



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ»

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

***Ολοκληρωμένη Επισκόπηση του Εικονικού Σχεδιασμού και Κατασκευής στον
Κατασκευαστικό Κλάδο κα η Αξία του Στοιχείου BIM***

Μεταπτυχιακός Φοιτητής: ***Μυρτώ Μαρία Καμπιτάκη***

Επιβλέπων Καθηγητής: ***Μαρίνα Μαρινέλλη, Επίκουρη Καθηγήτρια, ΕΜΠ***

Ημερομηνία: ***Οκτώβριος 2025***

Περίληψη

Ο κατασκευαστικός κλάδος, παρά το μέγεθός του και τη συνεισφορά του στο παγκόσμιο ΑΕΠ, εξακολουθεί να παρουσιάζει διαχρονικές ανεπάρκειες οι οποίες απορρέουν, μεταξύ άλλων, από τη φύση των κατασκευαστικών έργων. Η μοναδικότητα, η πολυπλοκότητα και ο μεγάλος αριθμός ενδιαφερόμενων μερών που τα χαρακτηρίζουν, σε συνδυασμό με ένα συνεχώς μεταβαλλόμενο εξωγενές περιβάλλον, εντείνουν τα φαινόμενα υπερβάσεων κόστους και χρόνου και καθιστούν δύσκολη την τυποποίηση διαδικασιών και πρακτικών. Παράλληλα η αυξημένη πρόσβαση σε εξειδικευμένη πληροφορία, το πλήθος δεδομένων και τα διαθέσιμα τεχνολογικά εργαλεία, φαίνεται να ανοίγουν έναν ορίζοντα δυνατοτήτων στη βελτίωση της υπάρχουσας κατάστασης, ωστόσο ο τρόπος που αξιοποιούνται είναι καθοριστικός. Χωρίς ένα συνολικό πλαίσιο οργάνωσης και διαχείρισης, η αποσπασματική χρήση τεχνολογιών και η μη στοχευμένη πλοήγηση στο σύγχρονο περιβάλλον δεδομένων, δύνανται να ενισχύσουν την πολυπλοκότητα.

Σε αυτό το πλαίσιο, ο Εικονικός Σχεδιασμός και Κατασκευή (Virtual Design and Construction–VDC) έχει αναδυθεί ως ένα ολοκληρωμένο διαχειριστικό πλαίσιο που συνδυάζει την ψηφιακή μοντελοποίηση με τη συνεργατική οργάνωση και την επιστήμη της παραγωγής. Στόχος του είναι η παραγωγή όσο το δυνατόν πιο προβλέψιμων έργων ως προς τη συμπεριφορά, προσανατολισμένων στη μεγιστοποίηση της αξίας και με μετρήσιμη απόδοση.

Το VDC βασίζεται στη θεωρία συστημάτων και οργανισμών, αντιμετωπίζοντας τα κατασκευαστικά έργα ως ανοικτά, προσαρμοστικά συστήματα και ως προσωρινούς οργανισμούς αποτελούμενους από αλληλεξαρτώμενους παράγοντες, εταίρους, στόχους και ροές εργασίας. Η προσέγγιση του Virtual Design Team (VDT) υπήρξε μια πρώιμη υπολογιστική μετάφραση της επικοινωνιακής ικανότητας των ομάδων έργου, των εξαρτήσεων μεταξύ εργασιών και των καθυστερήσεων στη λήψη αποφάσεων. Το VDC έχοντας τις καταβολές του εκεί, γενικεύει τις αρχές από τις ομάδες σχεδιασμού σε ολόκληρο το οικοσύστημα του έργου.

Μέσα σε αυτό το εννοιολογικό πλαίσιο, το μοντέλο Product-Organization-Process (POP) αποτελεί τη θεωρητική βάση του VDC και περιλαμβάνει: το προϊόν (τι κατασκευάζεται), τον οργανισμό (ποιοι



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ»

συνεργάζονται και αποφασίζουν) και τις διαδικασίες (πώς ρέει η εργασία). Κάθε συνιστώσα ορίζεται από τη μορφή, τη λειτουργία και τη συμπεριφορά της στις επιθυμητές, προβλεπόμενες και παρατηρούμενες καταστάσεις, επιτρέποντας τη σύγκριση μεταξύ πρόθεσης, πρόβλεψης και πραγματικού αποτελέσματος. Η δομή αυτή δεν είναι απλώς περιγραφική αλλά θεμελιώνει μια μεθοδολογία μοντελοποίησης που ευνοεί την προσομοίωση, τον συντονισμό και τη μέτρηση.

