



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
Τμήμα Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ (ΤΕΙ) ΧΑΛΚΙΔΑΣ
Τμήμα Αυτοματισμού

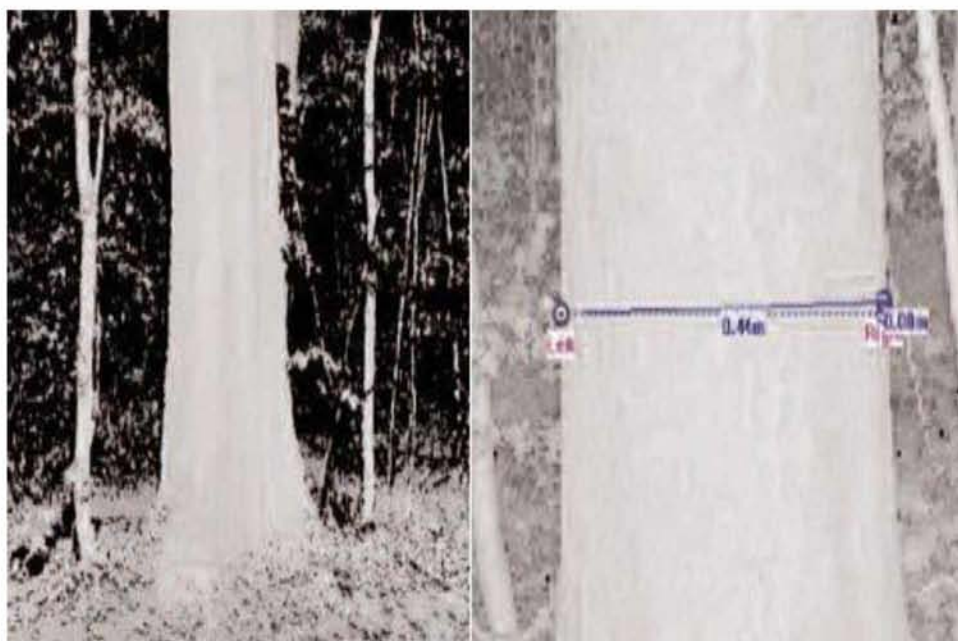
Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

Αυτοματισμοί στις Αρδεύσεις, τις Γεωργικές Κατασκευές και στην Εκμηχάνιση της Γεωργίας

Μεταπτυχιακή Εργασία

ΚΥΡΙΑΖΗΣ ΒΙΚΤΩΡ

*ΜΕΛΕΤΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΕΛΑΙΟΔΕΝΔΡΩΝ ΜΕ ΤΗΝ
ΧΡΗΣΗ LASER SCANNER*



Επιβλέποντες

*Καθηγητής Γέμος Θεοφάνης
Δρ Σπυρίδων Φουντάς,*

N. Ιωνία 2011

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή.....	7
2. Συστήματα Laser και εφαρμογές.....	10
2.1 Συστήματα Laser.....	10
2.1.2 Γενικές ιδιότητες των Laser.....	12
2.1.3 Εφαρμογές της δέσμης των Laser.....	14
2.2 Συστήματα Laser Scanner και εφαρμογές στην Γεωργία.....	23
2.2.1 Λειτουργία Laser Scanner.....	25
2.2.2 Μέρη συστήματος ενός Laser Scanner.....	26
2.2.3 Κατηγοριοποίηση laser Scanner.....	27
2.3 Εφαρμογές συστημάτων Laser Scanner στην Γεωργία.....	28
2.3.1 Εφαρμογές συστημάτων Laser Scanner για την ποσοτικοποίηση των χαρακτηριστικών ενός δέντρου ή ενός φυτού.....	29
2.3.2 Εφαρμογές συστημάτων Laser Scanner εφαρμογές που έγιναν με σκοπό την αυτόματη και ποιο ξεκούραστη συγκομιδή ή σπορά των καλλιεργειών.....	33
2.3.3 Εφαρμογή συστήματος Laser Scanner για την άρδευση ή αποστράγγιση του εδάφους.....	36
2.4 Σκοπός της παρούσας εργασίας.....	39
3. Υλικά και μέθοδοι.....	40
3.1 Πειραματικό Σύστημα.....	40
3.1.1 Πειραματική Μέθοδος.....	40
3.1.2 LMS200 (Λέιζερ σκάνερ).....	41
3.2 Προετοιμασία για το πείραμα.....	45
3.2.1 Συλλογή αποτελεσμάτων και επεξεργασία.....	45
3.3 Αποτελέσματα.....	65
4. Συμπεράσματα – Μελλοντική εργασία.....	69
5. Ευχαριστίες.....	70

<i>6. Βιβλιογραφία.....</i>	<i>71</i>
<i>7. Περίληψη.....</i>	<i>73</i>

Περιεχόμενα εικόνων

Σχήμα 1: Το πρώτο Laser	11
Σχήμα 2: Laser Resonator.....	12
Σχήμα 3: Πειραματική συσκευή παραγωγής ακτίνας Laser.....	12
Σχήμα 4: Σταθερή, μη αποκλίνουσα πορεία.....	13
Σχήμα 5: Συγκεκριμένο μήκος κύματος, μονοχρωματικότητα	13
Σχήμα 6: Συνοχή.....	14
Σχήμα 7: Εφαρμογές LAZER στο στρατό.....	16
Σχήμα 8:Εφαρμογές LAZER.....	16
Σχήμα 9: Εφαρμογές LAZER.....	17
Σχήμα 10: Εφαρμογές LAZER.....	19
Σχήμα 11: Εφαρμογές LAZER.....	20
Σχήμα 12: Εφαρμογές LAZER.....	21
Σχήμα 13: Όψη του σαρωτή IRLIS.....	24
Σχήμα 14: Το στιγμιαίο οπτικό πεδίο (IFOV) και το οπτικό πεδίο (FOV) για την μέτρηση συντεταγμένων.....	25
Σχήμα 15:Βασικά μέρη ενός σαρωτή LAZER.....	26
Σχήμα 16: Σαρωτής Laser με ενσωματωμένη τροφοδοσία και σύστημα ελέγχου καταγραφής.....	27
Σχήμα 17: Πορεία της δέσμης κατά την σάρωση	28
Σχήμα 18: Πειραματικό σύστημα.....	31
Σχήμα 19: Επεξεργασία δεδομένων	33
Σχήμα 20: Σύστημα Ρομπότ Τρακτέρ.....	34
Σχήμα 21: Κίνηση στο οπωρώνα	34
Σχήμα 22: Ρομπότ πολλαπλών χρήσεων	35
Σχήμα 23: Πρωτότυπο εκσκαφέα με Laser.....	36
Σχήμα 24: Πρωτότυπο εκσκαφέα με Laser.....	37
Σχήμα 25: Πείραμα.....	40
Σχήμα 26: Διάταξη Laser	41
Σχήμα 27: LMS200.....	42
Σχήμα 28: Αρχή TOF στο LMS200.....	42
Σχήμα 29: Εύρος μετρήσεων από 0° σε 100°.....	43
Σχήμα 30: Εύρος μετρήσεων από 0° σε 180°.....	43
Σχήμα 31: Διασύνδεση τροφοδοσίας.....	44
Σχήμα 32: Πρώτο δέντρο-στόχος.....	45
Σχήμα 33: Μέτρηση πρώτου δέντρου-στόχου.....	46

<i>Σχήμα 34: Δεύτερο δέντρο-στόχος.....</i>	<i>54</i>
<i>Σχήμα 35: Μέτρηση δεύτερου δέντρου-στόχου.....</i>	<i>54</i>
<i>Σχήμα 36: Τρίτο δέντρο-στόχος.....</i>	<i>60</i>
<i>Σχήμα 37: Μέτρηση τρίτου δέντρου-στόχου.....</i>	<i>60</i>
<i>Σχήμα 38:Μορφή Συντεταγμένων</i>	<i>65</i>

Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 1: Αριθμός μετρήσεων για διάφορες γωνίες σκαναρίσματος	44
Πίνακας 2 : Δεδομένα πρώτου δέντρου-στόχου με βήμα 0,5 ^ο	46
Πίνακας 3 : Δεδομένα πρώτου δέντρου-στόχου με βήμα 0,5 ^ο 1 ^{ου} δευτερολέπτου	51
Πίνακας 4 : Δεδομένα πρώτου δέντρου-στόχου με βήμα 0,5 ^ο 2 ^{ου} δευτερολέπτου	51
Πίνακας 5 : Δεδομένα πρώτου δέντρου-στόχου με βήμα 0,5 ^ο 3 ^{ου} δευτερολέπτου	52
Πίνακας 6 : Δεδομένα πρώτου δέντρου-στόχου με βήμα 0,5 ^ο 4 ^{ου} δευτερολέπτου	52
Πίνακας 7 : Δεδομένα πρώτου δέντρου-στόχου με βήμα 1 ^ο 1 ^{ου} δευτερολέπτου	53
Πίνακας 8 : Δεδομένα πρώτου δέντρου-στόχου με βήμα 1 ^ο 2 ^{ου} δευτερολέπτου	53
Πίνακας 9 : Δεδομένα πρώτου δέντρου-στόχου με βήμα 1 ^ο 3 ^{ου} δευτερολέπτου	53
Πίνακας 10 : Δεδομένα πρώτου δέντρου-στόχου με βήμα 1 ^ο 4 ^{ου} δευτερολέπτου	53
Πίνακας 11 : Δεδομένα δεύτερου δέντρου-στόχου με βήμα 0,5 ^ο 1 ^{ου} δευτερολέπτου	55
Πίνακας 12 : Δεδομένα δεύτερου δέντρου-στόχου με βήμα 0,5 ^ο 2 ^{ου} δευτερολέπτου	55
Πίνακας 13 : Δεδομένα δεύτερου δέντρου-στόχου με βήμα 0,5 ^ο 3 ^{ου} δευτερολέπτου	56
Πίνακας 14 : Δεδομένα δεύτερου δέντρου-στόχου με βήμα 0,5 ^ο 4 ^{ου} δευτερολέπτου	57
Πίνακας 15: Δεδομένα δεύτερου δέντρου-στόχου με βήμα 1 ^ο 1 ^{ου} δευτερολέπτου	58
Πίνακας 16 : Δεδομένα δεύτερου δέντρου-στόχου με βήμα 1 ^ο 2 ^{ου} δευτερολέπτου	58
Πίνακας 17 : Δεδομένα δεύτερου δέντρου-στόχου με βήμα 1 ^ο 3 ^{ου} δευτερολέπτου	59
Πίνακας 18 : Δεδομένα δεύτερου δέντρου-στόχου με βήμα 1 ^ο 4 ^{ου} δευτερολέπτου	59
Πίνακας 19 : Δεδομένα τρίτου δέντρου-στόχου με βήμα 0,5 ^ο 1 ^{ου} δευτερολέπτου	61
Πίνακας 20 : Δεδομένα τρίτου δέντρου-στόχου με βήμα 0,5 ^ο 2 ^{ου} δευτερολέπτου	61
Πίνακας 21 : Δεδομένα τρίτου δέντρου-στόχου με βήμα 0,5 ^ο 3 ^{ου} δευτερολέπτου	62
Πίνακας 22 : Δεδομένα τρίτου δέντρου-στόχου με βήμα 0,5 ^ο 4 ^{ου} δευτερολέπτου	62
Πίνακας 23 : Δεδομένα τρίτου δέντρου-στόχου με βήμα 1 ^ο 1 ^{ου} δευτερολέπτου	63
Πίνακας 24 : Δεδομένα τρίτου δέντρου-στόχου με βήμα 1 ^ο 2 ^{ου} δευτερολέπτου	63
Πίνακας 25 : Δεδομένα τρίτου δέντρου-στόχου με βήμα 1 ^ο 3 ^{ου} δευτερολέπτου	63
Πίνακας 26 : Δεδομένα τρίτου δέντρου-στόχου με βήμα 1 ^ο 4 ^{ου} δευτερολέπτου	64
Πίνακας 27 : Αποτελέσματα 1 ^{ου} δέντρου-στόχου με βήμα 0,5 ^ο	66
Πίνακας 28 : Αποτελέσματα 1 ^{ου} δέντρου-στόχου με βήμα 1 ^ο	66
Πίνακας 29 : Αποτελέσματα 2 ^{ου} δέντρου-στόχου με βήμα 0,5 ^ο	67
Πίνακας 30 : Αποτελέσματα 2 ^{ου} δέντρου-στόχου με βήμα 1 ^ο	67
Πίνακας 31 : Αποτελέσματα 3 ^{ου} δέντρου-στόχου με βήμα 0,5 ^ο	67
Πίνακας 32 : Αποτελέσματα 3 ^{ου} δέντρου-στόχου με βήμα 1 ^ο	68

1. Εισαγωγή

Η Ελλάδα έχει συνολική έκταση 131.944.000 στρέμματα. Από αυτά τα 29,5% καλλιεργούνται, τα 41,7% είναι βοσκοτόπια και βουνά, τα 21,4% είναι δάση και θαμνότοποι, τα 2% καλύπτονται από νερά-ποτάμια, λίμνες και τέλματα και τα 5,4% ορεινές εκτάσεις. Κατά τη μεταπολεμική περίοδο η αγροτική παραγωγή παρουσίασε σημαντική πρόοδο, γεγονός που οφείλεται σε δυο παράγοντες. Πρώτα στην επέκταση των καλλιεργειών σε καινούρια εδάφη (το 1938 καλλιεργούνταν 32 εκατομ. στρέμματα, το 1958 έγιναν 36,5 εκατομ. στρ. και το 1976 ξεπέρασαν τα 40 εκατομμύρια στρέμματα) - και δεύτερο στην αύξηση της παραγωγικότητας, που οφείλεται στην καλύτερη άρωση, τη λίπανση, την επιλογή των ποικιλιών και στη βελτίωση των διαφόρων τύπων. Από τις καλλιεργήσιμες εκτάσεις τα 75,8% είναι μεγάλες καλλιέργειες, τα 3,1% κηπευτικά, τα 6,7% αμπέλια, δεντροκαλλιέργειες και καπνός τα 14,4%. Η περιορισμένη έκταση της ελληνικής γης και η προσπάθεια αύξησης της γεωργικής παραγωγής καθώς και η μακροχρόνια εντατική καλλιέργεια, εξαντλούν τα εδάφη και τα κάνουν συνεχώς φτωχότερα. Ακόμα πολλά άλλοτε ημιακατάλληλα εδάφη, επειδή δεν πάρθηκαν τα κατάλληλα μέτρα για τη συντήρησή τους και τη διατήρηση της γονιμότητά τους, γίνονται φτωχά, εξαντλημένα και αποπλυμένα και η απόδοσή τους μειώνεται. Εκτός από την έλλειψη οργανικών ουσιών (ο χούμος) συμβαίνει να λείπει συχνά από τα χωράφια τελείως, το άζωτο και το φωσφορικό οξύ από τα ανόργανα στοιχεία. Οι ελλείψεις αυτές επιβάλλουν, συστηματική χημική λίπανση των αγρών ακόμα και εφαρμογή συστημάτων αμειψισποράς, για να διατηρηθεί και να βελτιωθεί η απόδοσή τους. Ακόμα, το επικλινές πολλών εδαφών και η δημιουργία χαραδρών και χειμάρρων έχουν σαν αποτέλεσμα την πρόκληση μεγάλων ζημιών, με τη μορφή διάβρωσης, απόπλυσης και παράσυρσης των εδαφών. Στις περιπτώσεις αυτές ο εκσυγχρονισμός εκδηλώνεται με τη χρήση των κατάλληλων λιπασμάτων και την κατασκευή διαφόρων υδραυλικών

έργων. Οι χημικές ουσίες εμπλουτίζουν το έδαφος, βελτιώνουν την ποιότητά του και συντελούν στην αύξηση της παραγωγής.

Η ελληνική γεωργία απορροφά κυρίως αζωτούχα και φωσφορικά λιπάσματα. Οι ανάγκες της γεωργίας μας σε τέτοια λιπάσματα καλύπτονται από τέσσερις εγχώριες βιομηχανικές επιχειρήσεις. Τα γεωργικά μηχανήματα και η χρησιμοποίησή τους από τους αγρότες έχουν φέρει πραγματική επανάσταση στο χώρο της γεωργίας. Ο μηχανικός εξοπλισμός της γεωργίας ενισχύθηκε σημαντικά μετά το 1948. Όλο και περισσότερα τρακτέρ, σπαρτικές μηχανές, θεριζοαλωνιστικά συγκροτήματα και άλλα, εκτοπίζουν τα παραδοσιακά συστήματα καλλιέργειας. Οι μηχανές βοηθούν τους αγρότες να κάνουν περισσότερη δουλειά και με λιγότερο κόπο. Πολλαπλή είναι η ωφέλεια από την χρησιμοποίηση των μηχανών στη γεωργία. Απλουστεύτηκε η δουλειά και συντόμευσε ο χρόνος απασχόλησης. Ο γεωργός σήμερα ζει κάτω από ευνοϊκότερες συνθήκες και δεν τον δέρνει το λιοπύρι το καλοκαίρι για το θερισμό και το ξεροβόρι το χειμώνα για τη σπορά. Στη γεωργία σήμερα γίνεται πλατιά χρήση των μηχανικών μέσων. Έχει γίνει η λεγόμενη εκμηχάνιση της γεωργίας. Φυσικά μπορεί να μην έχει ολοκληρωθεί, μπορούμε όμως να πούμε με σιγουριά ότι έχει επικρατήσει παντού. Όσο περνούν τα χρόνια, όπως όλη η ζωή εκσυγχρονίζεται και προσαρμόζεται στις καινούριες (πιο καλές και αποδοτικές συνθήκες) έτσι και ο τομέας της γεωργίας δεν υστέρησε στην προσαρμογή. Σιγά-σιγά η γεωργία ξεφεύγει από την παραδοσιακή καλλιέργεια και περνάει στη σύγχρονη, την επιστημονική. Οι αγρότες μας δε μένουν στο τι έχουν μάθει από τους πατεράδες τους ή τους άλλους, αλλά σήμερα συμβουλευόνται τους γεωπόνους και, καθοδηγούμενοι κατάλληλα, είναι σε θέση να ξέρουν ποια καλλιέργεια έχει την καλύτερη απόδοση. Οι αγρότες καλλιεργούν διάφορες βελτιωμένες φυτικές ποικιλίες πιο αποδοτικές, αλλά και πιο ανθεκτικές στις ιδιόμορφες καιρικές συνθήκες. Κανένας αγρότης δε μένει απαθής στην επιστήμη και χρησιμοποιεί πλατιά τα φυτοφάρμακα για την καταπολέμηση των διαφόρων ασθενειών και παρασίτων. Οι ασθένειες, που, παλιότερα, κατάστρεφαν μεγάλες εκτάσεις καλλιεργειών, σήμερα, προλαβαίνοντας με την έγκαιρη επέμβαση και την καταπολέμησή τους. Αεροψεκασμοί και ραντίσματα με δραστικά φυτοφάρμακα, έχουν εξαλείψει ορισμένες ασθένειες, που, παλιότερα, ήταν μάστιγα στην αγροτική παραγωγή.

Για αυτό και πλέον έχουμε φτάσει στο σημείο και μιλάμε για εκμηχάνιση της Γεωργίας αξιοποίηση και διαχείριση του γεωργικού εξοπλισμού, σχεδιασμό και κατασκευή γεωργικού εξοπλισμού, εφαρμογές νέων τεχνολογιών στη Γεωργία. Εφαρμογές των τεχνολογιών των ηλεκτρονικών και της πληροφορικής στη γεωργία

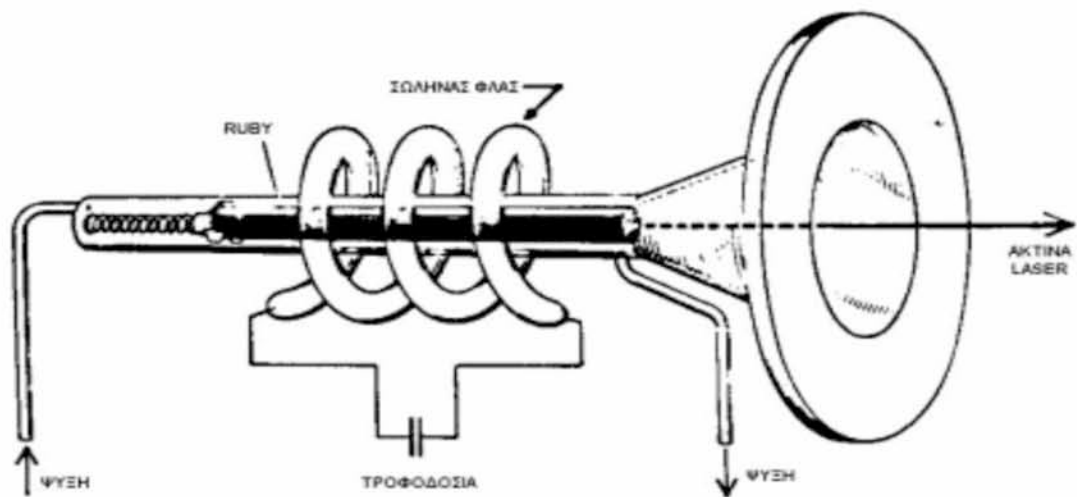
και ειδικότερα σε θέματα εκμηχάνισης της γεωργίας, διαχείριση γεωργικού εξοπλισμού και γεωργικών εγκαταστάσεων, διαχείριση υδροπονικών συστημάτων καλλιεργειών υπό κάλυψη, συστήματα γεωργίας ακριβείας, ανάπτυξη βάσεων δεδομένων για γεωργική χρήση. Όλα αυτά αποσκοπούν στην αειφορική διαχείριση του περιβάλλοντος δηλαδή στην ορθολογική διαχείριση φυσικών πόρων και ειδικότερα της ενέργειας. Επίσης υπάρχει πλέον και ο όρος αειφορική (sustainable) γεωργία ο οποίος προέρχεται από την λατινική λέξη *sustinere* η οποία δηλώνει τη διατήρηση της ύπαρξης σε μακροχρόνιο επίπεδο και αναφέρεται στα γεωργικά συστήματα που είναι σε θέση να διατηρούν απ' άπειρο την παραγωγικότητα και χρησιμότητά τους στην κοινωνία. Τέτοια συστήματα πρέπει να διατηρούν του φυσικούς πόρους, να είναι οικονομικά βιώσιμα, περιβαλλοντικά υγιή και κοινωνικά δίκαια και ανθρώπινα. Έχουν καταγραφεί και προταθεί μια σειρά από ορισμούς οι οποίοι είναι σχετικοί με τη γεωργική αειφορία, δείχνοντας τις διαφορετικές προσεγγίσεις του θέματος και ουσιαστικά για τους ερευνητές η αειφορία αποτελεί τη κατεύθυνση που πρέπει να έχει ο γεωργικός τομέας ώστε να ξεπεραστούν τα σημερινά προβλήματα. Για το λόγο αυτό γίνονται μελέτες για την εξοικονόμηση ενέργειας στη Γεωργία την μελέτη δυνατοτήτων αντικατάστασης συμβατικών μορφών ενέργειας με ανανεώσιμες πηγές όπως αιολική, ηλιακή, γεωθερμία και κυρίως αξιοποίηση βιομάζας με χρήση υπάρχοντος δυναμικού υπολειμμάτων καλλιεργειών. Επίσης η μεγάλη τεχνολογική ανάπτυξη έχει εισχωρήσει πολύ στον κλάδο της γεωργίας και μεγάλα κεφάλαια δαπανούνται στην ανάπτυξη των νέων τεχνολογιών της πληροφορικής και των ηλεκτρονικών με σκοπό την βελτιστοποίηση της παραγωγής. Ένα σημαντικό τμήμα των εφαρμογών αυτών αναφέρεται στην ανάπτυξη οργάνων που μετρούν παραμέτρους απαραίτητες για την διαχείριση των αγροκτημάτων. Η ανάπτυξη των σύγχρονων τεχνολογιών στον γεωργικό τομέα, συγκεκριμένα του μέρους εκείνου που σχετίζεται με την χρησιμοποίηση ενός συστήματος *Laser-Scanner* (λείζερ σκάνερ) για εκτέλεση μετρήσεων παραμέτρων καλλιεργειών αποτελεί και το θέμα ανάπτυξης ετούτης της μεταπτυχιακής εργασίας. Με την εφαρμογή που θα παρουσιαστεί και με την κατάλληλη επεξεργασία των δεδομένων θα προσπαθήσουμε να μετρήσουμε την περίμετρο ενός κορμού ενός δέντρου χειροκίνητα και με την βοήθεια ενός συστήματος *Laser-Scanner* (λείζερ σκάνερ) και να διεξάγουμε ότι τα συμπεράσματα μπορούν να μας βοηθήσουν σε μελλοντικές έρευνες.

