



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΙΤΛΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

Π.Μ.Σ "ΓΕΩΧΩΡΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ"

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Τίτλος εργασίας

ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΚΑΘΟΔΗΓΗΣΗ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ ΕΡΓΟΥ

Μηνάς Ιωάννης

ΑΜ:1905

Επιβλέπων: Παγούνης Βασίλειος

Αθήνα, Φεβρουάριος, 2022



UNIVERSITY OF WEST ATTICA

SCHOOL OF ENGINEERING

DEPARTMENT OF SURVEYING ENGINEERING AND GEOINFORMATICS

TITLE OF POSTGRADUATE PROGRAM (MSc)

“GEOSPATIAL TECHNOLOGIES”

Diploma Thesis

Title

Machine Control Guidance

MINAS IOANNIS

Registration Number: 1905

Vasileios Pagounis

Athens, February,2022



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΙΤΛΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΚΑΘΟΔΗΓΗΣΗ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ ΕΡΓΟΥ(Machine Control Guidance)


Τριμελής επιτροπή:

Β. Παγούνης

Μ. Τσακίρη

Δ. Αναστασίου

Η μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

Α/α	ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
	Βασίλειος Παγούνης	Καθηγητής	
	Μαρία Τσακίρη	Καθηγήτρια	
	Δημήτρης Αναστασίου	Ακαδημαϊκός υπότροφος ΕΣΠΑ	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

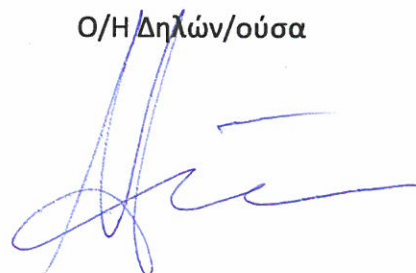
Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Μηνάς Ιωάννης του του Θεοδώρου, με αριθμό μητρώου 1905 φοιτητής του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών <<Γεωχωρικές Τεχνολογίες του Τμήματος Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

**Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι και έπειτα από αίτηση μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντα καθηγητή.*

Ο/Η Δηλών/ούσα



Ψηφιακή Υπογραφή Επιβλέποντα
(Υπογραφή)

*** Εάν κάποιος επιθυμεί απαγόρευση πρόσβασης στην εργασία για χρονικό διάστημα 6-12 μηνών (embargo), θα πρέπει να υπογράψει ψηφιακά ο/η επιβλέπων/ουσα καθηγητής/τρια, για να γνωστοποιεί ότι είναι ενημερωμένος/η και συναινεί. Οι λόγοι χρονικού αποκλεισμού πρόσβασης περιγράφονται αναλυτικά στις πολιτικές του Ι.Α. (σελ. 6):**

https://www.uniwa.gr/wp-content/uploads/2021/01/%CE%A0%CE%BF%CE%BB%CE%B9%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%B5%CC%81%CF%82_%CE%99%CE%B4%CF%81%CF%85%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CF%85%CC%81_%CE%91%CF%80%CE%BF%CE%B8%CE%B5%CF%84%CE%B7%CF%81%CE%B9%CC%81%CE%BF%CF%85_final.pdf

Ευχαριστίες

Μετά την ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής μου εργασίας με τίτλο «Αυτόματη καθοδήγηση μηχανήματος έργου », θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ Βασίλη Παγούνη, για την υποστήριξη, την εμπιστοσύνη και την καθοδήγηση καθ' όλη τη διάρκεια της συνεργασίας μας.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές του Π.Μ.Σ «Γεωχωρικές Τεχνολογίες» για την συμπεριφορά, την συνεργασία και την αρίστη προσπάθειά τους τους για την ολοκλήρωση του μεταπτυχιακού.

Επίσης ένα μεγάλο ευχαριστώ στις εταιρίες METRICA και MOBACT και ιδιαίτερα στον κ.Καριζωνη για την πολύτιμη βοήθεια του στην υλοποίηση της διπλωματικής όσον αφορά την υποστήριξη αλλά και το πολύτιμο υλικό που συγκεντρώθηκε.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω και να αφιερώσω την διπλωματική εργασία στην οικογένειά μου για την συνεχή κατανόηση, υποστήριξη και ενθάρρυνση τους σε κάθε μου βήμα.

Πρόλογος

Η εργασία που παρουσιάζεται εκπονήθηκε στο πλαίσιο ολοκλήρωσης του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Γεωχωρικές Τεχνολογίες», του Τμήματος Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής (ΠΑ.Δ.Α).

Περιλαμβάνεται εκτενής θεωρητική προσέγγιση για όλα τα σχετικά θέματα, ιδιαίτερα σε ότι αφορά τα μηχανήματα έργου, τον τοπογραφικό εξοπλισμό που είναι απαραίτητος και τις τελευταίες τεχνολογίες του χώρου της καθοδήγησης μηχανημάτων έργου.

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η Εισαγωγή στην Καθοδήγηση Μηχανημάτων Έργου(Machine Control Guidance).Η ανάπτυξη των συστημάτων αυτών μέσω της ραγδαίας τεχνολογικής ανάπτυξης και των δορυφορικών συστημάτων πλοήγησης έχουν ως αποτέλεσμα την βελτίωση της εκτέλεσης χωματοουργικών έργων, τη διαχείριση του μηχανικού εξοπλισμού των τεχνικών έργων και την διαχείριση της κατασκευής τεχνικών έργων γενικότερα.

Τα συστήματα ελέγχου και καθοδήγησης εμφανίστηκαν για πρώτη φορά στην αγορά στα τέλη της δεκαετίας του 1990. Με αυτά τα συστήματα ο χειρίστης μπορεί να αυτοματοποιήσει βασικές λειτουργίες του μηχανήματος και να φέρει εις πέρας το έργο γρήγορα, εύκολα, πιο αποτελεσματικά και το σημαντικότερο πιο οικονομικά από ότι πριν.

Η αυτοματοποιημένη καθοδήγηση μηχανημάτων που χρησιμοποιεί γεωδαιτικούς σταθμούς είναι η νεότερη εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας και αφορά άμεσα το γνωστικό πεδίο των μηχανικών όλων των ειδικοτήτων.

Abstract:

The subject of this dissertation is the Introduction to Machine Control guidance. The development of these systems through rapid technological development and satellite navigation systems have resulted in improving the monitoring of the execution of earthworks, the management of mechanical equipment technical works and the management of the construction of technical works in general.

Control and guidance systems first appeared on the market in the late 1990s. With these systems, the operator can automate basic machine functions and perform them quickly, easily and more efficiently than before.

Automated guidance of machines using total stations is the newest application of this technology and directly concerns the field of knowledge of engineers of all specialties.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	1
Abstract:.....	2
Κεφάλαιο 1:Εισαγωγή στην Καθοδήγηση μηχανημάτων έργου.....	6
1.1)Γενικά.....	6
1.2)Έλεγχος μηχανής, καθοδήγηση, αυτοματοποίηση.....	7
Κεφάλαιο 2:Μηχανήματα Έργου.....	8
2.1) Γενικά.....	8
2.2)Ιστορική αναδρομή.....	8
2.3)Χρήση των μηχανημάτων έργου.....	9
2.4)Κατηγορίες και είδη μηχανημάτων έργου.....	11
2.5)Κατηγορίες Μηχανημάτων έργου.....	12
2.5.1) Ισοπεδωτής Γαιών (Grader).....	12
2.5.2)Πρωθητής γαιών(Dozer).....	14
2.5.3)Εκσκαφέας(Excavator).....	17
2.5.4)Μηχανήματα Συμπύκνωσης Εδαφών(Compaction machines).....	20
2.5.5)Αποξέστες ασφάλτου(Milling machines).....	23
2.5.6)Διαστρωτήρες ασφάλτου(Finisher).....	25
Κεφάλαιο 3: Αρχή λειτουργίας 2D και 3D συστημάτων.....	28
3.1)Αρχές λειτουργίας συστημάτων μηχανημάτων έργου.....	28
3.2)Δισδιάστατα Συστήματα Καθοδήγησης (2D).....	29
3.3)Τρισδιάστατα Συστήματα Καθοδήγησης (3D).....	29
3.4)Παράγοντες που βοηθούν στην επιλογή 2D ή 3D συστήματος.....	30
3.5)ΤΑ βασικά συστατικά μέρη της καθοδήγηση μηχανημάτων.....	31
3.5.1)Αισθητήρες.....	31
3.5.2)In-Cab Υπολογιστές.....	31
3.5.3) Υδραυλικό σύστημα του μηχανήματος.....	32
3.5.4)Αισθητήρες επί του μηχανήματος.....	34
3.5.5) Περιεχόμενα 2D Συστήματος.....	34
3.5.6)Περιεχόμενα 3D Συστήματος.....	36
3.6)Διαφορετικές Λύσεις αυτοματισμού σε πρωθητή και σε ισοπεδωτή γαιών.....	37
3.7)Περιεχόμενα 2D/3D συστήματος καθοδήγησης για Εκσκαφέα.....	41
3.8)Περιεχόμενα συστήματος για 2D/3D Λύσεις καθοδήγησης σε διαστρωτήρες ασφάλτου(Finisher).....	43
Κεφάλαιο 4:Εφαρμογή μελέτης Καθοδήγησης μηχανημάτων έργου.....	47
4.1)Γενικά.....	47

4.2)Έρευνα της Caterpillar με εξοπλισμό αυτόματης καθοδήγησης	47
4.3)Παραδείγματα Εγκαταστάσεων σε Μηχανήματα Έργου	52
4.3.1) Εκσκαφέας(Excavator)	52
4.3.2) Ισοπεδωτής Γαιών (Grader)	53
4.3.2.1)Τρισδιάστατο Σύστημα Αυτοματισμού Grader Leica 3D με GPS. Το Σύστημα εγκαταστάθηκε σε Grader CAT14H.....	53
4.3.2.2)Τρισδιάστατο Σύστημα Αυτοματισμού 3D με χρήση Ρομποτικού Γεωδαιτικού Σταθμού. Το Σύστημα εγκαταστάθηκε σε Grader Volvo	55
4.2.2.3) Σύστημα Αυτοματισμού Sonic-Ski σε Grader CAT140H.....	56
4.2.2.4) Σύστημα Αυτοματισμού MOBA σε Grader CAT140G. Κατασκευή γηπέδων	58
4.3.3)Φρεζα-Milling machine	59
4.3.3.1) Αποκατάσταση ασφαλτικού οδοστρώματος Οδικό με χρήση Συστήματος MOBA Big-Sonic-Ski	61
4.3.4)Διαστρωτήρας Ασφάλτου – Finisher.....	62
4.3.4.1) Τρισδιάστατο Σύστημα Αυτοματισμού Leica Pavesmart 3D σε Finisher Vogele 1900-3i.....	62
4.3.4.2) Ασφαλτόστρωση οδικού άξονα με χρήση MOBA Big-Sonic-Ski	64
4.3.5)Κρασπεδομηχανή – Slipform paver	65
Κεφάλαιο 5: Προτάσεις – Συμπεράσματα	67
5.1) Το επόμενο βήμα στους αυτοματισμούς των μηχανημάτων έργου	67
5.2)Επίπεδα αυτονομίας στην καθοδήγηση μηχανημάτων έργων	70
5.3)Συστήματα ασφαλείας εργοταξίου.....	71
5.4) Απόδοση Επένδυσης (Return on investment (ROI)	72
5.5)Τελικά Συμπεράσματα Μελέτης.....	73
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α:GNSS.....	75
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: Τοπογραφικός Εξοπλισμός	80
References / Βιβλιογραφία	92

ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ

GPS	Global Positioning System
RTS	Robotic Total Station
GNSS	Global navigation satellite systems
RTK	Real Time kinematic
NRTK	Network real time kinematic
MCO	Machine control
DTM	Digital terrain model
DSM	Digital surface model
ATR	Automatic Target Recognition
SBAS	Satellite-based Augmentation Systems
EGNOS	European Geostationary Navigation Overlay Service
RTCM	Radio Technical Commission for Maritime Services
EDM	Electromagnetic Distance Measurement
ME	Μηχανήματα έργου
H/Y	Ηλεκτρονικός υπολογιστής
CAT	Caterpillar

Κεφάλαιο 1:Εισαγωγή στην Καθοδήγηση μηχανημάτων έργου

1.1)Γενικά

Οι πρώτες προσπάθειες που έγιναν κατά τη δεκαετία του 1980 για την ενσωμάτωση των χειριστηρίων του κατασκευαστικού εξοπλισμού με τα διαθέσιμα συστήματα τοποθέτησης παρεμποδίστηκαν λόγω δαπανών και περιορισμών στην ακρίβεια. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1990, με την εισαγωγή τοπογραφικού εξοπλισμού όπως είναι οι γεωδαιτικοί σταθμοί και παγκόσμιων συστημάτων εντοπισμού θέσης (GPS), η ενοποίηση της έρευνας και του ελέγχου μηχανημάτων έργου σε εργοτάξια έγινε πραγματικότητα.

Τα αρχικά αυτοματοποιημένα συστήματα ελέγχου βασίζονταν κυρίως σε τεχνολογία 2D laser ή υπερήχων. Στη συνέχεια, οι ρομποτικοί σταθμοί έδωσαν έλεγχο 3D και πιο πρόσφατα, οι κατασκευαστές τεχνολογίας GPS έκαναν την εμφάνιση τους.

Τα 3D συστήματα ελέγχου και καθοδήγησης εμφανίστηκαν για πρώτη φορά στην αγορά στα τέλη της δεκαετίας του 1990. Η αυτοματοποιημένη καθοδήγηση μηχανών χρησιμοποιεί τους RTS και ήταν η σημαντική εφαρμογή αυτής της προόδου στην τεχνολογία. Οι ρομποτικοί σταθμοί (RTS) παρουσιάστηκαν για πρώτη φορά μετά το 1990. Τα RTS χρησιμοποιούνται πλέον στις κατασκευαστικές και εξορυκτικές βιομηχανίες για την καθοδήγηση μεγάλων χωματουργικών μηχανημάτων.

Τα περισσότερα συστήματα προστίθενται στον κατασκευαστικό εξοπλισμό ως δυνατότητα δευτερογενούς αγοράς, αν και ορισμένοι κατασκευαστές αρχίζουν να προσφέρουν πλέον ολοκληρωμένα συστήματα.

Οι αλματώδεις τεχνολογικές εξελίξεις των τελευταίων χρόνων επιτρέπουν τη μελέτη μεγάλων τεχνικών έργων οδοποιίας, λιμενικών, σιδηροδρομικών, αεροδρόμιων, και την κατασκευή αυτών. Τα μεγάλα αυτά έργα έχουν υψηλές απαιτήσεις σε ταχύτητα και ακρίβεια και ως εκ τούτου θα πρέπει να επιτυγχάνεται ποιότητα κατασκευής και οικονομία καυσίμου.

Τα μηχανήματα έργου αποτελούν καθοριστικό παράγοντα στην κατασκευή ενός τέτοιου Project, καθώς η σωστή διαχείριση και λειτουργία τους εξοικονομεί χρόνο και χρήμα, ενώ παράλληλα εξασφαλίζεται η ποιότητα κατασκευής. Τα πλεονεκτήματα της σωστής διαχείρισης των μηχανημάτων, σε συνδυασμό με την έλλειψη σύγχρονων εμπειρών και εκπαιδευμένων χειριστών, αποτέλεσαν τις κύριες αιτίες της τεχνολογικής εξέλιξης παγκοσμίως στο αντικείμενο που λέγεται Machine Control – Αυτόματος Έλεγχος και Καθοδήγηση Μηχανημάτων Έργου.

Τα συστήματα καθοδήγησης βελτιώνουν την αποδοτικότητα της εργασίας από 30 έως 99% σύμφωνα με μελέτες. Η βελτίωση αυτή βασίζεται σε άμεση πρόσβαση σε πραγματικό χρόνο στη μελέτη. Ο χειριστής σε πολλές περιπτώσεις δεν χρειάζεται την βοήθεια από τον τοπογράφο μηχανικό και χρειάζεται λιγότερες οδηγίες από τον υπεύθυνο εργοταξίαρχη. Οι μεγαλύτερες εξοικονομήσεις στην προσπάθεια

υπολογίζονται σε πλήρως αυτοματοποιημένα μηχανήματα που μπορούν να παράγουν το τελικό αποτέλεσμα με ακρίβεια ακόμα και πέντε χιλιοστών.

1.2) Έλεγχος μηχανής, καθοδήγηση, αυτοματοποίηση

Ο «έλεγχος μηχανής» είναι ο γενικός όρος που χρησιμοποιείται για την περιγραφή της τεχνολογίας στο σύνολό αυτής. Ο όρος «καθοδήγηση μηχανής» αναφέρεται σε ενδεικτικά συστήματα δηλαδή εκείνα τα συστήματα που εμφανίζουν καθαρά τη διαφορά σχεδιασμού για τον χειριστή. Ο όρος «αυτοματισμός μηχανής» αναφέρεται σε συστήματα που όχι μόνο δείχνουν στον χειριστή τη διαφορά σχεδιασμού, αλλά είναι επίσης σε θέση να ελέγχουν άμεσα την υδραυλική μηχανή για να διατηρήσουν την επιθυμητή θέση. Τα πλήρως αυτόματα συστήματα ελέγχου μηχανών χρησιμοποιούνται για την τελική βαθμολόγηση ώστε να επιτύχουν τα καλύτερα επίπεδα ακρίβειας.

Κεφάλαιο 2:Μηχανήματα Έργου

2.1) Γενικά

Στα τεχνικά έργα η χρήση μηχανολογικού εξοπλισμού είναι σημαντική και απαραίτητη. Η εκμηχάνιση των έργων έχει προχωρήσει σημαντικά και ένα απλό "μπάλωμα" ασφάλτου γίνεται με την χρήση μηχανολογικού εξοπλισμού. Στις προδιαγραφές εκτέλεσης τεχνικών έργων του δημοσίου τομέα προβλέπεται ως απαραίτητη προϋπόθεση η διάθεση του εξοπλισμού εκ μέρους του αναδόχου του έργου.

Εάν εξαιρέσει κάποιος τον τυπικό εξοπλισμό, ο οποίος απαιτείται για τη μεταφορά υλικών και προσωπικού, ο υπόλοιπος εξοπλισμός ποικίλει ανάλογα με το είδος των εργασιών, το μέγεθός τους και την ιδιαίτερη δυσκολία τους όπως είναι οι εκάστοτε τοπικές δυσκολίες. Οι κίνδυνοι που συνδέονται με το μηχανολογικό εξοπλισμό προέρχονται από την χρήση μη κατάλληλου εξοπλισμού, την κακή συντήρηση του εξοπλισμού, τον κακό χειρισμό ή εργασία κάτω από χαλαρή επίβλεψη.

Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στα μηχανήματα έργου καθόσον είναι αυτοκινούμενοι μηχανισμοί και συνεπώς πέραν των κινδύνων οι οποίοι απορρέουν από τη στατική τους λειτουργία, δημιουργείται κίνδυνος και λόγω της συνεχούς κινήσεως μέσα στο εργοτάξιο αλλά και στο οδικό δίκτυο εντός και εκτός του εργοταξίου.

Ως Μηχανολογικός εξοπλισμός εργοταξίου εννοούνται όλα τα αυτοκινούμενα μηχανήματα που λειτουργούν με κινητήρια θερμικής μηχανής όπως είναι οι εκσκαφείς, αυτοκινούμενοι γερανοί, φορτωτές, grader κ.λπ.

2.2)Ιστορική αναδρομή

Η χρήση μηχανών στα δομικά έργα χρονολογείται από την εποχή που άρχισαν να κατασκευάζονται τα πρώτα κτίρια της αρχαιότητας. Στην κατασκευή αυτών των έργων συμμετείχε όχι μόνο ένα τεράστιο ανθρώπινο δυναμικό, αλλά και αρκετές πρωτόγονες μηχανές ανάλογες των τεχνολογικών δυνατοτήτων της εποχής, όπως τροχήλατα μεταφορικά οχήματα, βαρούλκα κ.ά.

Η χρησιμοποίηση των πρώτων δομικών μηχανών είχε σαν κύριο στόχο τεχνική υποστήριξη της ανθρώπινης εργασίας και όχι την αντικατάσταση της, λόγω της αδυναμίας εκμετάλλευσης οποιασδήποτε μορφής ενέργειας εκτός αυτές που παρέχονται από τον άνθρωπο. Η ανακάλυψη της ατμομηχανής αποτέλεσε βασικό στοιχείο στην εξέλιξη των δομικών μηχανών. Συγκεκριμένα το 1840 έκανε την εμφάνισή του στην Αμερική ο πρώτος ατμοκίνητος μηχανικός εκσκαφέας, που χρησιμοποιήθηκε σε έργα κατασκευής των σιδηροδρόμων.

Ο ηλεκτρισμός και οι μηχανές εσωτερικής καύσης συνέβαλαν στην περαιτέρω εξέλιξη των δομικών μηχανών, ώστε να μπορέσουν να ανταποκριθούν στις εργοταξιακές

συνθήκες. Στην Αμερική επίσης κατασκευάστηκαν οι πρώτοι αυτοκινούμενοι εκσκαφείς με ερπύστριες, οι πρώτοι προωθητήρες γαιών και πλήθος άλλων χωματοουργικών μηχανημάτων.

Σταδιακά οι δομικές μηχανές ανέλαβαν την εκτέλεση περισσότερων εργασιών επιτυγχάνοντας:

- την αύξηση της ταχύτητας εκτέλεσης των εργασιών,
- τη βελτίωση της οικονομίας της κατασκευής,
- την αντιμετώπιση μεγάλων κατασκευαστικών προγραμμάτων,
- την απελευθέρωση του ανθρώπου από τις βαριές χειρωνακτικές εργασίες.

Μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο γιγαντώθηκε η βιομηχανία των δομικών μηχανών, και τύπων μηχανημάτων υψηλής τεχνολογίας.

Από τα τέλη του 19ου αιώνα χρησιμοποιήθηκαν μηχανήματα με τη σύγχρονη μορφή τους στην κατασκευή των μεγάλων τεχνικών έργων. Η προσπάθεια όμως για την εκμετάλλευση σε μεγαλύτερη κλίμακα των δυνατοτήτων τους για καλύτερη κατασκευή των τεχνικών έργων, βασιζόμενη στην εξέλιξη της τεχνολογίας στον τομέα της κατασκευής μηχανημάτων, εντάθηκε κυρίως από τις αρχές 20ου αιώνα.

Έτσι φτάνοντας στο σήμερα η χρήση των μηχανημάτων δεν περιορίζεται μόνο σε μεγάλα έργα (φράγματα, δρόμους, γέφυρες, σήραγγες, ορυχεία κλπ.), αλλά επεκτείνεται και στις κατασκευές κάθε είδους. Παρά το σχετικά υψηλό κόστος αγοράς και συντήρησής τους, η χρήση μηχανημάτων έργου έχει μειώσει το συνολικό κόστος εκτέλεσης τέτοιων έργων, λόγω της μεγάλης μείωσης του εργατικού κόστους, και έχει περιορίσει σε μεγάλο βαθμό τους χρόνους εκτέλεσής τους.

2.3)Χρήση των μηχανημάτων έργου

Τα μηχανήματά έργου αποτελούν τον κύριο εξοπλισμό για την κατασκευή χωματοουργικών και κατασκευαστικών εργασιών:

- **Συμπύκνωση:** Για τη σταθεροποίηση όγκων υλικού εδάφους (χώμα, άμμος, χαλίκι, πέτρες, άσφαλτος).
- **Εκσκαφές :** Για μετακινήσεις όγκων υλικού εδάφους, προκειμένου να σχηματισθούν κοιλότητες ορισμένου ή μη γεωμετρικού σχήματος (λάκκοι, τάφροι για θεμελιώσεις ή άλλα έργα, χαντάκια αγωγών, διώρυγες κ.λ.π.), να γίνουν εκβαθύνσεις βυθών, διανοίξεις διόδων (δρόμων κλπ.), επιχωματώσεις, πρανή δρόμων και αναχώματα (χωμάτινα υψώματα κατά μήκος ποταμών),να αποξηραθούν έλη, να αποκομισθούν από το έδαφος ή από τους βυθούς υλικά για διάφορες χρήσεις, να εξορυχθούν μεταλλεύματα κλπ.
- **Διαμορφώσεις** και ισοπεδώσεις εδαφών.
- **Θρυμματισμό** και ανάμιξη του εδάφους με άλλα υλικά.

- Πολλά χωματουργικά μηχανήματα, όταν εφοδιασθούν με ειδικές εξαρτήσεις, χρησιμοποιούνται και για εκδασώσεις, εκχερσώσεις, εκχιονισμούς, αναμόχλευση εδαφών κλπ.

Οι **ειδικές** εργασίες, τις οποίες εκτελούν τα διάφορα είδη χωματουργικών μηχανήματων, είναι οι ακόλουθες:

- Εκσκαφή και στη συνέχεια φόρτωση του εκσκαπτόμενου υλικού σε οχήματα ή τοποθέτηση αυτού σε σωρούς (εκσκαφείς κάθε είδους, φορτωτήρες, αυλακωτήρες).
- Παραλαβή χώματος από μία θέση και αποθήκευσή του σε μεγάλη απόσταση (αποθέτες).
- Εκσκαφή και μεταφορά του υλικού σε μικρές αποστάσεις (προωθητήρες).
- Εκσκαφή, μεταφορά και διάσπρωση του υλικού (αποξεστήρες).
- Διαμόρφωση χωμάτων επιφανειών με επιφανειακή εκσκαφή και μεταφορά χώματος βάσει καθορισμένου σχεδίου, ώστε να επιτυγχάνεται η επιθυμητή τελική μορφή (διαμορφωτήρες).
- Ισοπέδωση επιφανειών με απόσπαση και μεταφορά χώματος από τις προεξοχές στις εσοχές τους (ισοπεδωτήρες και μερικές φορές προωθητήρες, διαμορφωτήρες, αποξεστήρες).
- Συμπύκνωση εδαφών με πίεση ή με πρόκληση δονήσεων (μηχανήματα συμπύκνωσης με κυλίνδρους ή με ελαστικούς τροχούς).
- Εκρίζωση θάμνων ή δένδρων (ελκυστήρες με ειδικές εξαρτήσεις, ριζοκόπτες κλπ)
- Θρυμματισμός και ανάμιξη του εδάφους με άλλα υλικά (θρυμματιστές – αναμικτήρες).
- Απομάκρυνση χιονιών είτε με τον εκτοπισμό τους στα πλάγια (εξαρτήσεις εκχιονισμοί σε διαμορφωτήρες), είτε με εκτόξευσή τους σε απόσταση ή σε φορητά οχήματα (εκχιονιστικές φρέζες).

