



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ

ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Διάγνωση προβλημάτων λειτουργίας μεταφορικών  
ταινιών με χρήση ανέπαφων αισθητήρων»

ΔΑΣΚΑΛΑΚΗΣ ΑΡΙΣΤΕΙΔΗΣ

Εξεταστική Επιτροπή

Καθηγητής Γαλετάκης Μιχαήλ (Επιβλέπων)

Καθηγητής Κομνίτσας Κωνσταντίνος

Καθηγητής Εξαδάκτυλος Γεώργιος

Χανιά ,

Μάρτιος 2018

Αφιερωμένη

Στην γυναίκα μου Νάνσυ και στα παιδιά μου Γιώργο και Δήμητρα.

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία έχει ως αντικείμενο τη διερεύνηση και τη διάγνωση των προβλημάτων που εμφανίζονται σε ταινιόδρομους, διαφόρων μονάδων παραγωγής, όπως αυτές των λατομείων, βιομηχανίας τροφίμων καθώς και μονάδες επεξεργασίας στερεών αποβλήτων. Για την παρακολούθηση των ταινιοδρόμων χρησιμοποιήθηκε ανέπαφος αισθητήρας τύπου Lidar. Η λειτουργία των αισθητήρων αυτών στηρίζεται στην τεχνολογία μέτρησης της απόστασης ενός αντικειμένου (στόχου) με ακτίνες λέιζερ. Η μέτρηση της απόστασης βασίζεται στη μέτρηση του χρόνου της διαδρομής της ακτίνας λέιζερ από την πηγή στον στόχο και την επιστροφή στην πηγή (Time of Flight).

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Μιχαήλ Γαλετάκη, για την άψογη συνεργασία, τις συμβουλές, την καθοδήγηση και τη βοήθειά του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας, ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα, χωρίς τη συμβολή του οποίου δεν θα ήταν εφικτό. Ευχαριστώ επίσης τους καθηγητές κ. Κωνσταντίνο Κομνίτσα και κ. Γεώργιο Εξαδάκτυλο για την συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή και τις εύστοχες παρατηρήσεις και τα σχόλιά τους.

Τέλος οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην γυναίκα μου Νάνσυ για την στήριξή της και στα παιδιά μου Γιώργο και Δήμητρα κατά τις ώρες που απουσίαζα από δίπλα τους.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στις περισσότερες βιομηχανίες παγκοσμίως καθώς και σε γραμμές μαζικής παραγωγής έχει καθιερωθεί η χρήση ταινιοδρόμων (Τ/Δ) για την μεταφορά των παραγομένων υλικών και εμπορευμάτων, λόγω της ταχείας μεταφοράς τους και της μεγάλης απόστασης που καλύπτουν με ασφαλή και οικονομικό τρόπο. Οι μεταφορείς ιμάντων έχουν επιτύχει μια ευνοϊκή θέση στη μεταφορά χύμα υλικών λόγω της οικονομίας, της αξιοπιστίας, της ασφάλειας, της ευελιξίας και της σχεδόν απεριόριστης εμβέλειας, μεταφέροντας μια μεγάλη ποικιλία υλικών, από τα λεπτά επιθετικά χημικά έως τα μεγάλα άμορφα μεταλλεύματα και ακόμη και τα διάφορα υλικά που επεξεργάζονται τα εργοστάσια αστικών στερεών αποβλήτων .

Στη μεταλλευτική βιομηχανία η χρήση ταινιοδρόμων για μεταφορά των εξορυσσόμενων υλικών είναι πολύ διαδεδομένη και ιδιαίτερα σε μεγάλες επιφανειακές εκμεταλλεύσεις που χρησιμοποιούν τη συνεχή μέθοδο εκμετάλλευσης. Η επένδυση και το κόστος λειτουργίας και συντήρησής τους αποτελούν σημαντικό ποσοστό (έως και 40%) του συνολικού κόστους μια τέτοιας εκμετάλλευσης. Κατά συνέπεια η εξασφάλιση υψηλού βαθμού λειτουργικότητας και βελτιστοποίησης των παραμέτρων λειτουργίας τους μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική μείωση του κόστους εκμετάλλευσης. Τα κυριότερα προβλήματα που έχουν παρατηρηθεί κατά τη λειτουργία των ταινιοδρόμων μεταφοράς και μειώνουν τη διαθεσιμότητά τους, σχετίζονται με σχισίματα και ανομοιόμορφες φθορές του ελαστικού ιμάντα (ταινία) του ταινιοδρόμου και με την εκφυγή της ταινίας από την πορεία της. Τα παραπάνω σε μεγάλο βαθμό οφείλονται στη μη ομοιόμορφη κατανομή του υλικού επί της ταινίας για μεγάλα χρονικά διαστήματα, στην έμφραξη του διακένου τροφοδότ-ταινιοδρόμου με υλικά, σε κατασκευαστικές ατέλειες κ.ά. Επιπλέον λόγω της μειωμένης σχετικά ακρίβειας των χρησιμοποιούμενων ταινιοζυγών αλλά και των λειτουργικών προβλημάτων που αντιμετωπίζουν (βλάβες, απορυθμίσεις) δεν είναι εφικτή πάντα η παρακολούθηση της μεταφερόμενης ποσότητας των υλικών με την απαιτούμενη ακρίβεια. Αποτέλεσμα των ανωτέρω προβλημάτων είναι οι συχνές διακοπές της παραγωγικής διαδικασίας, καθώς επίσης και η αδυναμία παρακολούθησης της απόδοσης των ταινιών και των ποσοτήτων των μεταφερόμενων υλικών.

Στην εργασία αυτή επιχειρήθηκε μέσω μιας σειράς δυναμικών μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν σε βιομηχανική εγκατάσταση σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας, να εκτιμηθεί η δυνατότητα μέτρησης της απόδοσης των μεταφορικών ταινιών αλλά και της διάγνωσης των λειτουργικών τους προβλημάτων με χρήση ανέπαφου αισθητήρα τύπου Lidar (σαρωτής μέτρησης απόστασης με λέιζερ). Ο αισθητήρας Lidar που τοποθετήθηκε σε ειδική διάταξη, που κατασκευάστηκε για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας, επάνω στους ιμάντες μεταφοράς σύμμεικτου κλάσματος των στερεών αστικών απορριμμάτων (πράσινος κάδος) και του ανακυκλώσιμου στερεού απορρίμματος (μπλε κάδος) του εργοστασίου Μηχανικής Διαλογής και Κομποστοποίησης του νομού Χανίων που διαχειρίζεται η Δ.Ε.ΔΙ.Σ.Α, έδωσε μια σειρά πληροφοριών που αφορούν την παραγωγική διαδικασία της επεξεργασίας των δύο κλασμάτων, όπως τον ρυθμό παραγωγής και βαθμό φόρτισης των υλικών καθώς επίσης διάγνωση πιθανά μελλοντικά προβλήματα στην παραγωγή, μέσω της επιφανειακής φθοράς των ιμάντων και της ανομοιόμορφης κατανομής του υλικού επί του ιμάντα.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος.....	3
---------------	---

Περίληψη.....	4
---------------	---

Κατάλογος Εικόνων.....	9
------------------------	---

Κατάλογος Πινάκων.....	13
------------------------	----

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Εισαγωγή

1.1 Ταινιόδρομοι –ιστορική εξέλιξη.....	14
---	----

1.2 Χρήσεις – Εφαρμογές .....	14
-------------------------------	----

1.3 Κατηγορίες ταινιοδρόμων.....	15
----------------------------------	----

1.4 Ταινιόδρομος - δομή.....	17
------------------------------	----

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Συστήματα παρακολούθησης λειτουργίας ταινιοδρόμων

2.1 Προβλήματα κατά τη λειτουργία ταινιοδρόμων.....	19
---	----

2.2 Μέτρα πρόληψης ή αποκατάστασης των εκφυγών.....	20
---	----

2.3 Ηλεκτρονικά συστήματα παρακολούθησης ταινιοδρόμων.....	20
--	----

2.3.1 Μέτρηση ταχύτητας ιμάντα μεταφοράς ταινιοδρόμου.....	21
--	----

2.3.2 Μέτρηση βάρους μεταφερόμενου υλικού μέσω διατάξεων ζύγισης.....	22
---	----

2.3.3 Συστήματα παρακολούθησης με οπτικές διατάξεις.....	25
2.3.4 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα των χρησιμοποιούμενων διατάξεων, προτεινόμενη νέα προσέγγιση.....	27

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Εφαρμοζόμενη τεχνολογία - πειραματική διάταξη που αναπτύχθηκε και μεθοδολογία μετρήσεων**

3.1 Οπτική τεχνολογία ανίχνευσης με χρήση αισθητήρων τύπου Lidar.....	29
3.1.1 Αισθητήρας Lidar URG-04LX-UG01.....	30
3.2 Πειραματική διάταξη και διεξαγωγή μετρήσεων.....	32
3.3 Μεθοδολογία μετρήσεων.....	36
3.4 Υπολογισμοί απόδοσης και λειτουργικής κατάστασης T/Δ με βάση τις μετρήσεις του αισθητήρα Lidar.....	39

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Παρουσίαση και συζήτηση των αποτελεσμάτων**

4.1 Μετρήσεις για τον έλεγχο της καλής λειτουργίας του Lidar.....	45
4.2 Προκαταρκτικές μετρήσεις της διατομής του υλικού με χρήση παχυμέτρου.....	47
4.3 Δυναμικές μετρήσεις σε κενό ιμάντα .....	48
4.3.1 Μέτρηση με κενό ιμάντα ("0 προφίλ") .....	48
4.3.2 Μετρήσεις κενών ιμάντων διαφορετικής ηλικίας.....	49

4.4 Δυναμικές μετρήσεις με έμφορτο ιμάντα.....	54
4.4.1 Δειγματοληπτικές μετρήσεις προσδιορισμού της φαινόμενης πυκνότητας του χύδην μεταφερόμενου υλικού ανακύκλωσης και σύμμεικτου απορρίμματος.....	55
4.4.2 Μετρήσεις με έμφορτο ιμάντα υλικού που διακινεί κοσκινισμένο υλικό ανακύκλωσης (μπλε κάδος).....	56
4.4.3 Μετρήσεις με έμφορτο ιμάντα που διακινεί κοσκινισμένο υλικό από πράσινο κάδο (σύμμεικτα απορρίμματα).....	58
 <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Συμπεράσματα-Προτάσεις</b>	
5.1 Συμπεράσματα.....	62
5.2 Προτάσεις.....	63
 <b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	 64



## Κατάλογος Εικόνων

<b>Εικόνα 1.1.</b> Διάφοροι τύποι ταινιοδρόμων αναλόγως προοριζόμενοι για διαφορετικές χρήσεις.....	15
<b>Εικόνα 1.2.</b> Ταινιόδρομος μεταφοράς γενικού υλικού π.χ. παλετών.....	15
<b>Εικόνα 1.3.</b> Ταινιόδρομος σκαφοειδούς τύπου για μεταφορά χύδην υλικών.....	16
<b>Εικόνα 1.4.</b> Σχηματική διάταξη -μέρη ταινιόδρομου.....	18
<b>Εικόνα 2.1.</b> Εκφυγή ιμάντα μεταφοράς που προέκυψε εξαιτίας της ανομοιογενούς κατανομής του υλικού επί της επιφάνειας του ιμάντα.....	19
<b>Εικόνα 2.3.</b> Ψηφιακό ταχύμετρο μέτρησης ταχύτητας ιμάντα μεταφοράς.....	21
<b>Εικόνα 2.4.</b> Σταθερά τοποθετημένο επαγωγικό αισθητήριο για τη μέτρηση της ταχύτητας κίνησης του ιμάντα.....	22
<b>Εικόνα 2.5.</b> Ταινιοζυγός ενσωματωμένος σε ταινιόδρομο.....	23
<b>Εικόνα 2.6.</b> Σύστημα προσδιορισμού παροχής και υγρασίας με χρήση αισθητήρα μικροκυμάτων, τύπου LB 442 bulk flow system.....	24
<b>Εικόνα 2.7.</b> Ραδιομετρικό σύστημα μέτρησης μάζας και μονάδα αξιολόγησης.....	25
<b>Εικόνα 2.8.</b> Σύστημα ελέγχου μεταφορικής ταινίας βασισμένο σε οπτικά συστήματα (κάμερες ορατού φωτός).....	26
<b>Εικόνα 3.1.</b> Αισθητήρας Lidar τοποθετημένος σε μεταφορική ταινία μεταφοράς χύδην υλικών.....	29

<b>Εικόνα 3.2.</b> Αισθητήρας Lidar/URG-04LX-UG01.....	31
<b>Εικόνα 3.3.</b> Γωνιακό εύρος της περιοχής σάρωσης του αισθητήρα Lidar τύπου Hokuyo- URG-04LX-UG01.....	32
<b>Εικόνα 3.4.</b> Πειραματική διάταξη σκοτεινού θαλάμου για μετρήσεις με Lidar ταινιόδρομο BC-339A.....	33
<b>Εικόνα 3.5.</b> Ηλεκτρονική καταγραφή και παρακολούθηση μετρήσεων του αισθητήρα Lidar.....	34
<b>Εικόνα 3.6.</b> Απεικόνιση της σάρωσης μέσω του λογισμικού στην οθόνη του H/Y.....	34
<b>Εικόνα 3.7</b> Αποτελέσματα μετρήσεων με το Lidar σε μορφή υπολογιστικού φύλλου Excel.....	35
<b>Εικόνα 3.8.</b> Σωστή (αριστερά) και λάθος θέση τοποθέτησης (δεξιά) του αισθητήρα Lidar.....	36
<b>Εικόνα 3.9.</b> Τοποθέτηση θαλάμου συμμετρικά του ραουλοσταθμού του ταινιόδρομου (πλάγια όψη).....	37
<b>Εικόνα 3.10.</b> Διάταξη ευθυγράμμισης θαλάμου μέτρησης με ιμάντα και υποβαστακτικούς κυλίνδρους T/Δ (κάτοψη).....	37
<b>Εικόνα 3.11.</b> Τρόπος υπολογισμού της διατομής του υλικού επί του ιμάντα με σάρωση αρχικά κενού και στη συνέχεια έμφορτου.....	40
<b>Εικόνα 3.12.</b> Υπολογισμός της διατομής του υλικού επί του ιμάντα.....	41

