



**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ»**

Διπλωματική Εργασία

**Η Επίδραση του Building Information Modeling
(BIM) στον Ψηφιακό Μετασχηματισμό της Διοίκησης
Τεχνικών Έργων**

ΤΣΟΚΑΛΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια
Δρ. Διονυσία – Πηνελόπη Κοντονή

Ιούνιος 2026

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



**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ»**

Διπλωματική Εργασία

**Η Επίδραση του Building Information Modeling
(BIM) στον Ψηφιακό Μετασχηματισμό της Διοίκησης
Τεχνικών Έργων**

ΤΣΟΚΑΛΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

A.M.: 159148

Επιτροπή Επίβλεψης Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:

Δρ. Διονυσία-Πηνελόπη Κοντονή

Αναπλ. Καθηγήτρια Πανεπιστημίου
Πελοποννήσου

& ΣΕΠ ΕΑΠ ΔΧΤ/ΔΕ

Συν-Επιβλέπων Καθηγητής:

Δρ. Άγγελος Λιώλιος

ΣΕΠ ΕΑΠ ΔΧΤ/ΔΕ

Ιούνιος 2026

Περίληψη

Η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία διερευνά την επίδραση του Building Information Modeling (BIM) στον ψηφιακό μετασχηματισμό της διοίκησης τεχνικών έργων. Ο κατασκευαστικός κλάδος, παρά τη σημαντική οικονομική και κοινωνική του βαρύτητα, χαρακτηρίζεται διαχρονικά από υπερβάσεις κόστους, καθυστερήσεις, κατακερματισμό πληροφορίας και χαμηλότερη παραγωγικότητα σε σύγκριση με άλλους κλάδους. Στο πλαίσιο αυτό, το BIM εξετάζεται όχι ως απλό λογισμικό σχεδίασης, αλλά ως μεθοδολογία διαχείρισης ψηφιακής πληροφορίας σε όλο τον κύκλο ζωής ενός τεχνικού έργου.

Η εργασία αναλύει την ιστορική εξέλιξη από τη σχεδίαση με το χέρι και το CAD έως το BIM, το θεωρητικό και τεχνολογικό υπόβαθρο του BIM, τις διαστάσεις του και τη λειτουργία του ως διαδικασία διαχείρισης πληροφορίας. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην ενοποίηση BIM–ERP, δηλαδή στη σύνδεση της τεχνικής πληροφορίας με οικονομικά, κοστολογικά, χρονικά και διοικητικά δεδομένα. Παράλληλα, εξετάζονται οι δυνατότητες που δημιουργούν τα Ψηφιακά Δίδυμα, η Τεχνητή Νοημοσύνη, το IoT και οι cloud υποδομές, καθώς και οι προκλήσεις που σχετίζονται με την ασφάλεια δεδομένων, τη λογοδοσία, τη διαλειτουργικότητα και τον ανθρώπινο παράγοντα.

Η μεθοδολογία της εργασίας βασίζεται σε βιβλιογραφική και συνθετική προσέγγιση, η οποία περιλαμβάνει ανασκόπηση ακαδημαϊκών και επαγγελματικών πηγών, καθώς και ανάλυση ενδεικτικών διεθνών και ελληνικών παραδειγμάτων ψηφιακής διαχείρισης έργων. Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει τη σύνδεση της διεθνούς βιβλιογραφίας με το ελληνικό πλαίσιο και την ανάδειξη κρίσιμων παραγόντων που επηρεάζουν την υιοθέτηση του BIM και της BIM–ERP ενοποίησης.

Η εργασία καταλήγει ότι η ενοποίηση BIM–ERP αποτελεί σημαντική κατεύθυνση για τη βελτίωση της διοίκησης τεχνικών έργων, καθώς μπορεί να ενισχύσει τον έλεγχο κόστους, τον χρονικό προγραμματισμό, τη διαχείριση προμηθειών και τη λήψη αποφάσεων. Παράλληλα, ο ανθρώπινος παράγοντας αναδεικνύεται ως κρίσιμη προϋπόθεση επιτυχίας, καθώς η ψηφιακή μετάβαση απαιτεί νέες δεξιότητες, αλλαγή ρόλων, οργανωτική προσαρμογή και υπεύθυνη ανθρώπινη εποπτεία. Η Ελλάδα βρίσκεται σε μεταβατική περίοδο ως προς την υιοθέτηση του BIM, με σημαντικές προκλήσεις αλλά και ευκαιρίες για σταδιακή ψηφιακή ωρίμανση του κατασκευαστικού

κλάδου. Συνολικά, η εργασία υποστηρίζει ότι το BIM, σε συνδυασμό με ERP, Ψηφιακά Δίδυμα και Τεχνητή Νοημοσύνη, μπορεί να αποτελέσει στρατηγική υποδομή πληροφορίας για τη διοίκηση τεχνικών έργων, υπό την προϋπόθεση ότι συνοδεύεται από κατάλληλες διαδικασίες, πρότυπα, δεξιότητες και πλαίσιο κανόνων διαχείρισης, πρόσβασης, ελέγχου και χρήσης δεδομένων.

Λέξεις-κλειδιά: Building Information Modeling (BIM), BIM-ERP ενοποίηση, Ψηφιακός Μετασχηματισμός, Διοίκηση Τεχνικών Έργων, Διαχείριση Πληροφορίας, Ψηφιακά Δίδυμα, Τεχνητή Νοημοσύνη (TN), Ανθρώπινος Παράγοντας.

Abstract

“The Impact of Building Information Modeling (BIM) on the Digital Transformation of Construction Project Management”

This master's thesis investigates the impact of Building Information Modeling (BIM) on the digital transformation of construction project management. Despite its significant economic and social importance, the construction industry has historically been characterized by cost overruns, schedule delays, fragmented information flows, and lower productivity compared to other sectors. Within this context, BIM is examined not merely as a design software tool, but as a methodology for managing digital information throughout the lifecycle of a construction project.

The thesis analyzes the historical evolution from manual drafting and CAD to BIM, the theoretical and technological foundations of BIM, its dimensions, and its role as an information management process. Particular emphasis is placed on BIM–ERP integration, namely the connection between technical information and financial, cost, schedule, procurement, and administrative data. The thesis also examines the opportunities created by Digital Twins, Artificial Intelligence, IoT, and cloud infrastructures, as well as the challenges related to data security, accountability, interoperability, and the human factor.

The research methodology is based on a bibliographic and synthetic approach, including a review of academic and professional sources and the analysis of selected international and Greek case studies of digital project management. This approach enables the connection of international literature with the Greek context and highlights critical factors affecting BIM adoption and BIM–ERP integration.

The main conclusions indicate that BIM–ERP integration represents an important direction for improving construction project management, as it can strengthen cost control, scheduling, procurement management, and decision-making. At the same time, the human factor emerges as a critical condition for successful digital transformation, since the adoption of digital technologies requires new skills, changing roles, organizational adaptation, and responsible human oversight. Greece appears to be in a transitional phase, with a considerable digital maturity gap, but also with institutional

and developmental opportunities to accelerate BIM adoption. Overall, the thesis argues that BIM, when combined with ERP systems, Digital Twins, and Artificial Intelligence, can serve as a strategic information infrastructure for construction project management, provided that it is supported by appropriate processes, standards, skills, and data governance frameworks.

Keywords: Building Information Modeling (BIM), BIM–ERP Integration, Digital Transformation, Construction Project Management, Information Management, Digital Twins, Artificial Intelligence (AI), Human Factor.

Αφιέρωση

Στους γιους μου Έκτορα και Μάξιμο για την αγάπη, τη δύναμη και την έμπνευση που μου δίνουν. Στη σύζυγό μου Ρεβέκκα για τη στήριξή της.

Στον ήρωά μου. Τον πατέρα μου.

Ευχαριστίες

Στην επιβλέπουσα Δρ. Διονυσία-Πηνελόπη Κοντονή, για την καθοδήγηση, την υποστήριξη και τις πολύτιμες υποδείξεις της καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Εισαγωγή	5
1.1 Αντικείμενο, Σκοπός και Ερευνητικά Ερωτήματα	6
1.2 Επιστημονική Πρωτοτυπία της Εργασίας	7
1.3 Μεθοδολογική Προσέγγιση	7
1.4 Δομή της Εργασίας	8
2. Ιστορική Εξέλιξη, Τεχνολογική Μετάβαση και Βιβλιογραφική Ανασκόπηση .9	
2.1 Ο Κατασκευαστικός Κλάδος ως Πεδίο Τεχνολογικής Μετάβασης	9
2.2 Η Εποχή της Σχεδίασης με το Χέρι	11
2.3 Computer-Aided Design: Η Πρώτη Ψηφιακή Επανάσταση	12
2.4 Η Γέννηση του BIM: Από την Ψηφιακή Σχεδίαση στη Διαχείριση Πληροφορίας	14
2.5 Η Παράλληλη Εξέλιξη των Συστημάτων ERP	15
2.6 Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας — Κρίσιμες Μελέτες και Κενά	17
3. Building Information Modeling: Ορισμός, Φιλοσοφία και Αρχιτεκτονική18	
3.1 Ορισμός και βασικές έννοιες του BIM	18
3.2 BIM ως Εργαλείο ή ως Διαδικασία: Μια Ουσιώδης Διάκριση	19
3.3 Τα Επίπεδα Ωριμότητας BIM: Bew–Richards, ISO 19650 και BEP	19
3.4 Οι Διαστάσεις BIM: Από 3D έως 10D	21
3.5 Οι Χρήστες του BIM: Ρόλοι, Πληροφοριακές Ανάγκες και Ροές Δεδομένων	24
4. BIM και Συστήματα ERP: Η Ψηφιακή Ενοποίηση της Τεχνικής και Επιχειρησιακής Πληροφορίας	26
4.1 Εννοιολογικό Πλαίσιο: Η Ανάγκη Σύνδεσης BIM και ERP	26
4.2 Αρχιτεκτονικές Ενοποίησης BIM–ERP και Ενδεικτικά Ψηφιακά Οικοσυστήματα	27
4.3 Ροές Εργασίας σε Ολοκληρωμένο Περιβάλλον BIM–ERP	29
4.4 Παραδείγματα Ψηφιακής Διαχείρισης Έργων και Βαθμοί Ενοποίησης BIM–ERP	32
4.4.1 Crossrail / Elizabeth Line, Λονδίνο: BIM, CDE και Διαχείριση Πληροφορίας σε Μεγάλο Έργο Υποδομής	32
4.4.2 Nagpur Metro Rail Project, Ινδία: Τεκμηριωμένη Εφαρμογή 5D BIM με Σύνδεση ERP και Χρονικού προγραμματισμού	34
4.4.3 AKTOR / DANAOS ProjectVIEW ERP: Ελληνικό Παράδειγμα Construction ERP με Αναφερόμενη Διασύνδεση με BIM και Primavera P6	37

4.4.4 Hickory Group, Αυστραλία: BIM–ERP Ενοποίηση σε Βιομηχανοποιημένη Κατασκευή.....	38
4.4.5 Συγκριτική Ανάλυση: Οφέλη, Προκλήσεις και Προϋποθέσεις BIM–ERP Ενοποίησης	41
4.5 Νομικό και Συμβατικό Πλαίσιο της BIM–ERP Ενοποίησης.....	44
5. BIM, Ψηφιακά Δίδυμα, Τεχνητή Νοημοσύνη και Υποδομές Δεδομένων.....	47
5.1 Ψηφιακά Δίδυμα: Ορισμός, Αρχιτεκτονική και Σχέση με BIM.....	47
5.2 Τεχνητή Νοημοσύνη στο BIM: Ρόλος, Δυνατότητες και Αβεβαιότητες.....	49
5.3 IoT, Cloud και Υποδομές Διασύνδεσης	51
6. Ο Ανθρώπινος Παράγοντας στον Ψηφιακό Μετασχηματισμό	54
6.1 Μετασχηματισμός Επαγγελματικών Ρόλων και Δεξιοτήτων	54
6.2 Το Χάσμα μεταξύ Εκπαίδευσης και Αναγκών της Αγοράς Εργασίας στον Κατασκευαστικό Κλάδο.....	56
6.3 Αντίσταση στην Αλλαγή και Οργανωτική Κουλτούρα	58
6.4 Αυτοματοποίηση, ΤΝ και Μετατόπιση της Εργασίας.....	60
6.5 Κίνδυνοι Τεχνολογικής Εξάρτησης και De-skilling.....	63
7. Διεθνείς Πολιτικές BIM, Ψηφιακή Ωριμότητα και η Θέση της Ελλάδας.....	66
7.1 Διεθνής Ανάπτυξη του BIM και Μετάβαση σε Ψηφιακή Διαχείριση Πληροφορίας	66
7.2 Δημόσιες Πολιτικές και Θεσμική Υιοθέτηση του BIM.....	68
7.3 Η Θέση της Ελλάδας: Μεταβατική Φάση και Προϋποθέσεις Ωρίμανσης	69
7.4 Μελλοντικές Προοπτικές του Ψηφιακού Μετασχηματισμού: Από το BIM στο Οικοσύστημα Δεδομένων Έργου	71
7.4.1 Η μετάβαση από το BIM σε ολοκληρωμένα οικοσυστήματα δεδομένων	71
7.4.2 BIM, δεδομένα άνθρακα και κυκλική οικονομία	73
7.4.3 Συνολική αποτίμηση για τον ορίζοντα 2026–2030	74
7.4.4 Προοπτικές για την Ελλάδα	74
8. Συμπεράσματα, Περιορισμοί και Προτάσεις	76
8.1 Σύνθεση ευρημάτων ανά ερευνητικό ερώτημα	76
8.2 Κεντρικά Συμπεράσματα	78
8.3 Προτάσεις Πολιτικής και Πρακτικής	79
8.4 Περιορισμοί της Εργασίας	80
8.5 Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα	80
Βιβλιογραφία	82

Συντομογραφίες και Ακρωνύμια

ACC	Autodesk Construction Cloud
AI	Artificial Intelligence — Τεχνητή Νοημοσύνη (TN)
API	Application Programming Interface (Διεπαφή Προγραμματισμού Εφαρμογών)
BCF	BIM Collaboration Format
BEP	BIM Execution Plan (Σχέδιο Εκτέλεσης BIM)
BIM	Building Information Modeling
BMS	Building Management System
BDS	Building Description System
BOQ	Bill of Quantities (Κατάλογος Ποσοτήτων)
CAD	Computer-Aided Design
CAGR	Compound Annual Growth Rate (Σύνθετος Ετήσιος Ρυθμός Ανάπτυξης)
CDE	Common Data Environment (Κοινό Περιβάλλον Δεδομένων)
DfMA	Design for Manufacture and Assembly (Σχεδιασμός για Παραγωγή και Συναρμολόγηση)
DT	Digital Twin (Ψηφιακό Δίδυμο)
EIR	Exchange Information Requirements / Employer's Information Requirements (Απαιτήσεις Πληροφοριών / Απαιτήσεις Πληροφόρησης Εργοδότη)
ERP	Enterprise Resource Planning (Σύστημα Διαχείρισης Επιχειρησιακών Πόρων)
ESG	Environmental, Social and Governance (Περιβαλλοντικά, Κοινωνικά και Διακυβέρνηση)
GIS	Geographic Information Systems
GFA	Gross Floor Area (Μικτή Επιφάνεια Δόμησης)
IFC	Industry Foundation Classes

IoT	Internet of Things (Διαδίκτυο των Πραγμάτων)
ISO	International Organization for Standardization
LCA	Life Cycle Assessment (Ανάλυση Κύκλου Ζωής)
LLM	Large Language Model
ML	Machine Learning (Μηχανική Μάθηση)
PM	Project Manager (Διευθυντής Έργου)
PLM	Product Lifecycle Management (Διαχείριση Κύκλου Ζωής Προϊόντος)
ROI	Return On Investment
RRF	Recovery and Resilience Facility (Μηχανισμός Ανάκαμψης και Ανθεκτικότητας)
SaaS	Software as a Service (Λογισμικό ως Υπηρεσία)
TN	Τεχνητή Νοημοσύνη
WBS	Work Breakdown Structure (Δομή Ανάλυσης Εργασιών)

1. Εισαγωγή

Ο κατασκευαστικός κλάδος αποτελεί έναν από τους μεγαλύτερους τομείς της παγκόσμιας οικονομίας καθώς ευθύνεται για περίπου το 13% του παγκόσμιου ΑΕΠ, απασχολεί πάνω από 100 εκατομμύρια εργαζόμενους παγκοσμίως, ενώ οι παγκόσμιες δαπάνες κατασκευής αναμένεται να αυξηθούν από 13 τρισεκατομμύρια δολάρια το 2023 σε 22 τρισεκατομμύρια έως το 2040 (Mischke et al., 2024; RICS, 2026). Παρά το μέγεθός του, ο κλάδος χαρακτηρίζεται από χρόνιες παθογένειες. Ειδικότερα η μέση υπέρβαση κόστους στα κατασκευαστικά έργα τα τελευταία εβδομήντα χρόνια ανέρχεται σε περίπου 28% (Afana et al., 2024). Οι αδυναμίες αυτές του κλάδου εκτιμάται ότι κοστίζουν περίπου 1,6 τρισεκατομμύρια δολάρια ετησίως (McKinsey Global Institute, 2017). Το πλέον ενδεικτικό στοιχείο αφορά στην παραγωγικότητα. Σύμφωνα με έρευνα του Mischke et al. (2024), η παραγωγικότητα του κλάδου αυξήθηκε ετησίως μόλις κατά 0,4% μεταξύ 2000 και 2022, έναντι 2% για το σύνολο της οικονομίας και 3% για τον μεταποιητικό κλάδο, καταγράφοντας συνολική βελτίωση μόλις 10% σε διάστημα άνω των δύο δεκαετιών.



Σχήμα 1.1 Η Επίδραση του BIM στον Ψηφιακό Μετασχηματισμό των Τεχνικών Έργων

Στο πλαίσιο αυτό, το Building Information Modeling (BIM) αποτελεί έναν από τους πιο σημαντικούς τεχνολογικούς και οργανωτικούς μετασχηματισμούς που έχει υιοθετήσει ο κλάδος τις τελευταίες δεκαετίες. Ωστόσο, η αντιμετώπιση του BIM ως «εξελιγμένο λογισμικό σχεδίασης», που εξακολουθεί να είναι διαδεδομένη μεταξύ

επαγγελματιών και εταιρειών, αποτελεί σημαντική απλούστευση. Το BIM, στην ουσία του, είναι μια ολοκληρωμένη μεθοδολογία διαχείρισης πληροφορίας που εκτείνεται σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής ενός τεχνικού έργου. Ξεκινά από τον αρχικό σχεδιασμό και φτάνει ως τη λειτουργία του και την τελική του απόσυρση ή κατεδάφιση (Sacks et al., 2018). Η ταύτισή του λοιπόν απλώς με ένα νέο σχεδιαστικό λογισμικό περιορίζει την κατανόηση των πραγματικών δυνατοτήτων του και στέκεται εμπόδιο στην πλήρη αξιοποίησή του.

Το BIM αποκτά ιδιαίτερη βαρύτητα στο σύγχρονο περιβάλλον, καθώς συνδέεται πλέον με ένα ευρύτερο σύνολο ψηφιακών τεχνολογιών που μεταβάλλουν τον τρόπο σχεδιασμού, κατασκευής και διοίκησης των τεχνικών έργων. Τα Ψηφιακά Δίδυμα (Digital Twins), η Τεχνητή Νοημοσύνη (AI), το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), οι cloud υποδομές και, κυρίως, η ενοποίηση με συστήματα Διαχείρισης Επιχειρησιακών Πόρων (ERP) διεκδικούν τον ρόλο του BIM από εργαλείο μοντελοποίησης σε βασική υποδομή διαχείρισης πληροφορίας. Η διασύνδεση αυτών των τεχνολογιών διαμορφώνει ένα ευρύτερο ψηφιακό οικοσύστημα διαχείρισης έργων, το οποίο μπορεί να υποστηρίξει τη λήψη αποφάσεων και τον έλεγχο διαδικασιών σε όλο τον κύκλο ζωής του έργου. Η δυναμική ανάπτυξη της διεθνούς αγοράς BIM ενισχύει την άποψη ότι το BIM αποτελεί τον βασικό άξονα του ψηφιακού μετασχηματισμού του κατασκευαστικού κλάδου.

1.1 Αντικείμενο, Σκοπός και Ερευνητικά Ερωτήματα

Αντικείμενο της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση της επίδρασης του BIM στον ψηφιακό μετασχηματισμό της διοίκησης τεχνικών έργων. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην ενοποίηση BIM–ERP και στον ρόλο του ανθρώπινου παράγοντα. Η ανάγκη για αυτή την έρευνα προκύπτει κυρίως από το γεγονός ότι η ακαδημαϊκή βιβλιογραφία εξετάζει συχνά το BIM και τα ERP ανεξάρτητα, παρά τη συνεχώς αυξανόμενη ενοποίησή τους στην πρακτική εφαρμογή (Galagali et al., 2024). Επιπρόσθετα, η ελληνική πραγματικότητα του κατασκευαστικού κλάδου παραμένει περιορισμένα διερευνημένη στο συγκεκριμένο πεδίο, παρά το σημαντικό μέγεθος του κλάδου και τις ιδιαίτερες προκλήσεις που αντιμετωπίζει.

Τα ερευνητικά ερωτήματα που καθοδηγούν την εργασία είναι τα εξής:

EP1: Πώς εξελίχθηκε η διαχείριση τεχνικών έργων από τα χειρόγραφα σχέδια έως τα ολοκληρωμένα ψηφιακά συστήματα και ποιες ήταν οι καθοριστικές τεχνολογικές μεταβάσεις;

EP2: Ποιες είναι οι βασικές διαστάσεις και δυνατότητες του BIM και υπό ποιες προϋποθέσεις λειτουργεί ως ολοκληρωμένη διαδικασία αντί για απλό εργαλείο;

EP3: Πώς η ενοποίηση BIM με ERP συστήματα επηρεάζει τη διοίκηση τεχνικών έργων σε επίπεδο ροών εργασίας, ελέγχου κόστους και λήψης αποφάσεων;

EP4: Ποιες νέες δεξιότητες απαιτούνται από τους επαγγελματίες του κλάδου και ποια τα εμπόδια στην υιοθέτηση του BIM;

EP5: Ποιες είναι οι βασικές μελλοντικές κατευθύνσεις της σχέσης BIM–ERP–AI τα επόμενα χρόνια και πώς επηρεάζουν τον ανθρώπινο παράγοντα;

1.2 Επιστημονική Πρωτοτυπία της Εργασίας

Η επιστημονική πρωτοτυπία της παρούσας εργασίας εντοπίζεται σε τρεις άξονες:

- Εξετάζεται η σύνδεση BIM–ERP σε σχέση με την ελληνική κατασκευαστική πραγματικότητα, ένα πεδίο που δεν έχει διερευνηθεί επαρκώς στην ελληνόγλωσση ακαδημαϊκή βιβλιογραφία.
- Συνδέεται η τεχνική διάσταση του BIM με τη διοικητική, οικονομική και επιχειρησιακή πληροφορία που διαχειρίζονται τα ERP συστήματα.
- Διατυπώνονται τεκμηριωμένες εκτιμήσεις για τις μελλοντικές προοπτικές του ψηφιακού μετασχηματισμού, με έμφαση στη σχέση BIM–ERP–AI και στον ανθρώπινο παράγοντα.

1.3 Μεθοδολογική Προσέγγιση

Η εργασία βασίζεται σε βιβλιογραφική και συνθετική μεθοδολογική προσέγγιση. Η ανάλυση βασίζεται σε τρεις αλληλοσυμπληρούμενους άξονες:

- Βιβλιογραφική ανασκόπηση ακαδημαϊκών πηγών και επαγγελματικών εκθέσεων σχετικά με το BIM, την ενοποίηση BIM–ERP, τα Ψηφιακά Δίδυμα, την Τεχνητή Νοημοσύνη και τον ανθρώπινο παράγοντα.

- Ανάλυση ενδεικτικών διεθνών και ελληνικών παραδειγμάτων ψηφιακής διαχείρισης έργων και
- Συνθετική αξιολόγηση των ευρημάτων με βάση τα ερευνητικά ερωτήματα της εργασίας

Τα συμπεράσματα για την ελληνική πραγματικότητα προκύπτουν από τη σύνθεση διαθέσιμων δευτερογενών πηγών. Δεν στηρίζονται σε πρωτογενή εμπειρική καταγραφή, στοιχείο που λαμβάνεται υπόψη στους περιορισμούς της εργασίας.

1.4 Δομή της Εργασίας

Η εργασία οργανώνεται σε οκτώ κεφάλαια. Το Κεφάλαιο 1 παρουσιάζει το αντικείμενο, τον σκοπό, τα ερευνητικά ερωτήματα και τη μεθοδολογική προσέγγιση της εργασίας. Το Κεφάλαιο 2 εξετάζει την ιστορική εξέλιξη από τη σχεδίαση με το χέρι και το CAD έως το BIM, καθώς και τη σχετική βιβλιογραφία. Το Κεφάλαιο 3 παρουσιάζει τον ορισμό, τη φιλοσοφία, τα επίπεδα ωριμότητας, τις διαστάσεις και τους χρήστες του BIM. Το Κεφάλαιο 4 αναλύει την ενοποίηση BIM-ERP και εξετάζει ενδεικτικά παραδείγματα ψηφιακής διαχείρισης έργων. Το Κεφάλαιο 5 εξετάζει τα Ψηφιακά Δίδυμα, την Τεχνητή Νοημοσύνη, το IoT και τις υποδομές δεδομένων. Το Κεφάλαιο 6 επικεντρώνεται στον ανθρώπινο παράγοντα, στις νέες δεξιότητες, στην οργανωτική αλλαγή και στους κινδύνους τεχνολογικής εξάρτησης. Το Κεφάλαιο 7 παρουσιάζει τις διεθνείς πολιτικές BIM, τη θέση της Ελλάδας και τις μελλοντικές προοπτικές του ψηφιακού μετασχηματισμού. Τέλος, το Κεφάλαιο 8 συνθέτει τα συμπεράσματα της εργασίας, αναγνωρίζει τους περιορισμούς της και διατυπώνει προτάσεις πολιτικής, πρακτικής και μελλοντικής έρευνας.

2. Ιστορική Εξέλιξη, Τεχνολογική Μετάβαση και Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Η κατανόηση της επίδρασης του BIM στη σύγχρονη διοίκηση τεχνικών έργων προϋποθέτει μια σύντομη ιστορική ανασκόπηση των μεθόδων σχεδιασμού, διαχείρισης και ανταλλαγής πληροφορίας στον κατασκευαστικό κλάδο. Η ιστορική αυτή προσέγγιση δεν έχει απλώς εισαγωγικό χαρακτήρα. Λειτουργεί ως πλαίσιο κατανόησης των αναγκών και των τεχνολογικών εξελίξεων που οδήγησαν στην ανάπτυξη του BIM. Ταυτόχρονα παρουσιάζονται τα δομικά προβλήματα που κάθε τεχνολογική εποχή επιχείρησε να αντιμετωπίσει και τεκμηριώνει γιατί το BIM δεν αποτελεί μια μεμονωμένη τεχνολογική καινοτομία, αλλά αποτέλεσμα μιας διαχρονικής πορείας εξέλιξης, η οποία διαμορφώθηκε από διαδοχικές ανάγκες, προκλήσεις και τεχνολογικές λύσεις.



Σχήμα 2.1 Τεχνολογική εξέλιξη και ψηφιακή μετάβαση του κατασκευαστικού κλάδου

2.1 Ο Κατασκευαστικός Κλάδος ως Πεδίο Τεχνολογικής Μετάβασης

Πριν εξεταστεί η ιστορική εξέλιξη των εργαλείων σχεδίασης, είναι σημαντικό να κατανοηθεί η ιδιαίτερη φύση του κατασκευαστικού κλάδου, καθώς αυτή επηρεάζει τον ρυθμό και τον τρόπο υιοθέτησης τεχνολογικών καινοτομιών. Σε αντίθεση με κλάδους όπως η μεταποίηση ή οι χρηματοοικονομικές υπηρεσίες, ο κατασκευαστικός κλάδος

εμφανίζει ορισμένες ιδιαιτερότητες που καθιστούν την ψηφιακή μετάβαση ιδιαίτερα απαιτητική.

Κάθε τεχνικό έργο είναι μοναδικό, δεν επαναλαμβάνεται αυτούσιο σε ελεγχόμενο περιβάλλον, αλλά εκτελείται σε συνεχώς μεταβαλλόμενες συνθήκες τοποθεσίας, κλίματος, εδάφους και ανθρώπινου δυναμικού. Αυτή η μοναδικότητα περιορίζει τη δυνατότητα τυποποίησης διαδικασιών που στη βιομηχανική παραγωγή επιτρέπει ευρεία αυτοματοποίηση. Επιπλέον, ο κλάδος παρουσιάζει έντονο κατακερματισμό, καθώς αποτελείται κυρίως από μικρές και μεσαίες επιχειρήσεις.. Στην ΕΕ, περισσότερο από το 95% των κατασκευαστικών επιχειρήσεων απασχολεί λιγότερους από 50 εργαζομένους (Eurostat, 2023), γεγονός που συχνά περιορίζει τη διαθεσιμότητα πόρων για επενδύσεις σε ψηφιακές τεχνολογίες και υποδομές.

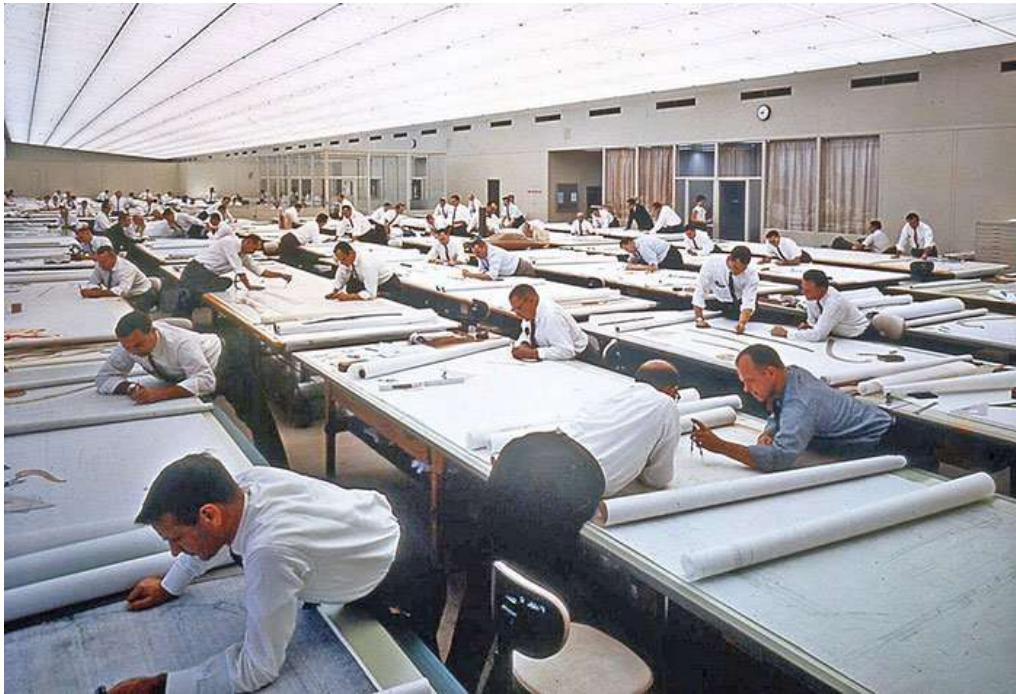
Μία ακόμα ιδιαιτερότητα είναι ότι η υλοποίηση ενός κατασκευαστικού έργου προϋποθέτει τη συνεργασία δεκάδων, ακόμα και εκατοντάδων, εμπλεκόμενων μερών. Αρχιτέκτονες, μηχανικοί διαφόρων ειδικοτήτων, εργολάβοι, υπεργολάβοι, προμηθευτές, επιθεωρητές, που ιστορικά λειτουργούν με διαφορετικό επίπεδο πρόσβασης στην πληροφορία, διαφορετικές προτεραιότητες και αντικρουόμενα συμφέροντα. Αυτή η δομική πολυπλοκότητα δυσχεραίνει την εφαρμογή συντονισμένων αλλαγών και δημιουργεί σημαντικές προκλήσεις στην υιοθέτηση νέων τεχνολογιών που απαιτούν συνεργασία μεταξύ πολλαπλών φορέων.

