



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

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Παραγωγικότητα και Κατανάλωση Δομικών Μηχανημάτων στο Πλαίσιο της Βιομηχανίας 4.0

Μεταπτυχιακός Φοιτητής: **Θεοδώρα Σόρκου**

Επιβλέπων Καθηγητής: **Κωνσταντίνος Κηρυττόπουλος, Καθηγητής, ΕΜΠ**

Ημερομηνία: **Οκτώβριος 2025**

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία διερευνά τη σύνθετη και δυναμική σχέση μεταξύ της παραγωγικότητας και της κατανάλωσης καυσίμου στα δομικά μηχανήματα, εντός του μετασχηματιστικού πλαισίου της Βιομηχανίας 4.0. Ο κατασκευαστικός κλάδος, ως ένας από τους πιο ενεργοβόρους και πολύπλοκους τομείς της βιομηχανικής δραστηριότητας, αντιμετωπίζει σήμερα μια διττή πρόκληση: από τη μία, την ανάγκη αύξησης της αποδοτικότητας και μείωσης του κόστους λειτουργίας, και από την άλλη, την υποχρέωση υιοθέτησης βιώσιμων και περιβαλλοντικά υπεύθυνων πρακτικών.

Σε αυτό το πλαίσιο, η έρευνα εστιάζει στον ρόλο που διαδραματίζουν οι ψηφιακές τεχνολογίες, όπως το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things – IoT), τα Κυβερνο-Φυσικά Συστήματα (Cyber-Physical Systems – CPS), οι αισθητήρες και η ανάλυση δεδομένων, στη βελτίωση της επιχειρησιακής αποτελεσματικότητας των εκσκαφών και άλλων δομικών μηχανημάτων. Η ενσωμάτωση των τεχνολογιών αυτών συμβάλλει στη δημιουργία ενός «έξυπνου» οικοσυστήματος, όπου οι μηχανές δεν λειτουργούν απομονωμένα, αλλά αλληλεπιδρούν με τον άνθρωπο και το περιβάλλον, ανταλλάσσοντας πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο.

Η μελέτη ακολουθεί μια προσέγγιση μικτών μεθόδων (mixed-methods), συνδυάζοντας την ποιοτική ανάλυση εμπειρικών δεδομένων με την τεχνοοικονομική προσέγγιση της αξιολόγησης κόστους-απόδοσης. Στόχος της είναι να γεφυρώσει το χάσμα μεταξύ της θεωρητικής βελτιστοποίησης της απόδοσης των μηχανημάτων και των πραγματικών συνθηκών λειτουργίας στα εργοτάξια. Μέσα από αυτό το διπλό πρίσμα, η εργασία επιδιώκει να προσφέρει πρακτικά συμπεράσματα και στρατηγικές κατευθύνσεις που μπορούν να υποστηρίξουν τη λήψη αποφάσεων σε τεχνικό, ενεργειακό και οικονομικό επίπεδο.

Στο ποιοτικό σκέλος, πραγματοποιήθηκαν ημι-δομημένες συνεντεύξεις με έμπειρους χειριστές εκσκαφών και τεχνικούς πεδίου, με στόχο τη συλλογή γνώσεων από την πράξη σχετικά με:

- τις καθημερινές προκλήσεις κατά τη χρήση των μηχανημάτων,
- τις αντιλήψεις για τη χρησιμότητα και αξιοπιστία των αισθητήρων,
- τα εμπόδια που δυσκολεύουν την υιοθέτηση νέων τεχνολογιών, και



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

- τον καθοριστικό ρόλο της εκπαίδευσης και της ανθρώπινης προσαρμοστικότητας.

Η ποιοτική ανάλυση αποκάλυψε ότι, παρά την πρόοδο των συστημάτων αυτόματης παρακολούθησης, η ανθρώπινη εμπειρία και κρίση παραμένουν καθοριστικές. Οι χειριστές θεωρούν ότι η τεχνολογία πρέπει να λειτουργεί συμπληρωματικά και όχι αντικαταστατικά, ενώ δίνουν έμφαση στην ανάγκη για φιλικά προς τον χρήστη (user-friendly) περιβάλλοντα διεπαφής. Αυτή η παρατήρηση ενισχύει τη θέση ότι η συνέργεια ανθρώπου και μηχανής είναι ο καταλύτης για τη βιώσιμη βελτίωση της παραγωγικότητας.