<b>Εικόνα 3.13.</b> Αναλυτικός (αριστερά) και προσεγγιστικός (δεξιά) υπολογισμός της επιφάνειας S σε σύστημα πολικών συντεταγμένων.....	42
<b>Εικόνα 3.14.</b> Διαίρεση της διατομής του υλικού σε δύο τμήματα, αριστερά $A_\alpha$ και δεξιά $A_\delta$ του μέσου του ιμάντα για τον υπολογισμό του δείκτη ομοιομορφίας κατανομής του υλικού.....	44
<b>Εικόνα 4.1.</b> Απεικόνιση της διατομής του κυβόλιθου, όπως προέκυψε από την σάρωση με τον αισθητήρα Lidar, σε σύστημα ορθογωνίων καρτεσιανών συντεταγμένων.....	45
<b>Εικόνα 4.2.</b> Σχηματικό διάγραμμα της σάρωσης της άνω επιφάνειας του κυβόλιθου με τον αισθητήρα Lidar.....	46
<b>Εικόνα 4.3.</b> Μεταβολή του μέσου τετραγωνικού σφάλματος σε σχέση με τη γωνία πρόσπτωσης της ακτίνας λέιζερ του Lidar.....	46
<b>Εικόνα 4.4.</b> Μεταβολή του πάχους του υλικού επί του ιμάντα με βάση τις μετρήσεις του παχύμετρου για τις θέσεις Α,Β,Γ .....	48
<b>Εικόνα 4.5.</b> Μέτρηση ("0-προφίλ") με τον αισθητήρα Lidar.....	49
<b>Εικόνα 4.6.</b> Χαρτογράφηση μετρήσεων Lidar για φθορά ιμάντα ηλικίας 15 ετών.....	50
<b>Εικόνα 4.7.</b> Χαρτογράφηση μετρήσεων Lidar για φθορά ιμάντα ηλικίας 7 ετών.....	51
<b>Εικόνα 4.8.</b> Χαρτογράφηση μετρήσεων Lidar για φθορά νέου ιμάντα.....	52

<b>Εικόνα 4.9.</b> Χαρτόγραφηση μετρήσεων Lidar για ιμάντα που φέρει τεχνητό σκίσιμο.....	53
<b>Εικόνα 4.10.</b> Διατομή του χύδην μεταφερόμενου υλικού ανακύκλωσης επί του ιμάντα.....	56
<b>Εικόνα 4.11.</b> Παροχή T/Δ σε m <sup>3</sup> /h για το υλικό της ανακύκλωσης.....	57
<b>Εικόνα 4.12.</b> Συντελεστής ομοιομορφίας για το υλικό της ανακύκλωσης.....	58
<b>Εικόνα 4.13.</b> Διατομή χύδην μεταφερόμενου οργανικού υλικού επί του ιμάντα.....	58
<b>Εικόνα 4.14.</b> Διατομή χύδην μεταφερόμενου οργανικού υλικού για 1hr λειτουργία παραγωγής.....	59
<b>Εικόνα 4.15.</b> Παροχή T/Δ σε m <sup>3</sup> /h για το σύμμεκτο υλικό (πράσινος κάδος).....	59
<b>Εικόνα 4.16.</b> Παροχή T/Δ σε m <sup>3</sup> /h για το σύμμεκτο υλικό (πράσινος κάδος) για 1hr λειτουργία παραγωγής.....	60
<b>Εικόνα 4.17.</b> Συντελεστής ομοιομορφίας για το οργανικό υλικό.....	61

## Κατάλογος Πινάκων

<b>Πίνακας 3.1.</b> Τεχνικά χαρακτηριστικά* του αισθητήρα Lidar URG-04LX-UG01.....	31
<b>Πίνακας 4.1.</b> Υπολογισμός διατομής υλικού επί του ιμάντα με χρήση παχυμέτρου σε τρεις θέσεις.....	47
<b>Πίνακας 4.2.</b> Μετρήσεις Lidar με μη αναμενόμενες τιμές.....	54
<b>Πίνακας 4.3.</b> Διόρθωση μη αναμενόμενων τιμών Lidar.....	55
<b>Πίνακας 4.4.</b> Υπολογισμός φαινόμενης πυκνότητας χύδην υλικού και μέσης παροχής T/Δ.....	55
<b>Πίνακας 4.5.</b> Συγκρίσεις τιμών μεταξύ Lidar και στοιχείων E.M.A.K.- Δ.Ε.Δ.Ι.Σ.Α.....	61

## **Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή**

### **1.1 Ταινιόδρομοι–ιστορική εξέλιξη**

Το 1892 ο Thomas Robins παρουσίασε μια σειρά από εφευρέσεις που οδήγησαν στην ανάπτυξη ενός μίαντα μεταφοράς που χρησιμοποιήθηκε για την μεταφορά άνθρακα, μεταλλευμάτων και άλλων προϊόντων. Στη συνέχεια το 1905 ο μηχανικός Richard Sutcliffe εφηύρε τους πρώτους μίαντες μεταφοράς για χρήση σε ανθρακωρυχεία όπου έφερε την επανάσταση στον κλάδο της εξόρυξης, ενώ το 1913 ο Henry Ford εισήγαγε γραμμές συναρμολόγησης ταινιοδρόμων στο εργοστάσιο της Ford Motor Company στο Michigan των ΗΠΑ.

Το 1972 στην Νέα Καληδονία ο μηχανικός Marcel Boccheti σχεδίασε την μεγαλύτερη ευθεία μεταφορική ταινία με μήκος 13,8 χιλιόμετρα. Σήμερα το μακρύτερο μεταφορικό σύστημα στον κόσμο με μίαντες είναι στην Δυτική Σαχάρα με μήκος 98 χιλιόμετρα μακριά από το ορυχείο φωσφόρου της Bu Craa στην ακτή Νότια της Ελ-Αγιούν. Τέλος, η μεγαλύτερη διεθνής ενιαία μεταφορική ταινία ξεκινάει από ένα λατομείο στην περιοχή Μεγκαλίανα της Ινδίας και καταλήγει σε ένα εργοστάσιο τσιμέντου στο Μπαγκλαντές με συνολικό μήκος 17 χιλιόμετρα και μεταφέρει ασβεστόλιθο και σχιστόλιθο με παροχή 960 τόνους/ώρα ([https://en.wikipedia.org/wiki/Conveyor\\_belt](https://en.wikipedia.org/wiki/Conveyor_belt)).

### **1.2 Χρήσεις–Εφαρμογές**

Ο ταινιόδρομος είναι μια μεταφορική ταινία μεγάλου μήκους. Στην ουσία πρόκειται για μια ηλεκτροκίνητη, επιμήκη εγκατάσταση, που χρησιμοποιείται στην αυτοματοποιημένη παραγωγή και την αποθήκευση και τον συναντάμε σε διάφορους τομείς, όπως στη βιομηχανία τροφίμων, σε μονάδες ανακύκλωσης αποβλήτων, στη μεταλλευτική βιομηχανία, στη βιομηχανία ξύλου, στην υφαντουργεία, στη γεωργία, καθώς και σε αεροδρόμια και ταχυδρομεία και γενικά όπου απαιτείται μεταφορά ημικατεργασμένων ή έτοιμων αγαθών. Θεωρείται οικονομικό σύστημα μεταφοράς

αφού μπορεί να διακινήσει μεγάλες ποσότητες υλικών σε μικρό χρονικό διάστημα με μικρό κόστος.

### 1.3 Κατηγορίες ταινιοδρόμων

Υπάρχουν δύο κύριες κατηγορίες ταινιοδρόμων:

- Οι γενικού υλικού όπως εκείνοι που μεταφέρουν τα κιβώτια ή τις παλέτες κατά μήκος σε μια βιομηχανία ή ένα εργοστάσιο (Εικ.1.2).
- Οι μαζικού ή χύδην υλικού οι οποίοι μεταφέρουν βιομηχανικά υλικά, μεταλλεύματα και πολλά άλλα υλικά (Εικ.1.3).

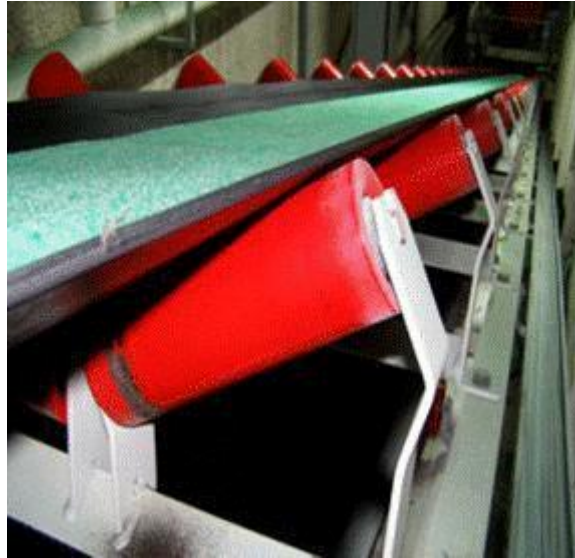
Επίσης ανάλογα τη μορφή που έχει η κατασκευή τους μπορούν να διακριθούν σε κεκλιμένης, κυρτής ευθύγραμμης κ.λπ., καθώς και τύπου σκάφης, ολίσθησης ή επιτάχυνσης. Ο τύπος του ταινιοδρόμου και του ιμάντα μεταφοράς που θα χρησιμοποιηθεί κάθε φορά εξαρτάται από το υλικό που θέλουμε να μεταφέρουμε και τα σημεία μεταφοράς του, επομένως μπορούμε να συναντήσουμε ποικίλους τύπους (Εικ. 1.1) όπως ραουλόδρομους βαρύτητας, μεταφορικές ταινίες, λείας ή αντιολισθητικής επιφάνειας, με προφίλ κ.λπ.



**Εικόνα 1.1.** Διάφοροι τύποι ταινιοδρόμων αναλόγως προοριζόμενοι για διαφορετικές χρήσεις.



**Εικόνα 1.2.** Ταινιόδρομος μεταφοράς γενικού υλικού π.χ. παλετών.



**Εικόνα 1.3.** Ταινιόδρομος σκαφοειδούς τύπου για μεταφορά χύδην υλικών  
(<http://www.kinematik.gr/el/proionta>).

Οι ταινιόδρομοι μεταφοράς χύδην υλικού είναι οι πιο διαδεδομένοι σήμερα αφού είναι οι ιστορικά πρώτοι που χρησιμοποιήθηκαν για την μεταφορά άνθρακα, μεταλλευμάτων και άλλων προϊόντων σε ανθρακωρυχεία και λατομεία.

Η μεταφορά των υλικών γίνεται με τη βοήθεια των ιμάντων των ταινιοδρόμων. Οι ιμάντες αυτοί είναι ελαστικές επίπεδες ταινίες που κατασκευάζονται από λάστιχο (καουτσούκ) φυσικό ή συνθετικό. Το φυσικό καουτσούκ ή ελαστικό κόμμι λαμβάνεται από το έκκριμα (Latex) διαφόρων δένδρων που ευδοκιμούν σε τροπικές χώρες. Έτσι οι ελαστικές ταινίες ανάλογα με την ποιότητα των ελαστικών επικαλύψεων με τις οποίες κατασκευάζονται διακρίνονται σε (Μακρής Ε.-Τσολάκης Α. 2016 ):

- I. Standard ποιότητας (normal-gum) για θερμοκρασία λειτουργίας από -35 έως +80 °C
- II. Ελαιάντοχες (oil-gum) επενδεδυμένες με ελαστομερή υψηλής αντοχής σε έλαια και γράσο για θερμοκρασία λειτουργίας από -35 έως +80 °C
- III. Θερμάντοχες/ελαιάντοχες (temper-oil-gum) επενδεδυμένες με ελαστομερή υψηλής αντοχής σε έλαια και γράσο κατάλληλες να μεταφέρουν υψηλής θερμοκρασίας προϊόντα σε εξωτερικές εφαρμογές λειτουργίας μέχρι 110 °C



- IV. Θερμάντοχες (temper-gum) για θερμοκρασία λειτουργίας μέχρι 110 °C
- V. Υψηλοθερμάντοχες (ardent-gum) για θερμοκρασία λειτουργίας μέχρι 130 °C
- VI. Υπερψηλοθερμάντοχες (super dent-gum) για θερμοκρασία λειτουργίας μέχρι 150 °C με αντοχή σε θερμοκρασιακές αιχμές έως και στους 200 °C.

Για να ανταποκριθεί ο ιμάντας στις διάφορες καταπονήσεις ενισχύεται με πρόσθετα υλικά, από τα οποία χαρακτηρίζεται και η κατηγορία που ανήκει. Οι συνήθειες ενισχύσεις είναι από λινά ή από χαλύβδινα συρματόσχοινα. Έτσι ανάλογα με το είδος της ενίσχυσης και την αντοχή τους προκύπτουν διάφοροι τύποι ιμάντων (όπως π.χ. τύπου EP 500/3 B 1800mm δηλαδή αντοχή 500 kg/cm πλάτους, με τρία λινά και πλάτος ιμάντα 1800mm ή τύπου ST 1600 B 1200 δηλαδή αντοχή 1600 kg/cm με χαλύβδινα συρματόσχοινα και πλάτος 1200mm).

Επιπλέον τεχνικά χαρακτηριστικά ενός ταινιόδρομου μεταφοράς χύδην υλικού είναι το πλάτος του ιμάντα μεταφοράς, όπου κυμαίνεται από 800 έως 2500mm καθώς και η ταχύτητα κίνησής του που συνήθως κυμαίνεται από 0,2 έως 2,5 m/s.

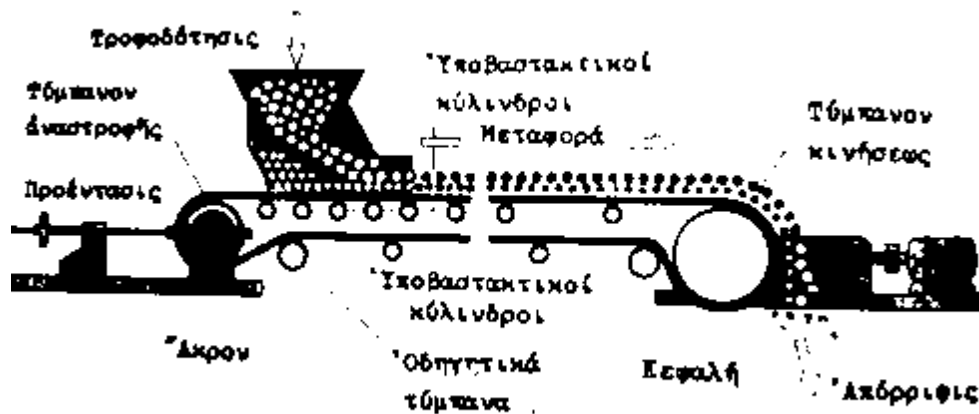
Να σημειωθεί εδώ ότι σωστός σχεδιασμός του μεταφορικού ιμάντα του κάθε T/Δ απαιτεί την κατανόηση των χαρακτηριστικών του προς επεξεργασία υλικού, καθώς η συμπεριφορά του κατά τη μεταφορά επηρεάζει την ικανότητα και το σχεδιασμό του μεταφορέα. Με απλούστερους όρους, ένας μεταφορέας μπορεί να περιγραφεί με την ονομαστική του χωρητικότητα σε τόνους ανά ώρα (t/h) ή κυβικό μέτρο ανά ώρα (m<sup>3</sup>/h), η οποία είναι συνάρτηση του πλάτους της ζώνης, η γωνία κοπής  $\lambda$  (lamda) τους ιμάντες, τη γωνία προσάυξης του μεταφερόμενου υλικού και την ταχύτητα που κινείται η ζώνη ( Tsakalakis K.G- Michalakopoulos Th, May 2015.).