Ένα ακόμη κρίσιμο ζήτημα που επηρεάζει την υιοθέτηση του BIM είναι η απόδοση της επένδυσης (Return on Investment – ROI) και το αρχικό κόστος εφαρμογής. Η μετάβαση σε BIM δεν συντελείται με την αγορά λογισμικού, αλλά απαιτεί επένδυση σε τεχνολογικό εξοπλισμό, εκπαίδευση προσωπικού, αναδιοργάνωση διαδικασιών και χρόνο προσαρμογής. Η επιβάρυνση αυτή μπορεί να λειτουργήσει ανασταλτικά, ιδίως για μικρομεσαίες επιχειρήσεις που διαθέτουν περιορισμένους οικονομικούς και ανθρώπινους πόρους. Η βιβλιογραφία δείχνει ότι η οικονομική απόδοση του BIM δεν είναι ενιαία σε όλα τα έργα και τους οργανισμούς, καθώς εξαρτάται από το μέγεθος του έργου, το επίπεδο ψηφιακής ωριμότητας, τον βαθμό τυποποίησης των διαδικασιών και το χρονικό βάθος αξιολόγησης. Σε αρκετές περιπτώσεις, το αρχικό κόστος μετάβασης μπορεί να είναι υψηλό, ενώ τα οφέλη εμφανίζονται σταδιακά μέσω μείωσης σφαλμάτων, καλύτερου συντονισμού, ταχύτερης ενημέρωσης δεδομένων και βελτιωμένης διαχείρισης κόστους. Συνεπώς, το κρίσιμο ζήτημα για τις μικρομεσαίες

επιχειρήσεις δεν είναι μόνο η μακροπρόθεσμη αξία του BIM, αλλά και η δυνατότητα κάλυψης του αρχικού κόστους μετάβασης, ιδιαίτερα όταν δεν υπάρχουν επαρκείς πόροι, τεχνική υποστήριξη ή θεσμικά κίνητρα (Gharaibeh et al., 2024).

2.2 Η Εποχή της Σχεδίασης με το Χέρι

Για αιώνες, η αποτύπωση ενός τεχνικού έργου πριν από την κατασκευή του βασιζόταν στη σχεδίαση με το χέρι πάνω σε χαρτί. Αρχιτέκτονες και μηχανικοί χρησιμοποιούσαν παραδοσιακά εργαλεία σχεδίασης (χαρτί σχεδίασης, ξύλινους κανόνες, γνώμονες, διαβήτες, καλούπια) για να μεταφράσουν τρισδιάστατες ιδέες σε αναπαραστάσεις δύο διαστάσεων. Οι σχεδιαστικοί κώδικες που αναπτύχθηκαν τον 19ο και 20ό αιώνα, όπως η τυποποίηση κλιμάκων, συμβόλων και τίτλων σχεδίων, ουσιαστικά αποτέλεσαν τις πρώτες οργανωμένες προσπάθειες τυποποίησης της τεχνικής πληροφορίας στον κατασκευαστικό κλάδο.



Σχήμα 2.2 Σχεδιασμός πριν την εμφάνιση του ψηφιακού σχεδιασμού (Rare Historical Photos, Life Before the Invention of AutoCAD: Photos from 1950 to 1980)

Για έργα μικρής κλίμακας, όπως μεμονωμένες κατοικίες, μικρά δημόσια κτίρια, τοπικές υποδομές, ο τρόπος σχεδίασης αυτός λειτουργούσε ικανοποιητικά. Ο αριθμός των σχεδίων ήταν μικρός (συνήθως 10-50 φύλλα), η επικοινωνία μεταξύ σχεδιαστή και

εργολάβου ήταν άμεση, και οι απαιτούμενες τροποποιήσεις μπορούσαν να υλοποιηθούν χωρίς σημαντικό κόστος ή ιδιαίτερη οργανωτική επιβάρυνση.

Ωστόσο, καθώς η βιομηχανική επανάσταση και η ραγδαία αστικοποίηση του 19ου και 20ού αιώνα οδήγησαν στην ανάγκη ανάπτυξης έργων μεγαλύτερης κλίμακας και πολυπλοκότητας, όπως σιδηροδρομικά δίκτυα, γέφυρες μεγάλου ανοίγματος, πολυώροφα κτίρια, υπόγειοι σιδηρόδρομοι, μεγάλα λιμενικά έργα, τα όρια και οι αδυναμίες της παραδοσιακής σχεδίασης στο χέρι έγιναν ολοένα και πιο εμφανείς. Η κατασκευή έργων όπως η διώρυγα του Σουέζ, η γέφυρα του Μπρούκλιν ή το Empire State Building απαιτούσε εκατοντάδες ή ακόμα και χιλιάδες φύλλα σχεδίων, αυξάνοντας εκθετικά τις ανάγκες συντονισμού και διαχείρισης της πληροφορίας.

Οι βασικοί περιορισμοί του παραδοσιακού μοντέλου ήταν τρεις. Πρώτον, κάθε τροποποίηση σε ένα στοιχείο απαιτούσε χειροκίνητη επικαιροποίηση δεκάδων ή ακόμα και εκατοντάδων άλλων σχεδίων, αυξάνοντας τον κίνδυνο σφαλμάτων και ασυνεπειών. Δεύτερον, ο συντονισμός μεταξύ διαφορετικών ειδικοτήτων (αρχιτεκτονικής, στατικής, ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων και υδραυλικών συστημάτων) βασιζόταν σε χειροκίνητες διαδικασίες ελέγχου, γεγονός που καθιστούσε δύσκολο τον έγκαιρο εντοπισμό συγκρούσεων και ασυμβατοτήτων (clash detection). Τρίτον, η φυσική διαχείριση, μεταφορά και αρχειοθέτηση μεγάλου αριθμού σχεδίων ήταν διαδικασία απαιτητική σε χρόνο και πόρους, ενώ παρέμενε ευάλωτη σε απώλειες, φθορές και σφάλματα διαχείρισης.

2.3 Computer-Aided Design: Η Πρώτη Ψηφιακή Επανάσταση

Η εμφάνιση των ηλεκτρονικών υπολογιστών στα μέσα του 20ού αιώνα εισήγαγε τη δυνατότητα ψηφιακής επεξεργασίας, αποθήκευσης και αναπαραγωγής πληροφοριών με πρωτόγνωρη για την εποχή ταχύτητα και ακρίβεια. Στον χώρο της σχεδίασης, η πρώτη σημαντική εφαρμογή αυτής της δυνατότητας ήταν το Computer-Aided Design (CAD).

Ιστορικό ορόσημο αποτελεί το σύστημα Sketchpad, που ανέπτυξε ο Ivan Sutherland στο Massachusetts Institute of Technology (MIT) το 1963 στο πλαίσιο της διδακτορικής του διατριβής (Sutherland, 1963). Το Sketchpad επέτρεπε για πρώτη φορά τη διαδραστική ψηφιακή σχεδίαση μέσω ενός light pen σε οθόνη CRT, εισάγοντας έννοιες όπως η ιεραρχική οργάνωση γραφικών στοιχείων και η χρήση

Μεταπτυχιακή Διπλωματική εργασία

δεσμεύσεων (constraints), αρχές που παραμένουν θεμελιώδεις στα σύγχρονα CAD και BIM συστήματα. Ωστόσο, χρειάστηκαν σχεδόν δύο δεκαετίες για το μετασχηματισμό και την εξέλιξη αυτής της τεχνολογίας σε εμπορικά προϊόντα ευρέως προσβάσιμα σε αρχιτεκτονικά και τεχνικά γραφεία.



Σχήμα 2.3: Ο Ivan Sutherland χρησιμοποιεί το Sketchpad στον υπολογιστή TX-2 του MIT Lincoln Laboratory. (MIT, 1963)

Η καθοριστική καμπή για τον κατασκευαστικό κλάδο ήταν το Δεκέμβριο του 1982, με την κυκλοφορία του AutoCAD από την εταιρεία Autodesk. Για πρώτη φορά, ένα λογισμικό σχεδίασης σε δύο διαστάσεις ήταν διαθέσιμο σε προσωπικούς υπολογιστές IBM σε προσιτή για την εποχή τιμή, για τα μικρά και μεσαία τεχνικά γραφεία (Borkowski, 2023). Μέσα σε μια δεκαετία, το AutoCAD είχε εγκατασταθεί σε εκατοντάδες χιλιάδες γραφεία παγκοσμίως, καθιερώνοντας την ψηφιακή σχεδίαση ως νέα πρακτική στον κλάδο.

Τα οφέλη του CAD έναντι της σχεδίασης στο χέρι ήταν άμεσα εμφανή. Αυξημένη ταχύτητα στην παραγωγή επαναλαμβανόμενων στοιχείων, ευκολία τροποποίησης χωρίς πλήρη επανασχεδίαση, δυνατότητα ψηφιακής αποθήκευσης, δυνατότητα

ηλεκτρονικής μεταφοράς αρχείων και εκτύπωση υψηλής ακρίβειας μέσω plotter ήταν μόνο μερικά από τα οφέλη. Η αναθεώρηση των σχεδίων μπορούσε πλέον να πραγματοποιηθεί ταχύτερα και με σημαντικά μικρότερο λειτουργικό κόστος.

Παρά τα σημαντικά αυτά πλεονεκτήματα, το CAD παρέμεινε ουσιαστικά μια ψηφιακή εκδοχή της παραδοσιακής σχεδίασης. Οι γραμμές και τα γεωμετρικά σχήματα μεταφέρθηκαν από το χαρτί στην οθόνη, χωρίς ακόμα να συνοδεύονται από πληροφορίες σχετικά με τη λειτουργία, την ταυτότητα ή τις ιδιότητες των στοιχείων που αναπαριστούσαν. Για το λογισμικό, ένας τοίχος και ένα παράθυρο αποτελούσαν απλώς γεωμετρικά αντικείμενα χωρίς επιπλέον ενσωματωμένη πληροφορία. Η γνώση για τη φύση και τα χαρακτηριστικά κάθε στοιχείου παρέμενε αποκλειστικά στον σχεδιαστή. Ο περιορισμός αυτός, δηλαδή η αδυναμία σύνδεσης της γεωμετρίας με δομημένη πληροφορία, αποτέλεσε μία από τις βασικές αιτίες που οδήγησαν στην ανάπτυξη του Building Information Modeling (BIM).

2.4 Η Γέννηση του BIM: Από την Ψηφιακή Σχεδίαση στη Διαχείριση Πληροφορίας

Η ιδέα που οδήγησε στη διαμόρφωση του BIM δεν προήλθε αρχικά από την εμπορική αγορά λογισμικού, αλλά από τον ακαδημαϊκό χώρο. Βασίστηκε στην αναγνώριση ότι ένα τεχνικό έργο μπορεί να αναπαρασταθεί ψηφιακά όχι μόνο ως γεωμετρικό σύνολο, αλλά και ως φορέας δομημένης πληροφορίας. Ο Charles Eastman, ερευνητής στο Georgia Institute of Technology, δημοσίευσε το 1975 στο περιοδικό AIA Journal το άρθρο «The Use of Computers Instead of Drawings in Building Design» (Eastman, 1975). Εκεί περιέγραφε τη λογική ενός Building Description System (BDS). Ενόσ ψηφιακού συστήματος που θα αποθήκευε όχι μόνο γεωμετρικά χαρακτηριστικά, αλλά και πληροφορίες για κάθε στοιχείο ενός κτιρίου.

Η ιδέα αυτή εξελίχθηκε σταδιακά κατά τις δεκαετίες του 1980 και του 1990, παράλληλα με την αύξηση της υπολογιστικής ισχύος. Εταιρείες λογισμικού ανέπτυξαν πρώιμα παραμετρικά εργαλεία τρισδιάστατης σχεδίασης, τα οποία επέτρεπαν τη δημιουργία «έξυπνων» αντικειμένων, δηλαδή δομικών στοιχείων που ενσωμάτωναν παραμέτρους και ιδιότητες. Καθοριστική ήταν η κυκλοφορία του Revit από την εταιρεία Charles River Software το 2000 και η εξαγορά της εταιρείας από την Autodesk

το 2002, που συνέβαλε στην περαιτέρω ανάπτυξη και διάδοση του Revit ως εμπορική πλατφόρμα BIM.

Ο όρος Building Information Modeling, ως συγκεκριμένη επαγγελματική και ακαδημαϊκή ορολογία, εδραιώθηκε κυρίως στις αρχές της δεκαετίας του 2000. Ο Jerry Laiserin συνέβαλε σημαντικά στη διάδοση και καθιέρωση του όρου Building Information Modeling, αναδεικνύοντας το BIM ως διακριτή προσέγγιση σε σχέση με το παραδοσιακό CAD (Borkowski, 2023). Η κυκλοφορία της πρώτης έκδοσης του BIM Handbook (Eastman et al., 2008), το οποίο αποτέλεσε βασικό έργο αναφοράς για τη θεωρητική και πρακτική κατανόηση του BIM, συνέβαλε στην περαιτέρω εδραίωση του BIM ως διακριτής επιστημονικής και επαγγελματικής προσέγγισης.

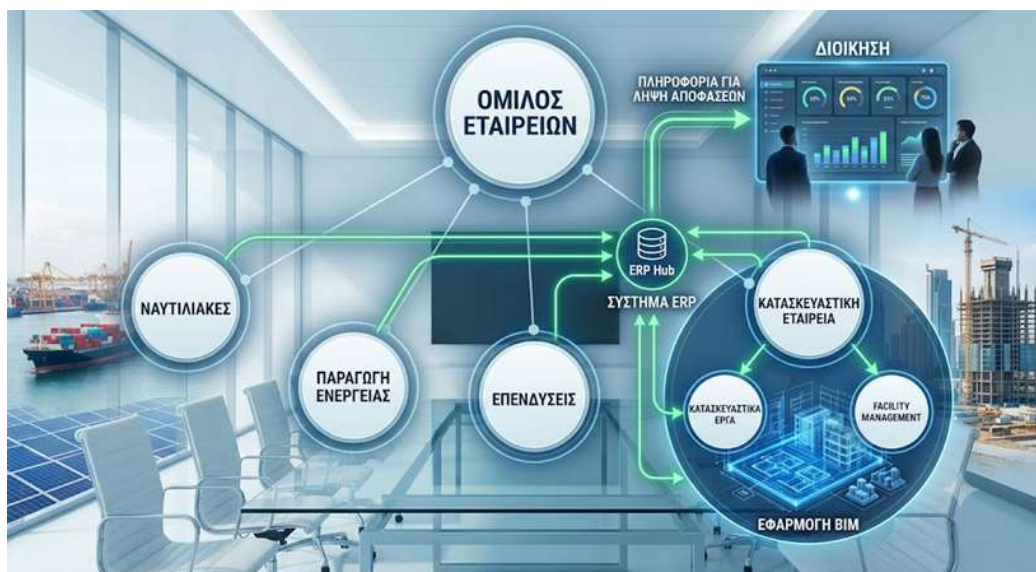
Παράλληλα, οι δημόσιες πολιτικές διαδραμάτισαν σημαντικό ρόλο στην επιτάχυνση της διάδοσης του BIM. Το Ηνωμένο Βασίλειο, μέσω της Government Construction Strategy (Cabinet Office, 2011), θέσπισε την υποχρεωτική χρήση BIM Επιπέδου 2 για όλα τα κεντρικά χρηματοδοτούμενα δημόσια έργα από τον Απρίλιο του 2016. Η απόφαση αυτή αποτέλεσε σημαντικό ορόσημο και επηρέασε ευρύτερα τη συζήτηση για την υιοθέτηση του BIM στην Ευρώπη. Σκανδιναβικές χώρες, όπως η Φινλανδία, η Νορβηγία, η Σουηδία και η Δανία, είχαν ήδη εισαγάγει ανάλογες απαιτήσεις από τα μέσα της δεκαετίας του 2000. Η Φινλανδία μάλιστα ήταν η πρώτη χώρα στην Ευρώπη που εισήγαγε υποχρεωτική χρήση BIM όταν το 2007 η κρατική Senate Properties (Senaatti) ξεκίνησε τις πρώτες οδηγίες BIM απαιτώντας χρήση IFC αρχείων (Senate Properties, 2007).

2.5 Η Παράλληλη Εξέλιξη των Συστημάτων ERP

Ενώ ο κατασκευαστικός κλάδος ανέπτυξε εργαλεία ψηφιοποίησης του σχεδιασμού, παράλληλες τεχνολογικές εξελίξεις πραγματοποιούνταν στον χώρο της οργάνωσης και διαχείρισης των επιχειρησιακών λειτουργιών (οικονομική διαχείριση, προμήθειες, αποθήκες, τιμολόγηση, λογιστική, παρακολούθηση κόστους), με βασικότερη την ανάπτυξη των συστημάτων Enterprise Resource Planning (ERP). Η κατανόηση της εξέλιξης αυτής είναι απαραίτητη για τη σύνδεση των δύο τεχνολογικών πεδίων.

Τα συστήματα ERP εξελίχθηκαν από τα συστήματα Material Requirements Planning (MRP) της δεκαετίας του 1960, τα οποία αναπτύχθηκαν αρχικά για τη διαχείριση αποθεμάτων και αναγκών υλικών στη βιομηχανική παραγωγή. Στη συνέχεια, τα Μεταπτυχιακή Διπλωματική εργασία

συστήματα Manufacturing Resource Planning (MRP II) της δεκαετίας του 1980 επέκτειναν τη λογική αυτή στη συνολικότερη διαχείριση των παραγωγικών πόρων. Η εταιρεία SAP, η οποία ιδρύθηκε στη Γερμανία το 1972 από πέντε πρώην μηχανικούς της IBM (Wellenreuther, Hopp, Hector, Plattner και Tschira) (SAP, 2022), ανέπτυξε το σύστημα R/2 το 1979 και στη συνέχεια το SAP R/3 το 1992, το οποίο συνέβαλε καθοριστικά στη διάδοση των ERP συστημάτων διεθνώς.



Σχήμα 2.4 Η ανάγκη διασύνδεσης ERP – BIM.

Ο κατασκευαστικός κλάδος υιοθέτησε με βραδύτερο ρυθμό τα συστήματα ERP, λόγω της δομικής αποκέντρωσης και της μοναδικότητας των έργων που εξετάστηκαν στην ενότητα 2.1. Ωστόσο, από τα μέσα της δεκαετίας του 2000, μεγάλες κατασκευαστικές εταιρείες άρχισαν να αξιοποιούν εξειδικευμένες λύσεις ERP ή συναφή πληροφοριακά συστήματα για τη διαχείριση οικονομικών στοιχείων, εφοδιαστικής αλυσίδας, ανθρώπινου δυναμικού και χρονικού προγραμματισμού έργων. Σε αυτές περιλαμβάνονται, ενδεικτικά, λύσεις όπως SAP for Engineering, Construction & Operations, Oracle Primavera, Trimble Viewpoint και Procore.

Η ανάπτυξη του BIM και των ERP ακολούθησε για αρκετά χρόνια παράλληλες τροχιές. Πρόκειται για δύο κατηγορίες ψηφιακών συστημάτων που υποστήριζαν διαφορετικές όψεις του ίδιου τεχνικού έργου, χωρίς όμως να υπάρχει πάντοτε ουσιαστική διασύνδεση μεταξύ τους. Το BIM συγκέντρωνε κυρίως πληροφορίες που αφορούσαν τη φυσική και τεχνική διάσταση του έργου, όπως η γεωμετρία, τα υλικά, οι ποσότητες, ο χρόνος και η ενεργειακή απόδοση. Αντίστοιχα, τα ERP συστήματα εστίαζαν στην

Μεταπτυχιακή Διπλωματική εργασία

επιχειρησιακή και οικονομική διάσταση, όπως το κόστος, οι προμηθευτές, το ανθρώπινο δυναμικό, τα τιμολόγια και η λογιστική παρακολούθηση. Η ενοποίησή τους αποτελεί σήμερα μία από τις πιο σημαντικές προκλήσεις και ευκαιρίες για τη διοίκηση τεχνικών έργων.

2.6 Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας — Κρίσιμες Μελέτες και Κενά

Η ακαδημαϊκή βιβλιογραφία στο πεδίο του BIM είναι εκτεταμένη. Σε βιβλιομετρική ανάλυση που κάλυψε περισσότερα από 500 άρθρα από τη βάση δεδομένων Scopus, οι Ye et al. (2025) διαπίστωσαν συνεχή αύξηση των ετήσιων δημοσιεύσεων για το BIM στη διοίκηση έργων, με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση ερευνητικού ενδιαφέροντος σε τομείς κόστους, χρονοδιαγραμμάτων και ποιότητας. Οι Sacks et al. (2018) στο BIM Handbook παρέχουν την πιο ολοκληρωμένη θεωρητική σύνθεση, ενώ ο Borkowski (2023) παρουσιάζει συστηματική κριτική ανάλυση των διαφορετικών ορισμών BIM στη βιβλιογραφία.

Η ανασκόπηση αναδεικνύει τα ακόλουθα κενά στη βιβλιογραφία. Αρχικά η σύνδεση BIM–ERP παραμένει σχετικά ανεξερεύνητη σε σύγκριση με κάθε σύστημα χωριστά. Η μελέτη Galagali et al. (2024) διαπιστώνει ότι παρά την αναγνωρισμένη αξία της ενοποίησης BIM–ERP, η σχετική έρευνα παραμένει σε πρώιμο στάδιο (nascent stage), με σημαντικά κενά προς διερεύνηση. Επιπρόσθετα, ο ανθρώπινος παράγοντας εξετάζεται συνήθως ανεξάρτητα από την τεχνολογική διάσταση, παρά τη στενή αλληλεξάρτησή τους. Σε εθνικό επίπεδο, η ελληνική ακαδημαϊκή βιβλιογραφία για τη χρήση BIM στον εγχώριο κατασκευαστικό κλάδο είναι αρκετά περιορισμένη.

3. Building Information Modeling: Ορισμός, Φιλοσοφία και Αρχιτεκτονική

Στο κεφάλαιο αυτό διαμορφώνεται το βασικό θεωρητικό πλαίσιο της εργασίας, καθώς αναλύεται τι είναι το BIM, γιατί ο ορισμός του παραμένει αντικείμενο ακαδημαϊκής συζήτησης και πώς οι διαφορετικές εννοιολογικές προσεγγίσεις του επηρεάζουν τον τρόπο κατανόησης και εφαρμογής του στην πράξη.

3.1 Ορισμός και βασικές έννοιες του BIM

Η ποικιλία των ορισμών του BIM στη βιβλιογραφία δεν είναι τυχαία. Αντανακλά την πολυδιάστατη φύση της έννοιας. Ο ορισμός εμφανίζεται διαφορετικό ανάλογα με τη σκοπιά από την οποία εξετάζεται. Ο Borkowski (2023), σε εκτενή ανασκόπηση ορισμών BIM που εντόπισε σε ακαδημαϊκές δημοσιεύσεις και θεσμικά έγγραφα, κατέληξε ότι οι ορισμοί χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- Στενοί ορισμοί που εστιάζουν στο μοντέλο και στα τεχνολογικά εργαλεία και
- Ευρείς ορισμοί που προσεγγίζουν το BIM ως σύστημα ή μεθοδολογία διαχείρισης πληροφορίας και εστιάζουν στη διαδικασία και τον κύκλο ζωής.

Σύμφωνα με το πρότυπο ISO 19650-1:2018, το BIM ορίζεται ως «the use of a shared digital representation of a built object to facilitate design, construction and operation processes to form a reliable basis for decisions» (ISO 19650-1, 2018, άρθρο 3.3.14). Στα ελληνικά αποδίδεται ως «η χρήση κοινής ψηφιακής αναπαράστασης ενός δομημένου περιουσιακού στοιχείου για τη διευκόλυνση των διαδικασιών σχεδιασμού, κατασκευής και λειτουργίας, ώστε να δημιουργηθεί αξιόπιστη βάση για αποφάσεις». Στην παρούσα εργασία, το BIM προσεγγίζεται με την ευρεία έννοιά του, δηλαδή ως ολοκληρωμένη μεθοδολογία ψηφιακής διαχείρισης πληροφορίας που διατρέχει όλον τον κύκλο ζωής ενός τεχνικού έργου, από τον αρχικό σχεδιασμό έως την κατασκευή, τη λειτουργία και τη συντήρηση. Ο πυρήνας της μεθοδολογίας αυτής είναι ένα κοινό, δομημένο ψηφιακό μοντέλο που συγκεντρώνει γεωμετρικές, τεχνικές, χρονικές και οικονομικές πληροφορίες, επιτρέποντας σε όλους τους εμπλεκόμενους (μελετητές, κατασκευαστές, κυρίου έργου και διαχειριστές) να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις βάσει αξιόπιστων δεδομένων. Στη σύγχρονη εκδοχή του, το BIM ενοποιείται με Ψηφιακά Δίδυμα, Τεχνητή Νοημοσύνη και συστήματα Διαχείρισης

Επιχειρησιακών Πόρων, διαμορφώνοντας ένα ολοκληρωμένο ψηφιακό οικοσύστημα για τη διοίκηση τεχνικών έργων.

3.2 BIM ως Εργαλείο ή ως Διαδικασία: Μια Ουσιώδης Διάκριση

Από την ανάλυση των ορισμών προκύπτει μια σημαντική διάκριση. Το BIM μπορεί να αντιμετωπιστεί είτε ως ένα εξελιγμένο τεχνολογικό εργαλείο είτε ως διαδικασία διαχείρισης πληροφορίας. Η διάκριση αυτή έχει πρακτική σημασία, καθώς επηρεάζει τον τρόπο με τον οποίο οι οργανισμοί σχεδιάζουν, εφαρμόζουν και αξιολογούν την υιοθέτηση του BIM και αντίστοιχα το κατά πόσο η υιοθέτηση του BIM επηρεάζει τον ψηφιακό τους μετασχηματισμό. Μια εταιρεία που περιορίζεται στην αγορά αδειών Revit και στην εκπαίδευση των μηχανικών της, χωρίς να αναδιοργανώνει τις διαδικασίες διαχείρισης πληροφορίας, τα πρωτόκολλα συνεργασίας και τις ευθύνες ανταλλαγής δεδομένων, δεν αξιοποιεί πλήρως το BIM. Στην περίπτωση αυτή, χρησιμοποιεί κυρίως ένα προηγμένο εργαλείο τρισδιάστατης σχεδίασης και όχι μια ολοκληρωμένη μεθοδολογία ψηφιακής διαχείρισης έργου.

Η έρευνα των Lidelöw et al. (2023) σε 47 εταιρείες του αρχιτεκτονικού, μηχανικού και κατασκευαστικού κλάδου σε Φινλανδία, Νορβηγία και Σουηδία διαπίστωσε ότι τα πραγματικά οφέλη BIM περιορίζονται στη φάση σχεδιασμού, ενώ τα οφέλη του πλήρους κύκλου ζωής σπανίως επιτυγχάνονται, γεγονός που υποδηλώνει ότι η πλειονότητα χρησιμοποιεί το BIM ως εργαλείο σχεδίασης, όχι ως ολοκληρωμένη μεθοδολογία / διαδικασία.

3.3 Τα Επίπεδα Ωριμότητας BIM: Bew–Richards, ISO 19650 και BEP

Η υιοθέτηση του BIM δεν είναι δυαδική επιλογή («εφαρμόζω» ή «δεν εφαρμόζω»), αλλά μια πρόοδος σε επίπεδα ωριμότητας που αντικατοπτρίζουν τον βαθμό ψηφιακής ολοκλήρωσης ενός οργανισμού. Μία από τις πιο γνωστές σχηματικές αποδόσεις αυτής της πορείας είναι το μοντέλο Bew-Richards, το οποίο αποτέλεσε σημείο αναφοράς στη συζήτηση για τα επίπεδα ωριμότητας BIM και την εφαρμογή του BIM Level 2 στον δημόσιο τομέα (Bew & Richards, 2008).

Επίπεδα Ωριμότητας BIM

Σχηματική απόδοση του μοντέλου Bew-Richards



Σχήμα 3.1 Επίπεδα ψηφιακής ωριμότητας BIM

Σχηματικά, τα επίπεδα ωριμότητας BIM οργανώνονται ως εξής:

- Επίπεδο 0: Αντιστοιχεί στη σχεδίαση με το χέρι ή στην ανεξάρτητη CAD σχεδίαση, χωρίς κοινή ψηφιακή πλατφόρμα και χωρίς οργανωμένη ανταλλαγή ψηφιακής πληροφορίας.
- Επίπεδο 1: Εισάγει τη χρήση Κοινού Περιβάλλοντος Δεδομένων (Common Data Environment – CDE) και τυποποιημένων μορφών αρχείων. Κάθε ειδικότητα διατηρεί το δικό της ανεξάρτητο μοντέλο.
- Επίπεδο 2: Βασίζεται στη δημιουργία συνδυαστικού μοντέλου (federated model) από τα επιμέρους μοντέλα των ειδικοτήτων, με χρήση τυποποιημένων διαδικασιών, πρωτοκόλλων ανταλλαγής πληροφορίας και καθορισμένων ρόλων.
- Επίπεδο 3: Γνωστό και ως iBIM (integrated BIM) αντιπροσωπεύει την πλήρη ψηφιακή ολοκλήρωση. Αντί για ξεχωριστά μοντέλα που συνδυάζονται, όλοι οι εμπλεκόμενοι εργάζονται στο ίδιο κοινό μοντέλο σε πραγματικό χρόνο, αξιοποιώντας cloud-based υποδομή και ανοικτά πρότυπα διαλειτουργικότητας.

Το διεθνές πρότυπο για τη διαχείριση πληροφοριών σε τεχνικά έργα με χρήση BIM ISO 19650 (2018) δεν ακυρώνει το μοντέλο Bew-Richards, αλλά το εντάσσει σε ένα διεθνές πλαίσιο διαχείρισης πληροφορίας. Εισάγει έννοιες όπως οι Απαιτήσεις Ανταλλαγής Πληροφοριών (Exchange Information Requirements – EIR) και το αναθέτον μέρος (Appointing Party), προσφέροντας ένα πιο σαφές πλαίσιο για τη συμβατική, οργανωτική και τεχνική διαχείριση της πληροφορίας BIM. Κεντρικό εργαλείο για την πρακτική εφαρμογή του BIM σε επίπεδο έργου είναι το BIM Execution Plan (BEP). Το BEP καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο θα εφαρμοστεί το BIM σε ένα συγκεκριμένο έργο, προσδιορίζοντας ρόλους και ευθύνες, λογισμικά και μορφότυπους ανταλλαγής δεδομένων, απαιτήσεις πληροφορίας, διαδικασίες ελέγχου ποιότητας, κανόνες ονοματοδοσίας και τη λειτουργία του Κοινού Περιβάλλοντος Δεδομένων. Με τον τρόπο αυτό, το BEP μετατρέπει το γενικό πλαίσιο του BIM και των προτύπων ISO 19650 σε συγκεκριμένες διαδικασίες εφαρμογής. Χωρίς ένα σαφές BEP, η χρήση BIM μπορεί να παραμείνει αποσπασματική ή χωρίς τυποποίηση, δημιουργώντας ασυνέπειες στα δεδομένα και δυσκολίες συνεργασίας μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων. Στο πλαίσιο της BIM-ERP ενοποίησης, το BEP αποκτά ιδιαίτερη σημασία, καθώς μπορεί να καθορίσει από την αρχή τις κωδικοποιήσεις, τις παραμέτρους στοιχείων, τις απαιτήσεις ανταλλαγής πληροφορίας και τις δομές δεδομένων που επιτρέπουν τη σύνδεση του BIM μοντέλου με συστήματα κόστους, προμηθειών, χρονικού προγραμματισμού και διοικητικής παρακολούθησης (ISO 19650-2:2018; Sacks et al., 2018).