2. Συστήματα Laser και εφαρμογές.

2.1 Συστήματα Laser

Η Φυσική και η Τεχνολογία δεν είναι τίποτε άλλο παρά η προσπάθεια του ανθρώπου να γνωρίσει και στη συνέχεια να ελέγξει την ύλη και την ενέργεια. Κάθε τέτοιο σημαντικό βήμα στην ανθρώπινη ιστορία προκαλούσε κοσμοϊστορικές αλλαγές στην εξελικτική πορεία του ανθρώπινου γένους. Η ανακάλυψη της φωτιάς, του τροχού, των απλών μηχανών και αργότερα των πιο σύνθετων, αποτελούν θεμελιώδη παραδείγματα ελέγχου και εκμετάλλευσης της ύλης και της ενέργειας διαμέσου των αιώνων. Ένα εντυπωσιακό γεγονός στην ιστορία αυτή καθ' αυτή είναι η ανακάλυψη του laser, της πηγής των οργανωμένων φωτονίων. Η αρχή λειτουργίας του στηρίζεται στην ιδέα της εξαναγκασμένης εκπομπής που διετύπωσε ο Einstein το 1917 και υλοποιήθηκε από τον Maiman το 1960. Το 2010 θεωρείται το έτος που γιορτάζονται παγκόσμια τα πενήντα (50) χρόνια από την δημιουργία της πρώτης δέσμης laser. Πράγματι, το 1960 και συγκεκριμένα στις 16 Μαΐου της χρονιάς αυτής ο ερευνητής των Εργαστηρίων Hughes (Καλιφόρνια USA), Φυσικός Theodore Maiman χρησιμοποιώντας ένα κύλινδρο από συνθετικό ρουμπίνι (ρουβίδιο), μήκους 2cm και διαμέτρου 1cm με κατάλληλα επαργυρωμένες τις δυο βάσεις του κατόρθωσε να θέσει σε λειτουργία την ενεργή κοιλότητα συντονισμού Fabry – Perot και έτσι να δημιουργήσει μια κόκκινη ($\lambda = 694.3nm$) φωτεινή δέσμη. Αυτό ήταν το πρώτο laser

Σχήμα 1 . Μάλιστα η λυχνία που ο Theodore Maiman χρησιμοποίησε προκειμένου να παρέχει στο σύστημα την απαραίτητη προς τούτο ενέργεια ήταν μια απλή, συνηθισμένη λάμπα από κοινό, φωτογραφικό φλας.



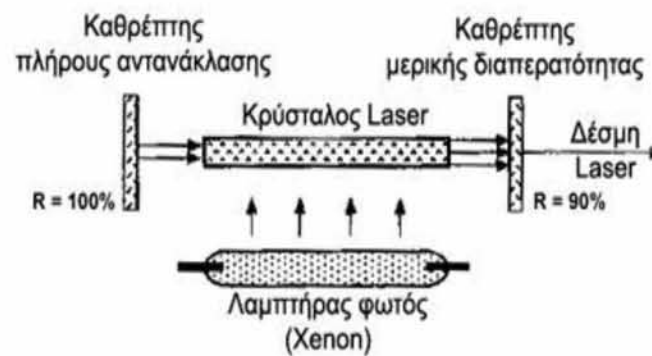
Σχήμα 1: Το πρώτο Laser

Θα πρέπει όμως εδώ απαραίτητα να αναφερθεί ότι η δημιουργία της δέσμης laser δεν ήταν το τυχαίο αποτέλεσμα μιας πειραματικής προσπάθειας ενός επίμονου ερευνητή. Πίσω από το γεγονός της δημιουργίας της συγκεκριμένης δέσμης είχε προηγηθεί σκληρή, διαχρονική προσπάθεια από πλήθος επιφανών επιστημόνων. Μάλιστα, μερικοί από τους οποίους βραβεύθηκαν και με Νόμπελ για αυτή τους την ενασχόληση. Εκτός από τα ονόματα των Theodore Maiman, Charles Fabry και Alfred Perot που ήδη μνημονεύτηκαν θα ήταν σημαντική παράληψη η μη αναφορά στους : Max Planck, Albert Einstein, Charles H. Townes και Arthur Schawlow που με την επιστημονική συνεισφορά τους (θεωρητική ή και πειραματική) συμμετείχαν ουσιαστικά στην ανακάλυψη του laser. Σήμερα, πενήντα χρόνια μετά, δεν υπάρχει περιοχή της επιστήμης ή ακόμη και της τεχνολογίας που να μην έχει επηρεαστεί άμεσα ή έστω έμμεσα από την συγκεκριμένη ανακάλυψη. Εκπαίδευση, επικοινωνίες, απεικόνιση, φασματοσκοπία, χειρουργική και γεωργία είναι μερικοί μόνο από τους διαφορετικούς τομείς όπου η δέσμη laser όχι μόνο εισήλθε δυναμικά αλλά και άλλαξε ουσιαστικά τα δεδομένα που μέχρι τότε επικρατούσαν

2.1.1 Τι είναι Laser;

Η λέξη "**LASER**" προέρχεται από τα αρχικά γράμματα των λέξεων της φράσης "**L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation" που σημαίνει «ενίσχυση φωτός με διεγερμένη εκπομπή ακτινοβολίας» (<http://en.wikipedia.org/wiki/Laser>). Το Laser αποτελεί μία ειδική δέσμη φωτεινής ακτινοβολίας, που δεν υπάρχει σε φυσικές συνθήκες, αλλά παράγεται μόνο στο εργαστήριο με ειδικό τεχνολογικό εξοπλισμό. Η φωτεινή αυτή ακτινοβολία Laser χρειάζεται μία πηγή ενέργειας (π.χ. ηλεκτρικό

ρεύμα) και ένα φυσικό μέσο για να παραχθεί (π.χ. κρύσταλλος, αέριο, χρωστική κ.λπ.). Ανάλογα με το φυσικό μέσο που χρησιμοποιείται για την παραγωγή της δέσμης, η ακτινοβολία Laser παρουσιάζει ορισμένες ιδιαιτερότητες που την χαρακτηρίζουν και καθορίζουν την δράση της στο περιβάλλον ή στους ιστούς.



Σχήμα 2: Laser Resonator

Η ακτινοβολία Laser παράγεται σε ένα οπτικό πειραματικό σύστημα που ονομάζεται συνηχητής Laser (Laser resonator) Σχήμα 2. Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται μια πειραματική συσκευή παράγωγης ακτίνας Laser.



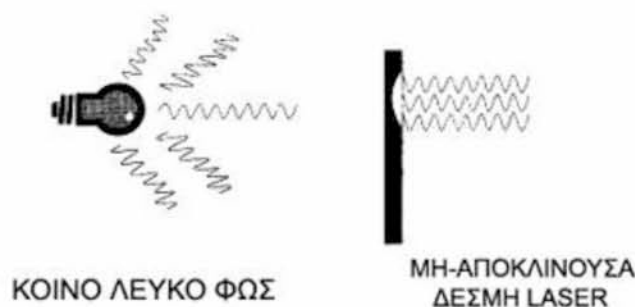
Σχήμα 3: Πειραματική συσκευή παράγωγης ακτίνας Laser

2.1.2 Γενικές ιδιότητες των Laser

Η ακτινοβολία Laser αποτελεί μια δέσμη φωτός με τέσσερα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που την ξεχωρίζουν από το συνηθισμένο φως. Αυτά είναι τα εξής:

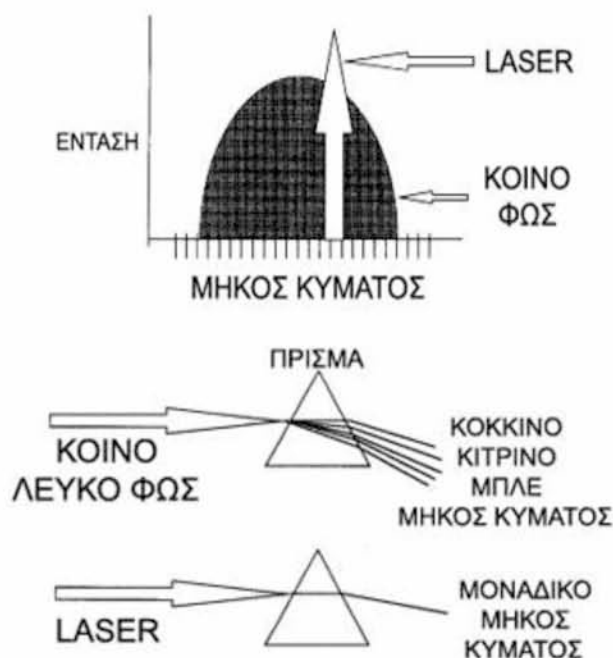
Σταθερή, μη-αποκλίνουσα πορεία. Η δέσμη φωτός του Laser δεν παρουσιάζει απόκλιση γιατί αποτελείται από κύματα που ταξιδεύουν παράλληλα μεταξύ τους προς

μία κατεύθυνση χωρίς την παραμικρή απόκλιση Σχήμα 4. Αυτό επιτρέπει στην δέσμη φωτός του Laser να εστιάζεται σε πολύ μεγάλη ένταση σε ένα σημείο. Τα συνηθισμένα κύματα φωτός διαχέονται προς όλες τις κατευθύνσεις και έτσι χάνουν γρήγορα την ενέργειά τους.



Σχήμα 4: Σταθερή, μη αποκλίνουσα πορεία

Ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος που δίνει μονοχρωματικότητα ως προς το φάσμα. Η ακτινοβολία Laser είναι μονοχρωματική, αποτελείται δηλαδή από ένα μόνο χρώμα ή από ένα περιορισμένο εύρος χρωμάτων. Το συνηθισμένο φως αποτελείται από ένα πολύ ευρύτερο φάσμα χρωμάτων Σχήμα 5.



Σχήμα 5: Συγκεκριμένο μήκος κύματος, μονοχρωματικότητα

Συνοχή (Coherence). Η φωτεινή δέσμη του Laser παρουσιάζει συνοχή, που σημαίνει ότι τα φωτεινά κύματα κινούνται μαζί σε φάσεις και στον χρόνο και στον χώρο Σχήμα 6. Από την άλλη πλευρά, το φως που δεν έχει συνοχή στον χώρο και στο χρόνο, όπως είναι το συνηθισμένο φως ενός κοινού λαμπτήρα, αποτελείται από ένα μείγμα φωτεινών κυμάτων διαφορετικών συχνοτήτων που ταξιδεύουν σε διαφορετικές κατευθύνσεις.



Σχήμα 6: Συνοχή

Συγκεντρωμένη ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας. Η ακτινοβολία Laser είναι εστιασμένη μορφή ενέργειας σε ένα συγκεκριμένο σημείο. Η ενέργεια που έχει η ακτινοβολία Laser σε ένα τετραγωνικό εκατοστό είναι 360.000 φορές μεγαλύτερη από εκείνη που έχει η ηλιακή ακτινοβολία! Παρεμβάλλοντας επιπλέον ειδικούς φακούς, η ενέργεια της ακτινοβολίας Laser που απελευθερώνεται σε κάθε τετραγωνικό εκατοστό μπορεί να αυξηθεί μέχρι και 1.000 ακόμη φορές! Η ακτινοβολία Laser, δηλαδή, ξεκινάει από την πηγή της και καταλήγει στον στόχο έχοντας την ίδια διάμετρο και το ίδιο χρώμα. Η δέσμη φωτός Laser μπορεί να μεταφερθεί είτε άμεσα στον αέρα όπως το κοινό φως είτε μέσω ειδικών μεταφορών δέσμης (όπως π.χ. αρθρωτοί βραχίονες, οπτικές ίνες κλπ).

2.1.3 Εφαρμογές της δέσμης των Laser

Οι εφαρμογές των LASER, στην επιστήμη και στην τεχνολογία, σήμερα είναι τόσες πολλές που είναι δύσκολο να απαριθμηθούν. Μπορούμε όμως να τις χωρίσουμε σε μερικές βασικές κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο χρήσης της δέσμης τους. Έτσι χρησιμοποιούνται για να :

α) Επιρρίπτεται μια δέσμη υψηλής ενέργειας πάνω σε ένα μικρό τμήμα ενός υλικού, για να το λιώσει, να το κατεργαστεί, ή να το συγκολλήσει. Επίσης για να το φωτίσει, ή να το καταστρέψει, (όταν η δέσμη χρησιμοποιείται σαν στρατιωτικό όπλο).

β) Προσδιορίζεται το φάσμα απορρόφησης ή εκπομπής ενός υλικού ή προκαλείται μια συγκεκριμένη χημική, βιολογική ή φωτοχημική αντίδραση.

γ) Φωτογραφίζεται ή λαμβάνεται μικροφωτογραφία ενός δείγματος ή το ολογράφημα ενός αντικειμένου.

δ) Μετρείται η απόσταση ή ταχύτητα ή προσδιορίζεται η διεύθυνση επίγειων στόχων ή μετρείται το βάθος υποθαλάσσιων στρωμάτων.

ε) Υποβοηθάται η κατασκευή μεγάλων έργων ή προσδιορίζονται τα σφάλματα σε μια κατασκευή ή σε ένα βιομηχανικό προϊόν.

στ) Μεταφέρονται σήματα που περιέχουν πληροφορίες ή εικόνες από ένα τόπο σε έναν άλλο.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται σχεδόν επιγραμματικά πενήντα (50) διαφορετικές, σχεδόν ανεξάρτητες εφαρμογές των laser. Η σειρά αναφοράς των συγκεκριμένων εφαρμογών δεν έχει κάποια λογική ταξινόμησης ή ακόμη και κατηγοριοποίησης. Στην ουσία γίνεται σχεδόν τυχαία θέλοντας έτσι emphaticά να δείξει σε πόσους διαφορετικούς τομείς στην επιστήμη ή και σε περιπτώσεις της καθημερινής μας ζωής συμμετέχει με επιτυχία το laser. Βέβαια μερικές από τις περιληπτικές αναφορές των εφαρμογών αυτών δύσκολα θα γίνουν απόλυτα κατανοητές από τον αμύητο αναγνώστη ενώ άλλες πάλι εύκολα θα του θυμίσουν μια εφαρμογή με την οποία έρχεται καθημερινά σε επαφή αλλά που ίσως δεν γνώριζε ότι στηρίζεται ουσιαστικά στην δράση ενός laser. Ωστόσο σκοπός εδώ δεν είναι η απόλυτα σχολαστική, επιστημονική κάλυψη της κάθε εφαρμογής όσο η συνειδητοποίηση του μεγάλου πλήθους των προβλημάτων που έρχεται να καλύψει η χαρακτηριστική αυτή δέσμη φωτός.

1. Οι συσκευές laser βρίσκονται σε κάθε σύγχρονο εργαστήριο οπτικής προκειμένου να χρησιμοποιηθούν σε ερευνητικές ή ακόμη και εκπαιδευτικές εφαρμογές π.χ. δημιουργία εικόνων συμβολής στην ορατή περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

2. Δέσμες από ισχυρά στρατιωτικά laser μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αναχαίτιση – καταστροφή εχθρικού στόχου, π.χ. επιτιθέμενος πύραυλος, ή ακόμη και μικρός σχετικά κομήτης σε απειλητική τροχιά σύγκρουσης με την γη Σχήμα 7.



Σχήμα 7: Εφαρμογές LAZER στο στρατό.

3. Πολύχρωμες δέσμες από laser σε περίτεχνους σχηματισμούς στο νυκτερινό ουράνιο θόλο σε εορταστικές εκδηλώσεις ή ακόμη και μεγάλα αθλητικά, καλλιτεχνικά γεγονότα Σχήμα 8.



Σχήμα 8: Εφαρμογές LAZER

4. Καθαρισμοί μνημείων από επιφανειακές διαστρώσεις σε μεταλλικές επιφάνειες, πετρώματα. Οι καθαρισμοί αυτοί θεωρούνται μη καταστροφικοί εφ' όσον πραγματοποιούνται χωρίς την παραμικρή μηχανική επαφή.

5. Ευθυγραμμίσεις, χαράξεις δρόμων προς κατασκευήν, γεφυρών ή και υπόγειων σηράγγων σε τοπογραφικές μελέτες που απαιτούν απόλυτη ακρίβεια.

6. Επεμβάσεις (αναιμακτες) για την απομάκρυνση του καταρράκτη στον ανθρώπινο οφθαλμό.
7. Ταχύτατη η συγκόλληση με ισχυρή δέσμη Laser σε μεταλλικές επιφάνειες μεγάλων διαστάσεων.
8. Αναιμακτη συγκόλληση στην οφθαλμολογία σε περιπτώσεις τραυματισμού και αποκόλλησης αμφιβληστροειδή από τον χοριοειδή χιτώνα Σχήμα 9.



Σχήμα 9: Εφαρμογές LAZER

9. Ανίχνευση αλλά και καταμέτρηση ρύπων (π.χ. καυσαέρια) με την βοήθεια της δέσμης laser. Η δέσμη σκεδάζεται (σε πίσω κυρίως γωνίες) με προβλέψιμο, αναγνωρίσιμο τρόπο από τα μόρια συγκεκριμένων ρύπων.
10. Κόβει με ακρίβεια υφάσματα ρούχων ή και δέρματα υποδημάτων σε αντίστοιχες βιοτεχνίες, επιχειρήσεις. Η συγκεκριμένη αυτή διαδικασία αυξάνει τους ρυθμούς παραγωγής και την εν γένει απόδοση.
11. Τα laser βοηθούν στην ταχύτατη αναγνώριση δακτυλικών αποτυπωμάτων από μεγάλο πλήθος σχεδόν πανομοιότυπων δειγμάτων.
12. Συμμετέχουν στην ρομποτική π.χ. βλήματα που με την βοήθεια δεσμών laser (εκπομπή αλλά και αποδοχή ανακλώμενης) ενημερώνονται συνεχώς και έτσι κατευθύνονται με επιτυχία στον τελικό στόχο τους. Το σχεδόν αυτόματο, καθοδηγούμενο παρκάρισμα των σύγχρονων αυτοκινήτων ανήκει επίσης στην συγκεκριμένη εφαρμογή.
13. Δημιουργία ολογραφικών πορτραίτων με την βοήθεια παλμικών laser βραχύτατης

διάρκειας. Λόγω της συγκεκριμένης κατηγορίας αυτών των laser ο φωτισμός του προσώπου δεν ενέχει κανένα κίνδυνο για τους οφθαλμούς του ολογραφηθέντος προσώπου.

14. Πραγματοποιούνται σύγχρονες έρευνες βιολογικής φύσεως σε τεχνικές χειρισμού μακρομορίων με την δημιουργία της λεγόμενης «οπτικής λαβίδας».

15. Ακτίνες laser φωτίζουν αραιούς ατμούς στοιχείων και από την ένταση της δημιουργούμενης σκέδασης μελετώνται διάφορες χημικές αλληλεπιδράσεις (π.χ. συμπεριφορά των δυνάμεων Van der Waals).

16. Λιθοτριψία σε απρόσιτες περιοχές ανθρώπινων οργάνων π.χ. νεφρά. Η ακτινοβολία laser ακολουθεί την οπτική ίνα στο εσωτερικό του ανθρώπινου σώματος. Έτσι, εντοπίζεται το ανεπιθύμητο, ξένο σώμα και στη συνέχεια πραγματοποιείται ο «βομβαρδισμός» και η καταστροφή του.