## 1.4 Ταινιόδρομος-δομή

Ο ταινιόδρομος αποτελεί ένα ολοκληρωμένο μεταφορικό σύστημα κλειστού βρόγχου (Εικ.1.4) το οποίο εδράζεται σε μεταλλικό πλαίσιο κατάλληλης διαμόρφωσης και αποτελείται από τα ακόλουθα στοιχεία:

- Σταθμό κίνησης (ηλεκτροκινητήρα-ηλεκτρομειωτήρα).
- Σταθμό τάνυσης ή προέντασης.
- Ποδαρικά στήριξης.

- Τύμπανο κεφαλής ή κίνησης (συνήθως στο σημείο απορρίψεως).
- Τύμπανο ουράς ή αναστροφής.
- Κυλίνδρους κυλίσεως (ράουλα).
- Το σώμα του ιμάντα (διαφόρων διαστάσεων και χαρακτηριστικών).
- Μηχανισμούς καθαρισμού του ιμάντα (ξύστρες).



Εικόνα 1.4. Σχηματική διάταξη-μέρη ταινιόδρομου (Χ. Ι. Εφραιμίδη Σημειώσεις επί των μέσων εκμηχάνισεως των δομικών έργων).

## Κεφάλαιο 2. Συστήματα παρακολούθησης λειτουργίας ταινιοδρόμων

### 2.1 Προβλήματα κατά τη λειτουργία ταινιοδρόμων

Τα κυριότερα προβλήματα που παρουσιάζουν οι ταινιοδρόμοι κατά τη λειτουργία τους και σχετίζονται με τον ιμάντα μεταφοράς του υλικού είναι: η εκφυγή, η ολίσθηση, η έμφραξη και η υπερένταση ιμάντα.

Ένας ταινιοδρόμος έχει εκφυγή όταν ο ιμάντας κινείται μετατοπισμένα προς τα δεξιά ή αριστερά ως προς τον άξονα του ταινιοδρόμου (Εικ. 2.1). Αποτέλεσμα της εκφυγής είναι ο ιμάντας να χτυπάει στους ορθοστάτες των πλαισίων με επακόλουθο την τριβή και την φθορά στο άκρο του ή ακόμα και το σχίσσιμο κατά μήκος του. Αιτίες που μπορούν να προκαλέσουν μια εκφυγή είναι:

- Έκκεντρη φόρτωση υλικού
- Επικάθηση υλικού στα τύμπανα
- Μη σωστή συγκόλληση του ιμάντα (ένωση δυο τμημάτων του)
- Αποτάνυση του ιμάντα
- Μη ευθυγραμμισμένος σκελετός ταινιοδρόμου
- Βρεγμένη ταινία μονόπλευρα



**Εικόνα 2.1.** Εκφυγή ιμάντα μεταφοράς που προέκυψε εξαιτίας της ανομοιογενούς κατανομής του υλικού επί της επιφάνειας του ιμάντα.

Η ολίσθηση συμβαίνει όταν υπάρχει διαφορετική ταχύτητα περιστροφής ανάμεσα στο κινητήριο τύμπανο και στον ιμάντα. Η εκδήλωση του προβλήματος αυτού

ευνοείται τις μέρες βροχής, παγετού ή χιονιού. Άλλες συνθήκες που έχουν ως αποτέλεσμα την ολίσθηση, είναι η αποτάνυση του ιμάντα, η φθορά του, η κακή ποιότητα του μεταφερόμενου υλικού (λασπώδες) καθώς και η μη σωστή λειτουργία των ξυστρών. Σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις για να συμβεί ολίσθηση θα πρέπει να μειωθεί ο συντελεστής τριβής ανάμεσα στον ιμάντα και το κινητήριο τύμπανο. Η έμφραξη στον Τ/Δ συμβαίνει όταν συσσωρεύεται υλικό σε κάποιο σημείο μεταφόρτωσής του ή κατά μήκος (μπορεί να συμβεί στην κεφαλή της ταινίας, στο τερματικό τύμπανο ή και στον κορμό του Τ/Δ όταν υπάρχει διαρροή υλικού). Το πρόβλημα της υπερέντασης παρατηρείται, όταν το απαιτούμενο έργο για την μεταφορά του φορτίου, ξεπερνά την εγκαταστημένη ισχύ των κινητήρων των Τ/Δ.

## **2.2 Μέτρα πρόληψης ή αποκατάστασης των εκφυγών**

Η πρόληψη των εκφυγών των ιμάντων Τ/Δ αποτελεί ιδιαίτερα σημαντικό παράγοντα για την εύρυθμη λειτουργία μιας μονάδας παραγωγής. Για το λόγο αυτό λαμβάνονται μέτρα πρόληψης τα οποία περιλαμβάνουν:

- Την προσεκτική λειτουργία και επίβλεψη του εξοπλισμού των Τ/Δ από το προσωπικό που είναι επιφορτισμένο με την εργασία αυτή, συχνό καθαρισμό στα σημεία επικάθησης ή συγκέντρωσης του μεταφερόμενου υλικού, τακτική συντήρηση καθώς επίσης και συνεχής εκπαίδευση του προσωπικού.
- Ηλεκτρονικά συστήματα παρακολούθησης των ταινιοδρόμων που στηρίζονται σε διάφορες τεχνικές που περιγράφονται παρακάτω.

## **2.3 Ηλεκτρονικά συστήματα παρακολούθησης ταινιοδρόμων**

Για την αντιμετώπιση και αποφυγή των παραπάνω λειτουργικών προβλημάτων των ταινιοδρόμων έχουν κατασκευαστεί διάφορα συστήματα παρακολούθησής τους. Τα συστήματα αυτά στηρίζονται σε τεχνικές μέτρησης ποικίλων παραμέτρων όπως, το βάρος και η υγρασία του μεταφερόμενου υλικού, η ταχύτητα κίνησης του ιμάντα μεταφοράς και στηρίζονται σε αισθητήρες διαφόρων τεχνολογιών (λέιζερ, μικροκύματα, υπέρηχοι, ακτινοβολίες ορατού φωτός και ραδιοϊσοτόπων, κ.ά.).

### 2.3.1 Μέτρηση ταχύτητας ιμάντα μεταφοράς ταινιόδρομου

Η μέτρηση της ταχύτητας των ταινιόδρομων πραγματοποιείται με δύο τρόπους:

- Με χρήση κινητών ειδικών οργάνων που ονομάζονται ταχύμετρα (Εικ. 2.3). Η καταγραφή της ταχύτητας στηρίζεται στην ακριβή μέτρηση των περιστροφών του ιμάντα του ταινιόδρομου με επαφή ή χωρίς επαφή (μέσω ακτίνας λέιζερ) του οργάνου με τον ιμάντα.



**Εικόνα 2.3.** Ψηφιακό ταχύμετρο μέτρησης ταχύτητας ιμάντα μεταφοράς.

- Με μόνιμα τοποθετημένο επαγωγικό αισθητήριο (Εικ.2.4) στο τύμπανο περιστροφής του ιμάντα. Η ταχύτητα περιστροφής ρυθμίζεται και όποτε υπάρχει απόκλιση από αυτή στέλνεται σήμα μέσω καλωδίωσης στο σύστημα PLC της εγκατάστασης. Η συγκεκριμένη τεχνική χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση της ολίσθησης μεταξύ του ιμάντα μεταφοράς και του κινητηρίου τυμπάνου του Τ/Δ.



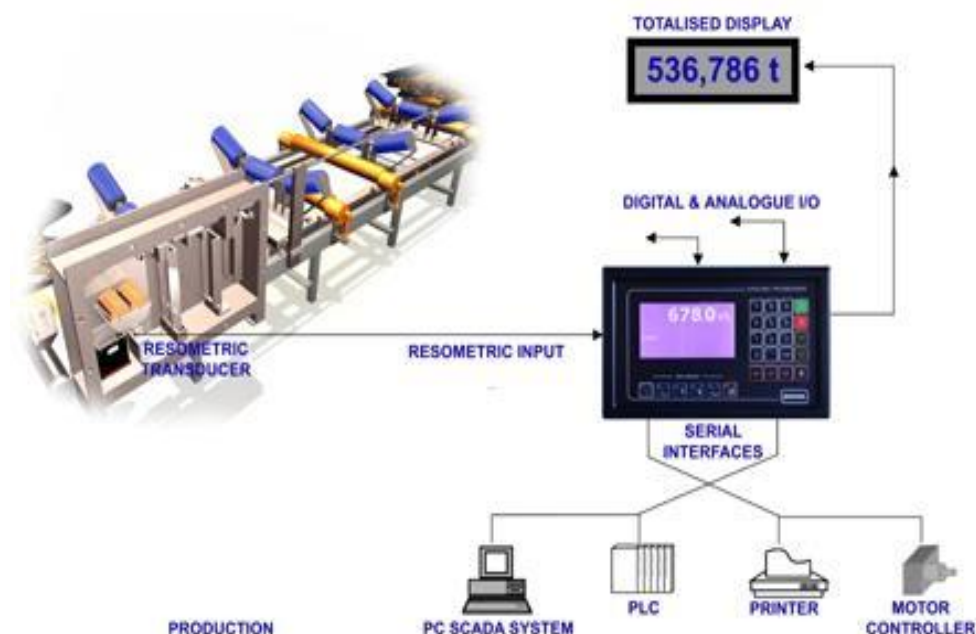
**Εικόνα 2.4.** Σταθερά τοποθετημένο επαγωγικό αισθητήριο για την μέτρηση της ταχύτητας κίνησης του ιμάντα (Εργοστάσιο μηχανικής διαλογής και κομποστοποίησης, ΔΕΔΙΣΑ-Χανιά).

### **2.3.2 Μέτρηση βάρους μεταφερόμενου υλικού μέσω διατάξεων ζύγισης**

Η μέτρηση του βάρους των μεταφερόμενων υλικών μέσω των διατάξεων των ταινιοδρόμων σε μια βιομηχανία ή γραμμή παραγωγής είναι το πλέον σημαντικό μέγεθος, αφού είναι αυτό που δίνει τις πληροφορίες όσον αφορά την απόδοση της εκάστοτε μονάδας μεταφοράς. Τα συστήματα που χρησιμοποιούνται ευρέως σήμερα για τη μέτρηση του βάρους των μεταφερόμενων υλικών σε μεταφορικές ταινίες διακρίνονται σε δυο κύριες κατηγορίες:

α) Διατάξεις επαφής υλικού, όπως είναι η **διάταξη ταινιοζυγού** (Εικ. 2.5). Ένας ή περισσότεροι (αναλόγως της επιθυμητής ακρίβειας) σταθμοί ράουλων μιας μεταφορικής ταινίας, τοποθετούνται πάνω στο πλαίσιο του ταινιοζυγού που έχει αισθητήρια βάρους (δυναμοκυψέλες). Το βάρος του υλικού που μεταφέρει η ταινία πιέζει τον ιμάντα και με τη σειρά του πιέζει τα ράουλα και τους σταθμούς. Το βάρος αυτό καταμετράται συνεχώς από τις δυναμοκυψέλες και στη συνέχεια μέσω του

ηλεκτρονικού οργάνου, μετατρέπεται σε ένδειξη παροχής (π.χ. t/h). Για τους υπολογισμούς της παροχής απαιτείται και η μέτρηση της ταχύτητας κίνησης (m/s) του ιμάντα που γίνεται μέσω του αισθητηρίου ταχύτητας.



Εικόνα 2.5. Ταινιοζυγός ενσωματωμένος σε ταινιόδρομο (<http://www.protemgroup.com>).

β) Ανέπαφες διατάξεις υπολογισμού βάρους του μεταφερόμενου υλικού, όπου στηρίζονται σε προηγμένες τεχνολογικά τεχνικές, όπως:

- **Μέτρηση με τη μέθοδο των μικροκυμάτων.** Τα μικροκύματα εισχωρούν στο κενό χώρο του υλικού (πόρους, αεροθύλακες) προκαλώντας διέγερση των μορίων του νερού που υπάρχει σε αυτούς, με αποτέλεσμα η ταχύτητα των μικροκυμάτων (μεταβολή φάσης) και η έντασή τους να ελαττώνεται (εξασθένηση). Και τα δυο φαινόμενα αυτά χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό του ποσοστού υγρασίας του διερχόμενου υλικού και απαιτούν πολύ χαμηλές ενέργειες της τάξης του 0,1mW και επακόλουθα το υλικό δεν θερμαίνεται ή αλλοιώνεται.

Ένα τέτοιο σύστημα είναι και το LB 442 bulk flow system (Εικ. 2.6) που χρησιμοποιείται εκτεταμένα στη μεταλλευτική βιομηχανία για τον προσδιορισμό με ακρίβεια της ροής των μεταφερόμενων υλικών. Το σύστημα αυτό μέτρησης μπορεί να τοποθετηθεί πάνω από τον ταινιόδρομο και η μέτρηση δεν απαιτεί την επαφή ή

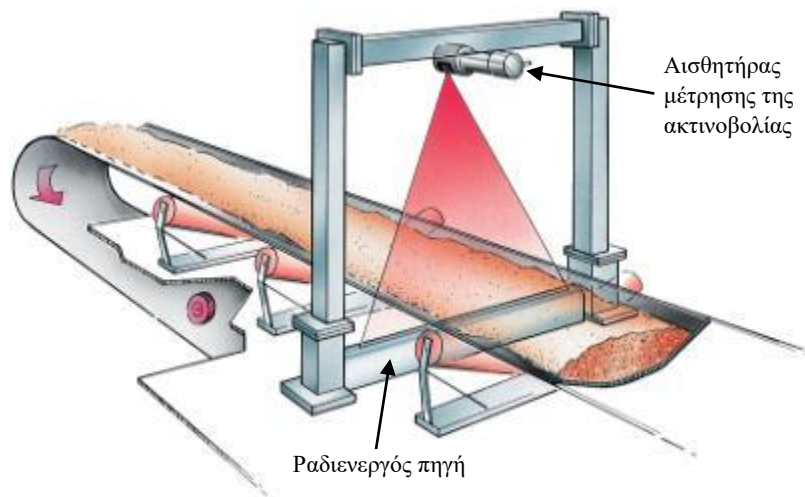
την καταστροφή του υλικού, ενώ παρέχει δεδομένα της ροής μάζας και της υγρασίας του υλικού.



**Εικόνα 2.6.** Σύστημα προσδιορισμού παροχής και υγρασίας με χρήση αισθητήρα μικροκυμάτων, τύπου LB 442 bulk flow system (<https://www.berthold.com/>).