3.4 Οι Διαστάσεις BIM: Από 3D έως 10D

Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά του BIM είναι η δυνατότητα ενσωμάτωσης πολλαπλών κατηγοριών πληροφορίας πέρα από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά. Η δυνατότητα αυτή αποδίδεται συχνά με τον όρο «διαστάσεις BIM», ο οποίος χρησιμοποιείται για να περιγράψει τα διαφορετικά είδη δεδομένων που μπορούν να συνδεθούν με το ψηφιακό μοντέλο (Sacks et al., 2018).



Σχήμα 3.2 Οι διαστάσεις του BIM

Το 3D BIM παρέχει τρισδιάστατη αναπαράσταση των δομικών στοιχείων ως ψηφιακών αντικειμένων με ενσωματωμένες πληροφορίες, τα οποία μπορούν να περιλαμβάνουν πληροφορίες όπως το υλικό, οι διαστάσεις και οι τεχνικές ιδιότητες. Η διάσταση αυτή υποστηρίζει την ανίχνευση συγκρούσεων (clash detection) μεταξύ ειδικοτήτων και συμβάλλει στη μείωση σφαλμάτων κατά τον σχεδιασμό (Sacks et al., 2018).

Το 4D BIM προσθέτει τη διάσταση του χρόνου, καθώς συνδέει τα στοιχεία του μοντέλου με δραστηριότητες του χρονοδιαγράμματος, επιτρέποντας την απεικόνιση της αλληλουχίας κατασκευής (Sacks et al., 2018). Το 5D BIM ενσωματώνει δεδομένα κόστους, ώστε οι αλλαγές στο μοντέλο να μπορούν να συνδέονται με μεταβολές στον προϋπολογισμό του έργου (Sacks et al., 2018). Η σύνδεση του 5D BIM με συστήματα ERP αποτελεί φυσική επέκταση αυτής της διάστασης, καθώς επιτρέπει τη συσχέτιση τεχνικών και οικονομικών δεδομένων (Galagali et al., 2024).

Το 6D BIM συνδέεται συχνά με ζητήματα βιωσιμότητας, όπως η ενεργειακή ανάλυση, η περιβαλλοντική αξιολόγηση και ο υπολογισμός του αποτυπώματος άνθρακα (Sacks et al., 2018). Η διάσταση αυτή αποκτά ιδιαίτερη σημασία στο πλαίσιο των ευρωπαϊκών πολιτικών για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων, όπως η Οδηγία 2024/1275/ΕΕ για

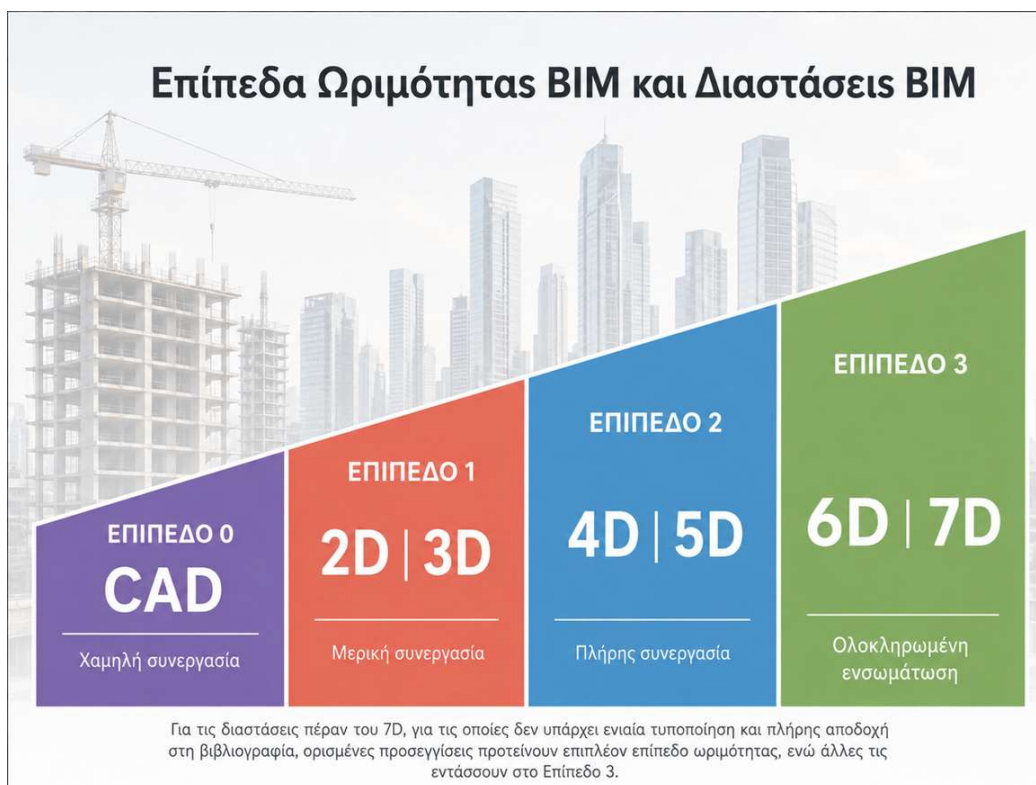
την ενεργειακή απόδοση κτιρίων (European Parliament & Council of the European Union, 2024).

Το 7D BIM αφορά τη φάση λειτουργίας και συντήρησης (facility management), καθώς παρέχει στους διαχειριστές εγκαταστάσεων πληροφορίες για τα τεχνικά στοιχεία, τα συστήματα, τις εγγυήσεις, τα προγράμματα συντήρησης και το ιστορικό παρεμβάσεων (Sacks et al., 2018; Sacks et al., 2025). Με τον τρόπο αυτό, το ψηφιακό μοντέλο μπορεί να λειτουργήσει ως δυναμικό εργαλείο υποστήριξης της λειτουργίας του κτιρίου μετά την παράδοσή του. Η σύνδεση του 7D BIM με υποσυστήματα ERP για τη συντήρηση, τη διαχείριση παγίων και τη διαχείριση εγκαταστάσεων, όπως το Plant Maintenance του SAP ή η διαχείριση πάγιων στοιχείων του Oracle, αποτελεί φυσική επέκταση αυτής της διάστασης. Τα δεδομένα του ψηφιακού μοντέλου BIM μπορούν να τροφοδοτούν αυτόματα εντολές συντήρησης, να ενημερώνουν αποθέματα ανταλλακτικών και να υποστηρίζουν ανάλυση κόστους κύκλου ζωής (Life Cycle Cost Analysis) (Galagali et al., 2024).

Οι επόμενες διαστάσεις, όπως το 8D, το 9D και το 10D, δεν έχουν ακόμη πλήρως τυποποιηθεί διεθνώς και η ερμηνεία τους διαφοροποιείται ανάλογα με τη βιβλιογραφική ή επαγγελματική προσέγγιση (Borkowski, 2023). Συνήθως, το 8D συνδέεται με την υγεία και ασφάλεια, το 9D με τις αρχές Lean Construction και το 10D με την πλήρη εκβιομηχάνιση και την ψηφιακή βελτιστοποίηση της κατασκευαστικής διαδικασίας. Επομένως, οι διαστάσεις πέραν του 7D πρέπει να αντιμετωπίζονται με προσοχή, καθώς δεν αποτελούν πλήρως εδραιωμένα ή ενιαία επιστημονικά ταξινομήση.

Αξίζει να σημειωθεί ότι ορισμένες επαγγελματικές πηγές επεκτείνουν την ταξινόμηση πέραν του 10D, αναφέροντας ενδεικτικά 11D για Επαυξημένη και Εικονική Πραγματικότητα ή 12D για Τεχνητή Νοημοσύνη. Σε κάθε περίπτωση οι επεκτάσεις αυτές δεν διαθέτουν ακαδημαϊκή ή θεσμική κατοχύρωση. Η Τεχνητή Νοημοσύνη ειδικότερα δεν αποτελεί αυτοτελή και τυποποιημένη διάσταση του BIM. Αντίθετα, λειτουργεί ως οριζόντια τεχνολογία που ενισχύει πολλαπλές διαστάσεις, από τον σχεδιασμό και τον χρονικό προγραμματισμό έως την κοστολόγηση, τη συντήρηση και τη λήψη αποφάσεων (Valdebenito & Forcael, 2025; Kutá & Faltejsek, 2025). Η επιστημονική κοινότητα έχει στρέψει το ενδιαφέρον της όχι σε περισσότερους

αριθμούς διαστάσεων, αλλά στο Ψηφιακό Δίδυμο και τα πλαίσια διαχείρισης πληροφορίας βάσει ISO 19650 (2018) (Sacks et al., 2025).



Σχήμα 3.3 Σύνδεση διαστάσεων με τα επίπεδα ωριμότητας του BIM

Παρά τα όρια της συγκεκριμένης ταξινόμησης, οι διαστάσεις BIM έχουν πρακτική χρησιμότητα. Βοηθούν τους οργανισμούς να κατανοήσουν ποιες κατηγορίες πληροφορίας μπορούν να ενσωματωθούν στο μοντέλο, να αξιολογήσουν το επίπεδο ψηφιακής τους ωριμότητας και να προσδιορίσουν συγκεκριμένους στόχους ανάπτυξης.

3.5 Οι Χρήστες του BIM: Ρόλοι, Πληροφοριακές Ανάγκες και Ροές Δεδομένων

Η κατανόηση του BIM ως διαδικασίας απαιτεί να εξεταστεί ποιοι χρησιμοποιούν το μοντέλο, σε ποια φάση του έργου και για ποιους σκοπούς. Η διάσταση αυτή είναι σημαντική, καθώς το BIM δεν αφορά μόνο τους μελετητές, αλλά ένα ευρύτερο δίκτυο εμπλεκόμενων φορέων (Sacks et al., 2018; Sacks et al., 2025).

Οι αρχιτέκτονες και οι μηχανικοί αποτελούν βασικούς παραγωγούς δεδομένων BIM. Αξιοποιούν το μοντέλο για τον σχεδιασμό, τον έλεγχο συγκρούσεων (clash detection)

μεταξύ ειδικοτήτων και την παραγωγή τεχνικής τεκμηρίωσης. Ο διευθυντής έργου (Project Manager) μπορεί να χρησιμοποιεί δεδομένα 4D και 5D για την παρακολούθηση του χρονοδιαγράμματος και του κόστους. Οι εργολάβοι και οι υπεργολάβοι μπορούν να εξάγουν ποσότητες, να διευκολύνουν την προμέτρηση και να αξιολογούν την δυνατότητα κατασκευής των προτεινόμενων τεχνικών λύσεων πριν από την έναρξη των εργασιών.

Σε σχέση με τα πρώτα χρόνια εφαρμογής του, ο κύκλος χρηστών του BIM έχει διευρυνθεί σημαντικά. Οι διαχειριστές εγκαταστάσεων αξιοποιούν δεδομένα 7D για τη λειτουργία και τη συντήρηση (Sacks et al., 2025). Δημόσιοι φορείς και δήμοι μπορούν να συνδέουν BIM δεδομένα με Γεωγραφικά Πληροφοριακά Συστήματα (GIS) για τη διαχείριση αστικών υποδομών (Baghalzadeh Shishehgarkhaneh et al., 2022). Χρηματοοικονομικοί οργανισμοί και φορείς αξιολόγησης ακινήτων μπορούν επίσης να αξιοποιούν δεδομένα του μοντέλου για την εκτίμηση αξίας, κινδύνου και επενδυτικής απόδοσης. Η διεύρυνση αυτή αναδεικνύει τον ρόλο του BIM ως μηχανισμού οργάνωσης, ανταλλαγής και αξιοποίησης της πληροφορίας σε όλο τον κύκλο ζωής ενός έργου. Μέσω της σύνδεσης διαφορετικών ρόλων, φάσεων και πληροφοριακών αναγκών, το BIM μπορεί να υποστηρίξει πιο συντονισμένες διαδικασίες σχεδιασμού, κατασκευής, λειτουργίας και λήψης αποφάσεων.

4. BIM και Συστήματα ERP: Η Ψηφιακή Ενοποίηση της Τεχνικής και Επιχειρησιακής Πληροφορίας

Το κεφάλαιο αυτό εξετάζει την ενοποίηση του BIM με τα συστήματα Enterprise Resource Planning (ERP), η οποία αποτελεί μία από τις σημαντικές κατευθύνσεις του ψηφιακού μετασχηματισμού στη διοίκηση τεχνικών έργων. Η ανάλυση επικεντρώνεται στον τρόπο με τον οποίο η τεχνική πληροφορία που παράγεται μέσω του BIM μπορεί να συνδεθεί με την οικονομική, προμηθευτική και διοικητική πληροφορία που διαχειρίζονται τα ERP συστήματα. Με τον τρόπο αυτό, διερευνάται η δυνατότητα δημιουργίας ενός πιο συνεκτικού πληροφοριακού περιβάλλοντος για τον σχεδιασμό, την παρακολούθηση και τη λήψη αποφάσεων στα τεχνικά έργα.

4.1 Εννοιολογικό Πλαίσιο: Η Ανάγκη Σύνδεσης BIM και ERP

Το BIM και τα ERP συστήματα αναπτύχθηκαν ιστορικά για να καλύψουν διαφορετικές πληροφοριακές ανάγκες. Το BIM εστιάζει κυρίως στη φυσική και τεχνική διάσταση του έργου, όπως η γεωμετρία, τα δομικά στοιχεία, οι ποσότητες, τα υλικά και ο χρόνος κατασκευής. Αντίθετα, τα ERP συστήματα εστιάζουν στην επιχειρησιακή και οικονομική διάσταση, όπως το κόστος, οι προμήθειες, οι συμβάσεις, οι πληρωμές, οι ανθρωπίνοι πόροι και η χρηματοοικονομική παρακολούθηση (Galagali et al., 2024).

Για μεγάλο χρονικό διάστημα, οι δύο αυτές κατηγορίες συστημάτων εξελίχθηκαν και λειτουργούσαν παράλληλα, χωρίς ουσιαστική διασύνδεση. Το γεγονός αυτό είχε ως αποτέλεσμα τη χειροκίνητη μεταφορά δεδομένων μεταξύ τεχνικών και οικονομικών συστημάτων, αυξάνοντας τον κίνδυνο σφαλμάτων, καθυστερήσεων και αναντιστοιχιών μεταξύ της φυσικής προόδου του έργου και της οικονομικής του αποτύπωσης (Junussova et al., 2022).

Η ανάγκη ενοποίησης BIM–ERP αναδεικνύεται ιδιαίτερα στη διαχείριση κόστους. Σε μη ολοκληρωμένα πληροφοριακά περιβάλλοντα, η εξαγωγή ποσοτήτων από το BIM και η εισαγωγή τους σε συστήματα ERP ή σε άλλα εργαλεία οικονομικής παρακολούθησης του έργου συχνά πραγματοποιούνται χειροκίνητα (Junussova et al., 2022). Η διαδικασία αυτή μπορεί να οδηγήσει σε χρονικές υστερήσεις, αναντιστοιχίες μεταξύ τεχνικών και οικονομικών δεδομένων και δυσκολία έγκαιρης ενημέρωσης των κοστολογικών μοντέλων. Ως αποτέλεσμα, οι αποφάσεις της διοίκησης ενδέχεται να

βασίζονται σε οικονομικά δεδομένα που δεν αντικατοπτρίζουν πλήρως την τρέχουσα κατάσταση του έργου.

Σε θεωρητικό επίπεδο, η ενοποίηση BIM–ERP μπορεί να κατανοηθεί ως δημιουργία ενιαίας πηγής αλήθειας (SSOT – Single Source Of Truth) για το έργο (Sacks et al., 2018). Το BIM παρέχει δεδομένα σχετικά με το τι κατασκευάζεται, πότε και με ποιες τεχνικές προδιαγραφές, ενώ το ERP συνδέει τα δεδομένα αυτά με κόστος, προμήθειες, συμβάσεις και οικονομική παρακολούθηση. Η σύνδεση αυτή μπορεί να υποστηρίξει μια πιο αξιόπιστη και επικαιροποιημένη βάση πληροφόρησης για τη λήψη αποφάσεων στη διοίκηση τεχνικών έργων (Galagali et al., 2024).

Αξίζει να αναφερθεί ότι σε επίπεδο μεγάλων οργανισμών και εταιρικών ομίλων, το ERP λειτουργεί ως κεντρικό πληροφοριακό σύστημα που ενοποιεί δεδομένα από διαφορετικές επιχειρησιακές μονάδες, εταιρικές δραστηριότητες και λειτουργίες, που μπορούν να είναι εντελώς διαφορετικές μεταξύ τους. (real estate, χρηματοοικονομικές επενδύσεις, ναυτιλία κοκ). Με τον τρόπο αυτό, ένα τεχνικό ή κατασκευαστικό έργο δεν παρακολουθείται απομονωμένα, αλλά εντάσσεται στη συνολική επιχειρησιακή και χρηματοοικονομική εικόνα ενός οργανισμού. Η αξία αυτής της ενοποιημένης πληροφόρησης είναι ιδιαίτερα σημαντική για τη διοίκηση, καθώς υποστηρίζει τη λήψη αποφάσεων, τον ταμειακό προγραμματισμό, την παρακολούθηση κόστους, την αξιολόγηση επενδύσεων και την κατανομή πόρων.

4.2 Αρχιτεκτονικές Ενοποίησης BIM–ERP και Ενδεικτικά Ψηφιακά Οικοσυστήματα

Η ενοποίηση BIM–ERP μπορεί να υλοποιηθεί με διαφορετικές αρχιτεκτονικές προσεγγίσεις, ανάλογα με τα πληροφοριακά συστήματα που χρησιμοποιεί κάθε οργανισμός, το επίπεδο ψηφιακής ωριμότητας, τις απαιτήσεις του έργου και τον βαθμό αυτοματοποίησης που επιδιώκεται (Galagali et al., 2024). Στη διεθνή αγορά, πλατφόρμες όπως το SAP S/4HANA, το Microsoft Dynamics 365 και το Oracle Fusion Cloud ERP αποτελούν ενδεικτικά παραδείγματα συστημάτων επιχειρησιακής διαχείρισης που μπορούν να συνδεθούν με εργαλεία BIM, πλατφόρμες Common Data Environment (CDE) και εφαρμογές διαχείρισης κατασκευαστικών έργων.

Η ενοποίηση αυτή προφανώς δεν πραγματοποιείται με έναν ενιαίο τρόπο. Σε ορισμένες περιπτώσεις βασίζεται σε διεπαφές προγραμματισμού εφαρμογών APIs (Application Programming Interfaces) ή σε μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία

Programming Interfaces), σε άλλες σε ανταλλαγή δεδομένων μέσω ανοικτών προτύπων, όπως το IFC (Industry Foundation Classes). Μπορεί επίσης να υποστηρίζεται από ενδιάμεσες πλατφόρμες διασύνδεσης ή εργαλεία αυτοματοποίησης ροών εργασίας. Μία κρίσιμη διάκριση που επηρεάζει τη δυνατότητα BIM-ERP ενοποίησης είναι η διάκριση μεταξύ openBIM και closedBIM. Σε ένα closedBIM περιβάλλον, η ανταλλαγή πληροφορίας πραγματοποιείται κυρίως μέσα σε οικοσύστημα εργαλείων του ίδιου παρόχου, γεγονός που μπορεί να διευκολύνει τη συμβατότητα μεταξύ εφαρμογών, αλλά ταυτόχρονα αυξάνει τον κίνδυνο εξάρτησης από συγκεκριμένο λογισμικό ή προμηθευτή. Αντίθετα, η λογική openBIM βασίζεται σε ανοικτά και vendor-neutral πρότυπα ανταλλαγής πληροφορίας, όπως το Industry Foundation Classes (IFC) και το BIM Collaboration Format (BCF), τα οποία υποστηρίζουν τη διαλειτουργικότητα μεταξύ διαφορετικών λογισμικών και οργανισμών. Η προσέγγιση αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική για τη BIM-ERP ενοποίηση, καθώς η σύνδεση τεχνικών, χρονικών και οικονομικών δεδομένων σπάνια περιορίζεται σε ένα μόνο πληροφοριακό σύστημα. Για τις μικρομεσαίες επιχειρήσεις, το openBIM μπορεί να προσφέρει μεγαλύτερη ευελιξία επιλογής εργαλείων και να περιορίσει την εξάρτηση από ένα ενιαίο εμπορικό οικοσύστημα. Ωστόσο, η χρήση ανοικτών προτύπων δεν εξαλείφει όλες τις πρακτικές δυσκολίες. Η ποιότητα εξαγωγής και εισαγωγής IFC μπορεί να διαφέρει μεταξύ λογισμικών, ενώ η απώλεια ή ασυνέπεια δεδομένων κατά τη μετατροπή παραμένει σημαντική πρόκληση για την αξιοπιστία της ενοποίησης BIM με ERP και άλλα συστήματα διοίκησης έργων (buildingSMART International, n.d.; Sacks et al., 2018). Στόχος είναι η μεταφορά και αξιοποίηση δεδομένων που παράγονται στο BIM μοντέλο όπως ποσότητες, τεχνικά χαρακτηριστικά, φάσεις κατασκευής, πληροφορίες στοιχείων, μέσα στα συστήματα που διαχειρίζονται κόστος, προμήθειες, συμβάσεις, πληρωμές και διοικητική πληροφόρηση. Τα παρακάτω παραδείγματα δεν παρουσιάζονται ως αξιολόγηση ή σύγκριση εμπορικών προϊόντων, αλλά ως ενδεικτικές περιπτώσεις ψηφιακών οικοσυστημάτων που αναδεικνύουν διαφορετικούς τρόπους σύνδεσης BIM, CDE, ERP και εργαλείων διαχείρισης έργων.

Η SAP διαθέτει επίσημο προϊόν για κατασκευαστικά έργα, το SAP S/4HANA Cloud for Projects, το οποίο επιτρέπει τη δημιουργία Κοινού Περιβάλλοντος Δεδομένων (CDE) για κοινή διαχείριση πληροφοριών έργου και BIM δεδομένων από όλους τους εμπλεκόμενους φορείς. Η ενοποίηση με εργαλεία BIM όπως το Autodesk Construction

Cloud υλοποιείται μέσω APIs και εγκεκριμένων συνεργατών του SAP οικοσυστήματος, επιτρέποντας τη ροή ποσοτήτων και τεχνικών δεδομένων από το BIM μοντέλο στις μονάδες διαχείρισης υλικών και κόστους του SAP S/4HANA (Autodesk University, 2024; Galagali et al., 2024). Με τον τρόπο αυτό μειώνεται η ανάγκη χειροκίνητης επανακαταχώρισης δεδομένων μεταξύ των δύο συστημάτων.

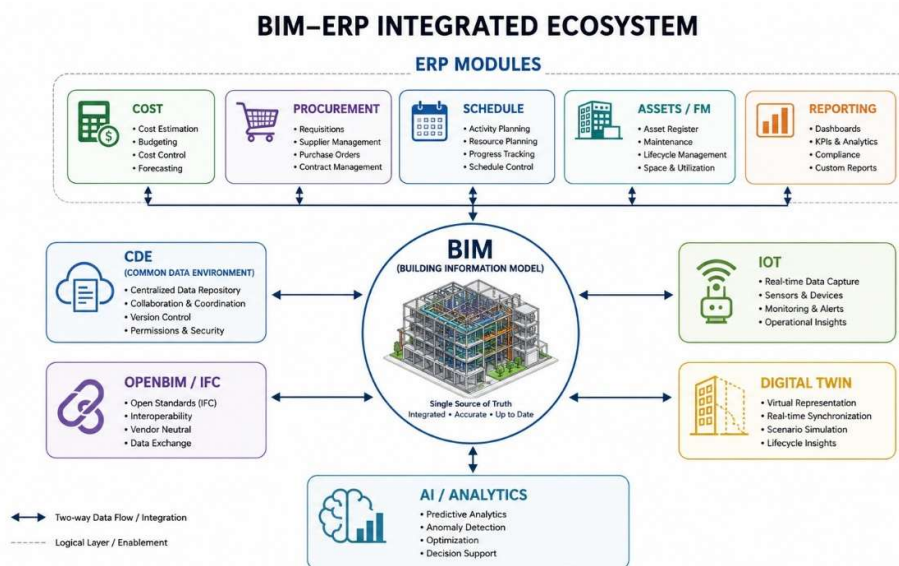
Αντίστοιχα, το Microsoft Dynamics 365 μπορεί να συνδεθεί με εργαλεία BIM και πλατφόρμες διαχείρισης έργων μέσω του Microsoft Power Platform, APIs και εργαλείων ανάλυσης δεδομένων, όπως το Power BI. Αξίζει να σημειωθεί ότι μια άμεση, «έτοιμη προς χρήση» ενοποίηση BIM με το Dynamics 365 δεν είναι ευρέως διαθέσιμη, η σύνδεση επιτυγχάνεται συνήθως μέσω ενδιάμεσων εργαλείων ή τρίτων εφαρμογών, όπως η ενοποίηση Procore–Business Central που διατίθεται επίσημα στο Microsoft Marketplace (Netsmartz LLC, n.d.). Η προσέγγιση αυτή μπορεί να είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για οργανισμούς που επιδιώκουν ευέλικτες λύσεις ενοποίησης, χωρίς να απαιτείται η ανάπτυξη πολύπλοκων και πλήρως εξατομικευμένων διασυνδέσεων.

Η Oracle διαθέτει ισχυρή παρουσία στον χώρο των πληροφοριακών συστημάτων για κατασκευαστικά έργα, κυρίως μέσω λύσεων όπως το Oracle Fusion Cloud ERP, το Oracle Primavera και το Oracle Aconex, η εξαγορά του οποίου ανακοινώθηκε τον Δεκέμβριο 2017 (Oracle, 2017) και ολοκληρώθηκε τον Μάρτιο του 2018. Το Oracle Aconex αποτελεί σήμερα μία από τις ευρύτερα υιοθετημένες πλατφόρμες CDE παγκοσμίως, με πάνω από 6 εκατ. χρήστες και πάνω από \$1 τρισ. αξίας έργων σε 70 χώρες (Oracle, n.d.a). Το CDE του Oracle Aconex βασίζεται σε ανοικτά πρότυπα (ISO 19650, IFC 4, BCF 2.1), υποστηρίζει απευθείας εισαγωγή αρχείων Revit, και ενσωματώνει δυνατότητες διαχείρισης BIM μοντέλων, ανίχνευσης συγκρούσεων και διαχείρισης εγγράφων σε ένα ενιαίο περιβάλλον (Oracle, 2019; Oracle, n.d.b).

4.3 Ροές Εργασίας σε Ολοκληρωμένο Περιβάλλον BIM–ERP

Η ενοποίηση BIM–ERP δεν αφορά μόνο στην τεχνική διασύνδεση λογισμικών. Αφορά και στην αναδιοργάνωση βασικών ροών εργασίας στη διοίκηση τεχνικών έργων. (Galagali et al., 2024). Οι σημαντικότερες περιοχές που επηρεάζονται είναι η διαχείριση κόστους, η διαχείριση προμηθειών και η παρακολούθηση της προόδου του έργου από τη διοίκηση.

Στη διαχείριση κόστους, η παραδοσιακή διαδικασία βασίζεται συχνά στη χειροκίνητη εξαγωγή ποσοτήτων από σχέδια ή μοντέλα και στη μεταφορά τους σε υπολογιστικά φύλλα ή ERP συστήματα (Junussova et al., 2022). Κάθε αναθεώρηση του σχεδιασμού μπορεί να απαιτεί επανυπολογισμό ποσοτήτων και επικαιροποίηση του προϋπολογισμού. Σε ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον BIM-ERP, τα δεδομένα ποσοτήτων που προκύπτουν από το 5D BIM μοντέλο μπορούν να συνδεθούν με τις κοστολογικές δομές του ERP, υποστηρίζοντας ταχύτερη ενημέρωση του προϋπολογισμού και καλύτερη παρακολούθηση των οικονομικών μεταβολών του έργου (Galagali et al., 2024).



Σχήμα 4.1 Ενδεικτική αρχιτεκτονική οικοσυστήματος BIM-ERP και σύνδεσή του με CDE, openBIM/IFC, IoT, Ψηφιακά Δίδυμα και AI/Analytics.

Αξίζει να υπογραμμιστεί ότι η ροή πληροφορίας δεν είναι μονόδρομη. Εκτός από τη μεταφορά τεχνικών δεδομένων από το BIM στο ERP, μπορεί να λειτουργεί και η αντίστροφη κατεύθυνση. Όταν το ERP καταγράφει αλλαγές στις τιμές υλικών, λόγω αγοράς, προμηθευτή ή αναθεώρησης σύμβασης, οι πληροφορίες αυτές μπορούν να τροφοδοτούν το 5D BIM μοντέλο, αναπροσαρμόζοντας την κοστολογική βάση του έργου. Το BIM, από μόνο του, δεν διαθέτει πληροφορία για τις διακυμάνσεις των τιμών αγοράς, η πληροφορία αυτή μπορεί να τροφοδοτηθεί από το ERP και να επιστρέφει στο μοντέλο ως επικαιροποιημένο κοστολογικό δεδομένο (Galagali et al., 2024).

Στη διαχείριση προμηθειών, η σύνδεση του 4D BIM με το ERP μπορεί να βελτιώσει τον προγραμματισμό των υλικών και των παραγγελιών (Junussova et al., 2022). Όταν τα στοιχεία του μοντέλου συνδέονται με το χρονοδιάγραμμα και τις ανάγκες προμήθειας, το ERP μπορεί να υποστηρίξει πιο έγκαιρο προγραμματισμό παραγγελιών, καλύτερη εκτίμηση χρόνων παράδοσης και περιορισμό των αναντιστοιχιών μεταξύ τεχνικών αναγκών και διαθέσιμων υλικών. Επιπλέον, η ενοποίηση μπορεί να υποστηρίξει πιο κεντριοποιημένες διαδικασίες προμηθειών. Αντί κάθε εργοτάξιο να παραγγέλνει υλικά ανεξάρτητα, η επιχείρηση μπορεί να συγκεντρώνει τις ανάγκες πολλών έργων και να επιτυγχάνει ευνοϊκότερες τιμές μέσω οικονομιών κλίμακας (Junussova et al., 2022). Το κόστος μπορεί στη συνέχεια να κατανέμεται στα αντίστοιχα έργα μέσω του ERP, παρέχοντας μεγαλύτερη κοστολογική διαφάνεια στη διοίκηση.

Η ενιαία διαχείριση έχει και σημαντική διάσταση ελέγχου. Όταν οι παραγγελίες διέρχονται από κεντρικό σύστημα ERP, περιορίζεται η δυνατότητα μη ελεγχόμενων παραγγελιών σε επίπεδο εργοταξίου, φαινόμενο που μπορεί να αποτελέσει πηγή αποκλίσεων στον έλεγχο κόστους. Με τον τρόπο αυτό, το εργοτάξιο δεν λειτουργεί ως ανεξάρτητο κέντρο προμήθειας, αλλά ως κόμβος εκτέλεσης με μεγαλύτερη διαφάνεια και σαφέστερη κοστολογική ευθύνη έναντι της διοίκησης της επιχείρησης.