Τα χωματουργικά μηχανήματα μετακινούνται αυτοπροωθούμενα, ελκόμενα ή φορτωμένα επάνω σε ελκυστήρες, φορητά αυτοκίνητα ή ρυμουλκούμενους μεταφορείς.

Τα χωματουργικά μηχανήματα είναι **συνεχούς λειτουργίας**, δηλαδή από το ένα μέρος σκάβουν και από το άλλο απομακρύνουν συνεχώς το υλικό (εκσκαφείς και αυλακωτήρες με αλυσίδα κάδων ή με καδοφόρο τροχό, φορτωτές με μεταφορέα κλπ.), ή **περιοδικής λειτουργίας**, εκτελούν δηλαδή ένα κύκλο εργασίας, ο οποίος επαναλαμβάνεται περιοδικώς (εκσκαφείς ή φορτωτές με ένα κάδο, αποξεστήρες κλπ).

Η **θέση εργασίας** βρίσκεται είτε ψηλότερα από την επιφάνεια δράσης του μηχανήματος (εκσκαφείς με καδοφόρο τροχό) είτε χαμηλότερα από την επιφάνεια δράσης του μηχανήματος (εκσκαφείς ανεστραμμένης τσάπας). Τέλος η θέση εργασίας μπορεί να βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο με την επιφάνεια δράσης του μηχανήματος (διαμορφωτήρες, ισοπεδωτήρες, αποξεστήρες).

2.4) Κατηγορίες και είδη μηχανημάτων έργου

Τα μηχανήματα έργου διαιρούνται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

Στα μηχανήματα γενικής και στα μηχανήματα ειδικής χρήσης.

1) Μηχανήματα γενικής χρήσης λέγονται εκείνα που μπορεί να χρησιμοποιηθούν σε περισσότερες ειδικές εργασίες και στα περισσότερα από τα τεχνικά έργα.

2) Μηχανήματα ειδικής χρήσης που έχουν συγκεκριμένη αποστολή και χρησιμοποιούνται στην εκτέλεση συγκεκριμένων ειδικών εργασιών και σε ορισμένα τεχνικά έργα.

Οποσδήποτε δεν είναι δυνατή η αυστηρή η κατάταξη των διαφόρων ειδών των μηχανημάτων έργου σε μία από τις παραπάνω κατηγορίες, γιατί ανάλογα με τη δραστηριότητα κάθε επιχείρησης και τον τρόπο χρήσης της, το ίδιο μηχάνημα μπορεί να χαρακτηριστεί γενικής ή ειδικής χρήσης.

Γενικά μπορούμε να χαρακτηρίσουμε ως μηχανήματα γενικής χρήσης τα μικρής και μέσης απόδοσης που κατασκευάζονται «σε σειρά» από τις διάφορες βιομηχανίες και που είναι δυνατόν να αγοραστούν έτοιμα, χωρίς να απαιτείται ειδική παραγγελία για την απόκτησή τους. Τέτοια μηχανήματα είναι πχ. οι εκσκαφείς με περιεκτικότητα κάδου μέχρι 2m³, οι προωθητές γαιών, οι γερανοί ανυψωτικής ικανότητας μέχρι 15t, οι αναμκτικές μπετόν μέχρι 1500 lt κλπ.

Πέρα από το πλεονέκτημά της δυνατότητας χρησιμοποίησης σε περισσότερους τομείς τεχνικών έργων, ένα μηχάνημα γενικής χρήσης έχει και άλλα θετικά όπως

- Μικρότερο κόστος λόγω της παραγωγής του «σε σειρά»,
- Ταχύτερη απόκτηση,
- Εύκολη εξεύρεση χειριστών και τεχνιτών συντήρησης και επισκευών.
- Γρήγορη εξασφάλιση ανταλλακτικών.

2.5)Κατηγορίες Μηχανήματων έργου

- Ισοπέδωτής Γαιών (Grader)
- Προωθητής Γαιών (Dozer)
- Εκσκαφείς (Excavators)
- Οδοστρωτήρες-Συμπυκνωτές(Compaction machines)
- Φρέζες (Milling machines)
- Διαστρωτήρες ασφάλτου (Finishers)
- Κρασπεδομηχανές (Slipform pavers)
- Διατρητικά (Drilling machines) κ.α

2.5.1) Ισοπεδωτής Γαιών (Grader)

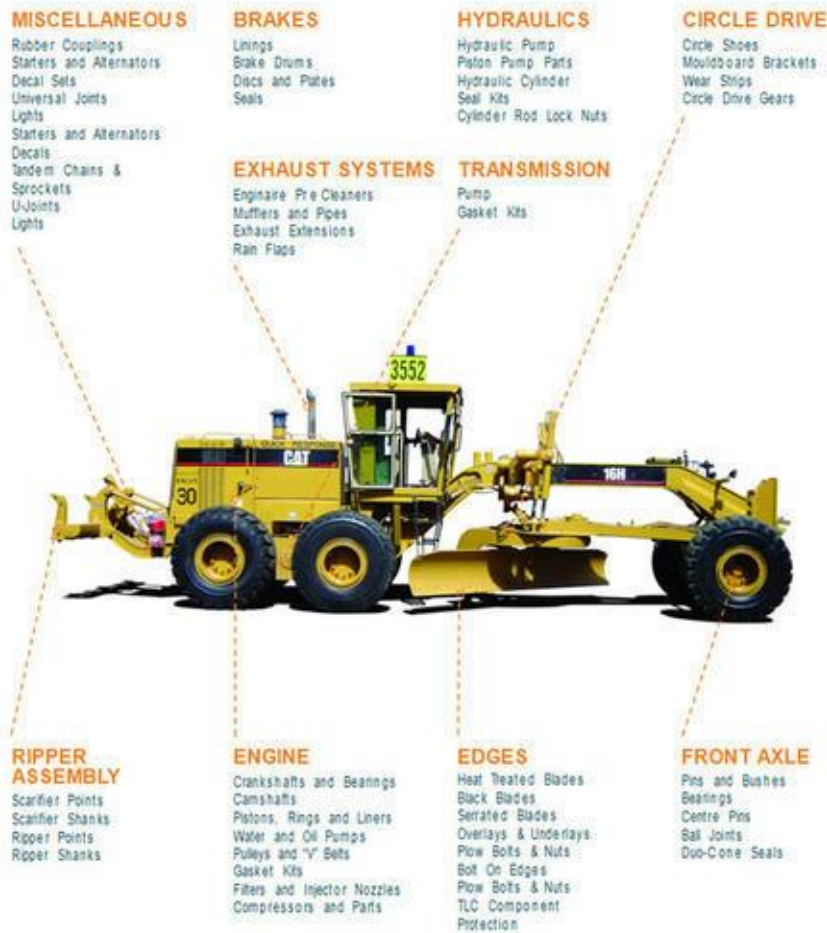


Εικόνα 1:Ισοπεδωτής γαιών (<https://www.komatsu.eu/en/motor-graders/gd675-7>)

Ο ισοπεδωτής γαιών ανήκει στην κατηγορία των επίπεδων εκσκαφών με διάφορες χρήσιμες εφαρμογές στα χωματουργικά έργα και στα έργα οδοποιίας.

Χρησιμοποιείται για την ακριβή απόξεση του εδάφους, για τη συντήρηση των προσβάσεων των εργοταξίων, για τη διάστρωση των αδρανών υλικών βάσης και για τη διάστρωση του ασφαλτοσκυροδέματος σε έργα οδοποιίας.

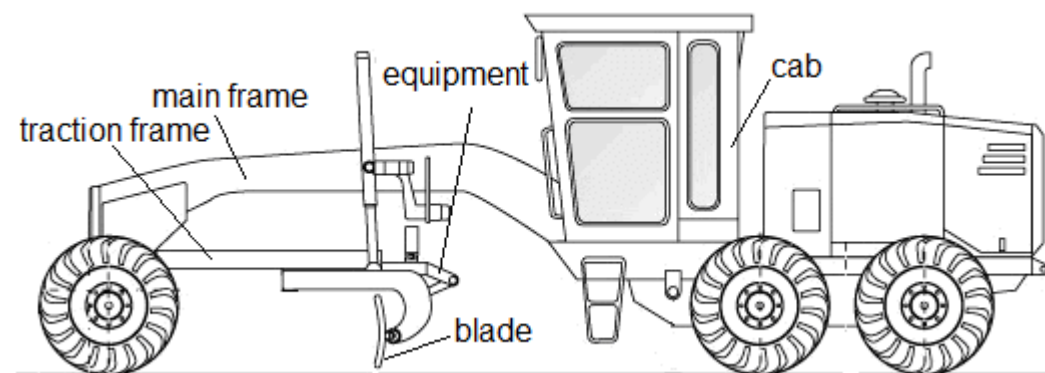
Η ικανότητα της καλής διάστρωσης του υλικού οφείλεται στη θέση του μαχαιριού μεταξύ των εμπρόσθιων και οπίσθιων τροχών, έτσι ώστε οι ανωμαλίες του εδάφους να ελαχιστοποιούνται σε σχέση ανάλογη προς τη σχέση των αποστάσεων του εμπρόσθιου τροχού και του μαχαιριού από τον οπίσθιο τροχό, ή του άξονα ταλάντωσης του οπίσθιου συστήματος τροχών σε περίπτωση τριαξονικού μηχανήματος.



Εικόνα 2: Βασικά μέρη του μηχανήματος (<https://www.indiamart.com/proddetail/cat-grader-120h-spare-20390788055.html>)

Για το χειρισμό του ισοπεδωτή υπήρχε παλαιότερα μηχανικό σύστημα με οδοντωτούς τροχούς και ατέρμονες κοχλίες. Στα σύγχρονα μηχανήματα ο χειρισμός όλων των συστημάτων του ισοπεδωτή γίνεται με υδραυλικά κυκλώματα. Με αυτά η εργασία γίνεται ευκολότερη, ο χειριστής δε καταπονείται με τους συνεχείς χειρισμούς, με συνέπεια τη βελτίωση της ποιότητας κατασκευής και της παραγωγικής ικανότητας.

Κύρια αποστολή του ισοπεδωτή είναι η εξίσωση των ανωμαλιών της επιφάνειας του εδάφους, τόσο σε εργασίες εκσκαφής, όσο και σε εργασίες διάστρωσης υλικών σε έργα οδοποιίας.



Εικόνα 3:Σκελετός του μηχανήματος (Comparative analysis between operational performance of motor grader equipments University of Galati, Research Center for Mechanics of Machines and Technological Equipments)

Ο χειριστής πρέπει να παρακολουθεί συνεχώς τη λειτουργία του μαχαιριού, έτσι ώστε να επεμβαίνει με το υδραυλικό χειριστήριο, όταν απαιτείται, για να προλαβαίνει το σχηματισμό ανωμαλιών στην υπό κατασκευή επιφάνεια, όταν το μαχαίρι προσκρούσει σε σκληρό αντικείμενο.

Για τη βελτίωση των χειρισμών και για τον καλύτερο έλεγχο των διαφόρων οργάνων του μηχανήματος, το υδραυλικό χειριστήριο εξοπλίζεται με πιεστικά πλήκτρα, τα οποία μεταδίδουν ταχύτατα τις εντολές στον υδραυλικό μπλοκ. Είναι σκόπιμο οι εμπρόσθιοι τροχοί να έχουν εκκρεμή ανάρτηση για καλύτερη προσαρμογή στις ανωμαλίες του εδάφους.

2.5.2)Προωθητής γαιών(Dozer)



Εικόνα 4:Προωθητής γαιών (<https://www.ivtinternational.com/news/construction/caterpillar-launches-new-cat-d4-dozer-with-30-better-visibility.html>)

Ο προωθητής γαιών είναι τύπος οικοδομικών μηχανών που χρησιμοποιείται στην ευθυγράμμιση του εδάφους και την τοπική μεταφορά χώματος και μπαζών.

Κινούνται συνήθως επάνω σε ερπύστριες. Στο μπροστινό μέρος έχουν ένα ασάλινο τύμπανο που στέκει κάθετο και σπρώχνει το εκάστοτε υλικό. Οι προωθητές

χρησιμοποιούνται για διάνοιξη δρόμων η μπορεί να σκάβουν σε λατομεία και σε πολλές άλλες χρήσεις.



Εικόνα 5: Ερπυστριοφόρος Προωθητής γαιών
(https://www.cat.com/en_US/products/new/equipment/dozers/medium-dozers/102647.html)

Ερπυστριοφόρος προωθητής. Τα κύρια τμήματα του ερπυστριοφόρου προωθητή είναι το σκάφος, ο κινητήρας, τα στοιχεία μετάδοσης της κινητικής ενέργειας, το χειριστήριο, το σύστημα πορείας και τα εκσκαπτικά εργαλεία.

Το σύστημα πορείας έχει ιδιαίτερη σημασία για την οικονομική εκμετάλλευση του μηχανήματος, λόγω των αυξημένων καταπονήσεων κάτω από τις οποίες λειτουργεί.

Το σύστημα πορείας αποτελείται από τα εξής μηχανικά μέρη: Το τύμπανο κίνησης (σπρόκετ), το οποίο φέρει την οδοντωτή στεφάνη για την έλξη της ερπύστριας. Το τύμπανο αναστροφής ή προέντασης, το οποίο χρησιμεύει και για την προένταση της ερπύστριας με ισχυρά ελατήρια. Τα κύλιστρα του άνω και κάτω κλάδου.

Και από την ερπύστρια, η οποία σχηματίζει με τα στοιχεία της, μία ατέρμονα αλυσίδα. Τα στοιχεία της ερπύστριας είναι τα πέδιλα, τα χιτώνια με τους τύρους σύνδεσης και οι κοχλίες, με τους οποίους στερεώνονται τα πέδιλα στα στοιχεία της αλυσίδας. Το σύστημα πορείας υπόκειται σε υψηλές καταπονήσεις λόγω των οριζόντιων δυνάμεων ώθησης και του βάρους του μηχανήματος. Επομένως απαιτείται ισχυρή κατασκευή με δοκιμασμένα υλικά και κατασκευαστική διαμόρφωση, περιοδικοί έλεγχοι και προγραμματισμένες εργασίες συντήρησης και φυσικά περιοδική λίπανση των κυλίστρων, όπως γινόταν σε παλαιότερες κατασκευές.

- ① Ripper
- ② Final Drive
- ③ Cab
- ④ Tracks/Tires
- ⑤ Engine
- ⑥ Push Frame
- ⑦ Blade



Εικόνα 6: Βασικά μέρη του μηχανήματος (<https://www.bigrentz.com/blog/bulldozer-types>)

Τα βασικά στοιχεία της ερπύστριας είναι τα πέδιλα, τα στοιχεία της αλυσίδας με τους πύρους και τα χιτώνια σύνδεσης, οι συνδετικοί κοχλίες και τα περικόχλια. Επειδή η ερπύστρια εργάζεται μέσα σε χώματα με πέτρες και νερό, υπόκειται σε υψηλές καταπονήσεις.

Για το λόγο αυτό τα στοιχεία κίνησης πρέπει να είναι κατασκευασμένα από κατάλληλα ανθεκτικά μέταλλα και να αντικαθίστανται εύκολα. Τα πέδιλα κατασκευάζονται ολόσωμα από χάλυβα, ή από χυτοχάλυβα και στερεώνονται πάνω στα στοιχεία της αλυσίδας, που κατασκευάζονται από σφυρηλατημένο χάλυβα, με κοχλίες υψηλής αντοχής.

Το πλάτος και η μορφή των πέδινων ως προς το ύψος και το πάχος του νεύρου, εξαρτώνται από το έδαφος και τις συνθήκες λειτουργίας. Για λειτουργία σε χαλαρό και αμμώδες έδαφος χρησιμοποιούνται πέδιλα με υψηλά νεύρα για αυξημένη πρόσφυση με το έδαφος. Σε πετρώδες και βαρύ έδαφος χρησιμοποιούνται πέδιλα με χαμηλό και χοντρό νεύρο



Εικόνα 7:Πρωθητής σε εργασία ώθησης και αναμόχλευσης υλικών (<https://www.bigrentz.com/blog/bulldozer-types>)

2.5.3)Εκσκαφέας(Excavator)

Εκσκαπτικές μηχανές είναι οι μηχανές που έχουν σκοπό την εκσκαφή του εδάφους και την μετακίνηση απόθεση του υλικού σε συγκεκριμένο μέρος.Τα μηχανήματα αυτά διακρίνονται σε χερσαία και πλωτά βάσει της θέσης και του εκάστοτε λόγου λειτουργίας τους.

Παράδειγμα πλωτών είναι οι εκσκαφείς που είναι τοποθετημένοι σε πλωτά μέσα για εργασίες λιμενικών έργων και χαρακτηρίζονται πλωτοί εκσκαφείς, ενώ οι εκσκαφείς γενικής χρήσης ανήκουν στα χερσαία μηχανήματα.

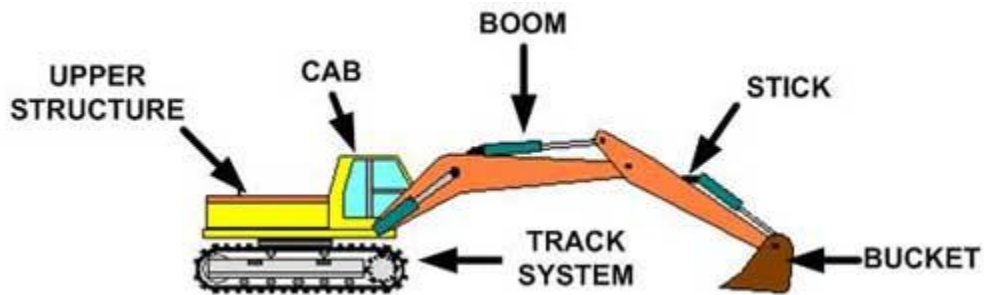


Εικόνα 8:Εκσκαφέας γενικής χρήσης(https://www.cat.com/en_US/products/new/equipment/excavators/medium-excavators/15970425.html)

Εκσκαφέας γενικής χρήσης

Ο εκσκαφέας γενικής χρήσης είναι μηχάνημα χερσαίου τύπου, που εκτελεί εργασίες εκσκαφής και μετατόπισης του εδάφους χωρίς να μετακινείται. Χαρακτηρίζεται ως εκσκαφέας γενικής χρήσης επειδή με αλλαγή του εκσκαπτικού εργαλείου και προσθήκη ειδικών εξαρτημάτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορες εργασίες εκτός της εκσκαφής. Οι εκσκαφείς γενικής χρήσης διακρίνονται σε μηχανικούς και υδραυλικούς. Στους μηχανικούς η μετάδοση της κίνησης γίνεται με μηχανικά μέσα όπως οδοντωτούς τροχούς, αλυσίδες, συρματόσχοινα και τύμπανα, ενώ στους υδραυλικούς η μετάδοση γίνεται με υδραυλική ενέργεια και χρήση συστημάτων υδραυλικών κυλίνδρων. Το μέγεθος του εκσκαφέα καθορίζεται από την χωρητικότητα του κάδου σε m^3 , αλλά και από το βάρος του.

Σε παλαιότερες κατασκευές η κύλιση του εκσκαφέα γινόταν πάνω σε σιδηροτροχιές. Σήμερα χρησιμοποιούνται ερπύστριες ή λαστιχοφόροι τροχοί ανάλογα με το βάρος του μηχανήματος. Ένας τροχοφόρος εκσκαφέας έχει σαν πλεονέκτημα την δυνατότητα να μετακινείται οδικώς μέσα στο οδικό δίκτυο με ικανοποιητική ταχύτητα (15-18 km/h), αλλά μειονεκτεί στην ευστάθεια, καθώς χρησιμοποιεί υδραυλικούς βραχίονες, συνήθως μαζί με λεπίδα για ενίσχυση, αλλά και την επιφανειακή πίεση που ασκούν οι τροχοί στο έδαφος, με συνέπεια να μην μπορεί να κινηθεί σε μαλακό έδαφος.



Εικόνα 9:Βασικά μέρη του εκσκαφέα(<https://www.anatomynote.com/industry-and-machinery/industrial-tools-and-equipment/excavator-construction/>)

Ένας ερπυστριόφορος εκσκαφέας πλεονεκτεί στην ευστάθειά του αλλά και στην μικρή επιφανειακή πίεση(κάτω από 1 kp/cm^2) που ασκεί στο έδαφος, επειδή οι ερπύστριες έχουν μεγαλύτερη επιφάνεια,καθιστώντας έτσι το μηχάνημα ικανό να κινηθεί με μεγαλύτερη δύναμη πρόωσης ακόμα και σε μαλακά πολύ εδάφη.

Το μειονέκτημά του εκτός από την χαμηλή του ταχύτητα (1-4 km/h) είναι ότι δεν ενδείκνυται για μετακίνηση στους δρόμους επειδή προκαλούνται φθορές στις ερπύστριες και στον δρόμο.

Οι εκσκαφείς χωρίζονται στα εξής μεγέθη ανάλογα με το βάρος τους:

- Μίνι: μέχρι 6 τόνους
- Μικροί: μέχρι 20 τόνους
- Μεσαίοι: από 20 μέχρι 60 τόνους
- Μεγάλοι: από 60 τόνους και πάνω

2.5.4) Μηχανήματα Συμπύκνωσης Εδαφών (Compaction machines)

Τα μηχανήματα συμπύκνωσης παραμένουν οι πιο πολύτιμοι συνεργάτες στα έργα οδοποιίας και σε κάθε άλλη κατασκευή που απαιτεί ομοιόμορφη συμπύκνωση του εδάφους (επιχώματα, υποβάσεις ,κ.ά.) μιας και έτσι επιτυγχάνεται η ελαχιστοποίηση του όγκου των πόρων του υλικού και αυξάνει η αντοχή του έργου. Ιδιαίτερα στα έργα οδοποιίας, στα οποία παρουσιάζονται μεγάλα δυναμικά και στατικά φορτία, η καλή συμπύκνωση όλων των στρωμάτων από την υπόβαση μέχρι την στρώση κυκλοφορίας αποτελεί βασικό παράγοντα για την συμπεριφορά του έργου, από άποψη παραμόρφωσης, λόγω της επίδρασης της κυκλοφορίας.

Τα μηχανήματα συμπύκνωσης βασίζουν την δράση τους σε διαδικασίες στατικής επιβολής δύναμης και επιβολής κρουστικών δυνάμεων ή δονήσεων. Οι δομικές μηχανές που επιτυγχάνουν συμπύκνωση εδαφών ή υλικών διακρίνονται στους παρακάτω τύπους:

- Στατικούς οδοστρωτήρες με λείους κυλίνδρους
- Στατικούς οδοστρωτήρες με ελαστικούς τροχούς
- Δονητικούς οδοστρωτήρες με λείους κυλίνδρους
- Δονητικούς οδοστρωτήρες με κυλίνδρους εμπρός και ελαστικούς τροχούς πίσω
- Δονητικούς οδοστρωτήρες με κυλίνδρους που διαθέτουν προεξοχές.



Εικόνα 10: Οδοστρωτήρας στατικός με λείους κυλίνδρους και δονητικός με λείους κυλίνδρους (<https://dynapac.com/en/products/compaction?tab=products>)



Εικόνα 11: Οδοστρωτήρας δονητικός με λείους κυλίνδρους και τροχούς πίσω και οδοστρωτήρας με κύλινδρο και προεξοχές (<https://dynapac.com/en/products/compaction?tab=products>)



Εικόνα 12: Οδοστρωτήρας στατικός με ελαστικούς τροχούς (<https://www.ammann.com/en/technology/road-construction>)

Κατά τη στατική συμπίκνωση κυλιόνται βαρύς κύλινδροι στην επιφάνεια του εδάφους, ή γενικότερα στην υπό συμπίκνωση μάζα υλικών, κατά τέτοιο τρόπο ώστε να δημιουργούνται ισχυρές πιέσεις στο υποκείμενο έδαφος ή την στρώση υλικών.

Η συμπίκνωση με δόνηση επιτυγχάνει αναδιάταξη των κόκκων, οπότε δημιουργείται πυκνότερο και συμπαγέστερο υπόστρωμα. Ο βαθμός συμπίκνωσης δεδομένου εδάφους, εξαρτάται από την περιεχόμενη υγρασία και από την ενέργεια συμπίκνωσης που εφαρμόζεται. Μεταβολές της περιεχόμενης υγρασίας ή της ενέργειας συμπίκνωσης έχουν ως αποτέλεσμα την μεταβολή της πυκνότητας του εδάφους.



Εικόνα 13: Οδοστρωτήρας με εγκατεστημένο σύστημα συμπίκνωσης (<https://dynapac.com/en/products/compaction?tab=products>)

Κάθε έδαφος έχει μια πρόσφορη περιεχόμενη υγρασία, όπου αυτό αποκτά μέγιστη πυκνότητα με δεδομένη ενέργεια συμπίκνωσης. Η συμπίκνωση του εδάφους μετρείται ποσοτικά με την πυκνότητά του. Πρέπει να σημειωθεί, ότι δεν μετρείται η φαινόμενη πυκνότητα του εδάφους που συμπυκνώθηκε, αλλά η ξηρή φαινόμενη πυκνότητα του. Δηλαδή μετρείται η πυκνότητα του εδάφους αφού αφαιρέσουμε το βάρος του ύδατος που περιέχεται. Όταν η περιεχόμενη υγρασία του εδάφους είναι μικρότερη της βέλτιστης, το έδαφος δύσκολα συμπιέζεται. Όταν η περιεχόμενη υγρασία είναι μεγαλύτερη της βέλτιστης, οι εδαφικοί κόκκοι απωθούνται από την υδροστατική πίεση του εδάφους που υπάρχει στα διάκενα, τα συνολικά κενά αυξάνονται και η ξηρή πυκνότητα μειώνεται.