- **Ραδιομετρικό σύστημα.** Το ραδιομετρικό σύστημα (Εικ. 2.7) χρησιμοποιεί ραδιενεργές πηγές ακτινοβολίας γάμμα. Η πηγή ακτινοβολίας αποτελείται από ραδιενεργό υλικό, που είναι ενθυλακωμένο σε σωλήνα από ανοξείδωτο χάλυβα μέσα σε δοχείο θωράκισης, είναι τοποθετημένη κάτω από τον μεταφορέα και είναι ειδικά σχεδιασμένη για το υλικό και το σύστημα μεταφοράς. Ο ανιχνευτής-καταγραφέας της ακτινοβολίας είναι μετρητής σπινθηρισμού (scintillation counter), εγκαθίσταται πάνω από τον μεταφορέα και ευθυγραμμίζεται με την πηγή ακτινοβολίας. Η ένταση της ακτινοβολίας που λαμβάνεται από τον απεριθμητή σπινθηρισμού σχετίζεται με την ποσότητα του υλικού πάνω στην ταινία (φόρτιση  $T/\Delta$ ). Η τιμή αυτή συνδυαζόμενη με τη μέτρηση της ταχύτητας κίνησης του ιμάντα (ένδειξη στροφόμετρου) οδηγεί στον υπολογισμό της παροχής του ταινιόδρομου (t/h).





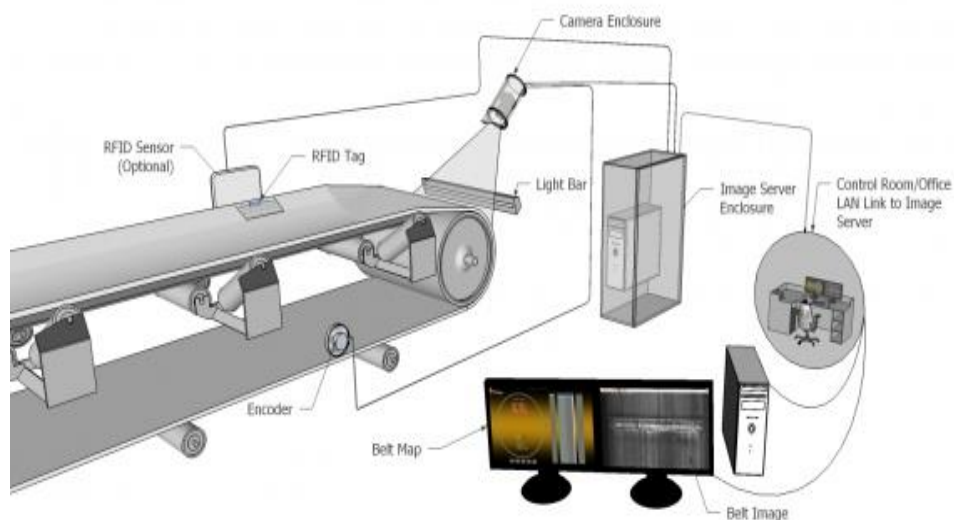
**Εικόνα 2.7.** Ραδιομετρικό σύστημα μέτρησης μάζας και μονάδα αξιολόγησης  
(<https://www.berthold.com/en/pc/bulk-flow>).

Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν οι ανέπαφες μέθοδοι έναντι των κλασσικών μεθόδων μέτρησης βάρους είναι:

- Μέθοδος χωρίς επαφή ή παρέμβαση
- Χωρίς φθορές και καταστροφές
- Ηλεκτρονικός έλεγχος της διαδικασίας
- Ακριβής και χωρίς συντήρηση λειτουργία
- Μέτρηση όλου του προφίλ του υλικού
- Εύκολη εγκατάσταση σε υφιστάμενα συστήματα Τ/Δ

### 2.3.3 Σύστημα παρακολούθησης με οπτικές διατάξεις

Το CBM Beltspy <sup>TM</sup> ([www.cbmi.com.au](http://www.cbmi.com.au)) είναι σύστημα επιθεώρησης ιμάντα μεταφοράς (Εικ.2.8) που χρησιμοποιεί τεχνολογία μηχανικής όρασης (κάμερες) για χρήση κυρίως σε υπόγειες εκμεταλλεύσεις και ορυχεία.



**Εικόνα 2.8.** Σύστημα ελέγχου μεταφορικής ταινίας βασισμένο σε οπτικά συστήματα (κάμερες ορατού φωτός).

Το σύστημα χρησιμοποιεί ειδικούς αλγόριθμους επεξεργασίας εικόνας για την αυτόματη ανίχνευση και έλεγχο της σύνδεσης των τμημάτων των ελαστικών ιμάντων (κλιπ συνδέσεων, συγκολλήσεις) αλλά και των κατεστραμμένων τμημάτων της επιφάνειας των μεταφορικών ταινιών λόγω φθορών. Το σύστημα εντοπίζει τις ακριβείς θέσεις των σημείων αυτών πάνω στον ιμάντα, τις φωτογραφίζει και τις αποθηκεύει για περαιτέρω έλεγχο και τεκμηρίωση. Ο χειριστής μπορεί να συγκρίνει οπτικά δύο εικόνες της ίδιας θέσης που λαμβάνονται σε διαφορετικές χρονικές στιγμές (ημερομηνίες). Αυτό επιτρέπει στον χειριστή να εκτιμά τη χρονική μεταβολή των φθορών.

Τα πλεονεκτήματα αυτής της διάταξης είναι:

- Επιθεώρηση κατά τη διάρκεια των ωρών παραγωγής.
- Παρακολούθηση της χρονικής εξέλιξης των φθορών.
- Άμεση οπτική πρόσβαση και έλεγχος στις συνδέσεις των ιμάντων και στα φθαρμένα τμήματά τους.
- Δυνατότητα παρακολούθησης ταυτόχρονα και των δυο πλευρών του ιμάντα (άνω και κάτω επιφάνεια).
- Χαμηλό κόστος συντήρησης.

Επιπλέον συστήματα που έχουν αναπτυχθεί για τον έλεγχο και την παρακολούθηση των Τ/Δ είναι :

- Η Μέθοδος ανίχνευσης υπέρυθρης ακτινοβολίας διπλής ζώνης βασισμένη σε μέση υπέρυθρη και μακροχρόνια υπέρυθρη όραση για διαμήκη σχισίματα μεταφορικών ταινιών (Yu, B., Qiao, T., Zhang, H., Gaowei Yan, G. 2018)
- Το σύστημα υγιούς ελέγχου ταχύτητας των μεταφορικών ταινιών για τη μεταφορά χύδην υλικών όπου σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα, η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται με επιτυχία για τον καθορισμό του ελάχιστου χρόνου ρύθμισης της ταχύτητας του ιμάντα για να εξασφαλιστούν υγιείς μεταβατικές λειτουργίες, συμπεριλαμβανομένων των λειτουργιών επιτάχυνσης και επιβράδυνσης. Με τον προτεινόμενο χρόνο ρύθμισης, αποφεύγονται απροσδόκητοι κίνδυνοι και ο μεταφορικός ιμάντας παρουσιάζει μια κατάλληλη δυναμική συμπεριφορά. ( D., Pang, Y., Lodewijks, G., Liu, X. 2018.)

#### **2.3.4 Πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα των χρησιμοποιούμενων διατάξεων, προτεινόμενη νέα προσέγγιση**

Οι διατάξεις που αναφερθήκαν παραπάνω, παρουσιάζουν και κάποια μειονεκτήματα, όπως είναι για παράδειγμα το μεγάλο κόστος εγκατάστασης των συστημάτων μηχανικής όρασης (κάμερες), τα συχνά σφάλματα στις ζυγίσεις των ταινιοζυγών καθώς και οι αποκλίσεις στις μετρήσεις υγρασίας των συστημάτων που βασίζονται στα μικροκύματα και στην ακτινοβολία γάμμα, ιδιαίτερα για ορισμένα υλικά με χαμηλό πορώδες. Επιπλέον η ταυτόχρονη παρακολούθηση της απόδοσης (ρυθμός μεταφοράς υλικών από τον Τ/Δ) και της καλής λειτουργίας του (κατάσταση ελαστικού ιμάντα, εκφυγές, ολισθήσεις, κ.ά.) απαιτεί την εγκατάσταση πλέον του ενός συστημάτων παρακολούθησης, γεγονός που οδηγεί σε αύξηση τόσο του κόστους ελέγχου όσο και της πολυπλοκότητας του συστήματος. Επιπλέον τα συστήματα που χρησιμοποιούν μικροκύματα και ακτινοβολίες απαιτούν ειδικές διατάξεις ασφαλείας και ειδική εκπαίδευση του προσωπικού.

Τα τελευταία χρόνια έχει αναπτυχθεί μια νέα τεχνολογία που στηρίζεται στη συνεχή καταγραφή τόσο της διατομής του υλικού επί της ταινίας όσο και της επιφάνειας του κενού ιμάντα (προφίλομετρία) με χρήση σαρωτών μέτρησης απόστασης με ακτίνες λέιζερ γνωστών ως LIDAR (Light Detection and Ranger). Με την τεχνική αυτή επιχειρείται να υπολογιστεί κυρίως η απόδοση (ρυθμός μεταφοράς υλικών από τον T/Δ) σε ογκομετρική βάση ( $m^3/h$ ) και εμμέσως στη συνέχεια να υπολογιστεί η απόδοση του T/Δ σε  $t/h$  με χρήση της φαινόμενης πυκνότητας του υλικού (πυκνότητα του χύδην υλικού). Η τεχνική αυτή είναι ανέπαφη, έχει μικρό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας, έχει ικανοποιητική ακρίβεια και είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε περιπτώσεις όπου μεταφέρονται ομογενή χύδην υλικά με σταθερή φαινόμενη πυκνότητα ή σε περιπτώσεις όπου προτιμάται ο υπολογισμός της παροχής σε ογκομετρική βάση. Οι μέχρι τώρα εφαρμογές είναι περιορισμένες και αφορούν κυρίως τη χρήση των διατάξεων αυτών για τον υπολογισμό της ογκομετρικής παροχής T/Δ και τα υπάρχοντα δημοσιευμένα άρθρα είναι περιορισμένα (Τοπάλογλου, 2016). Επίσης δεν υπάρχουν δημοσιευμένα στοιχεία για χρήση των διατάξεων αυτών για εντοπισμό λειτουργικών προβλημάτων των T/Δ.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αναπτύχθηκε ένα τέτοιο σύστημα βασισμένο σε ένα αισθητήρα Lidar και μέσω μιας σειράς δυναμικών μετρήσεων σε βιομηχανικό T/Δ επιχειρήθηκε να εκτιμηθεί η δυνατότητά του για μέτρηση τόσο της απόδοσης του T/Δ όσο και της διάγνωσης λειτουργικών προβλημάτων που σχετίζονται με την κατανομή του υλικού επί του ελαστικού ιμάντα και με την φθορά-καταπόνησή του. Ένα τέτοιο σύστημα εφόσον αποδειχθεί αξιόπιστο και αποτελεσματικό μπορεί να αντικαταστήσει τα υπάρχοντα βιομηχανικά συστήματα με επιτυχία αφού είναι, οικονομικότερο, απλούστερο στην εγκατάσταση και λειτουργία του και επιπλέον είναι πιο ολοκληρωμένο από τα υπάρχοντα συστήματα, αφού μπορεί να υπολογίζει τόσο την απόδοση όσο και να εντοπίζει τα λειτουργικά προβλήματα των T/Δ.

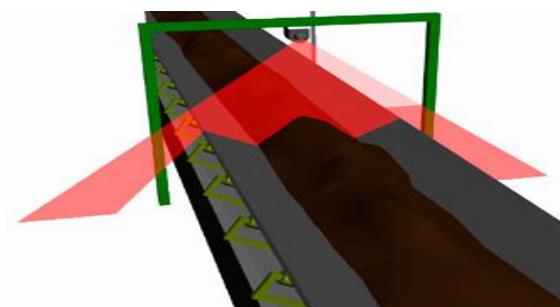
## Κεφάλαιο 3. Εφαρμοζόμενη τεχνολογία - πειραματική διάταξη που αναπτύχθηκε και μεθοδολογία μετρήσεων

### 3.1 Οπτική τεχνολογία ανίχνευσης με χρήση αισθητήρων τύπου Lidar

Οι μετρήσεις των πειραμάτων βασίστηκαν στην οπτική τεχνολογία ανίχνευσης με χρήση αισθητήρα τύπου Lidar. Οι αισθητήρες LIDAR (Light Detection και Ranging) λειτουργούν με την ίδια αρχή όπως το ραντάρ, δηλαδή αποστολή ενός οπτικού κύματος σε ένα αντικείμενο και υπολογισμός του χρόνου επιστροφής του στην πηγή. Με βάση τον χρόνο αυτό (time of flight) είναι δυνατή η μέτρηση της απόστασης μεταξύ των δύο σημείων, της πηγής και του στόχου. Με το φως λέιζερ είναι δυνατόν να μετρηθούν με ακρίβεια πολύ μικρά αντικείμενα (έως και σε μεγέθη αερολυμάτων), πράγμα που το καθιστά ιδιαίτερα κατάλληλο σε πλήθος εφαρμογών (Συμεωνίδης, 2007).

Η τεχνολογία Lidar έχει σήμερα ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, χρησιμοποιείται πάρα πολύ για την κατασκευή χαρτών υψηλής ανάλυσης καθώς και στη γεωδαισία, στη γεωχωρική τεχνολογία (geomatics), την αρχαιολογία, τη γεωγραφία, τη γεωλογία, τη γεωμορφολογία, τη σεισμολογία, τη δασοκομία, τη φυσική της ατμόσφαιρας, την εναέρια χαρτογράφηση και την υψομετρία λέιζερ (Δημητρακάκης Ι.-Τοπάλογλου Φ. 2016).

Για τη μέτρηση της διατομής χύδην υλικών σε μεταφορικές ταινίες με την τεχνολογία Lidar χρησιμοποιείται ένας σαρωτής λέιζερ που σαρώνει την επιφάνεια του χύδην υλικού επί της ταινίας και υπολογίζει τη διατομή του μέσω των αποστάσεων που μετράει (Εικ. 3.1).



**Εικόνα 3.1.** Αισθητήρας Lidar τοποθετημένος σε μεταφορική ταινία μεταφοράς χύδην υλικών (γαιάνθρακας) ([www.lase.de](http://www.lase.de)).

Με τη χρήση σαρωτών λέιζερ υψηλής ανάλυσης με ρυθμό σάρωσης μέχρι 300 σαρώσεις ανά δευτερόλεπτο, υπάρχει η δυνατότητα καταγραφής της διατομής του υλικού με ακρίβεια ακόμη και σε υψηλές ταχύτητες μεταφοράς. Οι σαρωτές Lidar συνοδεύονται από ειδικό λογισμικό που ενσωματώνει ειδικούς αλγόριθμους για τη ρύθμιση και τη βαθμονόμηση, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται υψηλή ακρίβεια μέτρησης.