Στην παρακολούθηση του έργου, η ενοποίηση BIM-ERP μπορεί να ενισχύσει την ποιότητα της πληροφόρησης που είναι διαθέσιμη στη διοίκηση (Sacks et al., 2018; Sacks et al., 2025). Αντί να βασίζεται αποκλειστικά σε περιοδικές αναφορές και χειροκίνητα συγκεντρωτικά στοιχεία, η διοίκηση μπορεί να έχει πρόσβαση σε επικαιροποιημένα δεδομένα σχετικά με την πρόοδο, το κόστος, τις προμήθειες και τις αποκλίσεις από τον αρχικό προγραμματισμό. Η σύνδεση αυτή υποστηρίζει πιο τεκμηριωμένη λήψη αποφάσεων και διευκολύνει τη μετάβαση από την εκ των υστέρων παρακολούθηση σε πιο προληπτικές μορφές διοίκησης έργων, προσεγγίζοντας την αρχή της ενιαίας και αξιόπιστης πηγής πληροφόρησης για το έργο.

4.4 Παραδείγματα Ψηφιακής Διαχείρισης Έργων και Βαθμοί Ενοποίησης BIM–ERP

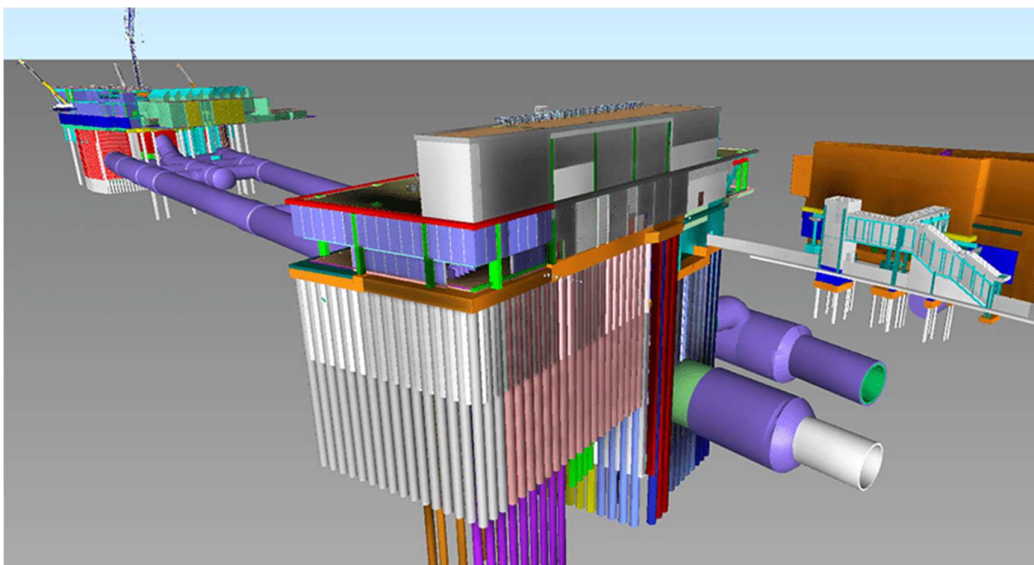
Η επιλογή των παραδειγμάτων που ακολουθούν στηρίχθηκε σε τρία κριτήρια. Πρώτον, στην επάρκεια τεκμηρίωσης, δηλαδή στην ύπαρξη επίσημων και επαληθεύσιμων πηγών, όπως ακαδημαϊκές δημοσιεύσεις, θεσμικές εκθέσεις και επίσημες εταιρικές ανακοινώσεις. Δεύτερον, στη συνάφεια με το αντικείμενο της παρούσας εργασίας, δηλαδή στον βαθμό με τον οποίο κάθε παράδειγμα αναδεικνύει τη σύνδεση τεχνικής πληροφορίας, κόστους, χρονικού προγραμματισμού και διοικητικής παρακολούθησης μέσω BIM και ERP συστημάτων. Τρίτον, στην κάλυψη διαφορετικών γεωγραφικών πλαισίων, τύπων έργου και επιπέδων ψηφιακής ωριμότητας, ώστε τα παραδείγματα να αντιπροσωπεύουν ευρύ φάσμα του κατασκευαστικού κλάδου.

Τα παραδείγματα δεν παρουσιάζονται ως ομοιογενείς περιπτώσεις πλήρους BIM–ERP ενοποίησης, καθώς ο βαθμός τεχνικής διασύνδεσης διαφέρει σημαντικά ανά έργο και ανά οργανισμό. Αντίθετα, αξιοποιούνται ως ενδεικτικές περιπτώσεις που αναδεικνύουν διαφορετικά επίπεδα ψηφιακής ωρίμανσης: από τη διαχείριση πληροφορίας μέσω BIM και Κοινού Περιβάλλοντος Δεδομένων (Common Data Environment – CDE), έως τη σύνδεση 5D BIM με κόστος, χρονικό προγραμματισμό, ERP συστήματα και διαχείριση παγίων (Khan, 2022; Sacks et al., 2018; Sacks et al., 2025).

4.4.1 Crossrail / Elizabeth Line, Λονδίνο: BIM, CDE και Διαχείριση Πληροφορίας σε Μεγάλο Έργο Υποδομής

Το Crossrail, το οποίο μετά την ολοκλήρωσή του εντάχθηκε στο δίκτυο του Λονδίνου ως Elizabeth Line, αποτελεί ένα από τα πιο γνωστά διεθνή παραδείγματα εφαρμογής BIM και οργανωμένης διαχείρισης τεχνικής πληροφορίας σε έργο μεγάλης κλίμακας. Το έργο εγκρίθηκε το 2007 και η κατασκευή ξεκίνησε το 2009, με στόχο τη σύνδεση των δυτικών με τις ανατολικές περιοχές του Λονδίνου μέσω μιας νέας σιδηροδρομικής υποδομής. Η γραμμή άνοιξε για το κοινό το 2022, μετά από σημαντικές καθυστερήσεις και υπερβάσεις κόστους. Ο αρχικός προϋπολογισμός €17,5 δισεκατομμυρίων (£14,8 δισ., τιμές 2010) ανήλθε τελικά σε €22,3 δισεκατομμύρια (£18,9 δισ.) παρουσιάζοντας υπέρβαση 27,7% επί του αρχικού (National Audit Office, 2021).

Η αξία του Crossrail ως μελέτης περίπτωσης δεν περιορίζεται στη χρήση τρισδιάστατων μοντέλων. Συνδέεται κυρίως με τη συγκρότηση ενός εκτεταμένου πληροφοριακού περιβάλλοντος για τη διαχείριση τεχνικών εγγράφων, μοντέλων, δεδομένων παγίων και πληροφοριών έργου. Στο πλαίσιο αυτό, αναπτύχθηκαν διαδικασίες BIM και CDE με στόχο τον συντονισμό πολλών αναδόχων, ειδικοτήτων και τεχνικών συστημάτων (Crossrail Limited, 2016).



Σχήμα 4.2 BIM απεικόνιση του σταθμού Farringdon στο έργο Crossrail / Elizabeth Line, Λονδίνο.
(Construction Management, 2015)

Η χρήση BIM στο Crossrail συνέβαλε ιδιαίτερα στον συντονισμό των επιμέρους μελετών, στην ανίχνευση συγκρούσεων και στη βελτίωση της ποιότητας της πληροφορίας που παραδόθηκε για τη λειτουργία και συντήρηση της υποδομής. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο σταθμός Farringdon, όπου η ανάλυση κατασκευαστικών σεναρίων μέσω 3D μοντέλου με κόστος περίπου €141.500 (£120.000), επέτρεψε εξοικονόμηση περίπου €9,4 εκατ. (~£8 εκατ.) (Crossrail Limited, 2016). Σε ένα έργο τέτοιας πολυπλοκότητας, με εκτεταμένες υπόγειες κατασκευές και διέλευση από περιοχές με υφιστάμενα δίκτυα, η ψηφιακή διαχείριση της πληροφορίας αποτέλεσε σημαντικό εργαλείο για τη μείωση τεχνικών ασυμβατοτήτων και τη βελτίωση του συντονισμού.

Ωστόσο, το Crossrail αναδεικνύει και τα όρια της ψηφιακής διαχείρισης όταν η πληροφορία δεν ενσωματώνεται έγκαιρα και με συνέπεια σε όλα τα επίπεδα διοίκησης του έργου. Οι υπερβάσεις κόστους και οι καθυστερήσεις δεν μπορούν να αποδοθούν αποκλειστικά σε ζητήματα BIM ή ERP, καθώς συνδέονται με ευρύτερους παράγοντες, Μεταπτυχιακή Διπλωματική εργασία

όπως η πολυπλοκότητα του έργου, η ολοκλήρωση συστημάτων, η διαχείριση κινδύνων και η οργανωτική διακυβέρνηση. Παρ' όλα αυτά, το παράδειγμα δείχνει ότι η ύπαρξη BIM και CDE δεν αρκεί από μόνη της, εάν δεν συνοδεύεται από αποτελεσματική σύνδεση της τεχνικής πληροφορίας με τον χρονικό προγραμματισμό, το κόστος και τη διοικητική παρακολούθηση. Δεν εκτιμήθηκε επαρκώς η πολυπλοκότητα ολοκλήρωσης και ελέγχου περίπου 500.000 τεχνικών και ψηφιακών στοιχείων υποδομής, ενώ η κατανομή ευθυνών μεταξύ πολλαπλών φορέων προσέθεσε περαιτέρω πολυπλοκότητα (National Audit Office, 2021, παρ. 13, 16).



Σχήμα 4.3 Διάνοιξη σήραγγας στη φάση κατασκευής του Crossrail / Elizabeth Line, Λονδίνο
(Crossrail Limited, n.d.)

Κατά συνέπεια, το Crossrail μπορεί να θεωρηθεί παράδειγμα υψηλής ψηφιακής ωριμότητας και οργανωμένης διαχείρισης πληροφορίας, αλλά όχι πλήρως τεκμηριωμένη περίπτωση ολοκληρωμένης BIM–ERP ενοποίησης. Η σημασία του για την παρούσα εργασία βρίσκεται κυρίως στο ότι αναδεικνύει τη μετάβαση από το BIM ως εργαλείο συντονισμού προς το BIM ως βάση διοίκησης πληροφορίας σε μεγάλα τεχνικά έργα.

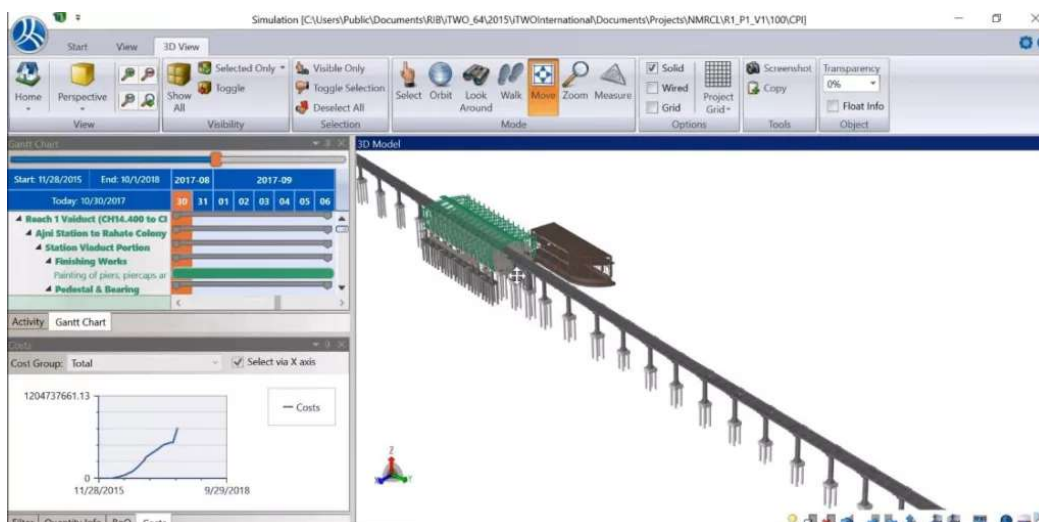
4.4.2 Nagpur Metro Rail Project, Ινδία: Τεκμηριωμένη Εφαρμογή 5D BIM με Σύνδεση ERP και Χρονικού προγραμματισμού

Το Nagpur Metro Rail Project αποτελεί ένα από τα πιο αντιπροσωπευτικά και καλά τεκμηριωμένα παραδείγματα εφαρμογής 5D BIM σε έργο αστικής σιδηροδρομικής

υποδομής, με σύνδεση τεχνικής πληροφορίας, κόστους, χρονικού προγραμματισμού και διαχείρισης παγίων. Το έργο υλοποιήθηκε από τη Maha Metro Rail Corporation Limited και αφορά δίκτυο περίπου 38 χιλιομέτρων, και συνολικού προϋπολογισμού €1,3 δισεκατομμυρίων. Αναπτύχθηκε σε δύο βασικούς διαδρόμους και περιλαμβάνει σταθμούς, τεχνικές υποδομές και υποδομές λειτουργίας. Σύμφωνα με τη Geospatial World (2022), ο συνδυασμός δεδομένων από drone και της ενιαίας 5D ψηφιακής πλατφόρμας διαχείρισης έργου συνέβαλε στην έγκαιρη παράδοση της Φάσης I του έργου, μήκους 13 χιλιομέτρων.

Η ψηφιακή προσέγγιση του έργου βασίστηκε στη δημιουργία ενός ενιαίου περιβάλλοντος διαχείρισης έργου, στο οποίο συνδέθηκαν πληροφορίες από το 3D μοντέλο, το χρονοδιάγραμμα, τα δεδομένα κόστους και τα πληροφοριακά συστήματα διαχείρισης παγίων. Σύμφωνα με διαθέσιμες εταιρικές και επαγγελματικές πηγές, η υλοποίηση αξιοποίησε τέσσερις πλατφόρμες:

- SAP ERP για την κοστολόγηση και τη χρηματοοικονομική διαχείριση
- Oracle Primavera P6 για το χρονικό προγραμματισμό
- Bentley ProjectWise/AssetWise για 3D μοντελοποίηση και διαχείριση στοιχείων υποδομής, και
- RIB iTWO ως ενδιάμεση πλατφόρμα ενοποίησης που συνέδεε τα τρία άλλα συστήματα επιτρέποντας τη ροή δεδομένων μεταξύ μοντέλου, χρονοδιαγράμματος και κόστους (RIB Software, n.d.; Geospatial World, 2022).



Σχήμα 4.4 Περιβάλλον 5D BIM στο RIB iTWO για το Nagpur Metro Rail Project στην Ινδία (RIB Software, n.d.)

Κεντρικό στοιχείο της προσέγγισης ήταν η χρήση 23-ψήφιου κωδικού παγίων, μέσω του οποίου στοιχεία του BIM μοντέλου συνδέθηκαν με οικονομικά και λειτουργικά δεδομένα στο SAP. Η λογική αυτή επιτρέπει τη συσχέτιση τεχνικών αντικειμένων με δεδομένα κόστους, χρονοδιαγράμματος και μελλοντικής συντήρησης, μετατρέποντας το BIM σε βάση πληροφόρησης για τον κύκλο ζωής της υποδομής (Geospatial World, 2022).

Το Nagpur Metro παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς προσεγγίζει με σαφή τρόπο την έννοια του 5D BIM–ERP. Η σύνδεση του μοντέλου με SAP ERP και Oracle Primavera P6 δείχνει πώς η τεχνική πληροφορία μπορεί να συσχετιστεί με κόστος, χρόνο και διαχείριση παγίων, υποστηρίζοντας μία ολοκληρωμένη εικόνα για τη διοίκηση του έργου. Παράλληλα, η χρήση του RIB iTWO ως πλατφόρμας ενοποίησης αναδεικνύει τον ρόλο των ενδιάμεσων ψηφιακών συστημάτων στη σύνδεση BIM, ERP και χρονικού προγραμματισμού.

Οι διαθέσιμες πηγές αναφέρουν επίσης σημαντικά οφέλη σε χρόνο, κόστος και ποιότητα πληροφόρησης, τα οποία αποδίδονται στη χρήση της ψηφιακής πλατφόρμας. Ενδεικτικά, η RIB Software (n.d.) αναφέρεται σε ενοποιημένη εικόνα έργου μέσω σύνδεσης 3D μοντέλου, χρονοδιαγράμματος και κόστους, ενώ επαγγελματικές πηγές παραθέτουν δηλώσεις της διοίκησης της Maha Metro σχετικά με εξοικονομήσεις χρόνου και κόστους. Ωστόσο, επειδή τα στοιχεία αυτά προέρχονται κυρίως από επαγγελματικές και εταιρικές πηγές, πρέπει να αντιμετωπίζονται ως τεκμηριωμένες ενδείξεις πρακτικού οφέλους και όχι ως ανεξάρτητα επαληθευμένα ακαδημαϊκά αποτελέσματα.

Παρά τον περιορισμό αυτό, το Nagpur Metro παραμένει ένα από τα πιο χρήσιμα case studies για την κατανόηση της πρακτικής αξίας της BIM–ERP ενοποίησης σε μεγάλο έργο υποδομής. Η σημασία του έγκειται κυρίως στο ότι δείχνει πώς η τεχνική πληροφορία του BIM μπορεί να συνδεθεί με συστήματα ERP, χρονικού προγραμματισμού και διαχείρισης παγίων, διαμορφώνοντας ένα ολοκληρωμένο πληροφοριακό περιβάλλον για τη διοίκηση τεχνικών έργων (Galagali et al., 2024; Wang & Chen, 2023).

4.4.3 AKTOR / DANAOS ProjectVIEW ERP: Ελληνικό

Παράδειγμα Construction ERP με Αναφερόμενη Διασύνδεση με BIM και Primavera P6

Η περίπτωση της AKTOR παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την ελληνική πραγματικότητα, καθώς συνδέεται με την υιοθέτηση εξειδικευμένου construction ERP σε μεγάλο κατασκευαστικό οργανισμό. Η AKTOR, ως μία από τις μεγαλύτερες κατασκευαστικές εταιρείες στην Ελλάδα και τη Νοτιοανατολική Ευρώπη, ανέθεσε στην DANAOS Projects Software Solutions την υλοποίηση του ProjectVIEW ERP ως κεντρικού συστήματος διαχείρισης κατασκευαστικών και τεχνικών έργων (DANAOS Projects, 2021).

Η δημόσια ανακοίνωση της DANAOS Projects αναφέρει ότι το έργο καλύπτει την εγκατάσταση, παραμετροποίηση, ενοποίηση, εκπαίδευση και θέση σε λειτουργία του ProjectVIEW ERP ως κεντρικού συστήματος construction and engineering project management των εργοταξίων της AKTOR. Η ίδια ανακοίνωση αναφέρει επίσης ότι η υλοποίηση θα συμπληρωνόταν με ενοποίηση του ProjectVIEW ERP με Oracle Primavera P6 και BIM systems (DANAOS Projects, 2021). Επομένως, η περίπτωση αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την παρούσα εργασία, καθώς αποτυπώνει μια ελληνική προσπάθεια σύνδεσης construction ERP με εργαλεία χρονικού προγραμματισμού και BIM. Ωστόσο, η διαθέσιμη δημόσια τεκμηρίωση δεν επιτρέπει την επιβεβαίωση του ακριβούς βαθμού λειτουργικής ενοποίησης σε συγκεκριμένα έργα.

Το ProjectVIEW ERP, σύμφωνα με την τεκμηρίωση της DANAOS, βασίζεται σε αρχιτεκτονική BoQ–WBS–Cost Codes και στοχεύει στη σύνδεση κόστους, χρόνου, πόρων και πληροφοριών έργου σε ενιαίο πληροφοριακό περιβάλλον. Η πλατφόρμα αναφέρεται ότι ενσωματώνεται με Oracle Primavera P6, MS Project και BIM systems, υποστηρίζοντας 5D view κόστους, χρόνου και πόρων. Η λογική αυτή συνδέεται άμεσα με τις ανάγκες BIM–ERP ενοποίησης, καθώς επιδιώκει τη σύνδεση ποσοτήτων, δραστηριοτήτων, κοστολογικών κωδικών και χρονικού προγραμματισμού (DANAOS Projects, n.d.).

Σε θεωρητικό επίπεδο, η δυνατότητα εισαγωγής και αξιοποίησης BIM δεδομένων, ιδίως μέσω ανοικτών μορφών όπως IFC, μπορεί να υποστηρίξει τη σύνδεση του

μοντέλου με BoQ, WBS, cost control και χρονικού προγραμματισμού. Με τον τρόπο αυτό, ένα construction ERP μπορεί να λειτουργήσει ως ενδιάμεσο πληροφοριακό περιβάλλον μεταξύ του τεχνικού μοντέλου, της κοστολογικής παρακολούθησης και της διοικητικής πληροφόρησης. Ωστόσο, η διαθέσιμη δημόσια τεκμηρίωση δεν επαρκεί για να επιβεβαιωθεί ο βαθμός αυτοματοποίησης ή η πλήρης λειτουργική εφαρμογή αυτής της σύνδεσης σε συγκεκριμένα έργα της AKTOR.

Κατά συνέπεια, η περίπτωση της AKTOR διατυπώνεται με ακαδημαϊκή επιφύλαξη. Αποτελεί τεκμηριωμένο παράδειγμα υιοθέτησης construction ERP σε μεγάλο ελληνικό κατασκευαστικό οργανισμό, με αναφερόμενη διασύνδεση με Oracle Primavera P6 και BIM systems, αλλά όχι ανεξάρτητα επαληθευμένο case study πλήρους BIM-ERP ενοποίησης. Η αξία της για την παρούσα εργασία έγκειται κυρίως στο ότι δείχνει την κατεύθυνση στην οποία κινούνται οι μεγάλοι κατασκευαστικοί οργανισμοί στην Ελλάδα. Από τη χρήση επιμέρους συστημάτων παρακολούθησης προς πιο ενοποιημένα πληροφοριακά περιβάλλοντα, ικανά να συνδέουν τεχνική, χρονική και κοστολογική πληροφορία σε επίπεδο εταιρικής διοίκησης έργων.

4.4.4 Hickory Group, Αυστραλία: BIM-ERP Ενοποίηση σε

Βιομηχανοποιημένη Κατασκευή

Η Hickory Group είναι αυστραλιανή κατασκευαστική εταιρεία με έδρα τη Μελβούρνη, η οποία έχει αναπτύξει το Hickory Building System (HBS), ένα ιδιόκτητο σύστημα βιομηχανοποιημένης κατασκευής για κτίρια μεγάλης κλίμακας. Η προσέγγιση αυτή συνδέεται με τη λογική Design for Manufacture and Assembly (DfMA), καθώς σημαντικά δομικά και λειτουργικά στοιχεία του κτιρίου προκατασκευάζονται εκτός εργοταξίου, σε ελεγχόμενο εργοστασιακό περιβάλλον, και στη συνέχεια μεταφέρονται και συναρμολογούνται επί τόπου. Σύμφωνα με την εταιρική τεκμηρίωση της Hickory, το HBS μπορεί να επιτρέψει παράλληλη εξέλιξη εργασιών και να μειώσει τον χρόνο κατασκευής έως 50% σε σύγκριση με παραδοσιακές μεθόδους, ενώ παράλληλα επιδιώκει μείωση αποβλήτων, βελτίωση ποιότητας και αύξηση ασφάλειας (Hickory Building Systems, n.d.).



Σχήμα 4.5 Collins House στη Μελβούρνη, έργο υψηλής κατασκευαστικής πολυπλοκότητας σε περιορισμένο αστικό περιβάλλον (Hickory, n.d.)

Η περίπτωση της Hickory παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την παρούσα εργασία, επειδή η βιομηχανοποιημένη κατασκευή απαιτεί υψηλότερο βαθμό ψηφιακού συντονισμού σε σχέση με την παραδοσιακή παραγωγή στο εργοτάξιο. Η παραγωγή στοιχείων εκτός εργοταξίου προϋποθέτει ακριβή δεδομένα, αξιόπιστη εξαγωγή ποσοτήτων, έγκαιρο προγραμματισμό παραγωγής, σύνδεση με την εφοδιαστική αλυσίδα και παρακολούθηση κόστους. Για τον λόγο αυτό, η σύνδεση BIM με συστήματα PLM και ERP αποκτά ιδιαίτερη σημασία.

Ο Holzer (2014) εξετάζει την περίπτωση της Hickory Group ως παράδειγμα στρατηγικής επανατοποθέτησης μιας κατασκευαστικής και παραγωγικής επιχείρησης που συνδυάζει Product Lifecycle Management (PLM), Building Information Modeling (BIM) και Enterprise Resource Planning (ERP) στο οργανωτικό της περιβάλλον. Η μελέτη αναδεικνύει ότι, σε ένα τέτοιο πλαίσιο, το BIM δεν λειτουργεί μόνο ως εργαλείο γεωμετρικής αναπαράστασης, αλλά ως δομημένη πηγή δεδομένων που μπορεί να τροφοδοτήσει διαδικασίες παραγωγής, προγραμματισμού, κοστολόγησης και διαχείρισης πόρων.

Η λογική αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική για τη BIM-ERP ενοποίηση, καθώς η βιομηχανοποιημένη κατασκευή πλησιάζει περισσότερο τη λογική της μεταποίησης από

ό,τι η παραδοσιακή εργοταξιακή παραγωγή. Σύμφωνα με τους Holzer (2014) και Mukkavaara et al. (2018), στο πλαίσιο αυτό τα δεδομένα του BIM μοντέλου μπορούν να δομηθούν ως Bills of Materials (BoM), τα οποία αποτελούν τον κρίσιμο κρίκο που γεφυρώνει BIM με ERP συστήματα, τροφοδοτώντας διαδικασίες παραγωγής, προγραμματισμού, προμηθειών και κοστολόγησης. Έτσι, το ERP δεν λειτουργεί απλώς ως οικονομικό σύστημα, αλλά ως μέρος ενός ευρύτερου πληροφοριακού περιβάλλοντος που συνδέει σχεδιασμό, παραγωγή και διοικητική παρακολούθηση. Αυτή η λογική που, σύμφωνα με τους ίδιους ερευνητές, βρίσκεται ακόμα σε ανάπτυξη απαιτεί περαιτέρω μελέτη για την πλήρη της υλοποίηση στη βιομηχανοποιημένη κατασκευή.



Σχήμα 4.6 Κατασκευή του Collins House στη Μελβούρνη με συναρμολόγηση προκατασκευασμένων τμημάτων από τη Hickory Group (Hickory Group, n.d.)

Η σημασία του παραδείγματος είναι διττή. Πρώτον, δείχνει ότι η BIM-ERP ενοποίηση δεν αφορά αποκλειστικά παραδοσιακά έργα υποδομής ή εργοταξιακής κατασκευής, αλλά επεκτείνεται και σε περιβάλλοντα βιομηχανοποιημένης κατασκευής, όπου η ακρίβεια των δεδομένων και ο συγχρονισμός παραγωγής είναι κρίσιμες προϋποθέσεις. Δεύτερον, αναδεικνύει ότι η ενσωμάτωση BIM, PLM και ERP μπορεί να υποστηρίξει ένα πιο συνεκτικό παραγωγικό μοντέλο, στο οποίο η πληροφορία του σχεδιασμού συνδέεται με την παραγωγή, το κόστος και τη διοικητική παρακολούθηση.

Ωστόσο, η περίπτωση πρέπει να παρουσιαστεί με σχετική ακαδημαϊκή επιφύλαξη. Η τεκμηρίωση βασίζεται κυρίως στην ακαδημαϊκή ανάλυση του Holzer (2014) και σε εταιρικές πληροφορίες της Hickory Building Systems. Δεν υπάρχουν επαρκή ανεξάρτητα ποσοτικά δεδομένα που να επιβεβαιώνουν, σε επίπεδο συγκεκριμένου έργου, τον ακριβή βαθμό αυτοματοποίησης ή τα μετρήσιμα αποτελέσματα της BIM–ERP ενοποίησης. Επομένως, το παράδειγμα αξιοποιείται στην παρούσα εργασία ως τεκμηριωμένη ένδειξη εφαρμογής BIM–PLM–ERP σε βιομηχανοποιημένο κατασκευαστικό πλαίσιο και ως δείκτης της ευρύτερης μετάβασης του κλάδου προς πιο ολοκληρωμένα ψηφιακά παραγωγικά συστήματα.

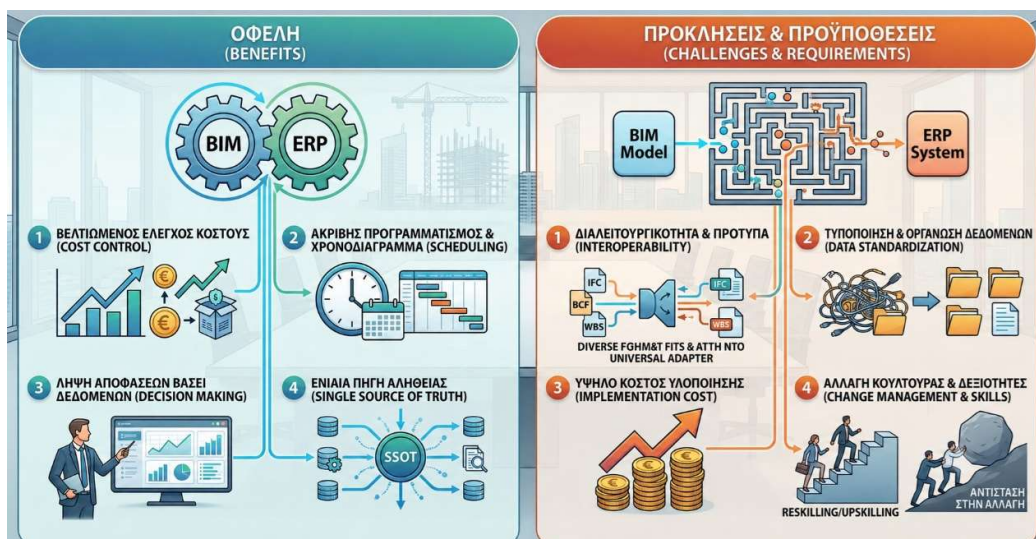
4.4.5 Συγκριτική Ανάλυση: Οφέλη, Προκλήσεις και Προϋποθέσεις BIM–ERP Ενοποίησης

Τα τέσσερα παραδείγματα που εξετάστηκαν αποτυπώνουν διαφορετικά επίπεδα ψηφιακής ωριμότητας και διαφορετικών προσεγγίσεων BIM–ERP ενοποίησης. Το Crossrail αναδεικνύει τη σημασία της οργανωμένης διαχείρισης πληροφορίας μέσω BIM και Κοινού Περιβάλλοντος Δεδομένων (CDE) σε μεγάλο έργο υποδομής, καθώς και τα όρια της ψηφιακής διαχείρισης όταν η τεχνική πληροφορία δεν συνδέεται έγκαιρα με τον χρονικό προγραμματισμό, το κόστος και τη διοικητική παρακολούθηση. Το Nagpur Metro αποτελεί μία από τις πιο τεκμηριωμένες περιπτώσεις 5D BIM–ERP προσέγγισης, με σύνδεση τεχνικής πληροφορίας, κόστους, χρονικού προγραμματισμού και διαχείρισης στοιχείων υποδομής μέσω ενδιάμεσης ψηφιακής πλατφόρμας. Η AKTOR αναδεικνύει την ελληνική πραγματικότητα, καθώς δείχνει τη μετάβαση μεγάλου κατασκευαστικού οργανισμού προς ενοποιημένη διαχείριση κόστους, χρόνου και τεχνικής πληροφορίας, μέσω construction ERP με αναφερόμενη διασύνδεση με BIM systems και Oracle Primavera P6. Η Hickory Group εισάγει μια εντελώς διαφορετική διάσταση καθώς στο πλαίσιο της βιομηχανοποιημένης κατασκευής, η σύνδεση BIM–PLM–ERP εμφανίζεται ως λειτουργική αναγκαιότητα. Η παραγωγή στοιχείων εκτός εργοταξίου προϋποθέτει ακριβή δεδομένα, έγκαιρο προγραμματισμό και συνεχή ροή πληροφορίας μεταξύ σχεδιασμού, παραγωγής και εφοδιαστικής αλυσίδας.