17. Διάφορες κατηγορίες laser βοηθούν σε θέματα αισθητικής αποκατάστασης όπως: επούλωση τραυμάτων, εγκαύματα, ευρυαγγείες μικρής έκτασης ή και δερματικά έλκη.

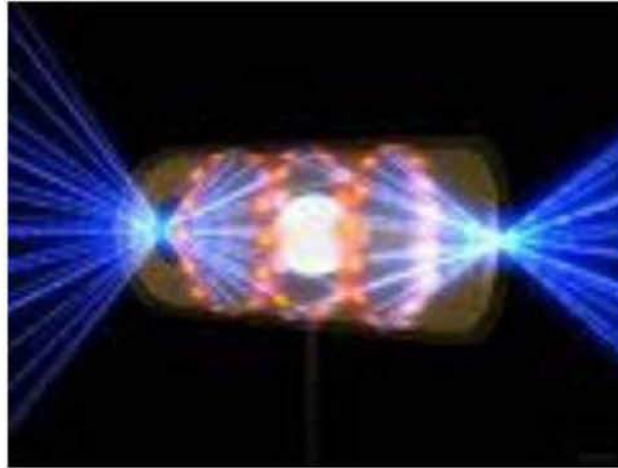
18. Στην φυσικοθεραπεία τα laser βρίσκουν σήμερα ευρύτατη εφαρμογή σε συνηθισμένα προβλήματα οσφυαλγίας, ισχιαλγίας.

19. Εκτυπωτές laser στους οποίους η δέσμη κατάλληλα καθοδηγούμενη προσπίπτει σε ένα περιστρεφόμενο τύμπανο από φωτοαγώγιμο υλικό το οποίο και ενεργοποιεί.

20. Διακοσμητικές μικρο δημιουργίες από φυσαλίδες στο εσωτερικό κρυστάλλου για κατασκευή διάφορων πολύπλοκων σχημάτων σε πολύ μικρό όγκο. Πρόκειται για ενδιαφέρουσες, τρισδιάστατες κατασκευές μερικές από τις οποίες έχουν σημαντική καλλιτεχνική αξία.

21. Στο μικροσκόπιο ατομικών δυνάμεων η δέσμη laser χρησιμοποιείται προκειμένου να γίνει (δυναμικά) η ανίχνευση της εκτροπής οπτικής δέσμης. Πρόκειται για σύστημα ευαίσθητο σε μετατοπίσεις της τάξεως των $\sim 10\mu\text{m}$.

22. Διασταυρούμενες δέσμες laser σε σημειακή περιοχή του χώρου προβλέπεται να προκαλέσουν σε μικρά σφαιρίδια υδρογόνου συνθήκες για την έναρξη της αντίδρασης της θερμοπυρηνικής σύντηξης. Πρόκειται για μια πολλά υποσχόμενη διαδικασία παραγωγής «καθαρής» ενέργειας Σχήμα 10.



Σχήμα 10: Εφαρμογές LAZER

23. Δημιουργία ολογραμμάτων επίδειξης, πρόκειται για τρισδιάστατες απεικονίσεις αντικειμένων σε δισδιάστατες επιφάνειες ολογραφικών φιλμ.
24. Τεχνικές ολογραφικής συμβολομετρίας με δέσμες laser σε πλήθος εφαρμογών όπως μελέτες για αντοχή υλικών, παραμορφώσεις ή και προσδιορισμοί των ευπαθών περιοχών σε ένα προς μελέτη δοκίμιο.
25. Οπτική σύμφωνη τομογραφία (OCT, *Optical Coherence Tomography*) πρόκειται για το οπτικό ανάλογο του υπερηχογραφήματος όπου παλμός από laser προσπίπτει και ενώ διαπερνά με επιτυχία τον ιστό αλληλεπιδρά μόνο με το περιεχόμενό του. Στη συνέχεια καταμετράται το σχετικό σήμα της ανάκλασης του εσωτερικού του.
26. Περιορισμός σε αιμορραγίες αγγείων σε περιπτώσεις ανθρώπινου αμφιβληστροειδή.
27. Αξιόπιστη διάτρηση και των πιο σκληρών υλικών (π.χ. ασφάλι). Ο όρος της αξιοπιστίας περιγράφει το γεγονός ότι το σχήμα του ανοίγματος που εν προκειμένω δημιουργεί η δέσμη laser είναι απόλυτα ελεγχόμενο χωρίς την παραμικρή ανωμαλία στα όριά του.
28. Ακριβές και ταχύτατο κόψιμο σε παχύ στρώμα μετάλλων με στενή δέσμη από ισχυρά laser, πρόκειται κυρίως για laser διοξειδίου του άνθρακα (CO_2).
29. Ανώδυνοι καυτηριασμοί σε διάφορες δερματικές παθήσεις Σχήμα 11.



Σχήμα 11: Εφαρμογές LAZER

30. Στην οφθαλμολογία γίνεται σήμερα «σιμίλευση» του κερατοειδή για διόρθωση διάφορων αμετρωπιών, π.χ. διόρθωση μυωπίας πολλών βαθμών.

31. Τηλεφωνία μέσω οπτικής ίνας και δέσμης laser. Τα σύγχρονα τηλεφωνικά κέντρα συνδέονται μεταξύ τους με οπτικές ίνες μέσω των οποίων η δέσμη laser μεταφέρει την σχετική πληροφορία. Το πλήθος των τηλεφωνικών συνδιαλέξεων είναι τώρα ασύγκριτα μεγαλύτερο από το αντίστοιχο που προσέφερε η συμβατική, καλωδιακή σύνδεση με τα χάλκινα σύρματα.

32. Δέσμες laser αξιοποιούνται σε γεωμετρικές συστοιχίες προκειμένου να οριοθετήσουν ένα χώρο που θεωρείται υψίστης ασφαλείας, π.χ. πυρηνικός αντιδραστήρας, αίθουσες συσκέψεων, μουσειακοί χώροι με μοναδικά, πολύτιμα εκθέματα κλπ. Ο ανεπιθύμητος επισκέπτης που θα «διακόψει» την συνέχεια της δέσμης - επιτήρησης θα γίνει αμέσως αντιληπτός από την υπηρεσία ασφαλείας.

33. Τοπογραφικές μελέτες, σχεδόν άμεσος υπολογισμός αποστάσεων, χωροταξικοί υπολογισμοί σε πολύ μεγάλες αποστάσεις π.χ. σε ανωμαλίες του εδάφους στη σεληνιακή επιφάνεια για ασφαλείς μελλοντικές προσσεληνώσεις.

34. Δέσμες laser για σύνθετη επεξεργασία ολοκληρωμένων κυκλωμάτων στην ίδια ακριβώς μικροσκοπική περιοχή ενός τσιπ.

35. Επισκόπηση αλλά και καταγραφή των αέριων μαζών σε στρώματα ατμόσφαιρας μεσαίου ή και μεγάλου ύψους για διάφορους μετεωρολογικούς ή και κλιματολογικούς σκοπούς Σχήμα 12.



Σχήμα 12: Εφαρμογές LAZER

36. Δημιουργία πλάσματος από δέσμη laser σε μικρή επιφάνεια άγνωστου δείγματος. Με την ανάλυση των οπτικών φασμάτων εκπομπής προσδιορίζεται όχι μόνο το είδος αλλά και η ποσότητα των χημικών στοιχείων στο μελετώμενο δείγμα.

Πρόκειται για την τεχνική LIBS (*Laser Induced Breakdown Spectroscopy*).

37. Ταχύτατη (αλλά και αξιόπιστη) η ανάγνωση των *bar codes* σε αναρίθμητο πλήθος καταναλωτικών προϊόντων π.χ. ταμεία πληρωμής εμπορικών πολυκαταστημάτων.

38. Δέσμη laser αξιοποιείται προκειμένου να γίνει η κατάλληλη χάραξη ηλεκτρικών κυκλωμάτων σε κεραμικές επιφάνειες μικρού σχετικά εμβαδού.

39. Συσκευές ήχου, εικόνας (CD ή και DVD) «διαβάζονται» (ήδη εδώ και χρόνια) από δέσμη laser. Η εγγραφή δεν «καταπονείται» σε αυτούς τους δίσκους - ακτίνες στο μέτρο που δεν υπάρχει η παραμικρή μηχανική επαφή μαζί τους.

40. Το φως από δέσμη laser αξιοποιείται προκειμένου να επιβραδύνει διεγερμένα άτομα που βρίσκονται σε αντίθετη με αυτό κίνηση και έτσι τα άτομα αυτά μελετώνται καλλίτερα κατά την διαδικασία της αποδιέγερσης τους.

41. Ισχυρά laser τροφοδοτούν ενεργειακά, από το έδαφος, πτητικές συσκευές τις οποίες και διατηρούν σε πτήση. Τέτοιες συσκευές μπορεί να είναι μικρά αεροπλάνα δοκιμαστικής σχεδίασης ή ακόμη και δορυφόροι που πετούν σε χαμηλό σχετικά ύψος.

42. Η επιφανειακή επεξεργασία του νήματος πυράκτωσης σε συμβατικές φωτιστικές λάμπες με παλμικό laser αυξάνει σημαντικά την απόδοσή τους καθώς και τον προσδόκιμο χρόνο ζωής τους.

43. Με τα laser (και σε συνδυασμό μάλιστα με την οπτική ίνα) η χωρητικότητα της πληροφορίας που διαχειρίζεται ένας σύγχρονος οικιακός καταναλωτής αυξήθηκε σημαντικά.

44. Στη μετρολογία οι διαστάσεις που μετρώνται με την δέση laser έχουν την καλλίτερη δυνατή ακρίβεια. Για παράδειγμα στην σύγχρονη αυτοκινητοβιομηχανία η διάσταση του μήκους των διαφόρων εξαρτημάτων ενός αυτοκινήτου καταμετράται πλέον με ακρίβεια μm.

45. Με ισχυρές δέσμες φωτός από laser προσδιορίζεται η οριζοντίωση επίπεδης επιφάνειας. Η διαδικασία αυτή βοηθάει πολύ σε οικοδομικές εργασίες προκειμένου να βρεθούν μικρές περιοχές σε κατακόρυφους τοίχους που ανήκουν στο ίδιο π.χ. οριζόντιο επίπεδο.

46. Με τα παλμικά laser και την ολογραφία κίνησης πραγματοποιούνται η μελέτη της ροής αερίων ή και ο συστηματικός έλεγχος διαρροών σε ρευστά με συνεχή, δυναμικό τρόπο.

47. Πραγματοποίηση, μελέτη της τοπογραφίας του ανθρώπινου κερατοειδή σε περιπτώσεις π.χ. προληπτικού ελέγχου της συμπεριφοράς του ή ακόμη και κατά το δοκιμαστικό στάδιο της εφαρμογής κατάλληλων φακών επαφής.

48. Με τα laser έγινε δυνατόν να δημιουργηθούν τα ολογραφικά οπτικά στοιχεία όπως για παράδειγμα οι «έξυπνες οθόνες» δυναμικής λειτουργίας πολλαπλής ανάγνωσης. Στις οθόνες αυτές το περιεχόμενο που κάθε φορά αποκαλύπτεται στην ίδια επιφάνεια εξαρτάται από την γωνία υπό την οποία γίνεται η σχετική παρατήρηση.

49. Μέτρηση των δυναμικών μεταβολών του κρυσταλλοειδή (π.χ. αλλαγή καμπυλότητας) στον ανθρώπινο οφθαλμό κατά την διαδικασία της όρασης.

50. Με τα χειρουργικά laser οι μυϊκοί ιστοί τέμνονται σχετικά εύκολα μέσω θέρμανσης με ταυτόχρονη εξάτμιση του νερού που περιέχεται στο κυτταρικό υλικό. Μεγάλο πλεονέκτημα είναι ότι με αυτό το «νυστέρι laser» ενώ γίνεται η σχετική τομή πραγματοποιείται ταυτόχρονα και φωτοπηξία με αποτέλεσμα να μειώνεται σημαντικά η απώλεια αίματος στο όριο της τομής π.χ. εφαρμογές μικροχειρουργικής.

Από όλα τα προηγούμενα γίνεται κατανοητό ότι το laser είναι ίσως η πιο χαρακτηριστική περίπτωση της σύγχρονης τεχνολογίας όπου η αναφορά και μόνο των εφαρμογών της θεωρείται παρελθόν μπροστά στις νέες, εντελώς καινούργιες που επέρχονται με καταγιστικό ρυθμό. Ο μοναδικός ίσως περιορισμός ώστε τα laser να εφαρμόζονται στο σύνολο της επιστήμης και τις τεχνολογίας φαίνεται να είναι η ανθρώπινη περιέργεια και επινοητικότητα. Παρ' όλα αυτά και στην περίπτωση που κάποιος υποχρεωτικά θα ήθελε πολύ γενικά να ταξινομήσει τις εν λόγω εφαρμογές εύκολα θα μπορούσε να διακρίνει δυο κυρίως μεγάλες κατηγορίες να κυριαρχούν : Κατηγορία Εφαρμογών 1 (laser και αλληλεπιδράσεις) και Κατηγορία Εφαρμογών 2 (laser και πληροφορία). Στην μεν πρώτη τα laser αλληλεπιδρούν με την ύλη και

προκαλούν επιθυμητές αλλαγές μόνιμες ή και παροδικές ενώ αντίστοιχα στην δεύτερη τα laser χρησιμοποιούνται προκειμένου να ανιχνεύσουν, διατηρήσουν, αποστείλουν ή και επεξεργαστούν τεράστιες ποσότητες χρήσιμης, κατά τεκμήριο, πληροφορίας. Είναι γεγονός ότι για την δέσμη laser η αρχική, επιπόλαια διαπίστωση μερικών επιστημόνων ήταν ότι επρόκειτο για «την λύση σε ένα πρόβλημα που δεν είχε ακόμη διατυπωθεί». Η περίοδος βέβαια των πέντε δεκαετιών που μεσολάβησε απέδειξε ότι η δέσμη αυτή όχι μόνο έδωσε ικανοποιητικές απαντήσεις σε πλήθος από προϋπάρχοντα προβλήματα αλλά βοήθησε σημαντικά στο να περιγραφούν εντελώς νέοι προβληματισμοί σε διαφορετικούς ερευνητικούς τομείς. Έτσι, τα laser στα χρόνια που πέρασαν διέψευσαν κατηγορηματικά τις αρχικές, υποτιμητικές προβλέψεις που τα ήθελαν σαν σχεδόν άχρηστα υποπροϊόντα μιας τυπικής ερευνητικής δραστηριότητας. Οι δέσμες laser συμμετέχουν σήμερα ουσιαστικά σε σχεδόν όλους τους αναπτυσσόμενους τομείς της σύγχρονης τεχνολογίας.

2.2 Συστήματα Laser Scanner και εφαρμογές στην Γεωργία

Ένα λέιζερ σκάνερ (λέγεται επίσης και λέιζερ ραντάρ) είναι μια εξ αποστάσεως οπτική συσκευή που μετράει την απόσταση από ένα αντικείμενο μέχρι το πεδίο σκαναρίσματος χρησιμοποιώντας μια ακτίνα λέιζερ. Οι μετρήσεις του σκάνερ βασίζονται στην αρχή της Time-of-Flight (TOF). Μια πηγή λέιζερ μέσα στο σκάνερ εκπέμπει μια ακτίνα λέιζερ. Αν αυτή η ακτίνα χτυπήσει κάποιο αντικείμενο, μέρος της ακτίνας αντανακλάται πίσω στο σκάνερ και χτυπάει σε έναν ανιχνευτή μέσα στο σκάνερ. Ο χρόνος μεταξύ της εκπομπής και την επιστροφής του σήματος είναι ανάλογος με την απόσταση ανάμεσα στο σκάνερ και στο αντικείμενο. Η ακτίνα του λέιζερ αποκλίνει σε ένα συγκεκριμένο γωνιακό διάστημα χρησιμοποιώντας έναν εσωτερικό περιστρεφόμενο καθρέφτη. Έτσι, πραγματοποιείται μία σάρωση της γύρω περιοχής. Οι σαρωτές laser αποτελούν μία από τις τελευταίες εξελίξεις στον τομέα των αποτυπώσεων Στο Σχήμα 13 φαίνεται ένας σαρωτής laser. Ιστορικά προήλθαν από τα αερομεταφερόμενα συστήματα που χρησιμοποιήθηκαν για την αποτύπωση των βυθών λιμένων λιμνών και άλλων υποβρύχιων σχηματισμών μικρού κυρίως, βάθους. Τα ογκώδη αυτά όργανα αφού έγιναν ελαφρύτερα με την αφαίρεση περιττών στοιχείων τους (GPS, γυροσκοπικών συστημάτων κλπ), έφτασαν στα χέρια των επαγγελματιών με την μορφή μηχανημάτων τα οποία

έχουν όγκο, όχι πολύ μεγαλύτερο από ένα γεωδαιτικό σταθμό ή ένα δέκτη GPS. Μερικά από τα στοιχεία των σαρωτών laser που τους κάνουν να υπερέχουν έναντι άλλων συμβατικότερων μεθόδων αποτύπωσης είναι τα παρακάτω:

- Μέτρηση με μεγάλη ακρίβεια μεγάλου πλήθους σημείων σε μικρό χρονικό διάστημα χωρίς την επέμβαση του χρήστη. Ένας σαρωτής laser μπορεί να σαρώσει 3 – 15 χιλιάδες σημεία / s.
- Ελαχιστοποίηση χρόνου μετρήσεων στο πεδίο
- 3D πληροφορία με ταυτόχρονη απόκτηση χρωματικής (συνήθως RGB) πληροφορίας για τα σημεία αποτύπωσης
- Λειτουργία και σε συνθήκες περιορισμένης η και μηδενικής ορατότητας
- Μεγάλη ακρίβεια στις μετρήσεις χωρίς την ανάγκη ύπαρξης σημείων ελέγχου



Σχήμα 13: Όψη του σαρωτή IRLIS

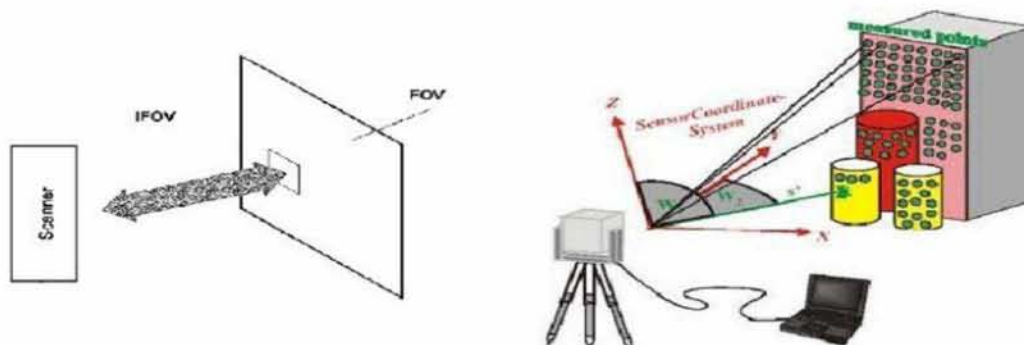
Η πρακτική των εργασιών πεδίου είναι η μέτρηση με διαδοχικές σαρώσεις ενός αντικειμένου και η συρραφή των διαδοχικών μοντέλων μέσω μίας περιοχής επικάλυψης. Οι διαδικασίες συρραφής μπορούν να γίνουν αυτοματοποιημένα ή με την επέμβαση του χρήστη. Το τελικό προϊόν είναι ένα νέφος σημείων το οποίο μπορεί να επεξεργαστεί και να διαχειριστεί δίνοντάς μας σχέδια (2D ή 3D), στερεά μοντέλα, γραμμές, σημεία κλπ. Η ιδιαιτερότητα των μετρήσεων είναι ότι δεν απαιτούνται σταθερά σημεία ελέγχου για τον προσδιορισμό της θέσης ή της κλίμακας του υπό αποτύπωση αντικειμένου. Επικουρικά φυσικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν στόχοι ή φωτοσταθερά για την ένταξη του μοντέλου σε ένα σύστημα αναφοράς. Το πεδίο εφαρμογών είναι αρκετά μεγάλο και καθημερινά, με

τις εξελίξεις τόσο των οργάνων όσο και των προγραμμάτων, αυξάνεται. Ήδη σε παγκόσμιο επίπεδο χρησιμοποιείται σε τομείς όπως:

1. Αποτύπωση οδικών χαρακτηριστικών (δρόμων, ανισόπεδων κόμβων κλπ)
2. Αρχιτεκτονικές αποτυπώσεις αντικειμένων και στοιχείων πολιτιστικής αξίας (μνημείων, αγαλμάτων, επιγραφών κλπ)
3. Αποτύπωση χώρων στυχημάτων (οδικών, βιομηχανικών κλπ) και περιοχών καταστροφών (κατολισθήσεων, σεισμών κλπ)
4. Τοπογραφικές αποτυπώσεις γεωμετρικά πολύπλοκων περιοχών ή με έντονο και ιδιαίτερο ανάγλυφο (πχ σπηλαίων)
5. Ειδικές αποτυπώσεις μεγάλων εγκαταστάσεων όπως αεροδρόμια, βιομηχανικές εγκαταστάσεις κλπ
6. Αντίστροφη μηχανική (*reverse engineering*) με σκοπό αντιγραφή μηχανημάτων, διατάξεων, οργάνων κλπ
7. Βιομηχανία κινηματογράφου και διασκέδασης με την αποτύπωση και μοντελοποίηση μορφών, περιοχών και αντικειμένων για χρήση σε *Virtual* κόσμους ή σε *computer games*.