2.5.5) Αποξέστες ασφάλτου(Μilling machines)

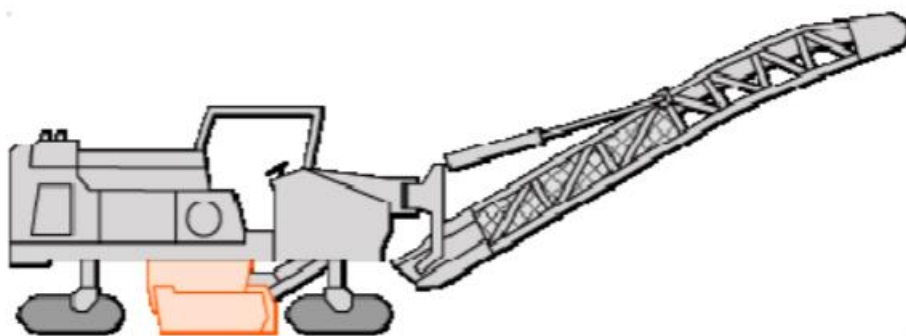


Εικόνα 14: Αποξέστης ασφάλτου(Φρέζα) με εγκατεστημένο σύστημα 3D (<https://www.wirtgen-group.com/en-us/news-and-media/wirtgen/job-report-w-210i-oakland-airport/>)

Οι αποξέστες ασφάλτου(φρέζες) είναι μηχανήματα που χρησιμοποιούνται στην οδοποιία για το πλάνισμα (φρεζάρισμα) παλιών οδοστρωμάτων που παρουσιάζουν ανωμαλίες. Πριν την διάστρωση νέων ασφαλτοταπήτων σε παλιά οδοστρώματα απαιτείται φρεζάρισμα για την εξομάλυνση των ανωμαλιών και για την τράχυνση της επιφάνειας ώστε να επιτευχθεί η κόλληση του νέου τάπητα και να αποφευχθούν φαινόμενα αποκόλλησης.

Περιγραφή μηχανήματος

Τύμπανο κοπής:



Εικόνα 15:Θέση τυμπάνου κοπής

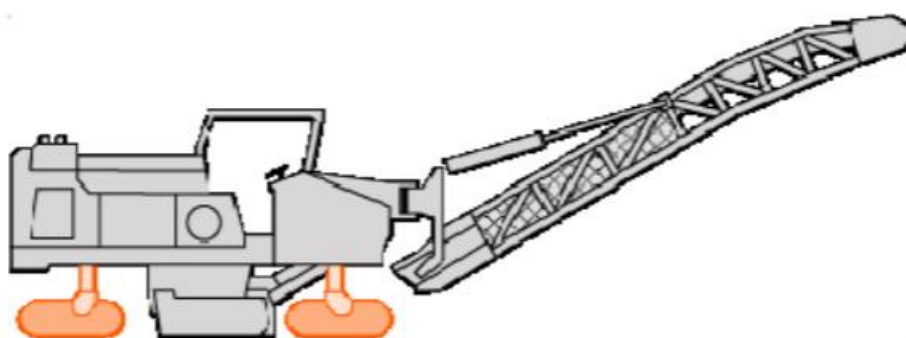
Πρόκειται για το εξάρτημα του μηχανήματος με το οποίο επιτυγχάνεται το φρεζάρισμα του οδοστρώματος (εικόνα 16, Wirtgen 2008). Αποτελείται από ένα μεγάλο αριθμό κοπτικών τα οποία αντικαθίστανται εύκολα σε περίπτωση φθοράς. Το πλάτος του τυμπάνου εξαρτάται από το μέγεθος του μηχανήματος. Στα μεγάλα μοντέλα είναι 2 μέτρα.

Η κίνηση του τυμπάνου γίνεται μέσω του κινητήρα με μηχανικό τρόπο με τη βοήθεια τροχαλιών και ιμάντων με εξαιρετικά υψηλό βαθμό απόδοσης και αντοχής. Το μηχάνημα φέρει δεξαμενή νερού και μέσω ενός συστήματος διαβροχής του τυμπάνου με μπεκ τα κοπτικά ψύχονται και παράλληλα αποφεύγεται η παραγωγή σκόνης. Μια καινοτομία του μηχανήματος είναι το σύστημα ταχείας αλλαγής του τυμπάνου κοπής. Το σύστημα αυτό δίνει μεγάλη ευελιξία στο μηχάνημα αφού η αλλαγή μπορεί να πραγματοποιηθεί σε λιγότερο από 3 ώρες χωρίς την απαίτηση ειδικών εργαλείων. (ERGO meccanica, Τεύχος 23,2003)

Σύστημα κίνησης μηχανήματος:

Το μηχάνημα κινείται με τη βοήθεια τεσσάρων μικρών ερπυστριών (εικόνα 17, Wirtgen 2008). Η μετάδοση της κίνησης από τον κινητήρα γίνεται υδραυλικά με τη βοήθεια υδραυλικών αντλιών και υδραυλικών μοτέρ που υπάρχουν σε κάθε ερπύστρια.

Με τη βοήθεια υδραυλικών κυλίνδρων το μηχάνημα μπορεί να ανεβαίνει και να κατεβαίνει ώστε το τύμπανο κοπής να έρθει σε επαφή με την επιφάνεια κοπής.

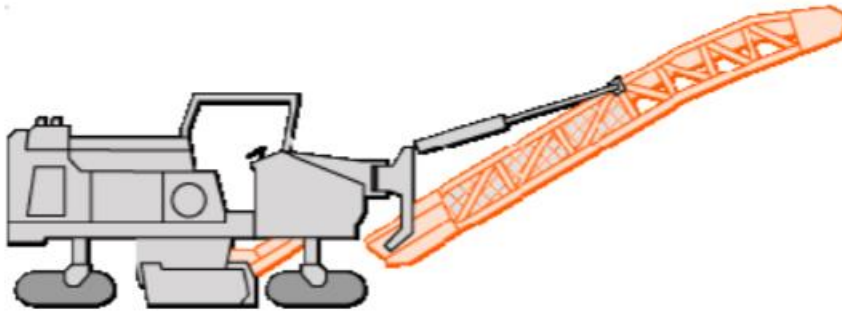


Εικόνα 16: Σύστημα κίνησης της φρέζας

Σύστημα μεταφοράς του υλικού:

Το υλικό το οποίο προκύπτει από το φρεζάρισμα του οδοστρώματος μεταφέρεται μέσω μεταφορικών ταινιών είτε σε φορηγό που ακολουθεί το μηχάνημα κατά την εργασία του είτε αποβάλλεται στην άκρη του δρόμου (εικόνα 18, Wirtgen 2008). Το μηχάνημα φέρει δύο μεταφορικές ταινίες. Η πρώτη μεταφέρει το υλικό από το τύμπανο έως το άκρο του μηχανήματος και η δεύτερη το παραλαμβάνει και το μεταφέρει στο φορηγό.

Η μεγάλη ταινία είναι υδραυλικά κινούμενη με δυνατότητα περιστροφής 45° αριστερά και δεξιά, ρυθμιζόμενη κατά ύψος και για ακόμη μεγαλύτερη ευελιξία στη μεταφορά, αναδιπλούμενη (ERGO meccanica, Τεύχος 23,2003).



Εικόνα 17: Σύστημα μεταφοράς υλικού

2.5.6) Διαστρωτήρες ασφάλτου (Finisher)

Στα έργα οδοποιίας η τελευταία εργασία πριν την ολοκλήρωση του έργου είναι η ασφαλτόστρωση με ειδικό ασφαλτικό μίγμα. Το μίγμα αυτό παρασκευάζεται σε ειδικά ασφαλτικά συγκροτήματα και αποτελείται από αδρανή υλικά τα οποία πλένονται, στεγνώνονται, διαχωρίζονται και στο τέλος αναμιγνύονται με πίσσα σε υψηλές θερμοκρασίες. Το ασφαλτικό μίγμα μεταφέρεται με φορτηγά από το παρασκευαστήριο στην τελική θέση διάστρωσης.

Η θερμοκρασία του ασφαλτομίγματος επηρεάζει σημαντικά την εργασία και το βαθμό συμπύκνωσης. Ενδεικτικά αναφέρεται, ότι μείωση της θερμοκρασίας του μίγματος από 110 σε 90°C αυξάνει την εργασία συμπύκνωσης κατά 30%. Η θερμοκρασία του ασφαλτικού υλικού κατά τη φόρτωση στο όχημα πρέπει να είναι περίπου 150 έως 170°C. Με τη θερμοκρασία αυτή και κάτω από ευνοϊκές καιρικές συνθήκες, το υλικό διαστρώνεται ικανοποιητικά, εφόσον η απόσταση μεταφοράς δεν είναι μεγαλύτερη από 50 χιλιόμετρα.

Η διάστρωση και συμπύκνωση του τάπητα γίνεται σε επάλληλες στρώσεις πάχους 5 έως 6 cm. Μεταξύ δύο διαδοχικών στρώσεων και μετά τον προσεκτικό καθαρισμό της επιφάνειας παρεμβάλλεται με ψεκάσμο ασφαλτικό γαλάκτωμα σε ποσότητα 0,2 έως 0,5 kr/m². Η διάστρωση του ασφαλτικού τάπητα γίνεται σήμερα με ειδικά μηχανήματα που καλούνται διαστρωτήρες ασφάλτου (finishers).

Η συμπύκνωση επιτυγχάνεται με δονητικούς οδοστρωτήρες (X. Εφραιμίδης, Δομικές Μηχανές, 1998).



Εικόνα 18:Ερπυστριοφόρος και λαστιχοφόρος διαστρωτήρας ασφάλτου(Finisher)(

Ένας διαστρωτήρας ασφάλτου αποτελείται από τα παρακάτω κύρια μέρη: (ERGO meccanica, Τεύχος, 2003)

- Κινητήρας και σύστημα πορείας: το μηχάνημα εξοπλίζεται με κινητήρα ντίζελ και το σύστημα πορείας που είναι είτε ερπυστριοφόρο είτε ελαστικοφόρο.
- Η χοάνη ή κάδος υποδοχής του υλικού: χωρητικότητα μέχρι 14 τόνους. Στον κάδο κατά τη διάρκεια της ασφαλτόστρωσης απόρρίπτεται το υλικό από το φορηγό
- Δύο επιδαπέδιοι τροφοδότες χρησιμοποιούνται για την προώθηση του υλικού από τον κάδο στο πίσω μέρος του μηχανήματος όπου βρίσκεται η πλάκα
- Τον κοχλία διανομής χρησιμεύει για τη διανομή του υλικού σε όλο το πλάτος της πλάκας
- Την δονητική πλάκα διάστρωσης
- Την καμπίνα με τα χειριστήρια



Εικόνα 19:Τροφοδότης υλικού και διανομέας υλικού<https://www.theengineeringcommunity.org/asphalt-paver-how-it-works/>)

Οι διαστρωτήρες ασφάλτου συνήθως παρουσιάζονται με βελτιώσεις σε διαστήματα τριών ετών περίπου. Οι κυριότερες πρόοδοι που σημειώθηκαν τα τελευταία χρόνια στα μηχανήματα διάστρωσης ασφάλτου είναι οι ακόλουθοι:

- Η αιωρούμενη πλάκα διάστρωση
- Η ηλεκτρική θέρμανση της πλάκας
- Ο αυτόματος έλεγχος της κλίσης
- Η προεκτεινόμενη πλάκα διάστρωσης
- Το υδραυλικό σύστημα κίνησης λειτουργίας του διαστρωτήρα
- Η πλάκα διάστρωσης υψηλής συμπίκνωσης
- Ο αυτόματος έλεγχος της ταχύτητας διάστρωσης και της τροφοδοσίας των μεταφορέων και των ατέρμονων κοχλιών.

Όλες αυτές οι εξελίξεις ήταν συνεχείς και οδήγησαν στα σύγχρονα, υψηλής απόδοσης μηχανήματα (ERGO meccanica, Τεύχος, 2003)

Κεφαλαίο 3: Αρχή λειτουργίας 2D και 3D συστημάτων

3.1) Αρχές λειτουργίας συστημάτων μηχανμάτων έργου

Η εξέλιξη της τεχνολογίας, σε συνδυασμό με τις υψηλές απαιτήσεις των τεχνικών κατασκευαστικών έργων, καθιστούν αναγκαίες εφαρμογές όπως τη μέτρηση θερμοκρασίας οδοστρώματος κατά τη διάστρωση, τον έλεγχο της συμπίκνωσης του οδοστρώτηρα, τα ζυγιστικά συστήματα σε φορτωτές-εκσκαφείς-φορηγά, τα συστήματα ασφάλειας για γερανούς-φορηγά, τον τηλεματικό έλεγχο στόλου οχημάτων κ.ά.

Τα συστήματα αυτά χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες, δύο διαστάσεων (2D) και τριών διαστάσεων (3D), με βάση την αρχή λειτουργίας τους. Η κατηγοριοποίηση των συστημάτων είναι ανεξάρτητη από το μηχάνημα, καθώς στα περισσότερα μηχανήματα μπορούν να εγκατασταθούν τόσο τα δισδιάστατα συστήματα (2D) όσο και τα τρισδιάστατα (3D).

Η βασική διαφορά ανάμεσα στις δύο κατηγορίες συστημάτων είναι ότι τα μεν δισδιάστατα (2D) συστήματα απαιτούν ένα επίπεδο αναφοράς βάσει του οποίου καθοδηγείται το εργαλείο κάθε μηχανήματος, ενώ τα τρισδιάστατα (3D) συστήματα εφαρμόζουν τα δεδομένα της μελέτης που έχουν εισαχθεί στο μηχάνημα σε ψηφιακή μορφή.

Υπάρχουν κάποιες διαφορές μεταξύ των συστημάτων 3D καθώς χρειάζονται άμεση οπτική επαφή με τον εξοπλισμό και το εύρος της εργασίας, το οποίο ανάλογα με τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται, είναι συνήθως μια περιοχή με ακτίνα περίπου 400m και 600m. Επομένως, υπάρχει ανάγκη μετακίνησης του ρομποτικού σταθμού πιο συχνά, από το σύστημα GPS, το οποίο καλύπτει μια περιοχή με ακτίνα περίπου 4 km, ανάλογα φυσικά με την συχνότητα που χρησιμοποιεί ο εκάστοτε δέκτης και το περιβάλλον που δουλεύει το μηχάνημα.

Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας, που πρέπει να ληφθεί υπόψη, κατά την επιλογή ενός συστήματος είναι ότι, ένας σταθμός GPS μπορεί να υποστηρίξει μεγάλο αριθμό μηχανημάτων, ενώ το σύστημα 3D-laser χρειάζεται έναν σταθμό σε ένα συγκεκριμένο μηχάνημα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα χαμηλότερο κόστος, για την προσθήκη ενός εξοπλισμού σε ένα σύστημα GPS από ό, τι για το σύστημα 3D-laser.

Στο μηχάνημα εγκαθίστανται όργανα μέτρησης υψηλής ακρίβειας (αισθητήρες ύψους, κλισίμετρα, δέκτες Laser, πρίσματα Γεωδαιτικών Σταθμών, δέκτες GPS, κτλ.) τα οποία θα αναλυθούν αναλυτικότερα στην συνέχεια της εργασίας. Οι μετρήσεις των οργάνων «μεταφράζονται» σε εντολές λειτουργίας του **Βασικού Εργαλείου** του μηχανήματος μέσω των ηλεκτρικών και υδραυλικών συστημάτων του μηχανήματος. Αυτή η διαδικασία αυτοματοποιεί τη λειτουργία του βασικού εργαλείου του μηχανήματος, με βάση τις ακριβείς μετρήσεις των οργάνων.

Με την αυτοματοποίηση του μηχανήματος διαφοροποιείται ο ρόλος του χειριστή, ο οποίος πλέον οδηγεί και ελέγχει αντί να καθοδηγεί με βάση την εμπειρία, τις γνώσεις, τις ικανότητες και κάποιες φορές την αυθαίρετη κρίση του. Είναι προφανές ότι το αποτέλεσμα της αυτοματοποιημένης μεθόδου του Machine Control δίνει ακριβέστερα αποτελέσματα, δίχως να αναιρείται όμως ο ρόλος του χειριστή.

3.2) Δισδιάστατα Συστήματα Καθοδήγησης (2D)

Τα Δισδιάστατα Συστήματα Καθοδήγησης (2D) αντιγράφουν την επιφάνεια ενός επιπέδου αναφοράς και διαμορφώνουν μία τελική επιφάνεια σε επίπεδο παράλληλο αυτού. Το επίπεδο αναφοράς μπορεί να είναι:

Ράμμα με πασαλάκια

- Υφιστάμενη στρώση (ασφαλτική, χωματουργική)
- Φρεζαρισμένη επιφάνεια
- Ρείθρο ή πεζοδρόμιο υφιστάμενου δρόμου
- Εικονικό επίπεδο από χωροβάτη Laser

Πιο συγκεκριμένα, τα όργανα μέτρησης (μηχανικός/ηλεκτρονικός αισθητήρας ύψους, κλισίμετρο, δέκτης Laser, αισθητήρας υπερήχων, κτλ.) «διαβάζουν» με ακρίβεια το επίπεδο αναφοράς. Οι μετρήσεις επεξεργάζονται από τη μονάδα του Συστήματος, το οποίο δίνει εντολές στο Εργαλείο μέσω των υδραυλικών/ηλεκτρικών συστημάτων του μηχανήματος. Το τελικό επίπεδο που διαμορφώνει το βασικό εργαλείο του μηχανήματος είναι παράλληλο στο επίπεδο αναφοράς, δηλαδή είναι η επιθυμητή επιφάνεια που θέλουμε.

3.3) Τρισδιάστατα Συστήματα Καθοδήγησης (3D)

Η λειτουργία ενός Συστήματος Τρισδιάστατης (3D) καθοδήγησης βασίζεται στην ύπαρξη της μελέτης σε ψηφιακή μορφή. Η μελέτη προκύπτει από την τοπογραφική αποτύπωση του χώρου εργασίας και τη μετέπειτα επεξεργασία αυτού (DTM – Digital Terrain Model).

Η μελέτη αυτή εισάγεται στον υπολογιστή του συστήματος που είναι εγκατεστημένο στο μηχάνημα. Ως εκ τούτου, γνωρίζουμε σε κάθε σημείο του χώρου εργασίας την τελική επιθυμητή θέση της επιφάνειάς μας.

Τα όργανα μέτρησης μας δίνουν της ακριβή θέση του εργαλείου σε κάθε σημείο του χώρου εργασίας του μηχανήματος σε πραγματικό χρόνο. Το σύστημα, λοιπόν, συγκρίνει την πραγματική θέση του εργαλείου με την επιθυμητή θέση της μελέτης και δίνει την εντολή στο βασικό εργαλείο να την πραγματοποιήσει.

Τα κύρια όργανα μέτρησης που χρησιμοποιούνται για την εύρεση της πραγματικής θέσης του εργαλείου του μηχανήματος είναι οι γεωδαιτικοί δέκτες GNSS (γνωστοί και ως δέκτες GPS) και οι ρομποτικοί γεωδαιτικοί σταθμοί (RTS), ενώ παράλληλα χρησιμοποιούνται αισθητήρες ύψους, κλισίμετρα, στροφόμετρα, δέκτες Laser, κ.ά.

3.4) Παράγοντες που βοηθούν στην επιλογή 2D ή 3D συστήματος

Τιμή - Οι προϋπολογισμοί συχνά να είναι ένας παράγοντας κατά τον προσδιορισμό της τεχνολογίας ή των μεθόδων που θα χρησιμοποιηθούν σε ένα εργοτάξιο. Τα 2D συστήματα είναι ιδιαίτερα πιο οικονομικά, ωστόσο, παρέχουν περιορισμένη λειτουργικότητα και λιγότερη ακρίβεια από τα αντίστοιχα τρισδιάστατα. Το κόστος προέρχεται από αυξημένη συνιστώσα, η οποία, όταν τηρείται ένας προϋπολογισμός, μπορεί να μην είναι βιώσιμη επιλογή.

Χρόνος - Κατά την ανάλυση των χρονικών περιορισμών, πρέπει να ληφθούν υπόψη τόσο η εκπαίδευση του προσωπικού όσο και η εργασία στο πεδίο. Τα συστήματα ελέγχου 3D έχουν το πλεονέκτημα της μείωσης του χρόνου διακοπής της εργασίας. Το αρνητικό εδώ είναι ο αυξημένος χρόνος στην εκπαίδευση του προσωπικού, καθώς τα βασικά στοιχεία για την προετοιμασία των μοντέλων και τη μοντελοποίηση μπορεί να διαρκέσουν περισσότερο από μια ημέρα. Και οι δύο απόψεις πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την αγορά τεχνολογίας καθοδήγησης μηχανών.

Λειτουργικότητα - Ίσως το πιο σημαντικό στοιχείο όταν αποφασίσει κάποιος ποιο σύστημα ελέγχου μηχανήματος είναι το βέλτιστο για το έργο είναι η λειτουργικότητα και τα αποτελέσματα. Από τη φύση τους, τα 3D συστήματα προσφέρουν σημαντικά περισσότερες δυνατότητες που βελτιώνουν την ακρίβεια και τα αποτελέσματα του έργου, καθώς η θέση του μηχανήματος και οι προδιαγραφές του έργου παρακολουθούνται ακριβώς. Όταν το ενδιαφέρον είναι μόνο να μετρήσουμε το βάθος και την απόσταση εκσκαφής, οι 2D λύσεις είναι καταλληλότερες για το έργο.

Η χρήση ενός συστήματος 2D ή 3D θα βοηθήσει τους εργολάβους να ψάξουν στο σχέδιο με μεγαλύτερη ακρίβεια, επιτρέποντάς τους να προβλέψουν πιο εύκολα το κόστος καυσίμου, μεγιστοποιώντας τη χρήση του μηχανήματος και την απόδοση της επένδυσής τους.

3.5)ΤΑ βασικά συστατικά μέρη της καθοδήγηση μηχανήματων

Σήμερα τα προηγμένα συστήματα ελέγχου μπορούν να βοηθήσουν στη βελτίωση της ποιότητας και στη μείωση του χρόνου που απαιτείται για τη διεξαγωγή μιας ολόκληρης σειράς δραστηριοτήτων εργοταξίου.

3.5.1)Αισθητήρες

Τα μηχανήματα είναι εξοπλισμένα με αισθητήρες για τη μέτρηση όλων των δεδομένων.

Η αδρανειακή μονάδα μέτρησης (IMU) είναι μια ηλεκτρονική συσκευή που μετρά και αναφέρει τη συγκεκριμένη δύναμη, τον γωνιακό ρυθμό και μερικές φορές τον προσανατολισμό του αντικειμένου στο οποίο συνδέεται - για παράδειγμα, ένας κάδος, η ο βραχίονας εκσκαφέα.

Ένας αισθητήρας IMU λειτουργεί ανιχνεύοντας την γραμμική επιτάχυνση χρησιμοποιώντας ένα ή περισσότερα επιταχυνσιόμετρα και τον ρυθμό περιστροφής χρησιμοποιώντας ένα ή περισσότερα γυροσκόπια. Ορισμένα περιλαμβάνουν επίσης ένα μαγνητόμετρο που χρησιμοποιείται ως αναφορά. Οι τυπικές διαμορφώσεις περιέχουν ένα επιταχυνσιόμετρο, γυροσκόπιο και μαγνητόμετρο ανά άξονα για καθέναν από τους τρεις άξονες μηχανής: βήμα, ρολό και εκτροπή. Έτσι, στην περίπτωση εκσκαφέα πχ, οι IMU μονάδες γνωρίζουν πότε ταλαντεύεται, ανυψώνεται, σκάβει - ή βρίσκεται στο επίπεδο ή σε μια πλαγιά.

Αυτές οι μονάδες IMU μεταδίδουν πληροφορίες θέσης σε έναν υπολογιστή στην καμπίνα του μηχανήματος. Αυτό μπορεί να βοηθήσει στη δημιουργία μιας εικόνας για την δραστηριότητα που έχει αναληφθεί, καθώς και τη βελτίωση της ασφάλειας. Για παράδειγμα, ορίζοντας συγκεκριμένα όρια στο πόσο βαθιά μπορεί να σκάψει ένας εκσκαφέας δεν χτυπά τις υπόγειες κατασκευές. Παρομοίως ορίζοντας πόσο ψηλά μπορεί να φτάσει στον αέρα δεν χτυπά τις εναέριες γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας ή την οροφή μιας κατασκευής. Μια μονάδα IMU επιτρέπει επίσης σε έναν δέκτη GPS να λειτουργεί όταν τα σήματα δεν είναι διαθέσιμα, όπως σε σήραγγες, μέσα σε κτίρια ή όταν υπάρχουν ηλεκτρονικές παρεμβολές.

3.5.2)In-Cab Υπολογιστές

Οι ηλεκτρονικές οθόνες αφής βοηθούν τους χειριστές να διατηρούν τον έλεγχο.

Όπως και στα σύγχρονα αυτοκίνητα, τα μηχανήματα έργου έρχονται όλο και περισσότερο με σύγχρονες ηλεκτρονικές οθόνες(in-cab). Αυτές είναι ισχυροί υπολογιστές-tablet που μπορούν και εκτελούν εφαρμογές εντός καμπίνας και κάνουν τη ζωή του χειριστή απλούστερη, ασφαλέστερη και πιο παραγωγική.

Οι απλοί και εύκολοι στη χρήση υπολογιστές tablet με οθόνη αφής επιτρέπουν στους χειριστές να οργανώνουν έργα με λίγες κινήσεις επιλέγοντας απλά τις απαιτούμενες παραμέτρους εργασίας. Στη συνέχεια, ο χειριστής παρακολουθεί την πρόοδο της εργασίας καθώς ξεκινά, με διάφορες ειδοποιήσεις στην οθόνη που δείχνουν πότε πληρούνται οι προκαθορισμένες παράμετροι. Τα tablet αυτά είναι συχνά συμβατά με

3G-4G σύνδεση κινητής τηλεφωνίας, επιτρέποντας στο σύστημα να λαμβάνει αυτόματα και ασύρματα όλες τις απαραίτητές ενημερώσεις λογισμικού.

3.5.3) Υδραυλικό σύστημα του μηχανήματος



Εικόνα 32:Υδραυλικό μπλοκ βαλβίδων



Εικόνα 33:Can interface



Εικόνα 34: Κουμπιά ρύθμισης του αυτομάτου συστήματος



Εικόνα 35:Χειριστήρια Μηχανήματος

Το υδραυλικό σύστημά των μηχανήματων ελέγχεται αυτόματα από το σύστημά που έχει εγκατασταθεί στο μηχάνημα.

Ο αυτόματος έλεγχος επιτυγχάνεται:

- 1)Εγκαθιστώντας τις υδραυλικές βαλβίδες(συνήθως σε πιο παλιά τεχνολογικά μηχανήματα)
- 2)Μέσω σειριακής επικοινωνίας με καλωδίου CAN με απευθείας διεπαφή (επιλογή σύγχρονα μηχανήματα).