Κοινό στοιχείο όλων των περιπτώσεων είναι η αυξανόμενη σημασία της ενιαίας και αξιόπιστης πληροφόρησης για τη διοίκηση τεχνικών έργων. Είτε αυτή εκφράζεται μέσω CDE, όπως στο Crossrail, είτε μέσω κωδικοποίησης παγίων που συνδέει BIM Μεταπτυχιακή Διπλωματική εργασία

και SAP, όπως στο Nagpur Metro, είτε μέσω δομών BoQ–WBS–Cost Codes, όπως στην περίπτωση της AKTOR, είτε μέσω Bills of Materials που γεφυρώνουν BIM και ERP σε βιομηχανοποιημένο περιβάλλον, όπως στη Hickory. Το ζητούμενο παραμένει σε κάθε περίπτωση το ίδιο. Η μείωση των αποκλίσεων μεταξύ τεχνικών, οικονομικών και χρονικών δεδομένων και η δημιουργία ενός πιο συνεκτικού πλαισίου λήψης αποφάσεων (Khan, 2022; Sacks et al., 2025).

Αξιοσημείωτη είναι η διαφοροποίηση του πλαισίου εφαρμογής μεταξύ των παραδειγμάτων. Το Crossrail και το Nagpur Metro αφορούν μεγάλα έργα υποδομής με υψηλή πολυπλοκότητα σχεδιασμού και κατασκευής, η AKTOR αποτυπώνει την προσπάθεια ψηφιακής μετάβασης σε επίπεδο κατασκευαστικής εταιρείας στον ελληνικό κλάδο, ενώ η Hickory αναδεικνύει τη σημασία της BIM–ERP ενοποίησης σε περιβάλλον βιομηχανοποιημένης κατασκευής. Η σύγκριση αυτή δείχνει ότι όσο ο κατασκευαστικός κλάδος κινείται προς DfMA, προκατασκευή και μεγαλύτερο βαθμό τυποποίησης, τόσο αυξάνεται η ανάγκη για ολοκληρωμένη σύνδεση σχεδιασμού, παραγωγής, κόστους, προμηθειών και διοικητικής παρακολούθησης (Holzer, 2014; Mukkavaara et al., 2018; Galagali et al., 2024).



Σχήμα 4.7 Οφέλη και προκλήσεις της ενοποίησης ERP–BIM

Η αξία της BIM–ERP ενοποίησης πρέπει, ωστόσο, να αξιολογείται σε συνάρτηση με τον βαθμό στον οποίο εφαρμόζεται κάθε φορά. Δεν πρόκειται πάντοτε για πλήρη, αμφίδρομη και αυτοματοποιημένη σύνδεση όλων των δεδομένων, αλλά για ένα φάσμα λύσεων που μπορεί να ξεκινά από την ανταλλαγή ποσοτήτων και κοστολογικών

δεδομένων και να φτάνει έως τη συνεχή διασύνδεση μοντέλου, χρονοδιαγράμματος, προμηθειών, κόστους και διαχείρισης παγίων. Παρά τις διαφοροποιήσεις αυτές, τα οφέλη παραμένουν σημαντικά σε σχέση με ένα περιβάλλον όπου το BIM και το ERP λειτουργούν παράλληλα, χωρίς ανταλλαγή δεδομένων. Η ενοποίηση μπορεί να περιορίσει τις διπλές καταχωρίσεις, τις καθυστερήσεις ενημέρωσης, τις αποκλίσεις μεταξύ τεχνικών και οικονομικών στοιχείων και την εξάρτηση από χειροκίνητες μεταφορές πληροφορίας. Με τον τρόπο αυτό, το BIM και το ERP δεν λειτουργούν ως δύο ανεξάρτητα πληροφοριακά συστήματα, αλλά ως συμπληρωματικά μέρη ενός ευρύτερου πλαισίου διοίκησης.

Παράλληλα, τα παραδείγματα αναδεικνύουν ότι η BIM-ERP ενοποίηση συνοδεύεται από σημαντικές τεχνικές και οργανωτικές προκλήσεις. Τα κύρια εμπόδια, όπως προκύπτουν τόσο από τη βιβλιογραφία (Galagali et al., 2024; Junussova et al., 2022) όσο και από τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν, περιλαμβάνουν:

- την περιορισμένη συμβατότητα μεταξύ διαφορετικών συστημάτων, ιδίως όταν απουσιάζουν κοινά πρότυπα ανταλλαγής και κωδικοποίησης δεδομένων
- το υψηλό κόστος εγκατάστασης, παραμετροποίησης και υλοποίησης της ενοποίησης
- την ανάγκη καθορισμού, τυποποίησης και αντιστοίχισης υφιστάμενων δεδομένων πριν από την ενοποίηση
- την οργανωτική αντίσταση και την περιορισμένη κουλτούρα αξιοποίησης δεδομένων και
- τη δυσκολία διαχείρισης αλλαγών σε έργα με πολλούς εμπλεκόμενους.

Κρίσιμη προϋπόθεση επιτυχίας είναι η τυποποίηση των δεδομένων πριν από την ενοποίηση. Το BIM μοντέλο πρέπει να περιλαμβάνει παραμέτρους, κωδικούς και δομές πληροφορίας που να μπορούν να αντιστοιχιστούν με τις αντίστοιχες δομές του ERP, όπως κωδικούς κόστους, κατηγορίες εργασιών, προμήθειες, χρονικό προγραμματισμό και στοιχεία παγίων. Η διαδικασία αυτή απαιτεί συνεργασία μεταξύ BIM Managers, ERP Consultants, cost controllers και στελεχών διοίκησης έργου ήδη από τα πρώτα στάδια σχεδιασμού της ενοποίησης. Στην ελληνική αγορά, η συνεργασία αυτή φαίνεται να μην αποτελεί ακόμη συστηματική πρακτική, καθώς οι τεχνικοί, κοστολογικοί και πληροφοριακοί ρόλοι συχνά λειτουργούν σε διακριτά οργανωτικά και επαγγελματικά πλαίσια.

Συνεπώς, η βασική θεωρητική διαπίστωση που προκύπτει είναι ότι η αξία της BIM–ERP ενοποίησης δεν βρίσκεται μόνο στην αυτοματοποίηση της ανταλλαγής δεδομένων, αλλά κυρίως στη δυνατότητα διαμόρφωσης μιας κοινής, επικαιροποιημένης και αξιόπιστης βάσης πληροφόρησης για το έργο. Η βάση αυτή μπορεί να υποστηρίξει πιο τεκμηριωμένη λήψη αποφάσεων, καλύτερο έλεγχο κόστους, αποτελεσματικότερο χρονικό προγραμματισμό, πιο συντονισμένες προμήθειες και μεγαλύτερη διαφάνεια στη διοίκηση τεχνικών έργων. Με αυτή την έννοια, ανεξάρτητα από το βαθμό ενοποίησης, η σύνδεση BIM–ERP μπορεί να προσφέρει ουσιαστική προστιθέμενη αξία σε σχέση με την πλήρη απουσία σύνδεσης.

4.5 Νομικό και Συμβατικό Πλαίσιο της BIM–ERP Ενοποίησης

Πέρα από τις τεχνικές και οργανωτικές προϋποθέσεις που αναδείχθηκαν στην προηγούμενη ενότητα, η BIM–ERP ενοποίηση δημιουργεί και ζητήματα νομικής και συμβατικής φύσης. Όταν τα δεδομένα ενός BIM μοντέλου συνδέονται με ERP διαδικασίες κόστους, προμηθειών, χρονικού προγραμματισμού ή διαχείρισης παγίων, η πληροφορία παύει να έχει μόνο τεχνικό χαρακτήρα και αποκτά άμεσες οικονομικές και διοικητικές συνέπειες. Για τον λόγο αυτό, η αξιοποίηση της πληροφορίας πρέπει να συνοδεύεται από σαφείς κανόνες σχετικά με την ευθύνη, την κυριότητα, την πρόσβαση και την αξιοπιστία των ψηφιακών δεδομένων.

Ένα πρώτο ζήτημα αφορά την ευθύνη για τα δεδομένα που μεταφέρονται ή αντιστοιχίζονται μεταξύ BIM και ERP. Εάν, για παράδειγμα, μια λανθασμένη ποσότητα από το BIM μοντέλο επηρεάσει τον προϋπολογισμό, την παραγγελία υλικών ή την πιστοποίηση εργασιών στο ERP, πρέπει να είναι σαφές ποιος φέρει την ευθύνη. Μπορεί να είναι ο δημιουργός του μοντέλου, ο BIM Manager, ο υπεύθυνος κοστολόγησης, ο διαχειριστής του ERP ή ο φορέας που ενέκρινε τη χρήση των δεδομένων. Η ασάφεια αυτή μπορεί να δημιουργήσει συμβατικές διαφορές, ιδίως σε έργα με πολλούς μελετητές, εργολάβους, υπεργολάβους και συμβούλους.

Δεύτερο κρίσιμο ζήτημα είναι η κυριότητα και το δικαίωμα χρήσης του ψηφιακού μοντέλου και των παραγόμενων δεδομένων. Το BIM μοντέλο μπορεί να έχει δημιουργηθεί από τον μελετητή ή τον ανάδοχο, αλλά να χρησιμοποιείται από τον κύριο του έργου για κοστολόγηση, λειτουργία, συντήρηση ή μελλοντικές παρεμβάσεις. Επομένως, η σύμβαση πρέπει να καθορίζει ποιος έχει δικαίωμα πρόσβασης,

επεξεργασίας, αναπαραγωγής και επαναχρησιμοποίησης του μοντέλου, καθώς και ποια έκδοση των δεδομένων θεωρείται δεσμευτική (ISO 19650-2:2018).

Ιδιαίτερη σημασία έχει και η προστασία οικονομικά ή εμπορικά ευαίσθητων δεδομένων. Η σύνδεση BIM με ERP μπορεί να φέρει σε κοινό πληροφοριακό περιβάλλον δεδομένα κόστους, προμηθευτών, συμβάσεων, τιμών υλικών και πληρωμών. Πέρα από ζητήματα τεχνικής ασφάλειας, κρυπτογράφησης και διαχείρισης πρόσβασης που αφορούν τις cloud-based υποδομές, σε συμβατικό επίπεδο, απαιτούνται σαφείς ρυθμίσεις για τη διαβάθμιση πληροφορίας και την κατανομή ευθύνης για την ασφάλεια δεδομένων μεταξύ των συμβαλλόμενων μερών, σύμφωνα με το πλαίσιο του ISO 19650-5:2020.

Σε διεθνές επίπεδο, η σειρά προτύπων ISO 19650 λειτουργεί ως βασικό πλαίσιο αναφοράς για τη διαχείριση πληροφορίας με χρήση BIM. Το ISO 19650-2:2018 αφορά τη διαχείριση πληροφορίας κατά τη φάση παράδοσης έργων και παγίων, ενώ οι απαιτήσεις πληροφορίας του εργοδότη, τα BIM Execution Plans και τα πρωτόκολλα ανταλλαγής δεδομένων μπορούν να ενσωματωθούν στα συμβατικά τεύχη. Τα πρότυπα αυτά δεν αποτελούν από μόνα τους νόμο, αλλά μπορούν να αποκτήσουν συμβατική ισχύ όταν ενσωματώνονται σε διακηρύξεις, τεχνικές προδιαγραφές και συμβάσεις.

Στην ελληνική πραγματικότητα, το βασικό πλαίσιο των δημόσιων συμβάσεων καθορίζεται από τον Ν. 4412/2016. Το πλαίσιο αυτό δεν καθιερώνει ακόμη οριζόντια και γενικευμένη υποχρέωση χρήσης BIM για όλα τα δημόσια έργα ούτε περιλαμβάνει εξειδικευμένες ρυθμίσεις για BIM-ERP ενοποίηση. Ωστόσο, σε μεγάλα ή σύνθετα έργα μπορούν να ενσωματώνονται απαιτήσεις ψηφιακής μοντελοποίησης και διαχείρισης πληροφορίας μέσω των τεχνικών προδιαγραφών και των συμβατικών τευχών. Η εξέλιξη αυτή δείχνει ότι η θεσμική ενσωμάτωση του BIM στην Ελλάδα βρίσκεται ακόμη σε μεταβατικό στάδιο (Ελληνική Δημοκρατία, 2016).

Συνεπώς, η BIM-ERP ενοποίηση απαιτεί όχι μόνο τεχνική συμβατότητα, αλλά και σαφείς κανόνες για τη δημιουργία, τον έλεγχο, την έγκριση, την πρόσβαση και τη χρήση των ψηφιακών δεδομένων. Χωρίς ρητούς κανόνες για την ευθύνη, την κυριότητα, την πρόσβαση, την ασφάλεια και τη δεσμευτικότητα των δεδομένων, η τεχνική σύνδεση BIM και ERP μπορεί να δημιουργήσει νέες ασάφειες αντί να ενισχύσει τη διαφάνεια και τον έλεγχο του έργου (Galagali et al., 2024).

Στο ίδιο πλαίσιο, αξίζει να αναφερθεί και η αναδυόμενη αξιοποίηση τεχνολογιών blockchain για την ενίσχυση της ιχνηλασιμότητας και της αξιοπιστίας των δεδομένων. Σε περιβάλλοντα BIM-ERP, το blockchain θα μπορούσε να υποστηρίξει την καταγραφή αλλαγών με σήμανση χρόνου (time stamp), τη σαφέστερη τεκμηρίωση ευθυνών, τη διαχείριση δικαιωμάτων πρόσβασης και, σε πιο προχωρημένα σενάρια, την αυτοματοποίηση επιμέρους συμβατικών διαδικασιών μέσω smart contracts. Ωστόσο, η εφαρμογή του στον κατασκευαστικό κλάδο παραμένει περισσότερο αναδυόμενη κατεύθυνση παρά καθιερωμένη πρακτική. Για τον λόγο αυτό, δεν πρέπει να αντιμετωπίζεται ως άμεση λύση στα νομικά και συμβατικά ζητήματα της BIM-ERP ενοποίησης, αλλά ως πιθανό εργαλείο υποστήριξης της διαφάνειας και της λογοδοσίας σε μελλοντικά ψηφιακά περιβάλλοντα έργων (Lau, 2026).

5. BIM, Ψηφιακά Δίδυμα, Τεχνητή Νοημοσύνη και Υποδομές Δεδομένων

Εάν η ενοποίηση BIM–ERP αποτελεί μία από τις άμεσες πρακτικές κατευθύνσεις του ψηφιακού μετασχηματισμού στη διοίκηση τεχνικών έργων, η σύνδεση του BIM με Ψηφιακά Δίδυμα, Τεχνητή Νοημοσύνη, IoT και cloud υποδομές διαμορφώνει ένα ευρύτερο τεχνολογικό πλαίσιο για την επόμενη φάση της ψηφιακής εξέλιξης του κλάδου. Οι τεχνολογίες αυτές δεν υποκαθιστούν το BIM, αλλά επεκτείνουν τη λειτουργία του. Το BIM παρέχει τη δομημένη ψηφιακή αναπαράσταση του έργου, ενώ τα Ψηφιακά Δίδυμα, η Τεχνητή Νοημοσύνη και οι τεχνολογίες δεδομένων επιτρέπουν τη δυναμική ενημέρωση, ανάλυση και αξιοποίηση της πληροφορίας σε όλο τον κύκλο ζωής του έργου (Sacks et al., 2025).

Σε αντίθεση με τις πιο άμεσες εφαρμογές BIM–ERP, οι οποίες εστιάζουν κυρίως στη σύνδεση τεχνικών, χρονικών και οικονομικών δεδομένων, τα Ψηφιακά Δίδυμα και η Τεχνητή Νοημοσύνη μετατοπίζουν το ενδιαφέρον από την απλή καταγραφή και παρακολούθηση προς την πρόβλεψη, την ανάλυση αποκλίσεων και την υποστήριξη πιο προληπτικών μορφών διοίκησης έργων. Η αξία τους βρίσκεται κυρίως στη δυνατότητα αξιοποίησης δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, ιστορικών δεδομένων έργων και αλγοριθμικών μοντέλων για τη βελτίωση της λήψης αποφάσεων.

5.1 Ψηφιακά Δίδυμα: Ορισμός, Αρχιτεκτονική και Σχέση με BIM

Η έννοια του Ψηφιακού Διδύμου (Digital Twin) συνδέεται ιστορικά με τον Michael Grieves και τις προσεγγίσεις Product Lifecycle Management στις αρχές της δεκαετίας του 2000. Η βασική ιδέα αφορά τη δημιουργία ψηφιακής αναπαράστασης ενός πραγματικού αντικειμένου, συστήματος ή διαδικασίας, η οποία συνδέεται με αυτό μέσω ροών δεδομένων (Baghalzadeh Shishehgarkhaneh et al., 2022). Στο περιβάλλον των κατασκευών, η έννοια αυτή αποκτά ιδιαίτερη σημασία, καθώς επιτρέπει τη σύνδεση του ψηφιακού μοντέλου με δεδομένα από το εργοτάξιο, την αλυσίδα εφοδιασμού, τη λειτουργία και τη συντήρηση.

Οι Sacks et al. (2020) εισάγουν την έννοια του Digital Twin Construction (DTC) ως ένα νέο δυναμικό μοντέλο διαχείρισης της παραγωγής στην κατασκευή, το οποίο αξιοποιεί ροές δεδομένων από τεχνολογίες παρακολούθησης εργοταξίου και

λειτουργίες Τεχνητής Νοημοσύνης, με στόχο την ακριβέστερη πληροφόρηση για την κατάσταση του έργου και την υποστήριξη πιο προληπτικού ελέγχου. Η προσέγγιση αυτή βασίζεται σε BIM, lean construction, αυτοματοποιημένη συλλογή δεδομένων και data-centric διαδικασίες, και δεν πρέπει να θεωρείται απλή επέκταση ενός BIM μοντέλου με αισθητήρες.

Η σχέση BIM και Ψηφιακού Διδύμου είναι σχέση επέκτασης και κατά συνέπεια εξέλιξης, όχι υποκατάστασης. Το BIM παρέχει τη δομημένη ψηφιακή βάση του έργου, δηλαδή το μοντέλο που περιλαμβάνει γεωμετρική και πληροφοριακή περιγραφή των στοιχείων. Το Ψηφιακό Δίδυμο αξιοποιεί αυτή τη βάση και τη συνδέει με δεδομένα που προέρχονται από αισθητήρες, συστήματα παρακολούθησης, IoT υποδομές, cloud πλατφόρμες και αλγορίθμους ανάλυσης. Με τον τρόπο αυτό, το μοντέλο μπορεί να προσεγγίζει περισσότερο την πραγματική κατάσταση του φυσικού έργου και να υποστηρίζει διαδικασίες παρακολούθησης, ανάλυσης αποκλίσεων, λειτουργίας και συντήρησης (Baghalzadeh et al., 2022; Sacks et al., 2020).

Για τη διοίκηση τεχνικών έργων, το Ψηφιακό Δίδυμο μετατοπίζει τη λογική παρακολούθησης από την περιοδική και αναδρομική καταγραφή προς μια πιο συνεχή αξιοποίηση δεδομένων. Αντί η διοίκηση να βασίζεται αποκλειστικά σε περιοδικές αναφορές εργοταξίου, μπορεί να αξιοποιεί πιο άμεσα δεδομένα για την πρόοδο, την κατάσταση των στοιχείων, τις αποκλίσεις από τον σχεδιασμό και τις ανάγκες συντήρησης. Η αξία του δεν βρίσκεται στην πλήρη αυτοματοποίηση της διοίκησης, αλλά στην ενίσχυση της ποιότητας, της ταχύτητας και της αξιοπιστίας της πληροφόρησης που υποστηρίζει τη λήψη αποφάσεων.

Η τρέχουσα έρευνα κινείται από τη στατική ή περιοδική παρακολούθηση προς πιο προληπτική και δυναμική αξιοποίηση των δεδομένων του Ψηφιακού Διδύμου μέσω Τεχνητής Νοημοσύνης. Η κατεύθυνση αυτή δεν αντιπροσωπεύει ακόμη πλήρως ώριμη και καθολικά διαδεδομένη βιομηχανική πρακτική, αλλά αποτελεί ενεργό ερευνητικό πεδίο με σημαντικές δυνατότητες για τη διοίκηση τεχνικών έργων. Βιβλιομετρική ανάλυση 316 δημοσιεύσεων της περιόδου 2015–2025 εντοπίζει πέντε αναδυόμενες ερευνητικές περιοχές στη σύνδεση TN με Ψηφιακά Δίδυμα στον κλάδο (Guo, 2026). Ιδίως σε έργα υψηλής πολυπλοκότητας, ο συνδυασμός BIM, δεδομένων λειτουργίας, αισθητήρων και εργαλείων TN μπορεί να υποστηρίξει την πρόβλεψη αποκλίσεων, την προληπτική συντήρηση και τη λήψη αποφάσεων βασισμένη σε δεδομένα. Ωστόσο, η

αξιοποίησή του προϋποθέτει αξιόπιστα δεδομένα, σαφείς ρόλους ευθύνης, διαλειτουργικότητα συστημάτων και ανθρώπινη εποπτεία.

5.2 Τεχνητή Νοημοσύνη στο BIM: Ρόλος, Δυνατότητες και Αβεβαιότητες

Η Τεχνητή Νοημοσύνη (TN) αποτελεί έναν από τους ταχύτερα εξελισσόμενους τεχνολογικούς τομείς και επηρεάζει ήδη τον τρόπο παραγωγής, ανάλυσης και αξιοποίησης δεδομένων στα τεχνικά έργα. Στο πλαίσιο του BIM, η TN δεν πρέπει να αντιμετωπίζεται απλώς ως ένα ακόμη λογισμικό εργαλείο, αλλά ως τεχνολογική δυνατότητα που μπορεί να λειτουργήσει οριζόντια πάνω στα δεδομένα του έργου. Η σημασία της έγκειται στο ότι μπορεί να αντλεί, να συσχετίζει και να αναλύει δεδομένα από διαφορετικές διαστάσεις του BIM, όπως γεωμετρία, χρόνο, κόστος, συντήρηση, βιωσιμότητα και ασφάλεια, καθώς και από συμπληρωματικά πληροφοριακά συστήματα, όπως ERP, αισθητήρες IoT και πλατφόρμες διαχείρισης έργων (Valdebenito & Forcael, 2025).

Σε αντίθεση με το BIM, το οποίο οργανώνει τη δομημένη πληροφορία του έργου, και το ERP, το οποίο διαχειρίζεται οικονομικά, διοικητικά και επιχειρησιακά δεδομένα, η TN μπορεί να λειτουργήσει ως επίπεδο ανάλυσης και υποστήριξης αποφάσεων. Με άλλα λόγια, η TN δεν αντικαθιστά κατ' ανάγκη το BIM ή το ERP. Μπορεί όμως να αξιοποιεί τα δεδομένα τους για τον εντοπισμό μοτίβων, την αναγνώριση αποκλίσεων, την εκτίμηση κινδύνων και την υποστήριξη προληπτικών μορφών διοίκησης έργων. Η αξία της βρίσκεται κυρίως στη δυνατότητα μετατροπής μεγάλου όγκου δεδομένων σε πιο αξιοποιήσιμη γνώση για τον project manager και τη διοίκηση του έργου.

Στη βιβλιογραφία, οι εφαρμογές της TN στο BIM συνδέονται με διάφορες λειτουργίες. Στον σχεδιασμό, η TN μπορεί να υποστηρίξει τη γενετική σχεδίαση και τη σύγκριση εναλλακτικών λύσεων με βάση κριτήρια όπως κόστος, χρόνος, ενεργειακή απόδοση, κατασκευασιμότητα και λειτουργικότητα. Στον τεχνικό συντονισμό, μπορεί να ενισχύσει την ανίχνευση συγκρούσεων, όχι μόνο με γεωμετρικά κριτήρια, αλλά και με βάση την πιθανή σοβαρότητα ή τις επιπτώσεις μιας σύγκρουσης στην κατασκευή και στη μελλοντική συντήρηση. Στην παρακολούθηση εργοταξίου, τεχνικές computer vision μπορούν να αξιοποιήσουν εικόνες, βίντεο ή δεδομένα από drones για να συγκρίνουν την πραγματική πρόοδο με το BIM μοντέλο ή το χρονοδιάγραμμα. Στη

διοίκηση έργων, μοντέλα machine learning μπορούν να υποστηρίξουν προβλέψεις σχετικά με καθυστερήσεις, υπερβάσεις κόστους ή αυξημένους κινδύνους (Valdebenito & Forcael, 2025; Kutá & Faltejsek, 2025).

Ιδιαίτερη σημασία έχει η σύνδεση της TN με το BIM–ERP οικοσύστημα. Όταν το BIM παρέχει τεχνική και γεωμετρική πληροφορία και το ERP παρέχει δεδομένα κόστους, προμηθειών, συμβάσεων, αποθεμάτων και πληρωμών, η TN μπορεί να λειτουργήσει ως μηχανισμός συσχέτισης αυτών των δεδομένων. Για παράδειγμα, μπορεί να υποστηρίξει την αναγνώριση εργασιών με αυξημένη πιθανότητα υπέρβασης κόστους, τη σύγκριση πραγματικής και προγραμματισμένης προόδου, την πρόβλεψη αναγκών προμήθειας ή την έγκαιρη ανίχνευση αποκλίσεων μεταξύ τεχνικής εξέλιξης και οικονομικής αποτύπωσης. Με τον τρόπο αυτό, η TN μπορεί να ενισχύσει την αξία της ενοποίησης BIM–ERP, μετατρέποντας τη συνδεδεμένη πληροφορία σε αναλυτική και προβλεπτική δυνατότητα (Galagali et al., 2024).

Ωστόσο, κάθε πρόβλεψη για τη μελλοντική εξέλιξη της TN πρέπει να διατυπώνεται με ιδιαίτερη επιφύλαξη. Η ταχύτητα των τεχνολογικών εξελίξεων, οι μεγάλες επενδύσεις σε έρευνα και ανάπτυξη και η διαρκής εμφάνιση νέων μοντέλων καθιστούν επισφαλής οποιαδήποτε απόπειρα μελλοντικής πρόβλεψης. Παράλληλα, η TN αποτελεί ήδη αντικείμενο θεσμικής, οικονομικής και πολιτικής συζήτησης, καθώς εγείρει ζητήματα σχετικά με την απασχόληση, την παραγωγικότητα, την κυριότητα δεδομένων, την ασφάλεια, τη φορολόγηση και την κατανομή της οικονομικής αξίας που παράγει. Επομένως, στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, η TN δεν αντιμετωπίζεται ως τεχνολογία με πλήρως προβλέψιμη πορεία, αλλά ως δυναμικός και αβέβαιος παράγοντας του ψηφιακού μετασχηματισμού.

Η πιθανότητα μελλοντικής υποκατάστασης επιμέρους λειτουργιών BIM ή ERP από συστήματα TN δεν μπορεί να αποκλειστεί, αλλά προϋποθέτει την αντιμετώπιση σημαντικών περιορισμών. Αρχικά τίθεται ζήτημα ασφάλειας και προστασίας δεδομένων. Δεύτερον, τίθεται ζήτημα λογοδοσίας και ευθύνης. Τρίτον, τίθεται ζήτημα δυνατότητας εξήγησης των αποτελεσμάτων. Τέταρτον, η αποτελεσματικότητα της TN εξαρτάται από την ποιότητα, πληρότητα και αντιπροσωπευτικότητα των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπαίδευσή της (Valdebenito & Forcael, 2025; Kutá & Faltejsek, 2025).

Μία από τις νεότερες κατευθύνσεις στη σύνδεση TN με BIM είναι η χρήση Μεγάλων Γλωσσικών Μοντέλων (Large Language Models — LLMs) για αλληλεπίδραση σε καθημερινή φυσική γλώσσα με BIM και IFC δεδομένα. Η βασική ιδέα είναι ότι ο χρήστης θα μπορεί να υποβάλλει ερωτήματα σε φυσική γλώσσα, όπως «ποια στοιχεία δεν πληρούν τις προδιαγραφές;» ή «ποιες φάσεις εμφανίζουν αυξημένο κίνδυνο υπέρβασης κόστους;», και το σύστημα να ανακτά ή να οργανώνει τις σχετικές πληροφορίες χωρίς να απαιτείται κάθε φορά χειροκίνητη πλοήγηση σε εξειδικευμένα εργαλεία BIM. Παράλληλα, η Γενετική TN διερευνάται για την υποστήριξη επαναλαμβανόμενων εργασιών, όπως η παραγωγή αναφορών, ο έλεγχος πληρότητας δεδομένων, η σύνταξη πληροφοριακών απαιτήσεων και η αξιολόγηση σχεδιαστικών εναλλακτικών. Ωστόσο, τα LLMs δεν μπορούν να θεωρηθούν αυτόνομο υποκατάστατο της επαγγελματικής κρίσης. Η χρήση τους απαιτεί έλεγχο, επαλήθευση και ευθύνη από εξειδικευμένους επαγγελματίες, ιδίως όταν τα αποτελέσματά τους συνδέονται με τεχνικές, οικονομικές ή συμβατικές αποφάσεις (Kanazawa et al., 2026).

Συνεπώς, η TN στο BIM πρέπει να αντιμετωπίζεται ως τεχνολογία ενίσχυσης και όχι άμεσης αντικατάστασης των υφιστάμενων πληροφοριακών συστημάτων. Στο σημερινό στάδιο, η μεγαλύτερη αξία της βρίσκεται στην ικανότητα να αξιοποιεί δεδομένα από BIM, ERP, IoT και ψηφιακά δίδυμα, ώστε να υποστηρίζει ανάλυση, πρόβλεψη και τεκμηριωμένη λήψη αποφάσεων. Η πλήρης αντικατάσταση των συστημάτων BIM ή ERP από TN δεν αποτελεί ώριμη ή θεσμικά ασφαλή προοπτική, εφόσον δεν έχουν επιλυθεί ζητήματα ασφάλειας δεδομένων, λογοδοσίας, διαφάνειας, αξιοπιστίας και επαγγελματικής ευθύνης. Με αυτή την έννοια, η TN αποτελεί σημαντική αλλά αβέβαιη προέκταση του BIM–ERP οικοσυστήματος, της οποίας η εξέλιξη θα εξαρτηθεί τόσο από την τεχνολογική πρόοδο όσο και από το θεσμικό, οργανωτικό και συμβατικό πλαίσιο μέσα στο οποίο θα εφαρμοστεί.

5.3 IoT, Cloud και Υποδομές Διασύνδεσης

Τόσο τα Ψηφιακά Δίδυμα όσο και η Τεχνητή Νοημοσύνη εξαρτώνται από τεχνολογικές υποδομές που επιτρέπουν τη συλλογή, αποθήκευση, επεξεργασία και ανταλλαγή δεδομένων. Στο πλαίσιο αυτό, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things – IoT) και το cloud computing αποτελούν βασικά στοιχεία της ψηφιακής υποδομής των σύγχρονων τεχνικών έργων. Το IoT επιτρέπει τη συλλογή δεδομένων από το φυσικό έργο, ενώ το cloud υποστηρίζει την αποθήκευση, την κοινή πρόσβαση,

τη συνεργασία και την επεξεργασία των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο ή σχεδόν σε πραγματικό χρόνο (Baghalzadeh et al., 2022).

Αισθητήρες IoT μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε δομικά στοιχεία, εξοπλισμό ή κρίσιμες περιοχές ενός έργου, συλλέγοντας δεδομένα όπως θερμοκρασία, υγρασία, δονήσεις, παραμορφώσεις ή λειτουργική κατάσταση μηχανολογικού εξοπλισμού. Η σύνδεση αυτών των δεδομένων με το BIM μοντέλο μπορεί να υποστηρίξει πιο δυναμική παρακολούθηση της κατάστασης του έργου και να δημιουργήσει τη βάση για την ανάπτυξη Ψηφιακού Διδύμου (Chen et al., 2023).