Στο τεχνικοοικονομικό σκέλος, η εργασία παρουσιάζει ένα ενδεικτικό παράδειγμα εφαρμογής (Applied Example) που βασίζεται στον εκσκαφέα Liebherr A 920 Litronic, ένα σύγχρονο μηχάνημα με ενσωματωμένα συστήματα αισθητήρων. Οι αισθητήρες αυτοί παρακολουθούν κρίσιμες μεταβλητές όπως η κατανάλωση καυσίμου, το φορτίο, οι δονήσεις, η ταχύτητα και η κατάσταση των υγρών λειτουργίας. Μέσω της επεξεργασίας αυτών των δεδομένων, είναι δυνατή η εξαγωγή χρήσιμων δεικτών για την αξιολόγηση της απόδοσης του μηχανήματος υπό διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας.

Η μελέτη αξιοποιεί μια προσέγγιση τεchnοοικονομικής εκτίμησης (techno-economic evaluation), εμπνευσμένη από τις αρχές της Ανάλυσης Κόστους Κύκλου Ζωής (Life Cycle Cost Analysis – LCCA), ώστε να αποτιμηθούν η ενεργειακή κατανάλωση, τα λειτουργικά κόστη και η συντήρηση. Αν και η ανάλυση δεν βασίζεται σε πρωτογενή οικονομικά δεδομένα, δείχνει πώς η αξιοποίηση των πληροφοριών των αισθητήρων μπορεί να οδηγήσει σε πιο στοχευμένη και αποδοτική διαχείριση πόρων. Η προσέγγιση αυτή συνδέεται άμεσα με διεθνή πρότυπα ενεργειακής αποδοτικότητας, όπως το ISO 50001, το οποίο θέτει τις βάσεις για τη συστηματική διαχείριση της ενέργειας και την παρακολούθηση των εκπομπών.

Η βιβλιογραφική ανασκόπηση της έρευνας εξετάζει διεξοδικά τη συμβολή των αισθητήρων στην αναμόρφωση της κατασκευαστικής βιομηχανίας. Οι σύγχρονες τεχνολογίες, όπως οι αισθητήρες καυσίμου, βάρους, δόνησης, ταχύτητας και λαδιού, μετατρέπουν τον εκσκαφέα σε μια ψηφιακά ενοποιημένη πλατφόρμα, η οποία συνδυάζει μηχανική ακρίβεια με δεδομένα σε πραγματικό χρόνο. Αυτό το σύστημα επιτρέπει την προληπτική και προγνωστική συντήρηση (predictive maintenance), τη βελτιστοποίηση των κύκλων εργασίας, και τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου, με άμεσο οικονομικό και περιβαλλοντικό όφελος.

Η έρευνα ταξινομεί τους παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγικότητα ενός εκσκαφέα σε τρεις κύριες κατηγορίες:

1. Περιβαλλοντικοί Παράγοντες: Το είδος και η κατάσταση του εδάφους, οι καιρικές συνθήκες και η γεωμετρία του εργοταξίου καθορίζουν τη δυσκολία της εκσκαφής και την απαιτούμενη ισχύ. Η ανάλυση δεδομένων από αισθητήρες μπορεί να προβλέψει τις ενεργειακές απαιτήσεις και να υποδείξει βέλτιστες στρατηγικές εκσκαφής.
2. Τεχνικοί Παράγοντες: Η συντήρηση, η ηλικία, το βάρος και η τεχνολογική ωριμότητα του μηχανήματος επιδρούν στη συνολική του απόδοση. Η εισαγωγή προγνωστικών συστημάτων συντήρησης μειώνει τα προγραμματισμένα downtime και επεκτείνει τον χρόνο ζωής των εξαρτημάτων.