Στη μέθοδο της άμεσης μέτρησης (time of flight) εκπέμπεται ένας διακριτός παλμός και χρησιμοποιούνται ένα ή περισσότερα χρονόμετρα για τη μέτρηση της χρονικής διαφοράς μεταξύ του εκπεμπόμενου παλμού και της ηχώ επιστροφής. Για τη λήψη αξιόπιστων μετρήσεων (αποκλεισμός παρεμβολών, κ.ά.) μετρείται η ένταση του παλμού επιστροφής (ηχώ) και λαμβάνονται υπόψη οι επιστροφές των οποίων η ένταση υπερβαίνει μια κατώτατη τιμή (κατώφλι). Αυτή η χρονική διαφορά  $\Delta t$  μπορεί να μετατραπεί απευθείας σε απόσταση, με βάση την ακόλουθη εξίσωση:

$$d = \frac{C \cdot \Delta t}{2} \quad (3.1)$$

Όπου:  $d$  είναι η απόσταση πηγής-στόχου,  $C$  είναι η ταχύτητα του φωτός (299792458 m/s) και  $\Delta t$  είναι χρονική διαφορά (time of flight) (leddartech.com).

### **3.1.1 Αισθητήρας Lidar Distance Data Output/URG-04LX-UG01**

Για την κατασκευή του πειραματικού συστήματος για την πραγματοποίηση των μετρήσεων της διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιήθηκε αισθητήρας τεχνολογίας Lidar τύπου URG-04LX-UG01 (Εικ. 3.2) της εταιρείας Hokuyo. Ο αισθητήρας αυτός ανήκει στον εργαστηριακό εξοπλισμό της Ερευνητικής Μονάδας «Έλεγχος Ποιότητας-Υγιεινή και Ασφάλεια στη Μεταλλευτική» της Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης.



**Εικόνα 3.2.** Αισθητήρας Lidar/URG-04LX-UG01.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα Lidar URG-04LX-UG01 δίνονται στον Πίνακα 3.1.

**Πίνακας 3.1.** Τεχνικά χαρακτηριστικά\* του αισθητήρα Lidar URG-04LX-UG01

- Βάρος: 160g.
- Ισχύς: 2.5W.
- Μέγιστη απόσταση μέτρησης: 4000-5600mm (ανάλογα με τις συνθήκες).
- Γωνιακό εύρος: 240 ° (Εικ. 3.3).
- Ακρίβεια\*\* ( $\pm 30\text{mm}$ ) για αποστάσεις έως 1000mm και  $\pm 3\%$  για μεγαλύτερες.
- Ένταση φωτισμού στον περιβάλλοντα χώρο: λιγότερο από 10000Lx (ηλιακό φως)
- Γωνιακή ανάλυση ( $0,352^\circ$ ).
- Αριθμός σαρώσεων ανά δευτερόλεπτο: 1-10 σαρώσεις /s

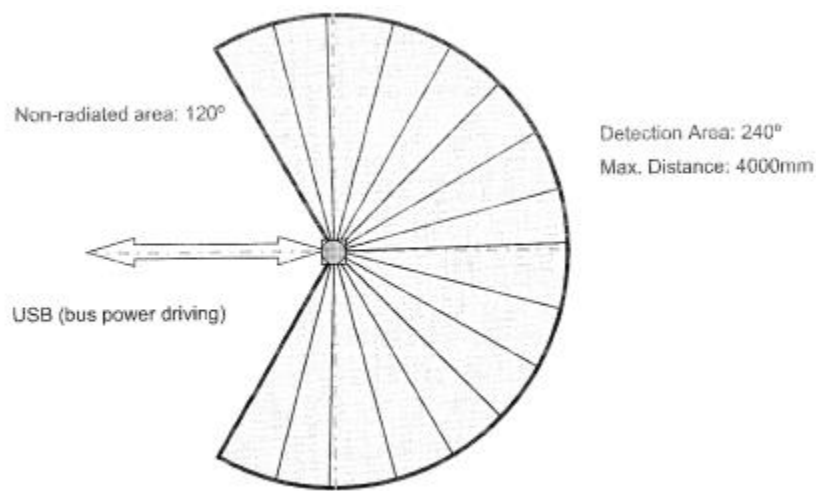
\*Τα ανωτέρω έχουν πιστοποιηθεί για στόχους διαστάσεων  $70 \times 70 \text{mm}^2$  με ανακλαστική ικανότητα όμοια με του λευκού χαρτιού.

\*\* Η ακρίβεια αυτή αναφέρεται σε σαρώσεις σε ανοικτό χώρο με μεταβαλλόμενες συνθήκες φωτισμού και ποικιλία αντικειμένων μέτρησης. Σε ελεγχόμενο περιβάλλον μετρήσεων το σφάλμα μέτρησης περιορίζεται σημαντικά.

Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει ο αισθητήρας Lidar Hokuyo-URG-04LX-UG01 σε σχέση με τα συστήματα παρακολούθησης που αναφέρθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια είναι:

- Είναι χαμηλού κόστους και κατάλληλος για ανάπτυξη πειραματικών διατάξεων σε εργαστηριακή και σε ημι-βιομηχανική κλίμακα.

- Είναι εύκολος στη σύνδεση και επικοινωνία του με Η/Υ καθώς χρησιμοποιεί θύρα τύπου USB.
- Έχει πολλές εφαρμογές στον αυτοματισμό και τη ρομποτική.
- Η εγκατάσταση και το πλαίσιο στήριξής του είναι απλά στην κατασκευή.
- Συνοδεύεται από λογισμικό για ολοκληρωμένη παρακολούθηση και ανάλυση των μετρήσεών του.
- Έχει μειωμένο κόστος συντήρησης, μικρό βάρος και μικρή κατανάλωση ενέργειας.



**Εικόνα 3.3.** Γωνιακό εύρος της περιοχής σάρωσης του αισθητήρα Lidar τύπου Hokuyo- URG-04LX-UG01(Hokuyo Automatic CO.LTD).

### 3.2 Πειραματική διάταξη και διεξαγωγή μετρήσεων

Για τις ανάγκες του πειραματικού μέρους της εργασίας αυτής κατασκευάστηκε διάταξη σκοτεινού θαλάμου (Εικ. 3.4), όπου τοποθετήθηκε ο αισθητήρας Lidar, με σκοπό την προστασία του αισθητήρα από εξωτερικές παρεμβολές (αντανάκλασεις από εξωτερικές πηγές φωτισμού) και τη λήψη αξιόπιστων μετρήσεων.

Ο σκοτεινός θάλαμος που κατασκευάστηκε για τη διεξαγωγή του πειράματος, αποτελείται από τρία μέρη:

α) Το ορθογώνιο μεταλλικό πλαίσιο διαστάσεων 139\*179 cm το οποίο τοποθετήθηκε στον σκελετό του ταινιόδρομου

β) Το κύριο μέρος του θαλάμου κατασκευασμένο από σκληρό πλαστικό τύπου PVC μαύρου χρώματος



γ) Τη μεταλλική τετράγωνη βάση με το λάστιχο ασφαλείας μέσα στην οποία τοποθετήθηκε ο αισθητήρας.



**Εικόνα 3.4.** Πειραματική διάταξη σκοτεινού θαλάμου για μετρήσεις με Lidar σε ταινιόδρομο BC-339A.

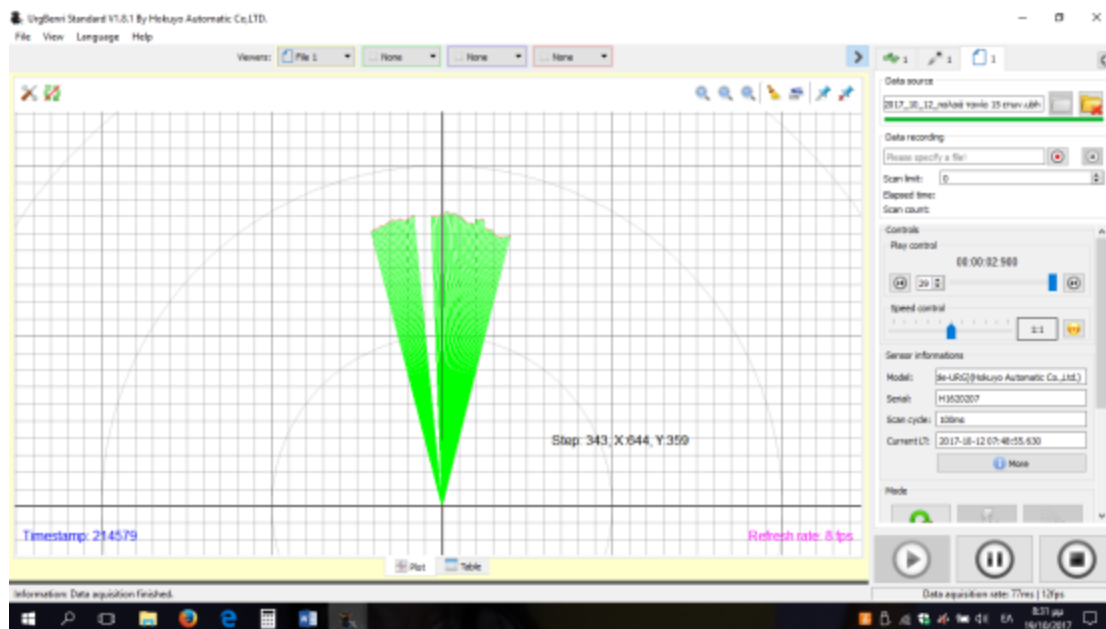
Η πειραματική διάταξη του σκοτεινού θαλάμου με τον αισθητήρα τοποθετήθηκε στον ταινιόδρομο BC-339A του τμήματος μηχανικής διαλογής του εργοστασίου Μηχανικής Διαλογής και Κομποστοποίησης (ΕΜΑΚ-Δ.Ε.ΔΙ.Σ.Α) Χανίων ο οποίος μεταφέρει το κοσκινισμένο κλάσμα μεγέθους <70mm (οργανικό-χαρτί 55% ,γυαλί 29% , πέτρες-αδρανή-μέταλλα 10% ,πλαστικά 5% υφάσματα 1%) προς την δεξαμενή ταχείας κομποστοποίησης.

Για την ηλεκτρονική παρακολούθηση και καταγραφή των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε φορητός ηλεκτρονικός υπολογιστής Η/Υ συνδεδεμένος μέσω θυρών USB με τον αισθητήρα του θαλάμου (Εικ. 3.5), καθώς και το κατάλληλο λογισμικό που συνοδεύει τον αισθητήρα Lidar.



**Εικόνα 3.5.** Ηλεκτρονική καταγραφή και παρακολούθηση μετρήσεων του αισθητήρα Lidar.

Το λογισμικό απεικονίζει συνεχώς στην οθόνη του Η/Υ τη μορφή της διατομής του υλικού (Εικ. 3.6) που διέρχονταν κάθε χρονική στιγμή από τον ιμάντα και κατέγραφε τα δεδομένα στη μνήμη με μορφή υπολογιστικών φύλλων Excel (Εικ. 3.7). Το συγκεκριμένο λογισμικό δίνει τη δυνατότητα να οριστεί κάθε φορά το χρονικό διάστημα καταγραφής, το πλήθος των σαρώσεων του υλικού επάνω στον ιμάντα, η γωνία της δέσμης των ακτινών του αισθητήρα που προσπίπτουν επάνω στον ταινιόδρομο και η συχνότητα σάρωσης.



**Εικόνα 3.6.** Απεικόνιση της σάρωσης μέσω του λογισμικού στην οθόνη του Η/Υ.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
2	timestamp_1	timestamp_2	timestamp_3	timestamp_4	timestamp_5	timestamp_6	timestamp_7	timestamp_8			
3	885220	885321	885422	885523	885624	885725	885826	885927			
4	logTime_1	logTime_2	logTime_3	logTime_4	logTime_5	logTime_6	logTime_7	logTime_8			
5	25:45.8	25:45.9	25:46.0	25:46.1	25:46.2	25:46.3	25:46.4	25:46.5			
6	distance_0	distance_0	distance_0	distance_0	distance_0	distance_0	distance_0	distance_0			
7	1641	1649	1646	1651	1639	1645	1645	1642			
8	1641	1640	1646	1643	1637	1642	1643	1642			
9	1640	1640	1646	1643	1637	1642	1640	1642			
10	1641	1642	1646	1651	1639	1645	1643	1642			
11	1652	1649	1646	1643	1645	1651	1643	1648			
12	1652	1644	1644	1645	1646	1653	1647	1648			
13	1652	1650	1660	1647	1646	1658	1647	1648			
14	1661	1651	1652	1647	1649	1660	1652	1654			
15	1661	1650	1652	1647	1649	1660	1651	1654			
16	1661	1649	1655	1651	1658	1660	1652	1654			
17	1654	1649	1655	1651	1658	1660	1652	1654			
18	1654	1649	1655	1656	1658	1660	1657	1648			
19	1652	1649	1655	1656	1651	1653	1652	1648			
20	1652	1659	1655	1656	1651	1653	1657	1648			

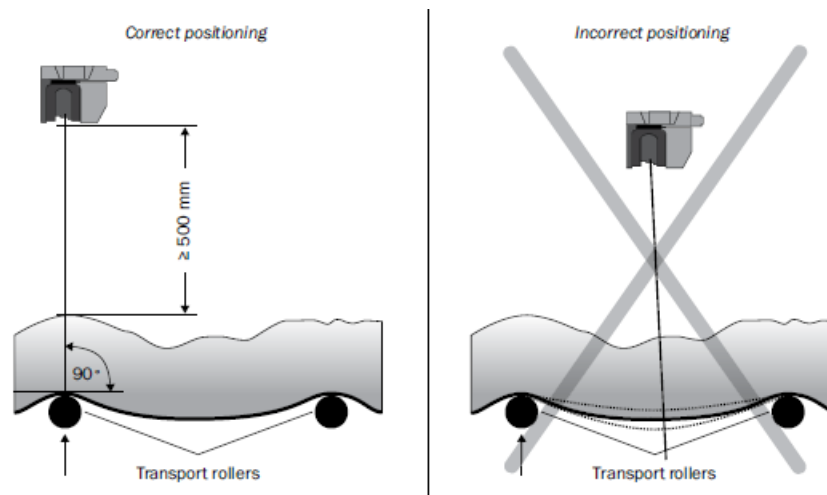
Εικόνα 3.7 Αποτελέσματα μετρήσεων με το Lidar σε μορφή υπολογιστικού φύλλου Excel.