Το cloud computing ενισχύει αυτή τη δυνατότητα, καθώς επιτρέπει την κοινή πρόσβαση σε μοντέλα, έγγραφα, χρονοδιαγράμματα, δεδομένα κόστους και πληροφορίες εργοταξίου από διαφορετικούς φορείς και τοποθεσίες. Πλατφόρμες όπως Autodesk Construction Cloud, Oracle Cloud ή άλλες cloud-based λύσεις διαχείρισης έργων επιτρέπουν σε μελετητές, εργολάβους, συμβούλους, προμηθευτές και στελέχη διοίκησης να εργάζονται σε κοινό πληροφοριακό περιβάλλον, με ελεγχόμενα δικαιώματα πρόσβασης. Η δυνατότητα αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική σε έργα με γεωγραφικά κατανεμημένες ομάδες, πολλούς αναδόχους και ανάγκη συνεχούς ενημέρωσης της πληροφορίας.

Ωστόσο, η μετάβαση σε cloud-based περιβάλλοντα δεν είναι χωρίς προκλήσεις. Η αποθήκευση και επεξεργασία δεδομένων εκτός των εσωτερικών υποδομών του οργανισμού δημιουργεί ζητήματα ασφάλειας, ιδιωτικότητας, ελέγχου πρόσβασης, συμμόρφωσης και επιχειρησιακής συνέχειας. Πέρα από το συμβατικό και νομικό πλαίσιο που διέπει την κυριότητα και τη διαβάθμιση των δεδομένων αυτών, σε τεχνικό επίπεδο, η υιοθέτηση cloud υπηρεσιών πρέπει να συνοδεύεται από αξιολόγηση κινδύνων, σαφείς πολιτικές πρόσβασης, κρυπτογράφηση, διαχείριση ταυτοτήτων και περιοδικούς ελέγχους ασφάλειας (Mell & Grance, 2011; ENISA, 2009).

Επιπλέον, οι κίνδυνοι δεν προέρχονται μόνο από την ίδια την τεχνολογία του cloud, αλλά και από τον τρόπο με τον οποίο αυτή παραμετροποιείται και χρησιμοποιείται. Εσφαλμένες ρυθμίσεις πρόσβασης, ανεπαρκής διαχείριση δικαιωμάτων, ασαφής κατανομή ευθυνών μεταξύ παρόχου cloud και χρήστη, καθώς και έλλειψη διαδικασιών ελέγχου μπορούν να οδηγήσουν σε διαρροή ή μη εξουσιοδοτημένη χρήση ευαίσθητων δεδομένων. Για τον λόγο αυτό, ορισμένοι οργανισμοί μπορεί να εμφανίζονται

διστακτικοί στην πλήρη μετάβαση σε cloud περιβάλλοντα, ιδίως όταν διαχειρίζονται κρίσιμες υποδομές, δημόσια έργα ή οικονομικά ευαίσθητη πληροφορία (ENISA, 2009).

Η ασφάλεια των δεδομένων συνδέεται επίσης με το ζήτημα της εμπιστοσύνης. Η επιτυχής αξιοποίηση IoT, cloud, BIM και ERP προϋποθέτει ότι οι συμμετέχοντες στο έργο εμπιστεύονται την ακρίβεια, την ακεραιότητα και την προστασία της κοινής πληροφορίας. Εάν δεν υπάρχουν σαφείς κανόνες για το ποιος έχει πρόσβαση σε ποια δεδομένα, ποιος μπορεί να τα τροποποιήσει, πού αποθηκεύονται, πώς προστατεύονται και ποιος ευθύνεται σε περίπτωση παραβίασης, τότε η τεχνολογική δυνατότητα συνεργασίας μπορεί να μετατραπεί σε πηγή οργανωτικού και συμβατικού κινδύνου. Η λογική αυτή συνδέεται άμεσα με τη διαχείριση πληροφορίας με γνώμονα την ασφάλεια (security-minded approach), όπως προβλέπεται στο ISO 19650-5:2020.

Συνεπώς, το IoT και το cloud αποτελούν κρίσιμες υποδομές για την εξέλιξη του BIM προς Ψηφιακά Δίδυμα και για την αξιοποίηση της Τεχνητής Νοημοσύνης στη διοίκηση τεχνικών έργων. Παράλληλα όμως, η αξία τους εξαρτάται από το αν συνοδεύονται από αξιόπιστη διακυβέρνηση δεδομένων, κατάλληλες πολιτικές ασφάλειας και σαφή κατανομή ευθυνών. Η τεχνολογική δυνατότητα συλλογής και κοινής χρήσης δεδομένων δεν αρκεί από μόνη της· απαιτείται και ένα πλαίσιο εμπιστοσύνης, ελέγχου και ασφάλειας, ώστε τα δεδομένα να μπορούν να αξιοποιηθούν με τρόπο αξιόπιστο και αποδεκτό από όλους τους εμπλεκόμενους φορείς (ISO 19650-5:2020; Sacks et al., 2025).

6. Ο Ανθρώπινος Παράγοντας στον Ψηφιακό Μετασχηματισμό

Η ανάλυση του BIM, των ERP συστημάτων, των Ψηφιακών Διδύμων και της Τεχνητής Νοημοσύνης δεν μπορεί να περιοριστεί στην τεχνολογική τους διάσταση. Ο ψηφιακός μετασχηματισμός στον κατασκευαστικό κλάδο δεν εξαρτάται μόνο από τη διαθεσιμότητα λογισμικού, υποδομών δεδομένων ή προηγμένων ψηφιακών εργαλείων, αλλά και από τον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι, οι ομάδες και οι οργανισμοί προσαρμόζονται σε νέες διαδικασίες εργασίας. Η επιτυχία της ψηφιακής μετάβασης προϋποθέτει νέες δεξιότητες, μεταβολή επαγγελματικών ρόλων, διαφορετική κουλτούρα συνεργασίας και σαφή ανακατανομή ευθυνών.

Ο ανθρώπινος παράγοντας δεν αποτελεί δευτερεύον ζήτημα απέναντι στην τεχνολογία. Αντίθετα, βρίσκεται στο κέντρο της ψηφιακής μετάβασης, διότι τα ψηφιακά συστήματα μεταβάλλουν τον τρόπο με τον οποίο παράγεται, ελέγχεται και χρησιμοποιείται η πληροφορία. Η μετάβαση από μεμονωμένα εργαλεία σχεδιασμού και παρακολούθησης σε ενοποιημένα περιβάλλοντα BIM–ERP δεν αλλάζει μόνο τα τεχνικά μέσα εργασίας, αλλά και το περιεχόμενο των επαγγελματικών ρόλων, την απαιτούμενη εμπειρία και τη θέση του ανθρώπου στη διαδικασία λήψης αποφάσεων (Osorio-Gómez et al., 2024).

6.1 Μετασχηματισμός Επαγγελματικών Ρόλων και Δεξιοτήτων

Η εισαγωγή του BIM έχει ήδη μεταβάλει σε σημαντικό βαθμό τα επαγγελματικά προσόντα που ζητούνται στον κατασκευαστικό κλάδο. Η μετάβαση από το CAD στο BIM δεν αφορά απλώς την αντικατάσταση ενός εργαλείου σχεδίασης από ένα πιο σύνθετο λογισμικό. Αντίθετα, συνδέεται με τη μετάβαση από την παραγωγή σχεδίων στη διαχείριση δομημένης πληροφορίας για το έργο. Για τον λόγο αυτό, οι νέοι ρόλοι δεν περιορίζονται στη μοντελοποίηση, αλλά εκτείνονται στον συντονισμό, στη διαχείριση δεδομένων, στη διαλειτουργικότητα, στη διαχείριση αλλαγών και στη σύνδεση τεχνικής πληροφορίας με οικονομικά και διοικητικά συστήματα (Borkowski, 2023).

Στη σχετική βιβλιογραφία και στην πρακτική της αγοράς εμφανίζονται πλέον ρόλοι όπως BIM Modeler, BIM Coordinator, BIM Manager και BIM Data Analyst.

Παράλληλα, η ενοποίηση BIM με ERP συστήματα δημιουργεί ανάγκη για υβριδικές δεξιότητες, δηλαδή για επαγγελματίες που κατανοούν τόσο τη λογική του τεχνικού μοντέλου όσο και τις δομές κόστους, προμηθειών, χρονικού προγραμματισμού και διοικητικής παρακολούθησης. Η εξέλιξη αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική, διότι το κενό μεταξύ τεχνικής μοντελοποίησης και επιχειρησιακής πληροφορίας αποτελεί ένα από τα βασικά εμπόδια της BIM–ERP ενοποίησης (Borkowski, 2023; Osorio-Gómez et al., 2024).

Για τους ήδη εργαζόμενους επαγγελματίες, η μεταβολή αυτή είναι ουσιαστική. Ένας μελετητής, μηχανικός ή στέλεχος έργου που εκπαιδεύτηκε σε παραδοσιακά εργαλεία σχεδίασης και παρακολούθησης καλείται πλέον να λειτουργήσει σε περιβάλλοντα CDE, BIM Execution Plans, IFC, ISO 19650, cloud συνεργασίας και, σε ορισμένες περιπτώσεις, σύνδεσης με ERP ή άλλα συστήματα διοίκησης έργου. Η αλλαγή αυτή δεν αποτελεί απλή τεχνολογική μεταβολή, αλλά επαγγελματικό μετασχηματισμό. Απαιτεί upskilling και reskilling, δηλαδή συστηματική αναβάθμιση ή επανακατεύθυνση δεξιοτήτων, η οποία δεν μπορεί να θεωρηθεί αυτονόητη ή αυτόματα διαθέσιμη μέσα από την καθημερινή εμπειρία της αγοράς.



Σχήμα 6.1 Μετασχηματισμός επαγγελματικών ρόλων και δεξιοτήτων σε περιβάλλον BIM–ERP.

Ιδιαίτερη σημασία έχει ότι οι νέες δεξιότητες δεν είναι μόνο τεχνικές. Η επιτυχής αξιοποίηση BIM και ERP προϋποθέτει ικανότητα συνεργασίας, κατανόησης ροών εργασίας, διαχείρισης πληροφορίας, τήρησης προτύπων, κατανόησης κόστους και ικανότητας επικοινωνίας μεταξύ διαφορετικών ειδικοτήτων. Συνεπώς, ο σύγχρονος επαγγελματίας του κατασκευαστικού κλάδου δεν καλείται μόνο να «χειρίζεται» ένα λογισμικό, αλλά να κατανοεί τον τρόπο με τον οποίο η πληροφορία παράγεται, μεταφέρεται, ελέγχεται και αξιοποιείται στη διοίκηση του έργου (Galagali et al., 2024).

6.2 Το Χάσμα μεταξύ Εκπαίδευσης και Αναγκών της Αγοράς Εργασίας στον Κατασκευαστικό Κλάδο

Ένα από τα βασικά προβλήματα που αναδεικνύεται στη διεθνή βιβλιογραφία είναι το χάσμα μεταξύ των δεξιοτήτων που παρέχουν τα εκπαιδευτικά προγράμματα και των δεξιοτήτων που ζητά ο κατασκευαστικός κλάδος. Πολλά προγράμματα εκπαίδευσης εξακολουθούν να προσεγγίζουν το BIM κυρίως ως λογισμικό μοντελοποίησης ή ως εργαλείο τρισδιάστατης αναπαράστασης. Αντίθετα, η αγορά απαιτεί όλο και περισσότερο ικανότητα διαχείρισης πληροφορίας, συνεργασίας σε κοινά ψηφιακά περιβάλλοντα, κατανόησης προτύπων ανταλλαγής δεδομένων και σύνδεσης του τεχνικού μοντέλου με διαδικασίες κόστους, προμηθειών και χρονικού προγραμματισμού (Lidelöw et al., 2023).



Σχήμα 6.2 Το χάσμα μεταξύ εκπαίδευσης και αναγκών της αγοράς στον ψηφιακό μετασχηματισμό του κατασκευαστικού κλάδου.

Στην ελληνική πραγματικότητα, η ενσωμάτωση του BIM στην τριτοβάθμια εκπαίδευση φαίνεται να παραμένει άνιση και όχι πλήρως συστηματοποιημένη. Σε πολλές περιπτώσεις, η εκπαίδευση εξακολουθεί να επικεντρώνεται στη χρήση συγκεκριμένων λογισμικών, χωρίς να καλύπτει επαρκώς τη διαδικαστική, οργανωτική και πληροφοριακή διάσταση του BIM. Αντίστοιχα, τα προγράμματα επαγγελματικής κατάρτισης συχνά εστιάζουν στο «πώς χρησιμοποιείται» ένα εργαλείο, και λιγότερο στο πώς εντάσσεται σε ένα σύστημα διοίκησης έργου, σε ένα CDE ή σε ένα BIM-ERP περιβάλλον.

Το χάσμα αυτό έχει πρακτικές συνέπειες. Όταν οι εργαζόμενοι εκπαιδεύονται μόνο στη μοντελοποίηση, δυσκολεύονται να αντιληφθούν τη σημασία της τυποποίησης δεδομένων, της ορθής κωδικοποίησης στοιχείων, της συνέπειας στις παραμέτρους και της σύνδεσης με οικονομικά ή διοικητικά συστήματα. Έτσι, το BIM μπορεί να χρησιμοποιείται τυπικά, χωρίς να αξιοποιείται ως υποδομή πληροφορίας. Αντίστοιχα, τα ERP συστήματα μπορεί να λειτουργούν αποτελεσματικά σε οικονομικό επίπεδο,

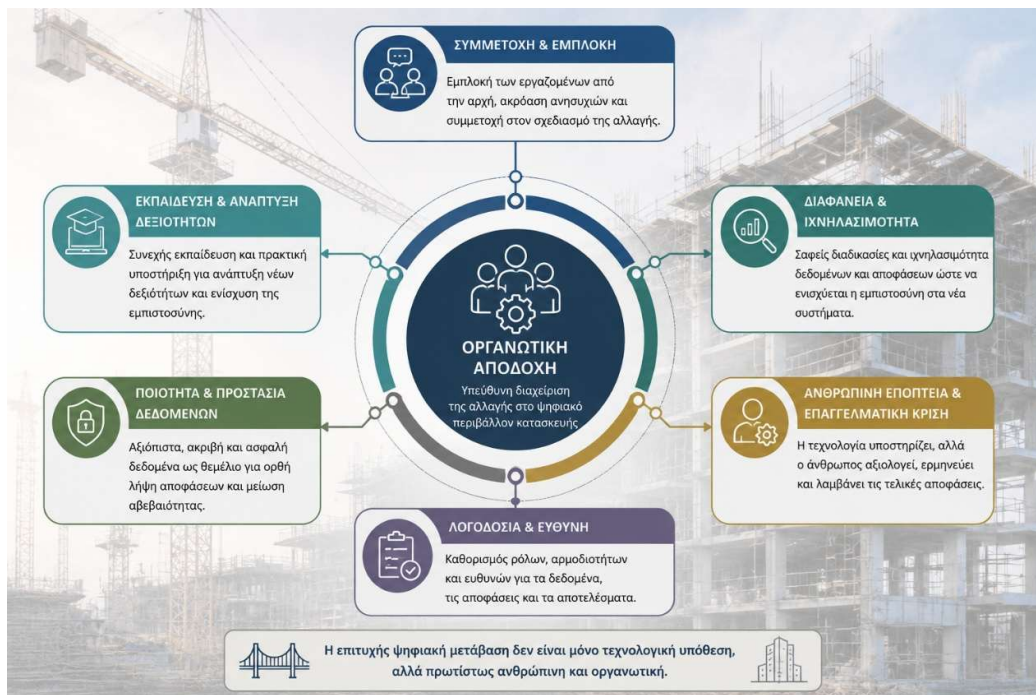
αλλά να παραμένουν αποκομμένα από την τεχνική πραγματικότητα του έργου (Galagali et al., 2024; Junussova et al., 2022).

Η αντιμετώπιση του χάσματος μεταξύ εκπαίδευσης και κατασκευαστικού κλάδου προϋποθέτει πιο διεπιστημονική προσέγγιση. Οι μηχανικοί χρειάζεται να κατανοούν βασικές αρχές κόστους, προμηθειών, δεδομένων και διοίκησης έργου, ενώ τα στελέχη οικονομικής και διοικητικής παρακολούθησης χρειάζεται να κατανοούν τη λογική του BIM και των τεχνικών παραδοτέων. Η BIM-ERP ενοποίηση, ειδικά, απαιτεί επαγγελματίες που μπορούν να λειτουργήσουν ως γέφυρα μεταξύ τεχνικών, οικονομικών και πληροφοριακών συστημάτων (Khan, 2022; Galagali et al., 2024).

6.3 Αντίσταση στην Αλλαγή και Οργανωτική Κουλτούρα

Η αντίσταση στην αλλαγή αποτελεί ένα από τα πιο συχνά αναφερόμενα εμπόδια στην υιοθέτηση ψηφιακών τεχνολογιών στον κατασκευαστικό κλάδο. Η αντίσταση αυτή δεν πρέπει να αντιμετωπίζεται απλουστευτικά ως άρνηση προόδου ή ως έλλειψη διάθεσης προσαρμογής. Συχνά αποτελεί ορθολογική αντίδραση σε αβεβαιότητα, φόβο απώλειας επαγγελματικής αξίας, αύξηση φόρτου εργασίας κατά τη μεταβατική περίοδο ή αμφιβολία για το αν τα νέα συστήματα πράγματι βελτιώνουν την καθημερινή εργασία (Osorio-Gómez et al., 2024).

Ιδιαίτερα οι επαγγελματίες με μεγάλη εμπειρία μπορεί να αντιμετωπίζουν τη μετάβαση σε BIM, ERP ή ενοποιημένα ψηφιακά περιβάλλοντα ως απειλή για τη γνώση που έχουν αποκτήσει μέσα από πολυετή πρακτική. Σε παραδοσιακά περιβάλλοντα, μεγάλο μέρος της αξίας του έμπειρου εργαζομένου βρίσκεται στην ικανότητά του να γνωρίζει άτυπες διαδικασίες, να εντοπίζει λάθη, να συντονίζει πληροφορίες και να παρεμβαίνει πριν οι αποκλίσεις επηρεάσουν το έργο. Όταν αυτές οι διαδικασίες ενσωματώνονται σε ψηφιακές ροές εργασίας, ο ρόλος του ανθρώπου δεν καταργείται, αλλά μετατοπίζεται. Η μετατόπιση αυτή μπορεί να δημιουργήσει ανασφάλεια, ιδίως όταν δεν συνοδεύεται από εκπαίδευση, συμμετοχή στον σχεδιασμό της αλλαγής και σαφή εξήγηση των αναμενόμενων οφελών.



Σχήμα 6.3 Παράγοντες οργανωτικής αποδοχής και υπεύθυνης διαχείρισης της αλλαγής στο ψηφιακό περιβάλλον κατασκευής.

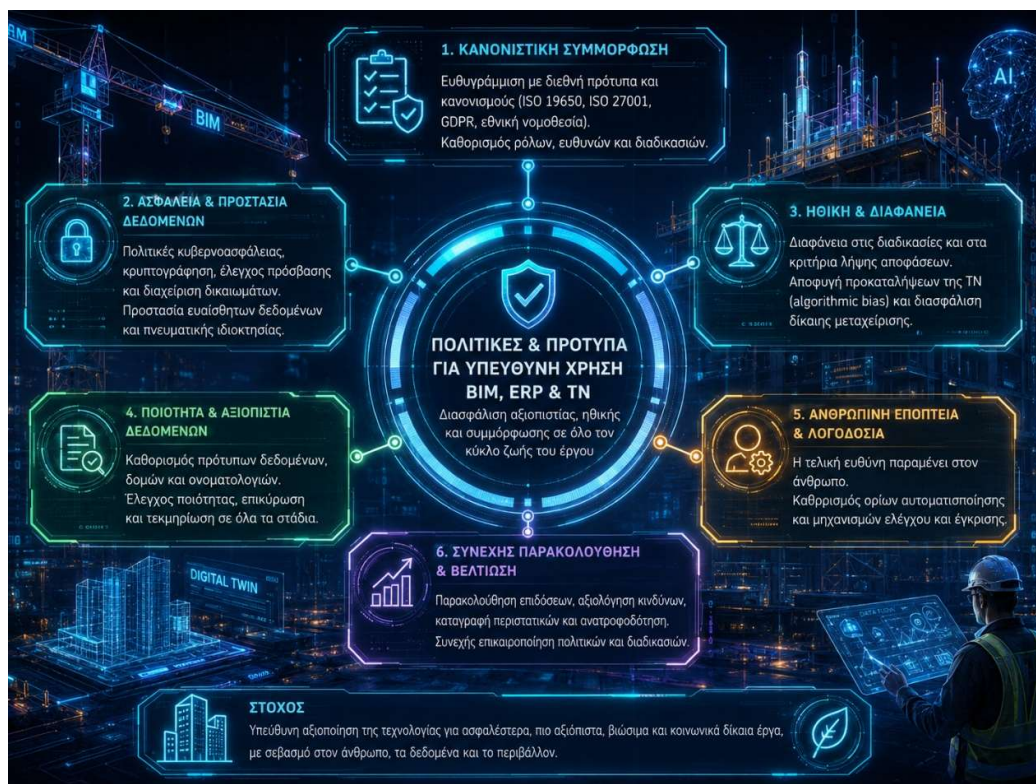
Η βιβλιογραφία για τη διαχείριση αλλαγής υπογραμμίζει ότι η επιτυχής ψηφιακή μετάβαση απαιτεί ενεργό συμμετοχή της διοίκησης, σαφές όραμα, εκπαίδευση, υποστήριξη κατά τη μεταβατική περίοδο και συστηματική μέτρηση των αποτελεσμάτων. Οι Ba et al. (2024), εξετάζοντας τον BIM-enabled ψηφιακό μετασχηματισμό, τονίζουν τη σημασία της οργανωμένης διαχείρισης αλλαγής, της σταδιακής εφαρμογής και της εμπλοκής των χρηστών. Η τεχνολογική εφαρμογή χωρίς αντίστοιχη οργανωτική προετοιμασία μπορεί να οδηγήσει σε τυπική υιοθέτηση εργαλείων χωρίς ουσιαστική αλλαγή πρακτικών (Ba et al., 2024).

Η διοίκηση παίζει καθοριστικό ρόλο σε αυτή τη διαδικασία. Όταν η ψηφιακή μετάβαση αντιμετωπίζεται ως έργο του τμήματος πληροφορικής ή ως πρωτοβουλία λίγων τεχνικών στελεχών, συχνά δεν αποκτά το απαραίτητο οργανωτικό βάρος. Αντίθετα, όταν η διοίκηση συνδέει το BIM, το ERP και τα δεδομένα με στόχους όπως ο έλεγχος κόστους, η μείωση καθυστερήσεων, η διαφάνεια και η καλύτερη λήψη αποφάσεων, η τεχνολογία εντάσσεται πιο πειστικά στη στρατηγική του οργανισμού (Ba et al., 2024; Osorio-Gómez et al., 2024).

6.4 Αυτοματοποίηση, TN και Μετατόπιση της Εργασίας

Η ενοποίηση BIM–ERP και η σταδιακή αξιοποίηση της Τεχνητής Νοημοσύνης δεν επηρεάζουν μόνο την αποδοτικότητα των διαδικασιών, αλλά και τη φύση της εργασίας στον κατασκευαστικό κλάδο. Όταν διαδικασίες όπως η εξαγωγή ποσοτήτων, η αντιστοίχιση κωδικών κόστους, η ενημέρωση προϋπολογισμών, η παραγωγή αναφορών, η παρακολούθηση προόδου ή ο έλεγχος αποκλίσεων ενσωματώνονται σε BIM και ERP περιβάλλοντα, μέρος της εργασίας που παλαιότερα απαιτούσε χειροκίνητο συντονισμό μετατρέπεται σε τυποποιημένη ροή δεδομένων (Galagali et al., 2024).

Η μεταβολή αυτή μπορεί να έχει ιδιαίτερη επίδραση σε junior ή βοηθητικές θέσεις, οι οποίες συχνά περιλαμβάνουν εργασίες συλλογής, ταξινόμησης, αντιγραφής, ελέγχου και ενημέρωσης δεδομένων. Σε ένα ενοποιημένο BIM–ERP περιβάλλον, τέτοιες εργασίες μπορούν σε σημαντικό βαθμό να αυτοματοποιηθούν ή να περιοριστούν σε διαδικασίες καταχώρισης, επιβεβαίωσης και ελέγχου ορθότητας δεδομένων. Η εξέλιξη αυτή δεν σημαίνει απαραίτητα άμεση κατάργηση όλων των σχετικών θέσεων, αλλά υποδηλώνει μετατόπιση της αξίας από την απλή καταχώριση και μεταφορά πληροφορίας προς την ικανότητα ελέγχου, ερμηνείας και αξιοποίησης της πληροφορίας.



Σχήμα 6.4 Υπεύθυνη αξιοποίηση της Τεχνητής Νοημοσύνης και της αυτοματοποίησης σε ενοποιημένα περιβάλλοντα BIM-ERP.

Η Τεχνητή Νοημοσύνη εντείνει αυτή την πίεση. Διεθνείς εκθέσεις για την αγορά εργασίας δείχνουν ότι οι εργοδότες αναμένουν περιορισμό ορισμένων θέσεων ή εργασιών όπου η ΤΝ μπορεί να αυτοματοποιήσει επαναλαμβανόμενες διαδικασίες, ενώ ταυτόχρονα αυξάνεται η ανάγκη για νέες δεξιότητες σε ανάλυση δεδομένων, επίβλεψη συστημάτων και διακυβέρνηση πληροφοριών (World Economic Forum, 2025). Στο πλαίσιο των τεχνικών έργων, αυτό σημαίνει ότι οι βοηθητικές εργασίες χαμηλής προστιθέμενης αξίας μπορεί να πιεστούν περισσότερο, ενώ θα αυξηθεί η ανάγκη για επαγγελματίες που μπορούν να κατανοούν τη ροή πληροφορίας μεταξύ BIM, ERP, εργοταξίου και διοίκησης.

Η αλλαγή αυτή μεταβάλλει και τη θέση της ανθρώπινης εμπειρίας μέσα στη διαδικασία. Σε παραδοσιακά περιβάλλοντα εργασίας, η ασφαλιστική δικλείδα βρισκόταν συχνά στην εμπειρία του εργαζομένου που γνώριζε τη διαδικασία, εντόπιζε ασυνέπειες και διόρθωνε λάθη πριν αυτά επηρεάσουν το έργο. Σε ενοποιημένα ψηφιακά περιβάλλοντα, μεγάλο μέρος διαδικασίας έχει ενσωματωθεί στο ERP, στις παραμέτρους του BIM μοντέλου, στα δικαιώματα πρόσβασης, στους

αυτοματοποιημένους ελέγχους και στη λογική της ροής εργασίας. Η ανθρώπινη εμπειρία δεν καταργείται. Μετατοπίζεται από την εκτέλεση της διαδικασίας προς τον σχεδιασμό, την επίβλεψη και την αξιολόγησή της (World Economic Forum, 2025; Sacks et al., 2025).

Η μετατόπιση αυτή δημιουργεί έναν διπλό κίνδυνο. Από τη μία, εργαζόμενοι που περιορίζονται σε ρόλους καταχώρισης δεδομένων μπορεί να δουν το αντικείμενό τους να υποβαθμίζεται ή να αυτοματοποιείται. Από την άλλη πλευρά, οργανισμοί που στηρίζονται υπερβολικά σε αυτοματοποιημένες ροές χωρίς επαρκή ανθρώπινη κατανόηση κινδυνεύουν να χάσουν κρίσιμη επαγγελματική γνώση. Για τον λόγο αυτό, η ψηφιακή μετάβαση δεν πρέπει να αντιμετωπίζεται μόνο ως ζήτημα τεχνολογικής υλοποίησης, αλλά και ως ζήτημα αναβάθμισης δεξιοτήτων, επαναπροσδιορισμού ρόλων και διατήρησης της απαραίτητης ανθρώπινης εποπτείας (Ba et al., 2024).

Η ΤΝ, ειδικά, δεν πρέπει να παρουσιάζεται ως απλή αντικατάσταση ανθρώπων ή ως ουδέτερη τεχνολογική πρόοδος. Η επίδρασή της θα εξαρτηθεί από τον τρόπο ενσωμάτωσής της στις ροές εργασίας, από το είδος των εργασιών που αυτοματοποιούνται, από τις δεξιότητες που θα αναπτυχθούν και από το αν οι οργανισμοί θα επιλέξουν να αξιοποιήσουν την τεχνολογία για ενίσχυση της ανθρώπινης κρίσης ή για απλή μείωση κόστους. Στο πεδίο της διοίκησης τεχνικών έργων, η κρίσιμη πρόκληση είναι να διατηρηθεί ο άνθρωπος σε ρόλο ελέγχου, ερμηνείας και ευθύνης, ακόμη και όταν μεγάλο μέρος της πληροφορίας παράγεται, διακινείται ή αναλύεται αυτόματα (Valdebenito & Forcael, 2025; Kutá & Faltejsek, 2025).

Μια πρόσφατη προσέγγιση στη διεθνή βιβλιογραφία επισημαίνει ότι η επίδραση της ΤΝ στην εργασία δεν πρέπει να εξετάζεται μόνο σε επίπεδο μεμονωμένης επιχείρησης, αλλά και σε επίπεδο συνολικού οικονομικού συστήματος. Οι Falk και Tsoukalas (2026) υποστηρίζουν ότι οι επιχειρήσεις, υπό συνθήκες ανταγωνισμού, μπορεί να οδηγηθούν σε έναν «αγώνα αυτοματοποίησης», ακόμη και όταν η εκτεταμένη αντικατάσταση εργαζομένων δεν είναι συλλογικά βέλτιστη. Η παρατήρηση αυτή είναι χρήσιμη για τη διοίκηση τεχνικών έργων, καθώς δείχνει ότι η υιοθέτηση ΤΝ πρέπει να αξιολογείται όχι μόνο με βάση τη μείωση κόστους, αλλά και με βάση τις επιπτώσεις στις δεξιότητες, στους ρόλους και στη μακροπρόθεσμη οργανωτική ικανότητα.

6.5 Κίνδυνοι Τεχνολογικής Εξάρτησης και De-skilling

Η αυξανόμενη εξάρτηση από συγκεκριμένους παρόχους λογισμικού αποτελεί έναν πρακτικό κίνδυνο που συχνά υποτιμάται στα πρώτα στάδια λήψης αποφάσεων. Όταν μια εταιρεία επενδύει σημαντικούς πόρους σε συγκεκριμένο οικοσύστημα λογισμικού, δημιουργεί βιβλιοθήκες αντικειμένων, εκπαιδεύει προσωπικό, διαμορφώνει ροές εργασίας και συνδέει τις διαδικασίες της με συγκεκριμένες πλατφόρμες, η μελλοντική αλλαγή συστήματος μπορεί να καταστεί δύσκολη και δαπανηρή. Το φαινόμενο αυτό, γνωστό ως vendor lock-in, συνδέεται άμεσα με τη διαλειτουργικότητα, τα ανοικτά πρότυπα και τη στρατηγική επιλογή ψηφιακής υποδομής (Sacks et al., 2018).

Η χρήση ανοικτών προτύπων, όπως το IFC, και η υιοθέτηση λογικών openBIM μπορούν να περιορίσουν τον κίνδυνο αυτό, χωρίς όμως να τον εξαλείφουν πλήρως. Ακόμη και όταν τα δεδομένα μπορούν να εξαχθούν από ένα σύστημα, η απώλεια παραμετροποιήσεων, αυτοματισμών, εσωτερικών διαδικασιών και οργανωτικής γνώσης μπορεί να καταστήσει τη μετάβαση σε άλλο περιβάλλον ιδιαίτερα σύνθετη. Επομένως, η επιλογή ψηφιακής πλατφόρμας δεν είναι μόνο τεχνική ή οικονομική απόφαση, αλλά στρατηγική επιλογή που επηρεάζει την αυτονομία, την ευελιξία και τη μακροπρόθεσμη ικανότητα προσαρμογής του οργανισμού (Sacks et al., 2018; ISO 19650-1:2018).