2.2.1 Λειτουργία Laser Scanner

Οι επίγειοι τρισδιάστατοι σαρωτές χρησιμοποιούν *lasers* μήκους κύματος στο ορατό και υπέρυθρο τμήμα του φάσματος ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (http://en.wikipedia.org/wiki/laser_scanner). Το πλεονέκτημα της υπέρυθρης ακτινοβολίας είναι ότι είναι πιο ευαίσθητη και ακριβής από την ορατή ακτινοβολία. Για την αποτύπωση μιας επιφάνειας η στενή δέσμη του *laser*, που συνιστά το στιγμιαίο οπτικό πεδίο (*Instant Field Of View - IFOV*), πρέπει να μετακινηθεί κατά μήκος και πλάτος αυτής ώστε να καλύψει το οπτικό πεδίο (*Field Of View - FOV*) Σχήμα 14.



Σχήμα 14: Το στιγμιαίο οπτικό πεδίο (IFOV) και το οπτικό πεδίο (FOV) για την μέτρηση συντεταγμένων.

Ο σαρωτής αναλαμβάνει την εκτροπή της ακτίνας με συγκεκριμένο τρόπο (σχήμα σάρωσης) και υψηλή, ομοιόμορφη συνήθως, γωνιακή δειγματοληψία. Η ομοιόμορφη δειγματοληψία στο επίπεδο της εικόνας (*image space*) δεν εξασφαλίζει πάντα και ομοιόμορφη κατανομή σημείων στον τρισδιάστατο χώρο.

2.2.2 Μέρη συστήματος ενός Laser Scanner

Τα τυπικά μέρη ενός συστήματος σαρωτή laser είναι Σχήμα 15:

A) Ο σαρωτής που περιλαμβάνει: πομπό ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, δέκτη ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που λαμβάνει το επιστρεφόμενο σήμα, καταγραφική μονάδα στην οποία καταγράφονται η επιστροφή του σήματος και ο χρόνος εκπομπής – λήψης, χρονόμετρο για τη μέτρηση του χρόνου μετάβασης και επιστροφής του εκπεμπόμενου σήματος, σύστημα περιστρεφόμενων καθρεφτών που κατευθύνει τη δέση της ακτινοβολίας.

B) Συσσωρευτή (μπαταρία) για τη τροφοδοσία του συστήματος.

Γ) Η μονάδα ελέγχου που αποτελείται από ένα φορητό ηλεκτρονικό υπολογιστή σε σύνδεση με το σαρωτή. Στον υπολογιστή είναι εγκατεστημένο το λογισμικό σάρωσης και επεξεργασίας των δεδομένων.

Δ) Βασικά παρελκόμενα που συνοδεύουν το σύστημα όπως τρίποδας για να τοποθετηθεί το όργανο και ειδικοί στόχοι σάρωσης.



Σχήμα 15: Βασικά μέρη ενός σαρωτή LAZER

Τα τελευταία χρόνια η εξέλιξη των σαρωτών οδήγησε στην σύμπτυξη των διαφόρων μερών που αναφέρονται προηγουμένως. Συγκεκριμένα, στο σαρωτή εκτός των άλλων περιλαμβάνεται ο συσσωρευτής (μπαταρία) για τη τροφοδοσία του συστήματος καθώς και μια μικρή μονάδα ελέγχου για τη πραγματοποίηση και τη καταγραφή της σάρωσης στην εσωτερική μνήμη Σχήμα 16. Έτσι, γίνεται απλούστερη η μεταφορά, συνδεσμολογία και χειρισμός του σαρωτή με τη ταυτόχρονη αύξηση της ευχρηστίας του.



Σχήμα 16: Σαρωτής Laser με ενσωματωμένη τροφοδοσία και σύστημα ελέγχου καταγραφής

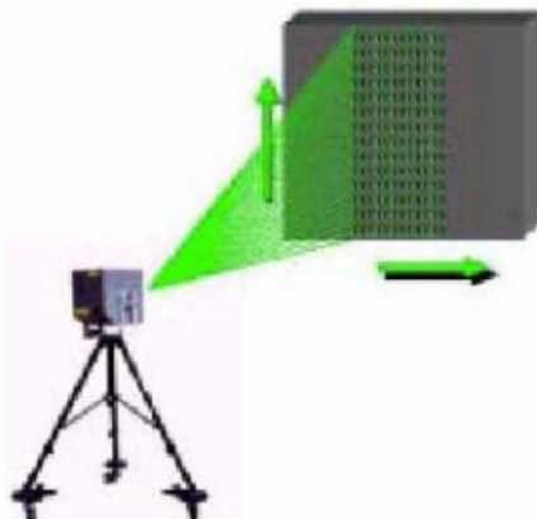
2.2.3 Κατηγοριοποίηση laser Scanner

Τα σύγχρονα εμπορικά συστήματα επίγειων σαρωτών διακρίνονται ως προς το οπτικό τους πεδίο σε τρεις βασικές κατηγορίες:

- Σαρωτής – κάμερα (camera scanner): έχει περιορισμένο οπτικό πεδίο (FOV) και μεγάλο βεληνεκές.
- Υβριδικός σαρωτής (hybrid scanner): ένας εκ των αξόνων περιστροφής δεν έχει περιορισμό κίνησης (συνήθως στην οριζόντια κίνηση) ενώ ο δεύτερος άξονας περιστροφής έχει περιορισμό λόγω της χρήσης των κατόπτρων.
- Πανοραμικός σαρωτής (panorama scanner): το οπτικό πεδίο περιορίζεται μόνο από τη βάση στήριξης του οργάνου και βρίσκει ιδιαίτερη εφαρμογή σε εσωτερικές σαρώσεις.

Ανεξάρτητα του είδους του σαρωτή ο χρήστης επιλέγει την περιοχή σάρωσης μέσα στα όρια του επιτρεπτού οπτικού πεδίου και καθορίζει την πυκνότητα

δειγματοληψίας. Παρ' ότι γενικά υπάρχει δυνατότητα επιλογής διαφορετικής ανάλυσης σε κάθε άξονα, αυτό μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα στο στάδιο της επεξεργασίας. Όταν η επιλεγόμενη περιοχή σάρωσης είναι πολυγωνική συνήθως χρησιμοποιούνται δύο σχήματα σάρωσης, κατά παράλληλες γραμμές ή σε σχήμα Z



Σχήμα 17: Πορεία της δέσμης κατά την σάρωση

Μετά τη σάρωση μιας περιοχής, καταγράφονται εσωτερικά οι γωνίες των κατόπτρων και οι χρόνοι που μετρούνται, ενώ για τον υπολογισμό των συντεταγμένων των ειδικών στόχων λαμβάνεται υπόψη η γεωμετρία της σάρωσης. Τα παραγόμενα αρχεία (νέφη σημείων, *point clouds*) περιέχουν τις σφαιρικές συντεταγμένες των σημείων που μετατρέπονται σε καρτεσιανές με αρχή των αξόνων τον σαρωτή .

2.3 Εφαρμογές συστημάτων Laser Scanner στην Γεωργία

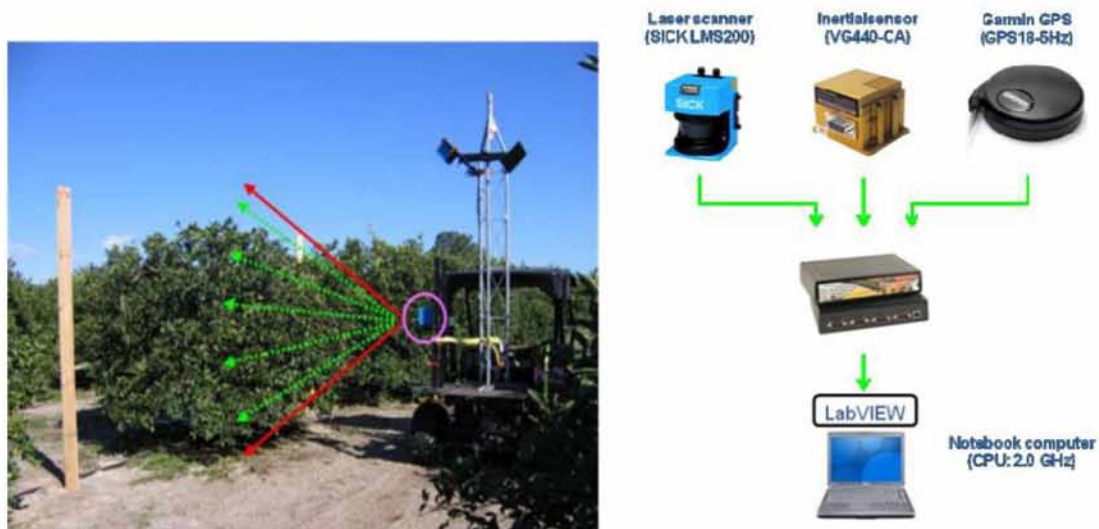
Παρακάτω παρουσιάζονται περιληπτικά κάποιες εφαρμογές που έγιναν στην γεωργία με την βοήθεια συστημάτων Laser Scanner. Οι εφαρμογές οι οποίες θα αναφερθούν χωρίζονται σε 3 (τρεις) κατηγορίες. Οι εφαρμογές οι οποίες έγιναν με σκοπό την ποσοτικοποίηση των χαρακτηριστικών της γεωμετρίας ενός δέντρου ή ενός φυτού, οι εφαρμογές που έγιναν με σκοπό την αυτόματη και ποιο ξεκούραστη συγκομιδή ή σπορά των καλλιεργειών και τέλος μία εφαρμογή οι οποία έγινε για την άρδευση ή αποστράγγιση του εδάφους. Είναι σίγουρο ότι υπάρχουν χιλιάδες εφαρμογές των συστημάτων αυτών στην γεωργία και όσο η τεχνολογία

αναπτύσσεται τόσο και ποιο πολλές εφαρμογές θα γίνονται για την βελτιστοποίηση της ποιότητας της παραγωγής αλλά και την βελτιστοποίηση των συνθηκών της εργασίας του γεωργού.

2.3.1 Εφαρμογές συστημάτων Laser Scanner για την ποσοτικοποίηση των χαρακτηριστικών ενός δέντρου ή ενός φυτού.

Στην Φλόριντα, στην παραγωγή εσπεριδοειδών η μέτρηση των χαρακτηριστικών της γεωμετρίας των δέντρων όπως το ύψος των δέντρων, το πλάτος και ο όγκος της δασοκάλυψης είναι πολύ σημαντικά γιατί τα χαρακτηριστικά αυτά χρησιμοποιούνται για να υπολογιστεί η παραγωγή των εσπεριδοειδών νωρίς στην σεζόν. Ένας ακριβής υπολογισμός της σοδειάς των εσπεριδοειδών είναι επιθυμητός από τους παραγωγούς και θα τους βοηθήσει στις αποφάσεις καλύτερης διαχείρισης και προϋπολογισμού. Επιπλέον, τα χαρακτηριστικά αυτά μπορούν να βελτιστοποιήσουν το ποσοστό του λιπάσματος και των εντομοκτόνων που εφαρμόζονται σε μεμονωμένα δέντρα. Αυτό μπορεί να αποτελέσει οικονομικό όφελος για τους παραγωγούς και επίσης μπορεί να μειώσει την ρύπανση του περιβάλλοντος. Όμως, η τωρινή χειροκίνητη μέθοδος, το να πηγαίνει σε κάθε ένα δένδρο ο άνθρωπος και να μετράει ύψος, πλάτος και όγκο δασοκάλυψης με ένα μέτρο, είναι χρονοβόρα, κουραστική και ανακριβής. Επομένως, ένα ακριβές και γρήγορο σύστημα ανίχνευσης για την μέτρηση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των δέντρων είναι απαραίτητο. Διαφορετικοί τύποι αισθητήρων, όπως οι υπερηχητικοί αισθητήρες χρησιμοποιήθηκαν στην μέτρηση των χαρακτηριστικών των δέντρων. Ανάμεσά τους, ένα λέιζερ σκάνερ έχει πολύ περισσότερα πλεονεκτήματα: α) γρήγορο χρόνο αντίδρασης, β) υψηλή ανάλυση σκαναρίσματος και γ) υψηλό επίπεδο ακρίβειας μέτρησης. Πολλοί ερευνητές έδειξαν τις δυνατότητες των λέιζερ σκάνερ για την μέτρηση των χαρακτηριστικών των δέντρων ή των φυτών. Οι (Ehsani et al. 2002) έφτιαξαν ένα σύστημα βασισμένο σε λέιζερ για την μέτρηση του όγκου των φυτών. Αυτό είχε την ικανότητα να μετράει τον όγκο και το ύψος των φυτών με ακρίβεια, δείχνοντας την πιθανότητα να μετρηθεί η βιομάζα και να υπολογιστεί ο δείκτης της φυλλικής επιφάνειας. Συνέκριναν την απόδοση ενός συστήματος λέιζερ με την απόδοση ενός υπερηχητικού συστήματος για την μέτρηση του όγκου της κόμης των δέντρων. Το λέιζερ έδειξε καλύτερη ακρίβεια στην μέτρηση ειδικά των αποφυλλωμένων δέντρων και των μικρών δέντρων. Επίσης οι (J. Wei & M. Salyani 2004) και (WEI & SALYANI 2005)

δημιούργησαν ένα σύστημα σκαναρίσματος λέιζερ και αντίστοιχους αλγόριθμους για την μέτρηση του όγκου της κόμης των δέντρων. Η απόκλιση της μέτρησης του όγκου ενός ορθογώνιου κουτιού ήταν 4,4%. Με τη έρευνα τους οι (Ehlert et al. 2008) δημιούργησαν ένα τριγωνικό σύστημα βασισμένο σε λέιζερ για την εκτίμηση της πυκνότητας της βιομάζας της σοδειάς. Το μέσο ύψος του σημείου αντανάκλασης του λέιζερ έδειξε μια καλή σχέση με την πυκνότητα της βιομάζας της καλλιέργειας. Ο γενικός στόχος αυτής της μελέτης ήταν να δημιουργηθεί ένα σύστημα μέτρησης με βάση το λέιζερ, να δημιουργηθούν οι αντίστοιχοι αλγόριθμοι για το ύψος της δασοκάλυψης των δέντρων, το πλάτος και την μέτρηση του όγκου και να δοκιμάσει την απόδοση του συστήματος και των αλγόριθμων. Βασιζόμενος στις προαναφερθείσες έρευνες ο (Lee 2008) εκτέλεσε το εξής πείραμα : Ένας ελκυστήρας John Deere εξοπλίστηκε με πειραματικές συσκευές για δοκιμαστικούς σκοπούς. Ένα λέιζερ σκάνερ τοποθετήθηκε σε έναν πάγκο που ήταν τοποθετημένος στο πίσω μέρος του οχήματος 1,40 m πάνω από το έδαφος. Το λέιζερ σκάνερ ήταν γυρισμένο κατά 90° έτσι ώστε να σκανάρει τα δέντρα κάθετα. Ένας αισθητήρας τοποθετήθηκε στο πάνω μέρος του πύργου της κεραίας, ο οποίος ήταν τοποθετημένος στο πίσω μέρος του οχήματος. Ο αισθητήρας αυτός μετρούσε τις γωνίες κλίσης και κίνησης του δοκιμαστικού οχήματος για να διορθώσει τις μετρήσεις του λέιζερ με βάση τις μετρημένες γωνίες. Ένα GPS τοποθετήθηκε στο πάνω μέρος του πύργου της κεραίας για να μετρήσει την ταχύτητα κίνησης του οχήματος. Η ταχύτητα του ακροδέκτη του GPS ήταν 5 Hz. Ο αισθητήρας λέιζερ, ο αισθητήρας μέτρησης γωνιών κλίσης, και το GPS επικοινωνούσαν με έναν φορητό υπολογιστή που έτρεχε σε ταχύτητα CPU 2 GHz μέσω αντάπτορα USB σε ταχύτητες ανίχνευσης 500, 38,4 και 19,2 kbps, αντίστοιχα, Σχήμα 18. Το πρόγραμμα διασύνδεσης γράφτηκε χρησιμοποιώντας LabVIEW, που χρησίμευε στην αλλαγή των ρυθμίσεων των αισθητήρων και συγκέντρωσης των δεδομένων.

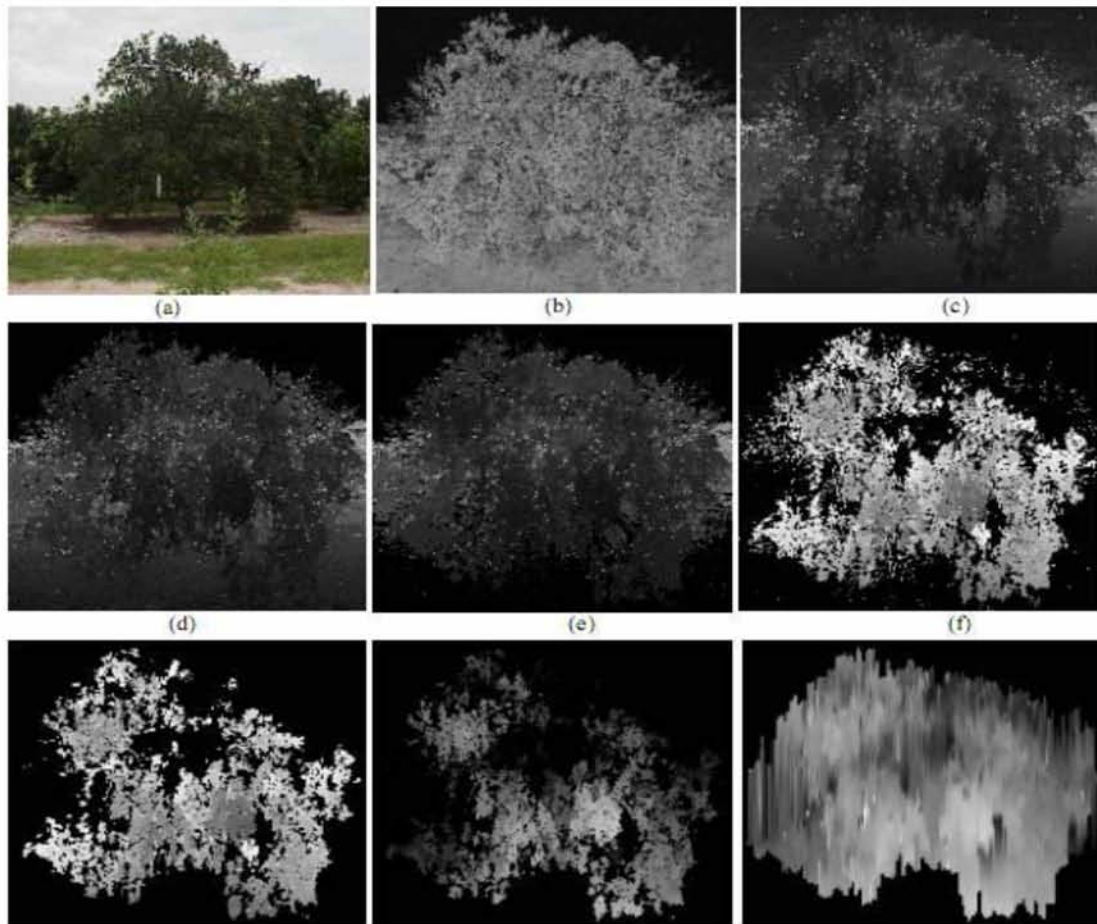


Σχήμα 18: Πειραματικό σύστημα

Τα αποτελέσματα που πήραν από το παραπάνω πείραμα είναι ότι η μέτρηση ύψους των δέντρων από το λέιζερ ήταν πολύ κοντά με τις μετρήσεις της χειρονακτικής μεθόδου. Η διαφορά ανάμεσα στην μέτρηση πλάτους από το λέιζερ και στην μέτρηση με την χειροκίνητη μέθοδο ήταν περίπου 14 cm και τέλος η μέτρηση του όγκου με τα δεδομένα του αρχικού σκαναρίσματος ήταν πολύ μικρότερη από την χειροκίνητη μέτρηση με απόκλιση κατά -13,99%.