Εξετάζονται τα τρία στοιχεία που συνθέτουν το VDC. Το BIM τοποθετείται ως η ψηφιακή αναπαράσταση του Product αποτελώντας ένα αντικειμενοστραφές, παραμετρικό μοντέλο δεδομένων που υποστηρίζει την οπτικοποίηση, την ανάλυση και τη διαχείριση πληροφοριών καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του έργου. Οι ιδιότητες των αντικειμένων του BIM (γεωμετρία, σημασιολογική πληρότητα, μοναδικότητα δεδομένων) και οι οργανωτικές του διαστάσεις (κοινόχρηστα περιβάλλοντα, διακυβέρνηση, διασφάλιση ποιότητας) δημιουργούν ένα υπόβαθρο για λήψη αποφάσεων βάσει των παρεχόμενων δεδομένων. Χωρίς όμως οργανωτικά πρωτόκολλα και έλεγχο, ανάγεται σε ένα αποθετήριο δεδομένων. Το ICE προσφέρει τον οργανωτικό μηχανισμό για ταχεία λήψη αποφάσεων με υψηλή ακρίβεια. Περιλαμβάνει συνεδρίες διαζώσης ή εικονικών ομάδων ("Big Room"), ημερήσιες διατάξεις, σαφείς ρόλους και δικαιοδοσίες, συνεργασία σε κοινά μοντέλα και επιτρέπει έτσι την ταχεία σύγκλιση σε σταθερές, τεκμηριωμένες αποφάσεις μειώνοντας παράλληλα την ανάγκη για ανατροφοδότηση και επαναλήψεις. Το PPM παρέχει την επιστήμη των διαδικασιών: αντλώντας από τη θεωρία λειτουργιών και το Lean, επιδιώκει την προβλέψιμη ροή, εξισορροπώντας δυναμικότητα, αποθέματα και μεταβλητότητα, αντιμετωπίζοντας την κατασκευή ως σύστημα παραγωγής και όχι ως αλληλουχία μεμονωμένων δραστηριοτήτων. Η αλληλεπίδραση του BIM (Product), του ICE (Organization) και του PPM (Process) υλοποιεί το μοντέλο POP στην πράξη.

Η εργασία επιχείρησε να διαχωρίσει σαφώς το BIM από το VDC. Το BIM αποτελεί το μοντέλο του προϊόντος με όλη την πληροφορία για αυτό, ενώ το VDC είναι το διαχειριστικό πλαίσιο που εμπλέκει το προϊόν με τον οργανισμό και τις διαδικασίες παρακολουθώντας την απόδοση με μετρήσιμους στόχους. Επιπλέον εξερευνήθηκε το κομμάτι των μετρικών και ελέγχιμων παραγόντων που αποτελεί διαχειριστικό πυρήνα του VDC και επικυρώνει την προσπάθεια τυποποίησης της κατασκευής, μέσω επιλογής κατάλληλων μετρικών που αντικατοπτρίζουν τους στόχους του έργου.

Έτσι, εξετάζεται περαιτέρω και ο ισχυρός προσανατολισμός του VDC στην απόδοση. Οι μετρικές ορίζονται ως πτυχές της επίδοσης που μπορούν και πρέπει να καταγράφονται συχνά, επιτρέποντας στις ομάδες να αξιολογούν και να επηρεάζουν ακόμη και τις διοικητικές αποφάσεις ώστε αυτές να αντικατοπτρίζουν τους στόχους του έργου. Διακρίνονται οι ελέγξιμοι παράγοντες, δηλαδή οι αποφάσεις και συμπεριφορές που βρίσκονται εντός της επιρροής της ομάδας, όπως η συμμετοχή σε ICE συναντήσεις. Στον αντίποδα βρίσκονται εξωγενείς περιορισμοί όπως οι καιρικές συνθήκες ή η θέση του έργου τα οποία δεν μπορούν να ελεγχθούν με ενέργειες. Η χαρτογράφηση των μετρικών στα στοιχεία POP/VDC επιτρέπει τον προσδιορισμό προληπτικών δεικτών (leading indicators) που αντικατοπτρίζουν την ποιότητα συντονισμού και το αποδοτικότητα παραγωγής αντί τις αξιολόγησης εκ των υστέρων. Ενδεικτικά σε αντιστοίχιση με τα στοιχεία του VDC εντοπίζονται:



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ»

- *BIM μετρικές* όπως ο Δείκτης Ωριμότητας Μοντέλου (MMI), η καθυστέρηση ενημερώσεων, ο ρυθμός επίλυσης συγκρούσεων, τα Request for Information (RFI) λόγω έλλειψης πληροφορίας.
- *ICE μετρικές* όπως η καθυστέρηση λήψης αποφάσεων/ανταπόκρισης, η αποδοτικότητα και αποτελεσματικότητα συνεδριών ICE, το ποσοστό τήρησης δεσμεύσεων (Percentage-Plan-Complete - PPC).
- *PPM μετρικές* όπως η συμμόρφωση με το χρονοδιάγραμμα εργασιών, το ποσοστό επισκευών/επανεργασιών, η ανάλυση των αιτιών των τυχόν αποκλίσεων.