Η λειτουργία του μηχανήματός στο Αυτόματο είναι ίδια με το μη αυτόματο, εκτός και αν η ανύψωση και η κλίση της λεπίδας ελέγχονται αυτόματα από το σύστημα ελέγχου. Όλες οι άλλες λειτουργίες, όπως η περιστροφή και η κλίση του μαχαιριού η του κουβά, γίνονται χειροκίνητα από τον χειριστή χρησιμοποιώντας τα χειριστήρια του μηχανήματος.

Όταν ο χειριστής ενεργοποιεί την αυτόματη λειτουργία του συστήματος, οι κύλινδροι ελέγχονται αυτόματα.

Τα ηλεκτρικά σήματα αποστέλλονται στην υδραυλική μηχανή, προκειμένου να ελεγχθεί η ανύψωση και/ή κλίση του μαχαιριού του μηχανήματος.

Καθώς ο χειριστής οδηγεί το μηχάνημα, το σύστημα εφαρμόζει αυτόματα τις διορθώσεις που χρειάζονται επεμβαίνοντας στους κυλίνδρους για να διατηρήσει τη λεπίδα στην επιθυμητή θέση. Ο χειριστής μπορεί να κάνει ότι θέλει χειροκίνητα παρακάμπτοντας το αυτόματο mode.

Ο αυτόματος έλεγχος του μαχαιριού του μηχανήματος είναι πολύ αποτελεσματικός τρόπος εργασίας, αλλά μπορεί σε ορισμένες περιπτώσεις να είναι επικίνδυνος. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο το εκάστοτε σύστημα περιλαμβάνει ορισμένες λειτουργίες για την προστασία του χειριστή και την αποφυγή ζημιών στο μηχάνημα:

Πλαίσιο ανύψωσης : Η δυνατότητα αυτή επιτρέπει στον χειριστή να καθορίσει ένα πλαίσιο ύψους που επιτρέπει στα υδραυλικά να ανταποκρίνονται. Εάν η πραγματική θέση του μαχαιριού είναι έξω από αυτό το πλαίσιο (π.χ. πάνω από 30 cm του επιθυμητού επιπέδου), τότε ο αυτόματος έλεγχος δεν θα ενεργοποιηθεί, προκειμένου να αποφευχθεί ο οποίος κίνδυνος μπορεί να προκύψει.

Ζώνη Ανύψωσης : Η δυνατότητα αυτή επιτρέπει το σφάλμα να βρίσκεται μέσα σε ένα συγκεκριμένο εύρος, διατηρώντας παράλληλα ενεργό το υδραυλικό σύστημά. Εάν ο χειριστής ζητήσει από το μαχαίρι να κινηθεί αμέσως πάνω από αυτό το εύρος, τότε τα υδραυλικά θα μπλοκάρουν αυτήν την ενέργεια και θα διατηρήσουν το μαχαίρι στη θέση του.

Η υδραυλική απόδοση και η ακρίβεια του συστήματος επηρεάζονται από τους ακόλουθους παράγοντες:

1. Ταχύτητα Περάσματος (Διατήρηση σταθερής ταχύτητας)
2. Ποιότητα υλικού (Βαρύ ή τραχύ υλικό, υγρη επιφάνεια)
3. Ποσότητα υλικού μπροστά από το μαχαίρι
4. Κατάσταση μηχανήματος(Παλαιότητα, service κλπ.)

3.5.4) Αισθητήρες επί του μηχανήματος

Οι λύσεις ελέγχου χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες: 2D και 3D.

Τα **2D** συστήματα που μπορούν να χρησιμοποιούν είναι τα ακόλουθα: δέκτες λέιζερ, αισθητήρες κλίσης ή αισθητήρες Sonic:

- Ο δέκτης λέιζερ λαμβάνει μετρήσεις σε σχέση με το περιστρεφόμενο λέιζερ που υπάρχει στον χώρο
- Ο αισθητήρας Sonic λαμβάνει μετρήσεις σε σχέση με ράμμα, ρείθρο ή το έδαφος.
- Το κλισίμετρο υπολογίζει τις κλίσεις λαμβάνοντας μετρήσεις από τον αισθητήρα κλίσης, τον αισθητήρα περιστροφής και τον αισθητήρα Mainfall (μόνο για Grader)

Τα **3D** συστήματα που μπορούν να χρησιμοποιούν:

- Κεραία GNSS λαμβάνοντας δορυφορικά σήματα
- Δέκτη GNSS που επεξεργάζεται τα σήματα.
- Πρίσμα που αντανακλά τη δέσμη λέιζερ στον γεωδαιτικό σταθμό
- Ο αισθητήρας κλίσης ιστού χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της κλίσης της λεπίδας όπως και στο 2D.

3.5.5) Περιεχόμενα 2D Συστήματος



Εικόνα 20: Αισθητήρες Λέιζερ



Εικόνα 21:Αισθητήρες κλίσης



Εικόνα 22:Αισθητήρες Sonic



Εικόνα 23:Περιστροφικός αισθητήρας(Rotation sensor)



Εικόνα 24:Junction Box(Εγκέφαλος του συστήματος)

3.5.6) Περιεχόμενα 3D Συστήματος



Εικόνα 25:GNSS Receiver



Εικόνα 26:Αισθητήρας κλίσης



Εικόνα 27: Radio modem(Μόντεμ επικοινωνίας)

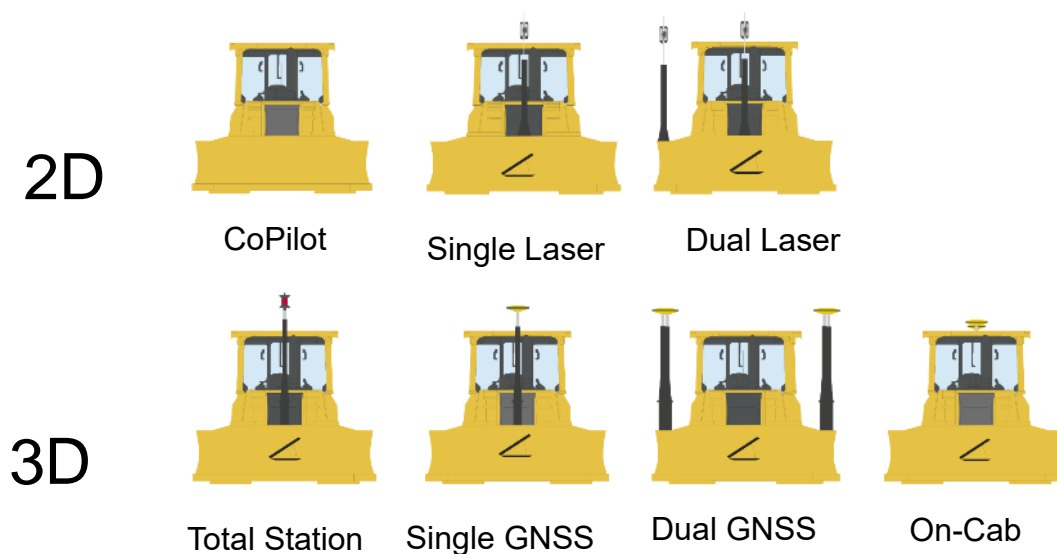


Εικόνα 28:GNSS Antenna



Εικόνα 29: Πρίσμα 360

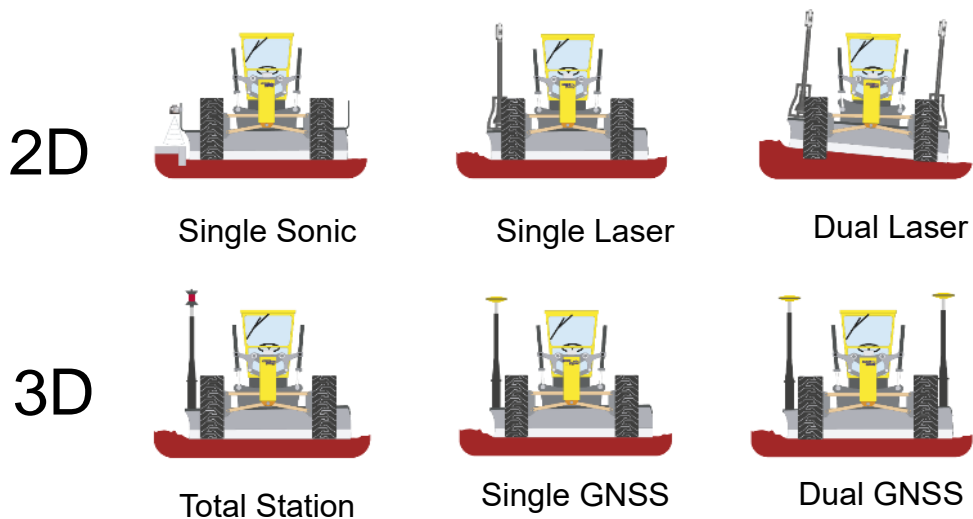
3.6) Διαφορετικές λύσεις αυτοματισμού σε προωθητή και σε ισοπεδωτή γαιών



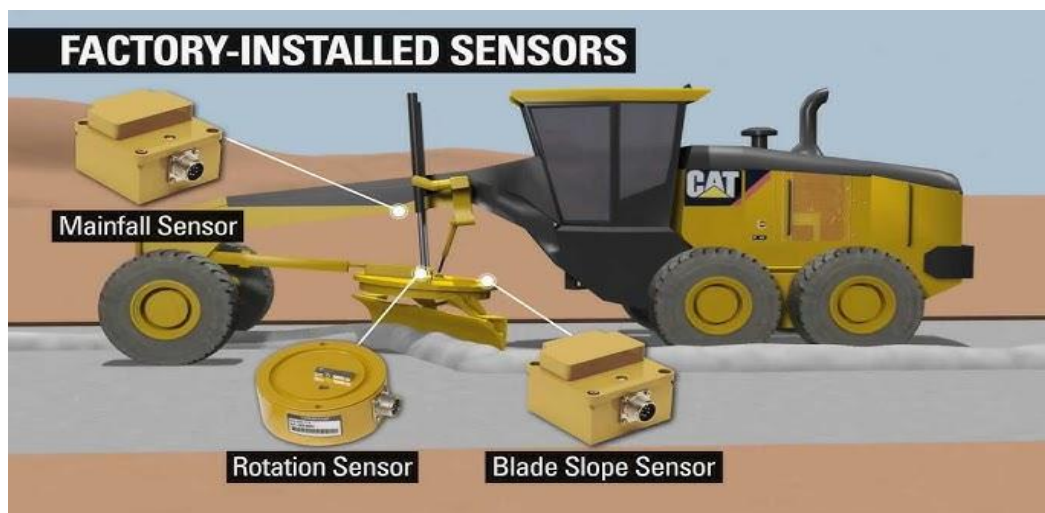
Εικόνα 30: Λύσεις 2D και 3D για προωθητή γαιών (<https://leica-geosystems.com/products/machine-control-systems>)

Οι αισθητήρες 2D και 3D τοποθετούνται σε συγκεκριμένες θέσεις στερέωσης στο μηχάνημα:

- Οι αισθητήρες λέιζερ, οι κεραίες GNSS και το πρίσμα τοποθετούνται στους ιστούς.
- Οι δέκτες, GNSS και το Radio Modem είναι τοποθετημένοι μέσα στην καμπίνα του χειριστή.
- Ο αισθητήρας κλίσης ιστού και οι αισθητήρες κλίσης είναι τοποθετημένοι στο μαχαίρι.
- Ο αισθητήρας περιστροφής είναι τοποθετημένος στο A-table (grader)
- Ο αισθητήρας Mainfall είναι τοποθετημένος στο Gooseneck (grader)



Εικόνα 31: Λύσεις 2D και 3D για ισοπεδωτή γαιών (<https://leica-geosystems.com/products/machine-control-systems>)



Εικόνα 32: Σημεία εγκατάστασης αισθητήρων



Εικόνα 33: Περιστροφική στεφάνη και κοπτήρας ισοπεδωτή γαιών

Δυνατότητες μονού και διπλού ιστού στα Μηχανήματα

Με διπλό ιστό στα μηχανήματα αυξάνεται η απόδοση επιτρέποντας στον χειριστή να εργάζεται προς οποιαδήποτε κατεύθυνση θέλει εντός της περιοχής μελέτης.

Με μονό ιστό, η εγκάρσια κλίση του μαχαιριού πρέπει να ταιριάζει με τον άξονα κλίσης του περιστρεφόμενου λείζερ. Έτσι, ο χειριστής μπορεί να κάνει παράλληλα περάσματα.

Για σύνθεση μονού ιστού, απαιτούνται επιπλέον αισθητήρες για τον υπολογισμό της πραγματικής θέσης του μαχαιριού.

Οι προωθητές(Dozer) πρέπει είναι εξοπλισμένα με αισθητήρα κλίσης τοποθετημένο στη λεπίδα.

Οι ισοπεδωτές(Grader) πρέπει είναι εξοπλισμένοι με αισθητήρα Mainfall τοποθετημένο στο σασί του μηχανήματος, αισθητήρα περιστροφής τοποθετημένο στο πλαίσιο του μηχανήματος και αισθητήρα κλίσης τοποθετημένο στο μαχαίρι του μηχανήματος.



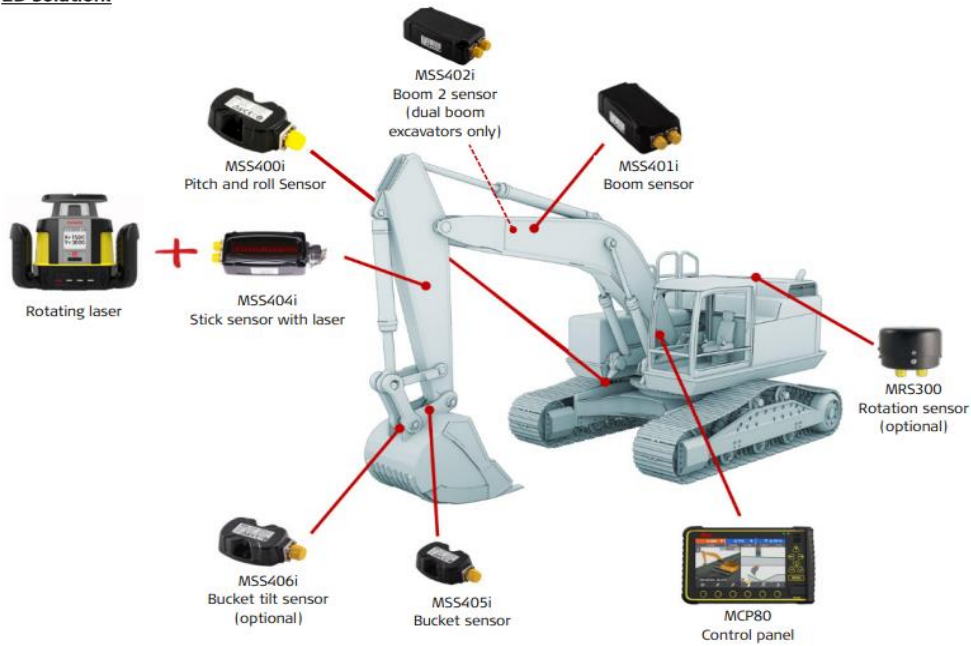
Εικόνα 34:Ιστοί εγκατάστασης(<https://leica-geosystems.com/products/machine-control-systems>)



Εικόνα 35:Ιστός εγκατάστασης σε ισοπέδωτή γαιών(<https://leica-geosystems.com/products/machine-control-systems>)

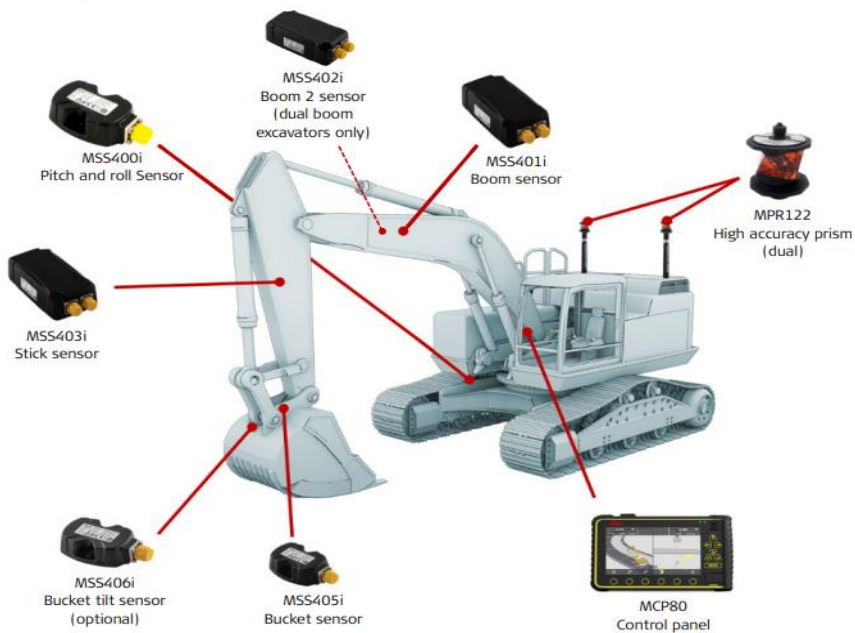
3.7) Περιεχόμενα 2D/3D συστήματος καθοδήγησης για Εξσκαφέα

2D solution:



Εικόνα 36: Ολοκληρωμένη 2D λύση για εκσκαφέα (<https://leica-geosystems.com/products/machine-control-systems>)

3D solution:



Εικόνα 37: Ολοκληρωμένη 3D λύση για εκσκαφέα (<https://leica-geosystems.com/products/machine-control-systems>)

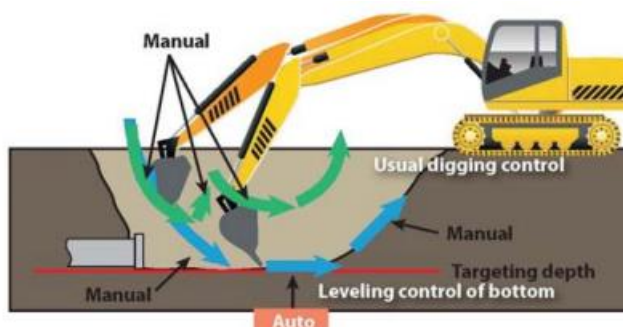
Πώς λειτουργεί το GPS σε έναν εκσκαφέα

Όταν το GPS / GNSS έκανε το πρώτο του ντεμπούτο στον κατασκευαστικό κλάδο, οι προωθητές γαιών και οι ισοπεδωτές γαιών ήταν τα μόνα μηχανήματα έργων που μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν αυτή την τεχνολογία. Με ακριβή δορυφορικά δεδομένα και τρισδιάστατα σχέδια, οι χειριστές μπορούσαν να απομακρύνουν το υλικό με πλήρη εμπιστοσύνη στο σύστημα και στο μαχαίρι τους που ήταν ακριβώς στη θέση που έπρεπε.

Τα τελευταία χρόνια, πολλοί κατασκευαστές άρχισαν να εξοπλίζουν τους εκσκαφείς με τεχνολογία GPS / GNSS. Υπάρχει ένα ευρύ φάσμα χρήσεων για τον έλεγχο μηχανών εκσκαφέα εκτός από το πιο σημαντικό που είναι η ασφάλεια.

Στους εκσκαφείς, οι κεραίες δέκτη είναι τοποθετημένες στο πίσω μέρος του μηχανήματος. Η ακριβής θέση του άκρου του κάδου καθορίζεται από αισθητήρες στη μπούμα, τον κουβά και το μπράτσο του εκσκαφέα και βαθμονομείται μεταξύ της απόστασης κεραίας και κάδου.

Όπως με τις εφαρμογές σε ισοπεδωτές γαιών, τα συστήματα εκσκαφέων με GPS / GNSS λαμβάνουν τα διορθωμένα RTK (κινητικά σε πραγματικό χρόνο) δεδομένα θέσης από έναν σταθμό βάσης που έχει δημιουργηθεί στο εργοτάξιο. Ομοίως, ο χειριστής εισάγει έναν ψηφιακό, τρισδιάστατο χάρτη(μοντέλο εδάφους) στο χειριστήριο-tablet του εκσκαφέα και είτε “κόβει” ανάλογα με την γραμμή που εμφανίζεται στην οθόνη (λειτουργία ένδειξης) είτε θέτει το σύστημα σε πλήρη λειτουργία αυτοματοποίησης και επιτρέπει στα δεδομένα θέσης GPS / GNSS να καθοδηγήσουν τον κουβά.



Εικόνα 38:Κινήσεις του εκσκαφέα(<https://www.hitachicm.com/global/corporate/research/development-of-hydraulic-excavator-with-digging-operation-assisting-system-and-multi-monitoring-display/>)

Οφέλη χρήσης συστήματος καθοδήγησης σε εκσκαφέα

Με την χρήση του GPS / GNSS, τα οφέλη είναι πολλά:

- **Αποτελεσματικότητα:** Ο κάδος σταματά στην ακριβή θέση του σημείου που του έχει ρυθμίσει ο χειριστής, οπότε ποτέ δεν πάει σε άλλο σημείο. Αυτό σημαίνει ότι δεν υπάρχει υπέρ ή υπό εκσκαφή και έτσι γίνεται αποτελεσματικότερη η εργασία.
- **Ασφάλεια:** Με την ακρίβεια του μηχανήματος που ελέγχεται από τα δεδομένα GPS / GNSS δεν χρειάζεται ο τοπογράφος μηχανικός να είναι κοντά στο μηχάνημα και να

μετράει συνέχεια για να διαπιστώσει τυχόν σφάλματα. Αυτό μειώνει τους κινδύνους και είναι ένα τεράστιο πλεονέκτημα, ειδικά σε δύσκολα έργα όπου ο βαθμός επικινδυνότητας ανεβαίνει κατακόρυφα.

- **Ακρίβεια κλίσης για αγωγούς:** Τα συστήματα ύδρευσης και αποχέτευσης απαιτούν εξαιρετικά ακριβείς εκσκαφές. Με την καθοδήγηση GPS / GNSS, ένας εκσκαφέας μπορεί να “κόψει” 3 ή 5 μίρες για έναν αγωγό χωρίς την ανάγκη ελέγχου από εξειδικευμένο τοπογραφικό συνεργείο.

3.8) Περιεχόμενα συστήματος για 2D/3D Λύσεις καθοδήγησης σε διαστρωτήρες ασφάλτου (Finisher)



Εικόνα 39: Σύστημα καθοδήγησης σε διαστρωτήρα ασφάλτου (<https://mobile-automation.eu/>)

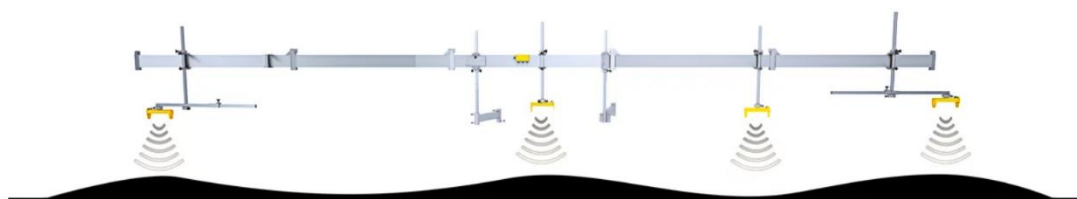
Σύστημα 2D με αισθητήρες υπέρηχων Sonic-Ski και Big Sonic -Ski

Ο αισθητήρας SONIC-SKI διαθέτει 6 ανιχνευτές υπέρηχων και έτσι διαβάζει το ράμμα, η την φρεζαρισμένη προηγούμενη στρώση για να εφαρμόσει την τελειά ραφή πάνω σε αυτή.

Πέντε μετρήσεις υπέρηχων γίνονται ανεξάρτητα και συγχρόνως έντεκα φορές ανά δευτερόλεπτο. Τρεις από αυτές τις μετρήσεις, αυτές που έχουν τιμή πλησιέστερα στην αρχικά μετρημένη απόσταση λαμβάνονται για τον υπολογισμό του μέσου όρου. Αυτός είναι ο λόγος που μικρές ανωμαλίες θα απορριφθούν από τον υπολογισμό και δεν θα επηρεάσουν το αποτέλεσμα του μέσου όρου.

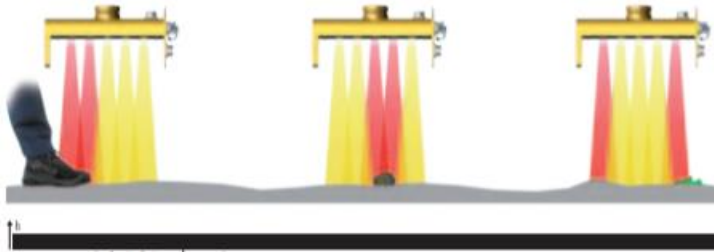
Οι μικρές ανωμαλίες θα εξαφανισθούν και οι μεγάλες ανωμαλίες θα διορθωθούν υπολογίζοντας τον μέσο όρο. Το μηχάνημα δεν χρειάζεται πλέον ένα τέλειο επίπεδο αναφοράς η ράμμα.

Ο συνδυασμός των δύο αυτών τρόπων διόρθωσης εξασφαλίζει μία τέλεια επιφάνεια δρόμου.

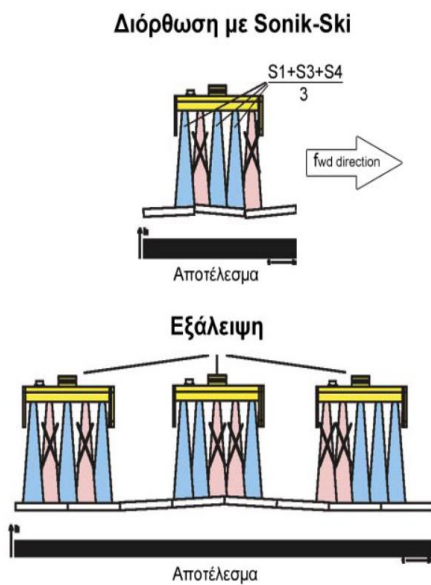


Εικόνα 40: Αρχιτεκτονική του συστήματος Big Sonic Ski (<https://moba-automation.uk/products/2d-paving>)

Τέλος ένα πολύ σημαντικό προσόν είναι ότι το σύστημα μπορεί εύκολα να αναβαθμιστεί τοποθετώντας ακόμα και 4 αισθητήρες για πιο καλή εξομάλυνση κυματισμών σε μεγάλο μήκος του δρόμου.