Το επόμενο πείραμα που αναφέρεται παρακάτω των (Jiantao Wei & Masoud Salyani 2004) έλαβε χώρα και αυτό στην Φλόριντα αλλά αυτό επικεντρώθηκε στην μέτρηση της πυκνότητας του φυλλώματος με την βοήθεια ενός συστήματος Laser Scanner. Η πυκνότητα του φυλλώματος είναι μια σημαντική παράμετρος της κόμης και της φυτείας που χρειάζεται σε πολλές φυσιολογικές και οικοσυστημικές μελέτες. Μπορεί να οριστεί ως ο συνολικός αριθμός των φύλλων, της περιοχής των φύλλων ή τον όγκο των φύλλων ανά περιοχή εδάφους ή ανά μονάδα όγκου. Η πυκνότητα του φυλλώματος επηρεάζει την διείσδυση του φωτός μέσω της κόμης των φυτών και έτσι επηρεάζει την φωτοσύνθεση των φύλλων και την εξατμισοδιαπνοή. Η πυκνότητα του φυλλώματος έχει χρησιμοποιηθεί επίσης και στην εκτίμηση των συνεπειών των κλιματικών παραγόντων, της προσβολής των εντόμων και της έλλειψης των θρεπτικών στοιχείων στην υγεία των δέντρων. Καθώς αναπτύσσεται η αγροτική έρευνα, η παραγωγή ή η διαχείριση των δέντρων δέχεται όλο και περισσότερη προσοχή από ερευνητές και αγρότες. Η γνώση της πυκνότητας του φυλλώματος καθιστά δυνατή την μείωση ή την διακοπή των παρασιτοκτόνων ή άλλων χημικών εφαρμογών, την μείωση της εφαρμογής χημικών θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος και την μείωση της περιβαλλοντικής ρύπανσης. Η

χειρονακτική μέτρηση της πυκνότητας του φυλλώματος περιλαμβάνει την καταμέτρηση των φύλλων και την μέτρηση της συνολικής περιοχής των φύλλων ανά περιοχή εδάφους. Προφανώς, αυτή η προσέγγιση είναι, αν όχι αδύνατη, αργή, καταστροφική και κοπιαστική. Ο σκοπός αυτού του πειράματος που έγινε από τους (Jiantao Wei & Masoud Salyani 2004) ήταν να επεκταθούν οι δυνατότητες του συστήματος λέιζερ για την μέτρηση της πυκνότητας του φυλλώματος. Το πείραμα είχε ως εξής : Δέκα εσπεριδοειδή δέντρα επιλέχθηκαν για την μέτρηση της πυκνότητας του φυλλώματος. Ήταν διαφορετικής τεχνητής ποικιλίας και περιελάμβαναν τρεις ελαφριές, τρεις μεσαίες και τρεις υψηλής πυκνότητας δενδροκάλυψης όπως επίσης και ένα νεκρό δέντρο .Τα διαστήματα μέσα στις σειρές και ανάμεσα στις σειρές ήταν 4,5 m και 6,1 m, αντίστοιχα. Οι τρεις σειρές βρίσκονταν στην κατεύθυνση ανατολής-δύσης και οι κόμες των επιλεγμένων δέντρων δεν ακουμπούσαν στα διπλανά δέντρα. Το σύστημα λέιζερ κινούνταν κατά μήκος των σειρών των δέντρων με περίπου 1,6 km/h (1 mph) και σκανάριζε τα δέντρα από την πλευρά του βορρά προς το νότο τρεις φορές. Οι πυκνότητες των δέντρων αξιολογήθηκαν οπτικά από τρεις κριτές. Ο κάθε κριτής ανεξάρτητα υπολόγιζε την πυκνότητα των δέντρων αξιολογώντας το ποσοστό του ζωντανού υλικού (το φύλλωμα και τα κλαδιά) που βρίσκονταν σε κάθε δέντρο. Ο μέσος όρος και των τριών κριτών χρησιμοποιήθηκε ως οπτική πυκνότητα φυλλώματος. Μια κατηγορία πυκνότητας ανατέθηκε σε κάθε δέντρο, με βάση την σχετική πυκνότητα της δασοκάλυψης. Η κατηγορία 10 σήμαινε το πιο πυκνό φύλλωμα. Οι φωτογραφίες παρακάτω Σχήμα 19 δείχνουν την διαδικασία της επεξεργασίας των δεδομένων για την οποία χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό MatLab.



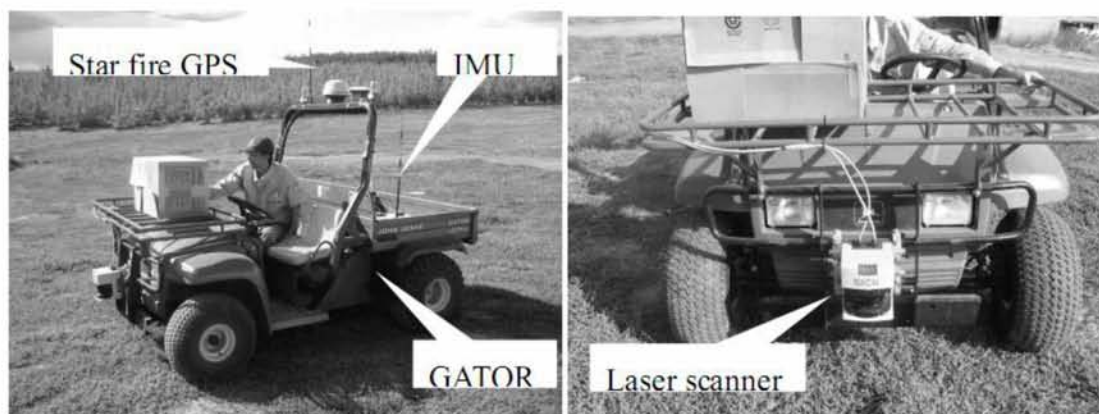
Σχήμα 19: Επεξεργασία δεδομένων

Αφού επεξεργάστηκαν τα δεδομένα και απομάκρυναν τις πληροφορίες που δεν τους ενδιέφεραν (φόντου του εδάφους, φόντου του ουρανού, δεδομένων εκτός εμβέλειας κ.α) συμπέραναν ότι οι σχετικές διαφορές στην πυκνότητα ανάμεσα στις δύο μεθόδους (Laser Scanner και χειρονακτική μέτρηση) ποικίλλει από $-9,81\%$ μέχρι $66,36\%$ με μέση απόλυτη διαφορά $16,4\%$. Εκτός από το νεκρό δέντρο, η διαφορά ήταν μόνο $10,9\%$.

2.3.2 Εφαρμογές συστημάτων Laser Scanner εφαρμογές που έγιναν με σκοπό την αυτόματη και ποιο ξεκούραστη συγκομιδή ή σπορά των καλλιεργειών

Παρακάτω παρουσιάζονται εφαρμογές συστημάτων Laser Scanner που τοποθετήθηκαν σε οχήματα και εκσυγχρόνισαν την συγκομιδή ή και την κίνηση μέσα σε θερμοκήπια ή οπωρώνες.

Τα ρομπότ τρακτέρ γενικά χρησιμοποιούν GPS και IMU ως αισθητήρες πλοήγησης. Από τη στιγμή που τα δεδομένα του GPS πιθανώς να γίνουν αδύνατον να συγκεντρωθούν καθώς τα γύρω δέντρα δεν επιτρέπουν την οπτική επαφή με τους δορυφόρους όταν ένα ρομπότ κινείται σε έναν οπωρώνα, ο έλεγχος του ρομπότ με βάση το GPS δεν θα μπορεί να εφαρμοστεί. Για αυτό τον λόγο οι (Ryo et al. 2004) τοποθέτησαν το λέιζερ σκάνερ στο μπροστινό μέρος του ρομπότ Σχήμα 20.



Σχήμα 20: Σύστημα Ρομπότ Τρακτέρ

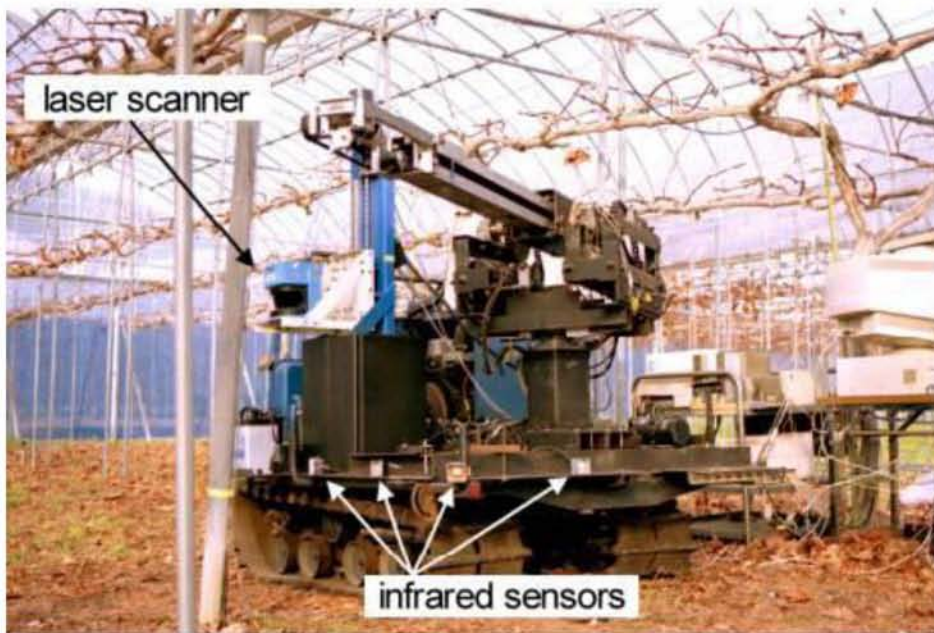
Αυτό το λέιζερ σκάνερ μπορεί να συγκεντρώσει τις πληροφορίες δύο διαστάσεων (απόσταση και γωνία) από το γύρω περιβάλλον. Ο σκοπός αυτής της μελέτης είναι να δημιουργηθεί ένα αυτόματο σύστημα πλοήγησης με λέιζερ σκάνερ μέσα στον οπωρώνα Σχήμα 21.



Σχήμα 21: Κίνηση στο οπωρώνα

Μετά από την συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων τα αποτελέσματα της ερευνάς τους ήταν ότι το σύστημα καθοδήγησης με το λέιζερ σκάνερ είναι πιο σταθερό από το GPS.

Μια άλλη εφαρμογή με σύστημα Laser Scanner πραγματοποιήθηκε στον Καναδά από τους (Monta et al. 2004) οι οποίοι τοποθέτησαν το Laser Scanner πάνω σε ένα ρομπότ πολλαπλών χρήσεων για να εκτελέσει διάφορες λειτουργίες μέσα σε έναν αμπελώνα όπως την συγκομιδή, το ράντισμα, τις λειτουργίες ξεδιαλέγματος και τοποθέτησης σε σακούλες των καρπών.



Σχήμα 22: Ρομπότ πολλαπλών χρήσεων

Ο έλεγχος του βραχίονα για την αποφυγή εμποδίων έγινε χρησιμοποιώντας το λέιζερ σκάνερ και τους υπέρυθρους αισθητήρες. Το σύστημα ανίχνευσης τοποθετήθηκε, όπως φαίνεται στο Σχήμα 22. Από τα αποτελέσματα, το σύστημα ανίχνευσης συνδύασε το λέιζερ σκάνερ και τους υπέρυθρους αισθητήρες και έτσι μπόρεσε να ανιχνεύσει όχι μόνο τα αντικείμενα γύρω από το ρομπότ αλλά και την ανθρώπινη κίνηση. Ο βραχίονας μπόρεσε και κατάφερε με ασφάλεια και αποτελεσματικότητα να φέρει εις πέρας τις εργασίες του με βάση τις πληροφορίες από το σύστημα ανίχνευσης.

2.3.3 Εφαρμογή συστήματος Laser Scanner για την άρδευση ή αποστράγγιση του εδάφους.

Η εφαρμογή που παρουσιάζεται παρακάτω έλαβε χώρο στο πανεπιστήμιο του Οχάιο από μηχανικούς και επιστήμονες και με πολλούς άλλους εκπροσώπους της βιομηχανίας (Fouss & Fausey 2007). Οι υπεδάφειες μέθοδοι αποχέτευσης και η τεχνολογία των υλικών εκσυγχρονίστηκαν περισσότερο μέσω της πρωτοποριακής έρευνας και ανάπτυξης ανάμεσα στο 1960 και 1975 παρά τα προηγούμενα 100 χρόνια. Με την αρχική έρευνα ανέπτυξαν τα πρωτότυπα υλικά και εξοπλισμό για να ελέγξουν την καινούρια τεχνολογία αποχέτευσης. Το πρωτότυπο αυτόματο σύστημα ακτινών λέιζερ ελέγχου διαβάθμισης σχεδιάστηκε και δημιουργήθηκε για να πληροί τις προϋποθέσεις του υψηλής ταχύτητας εξοπλισμού αποστράγγισης που χρησιμοποιείται στην εγκατάσταση διάτρητων πλαστικών σωλήνων αποστράγγισης Σχήμα 23. Επιλέχτηκε ο σωλήνας αποστράγγισης παρά ο εκσκαφέας γιατί θεωρήθηκε ότι η μέθοδος εκσκαφής στην εγκατάσταση του σωλήνα θα ήταν ο προτιμώμενος εξοπλισμός στο μέλλον, αν μια ακριβής και αποτελεσματική μέθοδος ελέγχου βάθους τοποθέτησης και της κλίσης θα μπορούσε να επιτευχθεί.



Σχήμα 23: Πρωτότυπο εκσκαφέα με Laser

Η έρευνα οδήγησε στην αντικατάσταση της αργής εγκατάστασης με χρήση εκσκαφέα πήλινων σωλήνων και της χρησιμοποίησης σωλήνα κατασκευασμένο από

ελαφρύ πλαστικό πολυαιθυλένιο που εγκαταστάθηκε με εκσκαφείς τύπου βαρέως υπεδαφοκαλλιεργητή υψηλής ταχύτητας που ελέγχονται από ένα σύστημα ρύθμισης της κλίσης των σωλήνων με ακτίνες λέιζερ. Το σύστημα ελέγχου κλίσης ήταν απαραίτητο στον εξοπλισμό εκσκαφής για να εξασφαλιστεί η ακρίβεια της εγκατάστασης του σωλήνα σε ένα συγκεκριμένο βάθος και υπό ορισμένης κλίσης. Αυτή η εργασία έρευνας κι ανάπτυξης περιλάμβανε και μοντελοποίηση από υπολογιστή και προσομοίωση και έλεγχο του πεδίου της απόδοσης του συστήματος για να βελτιστοποιηθούν διάφορες παράμετροι, όπως ποια είναι η καλύτερη θέση για να τοποθετηθεί η μονάδα του δέκτη λέιζερ στο πλαίσιο της μηχανής αποστράγγισης Σχήμα 24, για να αποκτηθεί η καλύτερη ακρίβεια στον αυτόματο έλεγχο του βάθους και της κλίσης του σωλήνα που εγκαθίσταται.



Σχήμα 24: Πρωτότυπο εκσκαφέα με Laser

Τα συστήματα ακτινών λέιζερ και laser plane για την ευθυγράμμιση ή/και καθοδήγηση προσαρμόστηκαν σε όλο τον κόσμο από την γεωργία και την βιομηχανία σε πολλές άλλες εφαρμογές, όπως η ισοπέδωση του εδάφους, η κλίση του εδάφους (για την άρδευση και την αποστράγγιση του εδάφους), καλλιέργειας ρυζιού, εκσκαφές ανοιχτών αγωγών, εκσκαφή τούνελ, ευθυγράμμιση/κατασκευή κτιρίων, αυτοκινητόδρομων, άλλες μηχανικές και κατασκευαστικές εργασίες και στρατιωτικές εφαρμογές. Η τελική εφαρμογή της τεχνολογίας ελέγχου λέιζερ που βελτίωσε της

εργασίες ισοπέδωσης των αγροτεμαχίων για την άρδευση του εδάφους είχε ως αποτέλεσμα σημαντικές αυξήσεις στην αποτελεσματικότητα της άρδευσης του εδάφους, σημαντική μείωση στο κόστος της άρδευσης με οικονομία στον όγκο του νερού που χρειαζόταν να αντληθεί, και οικονομία στο κόστος της ενέργειας (π.χ. ηλεκτρική ενέργεια) για την άντληση. Η βελτιωμένη άρδευση του εδάφους είχε επίσης ως αποτέλεσμα να αυξηθεί και να σταθεροποιηθεί η απόδοση της σοδειάς από τις αρδεμένες γεωργικές εκτάσεις. Πολλές από αυτές τις εφαρμογές τώρα θεωρούνται κοινή πρακτική. Η νυχτερινή λειτουργία του συστήματος λείζερ σε πολλές από αυτές τις εφαρμογές είναι επίσης αξιοσημείωτη και μερικές φορές προτιμώμενη, όπως για παράδειγμα η ισοπέδωση του εδάφους κατά τη διάρκεια της νύχτας προς εκμετάλλευση των καλών καιρικών συνθηκών.

2.4 Σκοπός της παρούσας εργασίας

Ο σκοπός που αποτελεί και το θέμα ανάπτυξης ετούτης της μεταπτυχιακής εργασίας είναι να δημιουργηθεί ένα σύστημα μέτρησης με βάση το λέιζερ και να μετρηθεί η διάμετρος και κατ' επέκταση η περίμετρος του κορμού ενός ελαιοδέντρου και να δοκιμαστεί η απόδοση του συστήματος. Επίσης από το πείραμα να διαπιστωθεί πόσο αξιόπιστη είναι η μέτρηση με το LASER σε σχέση με την χειροκίνητη μέθοδο. Τα αποτελέσματα θα μπορέσουν να χρησιμοποιηθούν μελλοντικά για την συσχέτιση των διαστάσεων του κορμού με την ανάπτυξη ή την παραγωγή των δέντρων.

3. Υλικά και μέθοδοι.

3.1 Πειραματικό Σύστημα

3.1.1 Πειραματική Μέθοδος.

Το πείραμα το οποίο περιγράφεται παρακάτω είναι η μέτρηση της περιμέτρου 3 κορμών ελαιόδεντρων με την βοήθεια ενός λέιζερ σκάνερ και η σύγκριση των αποτελεσμάτων με την πραγματική τιμή της χειρονακτικής μέτρησης. Το λέιζερ σκάνερ που χρησιμοποιήθηκε είναι της γερμανικής εταιρίας SICK και το μοντέλο είναι το LMS200. Το πείραμα έλαβε χώρα σε έναν ελαιώνα στην περιοχή Καμάρι Πηλίου και συγκεκριμένα με συντεταγμένες $39^{\circ} 34' 49.93''$ Β και $22^{\circ} 55' 49.36''$ Ε και 161 m από το ύψος της θάλασσας. Το λέιζερ σκάνερ Σχήμα 25 τοποθετήθηκε σε έναν πάγκο που ήταν τοποθετημένος στην μέση των τριών δέντρων-στόχων και σε απόσταση από το έδαφος 50 cm. Το λέιζερ σκάνερ επικοινωνούσε με έναν φορητό υπολογιστή που έτρεχε σε ταχύτητα CPU 2 GHz μέσω αντάπτορα USB σε ταχύτητες ανίχνευσης 19,2 kbps. Το λέιζερ σκάνερ τροφοδοτούταν με ρεύμα από ένα τροφοδοτικό το οποίο συνδεόταν στο δίκτυο και μετέτρεπε τα 220 V εναλλασσομένου σε 24 V συνεχές.

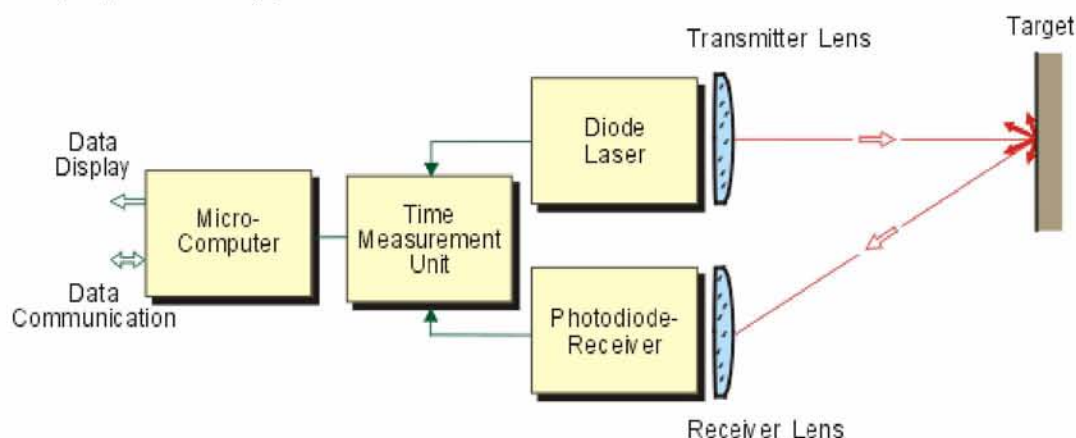


Σχήμα 25: Πείραμα

Το πρόγραμμα διασύνδεσης γράφτηκε χρησιμοποιώντας *LMS/LMI user software*, που χρησίμευε στην αλλαγή των ρυθμίσεων του αισθητήρα και στην συγκέντρωση των δεδομένων. Στην συνέχεια τα δεδομένα αποθηκεύονταν σε ένα αρχείο *.xls*, το οποίο δεν είναι άλλο από το γνωστό *Microsoft Office Excel*, και κατόπιν επεξεργάζοντουσαν για την διεξαγωγή συμπερασμάτων.

3.1.2 LMS200 (Λείζερ σκάνερ)

Το λέιζερ σκάνερ είναι μια εξ αποστάσεως οπτική συσκευή που μετράει την απόσταση από ένα αντικείμενο σε ένα πεδίο σκαναρίσματος χρησιμοποιώντας μια παλμική ακτίνα λέιζερ.



Σχήμα 26: Διάταξη Laser

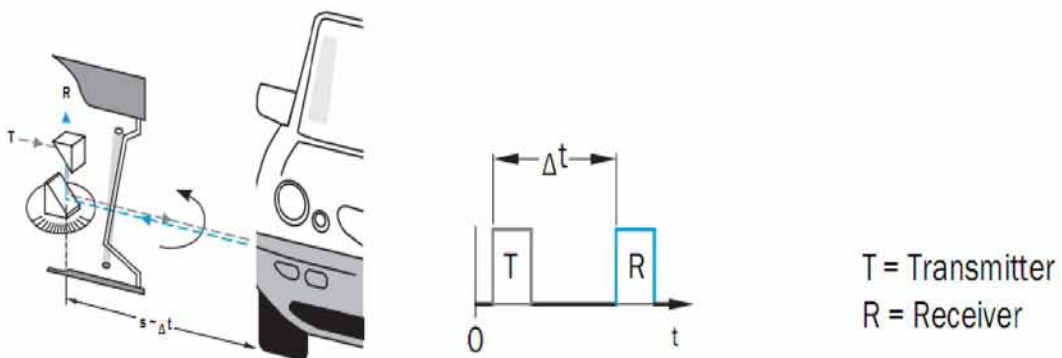
Οι μετρήσεις του σκάνερ βασίζονται στην αρχή της *Time-of-Flight (TOF)*. Ένα κύκλωμα παραγωγής ηλεκτρικών παλμών (Σχήμα 26) οδηγεί περιοδικά μια διάταξη ημιαγωγών, η οποία αποστέλλει μια ακολουθία από οπτικούς παλμούς (πάνω από το ορατό φάσμα), οι οποίοι συγκεντρώνονται σε μια πολύ εστιασμένη δέσμη, μέσω οπτικών διατάξεων. Η δέσμη μέτρησης ταξιδεύοντας με την ταχύτητα του φωτός, προσκρούει σε κάποιο αντικείμενο που βρίσκεται στην (ευθεία) διαδρομή της και ανακλάται πάνω του. Τμήμα της ανάκλασης συλλέγεται μέσω του φακού λήψης και ενεργοποιεί μια φωτοδίοδο, η οποία δημιουργεί ένα ηλεκτρικό σήμα, το οποίο ειδοποιεί την υπολογιστική μονάδα, προκειμένου να υπολογιστεί το χρονικό διάστημα μεταξύ αποστολής και λήψης. Ο χρόνος μεταξύ της εκπομπής και την αποδοχής του παλμικού σήματος είναι άμεσα ανάλογος με την απόσταση ανάμεσα στο σκάνερ και στο αντικείμενο. Ο παλμός του λέιζερ αποκλίνει σε ένα συγκεκριμένο γωνιακό διάστημα χρησιμοποιώντας έναν εσωτερικό περιστρεφόμενο καθρέφτη. Έτσι,

πραγματοποιείται ένα δισδιάστατο σκανάρισμα της γύρω περιοχής. Η Γερμανική εταιρία SICK παρέχει διάφορα μοντέλα μετρητικών συστημάτων Laser, για χρήση σε διάφορες εφαρμογές. Το μοντέλο LMS200 Σχήμα 27 είναι και αυτό το σύστημα με το οποίο χρησιμοποιήθηκε στο εν λόγω πείραμα.