Η εργασία εξετάζει επιπλέον και έναν τρόπο παρακολούθησης της ίδιας της VDC διαδικασίας, σε επίπεδο διακυβέρνησης ενώ συνθέτει και μια ταξινόμηση που παραθέτει τις μετρικές παραγωγής της βιβλιογραφίας με τα στοιχεία POP/VDC, δημιουργώντας ένα πλαίσιο ταξινόμησης και εννοιολογικής αντιστοίχισης.

Αναδεικνύεται ακόμη η ισχυρή εννοιολογική και πρακτική συνάφεια μεταξύ VDC και Lean Construction. Οι αρχές του Lean για μέγιστη αξία και εξάλειψη σπατάλης ενσωματώνονται στις πρακτικές του VDC: ο εντοπισμός συγκρούσεων και ο 4D/5D προγραμματισμός μειώνουν τις ανακατασκευές/επιδιορθώσεις, οι συνεδρίες ICE προάγουν την έγκαιρη εμπλοκή των συμμετεχόντων και την ολοκληρωμένη ταυτόχρονη εργασία, ενώ το PPM θεμελιώνει τον έλεγχο ροής και τη διαχείριση μεταβλητότητας. Εμφανής είναι η αντιστοιχία και με το PDCA: οι μετρικές εκφράζουν το “Check”, οι ελέγξιμοι παράγοντες το “Act”, και τα ψηφιακά μοντέλα το “Plan/Do”. Αναλύεται ακόμη η συγγένεια του VDC με το Integrated Project Delivery (IPD) ως την πλέον σχετική μέθοδο υλοποίησης έργου σε συμβατικό και διαδικαστικό επίπεδο. Μέσω συμβάσεων πολλαπλών μερών, κοινής κατανομής κινδύνου/οφέλους και διαφάνειας, δημιουργεί το απαραίτητο υπόβαθρο για τις συνεργασίες και την επίδοση που απαιτεί το VDC. Έρχεται έτσι σε αντίθεση με τα παραδοσιακά περιβάλλοντα Design–Bid–Build που περιορίζουν τα οφέλη του VDC, αποσυνδέοντας κίνητρα και στόχους και δημιουργώντας πληροφοριακά χάσματα ανάμεσα σε ειδικότητες. Πρόκειται για ένα αμοιβαία ενισχυόμενο σύστημα, όπου το Lean ορίζει τις αρχές (π.χ. μείωση σπατάλης πόρων), το IPD εναρμονίζει τα κίνητρα και επιμερίζει τις ευθύνες, ενώ το VDC παρέχει την πληροφοριακή υποδομή και τις μεθόδους υλοποίησης.

Διερευνώνται και οι απόπειρες ερμηνείας του VDC από κυβερνήσεις και άλλους φορείς. Εξετάζεται το καινοτόμο παράδειγμα της Σιγκαπούρης, που συνέθεσε πρακτικές οδηγίες εφαρμογής προσαρμοσμένες στην εγχώρια κατασκευαστική πραγματικότητα. Ακόμη σχολιάζονται ορισμένες αποσπασματικές απόπειρες καθορισμού απαιτήσεων αλλά και ερμηνείας του πλαισίου. Η συγκριτική ανάλυση δείχνει ότι ο Οδηγός VDC της Σιγκαπούρης μεταφράζει το ακαδημαϊκό πλαίσιο στην ακόλουθη δομή-ιεραρχία: στόχοι → αντικειμενικοί σκοποί → δραστηριότητες → δείκτες → μετρικές. Επιπλέον ενσωματώνει τη συνέχεια δεδομένων καθ’ όλο τον κύκλο ζωής και προβλέπει συντονισμό ήδη από το στάδιο διαγωνισμού. Οι απαιτήσεις ιδιοκτητών και φορέων έργων (όπως πρότυπα BEP, RACI, CDE) επαναπροσδιορίζουν το VDC ως μηχανισμό διαχείρισης σε επίπεδο προγράμματος: ο κύριος του έργου ορίζει στόχους, KPIs και πρότυπα πληροφόρησης, ενώ οι ομάδες εκτέλεσης τα εφαρμόζουν στο πλαίσιο αυτό.