Στην εικόνα 3.6 φαίνεται μια τυπική καταγραφή-απεικόνιση της διατομής του υλικού που διέρχεται από τον ιμάντα μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Η μη συνεχής παρουσία του πράσινου χρώματος, που εμφανίζεται σε μία συγκεκριμένη γωνία σάρωσης, σημαίνει αδυναμία καταγραφής του χρόνου επιστροφής της ακτίνας στη γωνία αυτή. Το γεγονός αυτό, όπως παρατηρήθηκε, σχετίζεται είτε με σημεία της επιφάνειας του ιμάντα που εμφανίζουν φθορά (εφόσον σαρώνεται άδειος ιμάντας), είτε με την παρουσία μεταφερόμενων υλικών επάνω στον ιμάντα που έχουν εντελώς διαφορετικό συντελεστή ανάκλασης από τα υπόλοιπα, εφόσον η σάρωση γίνεται σε έμφορτο ιμάντα. Τέτοια υλικά μπορεί να είναι το γυαλί που μπορεί να βρεθεί στο οργανικό κλάσμα μετά τις διατάξεις κοσκίνισης, ή χαρτί με επικάλυψη αλουμινίου στο κλάσμα των ανακυκλώσιμων υλικών. Η παρουσία τέτοιων μη αναμενόμενων τιμών στις μετρήσεις του αισθητήρα Lidar δημιουργεί πρόβλημα στον υπολογισμό της διατομής του υλικού επί του ιμάντα και απαιτεί έλεγχο των μετρήσεων και διόρθωση των λανθασμένων τιμών πριν προχωρήσει η διαδικασία υπολογισμού. Ταυτόχρονα όμως η παρουσία τέτοιων τιμών παρέχει πληροφορία για το είδος του μεταφερόμενου υλικού και για τη φθορά του ελαστικού ιμάντα του T/Δ.

### 3.3 Μεθοδολογία μετρήσεων

Πριν την έναρξη των πειραματικών μετρήσεων πραγματοποιήθηκε έλεγχος καλής λειτουργίας του αισθητήρα και μέτρηση προφίλ πρότυπου κυβόλιθου στο εργαστήριο και επιβεβαιώθηκε η ορθή λειτουργία του. Στη συνέχεια τοποθετήθηκε ο σκοτεινός θάλαμος με τον αισθητήρα πάνω από τον ταινιόδρομο BC-339 σε ύψος 1500 mm από την ταινία πλάτους 1000 mm.

Η τοποθέτηση του θαλάμου με τον αισθητήρα έγινε σε σημείο όπου υπήρχε ραουλοσταθμός (Εικ. 3.8) έτσι ώστε η επιφάνεια του μάντα που σαρώνεται να έχει πλήρη επαφή με τους υποβαστακτικούς κυλίνδρους (ράουλα) και να μην υπόκειται σε ταλαντώσεις που θα οδηγούσαν σε λανθασμένες μετρήσεις του Lidar.



**Εικόνα 3.8.** Σωστή (αριστερά) και λάθος θέση τοποθέτησης (δεξιά) του αισθητήρα Lidar ([www.sick.com](http://www.sick.com)).

Στη συνέχεια έγινε η ευθυγράμμιση του σκοτεινού θαλάμου με τον ταινιόδρομο με τέτοιο τρόπο ώστε οι ακτίνες του αισθητήρα να προσπίπτουν κάθετα (Εικ. 3.9, 3.10)

**Εικόνα 3.9.** Τοποθέτηση θαλάμου συμμετρικά του ραουλοσταθμού του ταινιόδρομου (πλάγια όψη).



στον άξονα περιστροφής των ράουλων του σταθμού και τέλος η ρύθμιση του εύρους της γωνίας σάρωσης (από  $-14^{\circ}$  έως  $14^{\circ}$ ) έτσι ώστε να καλύπτεται ολόκληρο το πλάτος της ταινίας με το υλικό. Η συχνότητα σάρωσης ορίστηκε σε 10 Hz, δηλαδή σε 10 scan/s.



**Εικόνα 3.10.** Διάταξη ευθυγράμμισης θαλάμου μέτρησης με ιμάντα και υποβαστακτικούς κυλίνδρους (ράουλα) ταινιόδρομου (κάτοψη).

Μετά την ευθυγράμμιση της διάταξης μέτρησης και με χρήση των ρυθμίσεων που αναφέρθηκαν παραπάνω πραγματοποιήθηκαν οι παρακάτω μετρήσεις:

1. **Στατικές μετρήσεις** (ακινητοποιημένος ταινιόδρομος) για υπολογισμό της διατομής του υλικού πάνω στον ιμάντα τόσο με τον αισθητήρα Lidar όσο και με παχύμετρο. Υπολογίστηκε η διατομή του χύδην μεταφερόμενου υλικού στον ιμάντα σε τρεις διαφορετικές θέσεις για να εκτιμηθεί η αξιοπιστία των μετρήσεων της πειραματικής διάταξης. Η μέτρηση της διατομής με το παχύμετρο έγινε σε 12 ισαπέχοντα σημεία (απόσταση σημείων μέτρησης 5 cm) με βύθιση της ακίδος του παχυμέτρου μέσα στο υλικό. Ο υπολογισμός της διατομής έγινε στη συνέχεια με τον κανόνα του Simpson.
2. **Δυναμικές μετρήσεις σε κενό ιμάντα** για τον προσδιορισμό της διατομής του ιμάντα και τον έλεγχο επιφανειακής φθοράς. Οι μετρήσεις αυτές περιλάμβαναν:
  - Μετρήσεις με κενό ιμάντα ("0-προφίλ"). Πρόκειται για την αρχική μέτρηση στην οποία καταγράφηκε το προφίλ του κενού ιμάντα (χωρίς υλικό).
  - Μετρήσεις της διατομής κενών ιμάντων τριών διαφορετικών ηλικιών. Οι μετρήσεις αυτές είχαν ως στόχο να διερευνήσουν αν είναι δυνατός ο έλεγχος της επιφανειακής φθοράς και γήρανσης του ιμάντα μέσω των διαφορετικών προφίλ που καταγράφει ο αισθητήρας Lidar της πειραματικής διάταξης που χρησιμοποιήθηκε. Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε τμήματα ιμάντων τριών διαφορετικών ηλικιών: σε ιμάντα 15 ετών, 7 ετών και σε νέο ιμάντα. Οι μετρήσεις των σαρώσεων των επιφανειών τους συγκρίθηκαν στη συνέχεια με τις εικόνες των επιφανειών τους για τη συσχέτιση των μετρήσεων των σαρώσεων και της επιφανειακής φθοράς τους.
  - Μέτρηση της διατομής κενού ιμάντα που έφερε σχισμή. Η μέτρηση αυτή είχε ως στόχο να διερευνήσει αν είναι δυνατός ο έγκαιρος εντοπισμός τέτοιων βλαβών που μπορεί να συμβούν κατά τη λειτουργία των Τ/Δ. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκε τεχνητό σκίσιμο σε ιμάντα ο οποίος τοποθετήθηκε κάτω από τον σκοτεινό θάλαμο και πάνω από τον ταινιόδρομο 339. Στη συνέχεια τέθηκε σε κίνηση ο ταινιόδρομος και

μετρήθηκε από τον αισθητήρα Lidar η διατομή του κενού σχισμένου ιμάντα.

3. **Δυναμικές μετρήσεις με έμφορτο ιμάντα** για προσδιορισμό της διατομής του χύδην μεταφερόμενου υλικού και στη συνέχεια του ρυθμού μεταφοράς του Τ/Δ, του βαθμού φόρτισής του και της ομοιομορφίας κατανομής του υλικού επί του ιμάντα.

- Μέτρηση με έμφορτο ιμάντα που διακινεί κοσκινισμένο υλικό ανακύκλωσης (μπλε κάδος). Στη μέτρηση αυτή καταγράφηκε το προφίλ του χύδην υλικού πάνω στον ιμάντα. Πρόκειται για το διερχόμενο υλικό που έχει περάσει από δυο διατάξεις κοσκίνων, από ηλεκτρομαγνήτη και είναι μεγέθους <70mm. Στο σύνολό του αποτελείται από συστατικά όπως γυαλί, χαρτί, μικρά κομμάτια πλαστικού, κ.λπ.
- Μέτρηση με έμφορτο ιμάντα που διακινεί κοσκινισμένο σύμμεικτο απόρριμμα (πράσινος κάδος). Καταγράφηκε η διατομή του διερχόμενου χύδην υλικού που έχει περάσει και αυτή από δυο διατάξεις κοσκίνων και ένα ηλεκτρομαγνήτη. Είναι μεγέθους <70mm και αποτελείται κυρίως από οργανικά υλικά όπως υπολείμματα φαγητού, φρούτα, λαχανικά, κ.λπ.

Επίσης για τον προσδιορισμό της φαινόμενης πυκνότητας του χύδην υλικού (κλάσμα <70mm ανακυκλώσιμου και οργανικού υλικού) πραγματοποιήθηκαν συνεχείς δειγματοληψίες με δοχείου γνωστού όγκου (8,7 L) ανά 20 min από το υλικό που μετέφερε ο ιμάντας. Τέλος έγινε μέτρηση της ταχύτητας του ταινιόδρομου με ψηφιακό ταχύμετρο. Η ταχύτητα του ταινιόδρομου μετρήθηκε σε 1,05 m/s, τιμή πολύ κοντά στην ονομαστική του ταχύτητα που είναι 1 m/s.

### 3.4 Υπολογισμοί απόδοσης και λειτουργικής κατάστασης Τ/Δ με βάση τις μετρήσεις του αισθητήρα Lidar

#### Υπολογισμός διατομής του υλικού και ωριαίας απόδοσης

Για τον υπολογισμό της ωριαίας απόδοσης (ρυθμός μεταφοράς υλικών) του Τ/Δ είναι απαραίτητο να υπολογιστεί η διατομή  $A$  ( $m^2$ ) του υλικού επί του ιμάντα και η ταχύτητα κίνησης  $v$  ( $m/s$ ) αφού η απόδοση  $Q_v$  ( $m^3/h$ ) δίνεται από σχέση 3.2:

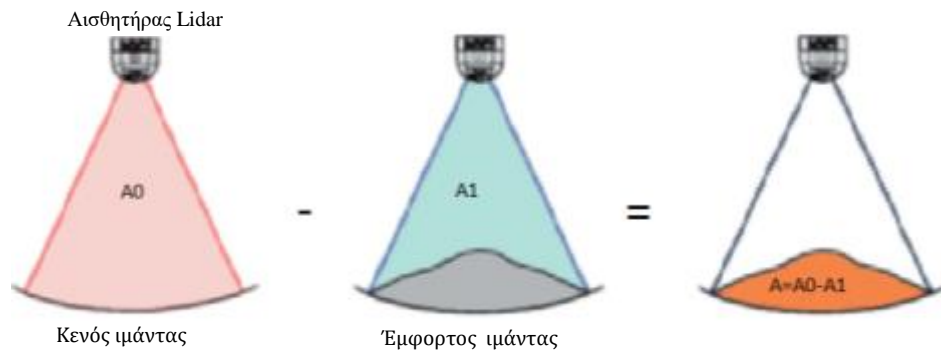
$$Q_v (m^3/h) = 3600 A v \quad (3.2)$$

Αν η φαινόμενη πυκνότητα του χύδην υλικού είναι  $\rho_\phi$  σε  $g/cm^3$  τότε η απόδοση  $Q_m$  σε  $t/h$  δίνεται από σχέση 3.3:

$$Q_m (t/h) = 3600 A v \rho_\phi \quad (3.3)$$

Η ταχύτητα  $v$  του ταινιόδρομου συνήθως παραμένει σταθερή και μετράται με ταχύμετρο. Η πυκνότητα  $\rho_\phi$  για ομοιογενές υλικό θεωρείται ότι δεν μεταβάλλεται σημαντικά, ενώ σε περιπτώσεις μεταφοράς διαφορετικών υλικών απαιτείται συχνή δειγματοληψία για εκτίμηση της μέσης πυκνότητας  $\rho_\phi$ .

Για τον υπολογισμό της διατομής του υλικού επί του ιμάντα με βάση τις μετρήσεις του αισθητήρα χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία που δίνεται παραστατικά στην Εικόνα 3.11. Αρχικά υπολογίστηκε η επιφάνεια  $A_0$  με μέτρηση των αποστάσεων του αισθητήρα από τον κενό ιμάντα, στη συνέχεια η επιφάνεια  $A_1$  με μέτρηση των αποστάσεων του αισθητήρα από τον έμφορτο ιμάντα και τέλος υπολογίστηκε η διατομή του υλικού με αφαίρεση της  $A_1$  από την  $A_0$ .



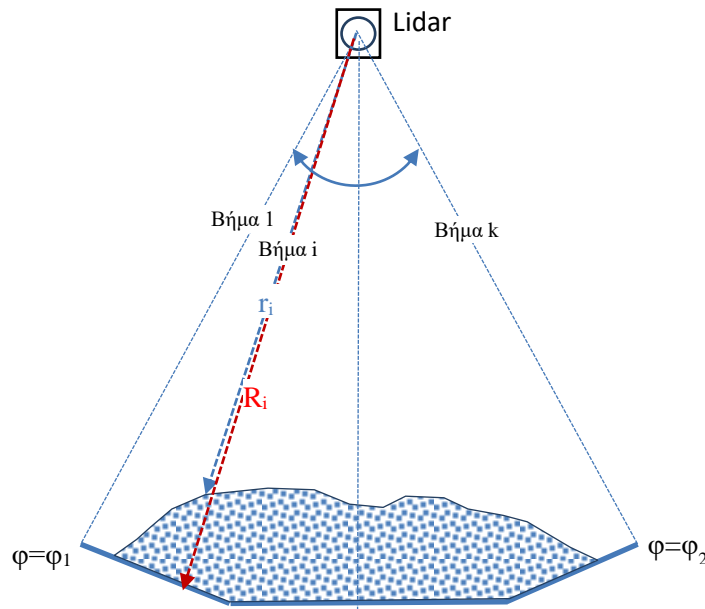
**Εικόνα 3.11.** Τρόπος υπολογισμού της διατομής του υλικού επί του ιμάντα με σάρωση αρχικά του κενού ιμάντα και στη συνέχεια του έμφορτου.

(SICK AG whitepaper, "Meeting point for research and practice" 18<sup>TH</sup> Bulk goods conveyor equipment symposium 2013.)

Για τον υπολογισμό των επιφανειών  $A_0$  και  $A_1$ , που σαρώνει ο αισθητήρας Lidar, χρησιμοποιήθηκαν οι σχέσεις υπολογισμού που βασίζονται σε σύστημα πολικών συντεταγμένων με πόλο τη θέση του αισθητήρα Lidar (Εικ. 3.12). Ως ακτίνες  $R_i$  και  $r_i$  θεωρήθηκαν αντίστοιχα οι αποστάσεις που υπολογίζει ο αισθητήρας, στο βήμα μέτρησης  $i$ , από τον κενό και τον έμφορτο ιμάντα αντίστοιχα. Το γωνιακό βήμα



σάρωσης του αισθητήρα είναι  $\delta\varphi=360^\circ/1024$  και οι γωνίες σάρωσης  $\varphi_1$  έως  $\varphi_2$  επιλέγονται έτσι ώστε να καλύπτουν ολόκληρο το πλάτος του ιμάντα. Η γωνία  $\varphi_1$  θεωρείται η γωνία έναρξης της σάρωσης και αντιστοιχεί στην πρώτη μέτρηση (βήμα 1) και η γωνία  $\varphi_2$  θεωρείται η τελική γωνία και αντιστοιχεί στην τελευταία μέτρηση (βήμα k). Ο αριθμός των βημάτων k είναι,  $k=(\varphi_2-\varphi_1)/\delta\varphi$ .