Εικόνα 41:Λειτουργία αισθητήρα (ABG_Vovlo_MOBA Big Sonic-Ski.pdf)



Εικόνα 42:Διόρθωση Sonic-Ski((ABG_Vovlo_MOBA Big Sonic-Ski.pdf)



Εικόνα 43:Σύστημα Moba Matic(<https://moba-automation.uk/products/paving-quality>)

Τρισδιάστατο σύστημα για απόξεση ασφάλτου



Εικόνα 44:Εγκατεστημένο σύστημα σε φρέζα με χρήση GPS(Leica Geosystems)

Πως δουλεύει ένα 3D σύστημα σε απόξεστή ασφάλτου

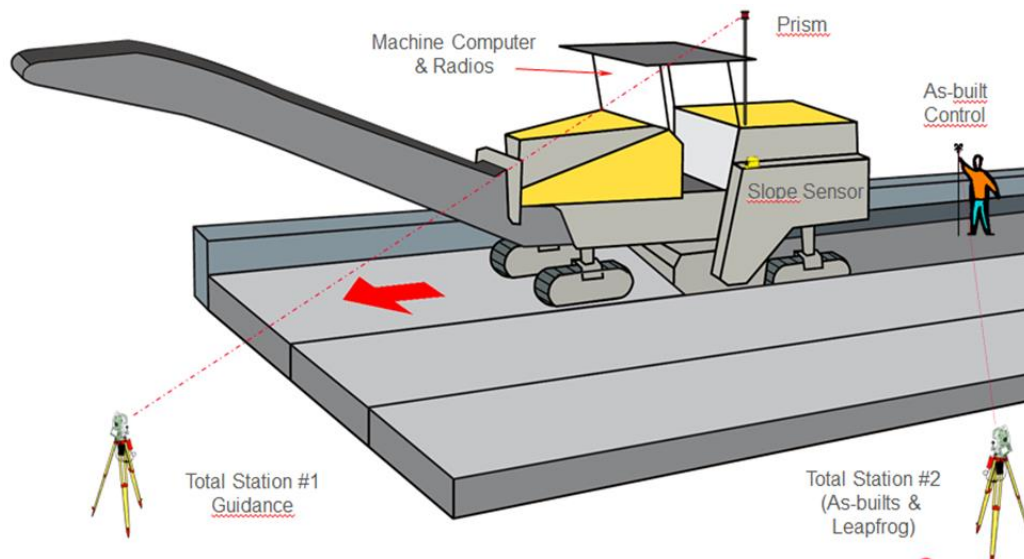
Για να δουλέψει ένα τέτοιο σύστημα απαραίτητη προϋπόθεση είναι να υπάρχει ένα μοντέλο επιφάνειας. Το μοντέλο τρισδιάστατης επιφάνειας(DTM) που δημιουργήθηκε φορτώνεται στο πάνελ του συστήματος. Ο τρισδιάστατος σχεδιασμός εμφανίζεται στον χειριστή του μηχανήματος στο πάνελ, εμφανίζοντας περιοχές που είναι πάνω, η κάτω από τη σχεδίαση.

Στη συνέχεια, το μηχάνημα τοποθετείται στην αρχή του έργου. Οι αρχικές κοπές γίνονται για να φτάσουν όσο το δυνατόν πιο κοντά στον επιθυμητό βαθμό.

Από εκεί, ο χειριστής θέτει το σύστημα σε "αυτόματη" λειτουργία. Καθώς το μηχάνημα κινείται προς τα εμπρός, το σύστημα συγκρίνει την πραγματική θέση και κλίση του τυμπάνου με το μοντέλο επιφάνειας(DTM).

Ένας ρομποτικός σταθμός στέλνει διορθώσεις στο σύστημα ελέγχου του μηχανήματος και η κεφαλή του μύλου ρυθμίζεται ανάλογα.

Το σύστημα οδηγεί αυτόματα το τύμπανο φρεζαρίσματος για να κόψει το ιδανικό βάθος και κλίση ράμματα ή χειροκίνητες ρυθμίσεις. Ο ρομποτικός σταθμός κλειδώνει στον στόχο, εξασφαλίζοντας τον έλεγχο του τυμπάνου της μηχανής άλεσης με ακρίβεια χιλιοστού. Οι ρομποτικοί σταθμοί έχουν σχεδιαστεί για να είναι πιο ακριβείς από τα συστήματα GNSS και δεν επηρεάζονται από παρεμβολές που μπορεί να υπάρξουν στο πεδίο όπως δέντρα, κτίρια, γέφυρες και άλλες κατασκευές όπου το GNSS, σύμφωνα με τον κατασκευαστή έχει πρόβλημα.



Εικόνα 45:Απεικόνιση της λειτουργίας του 3D συστήματος σε φρέζα(Leica Geosystems)

Το αυτοματοποιημένο, τρισδιάστατο σύστημα διασφαλίζει ότι το αποτέλεσμα θα είναι τέλει, ενώ αφαιρεί μόνο ό, τι πρέπει να αφαιρεθεί, γεγονός που ελαχιστοποιεί επίσης την ποσότητα υλικού που χρησιμοποιείται.

Ως τελευταίο βήμα, ένας τοπογράφος μηχανικός θα επαληθεύσει τα υψόμετρα. Αυτό γίνεται για να διασφαλιστεί ότι η επιφάνεια σχεδιασμού τηρήθηκε όπως ήταν η αρχική μελέτη και ότι δεν απαιτούνται άλλες ρυθμίσεις.

Κεφάλαιο 4:Εφαρμογή μελέτης Καθοδήγησης μηχανημάτων έργου

4.1)Γενικά

Κανένα κατασκευαστικό έργο δεν είναι ίδιο οπότε η σύγκριση των χρονοδιαγραμμάτων και του ελέγχου των μηχανημάτων αποτελεί σημαντική πρόκληση. Ο πιο ακριβής τρόπος σύγκρισης των χρόνων των δύο μεθόδων είναι η ολοκλήρωση δύο ίδιων έργων με καθεμία από τις δύο μεθόδους. Τον συμβατικό τρόπο και την αυτόματη καθοδήγησή μηχανημάτων. Προφανώς τα οικονομικά δεδομένα το κάνουν να είναι αδύνατο να επιτευχθεί σε ένα έργο μεγάλης κλίμακας.

Ωστόσο, έχει ολοκληρωθεί μελέτη παραγωγικότητας που συγκρίνουν τις παραδοσιακές μεθόδους έρευνας και τις οδηγίες ελέγχου του μηχανήματος σε σχετικά μικρής κλίμακας περιοχές δοκιμών.

4.2)Έρευνα της Caterpillar με εξοπλισμό αυτόματης καθοδήγησης

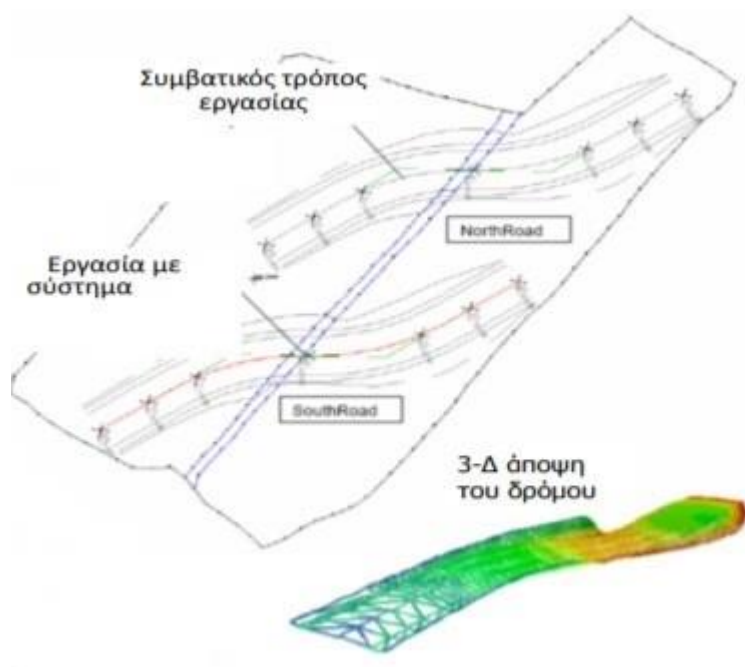
Η έρευνα πεδίου έλαβε χώρα στην περιοχή της Μάλαγα στην Ισπανία, όπου βρίσκεται το ευρωπαϊκό πεδίο δοκιμών της Caterpillar. Κατά την έρευνα πεδίου συγκρίθηκε η κατασκευή δύο όμοιων και παράλληλων τμημάτων δρόμου, όπου στη μία περίπτωση τα μηχανήματα εργάστηκαν με το συμβατικό τρόπο και στην άλλη τα μηχανήματα που εργάστηκαν ήταν εξοπλισμένα με σύστημα καθοδήγησης με τρισδιάστατη εποπτεία της εταιρίας Leica.



Εικόνα 46:Περιοχή μελέτης

Συγκεκριμένα το βόρειο τμήμα του δρόμου κατασκευάστηκε με μηχανήματα εξοπλισμένα με αυτόματη καθοδήγηση ενώ το νότιο τμήμα με μηχανήματα που εργάστηκαν με το συμβατικό τρόπο.

Στην εικόνα παρακάτω φαίνεται και το τρισδιάστατο ψηφιακό μοντέλο των 2 δοκιμαστικών πεδίων.



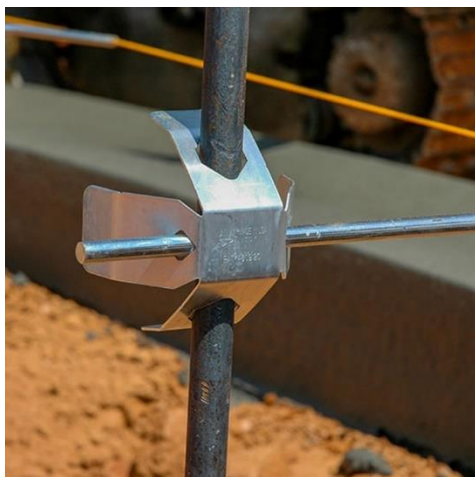
Εικόνα 47:Σύνοψη της μελέτης, κάτοψη οδικών τμημάτων και τελικό ψηφιακό μοντέλο του δρόμου

Έρευνα Caterpillar

- Συμβατικός τρόπος εργασίας σε σχέση με 3D σύστημα αυτόματης καθοδήγησης μηχανημάτων έργων
- Μετρήσεις χρόνου και αποδόσεων
- Μέτρηση εξοικονόμησης χρόνου, κόστους, καυσίμων υλικών και προσωπικού
- Δύο ίδιοι δρόμοι 80 μέτρων
- Εγκατάσταση πασσάλων
- Εκσκαφή και ισοπέδωση υπόβασης
- Εισαγωγή και διάστρωση υλικού υπόβασης
- Ισοπέδωση υπόβασης και Συμπύκνωση

Τα μηχανήματα που χρησιμοποιήθηκαν και στις δύο περιπτώσεις για την εκτέλεση των εργασιών είναι τα παρακάτω: Προωθητής CAT D6N, Εκσκαφέας CAT 330D, Μεταφορικά Οχήματα CAT 725/730/740, Δομητικός Οδοστρωτήρας CAT CS563, Ισοπεδωτής CAT 140 H.

Για την εκτέλεση των χωματουργικών εργασιών με συμβατικά μηχανήματα χρησιμοποιήθηκαν 45 πασσαλάκια για χάραξη και επισήμανση της ερυθράς, ώστε αυτή να συμφωνεί με τη μελέτη της οδοποιίας.



Εικόνα 48:Ράμμα καθοδήγησης


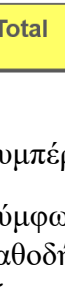
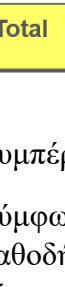
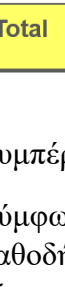
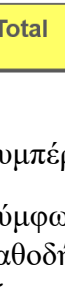

Για την εκτέλεση των χωματουργικών εργασιών με μηχανήματα εξοπλισμένα με αυτόματη καθοδήγηση χρησιμοποιήθηκε μόνο 1 πάσσαλος, γιατί κατά την κατασκευή υπήρχε σύστημα τρισδιάστατης καθοδήγησης.

Οι χειριστές των προωθητών κατάφεραν μέσω του συστήματος τρισδιάστατης καθοδήγησης να ολοκληρώσουν τις εργασίες διάνοιξης-μετακίνησης γαιών με 200 περάσματα ενώ για τα συμβατικά μηχανήματα χρειάστηκαν 259 περάσματα για την ίδια εργασία στο άλλο τμήμα.

Μετά τον έλεγχο συμπύκνωσης των στρώσεων οδοστρωσίας και τον γεωμετρικό έλεγχο της ερυθράς, ακολούθησε η διαδικασία κατασκευής της ασφαλτικής βάσης, κατά την οποία καταγράφηκαν οι παρακάτω χρόνοι.

Τελευταίο στάδιο αποτελεί η κατασκευή της τελικής ασφαλτικής στρώσης κυκλοφορίας και η διαμόρφωση των επιθυμητών κλίσεων σύμφωνα με τη αρχική μελέτη του δρόμου. Προηγήθηκε η δημιουργία επιπέδου αναφοράς παράλληλου προς το δρόμο μέσω ψηφιακού χωροβάτη και γεωδαιτικό σταθμό.

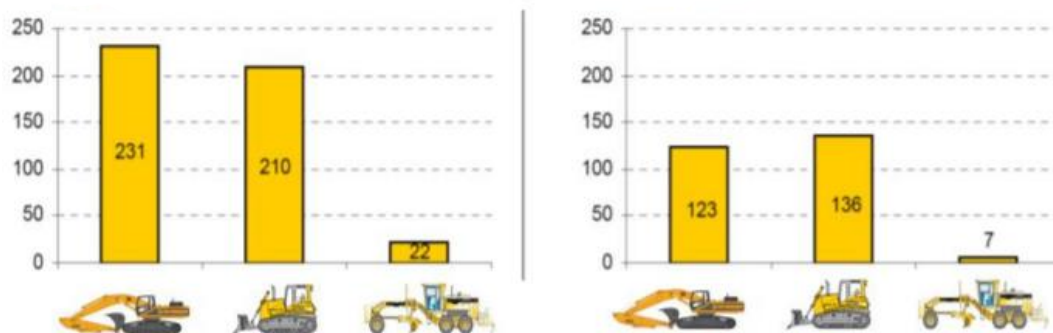
Στα σχεδιαγράμματα παρακάτω φαίνονται οι χρόνοι κατασκευής της τελικής ασφαλτικής στρώσης κυκλοφορίας με συμβατικά μηχανήματα και με μηχανήματα εξοπλισμένα με σύστημα αυτόματης καθοδήγησης.

Task	Equipment	Conventional Method	Machine Control Method	Productivity Gain
Survey & Stakeout		07:31	00:54	6:37 saved
Bulk Earthworks		04:40 02:23	04:18 01:53	+9% +27%
Subgrade Layer Rough Grading		03:48 02:56	01:28 02:43	+159% +8%
Base Course Layer Rough Grading		02:24	00:53	+172%
Base Course Layer Fine Grading		01:49	00:32	+241%
Total		24:32	11:50	+101%

Συμπέρασμα 1:

Σύμφωνα με τα στοιχεία του παραπάνω πίνακα συμπεραίνουμε ότι η αυτόματη καθοδήγηση μηχανημάτων είναι σημαντική για την εξοικονόμηση χρόνου (συνολική εξοικονόμηση 101% ως προς τα συμβατικά μηχανήματα)

CAT Study – Κατανάλωση καυσίμου



Εικόνα 49: Κατανάλωση καυσίμου στα μηχανήματα έργου (συμβατικά και με σύστημα καθοδήγησης)

Μηχάνημα	Λειτουργικά Στοιχεία	Συμβατικό Μηχάνημα	Μηχάνημα με διάταξη KM	Βελτίωση επιδόσεων
	Διελεύσεις	632	306	+107%
	Κατανάλωση	210 litres	136 litres	35% οικονομία
	Φορτώσεις / Οχήματα	308 / 40	245 / 31	+26% (29% λιγότερες διαδρομές)
	Κατανάλωση	231 litres	123 litres	47% οικονομία
	Διελεύσεις	62	17	+265%
	Κατανάλωση	22 litres	7 litres	68% οικονομία

Συμπέρασμα 2:

Στον παραπάνω πίνακα βλέπουμε τις διελεύσεις και την κατανάλωση καυσίμων για τα μηχανήματα έργου. Μπορούμε εύκολα να υπολογίσουμε την διαφορά στα καύσιμα και δεδομένα την διαφορά στο οικονομικό κομμάτι που είναι πάρα πολύ σημαντικός παράγοντας σε ένα κατασκευαστικό έργο. Έτσι βλέπουμε ότι ο προωθητής εξοικονομεί 32,4€, ο εκσκαφέας 145,8€ και το grader 20,25€ αν υποθέσουμε ότι η μέση τιμή πετρελαίου κίνησης αυτή την χρονική στιγμή είναι 1.350€ ανά λίτρο.

Εκτός από το οικονομικά δεδομένα είναι πολύ σημαντικό να αναφερθεί ότι υπάρχει και λιγότερη καταπόνηση των μηχανημάτων λόγω των λιγότερων διελεύσεων άρα και μικρότερη ανάγκη για σέρβις.

Η σύγκριση της παραγωγικότητας των δρόμων της Caterpillar καταδεικνύει ένα αρκετά απλό αλλά τυπικό τμήμα κατασκευής οδοστρώματος. Κοιτάζοντας καθαρά τους χρόνους της έρευνας που αναφέρονται σε αυτή τη μελέτη, επιτυγχάνεται εξοικονόμηση χρόνου έως και 95% με τη χρήση μεθόδων αυτόματου ελέγχου μηχανημάτων έναντι των παραδοσιακών τεχνικών έρευνας.

4.3) Παραδείγματα Εγκαταστάσεων σε Μηχανήματα Έργου

4.3.1) Εκσκαφέας(Excavator)

Τρισδιάστατο Σύστημα Καθοδήγησης Leica iCON3D GPS.

Το Σύστημα εγκαταστάθηκε σε 4 Εκσκαφείς Volvo στο έργο του ΤΑΡ για την εγκατάσταση του αγωγού Φυσικού αερίου.



Εικόνα 50:Κεντρική Οθόνη Συστήματος 3D



Εικόνα 51:Ιστοί με δυο GPS



Εικόνα 52:Εκσκαφέας Volvo με Dual GNSS 3D System

4.3.2) Ισοπεδωτής Γαιών (Grader)

4.3.2.1) Τρισδιάστατο Σύστημα Αυτοματισμού Grader Leica 3D με GPS. Το Σύστημα εγκαταστάθηκε σε Grader CAT14H



Εικόνα 53:Κεντρική Οθόνη 3D συστήματος



Εικόνα 54: Ιστός συστήματος με GPS antenna



Εικόνα 55: Δέκτης GNSS εντός της καμπίνας του μηχανήματος

4.3.2.2) Τρισδιάστατο Σύστημα Αυτοματισμού 3D με χρήση Ρομποτικού Γεωδαιτικού Σταθμού. Το Σύστημα εγκαταστάθηκε σε Grader Volvo



Εικόνα 56:3D system με χρήση ρομποτικού σταθμού



Εικόνα 57:Κεντρική οθόνη 3D συστήματος



Εικόνα 58:Υδραυλικό μπλοκ και Εγκέφαλος του συστήματος

4.2.2.3) Σύστημα Αυτοματισμού Sonic-Ski σε Grader CAT140H



Εικόνα 59:Κεντρική οθόνη 2D συστήματος



Εικόνα 60: Αισθητήρας Sonic-ski



Εικόνα 61: Αισθητήρας Sonic-ski

4.2.2.4) Σύστημα Αυτοματισμού MOBA σε Grader CAT140G. Κατασκευή γηπέδων



Εικόνα 62:Grader με σύστημα 2D laser



Εικόνα 63:Περιστροφικός χωροβατης Laser



Εικόνα 64: Rotary Laser

4.3.3) Φρεζα-Milling machine

Φρεζάρισμα με χρήση Τρισδιάστατου Συστήματος Αυτοματισμού Leica Pavesmart 3D



Εικόνα 65: Wirtgen Φρεζα με συστημα 3D



Εικόνα 66: 360 Prism



Εικόνα 67: Ιστοί με GPS κεραίες

4.3.3.1) Αποκατάσταση ασφαλτικού οδοστρώματος Οδικο με χρήση Συστήματος MOBA Big-Sonic-Ski



Εικόνα 68: Τελική κομμένη επιφάνειά



Εικόνα 69: Σύστημα Big Sonic ski



Εικόνα 70:Σύστημα Big Sonic ski

4.3.4) Διαστρωτήρας Ασφάλτου - Finisher

4.3.4.1) Τρισδιάστατο Σύστημα Αυτοματισμού Leica Pavesmart 3D σε Finisher Vogele 1900-3i



Εικόνα 71:Finisher με 3D σύστημα διάστρωσης



Εικόνα 72:Γεωδαιτικοί σταθμοί απαραίτητοι για την υλοποίηση του έργου



Εικόνα 73:Finisher με σύστημα 3D

4.3.4.2) Ασφαλτόστρωση οδικού άξονα με χρήση MOBA Big-Sonic-Ski



Εικόνα 74: Moba big Sonic ski



Εικόνα 75: Moba big Sonic ski

4.3.5)Κρασπεδομηχανή – Slipform paver

Σύστημα Αυτοματισμού Leica Pavesmart 3D σε Κρασπεδομηχανή Wirtgen SP500



Εικόνα 76:Ρομποτικός σταθμός για 3D σύστημα



Εικόνα 77: Κρασπεδομηχανή με 3D Σύστημα αυτοματισμού



Εικόνα 78:Ρομποτικός σταθμός σε κρασπεδομηχανή

Κεφάλαιο 5: Προτάσεις – Συμπεράσματα

5.1) Το επόμενο βήμα στους αυτοματισμούς των μηχανημάτων έργου

Εδώ και χρόνια, όπως και στις μέρες μας οι εργασίες σε εργοτάξια εκτελούνται από ειδικευμένο προσωπικό. Η φυσική παρουσία, οδηγών, εργοδηγών, επιβλεπόντων μηχανικών, και τεχνικών ασφαλείας είναι καθημερινή και πολύ σημαντική. Οι συνθήκες εργασίας στα μέτωπα, εκτός του ότι είναι μεταβαλλόμενες σε καθημερινή βάση, είναι δυσμενείς και σκληρές. Τα όρια όχλησης συχνά υπερβαίνονται, οι τραυματισμοί και τα ατυχήματα είναι σχεδόν καθημερινό φαινόμενο. Οι καιρικές συνθήκες και η όλη εργασιακή πίεση είναι παράγοντες που επιδρούν αρνητικά στην εκτέλεση του έργου.

Στο κομμάτι αυτό η επιστήμη και η τεχνολογία έρχονται να συμβάλλουν θετικά στην βελτιστοποίηση της απόδοσης εργασίας. Η λύση που προτείνεται τα τελευταία χρονιά είναι η αυτοματοποίηση της εργασίας. Με τον όρο αυτοματοποίηση αναφερόμαστε σε δύο έννοιες.

1η Έννοια

Αυτοματοποίηση (πλήρης/μερική) των χωματουργικών μηχανημάτων έργου κατά την εργασία στα μέτωπα του εργοταξίου.

2η Έννοια

Αυτοματοποίηση του γενικού προγράμματος εργασιών και καταμερισμού αρμοδιοτήτων.

Πιο συγκεκριμένα έχουν διεξαχθεί έρευνες κατά τις οποίες η μοντελοποίηση του προγραμματισμού εργασίας και λειτουργίας σε εργοτάξια, καθώς και ο τηλεχειρισμός μηχανημάτων με τη χρήση εξομοιωτών δρουν καταλυτικά στην εκπόνηση χωματουργικών έργων. Το ανειδίκευτο εργατικό προσωπικό αντικαθίσταται από μηχανήματα, ενώ το εξειδικευμένο εργατικό προσωπικό αποτελείται από χειριστές εξομοιωτών των μηχανημάτων. Συγχρόνως η απόδοση και η παραγωγική ικανότητα είναι αρκετά υψηλή ενώ μηδενίζεται η πιθανότητα εργατικών ατυχημάτων και η καταπόνηση των εργαζομένων. Σύμφωνα με τους (S. Dadhich a, U. Bodina, U. Anderssona,b).

Οι πρακτικά εφαρμόσιμες μέθοδοι εργασιών στα εργοτάξια είναι οι εξής:

1. Χειροκίνητη εργασία ή αλλιώς «manual operation»
2. «Sight tele operation»
3. «Tele remote operation»
4. «Assisted teleremote operation»
5. «Fully autonomous operation»

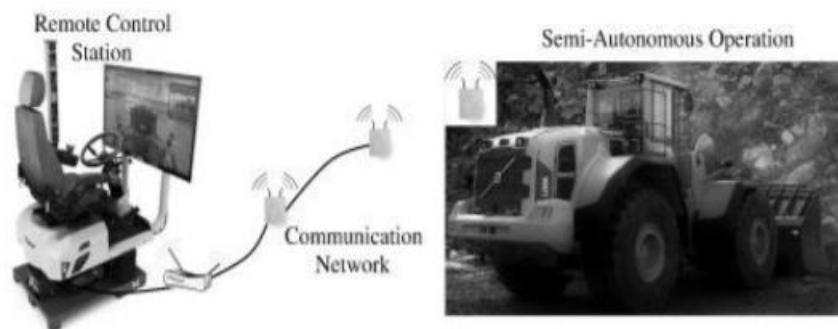
1) Κατά τη **χειροκίνητη εργασία**, ο χειριστής κάθεται στον εξομοιωτή και με τα Χειριστήρια(joysticks) εκτελεί όλες τις κινήσεις που θέλει να κάνει. Η μέθοδος αυτή ήταν και είναι ευρέως εφαρμοσμένη εδώ και χρόνια, και συνεχίζει ακόμα και σήμερα.