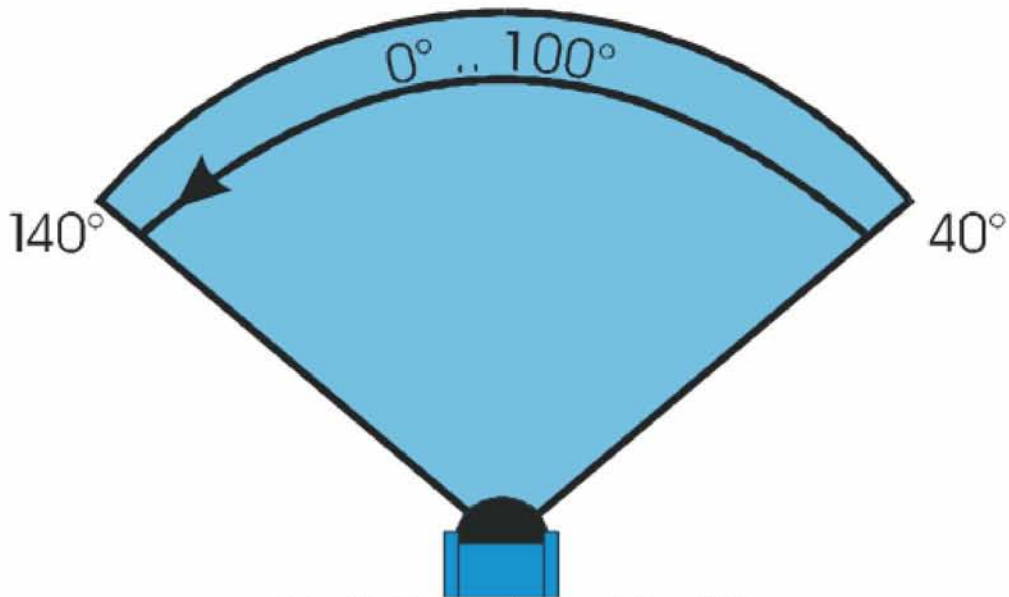
LMS200

Σχήμα 27: LMS200



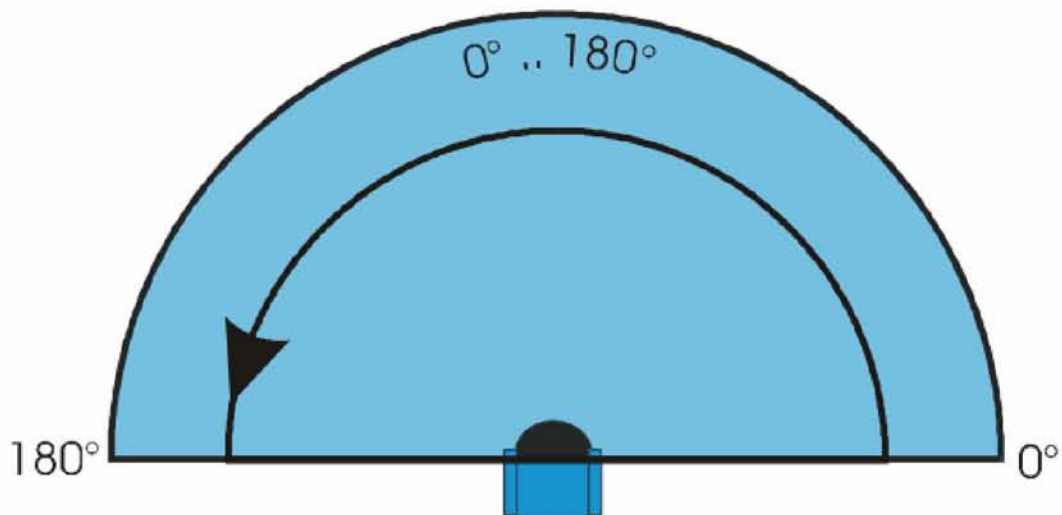
Σχήμα 28: Αρχή TOF στο LMS200

Πηγή φωτισμού του LMS200 είναι ένα παλμικό υπέρυθρο λέιζερ 905 nm, μη ορατό στο ανθρώπινο μάτι. Σύμφωνα με (SICK AG 2006) τα αποτελέσματα βγαίνουν σε μορφή mm ή cm. Οι μέγιστες μετρήσεις των αποστάσεων έως 8,191 m με απόκλιση +/- 15 mm στον τρόπο mm και έως 81,91 m με απόκλιση +/- 4 cm στον τρόπο cm. Το LMS200 έχει δύο επιλογές εμβέλειας σκαναρίσματος: α) από 0° σε 100° με γωνιακή ανάλυση των 0,25°, 0,5° και 1° Σχήμα 29,



Σχήμα 29: Εύρος μετρήσεων από 0° σε 100°

και β) από 0° σε 180° με γωνιακή ανάλυση 0,5° και 1° Σχήμα 30.



Σχήμα 30: Εύρος μετρήσεων από 0° σε 180°

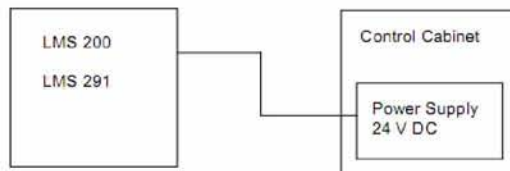
Ο χρόνος σκαναρίσματος του ενός κύκλου είναι 53,33 ms, 26,66 ms και 13,33 ms σε 0,25°, 0,5° και 1° γωνιακής ανάλυσης αντίστοιχα και στις δύο εμβέλειες σκαναρίσματος. Το σκάνερ χρειάζεται περίπου 13,33 ms για την περιστροφή του ενός κύκλου του εσωτερικού καθρέφτη. Για να επιτευχθούν οι γωνιακές αναλύσεις 0,25° και 0,5°, το βήμα της 1° αλλάζει σε 0,25° και 0,5° στην αρχή της περιστροφής του καθρέφτη αντίστοιχα και έτσι απαιτούνται 4 και 2 περιστροφές του καθρέφτη. Για αυτό το λόγο, ένα σκανάρισμα με ανάλυση γωνίας 0,5° παίρνει τον διπλάσιο χρόνο για ένα σκανάρισμα με ανάλυση γωνίας 1° και ένα σκανάρισμα με ανάλυση γωνίας

0,25° παίρνει τον τετραπλάσιο χρόνο. Ο παρακάτω πίνακας Πίνακας 1 περιγράφει τον αριθμό των μετρήσεων που πραγματοποιεί το σκάνερ ανάλογα με τις ρυθμίσεις.

Πίνακας 1: Αριθμός μετρήσεων για διάφορες γωνίες σκαναρίσματος.

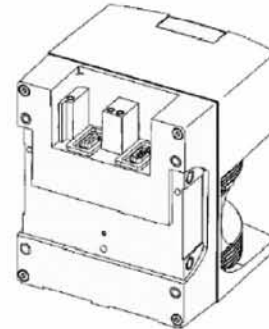
Angular range	Angular resolution	Number of data values
0° .. 100°	1°	101
0° .. 100°	0.5°	201
0° .. 100°	0.25°	401
0° .. 180°	1°	181
0° .. 180°	0.5°	361

Το LMS200 για να λειτουργήσει σύμφωνα με (SICK AG 2002) χρειάζεται τροφοδοσία 24 V +/- 15% συνεχές ρεύματος και αυτό εξαρτάται από την απόσταση των καλωδίων μεταξύ της πηγής και της συσκευής Σχήμα 31.



Pin assignment:

Pin No.	Signal designation	Input/ Output	Wire color
1	GND_EXT (ground)	Supply	brown
2	Restart	Input	blue
3	VCC_EXT (24V DC +/- 15%)	Supply	red
4	Not connected	-	-
5	OUT C (for field detection)/ weak signal	Output	grey
6	Not connected	-	-
7	Not connected	-	-
8	OUT B (for field detection)	Output	turquoise
9	OUT A (for field detection)	Output	orange



Σχήμα 31: Διασύνδεση τροφοδοσίας

Επίσης για την διεξαγωγή αποτελεσμάτων χρειάζεται ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής ο οποίος συνδέεται με το LMS200 με δύο τρόπους ή με το πρωτόκολλο RS232 το οποίο έχει περιορισμό στο καλώδιο διασύνδεσης μέχρι 10 m ή με το πρωτόκολλο RS422 το οποίο έχει περιορισμό 1200 m αλλά απαιτεί ειδική κάρτα στον ηλεκτρονικό υπολογιστή. Αυτοί οι περιορισμοί είναι πολύ σοβαροί και πρέπει να ληφθούν υπόψη γιατί αλλιώς μπορεί να οδηγήσουν σε λάθος διεξαγωγή αποτελεσμάτων και συνεπώς και συμπερασμάτων.

3.2 Προετοιμασία για το πείραμα.

Για το πείραμα επιλέχτηκαν από έναν ελαιώνα στην περιοχή Καμάρι Πηλίου και συγκεκριμένα με συντεταγμένες $39^{\circ} 34' 49.93''$ Β και $22^{\circ} 55' 49.36''$ Ε και 161 m από το ύψος της θάλασσας τρία ελαιόδεντρα τα οποία είχαν φυτευτεί περίπου το 1970. Οι περίμετροι των κορμών των δέντρων μετρήθηκαν άμεσα χρησιμοποιώντας μια μετρική ταινία. Λόγω το ότι το λέιζερ σκάνερ τοποθετήθηκε σε έναν σταθερό πάγκο που ήταν τοποθετημένος στην μέση των τριών δέντρων-στόχων(απόσταση 2 μέτρα από το καθένα) και σε απόσταση από το έδαφος 50 cm, της ανομοιομορφίας του εδάφους (είχε κλίση) αλλά και λόγω το ότι τα δένδρα-στόχοι είχαν και αυτά κλίση η περίμετρος του κάθε κορμού μετρήθηκε σε 3 διαφορετικά σημεία από το έδαφος. Αυτά ήταν σε ύψος 45, 50 και 55 cm από το έδαφος, και το μέσο όρο των μετρήσεων ήταν η περίμετρος του κορμού, έτσι ώστε να είναι ποιο ακριβές το πείραμα. Οι αντίστοιχες περίμετροι των κορμών είναι 122 cm, 202 cm και 100 cm. Το λέιζερ σκάνερ επικοινωνούσε με έναν φορητό υπολογιστή που έτρεχε σε ταχύτητα CPU 2 GHz μέσω αντάπτορα USB (γιατί ο φορητός υπολογιστής δεν διέθετε θύρα RS232) σε ταχύτητες ανίχνευσης 19,2 kbps. Το λέιζερ σκάνερ τροφοδοτούταν με ρεύμα από ένα τροφοδοτικό το οποίο συνδεόταν στο δίκτυο και μετέτρεπε τα 220 V εναλλασσομένου σε 24 V συνεχές. Μέσω του προγράμματος LMS/LMI user software ρυθμίστηκε το LMS200 να έχει εμβέλεια σκαναρίσματος από 0° σε 100° με γωνιακή ανάλυση των $0,5^{\circ}$ αρχικά και 1° στην συνέχεια.

3.2.1 Συλλογή αποτελεσμάτων και επεξεργασία

Ξεκινώντας το πείραμα το πρώτο δέντρο-στόχος Σχήμα 32 και Σχήμα 33



Σχήμα 32: Πρώτο δέντρο-στόχος

σκαναρίστηκε οριζόντια από το λέιζερ σκάνερ που ήταν σταθερό στον πάγκο.



Σχήμα 33: Μέτρηση πρώτου δέντρου-στόχου

Το πείραμα στο ίδιο δέντρο-στόχο επαναλήφθηκε 2 φορές με διαφορετική γωνία ανάλυσης πρώτα με βήμα $0,5^\circ$ και κατόπιν με βήμα 1° . Ξεκινώντας λοιπόν το πείραμα με βήμα $0,5^\circ$ το λέιζερ σκάνερ στέλνει στον φορητό υπολογιστή 201 τιμές περίπου ανά δευτερόλεπτο. Ο παρακάτω πίνακας Πίνακας 2 παρουσιάζει τις πληροφορίες που εξάγονται σε ένα δευτερόλεπτο από μία σάρωση.

Πίνακας 2 : Δεδομένα πρώτου δέντρου-στόχου με βήμα $0,5^\circ$

No.	Radius	Angle	X-value	Y-value
1	8187cm	0.00°	6272cm	5263cm
2	485cm	0.50°	369cm	315cm
3	472cm	1.00°	356cm	310cm
4	475cm	1.50°	356cm	315cm
5	472cm	2.00°	351cm	316cm
6	478cm	2.50°	352cm	323cm
7	485cm	3.00°	355cm	331cm
8	482cm	3.50°	350cm	332cm
9	1840cm	4.00°	1324cm	1278cm
10	1837cm	4.50°	1310cm	1288cm
11	1838cm	5.00°	1300cm	1300cm
12	8187cm	5.50°	5738cm	5839cm
13	1452cm	6.00°	1009cm	1044cm
14	1147cm	6.50°	790cm	832cm

15	1145cm	7.00°	781cm	837cm
16	1157cm	7.50°	782cm	853cm
17	1602cm	8.00°	1072cm	1191cm
18	1599cm	8.50°	1060cm	1198cm
19	8189cm	9.00°	5372cm	6180cm
20	428cm	9.50°	278cm	325cm
21	420cm	10.00°	270cm	322cm
22	424cm	10.50°	270cm	327cm
23	423cm	11.00°	266cm	329cm
24	448cm	11.50°	279cm	351cm
25	1696cm	12.00°	1044cm	1336cm
26	1275cm	12.50°	776cm	1012cm
27	1287cm	13.00°	775cm	1028cm
28	760cm	13.50°	452cm	611cm
29	756cm	14.00°	444cm	612cm
30	426cm	14.50°	247cm	347cm
31	418cm	15.00°	240cm	342cm
32	425cm	15.50°	241cm	350cm
33	427cm	16.00°	239cm	354cm
34	430cm	16.50°	237cm	359cm
35	428cm	17.00°	233cm	359cm
36	419cm	17.50°	225cm	353cm
37	429cm	18.00°	227cm	364cm
38	425cm	18.50°	222cm	362cm
39	426cm	19.00°	219cm	365cm
40	1251cm	19.50°	635cm	1078cm
41	1194cm	20.00°	597cm	1034cm
42	431cm	20.50°	212cm	375cm
43	435cm	21.00°	211cm	380cm
44	1110cm	21.50°	530cm	975cm
45	1131cm	22.00°	531cm	999cm
46	1129cm	22.50°	521cm	1001cm
47	1078cm	23.00°	489cm	961cm
48	1143cm	23.50°	510cm	1023cm
49	519cm	24.00°	228cm	466cm
50	521cm	24.50°	224cm	470cm
51	517cm	25.00°	218cm	469cm
52	509cm	25.50°	211cm	463cm
53	510cm	26.00°	207cm	466cm
54	1108cm	26.50°	442cm	1016cm
55	533cm	27.00°	208cm	491cm
56	509cm	27.50°	195cm	470cm
57	501cm	28.00°	188cm	465cm
58	492cm	28.50°	180cm	458cm

59	485cm	29.00°	174cm	453cm
60	492cm	29.50°	172cm	461cm
61	477cm	30.00°	163cm	448cm
62	494cm	30.50°	165cm	466cm
63	489cm	31.00°	159cm	462cm
64	504cm	31.50°	160cm	478cm
65	501cm	32.00°	155cm	476cm
66	1149cm	32.50°	346cm	1096cm
67	398cm	33.00°	116cm	381cm
68	507cm	33.50°	144cm	486cm
69	1181cm	34.00°	326cm	1135cm
70	511cm	34.50°	137cm	492cm
71	510cm	35.00°	132cm	493cm
72	519cm	35.50°	130cm	502cm
73	554cm	36.00°	134cm	538cm
74	530cm	36.50°	124cm	515cm
75	557cm	37.00°	125cm	543cm
76	280cm	37.50°	61cm	273cm
77	277cm	38.00°	58cm	271cm
78	275cm	38.50°	55cm	269cm
79	276cm	39.00°	53cm	271cm
80	276cm	39.50°	50cm	271cm
81	549cm	40.00°	95cm	541cm
82	581cm	40.50°	96cm	573cm
83	579cm	41.00°	91cm	572cm
84	619cm	41.50°	91cm	612cm
85	623cm	42.00°	87cm	617cm
86	1508cm	42.50°	197cm	1495cm
87	1857cm	43.00°	226cm	1843cm
88	1901cm	43.50°	215cm	1889cm
89	1366cm	44.00°	143cm	1359cm
90	1406cm	44.50°	135cm	1400cm
91	1402cm	45.00°	122cm	1397cm
92	1429cm	45.50°	112cm	1425cm
93	1403cm	46.00°	98cm	1400cm
94	275cm	46.50°	17cm	274cm
95	265cm	47.00°	14cm	265cm
96	263cm	47.50°	11cm	263cm
97	263cm	48.00°	9cm	263cm
98	264cm	48.50°	7cm	264cm
99	269cm	49.00°	5cm	269cm
100	268cm	49.50°	2cm	268cm
101	267cm	50.00°	0cm	267cm
102	268cm	50.50°	-2cm	268cm

103	264cm	51.00°	-5cm	264cm
104	267cm	51.50°	-7cm	267cm
105	266cm	52.00°	-9cm	266cm
106	283cm	52.50°	-12cm	283cm
107	285cm	53.00°	-15cm	288cm
108	962cm	53.50°	-59cm	960cm
109	887cm	54.00°	-62cm	885cm
110	880cm	54.50°	-69cm	877cm
111	889cm	55.00°	-77cm	886cm
112	875cm	55.50°	-84cm	871cm
113	890cm	56.00°	-93cm	885cm
114	840cm	56.50°	-95cm	835cm
115	838cm	57.00°	-102cm	832cm
116	835cm	57.50°	-109cm	828cm
117	656cm	58.00°	-91cm	650cm
118	653cm	58.50°	-97cm	646cm
119	646cm	59.00°	-101cm	638cm
120	591cm	59.50°	-98cm	583cm
121	594cm	60.00°	-103cm	585cm
122	599cm	60.50°	-109cm	589cm
123	590cm	61.00°	-113cm	579cm
124	589cm	61.50°	-117cm	577cm
125	584cm	62.00°	-121cm	571cm
126	593cm	62.50°	-128cm	579cm
127	636cm	63.00°	-143cm	620cm
128	551cm	63.50°	-129cm	536cm
129	541cm	64.00°	-131cm	525cm
130	543cm	64.50°	-136cm	526cm
131	553cm	65.00°	-143cm	534cm
132	499cm	65.50°	-133cm	481cm
133	643cm	66.00°	-177cm	618cm
134	646cm	66.50°	-183cm	619cm
135	547cm	67.00°	-160cm	523cm
136	591cm	67.50°	-178cm	564cm
137	522cm	68.00°	-161cm	496cm
138	574cm	68.50°	-182cm	544cm
139	587cm	69.00°	-191cm	555cm
140	526cm	69.50°	-176cm	496cm
141	510cm	70.00°	-174cm	479cm
142	515cm	70.50°	-180cm	482cm
143	522cm	71.00°	-187cm	487cm
144	537cm	71.50°	-197cm	500cm
145	530cm	72.00°	-199cm	491cm
146	515cm	72.50°	-197cm	476cm

147	518cm	73.00°	-202cm	477cm
148	518cm	73.50°	-207cm	475cm
149	1121cm	74.00°	-456cm	1024cm
150	1068cm	74.50°	-443cm	972cm
151	1039cm	75.00°	-439cm	942cm
152	1066cm	75.50°	-459cm	962cm
153	1058cm	76.00°	-464cm	951cm
154	769cm	76.50°	-343cm	688cm
155	451cm	77.00°	-205cm	402cm
156	449cm	77.50°	-207cm	398cm
157	459cm	78.00°	-215cm	405cm
158	464cm	78.50°	-221cm	408cm
159	451cm	79.00°	-219cm	394cm
160	458cm	79.50°	-226cm	399cm
161	457cm	80.00°	-228cm	396cm
162	464cm	80.50°	-235cm	400cm
163	751cm	81.00°	-387cm	644cm
164	459cm	81.50°	-240cm	391cm
165	423cm	82.00°	-224cm	359cm
166	445cm	82.50°	-239cm	375cm
167	462cm	83.00°	-252cm	387cm
168	439cm	83.50°	-242cm	366cm
169	449cm	84.00°	-251cm	372cm
170	427cm	84.50°	-242cm	352cm
171	430cm	85.00°	-247cm	352cm
172	650cm	85.50°	-377cm	529cm
173	666cm	86.00°	-391cm	539cm
174	673cm	86.50°	-400cm	541cm
175	676cm	87.00°	-407cm	540cm
176	721cm	87.50°	-439cm	572cm
177	436cm	88.00°	-268cm	344cm
178	435cm	88.50°	-271cm	340cm
179	432cm	89.00°	-272cm	336cm
180	447cm	89.50°	-284cm	345cm
181	424cm	90.00°	-273cm	325cm
182	436cm	90.50°	-283cm	332cm
183	620cm	91.00°	-407cm	468cm
184	625cm	91.50°	-414cm	468cm
185	634cm	92.00°	-424cm	471cm
186	629cm	92.50°	-425cm	464cm
187	625cm	93.00°	-426cm	457cm
188	621cm	93.50°	-427cm	450cm
189	600cm	94.00°	-417cm	432cm
190	590cm	94.50°	-414cm	421cm

191	590cm	95.00°	-417cm	417cm
192	595cm	95.50°	-424cm	417cm
193	608cm	96.00°	-437cm	422cm
194	606cm	96.50°	-440cm	417cm
195	598cm	97.00°	-437cm	408cm
196	606cm	97.50°	-447cm	409cm
197	678cm	98.00°	-504cm	454cm
198	919cm	98.50°	-688cm	609cm
199	931cm	99.00°	-703cm	611cm
200	862cm	99.50°	-655cm	560cm
201	670cm	100.00°	-513cm	431cm

Η κάθε σάρωση επιλέχθηκε να διαρκεί περίπου 10 δευτερόλεπτα οπότε θα έχουμε για κάθε σάρωση 10 πίνακες όπως ο παραπάνω. Ο όγκος δεδομένων είναι τεράστιος και για αυτό παρακάτω θα παρουσιάζεται το κομμάτι τεσσάρων πινάκων (δηλαδή τέσσερις μετρήσεις ανά δέντρο-στόχο) που αντιστοιχεί στα δεδομένα που μας ενδιαφέρουν. Παρόλα αυτά για την διεξαγωγή συμπερασμάτων συμπεριλαμβάνονται όλα τα δεδομένα που παρείχε το πείραμα.