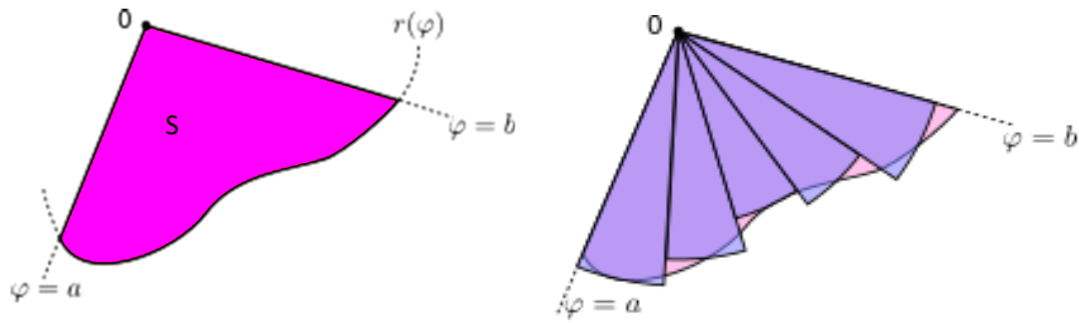
**Εικόνα 3.12.** Υπολογισμός της διατομής του υλικού επί του ιμάντα.

Ο αναλυτικός υπολογισμός της επιφάνειας  $S$  που περιλαμβάνεται μεταξύ των γωνιών  $\varphi=a$  και  $\varphi=b$  όταν είναι γνωστή η αναλυτική σχέση  $r(\varphi)$  μεταξύ της ακτίνας  $r$  και της γωνίας  $\varphi$ , σε σύστημα πολικών συντεταγμένων (Εικ. 3.13) δίνεται από τη σχέση (3.4)

$$S = \frac{1}{2} \int_a^b [r(\varphi)]^2 d\varphi \quad (3.4)$$

Αν η αναλυτική σχέση  $r(\varphi)$  δεν είναι γνωστή, τότε ο υπολογισμός της επιφάνειας  $S$  μπορεί να προσεγγιστεί με το άθροισμα των επιφανειών  $n$  διαδοχικών στοιχειωδών κυκλικών τομέων (Εικ. 3.13). Θεωρείται ότι κάθε στοιχειώδης κυκλικός τομέας  $i$  έχει ακτίνα  $r_i$  και γωνία  $\delta\varphi$  ίση με  $(a-b)/n$  (η γωνία  $\varphi$  είναι σε ακτίνια). Η επιφάνεια  $S$  υπολογίζεται από τη σχέση (3.5) :

$$S = \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} r_i^2 \delta\varphi \quad (3.5)$$



**Εικόνα 3.13.** Αναλυτικός (αριστερά) και προσεγγιστικός (δεξιά) υπολογισμός της επιφάνειας  $S$  σε σύστημα πολικών συντεταγμένων ([https://en.wikipedia.org/wiki/Polar\\_coordinate\\_system](https://en.wikipedia.org/wiki/Polar_coordinate_system)).

Καθώς αυξάνεται ο αριθμός  $n$  των στοιχειωδών κυκλικών τομέων αυξάνει η ακρίβεια υπολογισμού της επιφάνειας  $S$ . Όταν το  $n \rightarrow \infty$ , το άθροισμα γίνεται το άθροισμα Riemann για το παραπάνω ολοκλήρωμα.

Με βάση τη σχέση 3.5 οι επιφάνειες  $A_0$  και  $A_1$  δίνονται από τις σχέσεις 3.6 και 3.7:

$$A_0 = \sum_{i=1}^k \frac{1}{2} R_i^2 \delta\varphi \quad (3.6)$$

$$A_1 = \sum_{i=1}^k \frac{1}{2} r_i^2 \delta\varphi \quad (3.7)$$

ενώ η διατομή του υλικού επί του ιμάντα  $A$  δίνεται από τη σχέση 3.8:

$$A = A_0 - A_1 = \sum_{i=1}^k \frac{1}{2} (R_i^2 - r_i^2) \delta\varphi = \frac{1}{2} \delta\varphi \sum_{i=1}^k (R_i^2 - r_i^2) \quad (3.8)$$

Λαμβάνοντας υπόψη ότι για τον συγκεκριμένο αισθητήρα Lidar η γωνιακή διακριτική ικανότητα  $\delta\varphi = 360^\circ/1024$  ή  $2\pi/1024$  εφόσον η γωνία  $\varphi$  είναι σε ακτίνια, η διατομή  $A$  δίνεται από τη σχέση 3.9:

$$A = \frac{1}{2} \frac{2\pi}{1024} \sum_{i=1}^k (R_i^2 - r_i^2) = \frac{\pi}{1024} \sum_{i=1}^k (R_i^2 - r_i^2) \quad (3.9)$$

Με βάση τη μετρούμενη διατομή  $A$  του υλικού επί του ιμάντα μπορεί να υπολογιστεί ο βαθμός φόρτισης ταινιόδρομου (%), που δείχνει την επιτυγχανόμενη παροχή  $Q$  (είτε σε  $m^3/h$  είτε σε  $t/h$ ) ως ποσοστό της ονομαστικής  $Q_{nom}$  (παροχή σχεδιασμού):

$$B_{\varphi}(\%) = \frac{Q}{Q_{nom}} 100 \quad (3.10)$$

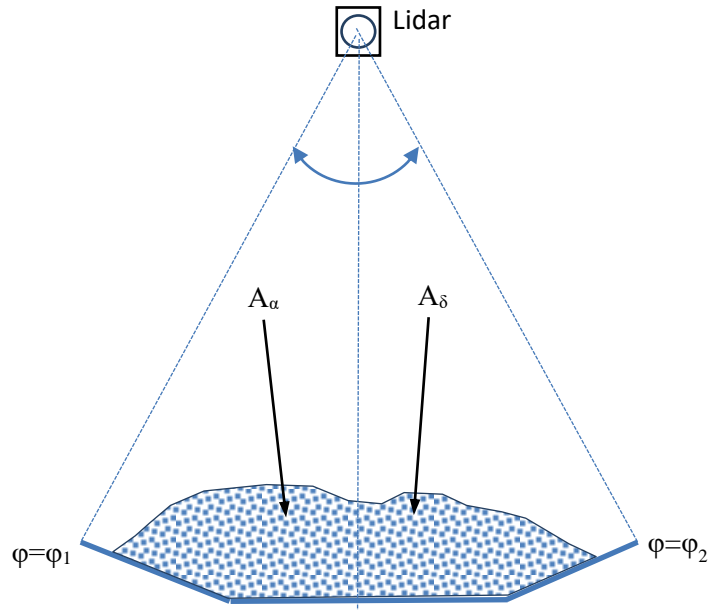
Υπολογισμός λειτουργικών παραμέτρων που σχετίζονται με την κατανομή του υλικού επί του ιμάντα

Με βάση τις μετρήσεις του αισθητήρα Lidar μπορεί να απεικονιστεί η μορφή της κατανομής του υλικού επί του ιμάντα και να υπολογιστούν τα μεγέθη που σχετίζονται με λειτουργικά προβλήματα του ταινιόδρομου, όπως ο δείκτης ομοιομορφίας κατανομής υλικού επί του ιμάντα και το μέγιστο ύψος του. Ο δείκτης ομοιομορφίας κατανομής του υλικού μας δείχνει αν το υλικό είναι συμμετρικά κατανεμημένο ως προς τον επιμήκη άξονα του ιμάντα μεταφοράς.

Ο δείκτης που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της εργασίας αυτής βασίζεται στη διαίρεση της διατομής του υλικού επί του ιμάντα σε δύο τμήματα (δεξιά και αριστερά του κέντρου του ιμάντα) και στη σύγκρισή τους. Έτσι αν θεωρήσουμε ότι  $A_{\alpha}$  είναι η διατομή του υλικού επί του ιμάντα από το μέσο και αριστερά και  $A_{\delta}$  είναι από το μέσο προς τα δεξιά (Εικ. 3.14.) τότε ο δείκτης (%) ομοιομορφίας κατανομής του υλικού επί του ιμάντα δίνεται από την σχέση 3.11 :

$$\Delta_{om}(\%) = \frac{(A_{\alpha} - A_{\delta})}{A} 100 \quad (3.11)$$

Ο δείκτης  $\Delta_{om}$  λαμβάνει τιμές στο διάστημα  $[-1 \quad +1]$ . Τιμές του δείκτη  $\Delta_{om}$  κοντά στο μηδέν δείχνουν ομοιόμορφη κατανομή του υλικού επί του ιμάντα. Αντίθετα τιμές που αποκλίνουν από το μηδέν (είτε αρνητικές είτε θετικές) δείχνουν ανομοιόμορφη κατανομή υλικού με συσσώρευση στην αριστερή πλευρά του ιμάντα για θετικές αποκλίσεις και στη δεξιά πλευρά του ιμάντα για αρνητικές. Συστηματικές αποκλίσεις (ίδιο πρόσημο) του  $\Delta_{om}$  από το μηδέν είναι ενδεικτικές μη σωστής φόρτωσης από τον τροφοδότη του υλικού επί του ιμάντα, που όπως αναφέρθηκε παραπάνω, μπορεί να προκαλέσει την πρόωρη φθορά ή /και την εκφυγή του.



**Εικόνα 3.14.** Διαίρεση της διατομής του υλικού σε δύο τμήματα, αριστερά  $A_\alpha$  και δεξιά  $A_\delta$  του μέσου του ιμάντα για τον υπολογισμό του δείκτη ομοιομορφίας κατανομής του υλικού.

Για την παρακολούθηση και τον έλεγχο της επιφανειακής φθοράς του ιμάντα αναπτύχθηκε ο δείκτης επιφανειακής φθοράς. Βασίζεται στην παρατήρηση ότι για περιοχές του κενού ιμάντα με φθορά η απόσταση που υπολογίζει ο αισθητήρας Lidar είναι μηδενική ή λαμβάνει πολύ μικρή τιμή (κεφ. 3.2), η οποία είναι σε προφανή ασυμφωνία με την αναμενόμενη απόσταση (έκτροπες τιμές). Ο δείκτης φθοράς  $\Delta_{\varepsilon\varphi}$  υπολογίστηκε ως το ποσοστό (%) των έκτροπων τιμών που καταγράφονται σε μια σάρωση του ιμάντα από τον αισθητήρα Lidar, σε σχέση με τον συνολικό αριθμό των σημείων σάρωσης. Έτσι, αν  $K_{1,j}$  είναι οι έκτροπες τιμές κατά την σάρωση,  $j$  και  $K_j$  είναι ο συνολικός αριθμός των σημείων σάρωσης, τότε ο δείκτης επιφανειακής φθοράς κατά την σάρωση  $j$  είναι:

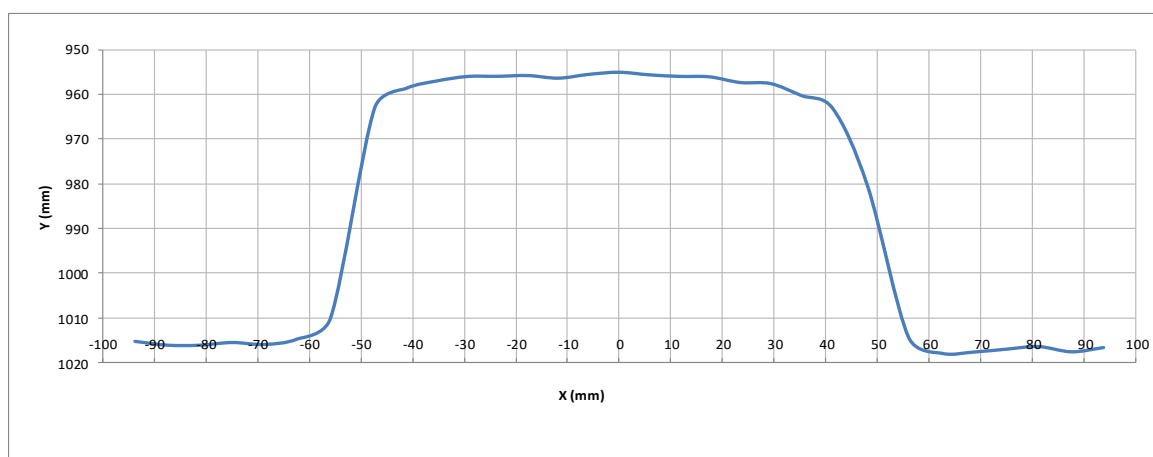
$$\Delta_{\varepsilon\varphi,j} = \frac{K_{1,j}}{K} * 100 \quad (3.12)$$

Ο δείκτης επιφανειακής φθοράς μπορεί να χαρτογραφηθεί απεικονίζοντας μια σειρά από διαδοχικές σαρώσεις του κενού ιμάντα. Αποτελεί ένα ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο γρήγορου εντοπισμού και εκτίμησης των φθορών του ελαστικού ιμάντα.

## Κεφάλαιο 4. Παρουσίαση και συζήτηση των αποτελεσμάτων

### 4.1 Μετρήσεις για τον έλεγχο της καλής λειτουργίας του Lidar

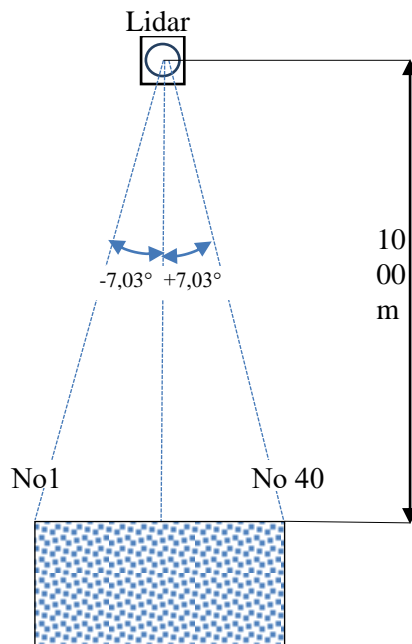
Οι μετρήσεις για τον έλεγχο της καλής λειτουργίας του Lidar πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο της Ερευνητικής Μονάδας «Έλεγχος Ποιότητας-Υγιεινή και Ασφάλεια στη Μεταλλευτική» με τη χρήση ενός πρότυπου κυβόλιθου. Ο κυβόλιθος διαστάσεων  $100 \times 100 \times 60 \text{ mm}^3$  τοποθετήθηκε σε απόσταση 1000 mm από τον αισθητήρα Lidar και μετρήθηκε τόσο η απόσταση της άνω επιφάνειας κυβόλιθου από το σημείο στο οποίο είχε τοποθετηθεί ο αισθητήρας Lidar, όσο και το πάχος του με βάση τη διατομή που προέκυψε από την σάρωσή του (Εικ. 4.1).