2) Κατά τη μέθοδο «**sight tele operation**», ο χειριστής βρίσκεται ο ίδιος στο μέτωπο εργασίας και χειρίζεται το κινούμενο μηχάνημα με τηλεχειριστήριο χωρίς την παρουσία εντός του μηχανήματος



Εικόνα 79: Sight tele operation

3) Κατά τη μέθοδο «**tele remote operation**», ο χειριστής είναι σε ένα δωμάτιο ελέγχου μακριά από την κατασκευή του έργου και χειρίζεται τα πάντα μέσω υπολογιστικού συστήματος εξομοίωσης «audio visual».



Εικόνα 80: Remote control and semi-autonomous operation

4) Κατά τη μέθοδο «**assisted tele remote operation**», το μηχάνημα εκτελεί πολλές εργασίες μόνο του. Ο χειριστής επεμβαίνει μόνο σε εργασίες κατά τις οποίες η ανθρώπινη επιτήρηση είναι απαραίτητη.

5) Κατά τη μέθοδο «**fully autonomous**» το μηχάνημα εκτελεί όλες τις λειτουργίες μόνο του και η ανθρώπινη επέμβαση με τηλεχειρισμό γίνεται μόνο σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης, όπως κινδύνου ανατροπής ή εκτέλεσης εντολών υψίστης σημασίας.

Εκτελώντας τις εργασίες στα εργοτάξια σύμφωνα με τις ανωτέρω μεθόδους αυτοματισμού αυτό που παρατηρήθηκε ήταν ότι:

- Σε μικρό κύκλο εργασίας, η ταχύτητα εκτέλεσής είναι μεγάλη και η απόδοση είναι ικανοποιητική.
- Σε μεγάλο κύκλο εργασίας όμως, καταναλώνεται χρόνος στο χειρισμό του μηχανήματος. Προκειμένου αυτό να μειωθεί δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην έρευνα των λογισμικών, έτσι ώστε η καθοδήγηση του μηχανήματος να γίνεται ευκολότερα.

Τα ημιαυτόματα η αυτόματα ή τηλεχειριζόμενα μηχανήματα χωματουργικών έργων επιδεικνύουν χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμου με αποτέλεσμα να επηρεάζεται το τελικό κόστος του τεχνικού έργου από 30 έως 60% σύμφωνα με μελέτες.

Εκτιμάται ότι η μοντελοποίηση των μηχανημάτων βοηθά στην εξέλιξη της ποιότητας και κατά συνέπεια στην απόδοση τους.

Τα περισσότερα συστήματα τηλεχειριζόμενων μηχανημάτων διαθέτουν κατάλληλο λογισμικό ώστε :

- να επιλέγουν το συντομότερο και ασφαλέστερο δρόμο στο εργοτάξιο
- να προβλέπουν πιθανές αστοχίες του εδάφους. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την ασφάλεια κατά την κίνησή τους.
- να προετοιμάζουν σωστά το βραχίονα (μπούμα) και τον κάδο κατά τη φόρτωση και εκφόρτωση του υλικού .
- να μετρούν το βάρος του υλικού που φορτώνεται και εκφορτώνεται από αυτά με διάφορους αισθητήρες.

Αξίζει να σημειωθεί ότι με τη μοντελοποίηση των μηχανημάτων επιτυγχάνεται η χαμηλότερη δυνατή μηχανική καταπόνηση του ίδιου του μηχανήματος στις μηχανικές και υδραυλικές του αρθρώσεις κατά τη διάρκεια της κίνησης και εργασίας του.

Αυτός είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας μείωσης του κόστους του έργου καθώς μειώνεται το κόστος συντήρησης των μηχανημάτων.

Η μοντελοποίηση του σχεδιασμού εργασιών των μηχανημάτων αυτών σε εργοτάξια έχει τα ακόλουθα **πλεονεκτήματα**:

- μηδενισμός των εργατικών ατυχημάτων,
- μείωση κατανάλωσης καυσίμου, συνεπώς μείωση τελικού κόστους εργασίας,
- συνεχής εργασία, ανεξαρτήτου καιρικών συνθηκών,
- αποδοτικότερη εργασία έναντι της συμβατικής, λόγω μηχανοποίησης του χειρισμού,
- μείωση κόστους συντήρησής τους,
- μείωση κόπωσης του εργατικού δυναμικού,
- σωστότερος και ακριβέστερος προγραμματισμός εργασιών.

5.2 Επίπεδα αυτονομίας στην καθοδήγηση μηχανήματων έργων

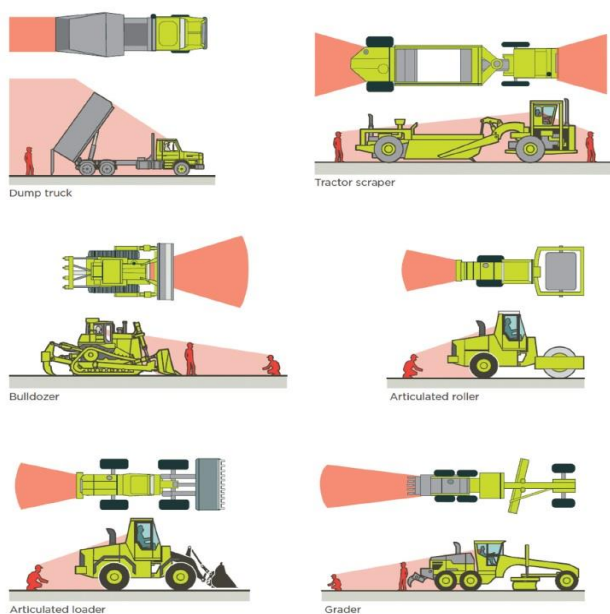
- 1) Οδηγίες χειριστή. Το μηχάνημα λειτουργεί χειροκίνητα ενώ το σύστημα ελέγχου καθοδηγεί τον χειριστή ενός μηχανήματος.
- 2) Συντονισμένος έλεγχος. Το μηχάνημα ελέγχει τις κινήσεις του μηχανήματος σύμφωνα με τις εντολές που παρέχονται στο καρτεσιανό σύστημα από τον χειριστή.
- 3) Μερικώς αυτοματοποιημένο. Ορισμένα μέρη του μηχανήματος κινούνται αυτόματα σύμφωνα με τα επίπεδα στόχου που παρέχονται από τον χειριστή.
- 4) Πλήρως αυτοματοποιημένο. Η εργασία πραγματοποιείται με πλήρη αυτόματο έλεγχο στην παρακολούθηση του χειριστή.
- 5) Αυτόνομο σύστημα. Η εργασία πραγματοποιείται αυτόματα χωρίς επιτήρηση.

Το Machine control περιλαμβάνει μηχανήματα με επίπεδο αυτοματισμού 1-4. Το επίπεδο αυτοματισμού εξαρτάται από τον τύπο της εργασίας. Το επίπεδο 1 είναι αρκετό για τον εκσκαφέα, ενώ το επίπεδο 4 είναι το πιο κατάλληλο για το γκρέιντερ.

Ο αυτοματισμός σε μπουλντόζες (dozer) γίνεται με οποιοδήποτε επίπεδο αυτονομίας από 1 έως 4 είναι ενώ στους φορτωτές στο επίπεδο ένα. Ο αυτοματισμός μηχανημάτων διαστρωτήρα ασφάλτου γίνεται συνήθως στο τρίτο επίπεδο και των μηχανών συμπίεσης στο πρώτο.

Το επίπεδο αυτοματισμού για κάθε μηχάνημα εξαρτάται από την ακρίβεια που θέλουμε να πέτυχουμε και με το έργο που έχουμε να υλοποιήσουμε. Ανάλογα με το εκάστοτε έργο και την χρήση που θέλουμε να κάνουμε έχουμε και το αντίστοιχο αυτοματισμό για το μηχάνημα έργου που θα χρησιμοποιήσουμε.

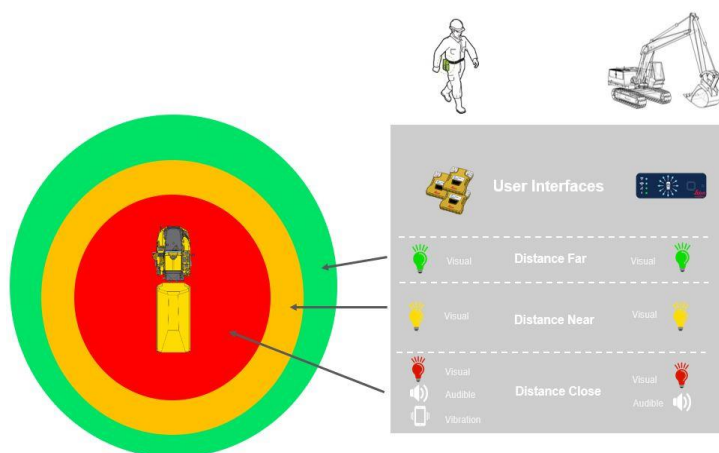
5.3) Συστήματα ασφαλείας εργοταξίου



Εικόνα 81: Νεκρές γωνίες του μηχανήματος

"Η ασφάλεια γίνεται όλο και πιο σημαντική στον κατασκευαστικό κλάδο, όχι μόνο για τα μηχανήματα, αλλά και για τη γενική ευημερία ενός εργοταξίου. Η Leica όπως και άλλες εταιρίες έχει δημιουργήσει ένα νέο καινοτόμο σύστημα το iCON PA10.

Μετά από αρκετές έρευνες σε πολλά εργοτάξια, αναπτύχθηκε αυτή η τεχνολογία για την αποφυγή εργατικών ατυχημάτων. Είναι μια μικρή συσκευή που φοράει το προσωπικό που κινείται με τα πόδια εντός εργοταξίου και η οποία επικοινωνεί με τα μηχανήματα του εργοταξίου.



Εικόνα 82: Περιοχή λειτουργίας (<https://leica-geosystems.com/about-us/news-room/news-overview/2021/10/leica-geosystems-announces-substantial-safety-awareness-solution-enhancements>)

Σήματα ειδοποίησης

Ο χρόνος διάδοσης του σήματος μετράτε μεταξύ των αναμεταδοτών(anchors)-πομπών που είναι εγκατεστημένα στο εσωτερικό-εξωτερικό των οχημάτων και των συσκευών με μπαταρία που φορούν οι πεζοί. Η συσκευή παρέχει ηχητική και οπτική ανατροφοδότηση στον πεζό και ο πομπός παρέχει οπτική και ηχητική ανατροφοδότηση στον χειριστή ή τον οδηγό του μηχανήματος.



Εικόνα 83: Περιεχόμενα συστήματος (<https://leica-geosystems.com/about-us/news-room/news-overview/2021/10/leica-geosystems-announces-substantial-safety-awareness-solution-enhancements>)

5.4) Απόδοση Επένδυσης (Return on investment (ROI))

Όπως σε κάθε έργο και σε κάθε επένδυση το πιο σημαντικό κομμάτι είναι να δούμε την απόδοση της επένδυσης που θα γίνει. Απόδοση επένδυσης (ROI) είναι ο δείκτης που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της απόδοσης μιας επένδυσης ή για να συγκρίνει την αποδοτικότητα διαφορετικών επενδύσεων σε ένα έργο.

Για τον υπολογισμό του δείκτη ROI, το όφελος (απόδοση) μιας επένδυσης διαιρείται με το κόστος της και το αποτέλεσμα εκφράζεται ως ποσοστό.

$$\text{Απόδοση της επένδυσης} = \frac{\text{(Κέρδος επένδυσης - Κόστος επένδυσης)}}{\text{Κόστος επένδυσης}}$$

Ο δείκτης ROI μετρά πόσο αποτελεσματικά η επιχείρηση χρησιμοποιεί τα κεφάλαια της για να παράγει κέρδος κι είναι ένας πολύ δημοφιλής δείκτης μέτρησης λόγω της ευελιξίας και της απλότητας του. Εάν η επένδυση δεν έχει θετικό πρόσημο ή αν υπάρχουν άλλες επενδύσεις με υψηλότερη απόδοση, τότε η επένδυση δεν θα πρέπει να αναληφθεί.

Η μέτρηση της απόδοσης μιας επένδυσης μπορεί να μεταβάλλεται ανάλογα με την κατάσταση, βάζοντας ως κόστη και κέρδη κάθε φορά τα απαιτούμενα.

Αυτή η ευελιξία έχει κι ένα μειονέκτημα όμως, καθώς ο υπολογισμός του δείκτη ROI μπορεί εύκολα να χειραγωγηθεί και να εκφράσει διαφορετικό αποτέλεσμα κάθε φορά ώστε να εξυπηρετεί τους σκοπούς του χρήστη.

Ο δείκτης ROI χρησιμοποιείται επίσης από τους τραπεζίτες, τους επενδυτές και τους αναλυτές των επιχειρήσεων για να αξιολογήσουν την οικονομική ισχύ και την αποτελεσματική διαχείριση των πόρων μιας επιχείρησης.

Από την άλλη, μια υψηλή τιμή του δείκτη ROI μπορεί να σημαίνει είτε ότι η διαχείριση κάνει καλή δουλειά, ή ότι η επιχείρηση δεν έχει τα απαιτούμενα για τον κύκλο εργασιών της κεφάλαια.

Ο δείκτης ROI μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση μιας προτεινόμενης επένδυσης σε νέο εξοπλισμό όπως στην αυτόματη καθοδήγηση μηχανημάτων, διαιρώντας την αύξηση των κερδών που οφείλεται στον νέο εξοπλισμό με την αύξηση των δαπανών που απαιτούνται για την απόκτηση του.

5.5) Τελικά Συμπεράσματα Μελέτης

Από τις άμεσες σύγκρισης παραγωγικότητας, μπορούμε σίγουρα να διαπιστώσουμε ότι η χρήση νέων τεχνολογιών ελέγχου μηχανημάτων σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους οδηγεί σε σημαντικό κέρδος παραγωγικότητας στο συνολικό χρόνο κατασκευής του έργου.

Τα αποτελέσματα που εκτίθενται από τις εκθέσεις παραγωγικότητας υποδηλώνουν ότι μια συνολική εξοικονόμηση χρόνου έργου κατά την κατασκευή του οδοστρώματος κατά 100+% μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση αυτόματης καθοδήγησης μηχανημάτων.

Σημειώστε ότι αυτές οι μελέτες περιλαμβάνουν σχετικά βασικές ευθυγραμμίες. Τα έργα δεν αφορούν μόνο την κατασκευή δρόμων με πολλαπλά στρώματα, αλλά επίσης προσωρινές ευθυγραμμίες που διασχίζουν μόνιμα έργα.

Χρησιμοποιώντας μια παραδοσιακή μέθοδο έρευνας, είναι συνήθως δυνατή μόνο η ρύθμιση και η δημιουργία μιας ευθυγράμμισης κάθε φορά. Ωστόσο, χρησιμοποιώντας αυτόματη καθοδήγηση μηχανημάτων, οι χειριστές μπορούν να αλλάξουν το σχέδιο που εμφανίζεται στην οθόνη τους για να δημιουργήσουν πολλές ευθυγραμμίες μαζί.

Έτσι, ο χρόνος που εξοικονομείται αυξάνεται ακόμη πιο πολύ σε πολύπλοκα έργα οδοποιίας.

Τα κύρια **οφέλη** της καθοδήγησης μηχανημάτων έργων είναι:

- **Αυξημένη παραγωγικότητα.** Όταν ένας προωθητής, γκρέιντερ ή εκσκαφέας απαιτεί λιγότερα περάσματα για να επιτύχει το στόχο του - οδηγεί σε ταχύτερη ολοκλήρωση του έργου και σε χαμηλότερο κόστος κατασκευής για τους

ιδιοκτήτες του έργου. Αυτές οι εξοικονομήσεις χρόνου παρέχουν επίσης μειώσεις στο κόστος των υλικών, της εργασίας και των καυσίμων.

- **Μειωμένο κόστος κατασκευής** - η καθοδήγηση του μηχανήματος μπορεί να μειώσει τον χρόνο που απαιτείται για την ισοπέδωση ή την εκσκαφή κατά περίπου 70%. Αυτό έχει άμεσα οφέλη στη μεγιστοποίηση της χρήσης του μηχανήματος, στη μείωση του χρόνου και της συντήρησης. Μειώνει επίσης το κόστος κεφαλαίου γενικότερα επιτρέποντας την ολοκλήρωση του έργου με λιγότερα μηχανήματα.
- **Βελτιωμένη ακρίβεια**-Η αυτόματη καθοδήγηση του μηχανήματος διασφαλίζει ότι οι εργασίες κατασκευής ολοκληρώνονται σωστά από την πρώτη φορά, βελτιώνοντας τη συμμόρφωση με τις προδιαγραφές και παρέχοντας καλύτερο έλεγχο της κλίσης στα έργα.
- **Μειωμένο κόστος υλικού** - Η ικανότητα ισοπέδωσης ή εκσκαφής με βάση συγκεκριμένες προδιαγραφές μπορεί να μειώσει το συνολικό κόστος υλικού. Μελέτες έχουν δείξει ότι η αυτόματη καθοδήγηση και ο έλεγχος επιτρέπει στον ανάδοχο του έργου να χρησιμοποιεί λιγότερο χώμα, βασικό υλικό, ασφαλτό ή σκυρόδεμα σε σύγκριση με τις συμβατικές μεθόδους κατασκευής.
- **Μειωμένο κόστος εργασίας** - τουλάχιστον κατά 50% (και έως 95% σε ορισμένες λειτουργίες εργασίας). Η ταχύτερη ολοκλήρωση του έργου που διευκολύνεται από την τεχνολογία αυτόματης καθοδήγησης μειώνει σημαντικά τις συνολικές ώρες χειρισμού του μηχανήματος στο έργο. Παρατηρούνται επίσης δραματικές μειώσεις στην απαίτηση για επιθεώρηση και βαθμονόμησή κατά τη διάρκεια της κατασκευής. Μειώνονται επίσης οι επισκέψεις στο χώρο για πιστοποίηση και διαπίστευση του έργου από τρίτους.
- **Μειωμένο κόστος καυσίμου** - η χρήση αυτόματης καθοδήγησης μηχανημάτων εξοικονομεί καύσιμα.
- **Βελτιωμένη ασφάλεια**-Η καθοδήγηση του μηχανήματος εξαλείφει την ανάγκη επιτόπιας έρευνας και εγκατάστασης ραμμάτων από τους τοπογράφους του έργου. Ως αποτέλεσμα, υπάρχουν λιγότερες πιθανότητες να υπάρξει κάποιο εργατικό ατύχημα.
- **Βελτιωμένος ποιοτικός έλεγχος** - Οι τεχνολογίες GNSS παρέχουν μεγαλύτερη ακρίβεια για σκοπούς διασφάλισης ποιότητας και υπολογισμού ποσότητας. Τα δεδομένα από τρισδιάστατα μοντέλα(DTM) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη συνεχή διαχείριση, τη διατήρηση πληροφοριών του έργου, υλικών που χρησιμοποιούνται, θέσεων δοκιμών και αποτελεσμάτων δοκιμών.
- **Βελτιωμένες περιβαλλοντικές επιδόσεις** - μειωμένες εκπομπές αερίου που προκύπτουν από μείωση της κατανάλωσης καυσίμου κατά 25%.
- **Καινοτόμες εφαρμογές** - Τα συστήματα καθοδήγησης μηχανών επιτρέπουν στους αναδόχους να ολοκληρώσουν τα έργα που μπορεί προηγουμένως να ήταν αδύνατα.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α:GNSS

GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM (GNSS)

Οι δορυφόροι είναι σε θέση να μεταδίδουν δεδομένα σε δέκτες GNSS.

Το Παγκόσμιο Δορυφορικό Σύστημα Πλοήγησης (GNSS) αναφέρεται σε έναν αστερισμό δορυφόρων που μαζί παρέχουν σήματα από το διάστημα που μεταδίδουν δεδομένα θέσης και χρονισμού σε δέκτες GNSS. Οι δέκτες στη συνέχεια χρησιμοποιούν αυτά τα δεδομένα για να προσδιορίσουν τη θέση.

Τα συστήματα GNSS και Global Positioning Systems (GPS) συνεργάζονται, αλλά η κύρια διαφορά μεταξύ GPS και GNSS είναι ότι ο συμβατός εξοπλισμός GNSS μπορεί να χρησιμοποιεί δορυφόρους πλοήγησης από άλλα δίκτυα πέρα από το σύστημα GPS. Και περισσότεροι δορυφόροι σημαίνει αυξημένη ακρίβεια και αξιοπιστία του δέκτη και ασφαλώς καλύτερη θέση στο χώρο.

Οι κεραίες GNSS παρέχουν τη λήψη πληροφοριών τοποθέτησης που αποστέλλονται από δορυφόρους. Ένας πομποδέκτης GNSS επεξεργάζεται τα ληφθέντα σήματα και στη συνέχεια υπολογίζει την τρέχουσα θέση. Μια κεραία GNSS «βλέπει» τουλάχιστον τέσσερις δορυφόρους για να λειτουργήσει ο υπολογισμός.

Η γενική αρχή λειτουργίας των GPS

Το GPS (Global Positioning System) είναι ένα γεωδαιτικό δορυφορικό σύστημα προσδιορισμού της θέσης ενός σημείου στο χώρο, που αρχικά σχεδιάστηκε για τις ανάγκες πλοήγησης του Αμερικανικού Ναυτικού, αλλά κατέληξε στις μέρες μας να έχει πολιτική χρήση.

Η λειτουργία του GPS στηρίζεται σε 24-32 δορυφόρους, οι οποίοι βρίσκονται σε σταθερές τροχιές γύρω από τη γη και οι συντεταγμένες τους είναι κάθε στιγμή γνωστές με μεγάλη ακρίβεια.

Η αρχή λειτουργίας του GPS είναι η εξής: ο προσδιορισμός ενός σημείου στο χώρο (συντεταγμένες x,y,z) γίνεται με τον υπολογισμό των αποστάσεων του σημείου αυτού από τρεις δορυφόρους ως τομή τριών γεωμετρικών τόπων.

Το σημείο του οποίου θέλουμε να προσδιορίσουμε τις συντεταγμένες, βρίσκεται στην τομή τριών σφαιρών, με κέντρο κάθε σφαίρας ένα δορυφόρο και ακτίνα την απόσταση του σημείου από τον αντίστοιχο δορυφόρο. Ο προσδιορισμός αυτός είναι μία εμπροσθοτομία στο χώρο. Το πρόβλημα ανάγεται στον υπολογισμό της απόστασης ενός σημείου από τον κάθε δορυφόρο και αντιστοιχεί σε ένα σύστημα εξισώσεων τριών αγνώστων (συντεταγμένες x,y,z) και τριών παρατηρήσεων (τρεις αποστάσεις).

Η μέτρηση αυτών των αποστάσεων γίνεται με τη μέτρηση του χρόνου Δt από τη στιγμή που εστάλη ένα σήμα με γνωστή ταχύτητα (ταχύτητα του φωτός) από το δορυφόρο μέχρι να φτάσει στο δέκτη. Επειδή για λόγους οικονομίας και χώρου οι δέκτες δεν διαθέτουν ρολόι ακριβείας, ο χρόνος στο δέκτη θεωρείται ένας ακόμη (τέταρτος) άγνωστος παράγοντας και εισάγεται μία ακόμη παρατήρηση, που είναι η απόσταση από έναν τέταρτο δορυφόρο.

Οι δορυφόροι GPS έχουν τεθεί ανά 4 σε 6 καθορισμένες τροχιές (οι οποίες συνεχώς παρακολουθούνται και διορθώνονται για πιθανές αποκλίσεις). Ο σχεδιασμός είναι τέτοιος ώστε να είναι ορατοί 4 δορυφόροι ανά πάσα στιγμή από κάθε σημείο της επιφάνειας της Γης. Καθώς οι δορυφόροι κινούνται στον ουρανό, ο δέκτης λαμβάνει σήματα από τις νέες τους αλλά γνωστές θέσεις και υπολογίζει μία μέση τιμή των συντεταγμένων του.

Όμως, παρουσιάζεται πρόβλημα ορατότητας δορυφόρων ιδιαίτερα στις περιοχές κοντά στους πόλους (π.χ. Αγγλία), με αποτέλεσμα να βρίσκονται άλλοι έμμεσοι τρόποι για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος, όπως για παράδειγμα οι pseudolites («ψευδοδορυφόροι»), δηλαδή πομποί εγκατεστημένοι στη Γη που εκπέμπουν σήματα ίδια περίπου με αυτά των δορυφόρων.

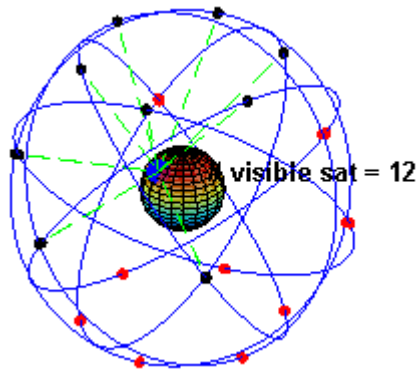
Λειτουργικά τμήματα

Το σύστημα εντοπισμού θέσης GPS σχηματίζει ένα παγκόσμιο δίκτυο, με εμβέλεια που καλύπτει ξηρά, θάλασσα και αέρα. Εξαιτίας αυτής της έκτασής του, είναι απαραίτητος ο διαχωρισμός του σε επιμέρους τμήματα όπου πραγματοποιούνται όλες οι λειτουργίες του αλλά και ο συντονισμός του συστήματος. Συγκεκριμένα έχουμε:

Διαστημικό τμήμα:

Αποτελείται από το δίκτυο των 24 - 32 δορυφόρων που ήδη αναφέραμε. Οι δορυφόροι αυτοί «σκεπάζουν» ομοιόμορφα με το σήμα τους ολόκληρο τον πλανήτη, γεγονός που αποδεικνύει τη φιλοσοφία που κρύβεται πίσω από τη λειτουργία του συστήματος GPS, δηλαδή τη διαθεσιμότητά του σε κάθε σημείο της Γης, ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος να αποπροσανατολιστεί κανείς ποτέ και πουθενά.

Όλοι οι δορυφόροι βρίσκονται σε ύψος 12.552 μιλίων (περίπου 20.000 χιλιομέτρων) πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας και εκτελούν δύο περιστροφές γύρω από τη Γη κάθε 24 ώρες. Μια από τις κατασκευάστριες εταιρείες είναι η Rockwell International, ενώ η τροφοδοσία τους γίνεται με ηλεκτρική ενέργεια και πραγματοποιείται μέσω των φωτοβολταϊκών πάνελ - συστημάτων που διαθέτουν.