Η εργασία υιοθετεί την επέκταση POPi, προσθέτοντας τη διάσταση της τεχνολογικής υποδομής – infrastructure στο POP αναδεικνύοντας τον ρόλο της τεχνολογίας στη λειτουργική εφαρμογή του VDC. Το BIM λειτουργεί ως κόμβος που συνδέει τις καινοτόμες τεχνολογίες και επιτρέπει να ενσωματωθούν και να



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ»

ωφελήσουν τη VDC διαδικασία. Η συνεργασία μέσω τεχνολογιών νέφους (cloud), η αξιοποίηση επαυξημένης και εικονικής πραγματικότητας (AR/VR), αισθητήρων διαδικτύου των πραγμάτων (IoT), ψηφιακών διδύμων και αναλυτικών εργαλείων τεχνητής νοημοσύνης, ενισχύουν τη συνεργασία, την κατανόηση και την ικανότητα πρόβλεψης και πρόληψης κινδύνων. Οι ροές δεδομένων μετασχηματίζονται σε απεικονίσεις που υποστηρίζουν την ερμηνεία της πληροφορίας και διευκολύνουν την πρόσβαση σε αξιόπιστα και κοινά δεδομένα.

Η τεχνολογική υποδομή, ως τέταρτη διάσταση του μοντέλου POPI, ενισχύει την αρχική υπόσχεση του VDC: συχνότερους και τεκμηριωμένους κύκλους συντονισμού μέσω ICE, ταχύτερη ανίχνευση αποκλίσεων μέσω PPM, και αξιόπιστη πληροφόρηση για το μοντέλο-προϊόν μέσω BIM. Στο πλαίσιο της Κατασκευής 4.0, οι εξελίξεις αυτές επαναπροσδιορίζουν το οικοσύστημα του VDC, με το στοιχείο infrastructure να δρα ως επιταχυντής και πολλαπλασιαστής της λειτουργικής του ικανότητας. Επεκτείνει τη συνεργατική δυναμική των ομάδων, επιτρέπει αποτελεσματικότερο προληπτικό έλεγχο και προσφέρει διαδραστικά dashboards για κατανόηση και διαχείριση ζητημάτων σε πραγματικό χρόνο.

Τελικώς η παρούσα μελέτη ενώ διακρίνει το BIM από το VDC, αναγνωρίζει τον καθοριστικό, διττό ρόλο του μέσα στο διαχειριστικό αυτό πλαίσιο. Πρώτον ως του μοντέλου πληροφορίας γύρω από το οποίο στήνεται το συνεργατικό οικοσύστημα του VDC και δεύτερον ως του κόμβου της τεχνολογίας που επιτρέπει την ενσωμάτωση και αξιοποίησή της. Παρατηρείται ότι η Σιγκαπούρη αποτελεί την εξαίρεση στη θεσμοθέτηση κυβερνητικών οδηγιών. Σε άλλες χώρες που υιοθετούν το εν λόγω διαχειριστικό πλαίσιο, όπως οι Ηνωμένες Πολιτείες και η Νορβηγία η διάδοση προκύπτει από συνεργασία πανεπιστημίων και κατασκευαστικού κλάδου.

Για την ευρύτερη υιοθέτηση του VDC και εκμετάλλευση των οφελών που απορρέουν από αυτό, προτείνεται η ανάπτυξη εθνικών ή περιφερειακών οδηγιών που θα βασίζονται σε κοινούς ορισμούς, δομημένες μετρικές αποτίμησης και σαφή κριτήρια ωριμότητας. Επιπλέον, απαιτείται η θέσπιση πολιτικών κινήτρων και εκπαιδευτικών πλαισίων κατάρτισης που θα ενισχύουν τις οργανωτικές ικανότητες των φορέων του κατασκευαστικού τομέα ώστε να αξιοποιούν πλήρως τα ψηφιακά εργαλεία και τις αρχές του VDC. Μόνο υπό τέτοιες προϋποθέσεις, το VDC μπορεί να αποτελέσει τον κεντρικό μηχανισμό του ψηφιακού και οργανωτικού μετασχηματισμού του κατασκευαστικού κλάδου, μετατρέποντας την τεχνολογική καινοτομία σε μετρήσιμη αξία.