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

3. Ανθρώπινος Παράγοντας: Η εμπειρία, η δεξιότητα και η εκπαίδευση του χειριστή καθορίζουν το πώς αξιοποιείται η τεχνολογία. Η εργασία αναδεικνύει ότι η τεχνολογία χωρίς κατάλληλη εκπαίδευση δεν αποδίδει, ενώ η συνδυαστική αξιοποίηση εμπειρίας και δεδομένων οδηγεί σε μέγιστη αποδοτικότητα.

Αυτές οι βελτιώσεις ενισχύουν τη βιωσιμότητα, την ανταγωνιστικότητα και την περιβαλλοντική υπευθυνότητα των εργοταξίων. Παράλληλα, η αξιοποίηση των δεδομένων αισθητήρων επιτρέπει προγνωστική λήψη αποφάσεων (predictive decision-making), μειώνοντας την αβεβαιότητα και αυξάνοντας την αξιοπιστία του εξοπλισμού.

Η εργασία υπογραμμίζει τη σημασία της ψηφιακής ενοποίησης (digital integration) ως τον βασικό μοχλό μετάβασης προς τη νέα εποχή της κατασκευής. Οι αισθητήρες, τα δίκτυα επικοινωνίας και η τεχνητή νοημοσύνη συνθέτουν ένα οικοσύστημα «έξυπνων εργοταξίων», όπου οι αποφάσεις βασίζονται σε δεδομένα και όχι σε υποθέσεις. Η ενοποίηση αυτών των τεχνολογιών δεν είναι αυτοσκοπός, αλλά στρατηγική επιλογή που ενισχύει τη διαφάνεια, την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητα.

Ωστόσο, η μετάβαση αυτή δεν είναι χωρίς προκλήσεις. Το κόστος ενσωμάτωσης, η ανάγκη για εξειδικευμένη εκπαίδευση και η αντίσταση στην αλλαγή αποτελούν σημαντικά εμπόδια. Η εργασία επισημαίνει την ανάγκη για προσαρμόσιμες και προσιτές λύσεις, ειδικά για μικρομεσαίες επιχειρήσεις (ΜΜΕ), οι οποίες αποτελούν τη ραχοκοκαλιά του κατασκευαστικού τομέα. Η σταδιακή εισαγωγή τεχνολογιών μέσω αναβάθμισης υπάρχοντος εξοπλισμού (retrofitting) προσφέρει έναν ρεαλιστικό δρόμο προς τον ψηφιακό μετασχηματισμό, χωρίς την ανάγκη άμεσης αντικατάστασης μηχανημάτων.

Η συμβολή της παρούσας διπλωματικής έγκειται στο ότι αναδεικνύει τη συνέργεια μεταξύ τεχνολογίας και ανθρώπινης εμπειρίας. Ενώ η τεχνολογία παρέχει την πληροφορία, η ανθρώπινη κρίση τη μετατρέπει σε απόφαση. Η επιτυχής διαχείριση βαρέος εξοπλισμού δεν εξαρτάται μόνο από τη μηχανική υπεροχή ή τη συνδεσιμότητα των συστημάτων, αλλά από τη δυνατότητα των ανθρώπων να αξιοποιήσουν αποτελεσματικά τα δεδομένα που τους παρέχονται.

Τέλος, η έρευνα προτείνει κατευθύνσεις για μελλοντική ανάπτυξη των τεχνολογιών αυτών, με έμφαση στην ενοποίηση δεικτών βιωσιμότητας και εκπομπών CO₂, τη χρήση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης (Machine Learning) για την πρόβλεψη βλαβών, καθώς και τη δημιουργία πειραματικών πεδίων δοκιμών στην Ελλάδα για τη συλλογή πραγματικών δεδομένων.

Η παρούσα εργασία, μέσα από την ανάλυση, τη μεθοδολογία και τα ευρήματά της, αποδεικνύει ότι η τεχνολογία των αισθητήρων και η Βιομηχανία 4.0 δεν αποτελούν απλώς μια νέα τεχνολογική τάση, αλλά το μέλλον της αποδοτικής, ασφαλούς και βιώσιμης διαχείρισης των κατασκευαστικών έργων.