Εικόνα 84:Αναπαράσταση του σχεδίου του GPS(https://el.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System)

Αναπαράσταση του αρχικού σχεδίου του συστήματος GPS, με 24 δορυφόρους GPS (4 δορυφόροι σε καθεμία από τις 6 τροχιές). Ο αριθμός δείχνει την εξέλιξη των ορατών δορυφόρων από ένα σημείο. Ο ρυθμός χρόνου της αναπαράστασης, είναι 2.880 φορές ταχύτερος από τον πραγματικό ρυθμό χρόνου (κάθε μισό λεπτό αντιπροσωπεύει 24 ώρες).

Επίγειο τμήμα ελέγχου

Οι δορυφόροι, είναι πιθανό να αντιμετωπίσουν προβλήματα με τη λειτουργία τους. Οι έλεγχοι που πραγματοποιούνται σε αυτούς αφορούν τη ταχύτητα, το υψόμετρο και την κατάσταση της ηλεκτρικής ενέργειας. Παράλληλα, εφαρμόζονται όλες οι διορθωτικές ενέργειες που αφορούν στο σύστημα χρονομέτρησης των δορυφόρων, ώστε να αποτρέπεται η παροχή λανθασμένων πληροφοριών στους χρήστες του συστήματος. Το τμήμα επίγειου ελέγχου αποτελείται από ένα επανδρωμένο και τέσσερα μη επανδρωμένα κέντρα, εγκατεστημένα σε ισάριθμες περιοχές του πλανήτη.

Οι περιοχές αυτές είναι οι ακόλουθες: α) Κολοράντο (ΗΠΑ) β) Χαβάη (Ανατολικός Ειρηνικός Ωκεανός) γ) Ascension Island (Ατλαντικός Ωκεανός) δ) Diego Garcia (Ινδικός Ωκεανός) ε) Kwajalein (Δυτικός Ειρηνικός Ωκεανός)

Το τμήμα τελικού χρήστη

Απαρτίζεται από τους εκατομμύρια χρήστες δεκτών GPS ανά τον κόσμο. Οι δέκτες αυτοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά τη διάρκεια μιας απλής πεζοπορίας, όσο και σε οχήματα ή θαλάσσια σκάφη και κατά κανόνα διαθέτουν αρκετά μικρές διαστάσεις. Για να προσφέρουν όσο το δυνατόν περισσότερες πληροφορίες, οι δέκτες συνδυάζονται με ειδικό λογισμικό, που προβάλλει ένα χάρτη στην οθόνη της συσκευής GPS. Πρόκειται, δηλαδή, για λογισμικό που λαμβάνει από τους δορυφόρους τις πληροφορίες για το στίγμα του σημείου στο οποίο βρίσκεται ο δέκτης και τις μετατρέπει σε κατανοητή μορφή, πληροφορώντας το χρήστη για την ακριβή γεωγραφική του θέση.

Το τμήμα του χρήστη

Για τη λήψη και αποκωδικοποίηση του δορυφορικού σήματος από τους χρήστες του συστήματος GPS, χρησιμοποιούνται τα παρακάτω όργανα: Κεραία μικρών διαστάσεων και βάρους για να είναι δυνατές οι μετρήσεις και σε αντίξοες συνθήκες.

1) Η κεραία του GPS είναι πολυκατευθυντική. Μπορεί να λάβει το σήμα από κάθε κατεύθυνση και να το οδηγήσει στο κέντρο της κεραίας, σημείο ως προς το οποίο γίνονται οι μετρήσεις. Πρέπει όμως για ακριβείς μετρήσεις να είναι κατακόρυφος ο άξονας της.

2) Δέκτης, ο οποίος παραλαμβάνει το σήμα από την κεραία και στην συνέχεια επεξεργάζεται τις καταγραφές. Πιο συγκεκριμένα, αποκωδικοποιεί το σήμα των μετρήσεων που λαμβάνει από την κεραία. Δέκτες υπάρχουν μονής (L1) και διπλής (L1 και L2) συχνότητας, με αποτέλεσμα οι πρώτοι να μπορούν να αποκωδικοποιήσουν μόνο σήματα σε συχνότητα L1, ενώ οι δεύτεροι μπορούν να αποκωδικοποιήσουν σήματα και των δύο συχνοτήτων.



Εικόνα 85:Κεραία GPS μαζί με το χειριστήριο(trimble.com)

Λόγω της ιδιότητας αυτής οι δέκτες διπλής συχνότητας δίνουν πιο ακριβείς μετρήσεις σε μικρότερο χρονικό διάστημα και γι' αυτό το λόγο είναι και μεγαλύτερο το κόστος τους. Να σημειωθεί ότι ο δέκτης χρησιμεύει και για την αποθήκευση των μετρήσεων.



Εικόνα 86:Το δίκτυο επίγειων σταθμών του τμήματος ελέγχου του συστήματος GPS.(
<http://www.gps.gov/multimedia/images/GPS-control-segment-map.pdf>)

ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΑ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΧΡΟΝΟΥ (RTK)

Το RTK παρέχει πιο ακριβή τοποθέτηση από τα κανονικά συστήματα GPS.

Το RTK σημαίνει κινηματικά σε πραγματικό χρόνο και είναι μια τεχνική που χρησιμοποιεί εύρος βάσει φορέα και παρέχει πολύ πιο ακριβή τοποθέτηση από τη χρήση κανονικών συστημάτων GPS - τόσο ακριβή όσο 1 εκατοστό. Η τεχνική χρησιμοποιεί σταθμό βάσης για να βοηθήσει στην εξάλειψη σφαλμάτων μεταξύ του δορυφόρου και του μηχανήματος.

Η θέση υπολογίζεται προσδιορίζοντας τον αριθμό των κύκλων φορέα μεταξύ του δορυφόρου και του μηχανήματος, πολλαπλασιάζοντας τον αριθμό αυτό με το μήκος κύματος του φορέα. Ακόμα και τότε, τα υπολογισμένα εύρη περιλαμβάνουν σφάλματα, όπως ατμοσφαιρικές καθυστερήσεις. Για την εξάλειψη ακόμη και αυτών των σφαλμάτων απαιτείται μια περίπλοκη διαδικασία που ονομάζεται «ασάφεια» για τον προσδιορισμό του αριθμού ολόκληρων κύκλων. Παρά το γεγονός ότι είναι μια περίπλοκη διαδικασία, οι δέκτες υψηλής ακρίβειας GNSS μπορούν να επιλύσουν τις ασάφειες σχεδόν αμέσως.

Η ακρίβεια θέσης του μηχανήματος εξαρτάται επίσης από την απόσταση από το σταθμό βάσης και την ακρίβεια των διορθώσεων. Οι διορθώσεις είναι τόσο ακριβείς όσο η γνωστή τοποθεσία του σταθμού βάσης και η ποιότητα των δορυφορικών παρατηρήσεων του σταθμού βάσης.

Network RTK

Η υπηρεσία δικτυακών δεδομένων Network RTK υποστηρίζει δικτυακές υπηρεσίες υψηλής ακρίβειας και αξιοπιστίας που υπολογίζονται από τα δεδομένα σταθμών αναφοράς.

Η υπηρεσία δικτυακών δεδομένων NRTK υποστηρίζει ακρίβειες μετρήσεων από 2cm οριζοντιογραφικά και 4cm υψομετρικά που μπορεί να επιτευχθεί με γεωδαιτικούς

δέκτες. Η ακρίβεια που επιτυγχάνεται στο πεδίο δεν εξαρτάται από την απόσταση από τον πλησιέστερο σταθμό αναφοράς.

Πλεονεκτήματα

- Μέτρηση με ένα μόνο δέκτη (Δεν χρειάζεται να χρησιμοποιηθεί σταθμός βάσης)
- Υψηλής αξιοπιστίας διορθώσεις RTK
- Οι ακρίβειες των υπολογιζόμενων θέσεων του Rover είναι ομοιογενείς στην περιοχή που καλύπτεται από το δίκτυο
- Η ποιότητα του δικτύου παρακολουθείται συνεχώς από το λογισμικό Bernese
- Οι RTK διορθώσεις παρέχονται σε τυποποιημένη μορφή (RTCM)
- Οι διορθώσεις παρέχονται χρησιμοποιώντας τις καλύτερες δικτυακές τεχνικές RTK (MAX - iMAX - Virtual Reference Station)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: Τοπογραφικός Εξοπλισμός

ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ – Ιστορική αναδρομή

Μέχρι την δεκαετία του 1970, υπήρχε ο περιορισμός της μεγάλης δυσκολίας με την οποία γίνονταν οι μετρήσεις αποστάσεων για την επιστήμη της γεωδαισίας, παρά την θεαματική εξέλιξή της, ειδικά σε εργασίες με απαιτήσεις μεγάλης ακρίβειας, όπως τα τριγωνομετρικά δίκτυα κλπ., όπου για την μέτρηση ενός μήκους μερικών χιλιομέτρων απαιτούνταν επίπονη εργασία αρκετών ημερών. Η δυσκολία αυτή είχε σαν αποτέλεσμα τον προσανατολισμό της γεωδαισίας σε μεθόδους όπως η μέτρηση της βάσης τριγωνομετρικού δικτύου για τον προσδιορισμό της κλίμακάς του. Έτσι, οι μετρήσεις μηκών, στις απλές και συνηθισμένες τοπογραφικές εργασίες γίνονταν κυρίως με μετροταινίες ή ταχυμετρικά, στις δε μετρήσεις με απαιτήσεις υψηλής ακριβείας, γίνονταν με μεθόδους και όργανα που απαιτούσαν επίπονες και χρονοβόρες διαδικασίες. (Πηγή: Κάσκουρα Βασιλική, 2010).

Συνεπώς, η δημιουργία συστημάτων μέτρησης μήκους με ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αποτέλεσε την επανάσταση στις γεωδαιτικές μετρήσεις, καθώς αυτά, με την ραγδαία πρόοδο της τεχνολογίας των τελευταίων δεκαετιών, από τα βαριά, δύσχρηστα και με όχι ικανοποιητική ακρίβεια όργανα της πρώτης εποχής, εξελίχθηκαν γρήγορα σε πολύ εύχρηστα και με πολύ υψηλή ακρίβεια όργανα EDM, όπως είναι διεθνώς γνωστά, από τα αρχικά των λέξεων Electromagnetic Distance Measurement, τα οποία χρησιμοποιούνταν επικαθίμενα στα συμβατικά θεοδόλιχα και

ενσωματώθηκαν τελικά σε αυτά. (Πηγή: Κάσκουρα Βασιλική, 2010).



Εικόνα 87:Θεοδολιχος σοβιετικής κατασκευής του 1958

Γεωδαιτικός σταθμός - Total Stations

Ονομάζεται το τοπογραφικό όργανο που έχει δυνατότητα μέτρησης γωνιών και αποστάσεων. Αποτελεί έναν συνδυασμό σε ενιαία συσκευή ψηφιακού θεοδόλιχου και EDM που δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη του να συλλέγει όλες τις απαραίτητες μετρήσεις για μία τοπογραφική αποτύπωση με χρήση της ψηφιακής τεχνολογίας.

Οι πλέον σύγχρονοι γεωδαιτικοί σταθμοί που χρησιμοποιούνται είναι εξοπλισμένοι με ενσωματωμένα μέσα αποθήκευσης των δεδομένων (καταγραφικά) που διευκολύνουν τον τοπογράφο να μην καταγράφει τα αποτελέσματα των μετρήσεων με το χέρι. Συμπερασματικά, τα δεδομένα αποθηκεύονται στο όργανο και, στη συνέχεια, είναι προσβάσιμα μέσω ενός υπολογιστή και πλέον μπορούν να επεξεργαστούν για να παραχθεί το τελικό αποτέλεσμα (Πηγή: <http://Total-Station.com>).

Χαρακτηριστικά Γεωδαιτικού σταθμού

Μέθοδος λειτουργίας

Η μέθοδος λειτουργίας ενός γεωδαιτικού σταθμού βασίζεται στις αντίστοιχες μεθόδους που χρησιμοποιούν τα ψηφιακά θεοδόλιχα και τα EDM, χωρίς καμία ιδιαίτερη διαφοροποίηση επί αυτών.

Δυνατότητες

Οι δυνατότητες ακρίβειας, τόσο στη μέτρηση γωνιών όσο και αποστάσεων, που έχουν οι σύγχρονοι γεωδαιτικοί σταθμοί είναι πολύ μεγάλες. Οι αποστάσεις μπορούν να μετρηθούν με ακρίβεια της τάξης μερικών mm ή και δεκάτων του mm ενώ οι γωνίες μπορούν να μετρηθούν με ακρίβεια 0,5" έως 20". Κάθε γεωδαιτικός σταθμός, όπως και γενικά κάθε μετρητικό όργανο ακριβείας, συνοδεύεται από την αντίστοιχη διακρίβωση-βαθμονόμηση από τον κατασκευαστή.

Επίσης η εξέλιξη της τεχνολογίας έχει προσφέρει σημαντικές δυνατότητες και γνώσεις σ' αυτά τα όργανα. Ορισμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί έχουν τη δυνατότητα αυτόματης στόχευσης στο κάτοπτρο και ασύρματο τηλεχειρισμό, και αποκαλούνται συνήθως "ρομποτικοί". Επίσης ορισμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί διαθέτουν ενσωματωμένους δέκτες GPS γεωδαιτικής ακριβείας που επιτρέπουν τον προσδιορισμό της θέσης του οργάνου με ακρίβεια cm.

Χρήση

Ο γεωδαιτικός σταθμός είναι βασικό εργαλείο όλων των σύγχρονων τοπογραφικών μετρήσεων. Χρησιμοποιείται ευρύτατα για τη χαρτογράφηση ή τη σύνταξη τοπογραφικού διαγράμματος ιδιοκτησιών και οικοπέδων. Η χρήση ενός γεωδαιτικού σταθμού απαιτεί εκπαιδευμένο και εξειδικευμένο προσωπικό από μηχανικούς. Ένας ειδικός τρίποδας χρησιμοποιείται από τον γεωδαιτικό σταθμό ώστε να τοποθετηθεί στο κατάλληλο ύψος άνετης σκόπευσης. Ο τρίποδας μπορεί να παραληφθεί αν το όργανο τοποθετηθεί σε υφιστάμενο τριγωνομετρικό βάθρο.

Πριν από την έναρξη των μετρήσεων πρέπει να γίνει οριζοντίωση και κέντρωση του οργάνου ως προς την κατακόρυφο της γης και το τοπογραφικό σημείο όπου τοποθετείται, αντίστοιχα. Για την διευκόλυνση αυτών των εργασιών, το όργανο είναι εξοπλισμένο με φυσαλίδες οριζοντίωσης και με laser ή κάτοπτρο.

Για τις μετρήσεις αποστάσεων απαιτείται η χρήση ενός κατόπτρου που επιτρέπει στο όργανο να υπολογίσει την απόσταση μεταξύ των δύο σημείων. Το κάτοπτρο μπορεί να παραληφθεί σε περιπτώσεις όπου ο στόχος είναι ανοιχτόχρωμος και σε σχετικά μικρή απόσταση, π.χ. 100 m (Πηγή: <http://TotalStation.com>).

Προσδιορισμός Συντεταγμένων

Οι συντεταγμένες ενός άγνωστου σημείου σχετικά με ένα γνωστό σύστημα αναφοράς μπορούν να καθοριστούν χρησιμοποιώντας το γεωδαιτικό σταθμό εφ' όσον υπάρχει ορατότητα μεταξύ των δυο σημείων. Οι γωνίες και οι αποστάσεις μετριοούνται από το γεωδαιτικό σταθμό στα σημεία της πλοήγησης, και οι συντεταγμένες (X, Y, και Z ή, βόρεια, ανατολικά και υψόμετρο) των σημείων πλοήγησης σχετικά με τη θέση του γεωδαιτικού σταθμού υπολογίζονται χρησιμοποιώντας τριγωνομετρία και τριγωνισμό. Για να καθορίσει απόλυτα ένας γεωδαιτικός σταθμός μια θέση απαιτεί επαρκή ορατότητα για τις παρατηρήσεις οι οποίες θα πρέπει να ξεκινούν από ένα γνωστό σημείο ή από ορατότητα σε 2 ή περισσότερα σημεία με τη γνωστή θέση.

Για αυτόν τον λόγο, μερικοί γεωδαιτικοί σταθμοί έχουν επίσης ένα παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα πλοήγησης (Global Navigation Satellite System interface) που δεν απαιτεί την άμεση ορατότητα των σημείων για τον καθορισμό των συντεταγμένων τους. Εντούτοις, οι μετρήσεις GNSS απαιτούν μεγαλύτερες περιόδους μετρήσεων και προσφέρουν σχετικά φτωχή ακρίβεια στο κατακόρυφο δίκτυο.

Μετρήσεις Γωνιών

Τα περισσότερα σύγχρονα γεωδαιτικά όργανα μετρήσεων μετρούν τις γωνίες με τη βοήθεια της ηλεκτροοπτικής ανίχνευσης των ακριβών ψηφιακών κωδίκων που χαραζονται στους περιστρεφόμενους κυλίνδρους ή τους δίσκους γυαλιού που είναι μέσα στο όργανο. Οι καλύτεροι ποιοτικά γεωδαιτικοί σταθμοί έχουν την ικανότητα να μετρούν γωνίες με ακρίβεια της τάξης του 0,5 δευτερόλεπτου του τόξου. Οι γεωδαιτικοί σταθμοί μπορούν γενικά να μετρήσουν τις γωνίες με ακρίβεια της τάξης των 5 ή 10 δευτερολέπτων του τόξου.

Μετρήσεις Αποστάσεων

Η μέτρηση της απόστασης ολοκληρώνεται με ένα διαμορφωμένο μικροκύμα ή ένα υπέρυθρο σήμα, που παράγεται από έναν μικρό πομπό στερεάς κατάστασης μέσα στο οπτικό μονοπάτι του οργάνου, και απεικονίζεται από έναν ανακλαστήρα πρισμάτων. Το διαμορφωμένο σήμα διαβάζεται όταν επιστρέφει και ερμηνεύεται από τον υπολογιστή στο εσωτερικό του γεωδαιτικού σταθμού. Η απόσταση καθορίζεται από την εκπομπή και τη λήψη των πολλαπλάσιων συχνοτήτων, και τον καθορισμό του αριθμού των ακέραιων μηκών κύματος στο στόχο για κάθε συχνότητα. Οι περισσότεροι γεωδαιτικοί σταθμοί χρησιμοποιούν τους κατασκευασμένους επί τούτου ανακλαστήρες πρισμάτων γυαλιού για τη μέτρηση γωνιών για το σήμα EDM.

Επεξεργασία Λογισμικού

Μερικά μοντέλα περιλαμβάνουν την αποθήκευση εσωτερικά του λογισμικού για να καταγράψουν την απόσταση, την οριζόντια γωνία, και την κατακόρυφη γωνία που μετριέται, ενώ άλλα μοντέλα εξοπλίζονται για να γράψουν αυτές τις μετρήσεις σε έναν εξωτερικό φορητό υπολογιστή. Όταν ένας γεωδαιτικός σταθμός κατεβάζει το απαραίτητο λογισμικό σε έναν υπολογιστή, τα προγράμματα εφαρμογών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να υπολογίσουν τα αποτελέσματα και να παραγάγουν τον χάρτη της εξεταζόμενης περιοχής (Πηγή: <http://Total-Station.com>).

Εφαρμογές

Οι γεωδαιτικοί σταθμοί χρησιμοποιούνται κυρίως για την επίγεια πλοήγηση είτε για να καταγραφούν τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα πλοήγησης όπως στην τοπογραφία είτε για να καθοριστούν τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα (όπως οι δρόμοι, τα σπίτια ή τα όρια). Χρησιμοποιούνται επίσης από τους αρχαιολόγους για να καταγράψουν τις ανασκαφές και από την αστυνομία, τους πράκτορες σκηνών εγκλήματος και τους ιδιώτες που ασχολούνται με την αναπαράσταση ατυχημάτων για τις ασφαλιστικές εταιρείες κ.α (Πηγή: <http://Total-Station.com>).



Εικόνα 88:Γεωδαιτικός σταθμός σε κατασκευαστικό έργο (www.leica-geosystems.com)

Τα βασικά πλεονεκτήματα των γεωδαιτικών σταθμών

- Συνδυάζονται οι δυνατότητες του ψηφιακού θεοδόλιχου και του EDM σε ένα εύχρηστο και ελαφρύ όργανο.
- Εμφανίζονται άμεσα σε οθόνη το μήκος, η ένδειξη του οριζόντιου κύκλου και η κατακόρυφη γωνία και έμμεσα το υψόμετρο, και οι συντεταγμένες του σημείου που σκοπεύει με τη σκόπευση και το πάτημα ενός πλήκτρου, ενώ αν το επιθυμεί ο χειριστής, υπάρχει η δυνατότητα αυτόματης καταγραφής αυτών των στοιχείων.

- Διαθέτουν υπολογιστή και κατάλληλο λογισμικό, που διευκολύνουν τις εργασίες υπαίθρου επιλύοντας, την ώρα των μετρήσεων, διάφορα βασικά τοπογραφικά προβλήματα.
- Μπορούν άμεσα να συνδεθούν και να επικοινωνήσουν με ηλεκτρονικό υπολογιστή, με συνέπεια την άμεση μεταφορά και επεξεργασία των μετρήσεων και την εξαγωγή των αποτελεσμάτων, ακόμα και στο ύπαιθρο, κάτι που μερικές φορές είναι απαραίτητο για ορισμένες, εξειδικευμένες, τοπογραφικές εργασίες, ενώ παράλληλα αποφεύγονται διάφορα χονδροειδή σφάλματα (ανάγνωσης, αντιγραφής κλπ.) (Πηγή: Κάσκουρα Βασιλική, 2010).

Τα σημαντικότερα κριτήρια για την επιλογή του κατάλληλου ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού σε γεωδαιτικές εργασίες και ειδικότερα σε μετρήσεις ακριβείας, είναι:

- Η ακρίβεια στη μέτρηση γωνιών και μηκών ($\pm a \text{ mm} \pm b \text{ ppm}$).
- Το βεληνεκές του για τη μέτρηση μήκους.
- Το πλήθος και η ποιότητα (γυαλί, πλαστικό, φωσφορίζουσα ταινία) των κατάφωτων για τη μέτρηση του μήκους.
- Η διάρκεια της μέτρησης ενός μήκους.
- Το βάρος και ο όγκος του.
- Η δυνατότητα προσαρμογής άλλων παρελκόμενων
- Οι διάφορες υπολογιστικές του ικανότητες (π.χ. η άμεση εξαγωγή μέσου όρου μετρήσεων και άλλων στατιστικών μεγεθών).
- Ο τρόπος αποθήκευσης και διαχείρισης των μετρήσεων (σε καταγραφική μονάδα, απευθείας σύνδεση με H/Y, κλπ).
- Το λογισμικό (Software) που διαθέτει

Εισαγωγή στους Ρομποτικούς σταθμούς

Η σύγχρονη γεωδαιτική τεχνολογία παρέχει δύο βασικές κατηγορίες οργάνων για μετρήσεις παρακολούθησης τεχνικών έργων:

1. Συστήματα προσδιορισμού σημείων στο χώρο που αποτελούνται από 2 μέχρι δηλεκτρονικούς θεοδόλιγους ή γεωδαιτικούς σταθμούς (μέτρηση τρισδιάστατων εμπροσθοτομιών με γωνίες ή/και με πλευρές). Τα τελευταία χρησιμοποιούνται περισσότερο στη βιομηχανία, με χαρακτηριστικές εφαρμογές στην κατασκευή αεροπλάνων, αυτοκινήτων, ηλεκτρογεννητριών και πλοίων, στη συναρμολόγηση βαγονιών και μεταλλικών κατασκευών, στη βιομηχανία οπλικών συστημάτων και διαστημικών κατασκευών.

2. Ρομποτικά Συστήματα Μέτρησης. Αυτά βασίζονται στη χρήση ενός γεωδαιτικού σταθμού πολύ υψηλής ακριβείας, ο οποίος κινείται αυτόματα μέσω σερβοκινητήρων και ελέγχεται με τη βοήθεια Η/Υ. Η μέτρηση των σημείων γίνεται με τη μέθοδο των πολικών συντεταγμένων. Για τον εντοπισμό των παραμορφώσεων με τα παραπάνω συστήματα γίνονται διαχρονικές μετρήσεις των ίδιων σημείων-στόχων, οπότε προκύπτει η μικρομετακίνησή τους. Για τον έλεγχο της γεωμετρικής ποιότητας ενός τεχνικού έργου με τα συστήματα αυτά γίνεται η “ψηφιοποίηση” της κατασκευής, δηλαδή η μέτρηση σημείων πάνω στο σώμα της κατασκευής έτσι ώστε να είναι δυνατή η σχεδίαση του σχήματος της, με την προοπτική της σύγκρισης με τα θεωρητικά στοιχεία της μελέτης (Πηγή: Χαλιμούρδας, 2007).

Στις μετρήσεις παραμορφώσεων εκείνο που έχει μεγάλη σημασία, δεν είναι τόσο ο προσδιορισμός της θέσης αλλά η μεταβολή της ανάμεσα σε διάφορες χρονικές περιόδους. Απαιτείται πολύ υψηλή ακρίβεια για τον προσδιορισμό αυτής της μεταβολής οπότε πρέπει να γίνονται περισσότερες από τις ελάχιστες απαιτούμενες μετρήσεις, έτσι ώστε να επιτευχθεί ο καλύτερος έλεγχος και η μεγαλύτερη αξιοπιστία των αποτελεσμάτων των μετρήσεων.

Συγκεκριμένα, με την έννοια Ρομποτικό Σύστημα Μέτρησης εννοούμε ένα όργανο, που παρουσιάζει τις παρακάτω ιδιότητες (Πηγή: Μπαντέλας κ.ά., 2004):

- Κινείται αυτόματα γύρω από τους κύριους άξονές του με τη χρήση των καταλλήλων εντολών και μπορεί να εκτελεί επαναλαμβανόμενα προγράμματα κινήσεων.
- Εκτελεί κινήσεις και μετρήσεις, που είναι αποθηκευμένες στη μνήμη του.
- Έχει τη δυνατότητα εκμάθησης νέων δεδομένων, τα οποία αποθηκεύει στη μνήμη του και τα χρησιμοποιεί στη συνέχεια αναπροσαρμόζοντας το πρόγραμμα λειτουργίας του.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλές και διαφορετικές εφαρμογές.