Παρακάτω Πίνακας 3, Πίνακας 4, Πίνακας 5, Πίνακας 6 παρουσιάζονται τα δεδομένα της σάρωσης του πρώτου δέντρου – στόχου με γωνία ανάλυσης 0,5°.

Πίνακας 3 : Δεδομένα πρώτου δέντρου-στόχου με βήμα 0,5° 1^{ου} δευτερολέπτου

No.	Radius	Angle	X-value	Y-value
94	275cm	46.50°	17cm	274cm
95	265cm	47.00°	14cm	265cm
96	263cm	47.50°	11cm	263cm
97	263cm	48.00°	9cm	263cm
98	264cm	48.50°	7cm	264cm
99	269cm	49.00°	5cm	269cm
100	268cm	49.50°	2cm	268cm
101	267cm	50.00°	0cm	267cm
102	268cm	50.50°	-2cm	268cm
103	264cm	51.00°	-5cm	264cm
104	267cm	51.50°	-7cm	267cm
105	266cm	52.00°	-9cm	266cm
106	283cm	52.50°	-12cm	283cm
107	285cm	53.00°	-15cm	288cm

Πίνακας 4 : Δεδομένα πρώτου δέντρου-στόχου με βήμα 0,5° 2^{ου} δευτερολέπτου

No.	Radius	Angle	X-value	Y-value
94	275cm	46.50°	17cm	274cm
95	264cm	47.00°	14cm	264cm
96	263cm	47.50°	11cm	263cm
97	263cm	48.00°	9cm	263cm

98	264cm	48.50°	7cm	264cm
99	269cm	49.00°	5cm	269cm
100	267cm	49.50°	2cm	267cm
101	260cm	50.00°	0cm	260cm
102	268cm	50.50°	-2cm	268cm
103	265cm	51.00°	-5cm	265cm
104	266cm	51.50°	-7cm	266cm
105	267cm	52.00°	-9cm	267cm
106	282cm	52.50°	-12cm	282cm
107	286cm	53.00°	-15cm	289cm

Πίνακας 5 : Δεδομένα πρώτου δέντρου-στόχου με βήμα 0,5° 3^{ου} δευτερολέπτου

No.	Radius	Angle	X-value	Y-value
94	275cm	46.50°	17cm	274cm
95	264cm	47.00°	14cm	264cm
96	263cm	47.50°	11cm	263cm
97	263cm	48.00°	9cm	263cm
98	264cm	48.50°	7cm	264cm
99	269cm	49.00°	5cm	269cm
100	266cm	49.50°	2cm	266cm
101	260cm	50.00°	0cm	260cm
102	267cm	50.50°	-2cm	267cm
103	265cm	51.00°	-5cm	265cm
104	265cm	51.50°	-7cm	265cm
105	266cm	52.00°	-9cm	266cm
106	282cm	52.50°	-12cm	282cm
107	286cm	53.00°	-15cm	289cm

Πίνακας 6 : Δεδομένα πρώτου δέντρου-στόχου με βήμα 0,5° 4^{ου} δευτερολέπτου

No.	Radius	Angle	X-value	Y-value
94	274cm	46.50°	17cm	273cm
95	264cm	47.00°	14cm	264cm
96	263cm	47.50°	11cm	263cm
97	263cm	48.00°	9cm	263cm
98	264cm	48.50°	7cm	264cm
99	268cm	49.00°	5cm	268cm
100	266cm	49.50°	2cm	266cm
101	261cm	50.00°	0cm	261cm
102	267cm	50.50°	-2cm	267cm
103	264cm	51.00°	-5cm	264cm
104	266cm	51.50°	-7cm	266cm
105	266cm	52.00°	-9cm	266cm
106	281cm	52.50°	-12cm	281cm
107	285cm	53.00°	-15cm	287cm

Στην συνέχεια Πίνακας 7, Πίνακας 8, Πίνακας 9, Πίνακας 10 παρουσιάζονται τα δεδομένα της σάρωσης του πρώτου δέντρου-στόχου με γωνία ανάλυσης 1°.

Πίνακας 7 : Δεδομένα πρώτου δέντρου-στόχου με βήμα 1° 1^{ου} δευτερολέπτου

No.	Radius	Angle	X-value	Y-value
48	270cm	47.00°	14cm	270cm
49	263cm	48.00°	9cm	263cm
50	269cm	49.00°	5cm	269cm
51	266cm	50.00°	0cm	266cm
52	266cm	51.00°	-5cm	266cm
53	266cm	52.00°	-9cm	266cm
54	286cm	53.00°	-15cm	287cm

Πίνακας 8 : Δεδομένα πρώτου δέντρου-στόχου με βήμα 1° 2^{ου} δευτερολέπτου

No.	Radius	Angle	X-value	Y-value
48	271cm	47.00°	14cm	271cm
49	270cm	48.00°	9cm	270cm
50	269cm	49.00°	5cm	269cm
51	267cm	50.00°	0cm	267cm
52	265cm	51.00°	-5cm	265cm
53	266cm	52.00°	-9cm	266cm
54	286cm	53.00°	-15cm	287cm

Πίνακας 9 : Δεδομένα πρώτου δέντρου-στόχου με βήμα 1° 3^{ου} δευτερολέπτου

No.	Radius	Angle	X-value	Y-value
48	265cm	47.00°	14cm	265cm
49	269cm	48.00°	9cm	269cm
50	270cm	49.00°	5cm	270cm
51	266cm	50.00°	0cm	266cm
52	266cm	51.00°	-5cm	266cm
53	267cm	52.00°	-9cm	267cm
54	286cm	53.00°	-15cm	288cm

Πίνακας 10 : Δεδομένα πρώτου δέντρου-στόχου με βήμα 1° 4^{ου} δευτερολέπτου

No.	Radius	Angle	X-value	Y-value
48	271cm	47.00°	14cm	271cm
49	264cm	48.00°	9cm	264cm
50	270cm	49.00°	5cm	270cm
51	265cm	50.00°	0cm	265cm
52	266cm	51.00°	-5cm	266cm
53	267cm	52.00°	-9cm	267cm
54	286cm	53.00°	-15cm	288cm

Συνεχίζοντας το πείραμα το δεύτερο δέντρο-στόχος Σχήμα 34



Σχήμα 34: Δεύτερο δέντρο-στόχος

σκαναρίστηκε οριζόντια από το λέιζερ σκάνερ Σχήμα 35 που ήταν σταθερό στον πάγκο.



Σχήμα 35: Μέτρηση δεύτερου δέντρου-στόχου

Συνεχίζοντας το πείραμα στο δεύτερο δέντρο-στόχο η σάρωση επαναλήφθηκε 2 φορές με διαφορετική γωνία ανάλυσης πρώτα με βήμα $0,5^\circ$ και κατόπιν με βήμα 1° .

Παρακάτω στους Πίνακας 11, Πίνακας 12, Πίνακας 13, Πίνακας 14 παρουσιάζονται τα δεδομένα της σάρωσης του δευτέρου δέντρου – στόχου με γωνία ανάλυσης 0,5°.

Πίνακας 11 : Δεδομένα δευτέρου δέντρου-στόχου με βήμα 0,5° 1^{ου} δευτερολέπτου

No.	Radius	Angle	X-value	Y-value
91	261cm	45.00°	20cm	260cm
92	259cm	45.50°	20cm	258cm
93	261cm	46.00°	18cm	260cm
94	259cm	46.50°	16cm	259cm
95	257cm	47.00°	13cm	257cm
96	258cm	47.50°	11cm	258cm
97	259cm	48.00°	9cm	259cm
98	252cm	48.50°	7cm	252cm
99	253cm	49.00°	4cm	253cm
100	255cm	49.50°	2cm	255cm
101	247cm	50.00°	0cm	247cm
102	244cm	50.50°	-2cm	244cm
103	240cm	51.00°	-4cm	240cm
104	237cm	51.50°	-6cm	237cm
105	238cm	52.00°	-8cm	238cm
106	238cm	52.50°	-10cm	238cm
107	238cm	53.00°	-12cm	238cm
108	240cm	53.50°	-15cm	240cm
109	239cm	54.00°	-17cm	238cm
110	238cm	54.50°	-19cm	237cm
111	235cm	55.00°	-20cm	234cm
112	237cm	55.50°	-23cm	236cm
113	235cm	56.00°	-25cm	234cm
114	239cm	56.50°	-27cm	237cm
115	243cm	57.00°	-30cm	241cm
116	243cm	57.50°	-32cm	241cm
117	246cm	58.00°	-34cm	244cm
118	239cm	58.50°	-35cm	236cm
119	240cm	59.00°	-38cm	237cm
120	240cm	59.50°	-40cm	237cm
121	248cm	60.00°	-43cm	244cm
122	246cm	60.50°	-39cm	242cm

Πίνακας 12 : Δεδομένα δευτέρου δέντρου-στόχου με βήμα 0,5° 2^{ου} δευτερολέπτου

No.	Radius	Angle	X-value	Y-value
91	261cm	45.00°	20cm	260cm
92	265cm	45.50°	21cm	264cm
93	260cm	46.00°	18cm	259cm
94	259cm	46.50°	16cm	259cm
95	258cm	47.00°	14cm	258cm
96	258cm	47.50°	11cm	258cm

97	259cm	48.00°	9cm	259cm
98	254cm	48.50°	7cm	254cm
99	254cm	49.00°	4cm	254cm
100	261cm	49.50°	2cm	261cm
101	246cm	50.00°	0cm	246cm
102	249cm	50.50°	-2cm	249cm
103	247cm	51.00°	-4cm	247cm
104	239cm	51.50°	-6cm	239cm
105	243cm	52.00°	-8cm	243cm
106	238cm	52.50°	-10cm	238cm
107	238cm	53.00°	-12cm	238cm
108	239cm	53.50°	-15cm	239cm
109	239cm	54.00°	-17cm	238cm
110	243cm	54.50°	-19cm	242cm
111	237cm	55.00°	-21cm	236cm
112	236cm	55.50°	-23cm	235cm
113	235cm	56.00°	-25cm	234cm
114	240cm	56.50°	-27cm	238cm
115	243cm	57.00°	-30cm	241cm
116	243cm	57.50°	-32cm	241cm
117	240cm	58.00°	-33cm	238cm
118	247cm	58.50°	-37cm	244cm
119	248cm	59.00°	-39cm	245cm
120	243cm	59.50°	-40cm	240cm
121	246cm	60.00°	-43cm	242cm
122	242cm	60.50°	-38cm	238cm

Πίνακας 13 : Δεδομένα δευτέρου δέντρου-στόχου με βήμα 0,5° 3^{ου} δευτερολέπτου

No.	Radius	Angle	X-value	Y-value
91	260cm	45.00°	20cm	259cm
92	263cm	45.50°	21cm	262cm
93	260cm	46.00°	18cm	259cm
94	259cm	46.50°	16cm	259cm
95	257cm	47.00°	13cm	257cm
96	257cm	47.50°	11cm	257cm
97	259cm	48.00°	9cm	259cm
98	261cm	48.50°	7cm	261cm
99	259cm	49.00°	5cm	259cm
100	262cm	49.50°	2cm	262cm
101	251cm	50.00°	0cm	251cm
102	248cm	50.50°	-2cm	248cm
103	246cm	51.00°	-4cm	246cm
104	244cm	51.50°	-6cm	244cm
105	243cm	52.00°	-8cm	243cm

106	238cm	52.50°	-10cm	238cm
107	243cm	53.00°	-13cm	243cm
108	244cm	53.50°	-15cm	244cm
109	242cm	54.00°	-17cm	241cm
110	242cm	54.50°	-19cm	241cm
111	236cm	55.00°	-21cm	235cm
112	242cm	55.50°	-23cm	241cm
113	236cm	56.00°	-25cm	235cm
114	239cm	56.50°	-27cm	237cm
115	243cm	57.00°	-30cm	241cm
116	244cm	57.50°	-32cm	242cm
117	246cm	58.00°	-34cm	244cm
118	241cm	58.50°	-36cm	238cm
119	248cm	59.00°	-39cm	245cm
120	247cm	59.50°	-41cm	244cm
121	246cm	60.00°	-43cm	242cm
122	246cm	60.50°	-39cm	242cm

Πίνακας 14 : Δεδομένα δευτέρου δέντρου-στόχου με βήμα 0,5° 4^{ου} δευτερολέπτου

No.	Radius	Angle	X-value	Y-value
91	261cm	45.00°	20cm	260cm
92	263cm	45.50°	21cm	262cm
93	260cm	46.00°	18cm	259cm
94	259cm	46.50°	16cm	259cm
95	257cm	47.00°	13cm	257cm
96	258cm	47.50°	11cm	258cm
97	258cm	48.00°	9cm	258cm
98	255cm	48.50°	7cm	255cm
99	260cm	49.00°	5cm	260cm
100	261cm	49.50°	2cm	261cm
101	252cm	50.00°	0cm	252cm
102	250cm	50.50°	-2cm	250cm
103	241cm	51.00°	-4cm	241cm
104	245cm	51.50°	-6cm	245cm
105	244cm	52.00°	-9cm	244cm
106	242cm	52.50°	-11cm	242cm
107	239cm	53.00°	-13cm	239cm
108	239cm	53.50°	-15cm	239cm
109	241cm	54.00°	-17cm	240cm
110	242cm	54.50°	-19cm	241cm
111	241cm	55.00°	-21cm	240cm
112	235cm	55.50°	-23cm	234cm
113	243cm	56.00°	-25cm	242cm
114	239cm	56.50°	-27cm	237cm
115	243cm	57.00°	-30cm	241cm

116	244cm	57.50°	-32cm	242cm
117	245cm	58.00°	-34cm	243cm
118	241cm	58.50°	-36cm	238cm
119	248cm	59.00°	-39cm	245cm
120	248cm	59.50°	-41cm	245cm
121	246cm	60.00°	-43cm	242cm
122	244cm	60.50°	-38cm	240cm

Στην συνέχεια Πίνακας 15, Πίνακας 16, Πίνακας 17, Πίνακας 18 παρουσιάζονται τα δεδομένα της σάρωσης του δεύτερου δέντρου – στόχου με γωνία ανάλυσης 1°.

Πίνακας 15: Δεδομένα δεύτερου δέντρου-στόχου με βήμα 1^ο 1^{ου} δευτερολέπτου

No.	Radius	Angle	X-value	Y-value
46	260cm	45.00°	19cm	259cm
47	257cm	46.00°	18cm	256cm
48	258cm	47.00°	14cm	258cm
49	256cm	48.00°	9cm	256cm
50	257cm	49.00°	4cm	257cm
51	252cm	50.00°	0cm	252cm
52	240cm	51.00°	-4cm	240cm
53	236cm	52.00°	-8cm	236cm
54	238cm	53.00°	-12cm	238cm
55	239cm	54.00°	-17cm	238cm
56	238cm	55.00°	-21cm	237cm
57	240cm	56.00°	-25cm	239cm
58	239cm	57.00°	-29cm	237cm
59	243cm	58.00°	-34cm	235cm
60	245cm	59.00°	-38cm	242m
61	246cm	60.00°	-39cm	241cm

Πίνακας 16 : Δεδομένα δεύτερου δέντρου-στόχου με βήμα 1^ο 2^{ου} δευτερολέπτου

No.	Radius	Angle	X-value	Y-value
46	261cm	45.00°	19cm	260cm
47	258cm	46.00°	18cm	257cm
48	258cm	47.00°	14cm	258cm
49	257cm	48.00°	9cm	257cm
50	259cm	49.00°	5cm	259cm
51	246cm	50.00°	0cm	246cm
52	246cm	51.00°	-4cm	246cm
53	238cm	52.00°	-8cm	238cm
54	241cm	53.00°	-13cm	241cm
55	238cm	54.00°	-17cm	237cm
56	239cm	55.00°	-21cm	238cm
57	239cm	56.00°	-25cm	238cm

58	239cm	57.00°	-29cm	237cm
59	244cm	58.00°	-34cm	242cm
60	239cm	59.00°	-37cm	236cm
61	247cm	60.00°	-39cm	243cm

Πίνακας 17 : Δεδομένα δεύτερου δέντρου-στόχου με βήμα 1^ο 3^{ου} δευτερολέπτου

No.	Radius	Angle	X-value	Y-value
46	260cm	45.00°	19cm	259cm
47	257cm	46.00°	18cm	256cm
48	258cm	47.00°	14cm	258cm
49	257cm	48.00°	9cm	257cm
50	258cm	49.00°	5cm	258cm
51	246cm	50.00°	0cm	246cm
52	239cm	51.00°	-4cm	239cm
53	242cm	52.00°	-8cm	242cm
54	238cm	53.00°	-12cm	238cm
55	237cm	54.00°	-17cm	236cm
56	241cm	55.00°	-21cm	240cm
57	241cm	56.00°	-25cm	240cm
58	239cm	57.00°	-29cm	237cm
59	243cm	58.00°	-34cm	241cm
60	245cm	59.00°	-39cm	244cm
61	247cm	60.00°	-39cm	243cm

Πίνακας 18 : Δεδομένα δεύτερου δέντρου-στόχου με βήμα 1^ο 4^{ου} δευτερολέπτου

No.	Radius	Angle	X-value	Y-value
46	260cm	45.00°	19cm	259cm
47	257cm	46.00°	18cm	256cm
48	258cm	47.00°	14cm	258cm
49	258cm	48.00°	9cm	258cm
50	258cm	49.00°	5cm	258cm
51	252cm	50.00°	0cm	252cm
52	239cm	51.00°	-4cm	239cm
53	242cm	52.00°	-8cm	242cm
54	238cm	53.00°	-12cm	238cm
55	238cm	54.00°	-17cm	237cm
56	234cm	55.00°	-20cm	233cm
57	240cm	56.00°	-25cm	239cm
58	239cm	57.00°	-29cm	237cm
59	244cm	58.00°	-34cm	242cm
60	246cm	59.00°	-39cm	244cm
61	247cm	60.00°	-39cm	243cm

Τελειώνοντας το πείραμα το τρίτο δέντρο-στόχος Σχήμα 36



Σχήμα 36: Τρίτο δέντρο-στόχος

σκαναρίστηκε οριζόντια από το λέιζερ σκάνερ Σχήμα 37 που ήταν σταθερό στον πάγκο.



Σχήμα 37: Μέτρηση τρίτου δέντρου-στόχου

Η σάρωση στο τρίτο δέντρο-στόχο επαναλήφθηκε 2 φορές με διαφορετική γωνία ανάλυσης πρώτα με βήμα $0,5^\circ$ και κατόπιν με βήμα 1° .

Παρακάτω στους Πίνακες 19, Πίνακας 20, Πίνακας 21, Πίνακας 22 παρουσιάζονται τα δεδομένα της σάρωσης του τρίτου δέντρου – στόχου με γωνία ανάλυσης 0,5°.

