος με τον οποίο η αναλυτική επιμέτρηση (quantity takeoff) τροφοδοτεί το κόστος της προσφοράς. Οι τιμές μονάδας είναι ενδεικτικές τιμές εργασιών (υλικά και εργασία), ενώ το μερικό σύνολο αφορά μόνο τις επιλεγμένες εργασίες του πίνακα· δεν ταυτίζεται επομένως με το κόστος υλικών του Πίνακα 8 και του Παραρτήματος Δ. Τα ποσά είναι αμιγώς ενδεικτικά, για εκπαιδευτικούς σκοπούς επίδειξης της διαδικασίας επιμέτρησης, και δεν αντιστοιχούν σε συγκεκριμένο πραγματικό έργο.

A/A	Περιγραφή Εργασίας	Μονάδα	Ποσότητα	Τιμή Μονάδας (€)	Δαπάνη (€)
1	Εκσκαφές θεμελίων	μ ³	420	9,50	3.990
2	Σκυρόδεμα θεμελίωσης C20/25	μ ³	180	115,00	20.700
3	Χαλύβδινος οπλισμός B500C	kg	22.000	1,15	25.300
4	Τοιχοποιία πλήρωσης	μ ²	980	32,00	31.360
5	Επιχρίσματα εσωτερικά/εξωτερικά	μ ²	2.400	12,50	30.000
6	Δάπεδα πλακίδια/επενδύσεις	μ ²	1.150	28,00	32.200
7	Κουφώματα αλουμινίου με υαλοπίνακες	μ ²	180	260,00	46.800
8	Στέγη / μονώσεις δώματος	μ ²	600	45,00	27.000
9	Χρωματισμοί	μ ²	3.100	6,50	20.150
10	Λοιπές οικοδομικές εργασίες (κατ' αποκοπή)	τεμ.	1	112.500	112.500
	Ενδεικτικό Μερικό Σύνολο Επιλεγμένων Εργασιών				≈ 350.000

Η ανάλυση αυτού του επιπέδου λεπτομέρειας, όταν εφαρμόζεται σε πραγματικό έργο, επιτρέπει τον εντοπισμό των επιμέρους κονδυλίων με τη μεγαλύτερη συνεισφορά στο συνολικό κόστος (στο παράδειγμα, τα κουφώματα αλουμινίου και οι επενδύσεις δαπέδων), καθιστώντας δυνατή τη στοχευμένη διαπραγμάτευση τιμών με προμηθευτές και την ιεράρχηση προτεραιοτήτων κατά την επικαιροποίηση τιμών σε περιόδους ανατιμήσεων, σύμφωνα και με τη λογική ιεράρχησης παραγόντων που προτείνουν οι Sayed, Abdel-Hamid και El-Dash [52] μέσω τεχνικής Pareto.

11 Παράρτημα Δ: Υπολογιστικό Φύλλο Εφαρμογής του Μοντέλου Ανάλυσης Αποκλίσεων

Το ακόλουθο υπολογιστικό φύλλο υλοποιεί το μοντέλο ανάλυσης αποκλίσεων της Ενότητας 3.3 και αποτελεί την αναλυτική, εκφρασμένη σε απόλυτα μεγέθη, εκδοχή της αριθμητικής επίδειξης του Πίνακα 9. Το παράδειγμα αναφέρεται σε ενδεικτικό προϋπολογισμό προσφοράς 1.000.000 € και δεν αντιστοιχεί σε στοιχεία πραγματικού έργου. Δεδομένα εισόδου αποτελούν αποκλειστικά οι στήλες $C_{εκτ,i}$ (από τον φάκελο προσφοράς) και $C_{πραγ,i}$ (από τον απολογισμό του έργου). οι υπόλοιπες στήλες υπολογίζονται από αυτές.

Κατηγορία κόστους i	w_i = $C_{εκτ,i} /$ Cπροσφ	$C_{εκτ,i}$ (€) δεδομένο προσφοράς	$C_{πραγ,i}$ (€) δεδομένο απολογισμού	Δi (%) = $[(C_{πραγ,i} -$ $C_{εκτ,i}) / C_{εκτ,i}] \times$ 100	$\Delta \Sigma$ (%) = $\Sigma (w_i \times \Delta i)$
Υλικά	0,42	420.000	480.900	+14,5	+6,09
Εργατικά	0,18	180.000	190.800	+6,0	+1,08
Υπεργολαβίες	0,20	200.000	219.000	+9,5	+1,90
Γενικά έξοδα	0,10	100.000	103.000	+3,0	+0,30
Απρόβλεπτα	0,05	50.000	32.500	-35,0	-1,75
Σύνολο κατηγοριών	0,95	950.000	1.026.200	—	$\Delta \Sigma = +7,62$

Παράδειγμα υπολογισμού μίας γραμμής (υλικά): $\Delta i = [(480.900 - 420.000) / 420.000] \times 100 = +14,5\%$ και $w_i \times \Delta i = 0,42 \times 14,5 = +6,09$ μονάδες. Αθροίζοντας τη στήλη $w_i \times \Delta i$ προκύπτει $\Delta \Sigma = 6,09 + 1,08 + 1,90 + 0,30 - 1,75 = +7,62\%$, δηλαδή υπέρβαση 76.200 € επί προϋπολογισμού προσφοράς 1.000.000 €, εκ των οποίων οι 6,09 από τις 7,62 μονάδες προέρχονται από την κατηγορία των υλικών.

Σημειώνεται ότι το άθροισμα των βαρυτήτων w_i ανέρχεται σε 0,95 και όχι σε 1,00, καθώς το υπόλοιπο 5% του προϋπολογισμού προσφοράς αντιστοιχεί στο εργολαβικό όφελος, το οποίο δεν αποτελεί κατηγορία κόστους και επομένως δεν εμφανίζει απόκλιση. Η παρατήρηση αυτή καθιστά τον δείκτη $\Delta \Sigma$ άμεσα συγκρίσιμο με το περιθώριο κέρδους: συνθετικός δείκτης $\Delta \Sigma = +7,62\%$ έναντι εργολαβικού οφέλους 5% σημαίνει ότι το έργο του παραδείγματος κλείνει ζημιογόνο κατά 26.200 €, παρά την τυπική τήρηση του συμβατικού τιμήματος.

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.