Εικόνα 89: Σύγχρονος Ρομποτικός γεωδαιτικός σταθμός (<https://leica-geosystems.com/products/total-stations/robotic-total-stations>)



Εικόνα 90: Leica Icon Robotic Station (<https://www.geosurvey.vn/en/robotic-total-stations/leica-icon-icr80-robotic-total-station>)

Αρχή λειτουργίας ρομποτικών σταθμών

Αρχικά, ο παρατηρητής σκοπεύει ο ίδιος τα σημεία ελέγχου με τους ανακλαστήρες τους και προσδιορίζονται έτσι οι συντεταγμένες τους. Στη συνέχεια καθορίζεται η σειρά μέτρησης των σημείων, καθώς και το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών μετρήσεων. Έτσι, το όργανο “ καταλαβαίνει” τα σημεία –στόχους που πρέπει να μετρηθούν και στη συνέχεια εκτελεί, μόνο του, επαναλαμβανόμενες μετρήσεις προς αυτά σε μια ή και σε δύο θέσεις τηλεσκοπίου.

Η διαδικασία αυτή, μπορεί να γίνει, είτε μέσα από το πρόγραμμα που είναι ενσωματωμένο στο όργανο, είτε από το λογισμικό πακέτο του H/Y. Στην περίπτωση που κάποιο σημείο έχει μετακινηθεί πολύ, τότε σαρώνεται η περιοχή γύρω από την αρχική θέση του σημείου, έως ότου εντοπιστεί ξανά ο ανακλαστήρας του σημείου. Στη συνέχεια και με τη βοήθεια ενός modem, μεταβιβάζονται οι μετρήσεις σε έναν H/Y, όπου γίνεται επεξεργασία των μετρήσεων και υπολογισμός των συντεταγμένων σε πραγματικό χρόνο.

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά των σταθμών αυτών είναι η δυνατότητα της Αυτόματης Αναγνώρισης Στόχων (ATR – Automatic Target Recognition), η οποία βοηθά στην αυτοματοποίηση της διαδικασίας των μετρήσεων. Αυτό δίνει τη δυνατότητα αυτόματης μέτρησης γωνιών και αποστάσεων σε πρίσματα και απαλλάσσει τον παρατηρητή από τη σκόπευση στο πρίσμα.

Ο παρατηρητής εντοπίζει το πρίσμα στο οπτικό πεδίο και στη συνέχεια το κέντρο του πρίσματος εντοπίζεται αυτόματα. Οι γωνίες μετρούνται στο κέντρο του πρίσματος με την ολοκλήρωση της μέτρησης της απόστασης. Το σύστημα του ATR εκπέμπει μια ακτίνα laser. Το αντανακλώμενο φως λαμβάνεται από κάμερα CCD. Έτσι, υπολογίζεται η θέση του σημείου φωτός σε σχέση με το κέντρο της κάμερας CCD και οι μετατοπίσεις αυτές χρησιμοποιούνται για τη διόρθωση των οριζόντιων και κατακόρυφων γωνιών. Οι μετατοπίσεις χρησιμοποιούνται επίσης για τον έλεγχο των κινητήρων που στρέφουν το όργανο έτσι, ώστε το σταυρόνημα να είναι στο κέντρο του πρίσματος.

Για τη βελτιστοποίηση του χρόνου των μετρήσεων, το όργανο πρώτα «στοχεύει» το κέντρο του πρίσματος και στη συνέχεια το ATR μετρά τις μετατοπίσεις μεταξύ του σταυρονήματος και του κέντρου του πρίσματος και διορθώνει τις οριζόντιες και κατακόρυφες γωνίες αντίστοιχα. Επομένως, οι οριζόντιες και κατακόρυφες γωνίες μετρούνται στο κέντρο του πρίσματος, ανεξάρτητα αν το σταυρόνημα στοχεύει ακριβώς στο κέντρο του πρίσματος.

Κατόπιν, κεντράρεται η ευαίσθητη περιοχή του ATR και σχεδόν το ένα τρίτο της περιοχής παρατήρησης του τηλεσκοπίου. Το ATR αναγνωρίζει αμέσως το πρίσμα μέσα στην ευαίσθητη περιοχή. Ειδικότερα, η περιοχή παρατήρησης του τηλεσκοπίου

ερευνάται ελικοειδώς έτσι, ώστε η ευαίσθητη περιοχή του ATR να μεταφερθεί για αναγνώριση του πρίσματος. Ο ολικός χρόνος που χρειάζεται για να ολοκληρωθεί η έρευνα και η αναγνώριση είναι 1 δευτερόλεπτο (Πηγή: Χαλιμούρδας, 2007).



Εικόνα 91: Πρισμα 360 (<https://leica-geosystems.com/products/total-stations/accessories/reflectors>)

Μια άλλη δυνατότητα των σταθμών αυτών είναι η παρακολούθηση ενός αμφιπρισματικού ανακλαστήρα, που μετακινείται με ταχύτητα έως 5m/sec, καταγράφοντας συνεχώς πολλές μετρήσεις. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιείται ένας ειδικός ανακλαστήρας με ανακλαστική ικανότητα 360°, ο οποίος δεν χρειάζεται να είναι στραμμένος προς το όργανο.

Τέλος υπάρχει η δυνατότητα μόνιμης εγκατάστασης των σταθμών αυτών σε μια ειδική βάση ή ένα ειδικό κτίσμα και να εκτελούν περιοδικές μετρήσεις σύμφωνα με το πρόγραμμα μετρήσεων που τους έχει ορισθεί. Βέβαια, για την απρόσκοπτη λειτουργία του συστήματος πρέπει να υπάρχει η απαραίτητη ενεργειακή πηγή. Οι μετρήσεις καταγράφονται στον Η/Υ με τον οποίο είναι συνδεδεμένος ο σταθμός και από εκεί, με τη βοήθεια ενός modem, μεταφέρονται σε ένα κεντρικό σταθμό ελέγχου, όπου γίνεται ο υπολογισμός των συντεταγμένων και των παραμορφώσεων σε πραγματικό χρόνο (Πηγή: Χαλιμούρδας, 2007).

ΧΩΡΟΒΑΤΕΣ

Ο χωροβάτης είναι το σπουδαιότερο όργανο της γεωμετρικής χωροστάθμησης. Είναι ένα όργανο που έχει ως σκοπό να υλοποιεί μια οριζόντια ευθεία, δηλαδή μια ευθεία κάθετη προς την κατακόρυφο του σημείου στάσης. Κατά τη στροφή του χωροβάτη γύρω από ένα κατακόρυφο άξονα η σκοπευτική του γραμμή διαγράφει ένα οριζόντιο επίπεδο.

Η μέτρηση υψομετρικών διαφορών επιτρέπει τον προσδιορισμό των υψομέτρων σημείων της Φυσικής Γήινης Επιφάνειας. Για την απευθείας μέτρηση των υψομετρικών διαφορών χρησιμοποιούνται κατάλληλα όργανα και παρελκόμενα που είναι:

1. Χωροβάτες (οπτικομηχανικοί ή ψηφιακοί)
2. Χωροσταθμικοί πήχεις ή σταδίες (αναλογικές ή ψηφιακές)
3. Χωροσταθμικές βάσεις (χελώνες)

Χρησιμοποιούνται σε μια ποικιλία εργασιών όπου εκτελείται διάταξη και απαιτείται ακρίβεια στο επίπεδο αναφοράς. Ορισμένες εργασίες είναι μικρές. Ορισμένες εργασίες είναι μεγάλες, όπως η εγκατάσταση σωλήνων αποχέτευσης ή ο χειρισμός σχεδίου βαθμονόμησης τοποθεσίας για ένα νέο κτίριο γιατί ανάλογά με την χρήση που θέλουμε να κάνουμε υπάρχει και ο κατάλληλος εξοπλισμός.



Εικόνα 92: Περιστροφικός Χωροβάτης Λέιζερ



Εικόνα 93: Δέκτης Λείζερ σε Ιστό στήριξης

Περιστροφικά λείζερ επιπέδου

Άλλος τύπος είναι ένα περιστροφικό λείζερ, το οποίο εκπέμπει μια επίπεδη γραμμή με περιστροφικό τρόπο. Τα περιστροφικά λείζερ εκπέμπουν μια επίπεδη γραμμή σε 360 μοίρες. Τα περιστροφικά λείζερ είναι συνήθως λίγο μεγαλύτερα και τοποθετούνται σε ανθεκτικούς τρίποδες.

Ορισμένα λεγόμενα ως Rotary Lasers μπορούν να τοποθετηθούν στο πλάι, χρησιμοποιώντας μια προαιρετική βάση που τους επιτρέπει να προβάλλονται σε κάθετο επίπεδο όταν χρησιμοποιούνται με αυτόν τον τρόπο. Η περιστροφή ενός λείζερ κάνει το ανθρώπινο μάτι να πιστεύει ότι βλέπει μια γραμμή γύρω από το δωμάτιο. Εξ ου και το όνομα, Rotary Laser. Τα περισσότερα περιστροφικά λείζερ λειτουργούν καλά σε εσωτερικό χώρο αλλά σε εξωτερικό θα πρέπει να υπάρχει ανιχνευτής λείζερ, επίσης γνωστό ως δέκτη λείζερ. Αυτό συμβαίνει επειδή το ανθρώπινο μάτι δεν μπορεί να δει το λείζερ έξω στο φως της ημέρας όχι περισσότερο από κάποια μέτρα.

References / Βιβλιογραφία

Ακολουθούν χρήσιμες διευθύνσεις από τις οποίες συλλέχθηκαν πολλά από τα δεδομένα της εργασίας.

1. Caterpillar MALAGA Demonstration & Learning Center 2006, 'Road Construction Production Study', <http://www.trimbleproductivity.com/media/pdf/ProductivityReportCATRoadConstruction2006.pdf>
2. Adalsteinsson, D 2008, 'GPS Machine Guidance in Construction Equipment', <http://www.trimbleproductivity.com/media/pdf/ProductivityReportGPForExcavators2008.pdf>
3. Jonasson, S, Dunston, P, Ahmed, K & Hamilton, J 2002, 'Factors in Productivity and Unit Cost for Advanced Machine Guidance', Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 128, No. 5, pp 367-374
4. <https://machineguidance.com.au/Home>
5. Machine Guided Productivity -Productivity Savings Using Machine Guidance. Retrieved April 3, 2015, from Machine guidance:<http://www.machineguidance.com.au/cicms/assets/pdfs/pg59as230.pdf>
6. IAM Institute of Asset Management. (2015). What is asset management. Retrieved April 03, 2015, from The Institute of Asset Management : <https://theiam.org/what-asset-management>.
7. Jarosz, A. P., & Finlayson, R. (2003). GPS Guidance System and Reduction of Open Pit Mining Costs and Revenue Loss. Inaugural Conference of Spatial Sciences Institute. Canberra, ACT, Australia.
8. Rizos, C., Gambale, N., & Lilly, B. (October 2013). Synchronized Ground Networks Usher in Next-Gen GNSS. GPS World.
9. SITECH Construction Systems. (2015, February). Innovate, Excavate, Repeat: The QGC Pipeline Project. Retrieved April 3, 2015, from Machineguidance: <http://www.machineguidance.com.au/Innovate-Excavate-Repeat>.
10. <https://www.investopedia.com/terms/r/returnoninvestment.asp>
11. <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/knowledge/finance/return-on-investment-roi-formula/>
12. Γκουντινάκος Γ., Ο Γεωδαιτικός σταθμός Leica TDA 5005 – Εργαστηριακοί έλεγχοι – Συνδυασμένη χρήση με το λογισμικό Βιομηχανικής Γεωδαισίας Axyz, Διπλωματική εργασία ΕΜΠ, Αθήνα, 2004.
13. Κ. Κατσάμπαλος, Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού Θέσης GPS, Τεύχος Β, Θεσσαλονίκη, 2005.
14. Κάσκουρα Βασιλική, Μέτρηση αποστάσεων: Ιστορική αναδρομή, σύγχρονες δυνατότητες, προοπτικές και τάσεις, Διπλωματική Εργασία, Αθήνα, 2010.
15. Μπαλοδήμος Δ.-Δ., Σταθάς Δ.: Γεωδαιτικά όργανα και μέθοδοι μέτρησης γωνιών και μηκών, Σημειώσεις μαθήματος, ΕΜΠ, ΣΑΤΜ, Αθήνα, 2002.

16. Μπαντέλας Α. και Σαββαΐδης Π. Παρακολούθηση παραμορφώσεων τεχνικών έργων και κατολισθήσεων εδαφών με γεωδαιτικές μεθόδους. Εκδόσεις Γ. και Κ. Παπαγεωργίου Ο.Ε., Βιβλίο, Θεσσαλονίκη, 1990.
17. Μπαντέλας Άνθιμος, Σαββαΐδης Παρασκευάς, Υφαντής Ιωάννης και Δούκας Ιωάννης, Γεωδαισία Τόμος Ι: Γεωδαιτικά όργανα και μέθοδοι μέτρησης και υπολογισμών, Εκδόσεις Αδελφών Κυριακίδη Α.Ε, Θεσσαλονίκη, 1999.
18. Μπαντέλας Άνθιμος, Σαββαΐδης Παρασκευάς, Υφαντής Ιωάννης και Δούκας Ιωάννης, Γεωδαισία Τόμος ΙΙ: Αποτυπώσεις - Χαράξεις τεχνικών έργων, Εκδόσεις Αδελφών Κυριακίδη Α.Ε, Θεσσαλονίκη, 2η Έκδοση 2010.
19. Νικολίτσας Κ., Λάμπρου Ε., Η εξέλιξη της τεχνολογίας των επίγειων συμβατικών γεωδαιτικών οργάνων και η ανάγκη αλλαγής του προτύπου πιστοποίησής τους», Παρουσίαση στο «2ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών – Οι σύγχρονες διαστάσεις των μετρητικών επιστημών και η συμβολή τους στην απεικόνιση, την παρακολούθηση και το σχεδιασμό του χώρου», πρακτικά συνεδρίου, ηλεκτρονική μορφή, Αθήνα, Δεκέμβριος 2006.
20. Ρωσσικόπουλος Δ., Τοπογραφικά δίκτυα και υπολογισμοί, Β' Έκδοση, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 1999.
21. Φωτίου Α., Πικριδάς Χ.: GPS και γεωδαιτικές εφαρμογές, Εκδόσεις Ζήτη, 2006.
22. Χαλιμούρδας Σωτήριος, Παρακολούθηση παραμορφώσεων και γεωμετρικής ποιότητας τεχνικών έργων με σύγχρονες γεωδαιτικές μεθόδους, διδακτορική διατριβή, Θεσσαλονίκη, 2007.
- 23)Σακελλαρίου <<Μιχαήλ Γεωτεχνική Μηχανική>> , Αθήνα 2008
- 24)Φωτιου Α, Πικριδας Χ, <<GPS και γεωτεχνικές εφαρμογές>> 2006
- 25) Γραϊκουσης Γ. και Λαγός Α. (2011) Αρχές τοπογραφίας και γεωδαιτικής ,Αθήνα ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΕΚΔΩΤΙΚΗ
26. Jrade, Nizar Markiz and Ahmad. An Integrated Expert System for Linear Scheduling HeavyEarthmoving Operations. 25 April 2016
- 27.https://leica-geosystems.com/about-us/news-room/news-overview/2020/03/2020_03_11-pa10_pa80
28. M.Abourizk, Jingsheng Shi and Simaan. A Resource based simulation approach with application in earthmoving/strip mining. January 1994.
29. Singh, Sanjiv. The state of the Art in Automation of Earthmoving. July 1997.
30. K.M. Shawki, K.Kilani, M.A. Gomaa. Analysis of earthmoving system using discrete event simulation. Alexandria Engineering Journal. 2015.

31. Moselhi, Mohamed Marzouk and Osama. Selecting Earthmoving Equipment Fleets Using Genetic Algorithms. 2002.

32. Sabah Alkass, Khali El-Molsmani and Mohamed Al Hussein. A computer model for selecting equipment for earthmoving operation using queuing theory.

Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία:

1. <http://Total-Station.com>
2. www.geotech.gr
3. www.gpsworld.com
4. www.HEPOS.gr
5. www.digitlife.gr
6. Leica Geosystems, www.leica-geosystems.com
7. Topcon, Topcon Positioning Systems, www.topconpositioning.com
8. www.mobact.gr

Πίνακας Εικόνων:

Εικόνα 1:Ισοπεδωτής γαιών (https://www.komatsu.eu/en/motor- graders/gd675-7).....	12
Εικόνα 2: Βασικά μέρη του μηχανήματος (https://www.indiamart.com/proddetail/cat- grader-120h-spares-20390788055.html)	13
Εικόνα 3:Σκελετός του μηχανήματος (Comparative analysis between operational performance of motor grader equipments University of Galati, Research Center for Mechanics of Machines and Technological Equipments)	14
Εικόνα 4:Πρωθητής γαιών (https://www.ivtinternational.com/news/construction/caterpillar-launches-new-cat-d4- dozer-with-30-better-visibility.html).....	14
Εικόνα 5:Ερπυστριοφόρος Πρωθητής γαιών (https://www.cat.com/en_US/products/new/equipment/dozers/medium- dozers/102647.html)	15
Εικόνα 6:Βασικά μέρη του μηχανήματος (https://www.bigrentz.com/blog/bulldozer-types)	16
Εικόνα 7:Πρωθητής σε εργασία ώθησης και αναμόχλευσης υλικών (https://www.bigrentz.com/blog/bulldozer-types)	17
Εικόνα 8:Εκσκαφέας γενικής χρήσης(https://www.cat.com/en_US/products/new/equipment/excavators/medium- excavators/15970425.html)	18
Εικόνα 9:Βασικά μέρη του εκσκαφέα(https://www.anatomynote.com/industry-and- machinery/industrial-tools-and-equipment/excavator-construction/)	19
Εικόνα 10:Οδοστρωτήρας στατικός με λείους κυλίνδρους και δονητικός με λείους κυλίνδρους (https://dynapac.com/en/products/compaction?tab=products)	20
Εικόνα 11:Οδοστρωτήρας δονητικός με λείους κυλίνδρους και τροχούς πίσω και οδοστρωτήρας με κύλινδρο και προεξοχές(https://dynapac.com/en/products/compaction?tab=products)	21
Εικόνα 12:Οδοστρωτήρας στατικός με ελαστικούς τροχούς(https://www.ammann.com/en/technology/road-construction)	21

Εικόνα 13:Οδοστρωτήρας με εγκατεστημένο σύστημα συμπύκνωσης(https://dynapac.com/en/products/compaction?tab=products)	22
Εικόνα 14:Αποξέστης ασφάλτου(Φρέζα) με εγκατεστημένο συστημα 3D (https://www.wirtgen-group.com/en-us/news-and-media/wirtgen/job-report-w-210i-oakland-airport/)	23
Εικόνα 15:Θέση τυμπάνου κοπής	23
Εικόνα 16:Σύστημα κίνησης της φρέζας	24
Εικόνα 17:Σύστημα μεταφοράς υλικού	25
Εικόνα 18:Ερπυστριοφόρος και λαστιχοφόρος διαστρωτήρας ασφάλτου(Finisher)(.....	26
Εικόνα 19:Τροφοδότης υλικού και διανομέας υλικού(https://www.theengineeringcommunity.org/asphalt-paver-how-it-works/)	26
Εικόνα 20:Αισθητήρες Λείζερ	34
Εικόνα 21:Αισθητήρες κλίσης	35
Εικόνα 22:Αισθητήρες Sonic	35
Εικόνα 23:Περιστροφικός αισθητήρας(Rotation sensor)	35
Εικόνα 24:Junction Box(Εγκέφαλος του συστήματος)	35
Εικόνα 25:GNSS Receiver	36
Εικόνα 26:Αισθητήρας κλίσης	36
Εικόνα 27: Radio modem(Μόντεμ επικοινωνίας)	36
Εικόνα 28:GNSS Antenna	36
Εικόνα 29: Πρίσμα 360	36
Εικόνα 30:Λύσεις 2D και 3D για προωθητή γαιών(https://leica-geosystems.com/products/machine-control-systems)	37
Εικόνα 31:Λύσεις 2D και 3D για ισοπεδωτή γαιών(https://leica-geosystems.com/products/machine-control-systems)	38
Εικόνα 32:Σημεία εγκατάστασης αισθητήρων	38
Εικόνα 33:Περιστροφική στεφάνη και κοπτήρας ισοπεδωτή γαιών	38
Εικόνα 34:Ιστοί εγκατάστασης(https://leica-geosystems.com/products/machine-control-systems)	39
Εικόνα 35:Ιστός εγκατάστασης σε ισοπέδωτή γαιών(https://leica-geosystems.com/products/machine-control-systems)	40
Εικόνα 36:Ολοκληρωμένη 2D λύση για εκσκαφέα(https://leica-geosystems.com/products/machine-control-systems)	41
Εικόνα 37:Ολοκληρωμένη 3D λύση για εκσκαφέα(https://leica-geosystems.com/products/machine-control-systems)	41
Εικόνα 38:Κινήσεις του εκσκαφέα(https://www.hitachicm.com/global/corporate/research/development-of-hydraulic-excavator-with-digging-operation-assisting-system-and-multi-monitoring-display/)	42
Εικόνα 39:Σύστημα καθοδήγησης σε διαστρωτήρα ασφάλτου(https://mobile-automation.eu/)	43
Εικόνα 40:Λειτουργία αισθητήρα (ABG_Vovlo_MOBA Big Sonic-Ski.pdf)	44
Εικόνα 41:Διόρθωση Sonic-Ski((ABG_Vovlo_MOBA Big Sonic-Ski.pdf)	44
Εικόνα 42:Σύστημα Moba Matic(https://moba-automation.uk/products/paving-quality) ...	44
Εικόνα 43:Εγκατεστημένο σύστημα σε φρέζα με χρήση GPS(Leica Geosystems)	45
Εικόνα 44:Απεικόνιση της λειτουργίας του 3D συστήματος σε φρέζα(Leica Geosystems) ...	46
Εικόνα 45:Περιοχή μελέτης	47

Εικόνα 46:Σύνοψη της μελέτης , κάτοψη οδικών τμημάτων και τελικό ψηφιακό μοντέλο του δρόμου	48
Εικόνα 47:Ράμμα καθοδήγησης.....	49
Εικόνα 48:Κατανάλωση καυσίμου στα μηχανήματα έργου(συμβατικά και με σύστημα καθοδήγησης)	50
Εικόνα 49:Κεντρική Οθόνη Συστήματος 3D	52
Εικόνα 50:Ιστοί με δυο GPS.....	52
Εικόνα 51:Εκκαφέας Volvo με Dual GNSS 3D System.....	53
Εικόνα 52:Κεντρική Οθόνη 3D συστήματος.....	53
Εικόνα 53: Ιστός συστήματος με GPS antenna	54
Εικόνα 54:Δέκτης GNSS εντός της καμπίνας του μηχανήματος	54
Εικόνα 55:3D system με χρήση ρομποτικού σταθμού.....	55
Εικόνα 56:Κεντρική οθόνη 3D συστήματος	55
Εικόνα 57:Υδραυλικό μπλοκ και Εγκέφαλος του συστήματος	56
Εικόνα 58:Κεντρική οθόνη 2D συστήματος	56
Εικόνα 59:Αισθητήρας Sonic-ski	57
Εικόνα 60:Αισθητήρας Sonic-ski	57
Εικόνα 61:Grader με σύστημα 2D laser	58
Εικόνα 62:Περιστροφικός χωροβατής Laser	58
Εικόνα 63:Rotary Laser	59
Εικόνα 64:Wirtgen Φρεζα με συστημα 3D.....	59
Εικόνα 65: 360 Prism	60
Εικόνα 66:Ιστοί με GPS κεραίες	60
Εικόνα 67:Τελική κομμένη επιφάνειά	61
Εικόνα 68:Σύστημα Big Sonic ski	61
Εικόνα 69:Σύστημα Big Sonic ski	62
Εικόνα 70:Finisher με 3D σύστημα διάστρωσης.....	62
Εικόνα 71:Γεωδαιτικοί σταθμοί απαραίτητοι για την υλοποίηση του έργου	63
Εικόνα 72:Finisher με σύστημα 3D	63
Εικόνα 73:Moba big Sonic ski.....	64
Εικόνα 74:Moba big Sonic ski.....	64
Εικόνα 75:Ρομποτικός σταθμός για 3D σύστημα	65
Εικόνα 76: Κρασπεδομηχανή με 3D Σύστημα αυτοματισμού	65
Εικόνα 77:Ρομποτικός σταθμός σε κρασπεδομηχανή.....	66
Εικόνα 78:Sight tele operation.....	68
Εικόνα 79:Remote control and semi-aytonomous operation.....	68
Εικόνα 80:Νεκρες γωνίες του μηχανήματος.....	71
Εικόνα 81:Περιοχή λειτουργίας(https://leica-geosystems.com/about-us/news-room/news-overview/2021/10/leica-geosystems-announces-substantial-safety-awareness-solution-enhancements).....	71
Εικόνα 82:Περιεχόμενα συστήματος(https://leica-geosystems.com/about-us/news-room/news-overview/2021/10/leica-geosystems-announces-substantial-safety-awareness-solution-enhancements)	72
Εικόνα 83:Αναπαράσταση του σχεδίου του GPS(https://el.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System)	77
Εικόνα 84:Κεραία GPS μαζί με το χειριστήριο(trimble.com)	78
Εικόνα 85:Το δίκτυο επίγειων σταθμών του τμήματος ελέγχου του συστήματος GPS.(http://www.gps.gov/multimedia/images/GPS-control-segment-map.pdf).....	79

Εικόνα 86:Θεωδολιχος σοβιετικής κατασκευής του 1958	81
Εικόνα 87:Γεωδαιτικός σταθμός σε κατασκευαστικό έργο (www.leica-geosystems.com) ...	84
Εικόνα 88:Σύγχρονος Ρομποτικός γεωδαιτικός σταθμός(https://leica-geosystems.com/products/total-stations/robotic-total-stations).....	87
Εικόνα 89:Leica Icon Robotic Station(https://www.geosurvey.vn/en/robotic-total-stations/leica-icon-icr80-robotic-total-station).....	87
Εικόνα 90:Πρισμα 360 (https://leica-geosystems.com/products/total-stations/accessories/reflectors).....	89
Εικόνα 91: Περιστροφικός Χωροβάτης Λέιζερ.....	90
Εικόνα 92:Δέκτης Λέιζερ σε Ιστό στήριξης.....	91