Παράλληλα, ο κίνδυνος de-skilling αποτελεί μία από τις λιγότερο ορατές αλλά σημαντικές συνέπειες της ψηφιακής μετάβασης. Όσο περισσότερες αποφάσεις, έλεγχοι και υπολογισμοί ενσωματώνονται σε λογισμικά ή αλγοριθμικά συστήματα, τόσο αυξάνεται ο κίνδυνος οι χρήστες να περιορίζονται στην εκτέλεση οδηγιών χωρίς βαθιά κατανόηση των υποκείμενων μηχανισμών (World Economic Forum, 2025). Στον κατασκευαστικό κλάδο, αυτό μπορεί να αφορά τη στατική συμπεριφορά, την κοστολογική λογική, την αλληλουχία εργασιών, την εφοδιαστική αλυσίδα ή τη σχέση μεταξύ σχεδιαστικής αλλαγής και οικονομικής επίπτωσης.



Σχήμα 6.5 Κίνδυνοι τεχνολογικής εξάρτησης και de-skilling σε περιβάλλοντα BIM–ERP και TN, καθώς και βασικές δικλίδες ασφαλείας για τον περιορισμό τους.

Η ανησυχία αυτή γίνεται εντονότερη με την είσοδο της TN. Εάν τα συστήματα TN προτείνουν λύσεις, εντοπίζουν κινδύνους ή ιεραρχούν αποφάσεις χωρίς επαρκή δυνατότητα εξήγησης των αποτελεσμάτων τους, οι χρήστες μπορεί να οδηγηθούν σε υπερβολική εξάρτηση από αλγοριθμικές προτάσεις. Ωστόσο, η ανθρώπινη επαγγελματική κρίση παραμένει απαραίτητη. Ο μηχανικός, ο project manager ή το στέλεχος διοίκησης έργου πρέπει να μπορεί να αξιολογεί αν η πρόταση του συστήματος είναι τεχνικά, οικονομικά, συμβατικά και οργανωτικά λογική (Valdebenito & Forcael, 2025).

Συνεπώς, ο ανθρώπινος παράγοντας στον ψηφιακό μετασχηματισμό δεν αφορά μόνο την αποδοχή ή την απόρριψη μιας τεχνολογίας. Αφορά την ικανότητα των οργανισμών να αναβαθμίσουν τους ρόλους, να διατηρήσουν κρίσιμη τεχνογνωσία, να αποφύγουν την υπερβολική εξάρτηση από παρόχους ή αυτοματισμούς και να διαμορφώσουν νέες ισορροπίες μεταξύ ανθρώπινης κρίσης και ψηφιακής υποστήριξης. Η τεχνολογία μπορεί να ενισχύσει τη διοίκηση τεχνικών έργων μόνο όταν συνοδεύεται από

κατάλληλες δεξιότητες, σαφείς διαδικασίες και υπεύθυνη ανθρώπινη εποπτεία (Sacks et al., 2025; Galagali et al., 2024).

7. Διεθνείς Πολιτικές BIM, Ψηφιακή Ωριμότητα και η Θέση της Ελλάδας

Μετά την εξέταση του BIM ως μεθόδου διαχείρισης πληροφορίας, της BIM-ERP ενοποίησης, των Ψηφιακών Διδύμων, της Τεχνητής Νοημοσύνης και του ανθρώπινου παράγοντα, η ανάλυση μεταφέρεται στο ευρύτερο διεθνές και θεσμικό πλαίσιο. Η υιοθέτηση του BIM δεν εξαρτάται μόνο από την τεχνολογική διαθεσιμότητα ή από την απόφαση μεμονωμένων επιχειρήσεων. Επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από δημόσιες πολιτικές, θεσμικές απαιτήσεις, πρότυπα, εκπαιδευτικές δομές, επίπεδο ψηφιακής ωριμότητας και βαθμό συνεργασίας μεταξύ δημόσιου και ιδιωτικού τομέα.

Σε διεθνές επίπεδο, οι χώρες που εμφανίζουν υψηλότερη ωριμότητα BIM δεν περιορίζονται στην υιοθέτηση λογισμικών μοντελοποίησης. Αντίθετα, αναπτύσσουν ευρύτερα οικοσυστήματα ψηφιακής διαχείρισης έργων, τα οποία περιλαμβάνουν πρότυπα, οδηγίες εφαρμογής, απαιτήσεις δημοσίων συμβάσεων, προγράμματα κατάρτισης, μηχανισμούς πιστοποίησης και κοινά πλαίσια ανταλλαγής πληροφορίας. Η διάσταση αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική για την παρούσα εργασία, καθώς η BIM-ERP ενοποίηση, η αξιοποίηση Ψηφιακών Διδύμων και η εφαρμογή Τεχνητής Νοημοσύνης προϋποθέτουν όχι μόνο τεχνική υποδομή, αλλά και οργανωμένη θεσμική και επαγγελματική βάση (EU BIM Task Group, 2017; European Commission, 2023).

7.1 Διεθνής Ανάπτυξη του BIM και Μετάβαση σε Ψηφιακή Διαχείριση Πληροφορίας

Η διεθνής ανάπτυξη του BIM συνδέεται με την αυξανόμενη ανάγκη του κατασκευαστικού κλάδου για καλύτερη οργάνωση, ανταλλαγή και αξιοποίηση τεχνικής πληροφορίας. Σύμφωνα με τη MarketsandMarkets (2025), η παγκόσμια αγορά BIM εκτιμάται σε 9,03 δισεκατομμύρια δολάρια το 2025 και αναμένεται να φτάσει τα 15,42 δισεκατομμύρια δολάρια έως το 2030, με σύνθετο ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης 11,3%. Τα στοιχεία αυτά δεν πρέπει να ερμηνεύονται μόνο ως ένδειξη αύξησης της ζήτησης για λογισμικό BIM, αλλά ως ένδειξη ευρύτερης μετάβασης του κλάδου προς πιο ολοκληρωμένα μοντέλα διαχείρισης πληροφορίας, συνεργασίας και λήψης αποφάσεων στα τεχνικά έργα.

Η ανάπτυξη του BIM συνδέεται με πολλούς παράγοντες. Πρώτον, η αυξανόμενη πολυπλοκότητα των τεχνικών έργων δημιουργεί ανάγκη για καλύτερο συντονισμό μεταξύ μελετητών, εργολάβων, προμηθευτών, συμβούλων και φορέων λειτουργίας. Δεύτερον, οι πιέσεις για μείωση κόστους, περιορισμό καθυστερήσεων και καλύτερη διαχείριση κινδύνων ενισχύουν την ανάγκη για πιο αξιόπιστη και έγκαιρη πληροφόρηση. Τρίτον, η ενσωμάτωση απαιτήσεων βιωσιμότητας, ενεργειακής απόδοσης και αποτυπώματος άνθρακα καθιστά απαραίτητη τη σύνδεση του σχεδιασμού με αναλύσεις κύκλου ζωής. Τέταρτον, η ανάπτυξη cloud-based πλατφορμών και Κοινών Περιβαλλόντων Δεδομένων διευκολύνει τη συνεργασία μεταξύ γεωγραφικά κατανεμημένων ομάδων και ενισχύει τη δυνατότητα κοινής πρόσβασης σε επικαιροποιημένη πληροφορία έργου (MarketsandMarkets, 2025).

Η διεθνής υιοθέτηση του BIM δεν εξελίσσεται ομοιόμορφα. Περιοχές όπως η Βόρεια Αμερική και η Ευρώπη εμφανίζουν υψηλότερη ωριμότητα, κυρίως λόγω θεσμικών απαιτήσεων, μεγαλύτερης εμπειρίας σε δημόσια έργα και ευρύτερης χρήσης ψηφιακών εργαλείων. Παράλληλα, η περιοχή Ασίας-Ειρηνικού παρουσιάζει σημαντική δυναμική, καθώς οι μεγάλες επενδύσεις σε υποδομές, η αστικοποίηση και οι κρατικές πολιτικές ψηφιακού μετασχηματισμού ενισχύουν τη ζήτηση για BIM. Η διαφοροποίηση αυτή δείχνει ότι η υιοθέτηση του BIM εξαρτάται όχι μόνο από την τεχνολογική διαθεσιμότητα, αλλά και από το θεσμικό περιβάλλον, την ωριμότητα των οργανισμών και τις απαιτήσεις των έργων (MarketsandMarkets, 2025; Borkowski, 2023).

Η τάση αυτή συνδέεται άμεσα με τα προηγούμενα κεφάλαια της παρούσας εργασίας. Όσο αυξάνεται η υιοθέτηση BIM, τόσο ενισχύεται η ανάγκη σύνδεσής του με ERP συστήματα, πληροφορίες κόστους, χρονικό προγραμματισμό, προμήθειες, παγία, Ψηφιακά Δίδυμα και εργαλεία Τεχνητής Νοημοσύνης. Επομένως, η ανάπτυξη του BIM δεν αποτελεί απλώς τεχνολογική τάση, αλλά ένδειξη βαθύτερης αλλαγής στον τρόπο με τον οποίο ο κατασκευαστικός κλάδος παράγει, ελέγχει, ανταλλάσσει και αξιοποιεί την πληροφορία για τη διοίκηση τεχνικών έργων (Sacks et al., 2025).

Η διεθνής εμπειρία δείχνει, επομένως, ότι η ανάπτυξη του BIM δεν είναι αποτέλεσμα μόνο της τεχνολογικής αγοράς, αλλά και της ικανότητας των κρατών, των οργανισμών και των επαγγελματικών φορέων να διαμορφώσουν κοινές απαιτήσεις, πρότυπα και

διαδικασίες διαχείρισης πληροφορίας. Η διάσταση αυτή αναλύεται στη συνέχεια μέσα από τον ρόλο των δημόσιων πολιτικών και του κράτους ως πελάτη.

7.2 Δημόσιες Πολιτικές και Θεσμική Υιοθέτηση του BIM

Η υιοθέτηση BIM επιταχύνεται όταν το κράτος λειτουργεί όχι μόνο ως ρυθμιστής, αλλά και ως αναθέτουσα αρχή που θέτει σαφείς απαιτήσεις στα δημόσια έργα. Σε πολλές χώρες, η μετάβαση από την εθελοντική χρήση BIM σε πιο συστηματική υιοθέτηση συνδέθηκε με απαιτήσεις δημοσίων έργων, εθνικές στρατηγικές, οδηγούς εφαρμογής και πρότυπα πληροφοριακής διαχείρισης. Η εμπειρία αυτή είναι κρίσιμη, διότι τα δημόσια έργα αποτελούν συχνά βασικό μοχλό αλλαγής για ολόκληρη την κατασκευαστική αγορά (EU BIM Task Group, 2017).

Το Ηνωμένο Βασίλειο αποτελεί μία από τις πιο γνωστές διεθνείς περιπτώσεις οργανωμένης κρατικής πολιτικής BIM. Η Government Construction Strategy του 2011 έθεσε ως στόχο την εφαρμογή συνεργατικού 3D BIM σε κεντρικά δημόσια έργα έως το 2016, οδηγώντας στη διάδοση του BIM Level 2 ως σημείου αναφοράς για την οργάνωση της πληροφορίας στον δημόσιο τομέα (Cabinet Office, 2011). Η σημασία της βρετανικής περίπτωσης δεν βρίσκεται μόνο στην τεχνολογική απαίτηση χρήσης BIM, αλλά στο ότι συνδύασε δημόσια πολιτική, πρότυπα, οδηγίες, συμβατικά εργαλεία και μηχανισμούς υλοποίησης.

Στη Σκανδιναβία, χώρες όπως η Φινλανδία, η Νορβηγία και η Δανία κινήθηκαν επίσης νωρίς προς την ενσωμάτωση BIM σε δημόσια έργα και φορείς διαχείρισης ακινήτων ή υποδομών. Οι πολιτικές αυτές συνέβαλαν στη δημιουργία πιο ώριμων οικοσυστημάτων, όπου η χρήση BIM συνδέεται με τη δημόσια διαχείριση περιουσιακών στοιχείων, τη συντήρηση, τη λειτουργία και την ανταλλαγή και αξιοποίηση δεδομένων μεταξύ διαφορετικών συστημάτων. Αντίστοιχα, η Σιγκαπούρη αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα χώρας που συνέδεσε το BIM με τη διαδικασία αδειοδότησης και την ηλεκτρονική υποβολή, ενισχύοντας τη θεσμική ενσωμάτωση του BIM πέρα από το επίπεδο μεμονωμένων έργων (EU BIM Task Group, 2017).

Σε ευρωπαϊκό επίπεδο, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει αναδείξει τον ψηφιακό μετασχηματισμό του κατασκευαστικού οικοσυστήματος ως βασική διάσταση της πράσινης και ψηφιακής μετάβασης. Ο «Οδικός Χάρτης Μετάβασης για το Κατασκευαστικό Οικοσύστημα» (Construction Transition Pathway) εντάσσει τον

ψηφιακό μετασχηματισμό στις στρατηγικές προτεραιότητες του κλάδου, ενώ η EU BIM Task Group έχει συμβάλει στη διαμόρφωση κοινών κατευθύνσεων για την εισαγωγή του BIM στον ευρωπαϊκό δημόσιο τομέα (European Commission, 2023; EU BIM Task Group, 2017).

Η διεθνής εμπειρία δείχνει ότι η υποχρεωτική ή συστηματικά προωθούμενη χρήση BIM από τον δημόσιο τομέα μπορεί να λειτουργήσει ως επιταχυντής ψηφιακής ωρίμανσης. Ωστόσο, η υποχρέωση από μόνη της δεν επαρκεί. Για να είναι αποτελεσματική, πρέπει να συνοδεύεται από σαφείς προδιαγραφές, κατάλληλα συμβατικά τεύχη, εκπαιδευτική υποστήριξη, πρότυπα ανταλλαγής δεδομένων, κοινές διαδικασίες αξιολόγησης και μηχανισμούς ελέγχου ποιότητας πληροφορίας. Διαφορετικά, υπάρχει κίνδυνος το BIM να εφαρμοστεί τυπικά, χωρίς ουσιαστική αλλαγή στον τρόπο διοίκησης των έργων (Galagali et al., 2024; Junussova et al., 2022).

7.3 Η Θέση της Ελλάδας: Μεταβατική Φάση και Προϋποθέσεις Ωρίμανσης

Η Ελλάδα βρίσκεται σε μεταβατική φάση ως προς την υιοθέτηση του BIM. Από τη μία πλευρά, υπάρχουν σημαντικές θεσμικές και τεχνολογικές εξελίξεις που δείχνουν αυξανόμενο ενδιαφέρον για την ψηφιακή διαχείριση των τεχνικών έργων. Από την άλλη πλευρά, η υιοθέτηση του BIM παραμένει άνιση, με σημαντικές διαφοροποιήσεις μεταξύ μεγάλων κατασκευαστικών οργανισμών, εταιρειών με διεθνή δραστηριότητα, δημόσιων φορέων, μικρομεσαίων επιχειρήσεων και μελετητικών γραφείων (European Commission, n.d.).

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει παράσχει τεχνική υποστήριξη στην Ελλάδα για την ανάπτυξη και προώθηση Εθνικής Στρατηγικής BIM και BIM Roadmap, σε συνεργασία με το Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών. Η πρωτοβουλία αυτή στοχεύει στην ενίσχυση της θεσμικής ικανότητας, στην ανάπτυξη κατευθυντήριων οδηγιών, στη δημιουργία κοινής μεθοδολογίας και στην υποστήριξη δράσεων ενημέρωσης και κατάρτισης (European Commission, 2023; European Commission, n.d.). Η εξέλιξη αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς δείχνει ότι η χώρα εισέρχεται σταδιακά σε φάση θεσμικής οργάνωσης του BIM.

Ωστόσο, οι θεσμικές πρωτοβουλίες δεν συνεπάγονται αυτομάτως ώριμη εφαρμογή στην αγορά. Η ελληνική κατασκευαστική αγορά χαρακτηρίζεται από μεγάλο αριθμό Μεταπτυχιακή Διπλωματική εργασία

μικρομεσαίων επιχειρήσεων, περιορισμένη τυποποίηση διαδικασιών, κατακερματισμό ρόλων και άνιση πρόσβαση σε ψηφιακές δεξιότητες. Μεγάλες εταιρείες ή οργανισμοί που συμμετέχουν σε διεθνή έργα και συνεργάζονται με ξένους φορείς εμφανίζουν συνήθως υψηλότερη ψηφιακή ωριμότητα, ενώ μικρότερα γραφεία και εταιρείες συχνά περιορίζονται σε χρήση CAD, μεμονωμένων BIM εργαλείων ή μη πλήρως τυποποιημένων ψηφιακών διαδικασιών (European Commission, n.d.; Lidelöw et al., 2023).

Η κατάσταση αυτή συνδέεται άμεσα με τα ευρήματα των προηγούμενων κεφαλαίων. Η BIM-ERP ενοποίηση προϋποθέτει αξιόπιστα και δομημένα δεδομένα, κοινές κωδικοποιήσεις, σαφείς ροές εργασίας και συνεργασία μεταξύ τεχνικών και διοικητικών ρόλων. Εάν το BIM εφαρμόζεται μόνο ως λογισμικό μοντελοποίησης και όχι ως διαδικασία διαχείρισης πληροφορίας, η σύνδεσή του με ERP, κόστος, προμήθειες, χρονικό προγραμματισμό και παγία καθίσταται δυσκολότερη. Αντίστοιχα, η αξιοποίηση Τεχνητής Νοημοσύνης ή Ψηφιακών Διδύμων προϋποθέτει επίπεδο ψηφιακής ωριμότητας που δεν μπορεί να επιτευχθεί χωρίς σταθερή βάση BIM (Galagali et al., 2024; Sacks et al., 2018).

Ιδιαίτερη πρόκληση αποτελεί και το ζήτημα της εκπαίδευσης και πιστοποίησης. Η ενσωμάτωση του BIM στην ελληνική τριτοβάθμια εκπαίδευση και στην επαγγελματική κατάρτιση φαίνεται να παραμένει άνιση και όχι πλήρως συστηματοποιημένη. Επιπλέον, δεν φαίνεται να έχει ακόμη καθιερωθεί ένα ενιαίο και ευρέως αναγνωρισμένο εθνικό πλαίσιο πιστοποίησης BIM αντίστοιχο με πιο ώριμα διεθνή παραδείγματα. Η απουσία αυτή δυσκολεύει τη δημιουργία κοινών δεξιοτήτων, επαγγελματικών προτύπων και κινήτρων για συστηματική επένδυση σε BIM εκπαίδευση (Lidelöw et al., 2023; Borkowski, 2023).

Η εικόνα αυτή διαφοροποιείται από πιο ώριμα διεθνή παραδείγματα, όπου έχουν αναπτυχθεί επαγγελματικές πιστοποιήσεις και προγράμματα κατάρτισης σχετικά με το BIM και τη διαχείριση πληροφορίας. Οργανισμοί όπως το Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS), το buildingSMART International και άλλοι φορείς επαγγελματικής πιστοποίησης προσφέρουν προγράμματα που συνδέονται με τη διαχείριση BIM, το ISO 19650 και τις απαιτήσεις πληροφοριακής οργάνωσης σε τεχνικά έργα. Τα παραδείγματα αυτά δείχνουν ότι η ανάπτυξη πλαισίου πιστοποίησης δεν αποτελεί μόνο τεχνικό ζήτημα, αλλά προϋποθέτει συνεργασία μεταξύ

επαγγελματικών οργανισμών, εκπαιδευτικών φορέων, αγοράς και δημόσιας πολιτικής. Για την Ελλάδα, η διαμόρφωση ενός πιο σαφούς πλαισίου αναγνωρίσιμων BIM δεξιοτήτων θα μπορούσε να αποτελέσει μέρος της ευρύτερης Εθνικής Στρατηγικής BIM, συμβάλλοντας στη μείωση της αβεβαιότητας στην αγορά εργασίας, στην ενίσχυση της ζήτησης για εξειδικευμένα στελέχη και στη συστηματικότερη σύνδεση εκπαίδευσης, πιστοποίησης και πρακτικής εφαρμογής (European Commission, n.d.; RICS, n.d.).

Η Ελλάδα, επομένως, δεν βρίσκεται εκτός της διεθνούς τάσης, αλλά σε φάση διαμόρφωσης των βασικών προϋποθέσεων ωρίμανσης. Η πρόκληση δεν είναι μόνο να υιοθετηθούν λογισμικά BIM, αλλά να δημιουργηθεί ένα λειτουργικό οικοσύστημα που θα περιλαμβάνει θεσμικές απαιτήσεις, πρότυπα, εκπαιδευτική υποδομή, οδηγίες εφαρμογής, κατάλληλες συμβάσεις και οργανωτική ικανότητα αξιοποίησης της πληροφορίας. Μόνο μέσα από αυτή τη συνδυασμένη προσέγγιση μπορεί το BIM να λειτουργήσει ως πραγματικό εργαλείο διοίκησης τεχνικών έργων και όχι ως αποσπασματική τεχνολογική εφαρμογή (European Commission, 2023; EU BIM Task Group, 2017).

7.4 Μελλοντικές Προοπτικές του Ψηφιακού Μετασχηματισμού: Από το BIM στο Οικοσύστημα Δεδομένων Έργου

7.4.1 Η μετάβαση από το BIM σε ολοκληρωμένα οικοσυστήματα δεδομένων

Η εξέλιξη που καταγράφεται στη διεθνή έρευνα και πρακτική δεν αφορά την αντικατάσταση του BIM από κάποια νέα τεχνολογία. Αντίθετα, αφορά τη διεύρυνση του ρόλου του μέσα σε ένα ευρύτερο οικοσύστημα δεδομένων έργου. Στο κέντρο αυτού του οικοσυστήματος βρίσκεται το BIM ως κοινή και δομημένη βάση τεχνικής πληροφορίας, γύρω από την οποία μπορούν να συνδεθούν ERP συστήματα, Κοινά Περιβάλλοντα Δεδομένων (CDE), εργαλεία χρονικού προγραμματισμού, πλατφόρμες ανάλυσης δεδομένων, IoT αισθητήρες, Ψηφιακά Δίδυμα, εργαλεία Τεχνητής Νοημοσύνης και δεδομένα περιβαλλοντικής απόδοσης.



Σχήμα 7.1. Μετάβαση από το BIM ως βάση τεχνικής πληροφορίας σε ολοκληρωμένο οικοσύστημα δεδομένων έργου.

Η κρίσιμη μετατόπιση δεν είναι αποκλειστικά τεχνολογική. Είναι κυρίως οργανωτική και πληροφοριακή. Το ζήτημα δεν είναι αν οι κατασκευαστικές εταιρείες θα χρησιμοποιούν BIM ή ERP ως ανεξάρτητα συστήματα, αλλά αν θα μπορέσουν να συνδέσουν την τεχνική, οικονομική, χρονική, λειτουργική και περιβαλλοντική πληροφορία σε μια ενιαία ροή δεδομένων. Σε αυτό το πλαίσιο, το BIM λειτουργεί ως βάση τεχνικής πληροφορίας, ενώ το ERP λειτουργεί ως βάση οικονομικής, διοικητικής και επιχειρησιακής πληροφόρησης. Η αξία προκύπτει από τη μεταξύ τους σύνδεση και από τη δυνατότητα αξιοποίησης των δεδομένων αυτών για πιο έγκαιρη, αξιόπιστη και τεκμηριωμένη διοίκηση τεχνικών έργων.

Η διεθνής κατεύθυνση της περιόδου 2024–2026 δείχνει ότι ο ψηφιακός μετασχηματισμός των κατασκευών κινείται προς πιο σύνθετα περιβάλλοντα διαχείρισης πληροφορίας. Η Γενετική ΤΝ και τα Μεγάλα Γλωσσικά Μοντέλα διερευνώνται ως εργαλεία αλληλεπίδρασης με BIM και IFC δεδομένα μέσω απλών γλωσσικών ερωτημάτων, τα Ψηφιακά Δίδυμα εξελίσσονται προς πιο δυναμική

αξιοποίηση πραγματικών δεδομένων, ενώ τα πρότυπα openBIM, όπως IFC και IDS (buildingSMART International, 2024; International Organization for Standardization, 2025), ενισχύουν τη δυνατότητα ανταλλαγής και ελέγχου πληροφορίας μεταξύ διαφορετικών συστημάτων. Ο κοινός παρονομαστής όλων αυτών των εξελίξεων είναι η μετάβαση από ασύνδετα λογισμικά σε ένα ενιαίο, επικαιροποιούμενο και αξιόπιστο πλαίσιο πληροφόρησης (Sacks et al., 2025; Guo, 2026).

7.4.2 BIM, δεδομένα άνθρακα και κυκλική οικονομία

Μία από τις πιο επίκαιρες κατευθύνσεις του ψηφιακού μετασχηματισμού αφορά τη σύνδεση BIM με δεδομένα κύκλου ζωής άνθρακα και αρχές κυκλικής οικονομίας. Η ευρωπαϊκή πολιτική για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων και τη μείωση των εκπομπών ενισχύει την ανάγκη για πιο συστηματική καταγραφή του περιβαλλοντικού αποτυπώματος σε όλες τις φάσεις ενός κτιρίου. Από την επιλογή υλικών και την κατασκευή έως τη λειτουργία, τη συντήρηση και την τελική αποσυναρμολόγηση ή κατεδάφιση.

Το BIM μπορεί να αποτελέσει σημαντική πληροφοριακή βάση για αυτή τη διαδικασία, καθώς ενσωματώνει δεδομένα γεωμετρίας, υλικών, ποσοτήτων, φάσεων κατασκευής και τεχνικών χαρακτηριστικών. Όταν τα δεδομένα αυτά συνδεθούν με περιβαλλοντικές βάσεις δεδομένων, εργαλεία ανάλυσης κύκλου ζωής και ERP συστήματα εφοδιαστικής αλυσίδας, μπορούν να υποστηρίξουν πιο τεκμηριωμένες αποφάσεις σχετικά με την επιλογή υλικών, τον προγραμματισμό προμηθειών, την παρακολούθηση εκπομπών και τη διαχείριση παγίων (Lim, 2025; Lau, 2026).

Στο πλαίσιο της κυκλικής οικονομίας, το BIM μπορεί επίσης να λειτουργήσει ως βάση για ένα είδος ψηφιακού διαβατηρίου υλικών. Μέσω αυτού μπορούν να καταγράφονται στοιχεία όπως η προέλευση, η σύνθεση, οι τεχνικές ιδιότητες, οι απαιτήσεις συντήρησης και η πιθανή αξία επαναχρησιμοποίησης ενός υλικού ή δομικού στοιχείου στο τέλος της ωφέλιμης ζωής του. Η προοπτική αυτή συνδέει τον ψηφιακό μετασχηματισμό με τη βιωσιμότητα και μετατοπίζει το BIM από εργαλείο σχεδιασμού σε μηχανισμό υποστήριξης αποφάσεων για ολόκληρο τον κύκλο ζωής του έργου (Lim, 2025; European Parliament & Council of the European Union, 2024).

7.4.3 Συνολική αποτίμηση για τον ορίζοντα 2026–2030

Η συνολική κατεύθυνση για τον ορίζοντα 2026–2030 δεν φαίνεται να είναι η απλή αύξηση της χρήσης BIM modeling, αλλά η διοίκηση και υλοποίηση έργων βασισμένη σε δεδομένα. Με άλλα λόγια, η αξία μετατοπίζεται από την παραγωγή ψηφιακών μοντέλων στη δυνατότητα αξιοποίησης τεχνικών, οικονομικών, χρονικών, λειτουργικών και περιβαλλοντικών δεδομένων σε ένα ενιαίο ψηφιακό περιβάλλον.

Σε αυτή τη μετάβαση, η ενοποίηση BIM–ERP διατηρεί κεντρικό ρόλο. Το BIM οργανώνει τη δομημένη τεχνική πληροφορία του έργου, ενώ το ERP οργανώνει τη χρηματοοικονομική, διοικητική και επιχειρησιακή πληροφορία. Η σύνδεση των δύο συστημάτων με CDE πλατφόρμες, εργαλεία χρονικού προγραμματισμού, Ψηφιακά Δίδυμα, IoT δεδομένα, εργαλεία TN και δεδομένα άνθρακα δημιουργεί τις προϋποθέσεις για ένα πιο ολοκληρωμένο μοντέλο διοίκησης τεχνικών έργων. Επομένως, η μελλοντική προοπτική δεν είναι BIM ή ERP χωριστά, αλλά η ενοποίησή τους σε ένα δεδομενοκεντρικό οικοσύστημα που υποστηρίζει τη λήψη αποφάσεων.

Η μετάβαση αυτή δεν είναι γραμμική και δεν θα πραγματοποιηθεί με τον ίδιο ρυθμό σε όλες τις αγορές. Εξαρτάται από την ψηφιακή ωριμότητα των οργανισμών, τη διαθεσιμότητα δεξιοτήτων, τις απαιτήσεις των αναθετουσών αρχών, το κόστος εφαρμογής, τη διαλειτουργικότητα των συστημάτων και την ποιότητα των δεδομένων που τροφοδοτούν τις ψηφιακές πλατφόρμες. Το BIM παραμένει η βασική προϋπόθεση για τα επόμενα στάδια (Sacks et al., 2025). Χωρίς αξιόπιστη, δομημένη και τυποποιημένη πληροφορία έργου, ούτε η BIM–ERP ενοποίηση ούτε τα Ψηφιακά Δίδυμα ούτε η TN μπορούν να αποδώσουν ουσιαστική αξία.

7.4.4 Προοπτικές για την Ελλάδα

Οι παραπάνω διεθνείς προοπτικές πρέπει να προσεγγίζονται με επιφύλαξη όταν εξετάζεται η ελληνική πραγματικότητα. Η διεθνής έρευνα ασχολείται ήδη με ζητήματα όπως η αξιοποίηση TN σε Ψηφιακά Δίδυμα, η αυτοματοποίηση του ελέγχου πληροφοριακών απαιτήσεων, η ενσωμάτωση δεδομένων άνθρακα και η διασύνδεση πολλαπλών ψηφιακών συστημάτων. Αντίθετα, ο ελληνικός κατασκευαστικός κλάδος αντιμετωπίζει ακόμη πιο βασικά ερωτήματα: σε ποια δημόσια έργα θα απαιτείται BIM, ποιο θα είναι το εθνικό πρότυπο εφαρμογής, πώς θα εκπαιδευτούν οι επαγγελματίες και ποια θα είναι τα πραγματικά κίνητρα επένδυσης για τις επιχειρήσεις.

Η ρεαλιστική εκτίμηση είναι ότι η ελληνική μετάβαση θα είναι σταδιακή και άنيση. Αυτό δεν οφείλεται αποκλειστικά στην έλλειψη τεχνολογίας, αλλά κυρίως στην απουσία ώριμων θεσμικών απαιτήσεων, κοινών προτύπων, κατάλληλων δεξιοτήτων και σαφών κινήτρων υιοθέτησης. Η Εθνική Στρατηγική BIM που αναπτύσσεται με την υποστήριξη της Ευρωπαϊκής Επιτροπής μπορεί να αποτελέσει κρίσιμο βήμα, υπό την προϋπόθεση ότι θα μεταφραστεί σε συγκεκριμένες απαιτήσεις, οδηγίες, διαδικασίες και μηχανισμούς υποστήριξης της αγοράς. Για την Ελλάδα, οι διεθνείς αυτές προοπτικές πρέπει να προσεγγίζονται ρεαλιστικά. Η βασική πρόκληση δεν είναι η άμεση υιοθέτηση όλων των αναδυόμενων τεχνολογιών, αλλά η δημιουργία σταθερής βάσης BIM, κοινών προτύπων πληροφορίας, θεσμικών απαιτήσεων και κατάλληλων δεξιοτήτων (European Commission, n.d.; European Commission, 2023).