Πίνακας 19 : Δεδομένα τρίτου δέντρου-στόχου με βήμα 0,5° 1^{ου} δευτερολέπτου

No.	Radius	Angle	X-value	Y-value
87	175cm	43.00°	21cm	174cm
88	175cm	43.50°	20cm	174cm
89	164cm	44.00°	17cm	163cm
90	162cm	44.50°	16cm	161cm
91	164cm	45.00°	14cm	163cm
92	159cm	45.50°	12cm	159cm
93	161cm	46.00°	11cm	161cm
94	162cm	46.50°	10cm	162cm
95	164cm	47.00°	9cm	164cm
96	160cm	47.50°	7cm	160cm
97	158cm	48.00°	6cm	158cm
98	159cm	48.50°	4cm	159cm
99	160cm	49.00°	3cm	160cm
100	160cm	49.50°	1cm	160cm
101	159cm	50.00°	0cm	159cm
102	159cm	50.50°	-1cm	159cm
103	161cm	51.00°	-3cm	161cm
104	161cm	51.50°	-4cm	161cm
105	164cm	52.00°	-6cm	164cm
106	161cm	52.50°	-7cm	161cm
107	171cm	53.00°	-9cm	171cm

Πίνακας 20 : Δεδομένα τρίτου δέντρου-στόχου με βήμα 0,5° 2^{ου} δευτερολέπτου

No.	Radius	Angle	X-value	Y-value
87	175cm	43.00°	21cm	174cm
88	174cm	43.50°	20cm	173cm
89	164cm	44.00°	17cm	163cm
90	162cm	44.50°	16cm	161cm
91	164cm	45.00°	14cm	163cm
92	159cm	45.50°	12cm	159cm
93	160cm	46.00°	11cm	160cm
94	162cm	46.50°	10cm	162cm
95	163cm	47.00°	9cm	163cm
96	160cm	47.50°	7cm	160cm
97	158cm	48.00°	6cm	158cm
98	159cm	48.50°	4cm	159cm
99	160cm	49.00°	3cm	160cm
100	159cm	49.50°	1cm	159cm
101	159cm	50.00°	0cm	159cm
102	158cm	50.50°	-1cm	158cm
103	160cm	51.00°	-3cm	160cm

104	160cm	51.50°	-4cm	160cm
105	163cm	52.00°	-6cm	163cm
106	161cm	52.50°	-7cm	161cm
107	171cm	53.00°	-9cm	171cm

Πίνακας 21 : Δεδομένα τρίτου δέντρου-στόχου με βήμα 0,5° 3^{ου} δευτερολέπτου

No.	Radius	Angle	X-value	Y-value
87	175cm	43.00°	21cm	174cm
88	174cm	43.50°	20cm	173cm
89	164cm	44.00°	17cm	163cm
90	163cm	44.50°	16cm	162cm
91	164cm	45.00°	14cm	163cm
92	160cm	45.50°	13cm	160cm
93	161cm	46.00°	11cm	161cm
94	162cm	46.50°	10cm	162cm
95	162cm	47.00°	8cm	162cm
96	159cm	47.50°	7cm	159cm
97	159cm	48.00°	6cm	159cm
98	159cm	48.50°	4cm	159cm
99	160cm	49.00°	3cm	160cm
100	160cm	49.50°	1cm	160cm
101	160cm	50.00°	0cm	160cm
102	159cm	50.50°	-1cm	159cm
103	162cm	51.00°	-3cm	162cm
104	160cm	51.50°	-4cm	160cm
105	163cm	52.00°	-6cm	163cm
106	162cm	52.50°	-7cm	162cm
107	172cm	53.00°	-9cm	172cm

Πίνακας 22 : Δεδομένα τρίτου δέντρου-στόχου με βήμα 0,5° 4^{ου} δευτερολέπτου

No.	Radius	Angle	X-value	Y-value
87	175cm	43.00°	21cm	174cm
88	174cm	43.50°	20cm	173cm
89	164cm	44.00°	17cm	163cm
90	163cm	44.50°	16cm	162cm
91	164cm	45.00°	14cm	163cm
92	160cm	45.50°	13cm	160cm
93	161cm	46.00°	11cm	161cm
94	162cm	46.50°	10cm	162cm
95	163cm	47.00°	9cm	163cm
96	159cm	47.50°	7cm	159cm
97	159cm	48.00°	6cm	159cm
98	159cm	48.50°	4cm	159cm
99	161cm	49.00°	3cm	161cm
100	160cm	49.50°	1cm	160cm

101	159cm	50.00°	0cm	159cm
102	159cm	50.50°	-1cm	159cm
103	161cm	51.00°	-3cm	161cm
104	161cm	51.50°	-4cm	161cm
105	163cm	52.00°	-6cm	163cm
106	161cm	52.50°	-7cm	161cm
107	172cm	53.00°	-9cm	172cm

Τέλος στους Πίνακες 23, Πίνακας 24, Πίνακας 25, Πίνακας 26 παρουσιάζονται τα δεδομένα της σάρωσης του τρίτου δέντρου – στόχου με γωνία ανάλυσης 1°.

Πίνακας 23 : Δεδομένα τρίτου δέντρου-στόχου με βήμα 1° 1^{ου} δευτερολέπτου

No.	Radius	Angle	X-value	Y-value
44	177cm	43.00°	22cm	176cm
45	164cm	44.00°	17cm	163cm
46	165cm	45.00°	14cm	164cm
47	163cm	46.00°	11cm	163cm
48	163cm	47.00°	9cm	163cm
49	159cm	48.00°	6cm	159cm
50	162cm	49.00°	3cm	162cm
51	161cm	50.00°	0cm	161cm
52	162cm	51.00°	-3cm	162cm
53	164cm	52.00°	-6cm	164cm
54	175cm	53.00°	-9cm	175cm

Πίνακας 24 : Δεδομένα τρίτου δέντρου-στόχου με βήμα 1° 2^{ου} δευτερολέπτου

No.	Radius	Angle	X-value	Y-value
44	177cm	43.00°	22cm	176cm
45	165cm	44.00°	17cm	164cm
46	165cm	45.00°	14cm	164cm
47	163cm	46.00°	11cm	163cm
48	163cm	47.00°	9cm	163cm
49	159cm	48.00°	6cm	159cm
50	163cm	49.00°	3cm	163cm
51	162cm	50.00°	0cm	162cm
52	162cm	51.00°	-3cm	162cm
53	163cm	52.00°	-6cm	163cm
54	174cm	53.00°	-9cm	174cm

Πίνακας 25 : Δεδομένα τρίτου δέντρου-στόχου με βήμα 1° 3^{ου} δευτερολέπτου

No.	Radius	Angle	X-value	Y-value
44	177cm	43.00°	22cm	176cm
45	165cm	44.00°	17cm	164cm
46	165cm	45.00°	14cm	164cm
47	162cm	46.00°	11cm	162cm
48	163cm	47.00°	9cm	163cm

49	159cm	48.00°	6cm	159cm
50	161cm	49.00°	3cm	161cm
51	161cm	50.00°	0cm	161cm
52	162cm	51.00°	-3cm	162cm
53	163cm	52.00°	-6cm	163cm
54	171cm	53.00°	-9cm	171cm

Πίνακας 26 : Δεδομένα τρίτου δέντρου-στόχου με βήμα 1^ο 4^{ου} δευτερολέπτου

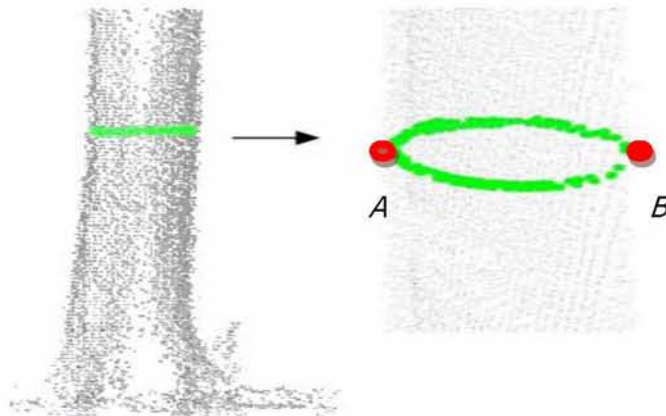
No.	Radius	Angle	X-value	Y-value
44	176cm	43.00°	21cm	175cm
45	166cm	44.00°	17cm	165cm
46	165cm	45.00°	14cm	164cm
47	162cm	46.00°	11cm	162cm
48	162cm	47.00°	8cm	162cm
49	159cm	48.00°	6cm	159cm
50	161cm	49.00°	3cm	161cm
51	161cm	50.00°	0cm	161cm
52	162cm	51.00°	-3cm	162cm
53	164cm	52.00°	-6cm	164cm
54	174cm	53.00°	-9cm	174cm

3.3 Αποτελέσματα.

Η απόσταση 2 σημείων ενός καρτεσιανού συστήματος συντεταγμένων με σημεία $A(x_1, y_1)$ και $B(x_2, y_2)$ δίνεται από τον τύπο

$$d = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

Τα αποτελέσματα που έχουμε από το πείραμα όπως παρουσιάστηκαν και παραπάνω είναι σε μορφή καρτεσιανών συντεταγμένων.



Σχήμα 38:Μορφή Συντεταγμένων

Παίρνουμε σαν παραδοχή ότι οι κορμοί που μετρήθηκαν είναι τέλειοι κύκλοι και έτσι από κάθε πίνακα μετρήσεων χρησιμοποιούμε το πρώτο και το τελευταίο ζεύγος συντεταγμένων τα οποία είναι και τα ακριανά σημεία των δέντρων-στόχων δηλαδή των κύκλων. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 38 οι συντεταγμένες των σημείων A και B είναι αυτές που θα χρησιμοποιηθούν. Στην συνέχεια με τον παραπάνω τύπο βρίσκουμε την απόστασή τους που είναι και η διάμετρος του κύκλου. Τέλος για να ορίσουμε την περίμετρο του κύκλου χρησιμοποιούμε την παρακάτω μαθηματική εξίσωση

$$C = 2\pi \rho$$

όπου ρ η ακτίνα του κύκλου, και $\pi=3,14$. Γνωρίζουμε ότι $2*\rho=d$ άρα ο παραπάνω τύπος γίνεται

$$C = \pi*d$$

Παρακάτω παρουσιάζονται σε μορφή πινάκων οι ακραίες τιμές των 3 δέντρων – στόχων για κάθε γωνία ανάλυσης πρώτα με βήμα $0,5^\circ$ και κατόπιν με βήμα 1° . Επίσης

παρουσιάζονται όλες οι τιμές των d που προκύπτουν και ο μέσος όρος τους χρησιμοποιείται για να μας δώσει την περίμετρο του κάθε κορμού.

Για το πρώτο δέντρο-στόχο και για γωνία ανάλυσης πρώτα με βήμα $0,5^\circ$ έχουμε τον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 27 : Αποτελέσματα 1^{ου} δέντρου-στόχου με βήμα $0,5^\circ$

Συντεταγμένες A cm	Συντεταγμένες B cm	d cm	M.O	Περίμετρο C	Πραγματική Τιμή	Απόκλιση
(17,274)	(-15,288)	34,93	35,06	110,09	122	9,76%
(17,274)	(-15,289)	35,34				
(17,274)	(-15,289)	35,34				
(17,273)	(-15,287)	34,93				
(17,274)	(-15,287)	34,54				
(17,274)	(-15,288)	34,93				
(17,274)	(-15,288)	34,93				
(17,273)	(-15,289)	35,78				
(17,273)	(-15,288)	35,34				
(17,273)	(-15,287)	34,93				

Για το πρώτο δέντρο-στόχο και για γωνία ανάλυσης με βήμα 1° έχουμε τον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 28 : Αποτελέσματα 1^{ου} δέντρου-στόχου με βήμα 1°

Συντεταγμένες A cm	Συντεταγμένες B cm	d cm	M.O	Περίμετρο C	Πραγματική Τιμή	Απόκλιση
(14,270)	(-15,287)	33,61	34,80	109,27	122	10,4%
(14,271)	(-15,287)	33,12				
(14,265)	(-15,288)	37,01				
(14,271)	(-15,288)	33,61				
(14,265)	(-15,288)	37,01				
(14,271)	(-15,288)	33,61				
(14,265)	(-15,287)	36,40				
(14,265)	(-15,287)	36,40				
(14,271)	(-15,287)	33,12				
(14,270)	(-15,288)	34,13				

Για το δεύτερο δέντρο-στόχο και για γωνία ανάλυσης με βήμα $0,5^\circ$ έχουμε τον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 29 : Αποτελέσματα 2^{ου} δέντρου-στόχου με βήμα 0,5°

Συντεταγμένες A cm	Συντεταγμένες B cm	d	M.O	Περίμετρο C	Πραγματική Τιμή	Απόκλιση
(20,260)	(-39,242)	61,68	61,95	194,52	202	3,7%
(20,260)	(-38,238)	62,03				
(20,259)	(-39,242)	61,40				
(20,260)	(-38,240)	61,35				
(20,260)	(-38,240)	61,35				
(20,260)	(-38,239)	61,68				
(20,260)	(-38,235)	63,16				
(20,260)	(-38,237)	62,39				
(20,261)	(-38,236)	62,76				
(20,260)	(-38,239)	61,68				

Για το δεύτερο δέντρο-στόχο και για γωνία ανάλυσης με βήμα 1° έχουμε τον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 30 : Αποτελέσματα 2^{ου} δέντρου-στόχου με βήμα 1°

Συντεταγμένες A cm	Συντεταγμένες B cm	d	M.O	Περίμετρο C	Πραγματική Τιμή	Απόκλιση
(19,259)	(-39,241)	60,72	60,56	190,16	202	5,96%
(19,260)	(-39,243)	60,44				
(19,259)	(-39,243)	60,17				
(19,259)	(-39,243)	60,17				
(19,259)	(-39,241)	60,72				
(19,259)	(-39,242)	60,44				
(19,258)	(-39,241)	60,44				
(19,259)	(-39,241)	60,72				
(19,259)	(-39,240)	61,03				
(19,258)	(-39,240)	60,72				

Για το τρίτο δέντρο-στόχο και για γωνία ανάλυσης με βήμα 0,5° έχουμε τον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 31 : Αποτελέσματα 3^{ου} δέντρου-στόχου με βήμα 0,5°

Συντεταγμένες A cm	Συντεταγμένες B cm	d	M.O	Περίμετρο C	Πραγματική Τιμή	Απόκλιση
(21,174)	(-9,171)	30,15	30,09	94,49	100	5,5%
(21,174)	(-9,171)	30,15				
(21,174)	(-9,172)	30,07				
(21,174)	(-9,172)	30,07				
(21,174)	(-9,173)	30,02				
(21,175)	(-9,172)	30,13				

(21,174)	(-9,172)	30,07				
(21,175)	(-9,173)	30,07				
(21,174)	(-9,172)	30,07				
(21,174)	(-9,172)	30,07				

Για το τρίτο δέντρο-στόχο και για γωνία ανάλυσης με βήμα 1° έχουμε τον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 32 : Αποτελέσματα 3^{ου} δέντρου-στόχου με βήμα 1°

Συντεταγμένες A cm	Συντεταγμένες B cm	d	M.O	Περίμετρο C	Πραγματική Τιμή	Απόκλιση
(22,176)	(-9,175)	31,02	31,10	97,65	100	2,35%
(22,176)	(-9,174)	31,06				
(22,176)	(-9,171)	31,40				
(21,175)	(-9,174)	31,02				
(21,174)	(-9,172)	31,06				
(21,175)	(-9,173)	31,06				
(21,175)	(-9,174)	31,02				
(22,176)	(-9,173)	31,14				
(22,176)	(-9,173)	31,14				
(21,175)	(-9,173)	31,06				

4. Συμπεράσματα – Μελλοντική εργασία.

Ύστερα από την διεξαγωγή του πειράματος και την ανάλυση των δεδομένων προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα:

1. Η διαφορά της μέτρησης από το Laser Scanner και από την χειροκίνητη μέθοδο είναι μεταξύ 2 έως και 13 cm.
2. Στα 2 από τα 3 δένδρα η απόκλιση με γωνία ανάλυσης με βήμα $0,5^\circ$ είναι μικρότερη κατά 2 και 4 cm από τη απόκλιση με γωνία ανάλυσης με βήμα 1° .
3. Η μικρότερη απόκλιση των μετρήσεων υπάρχει σε 1 δένδρο το οποίο μετρήθηκε με γωνία ανάλυσης με βήμα 1° .

Η απόκλιση των μετρήσεων με την χρήση του Laser Scanner και της πραγματικής τιμής μπορεί να οφείλονται στους εξής λόγους:

1. Την κλίση του εδάφους στο οποίο υπήρχαν τα δένδρα –στόχοι και το LMS200.
2. Την κλίση των δένδρων.
3. Στο ότι οι κορμοί των δένδρων δεν ήταν τέλειοι κύκλοι αλλά είχαν εξογκώματα.
4. Το ότι η μέτρηση για κάθε δένδρο-στοχο πραγματοποιήθηκε από μία συγκεκριμένη θέση, μια συγκεκριμένη οπτική γωνία.

Ύστερα από τα παραπάνω θα μπορούσαμε να υποθέσουμε ότι το LMS200 είναι αξιόπιστο εργαλείο στην μέτρηση κορμών δένδρων διότι η απόκλιση που έχει από την πραγματική τιμή είναι μεταξύ του 2% και του 10% και με δεδομένο τα προβλήματα που υπήρξαν στην διεξαγωγή του πειράματος.

Μια μελλοντική εργασία που θα μπορούσε να αποτελέσει την συνέχεια του πειράματος αυτού είναι η βελτιστοποίηση και η αυτοματοποίηση της διαδικασίας των μετρήσεων. Θα μπορούσε το Laser Scanner να είναι σταθερό σε μια περιστρεφόμενη βάση η οποία θα γυρνούσε και γύρω από τον άξονα της αλλά θα ανεβοκατέβαινε κιάλας. Με αυτόν τον τρόπο θα είχαμε δεδομένα από πολλές διαφορετικές γωνίες αλλά και από διαφορετικά σημεία του κορμού. Επίσης θα μπορούσε να σχεδιαστεί αλγόριθμος ο οποίος θα ελαχιστοποιούσε την απόκλιση παίρνοντας τα κατάλληλα δεδομένα από τις μετρήσεις.

5. Ευχαριστίες.

Στο σημείο αυτό, θεωρώ χρέος μου, να ευχαριστήσω τους καθηγητές μου κ.Γέμτο Θεοφάνη και κ.Φουντά Σπυρίδωνα για τις γνώσεις που μου προσέφεραν κατά τη διάρκεια των σπουδών μου. Ιδιαίτέρως ευχαριστώ τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ.Γέμτο Θεοφάνη για την αμέριστη συμπαράσταση και εμπιστοσύνη που μου έδειξε κατά την διάρκεια της συνεργασίας μας για την εκπόνηση της μεταπτυχιακής αυτής εργασίας.

6. Βιβλιογραφία.

- Ehlert, D., Horn, H. & Adamek, R., 2008. *Measuring crop biomass density by laser triangulation*. *Computers and Electronics in Agriculture*, 61(2), pp.117-125. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168169907002177>.
- Ehsani, R., Lang, L. & Robert, P., 2002. *A sensor for rapid estimation of plant biomass*. In *Proceedings of the 6th International Conference on Precision Agriculture and Other Precision Resources Management*, Minneapolis, MN, USA, 14-17 July, 2002. *American Society of Agronomy*, pp. 1030–1037. Available at: <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:A+sensor+for+rapid+estimation+of+plant+biomass#0> [Accessed October 5, 2011].
- Fouss, J. & Fausey, N., 2007. *Research and Development of Laser-Beam Automatic Grade-Control System on High-Speed Subsurface Drainage Equipment*. *Transactions of the ASABE*, 50(5), pp.1663–1667. Available at: <http://asae.frymulti.com/abstract.asp?aid=23970&t=1> [Accessed October 5, 2011].
- Lee, K.-hwan, 2008. *A laser-scanning system for quantification of tree-geometric characteristics*. In *ASABE Paper*. Available at: <http://asae.frymulti.com/abstract.asp?aid=25003&t=1> [Accessed October 5, 2011].
- Monta, M., Namba, K. & Kondo, N., 2004. *Three-dimensional sensing system using laser scanner*. *ASABE Paper*, 0300(04). Available at: <http://asae.frymulti.com/abstract.asp?aid=16177&t=1> [Accessed October 5, 2011].
- Ryo, T., Noboru, N. & Akira, M., 2004. *Automatic guidance with a laser scanner for a robot tractor in an orchard*. In *Proceedings of the International Conference on Automation Technology for Off-road Equipment, ATOE 2004*. pp. 369–373. Available at: <http://asae.frymulti.com/abstract.asp?aid=17854&t=2> [Accessed October 5, 2011].
- SICK AG, 2006. *LMS200/211/221/291 Laser Measurement Systems*. Measurement, p.49.
- SICK AG, 2002. *Quick Manual for LMS communication setup*. Measurement, 2002(March), pp.1-18.
- WEI, J. & SALYANI, M., 2005. *Development of a laser scanner for measuring tree canopy characteristics Phase 2. Foliage density measurement*. *Transactions of the ASAE*, 48(4), pp.1595-1601. Available at:

<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=17067484> [Accessed October 5, 2011].

Wei, J. & Salyani, M., 2004. Development of a laser scanner for measuring tree canopy characteristics. Phase 1- Prototype development. Transactions of the ASAE, 47(6), pp.2101–2107. Available at: <http://asae.frymulti.com/abstract.asp?aid=17795&t=1> [Accessed October 5, 2011].

Wei, Jiantao & Salyani, Masoud, 2004. Evaluation of a Laser Scanner in Measuring Tree Foliage density. In Forestry. Ontario, pp. 0-12.

www.howstuffworks.com

www.laserfantasy.com

www.wikipedia.com

7. Περίληψη.

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία παρουσιάζεται η διεξαγωγή πειράματος που έχει ως σκοπό την μέτρηση, με Laser Scanner, για την εύρεση γεωμετρικών χαρακτηριστικών και συγκεκριμένα της περιμέτρου του κορμού ελαιόδεντρων και την σύγκρισή των μετρήσεων με την πραγματική τιμή. Στα πρώτα κεφάλαια τις εργασίας παρουσιάζεται η τεχνολογία Laser και οι εφαρμογές του ανά τον κόσμο. Στην συνέχεια παρουσιάζονται διάφορες εφαρμογές στις οποίες χρησιμοποιήθηκε Laser Scanner με σκοπό την ανάπτυξη της γεωργίας. Στα επόμενα κεφάλαια παρουσιάζεται το πείραμα στο οποίο ως Laser Scanner χρησιμοποιήθηκε το LMS200 της εταιρίας SICK το οποίο προϋπήρχε στο εργαστήριο. Το πείραμα έλαβε μέρος σε έναν ελαιώνα στην περιοχή Καμάρι Πηλίου και μετρήθηκαν 3 κορμοί ελαιόδεντρων. Τα αποτελέσματα του πειράματος έδειξαν ότι υπάρχει απόκλιση στην μέτρηση με το Laser Scanner από την πραγματική τιμή από 2% έως 10,4%.Επίσης αναφέρονται κάποιες προτάσεις για την αυτοματοποίηση και βελτιστοποίηση του πειράματος αλλά και για μελλοντικές εργασίες.