8. Συμπεράσματα, Περιορισμοί και Προτάσεις

Το παρόν κεφάλαιο λειτουργεί συνθετικά και δεν εισάγει νέα ανάλυση. Συνθέτει τα ευρήματα των προηγούμενων κεφαλαίων, απαντά στα ερευνητικά ερωτήματα που τέθηκαν στην εισαγωγή, αναγνωρίζει τους περιορισμούς της εργασίας και διατυπώνει προτάσεις για φορείς πολιτικής, επιχειρήσεις, εκπαιδευτικά ιδρύματα και μελλοντικούς ερευνητές.

8.1 Σύνθεση ευρημάτων ανά ερευνητικό ερώτημα

EP1: Πώς εξελίχθηκε η διαχείριση τεχνικών έργων από τα χειρόγραφα σχέδια έως τα ολοκληρωμένα ψηφιακά συστήματα;

Η εξέλιξη από τη σχεδίαση με το χέρι έως τα ολοκληρωμένα ψηφιακά συστήματα δεν υπήρξε γραμμική. Αποτέλεσε διαδοχή τεχνολογικών μεταβάσεων, στις οποίες κάθε νέο εργαλείο δεν αντικαθιστούσε απλώς το προηγούμενο, αλλά μετέβαλλε τον τρόπο οργάνωσης και χρήσης της πληροφορίας. Η μετάβαση από τη σχεδίαση με το χέρι στο CAD μετέφερε τη γεωμετρία από το χαρτί στην οθόνη. Η μετάβαση από το CAD στο BIM, όμως, σηματοδότησε ουσιαστικότερη αλλαγή: από την παραγωγή σχεδίων στη διαχείριση δομημένης πληροφορίας. Παράλληλα, η ανεξάρτητη εξέλιξη των ERP συστημάτων δημιούργησε ένα δεύτερο ψηφιακό πεδίο, προσανατολισμένο στην οικονομική, διοικητική και επιχειρησιακή παρακολούθηση. Η σύγκλιση αυτών των δύο πεδίων αποτελεί σήμερα έναν από τους βασικούς άξονες του ψηφιακού μετασχηματισμού στη διοίκηση τεχνικών έργων.

EP2: Ποιες είναι οι βασικές διαστάσεις του BIM και υπό ποιες προϋποθέσεις λειτουργεί ως ολοκληρωμένη διαδικασία;

Το BIM λειτουργεί ως ολοκληρωμένη διαδικασία μόνο όταν υπερβαίνει τη γεωμετρική αναπαράσταση και αξιοποιείται ως κοινή, αξιόπιστη και δομημένη βάση πληροφορίας για όλους τους εμπλεκόμενους. Οι βασικές του διαστάσεις δεν περιορίζονται στο τρισδιάστατο μοντέλο, αλλά επεκτείνονται στον χρόνο, στο κόστος, στη λειτουργία, στη συντήρηση, στη βιωσιμότητα και στη διαχείριση του κύκλου ζωής του έργου. Οι προϋποθέσεις για την ουσιαστική αξιοποίηση του BIM είναι οργανωτικές και

πληροφοριακές: BIM Execution Plan, καθορισμένοι ρόλοι, κοινές κωδικοποιήσεις, σαφείς απαιτήσεις ανταλλαγής πληροφορίας και χρήση κοινών περιβαλλόντων δεδομένων. Σε αρκετές περιπτώσεις, η χρήση του BIM παραμένει περιορισμένη στη μοντελοποίηση, με αποτέλεσμα να μην αξιοποιείται πλήρως η αξία του ως μεθοδολογίας διαχείρισης πληροφορίας.

EP3: Πώς η ενοποίηση BIM–ERP επηρεάζει τη διοίκηση τεχνικών έργων;

Η ενοποίηση BIM–ERP επηρεάζει τη διοίκηση τεχνικών έργων σε τρία βασικά επίπεδα. Πρώτον, μειώνει την ανάγκη χειροκίνητης μεταφοράς δεδομένων μεταξύ τεχνικών και οικονομικών συστημάτων, περιορίζοντας ασυνέπειες, καθυστερήσεις και διπλές καταχωρίσεις. Δεύτερον, επιτρέπει πιο έγκαιρη και αξιόπιστη ενημέρωση προϋπολογισμών, προμηθειών, χρονοδιαγραμμάτων, πιστοποιήσεων και οικονομικής παρακολούθησης. Τρίτον, δημιουργεί τις προϋποθέσεις για πιο προληπτικές μορφές διοίκησης έργων, στις οποίες οι αποκλίσεις κόστους, χρόνου ή προόδου μπορούν να εντοπίζονται νωρίτερα. Ωστόσο, η αξία της ενοποίησης εξαρτάται από την ποιότητα των δεδομένων εισόδου, την τυποποίηση των διαδικασιών και τη σαφή κατανομή ευθυνών. Χωρίς αυτά, η τεχνική διασύνδεση μπορεί να οδηγήσει απλώς σε ταχύτερη αναπαραγωγή σφαλμάτων.

EP4: Ποιες δεξιότητες απαιτούνται και ποια εμπόδια ανακόπτουν την υιοθέτηση του BIM;

Η υιοθέτηση του BIM και, ακόμη περισσότερο, η ενοποίηση BIM–ERP απαιτούν υβριδικές δεξιότητες. Οι επαγγελματίες δεν αρκεί να γνωρίζουν μόνο τη λογική της μοντελοποίησης, αλλά χρειάζεται να κατανοούν τη διαχείριση πληροφορίας, το κόστος, τις προμήθειες, τον χρονικό προγραμματισμό, τα ERP συστήματα και τις ανάγκες διοικητικής πληροφόρησης. Το χάσμα μεταξύ εκπαίδευσης και αγοράς αποτελεί σημαντικό εμπόδιο, καθώς η εκπαίδευση συχνά εστιάζει στη χρήση λογισμικού, ενώ η αγορά απαιτεί ευρύτερη κατανόηση διαδικασιών και δεδομένων. Επιπλέον, το κόστος μετάβασης, η έλλειψη εκπαίδευσης, η αβεβαιότητα για την απόδοση της επένδυσης και η απουσία κοινών προτύπων επηρεάζουν ιδιαίτερα τις μικρομεσαίες επιχειρήσεις.

EP5: Ποιες είναι οι μελλοντικές κατευθύνσεις BIM–ERP–AI και πώς επηρεάζουν τον ανθρώπινο παράγοντα;

Οι βασικές μελλοντικές κατευθύνσεις κινούνται προς τη διοίκηση έργων βασισμένη σε δεδομένα. Η Γενετική TN και τα Μεγάλα Γλωσσικά Μοντέλα διερευνώνται ως εργαλεία αλληλεπίδρασης με BIM και IFC δεδομένα μέσω απλών γλωσσικών ερωτημάτων, τα Ψηφιακά Δίδυμα με υποστήριξη TN μπορούν να ενισχύσουν την προληπτική παρακολούθηση, ενώ η ενσωμάτωση δεδομένων άνθρακα συνδέει το BIM με τη βιωσιμότητα και την κυκλική οικονομία. Ωστόσο, οι εξελίξεις αυτές δεν καταργούν τον ανθρώπινο παράγοντα. Αντίθετα, μετατοπίζουν το περιεχόμενο της εργασίας από την απλή καταχώριση και τον χειροκίνητο συντονισμό προς την ερμηνεία δεδομένων, την εποπτεία συστημάτων, την αξιολόγηση κινδύνων και τη λήψη αποφάσεων. Ο κίνδυνος τεχνολογικής εξάρτησης και αποδυνάμωσης δεξιοτήτων παραμένει υπαρκτός, εάν η τεχνολογική υιοθέτηση δεν συνοδευθεί από εκπαίδευση και αναβάθμιση ρόλων.

8.2 Κεντρικά Συμπεράσματα

Από τη συνολική ανάλυση προκύπτουν τέσσερα βασικά συμπεράσματα.

Πρώτον, η αξία του BIM δεν βρίσκεται κυρίως στη γεωμετρία, αλλά στην πληροφορία. Οργανισμοί που επενδύουν σε λογισμικό χωρίς να αναδιοργανώνουν διαδικασίες, ρόλους και τρόπους συνεργασίας αξιοποιούν μόνο περιορισμένο μέρος των δυνατοτήτων του. Η πραγματική μετατόπιση συμβαίνει όταν το BIM γίνεται κοινή βάση αναφοράς για μελετητές, εργολάβους, οικονομικές υπηρεσίες, φορείς λειτουργίας και διοίκηση.

Δεύτερον, η BIM-ERP ενοποίηση είναι τεχνικά εφικτή, αλλά οργανωτικά απαιτητική. Το κρίσιμο ζήτημα δεν είναι μόνο η διασύνδεση συστημάτων, αλλά η τυποποίηση δεδομένων, η κοινή κωδικοποίηση, η εκπαίδευση, η αλλαγή ρόλων και η διαχείριση της μετάβασης. Χωρίς αυτές τις προϋποθέσεις, η τεχνική ενοποίηση δεν παράγει απαραίτητα αξία.

Τρίτον, η Ελλάδα βρίσκεται κυρίως σε στάδιο θεσμικής και οργανωτικής ωρίμανσης, με παράλληλες τεχνολογικές και εκπαιδευτικές ανάγκες. Η απόσταση από τις πρωτοπόρες χώρες δεν καλύπτεται μόνο με την αγορά λογισμικού, αλλά με εθνικό πλαίσιο, σαφείς απαιτήσεις δημοσίων έργων, πρότυπα πληροφορίας και συστηματική επένδυση σε δεξιότητες.

Τέταρτον, ο ανθρώπινος παράγοντας αποτελεί κρίσιμη μεταβλητή της ψηφιακής μετάβασης. Η τεχνολογία είναι διαθέσιμη. Η απόδοση του ψηφιακού μετασχηματισμού εξαρτάται, όμως, από το αν οι άνθρωποι διαθέτουν τις δεξιότητες, την υποστήριξη και τα κίνητρα για να αλλάξουν τον τρόπο εργασίας τους. Η επένδυση σε ανθρώπινο κεφάλαιο δεν είναι συμπλήρωμα της τεχνολογικής επένδυσης, αλλά προϋπόθεσή της.

Ο ψηφιακός μετασχηματισμός των κατασκευαστικών έργων δεν αποτελεί πλέον ζήτημα υιοθέτησης μεμονωμένων τεχνολογιών, αλλά ζήτημα ενοποίησης δεδομένων, διαδικασιών και ανθρώπων σε ένα κοινό πληροφοριακό οικοσύστημα. Το BIM λειτουργεί ως βάση αυτού του οικοσυστήματος, ενώ η ενοποίησή του με ERP, Ψηφιακά Δίδυμα και Τεχνητή Νοημοσύνη διαμορφώνει μία από τις βασικές κατευθύνσεις της σύγχρονης διοίκησης τεχνικών έργων.

8.3 Προτάσεις Πολιτικής και Πρακτικής

Για τους δημόσιους φορείς και το Υπουργείο Υποδομών, βασική προτεραιότητα αποτελεί η μετατροπή της Εθνικής Στρατηγικής BIM από θεσμική πρωτοβουλία σε λειτουργικό πλαίσιο εφαρμογής. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσα από σταδιακή ενσωμάτωση απαιτήσεων BIM σε δημόσιες συμβάσεις άνω συγκεκριμένου προϋπολογισμού, με σαφείς τεχνικές προδιαγραφές, οδηγίες εφαρμογής, εκπαιδευτική υποστήριξη και επαρκή χρόνο προσαρμογής για την αγορά.

Για τις κατασκευαστικές εταιρείες, η πρώτη προτεραιότητα δεν είναι η άμεση ενοποίηση BIM–ERP, αλλά η εδραίωση αξιόπιστων BIM διαδικασιών. Εταιρείες που δεν έχουν ακόμη οργανώσει ροές εργασίας, ρόλους, πρότυπα και απαιτήσεις πληροφορίας είναι πιθανό να μην αποκομίσουν ουσιαστικά οφέλη από την άμεση BIM–ERP ενοποίηση. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η προτεραιότητα πρέπει να είναι η εκπαίδευση, η τυποποίηση διαδικασιών, η ανάπτυξη BIM Execution Plans και η βελτίωση της ποιότητας των δεδομένων.

Για τα εκπαιδευτικά ιδρύματα και τους επαγγελματικούς φορείς, απαιτείται αναδιαμόρφωση της εκπαίδευσης πέρα από τη διδασκαλία λογισμικού. Η διαχείριση πληροφορίας, ο κύκλος ζωής έργου, το ISO 19650, η σύνδεση BIM με κόστος και ERP, καθώς και οι βασικές αρχές openBIM πρέπει να αποτελέσουν μέρος των προγραμμάτων σπουδών και επαγγελματικής κατάρτισης. Η ανάπτυξη εθνικού

πλαίσιου πιστοποίησης BIM θα μπορούσε να δημιουργήσει αναγνωρίσιμα προσόντα και ισχυρότερα κίνητρα για επένδυση σε σχετικές δεξιότητες.

Για τις μικρομεσαίες επιχειρήσεις, η υιοθέτηση BIM δεν χρειάζεται να ξεκινά με μεγάλες επενδύσεις ή πλήρη ψηφιακή μετάβαση. Η σταδιακή αξιοποίηση ανοικτών προτύπων, όπως το IFC, και η συμμετοχή σε έργα που απαιτούν BIM μπορούν να λειτουργήσουν ως πρακτικοί μηχανισμοί εξοικείωσης. Με αυτόν τον τρόπο, η μετάβαση μπορεί να γίνει πιο ελεγχόμενη, με μικρότερο κόστος και μικρότερο κίνδυνο τεχνολογικής εξάρτησης από έναν πάροχο.

8.4 Περιορισμοί της Εργασίας

Η παρούσα εργασία φέρει τρεις βασικούς περιορισμούς.

Πρώτος περιορισμός είναι ότι η εργασία δεν περιλαμβάνει πρωτογενή εμπειρική έρευνα μέσω ερωτηματολογίου ή συνεντεύξεων. Ως αποτέλεσμα, τα συμπεράσματα για την ελληνική πραγματικότητα βασίζονται σε δευτερογενείς πηγές, θεσμικά κείμενα, διαθέσιμη βιβλιογραφία και παραδείγματα εφαρμογής, και δεν μπορούν να γενικευθούν χωρίς περαιτέρω εμπειρική τεκμηρίωση.

Δεύτερον, οι μελέτες περίπτωσης βασίζονται σε δημόσια διαθέσιμη τεκμηρίωση. Σε ορισμένες περιπτώσεις, ιδίως στην ελληνική περίπτωση AKTOR/DANAOS, η διαθέσιμη πληροφορία προέρχεται κυρίως από εταιρικές ανακοινώσεις, χωρίς ανεξάρτητη ακαδημαϊκή επαλήθευση. Επομένως, τα ποσοτικά αποτελέσματα της BIM-ERP ενοποίησης δεν μπορούν να επαληθευτούν πλήρως σε επίπεδο συγκεκριμένων έργων.

Τρίτον, η εργασία εστιάζει στη σύνδεση BIM-ERP και στη συμβολή της στη διοίκηση τεχνικών έργων. Άλλες διαστάσεις του ψηφιακού μετασχηματισμού, όπως η ρομποτική εργοταξίου, η χρήση GIS σε αστικό επίπεδο, η κυβερνοασφάλεια, η αυτοματοποίηση παραγωγής και το lean construction, εξετάζονται μόνο περιφερειακά ή δεν αναλύονται εκτενώς.

8.5 Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα

Πρώτη και πιο άμεση κατεύθυνση αποτελεί η εμπειρική διερεύνηση του επιπέδου ψηφιακής ωριμότητας και των στάσεων των Ελλήνων επαγγελματιών απέναντι στο

BIM και στην BIM-ERP ενοποίηση. Μια τέτοια έρευνα θα επέτρεπε τη διασταύρωση των θεωρητικών συμπερασμάτων της παρούσας εργασίας με την πραγματικότητα της ελληνικής αγοράς και θα προσέφερε πιο σαφή εικόνα για τα εμπόδια, τα κίνητρα και τις προϋποθέσεις υιοθέτησης.

Δεύτερη κατεύθυνση είναι η ανάπτυξη τυποποιημένης μεθοδολογίας υπολογισμού της απόδοσης επένδυσης για την BIM-ERP ενοποίηση, ιδίως σε μικρομεσαίες επιχειρήσεις. Η έλλειψη σαφών εργαλείων αξιολόγησης του οφέλους αποτελεί σημαντικό εμπόδιο για την τεκμηρίωση της επενδυτικής αξίας του ψηφιακού μετασχηματισμού.

Τρίτη κατεύθυνση είναι η διαχρονική παρακολούθηση της ψηφιακής ωριμότητας του ελληνικού κατασκευαστικού κλάδου, καθώς εξελίσσεται η Εθνική Στρατηγική BIM. Μια τέτοια έρευνα θα μπορούσε να αξιολογήσει κατά πόσο οι θεσμικές παρεμβάσεις οδηγούν σε πραγματική αλλαγή πρακτικών ή παραμένουν σε επίπεδο τυπικής συμμόρφωσης.

Τέταρτη κατεύθυνση είναι η διερεύνηση των επιπτώσεων της TN και των Μεγάλων Γλωσσικών Μοντέλων στα επαγγελματικά προφίλ του κατασκευαστικού κλάδου. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το πώς μεταβάλλονται ρόλοι όπως ο BIM Manager, ο cost controller και ο project manager σε περιβάλλοντα όπου τα δεδομένα BIM, ERP και TN συνδέονται. Το ερώτημα αυτό δεν έχει ακόμη τεκμηριωθεί επαρκώς στη βιβλιογραφία και αποτελεί σημαντικό πεδίο μελλοντικής έρευνας.

Βιβλιογραφία

- Afana, O., Mosa, J., & Al-Shakhshir, W. (2024). Categories and factors of cost overrun in construction projects: A systematic literature review. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 14(6), 17861-17868. <https://doi.org/10.48084/etasr.9006>
- Autodesk University. (2024). Integrating Autodesk Construction Cloud Cost Management with ERP. Autodesk. <https://www.autodesk.com/autodesk-university/class/Integrating-Autodesk-Construction-Cloud-Cost-Management-with-ERP-2024>
- Ba, C., Liu, Z., Peh, L. L. C., & Tiong, R. L. K. (2024). Change management of organizational digital transformation: A proposed roadmap for BIM-enabled facilities management. *Buildings*, 14(1), Article 27. <https://doi.org/10.3390/buildings14010027>
- Baghalzadeh Shishehgharkhaneh, B., Keivani, R., Hosseini, M. R., Norouzi, M., & Martek, I. (2022). Internet of Things (IoT), Building Information Modeling (BIM), and Digital Twin (DT) in construction industry: A review, bibliometric, and meta-analysis. *Buildings*, 12(10), Article 1503. <https://doi.org/10.3390/buildings12101503>
- Bew, M., & Richards, M. (2008). Bew–Richards BIM maturity model. Construction Project Information Committee.
- Borkowski, A. S. (2023). Evolution of BIM: Epistemology, genesis and division into periods. *Journal of Information Technology in Construction*, 28, 646-661. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2023.034>
- BuildingSMART International. (n.d.). openBIM. buildingSMART International. <https://www.buildingsmart.org/about/openbim/>
- BuildingSMART International. (2024). Information Delivery Specification (IDS) 1.0. buildingSMART International. <https://www.buildingsmart.org/standards/bsi-standards/information-delivery-specification-ids/>
- Cabinet Office. (2011, May). Government construction strategy. HM Government. https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5a78ce8eed915d07d35b2933/Government-Construction-Strategy_0.pdf
- Chen, Y., Wang, X., Liu, Z., Cui, J., Osmani, M., & Demian, P. (2023). Exploring building information modeling (BIM) and Internet of Things (IoT) integration for sustainable building. *Buildings*, 13(2), Article 288. <https://doi.org/10.3390/buildings13020288>

- Construction Management. (2015, February 25). Farringdon station – Crossrail's BFK adopts BIMXtra. Construction Management. <https://constructionmanagement.co.uk/bimxtra-4d-bring5s-coordination-a8nd-efficiency/>
- Crossrail Limited. (n.d.). Building the station tunnels [Φωτογραφία]. Crossrail. <https://www.crossrail.co.uk/project/tunnelling/building-the-station-tunnels>
- Crossrail Limited. (2016). Crossrail project: Application of BIM and lessons learned. Crossrail Learning Legacy. <https://learninglegacy.crossrail.co.uk/documents/crossrail-project-application-of-bim-building-information-modelling-and-lessons-learned/>
- DANAOS Projects (2021, December 10). New client announcement in Greece: AKTOR. DANAOS Projects. <https://danaos-projects.com/new-client-announcement-in-greece-aktor/>
- DANAOS Projects (n.d.). ProjectVIEW ERP. Construction and engineering project management. DANAOS Projects. <https://danaos-projects.com/projectview-erp/>
- Eastman, C. M. (1975). The use of computers instead of drawings in building design. AIA Journal, 63(3), 46–50.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2008). BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors (1st ed.). Wiley.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors (2nd ed.). Wiley.
- EU BIM Task Group. (2017). Handbook for the introduction of Building Information Modelling by the European Public Sector. EU BIM Task Group. <http://www.eubim.eu/handbook/>
- European Commission. (2023, March). Construction transition pathway. European Commission, DG GROW. https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/construction/construction-transition-pathway_en
- European Commission. (n.d.). Establishment and promotion of a national BIM strategy in Greece. European Commission, Technical Support Instrument. https://reforms-investments.ec.europa.eu/technical-support-instrument-0/digital-transition/establishment-and-promotion-national-bim-strategy-greece_en

- European Parliament & Council of the European Union. (2024). Directive 2024/1275/EU on the energy performance of buildings (recast). Official Journal of the European Union. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ:L_202401275
- European Union Agency for Network and Information Security (ENISA). (2009). Cloud computing: Benefits, risks and recommendations for information security. ENISA. <https://www.enisa.europa.eu/publications/cloud-computing-risk-assessment>
- Eurostat. (2023). Businesses in the construction of buildings sector. Eurostat Statistics Explained. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Businesses_in_the_construction_of_buildings_sector
- Falk, B. H., & Tsoukalas, G. (2026). The AI layoff trap. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2603.20617>
- Galagali, A. A., Sandbhor, S., & Ruikar, K. (2024). A survey on enterprise resource planning and building information modeling integration: A Construction 4.0 perspective. Buildings, 14(10), Article 3165. <https://doi.org/10.3390/buildings14103165>
- Gharaibeh, L., Eriksson, K., & Lantz, B. (2024). Quantifying BIM investment value: A systematic review. Journal of Engineering, Design and Technology. <https://doi.org/10.1108/JEDT-06-2023-0259>
- Geospatial World. (2022). Nagpur Metro Rail Project use of drone and 5D BIM helps with efficient project delivery. Geospatial World. <https://geospatialworld.net/prime/case-study/aec/nagpur-metro-rail-projects-use-of-drone-and-5d-bim-helps-with-efficient-project-delivery-2/>
- Guo, F. (2026). AI-enabled digital twins in the built environment: A bibliometric review of applications, trends, and future directions. Buildings, 16(4), Article 809. <https://doi.org/10.3390/buildings16040809>
- Hickory. (n.d.). Projects. Retrieved July 4, 2026, from <https://www.hickory.com.au/projects/>
- Hickory Building Systems. (n.d.). Hickory Building Systems. Hickory Group. <https://www.hickory.com.au/hickory-building-systems/>
- Hickory Group. (n.d.). Prefabricated module assembly in 1 hour [Φωτογραφία]. Hickory. <https://www.hickory.com.au/news/prefabricated-module-assembly-in-1-hour/>
- Holzer, D. (2014). Fostering the link from PLM to ERP via BIM. In S. Fukuda, A. Bernard, B. Gurumoorthy, & A. Bouras (Eds.), Product Lifecycle Management for a Global
- Μεταπτυχιακή Διπλωματική εργασία

Market. PLM 2014. IFIP Advances in Information and Communication Technology (Vol. 442, pp. 75-84). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-45937-9_8

International Organization for Standardization. (2018). ISO 19650-1:2018. Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM). Information management using building information modelling. Part 1: Concepts and principles. (ISO Standard No. 19650-1:2018). <https://www.iso.org/standard/68078.html>

International Organization for Standardization. (2018). Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 2: Delivery phase of the assets (ISO Standard No. 19650-2:2018). <https://www.iso.org/standard/68080.html>

International Organization for Standardization. (2020). Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM). Information management using building information modelling. Part 5: Security-minded approach to information management (ISO Standard No. 19650-5:2020). <https://www.iso.org/standard/74206.html>

International Organization for Standardization. (2025). Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 6: Health and safety information (ISO Standard No. 19650-6:2025). <https://www.iso.org/standard/82705.html>

Junussova, T., Nadeem, A., Kim, J. R., Azhar, S., Khalfan, M., & Kashyap, M. (2022). Sustainable construction through resource planning systems incorporation into building information modelling. Buildings, 12(10), Article 1761. <https://doi.org/10.3390/buildings12101761>

Kanazawa, R., Hidaka, K., Miyamoto, T., Kato, T., Ando, T., Wang, C., Jiang, D., Fujita, N., Saitoh, S., Kondo, A., Arakawa, K., & Nishioka, D. (2026). Ishigaki-IDS-Bench: A benchmark for generating information delivery specification from BIM information requirements [Preprint]. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2605.22079>

Khan, M. A. (2022). Integrating BIM with ERP systems towards an integrated multi-user interactive database: Reverse-BIM approach. In M. S. Ranadive, B. B. Das, Y. A. Mehta, & R. Gupta (Eds.), Recent trends in construction technology and management:

Select proceedings of ACTM 2021 (Lecture Notes in Civil Engineering, Vol. 260, pp. 209–220). Springer Nature Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-19-2145-2>

Kutá, D., & Faltejsek, M. (2025). The role of artificial intelligence in the transformation of the BIM environment: Current state and future trends. *Applied Sciences*, 15(18), Article 9956. <https://doi.org/10.3390/app15189956>

Lau, M. P. B. (2026). A blockchain-integrated IoT–BIM platform for real-time carbon monitoring in modular integrated construction. *Buildings*, 16(8), Article 1587. <https://doi.org/10.3390/buildings16081587>

Lidelöw, S., Engström, S., & Samuelson, O. (2023). The promise of BIM? Searching for realized benefits in the Nordic architecture, engineering, construction, and operation industries. *Journal of Building Engineering*, 76, Article 107067. <https://doi.org/10.1016/j.job.2023.107067>

Lim, J. (2025). Integrated digital twin and BIM approach to minimize environmental loads for in-situ production and yard-stock management of precast concrete components. *Applied Sciences*, 15(17), Article 9846. <https://doi.org/10.3390/app15179846>

MarketsandMarkets. (2025). Building information modeling market by design and modeling software — Global forecast to 2030. MarketsandMarkets. <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/building-information-modeling-market-95037387.html>

McKinsey Global Institute. (2017, February 27). Reinventing construction through a productivity revolution. McKinsey & Company. <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/reinventing-construction-through-a-productivity-revolution>

Mell, P., & Grance, T. (2011). The NIST definition of cloud computing (NIST Special Publication 800-145). National Institute of Standards and Technology. <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-145>

Mischke, J., Stokvis, K., Vermeltfoort, K., & Biemans, B. (2024, August 9). Delivering on construction productivity is no longer optional. McKinsey & Company. <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/delivering-on-construction-productivity-is-no-longer-optional>

MIT Museum. (ca. 1963). Ivan Edward Sutherland runs Sketchpad on TX-2 computer [Φωτογραφία]. MIT Museum Collections. <https://mitmuseum.mit.edu/collections/object/GCP-00025349>

Mukkavaara, J., Jansson, G., & Olofsson, T. (2018). Structuring information from BIM: A glance at bills of materials. In 35th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2018), Berlin, Germany. IAARC. <https://www.iaarc.org/publications/fulltext/ISARC2018-Paper087.pdf>

National Audit Office. (2021). Completing Crossrail. National Audit Office. <https://www.nao.org.uk/reports/crossrail/>

Netsmartz LLC. (n.d.). Procore integration for Business Central. Microsoft AppSource. <https://marketplace.microsoft.com/en-us/product/dynamics-365-business-central/pubid.netsmartzllc1706194940638>

Oracle. (2017, December 17). Oracle buys Aconex [Press release]. Oracle Corporate Communications. <https://www.oracle.com/corporate/pressrelease/oracle-buys-aconex-121717.html>

Oracle. (2019, April 24). Oracle powers full BIM model coordination for design and construction teams [Press release]. Oracle Newsroom. <https://www.oracle.com/corporate/pressrelease/oracle-powers-full-bim-model-coordination-042419.html>

Oracle. (n.d.a). Aconex construction project management software. Oracle. <https://www.oracle.com/construction-engineering/aconex/>

Oracle. (n.d.b). Oracle Aconex Model Coordination Cloud Service [Datasheet]. Oracle. <https://www.oracle.com/a/ocom/docs/industries/construction-engineering/aconex-model-coordination-cs-ds.pdf>

Osorio-Gómez, C. C., Herrera, R. F., Prieto-Osorio, J. M., & Pellicer, E. (2024). Conceptual model for implementation of digital transformation and organizational structure in the construction sector. Ain Shams Engineering Journal, 15(7), Article 102749. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2024.102749>

Rare Historical Photos. (n.d.). Life before AutoCAD, 1950–1980 [Photograph]. Rare Historical Photos. <https://rarehistoricalphotos.com/life-before-autocad-1950-1980/>

RIB Software. (n.d.). Digital project management for Nagpur Metro in India. RIB Software. <https://www.rib-software.com/en/blogs/5d-bim-erp-nagpur-metro>

- Royal Institution of Chartered Surveyors. (2026, March). RICS construction productivity report 2026. RICS. <https://www.rics.org/news-insights/rics-construction-productivity-report-2026>
- Sacks, R., Brilakis, I., Pikas, E., Xie, H. S., & Girolami, M. (2020). Construction with digital twin information systems. *Data-Centric Engineering*, 1, Article e14. <https://doi.org/10.1017/dce.2020.16>
- Sacks, R., Eastman, C., Lee, G., & Teicholz, P. (2018). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, designers, engineers, contractors, and facility managers* (3rd ed.). Wiley.
- Sacks, R., Lee, G., Burdi, L., & Bolpagni, M. (2025). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, designers, engineers, contractors, and facility managers* (4th ed.). Wiley. ISBN 978-1394222223
- Senate Properties. (2007). *BIM requirements 2007*. Senaatti-kiinteistöt. <https://web.archive.org/web/20110720193503/http://www.senaatti.fi/document.asp?siteID=2&docID=517>
- SAP. (2022). SAP history. SAP SE. <https://www.sap.com/about/company/history.html>
- Sutherland, I. E. (1963). *Sketchpad: A man-machine graphical communication system* [Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology, Department of Electrical Engineering]. MIT DSpace. <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/14979>
- Valdebenito, R., & Forcael, E. (2025). Integrating artificial intelligence and BIM in construction: Systematic review and quantitative comparative analysis. *Applied Sciences*, 15(23), Article 12470. <https://doi.org/10.3390/app152312470>
- Wang, T., & Chen, H. M. (2023). Integration of building information modeling and project management in construction project life cycle. *Automation in Construction*, 150, Article 104832. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104832>
- World Economic Forum. (2025). The future of jobs report 2025. World Economic Forum. <https://www.weforum.org/publications/the-future-of-jobs-report-2025/>
- Ye, Z., Antwi-Afari, M. F., Tezel, A., & Manu, P. (2025). Building information modeling (BIM) in project management: A bibliometric and science mapping review.

Engineering, Construction and Architectural Management, 32(5), 3078–3103.
<https://doi.org/10.1108/ECAM-04-2023-0355>

Ελληνική Δημοκρατία. (2016). Νόμος 4412/2016: Δημόσιες συμβάσεις έργων, προμηθειών και υπηρεσιών (προσαρμογή στις Οδηγίες 2014/24/ΕΕ και 2014/25/ΕΕ). Φύλλο Εφημερίδας της Κυβερνήσεως 147/Α/8-8-2016.