**Εικόνα 4.1.** Απεικόνιση της διατομής του κυβόλιθου, όπως προέκυψε από τη σάρωση με τον αισθητήρα Lidar, σε σύστημα ορθογωνίων καρτεσιανών συντεταγμένων.

Το τυχαίο σφάλμα του Lidar υπολογίστηκε ως το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMSE) 50 επαναλαμβανόμενων μετρήσεων (50 διαδοχικές σαρώσεις). Το RMSE της απόστασης του κυβόλιθου από τον αισθητήρα Lidar υπολογίστηκε για κάθε μια από τις γωνίες πρόπτωσης των ακτίνων που σάρωσαν την επιφάνεια του κυβόλιθου, προκειμένου να διαπιστωθεί αν υπάρχει συστηματική μεταβολή του σφάλματος σε σχέση με τη γωνία πρόσπτωσης της δέσμης λέιζερ του Lidar.

Για τη σάρωση της άνω επιφάνειας του κυβόλιθου διαστάσεων  $100 \times 100 \text{ mm}^2$  απαιτήθηκαν 40 σημεία μέτρησης, που αντιστοιχούν σε γωνίες πρόσπτωσης των ακτίνων λέιζερ του Lidar από  $-7,03^\circ$  έως  $+7,03^\circ$  μετρούμενες ως προς την κατακόρυφο (Εικ. 4.2).



**Εικόνα 4.2.** Σχηματικό διάγραμμα της σάρωσης της άνω επιφάνειας του κυβολίθου με τον αισθητήρα Lidar (χωρίς κλίμακα).

Το μέσο RMSE για όλες τις γωνίες πρόπτωσης υπολογίστηκε σε 3,05 mm που αντιστοιχεί σε σχετικό σφάλμα 0,3% αφού η απόσταση κυβολίθου-Lidar είναι 1000 mm. Τόσο το απόλυτο όσο και το σχετικό RMSE που υπολογίστηκαν είναι σημαντικά μικρότερα εκείνων που εγγυάται ο κατασκευαστής σφάλμα του αισθητήρα Lidar (Πιν. 3.1). Η μεταβολή του σφάλματος σε σχέση με τη γωνία πρόσπτωσης, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.3 δεν έδειξε κάποια συστηματική μεταβολή για το εύρος των γωνιών που εξετάστηκαν.



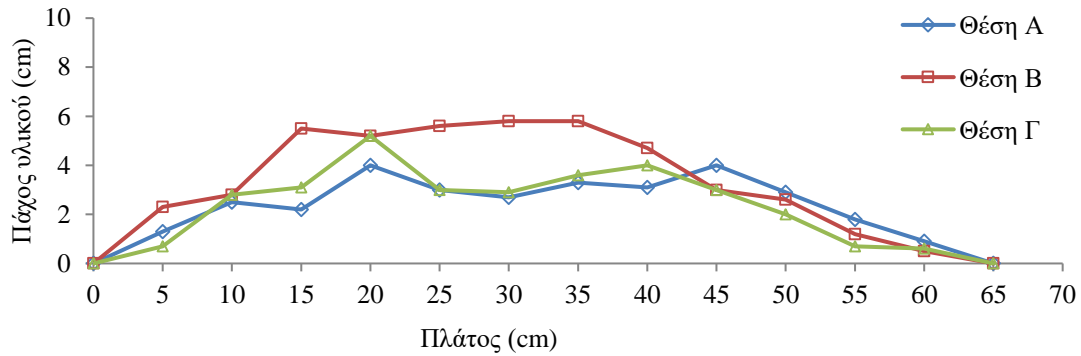
**Εικόνα 4.3.** Μεταβολή του μέσου τετραγωνικού σφάλματος σε σχέση με τη γωνία πρόσπτωσης της ακτίνας λέιζερ του Lidar.

## 4.2 Προκαταρκτικές μετρήσεις της διατομής του υλικού με χρήση παχυμέτρου

Οι μετρήσεις αυτές είχαν ως στόχο να γίνει μια αρχική εκτίμηση της μορφής και του εμβαδού της διατομής του υλικού επί του έμφορτου ιμάντα μεταφοράς. Οι μετρήσεις αυτές χρησιμοποιήθηκαν για να γίνουν ευκολότερα οι ρυθμίσεις του αισθητήρα (απόσταση αισθητήρα-ιμάντα, γωνιακό εύρος και συχνότητα σάρωσης), αλλά και για να δώσουν το αναμενόμενο εύρος της μεταβολής του εμβαδού της διατομής του υλικού. Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις της διατομής του υλικού στον ακινητοποιημένο ταινιόδρομο 339A σε τρεις θέσεις (Α, Β, Γ). Η μέτρηση της διατομής έγινε με βύθιση της ακίδας του παχυμέτρου εντός του υλικού σε 12 ισαπέχοντα σημεία. Με βάση τα μετρηθέντα πάχη του υλικού υπολογίστηκε με τον κανόνα του Simpson το εμβαδόν της διατομής του υλικού. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζονται στον πίνακα 4.1. Παρατηρούμε ότι η διατομή του υλικού μεταβάλλεται από ~150-220 cm<sup>2</sup>, ενώ το μέγιστο πάχος του υλικού από 4-6 cm. Η μεταβολή του πάχους του υλικού επί του ιμάντα, όπως φαίνεται στην Εικ. 4.4, είναι περίπου συμμετρική ως προς το μέσο, ενώ το πλάτος που καταλαμβάνει το υλικό είναι ~65 cm και στις τρεις θέσεις.

**Πίνακας 4.1.** Υπολογισμός διατομής υλικού επί του ιμάντα με χρήση παχυμέτρου σε τρεις θέσεις.

Θέση Α		Θέση Β		Θέση Γ	
Α/Α μέτρησης	Πάχος (cm)	Α/Α μέτρησης	Πάχος (cm)	Α/Α μέτρησης	Πάχος (cm)
1	1.3	1	2.3	1	0.7
2	2.5	2	2.8	2	2.8
3	2.2	3	5.5	3	3.1
4	4.0	4	5.2	4	5.2
5	3.0	5	5.6	5	3.0
6	2.7	6	5.8	6	2.9
7	3.3	7	5.8	7	3.6
8	3.1	8	4.7	8	4.0
9	4.0	9	3.0	9	3.0
10	2.9	10	2.6	10	2.0
11	1.8	11	1.2	11	0.7
12	0.9	12	0.5	12	0.6
<b>Διατομή (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>152.75</b>	<b>Διατομή (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>218</b>	<b>Διατομή (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>154.75</b>



**Εικόνα 4.4.** Μεταβολή του πάχους του υλικού επί του ιμάντα με βάση τις μετρήσεις του παχυμέτρου για τις θέσεις Α, Β, Γ.

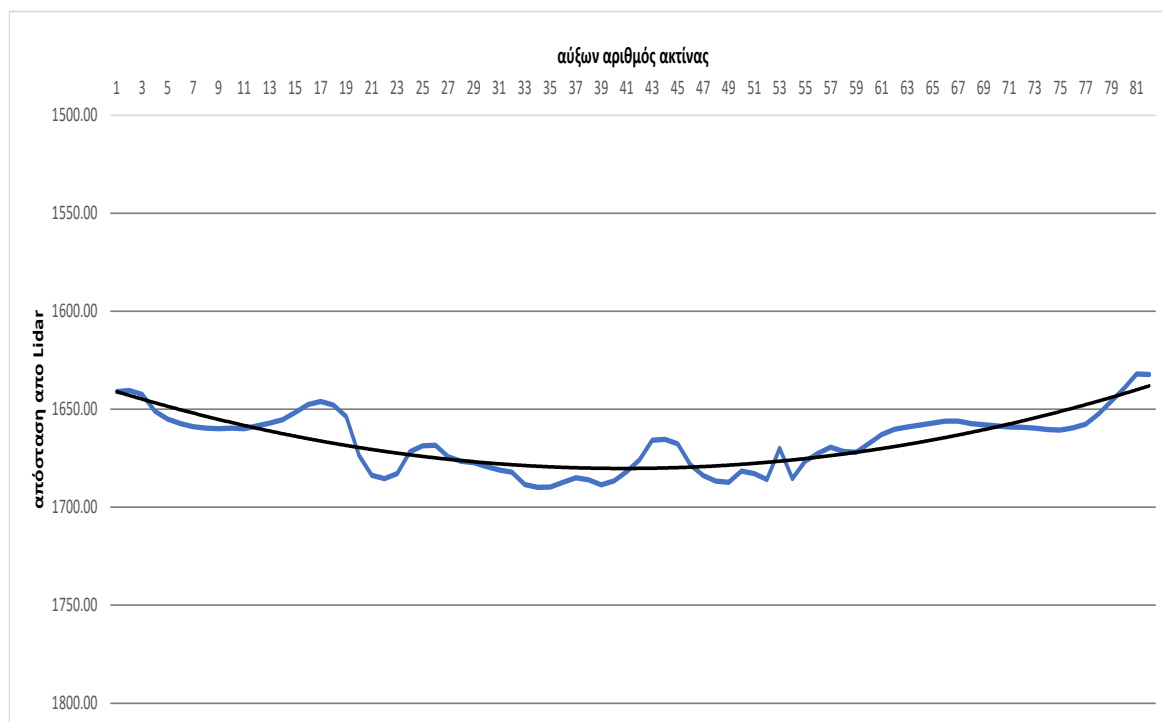
### 4.3 Δυναμικές μετρήσεις σε κενό ιμάντα

Οι δυναμικές μετρήσεις σε κενό ιμάντα περιλαμβάνουν τις μετρήσεις του χωρίς υλικό στον Τ/Δ BC-339, για την καταγραφή του ("0-προφίλ") του ιμάντα εν λειτουργία, τις μετρήσεις διατομής τριών διαφορετικής ηλικίας ιμάντων για διερεύνηση πιθανών επιφανειακών φθορών τους καθώς επίσης και τη μέτρηση της διατομής κενού ιμάντα που έφερε σχισμή για διερεύνηση αν είναι δυνατός ο έγκαιρος εντοπισμός τέτοιων βλαβών που μπορεί να συμβούν κατά τη λειτουργία ενός ταινιόδρομου.

#### 4.3.1 Μετρήσεις με κενό ιμάντα ("0-προφίλ")

Ο Τ/Δ με τον βιομηχανικό κωδικό BC-339 που πραγματοποιήθηκαν οι δυναμικές μετρήσεις για την καταγραφή του κενού ("0-προφίλ") του ιμάντα είναι τοποθετημένος στο χώρο της μηχανικής διαλογής του Ε.Μ.Α.Κ. Χανίων και μεταφέρει υλικά προς την δεξαμενή κομποστοποίησης. Είναι σκαφοειδούς μορφής με κλίση πλευρικών ράουλων στις 20°, συνολικού μήκους 110 m και πλάτους 1000 mm, παροχής σχεδιασμού 37,9 t/h και μεταφορικής ικανότητας 351 m<sup>3</sup>/h για υλικό με κοκκομετρική διαβάθμιση 0-60 mm. Τέλος ο ιμάντας του Τ/Δ σύμφωνα με αυτά που αναφέρθηκαν και στην παράγραφο 1.3 είναι τύπου EP 315/2. Οι μετρήσεις που λάβαμε για την καταγραφή της διατομής του κενού ιμάντα του Τ/Δ παρουσιάζονται στο γράφημα της Εικ. 4.5.



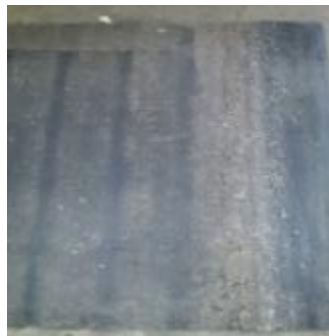
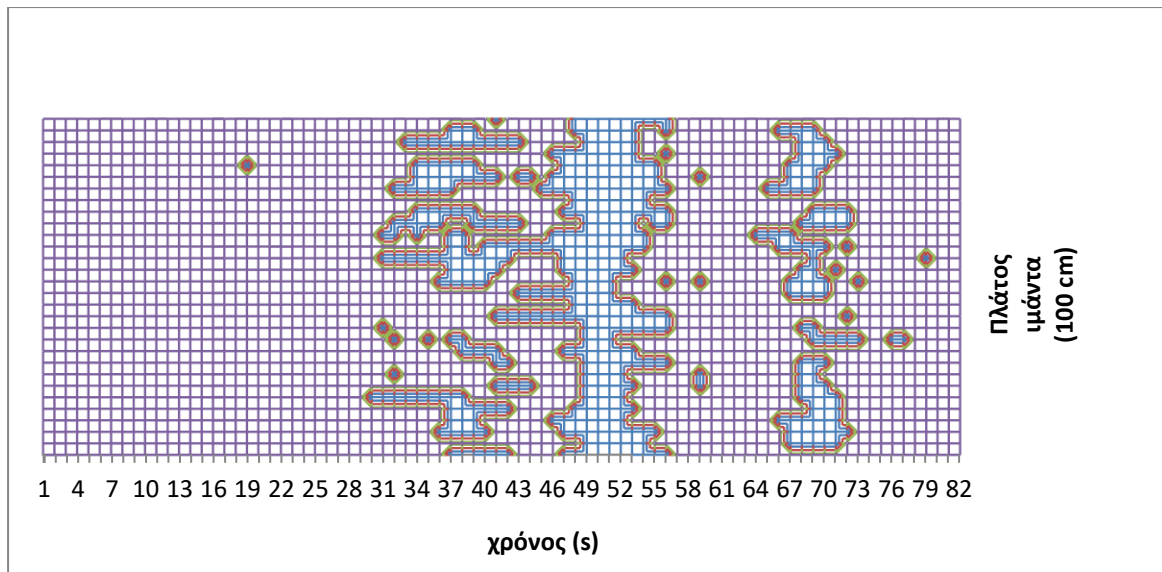


**Εικόνα 4.5.** Μέτρηση ("0-προφίλ") με τον αισθητήρα Lidar

Παρατηρώντας την Εικ. 4.5, διακρίνεται ότι υπάρχει διαφορά μεταξύ των τιμών της διατομής του κενού μάντα του T/Δ BC-339 που λήφθηκαν με τη χρήση του αισθητήρα Lidar από το πρότυπο προφίλ του μάντα που αντιστοιχεί στην μαύρη καμπύλη. Η απόκλιση αυτή μπορεί να οφείλεται κατά κύριο λόγο στη γήρανση που παρουσιάζει ο μάντας λόγω της πολυετούς χρήσης του, καθώς επίσης σε κάποιες στρεβλώσεις των ραουλοσταθμών του ή φθοράς των ράουλων κύλισης, που επηρεάζουν σημαντικά την πορεία κύλισης του μάντα επάνω στον T/Δ.

#### **4.3.2 Μετρήσεις κενών μάντων διαφορετικής ηλικίας**

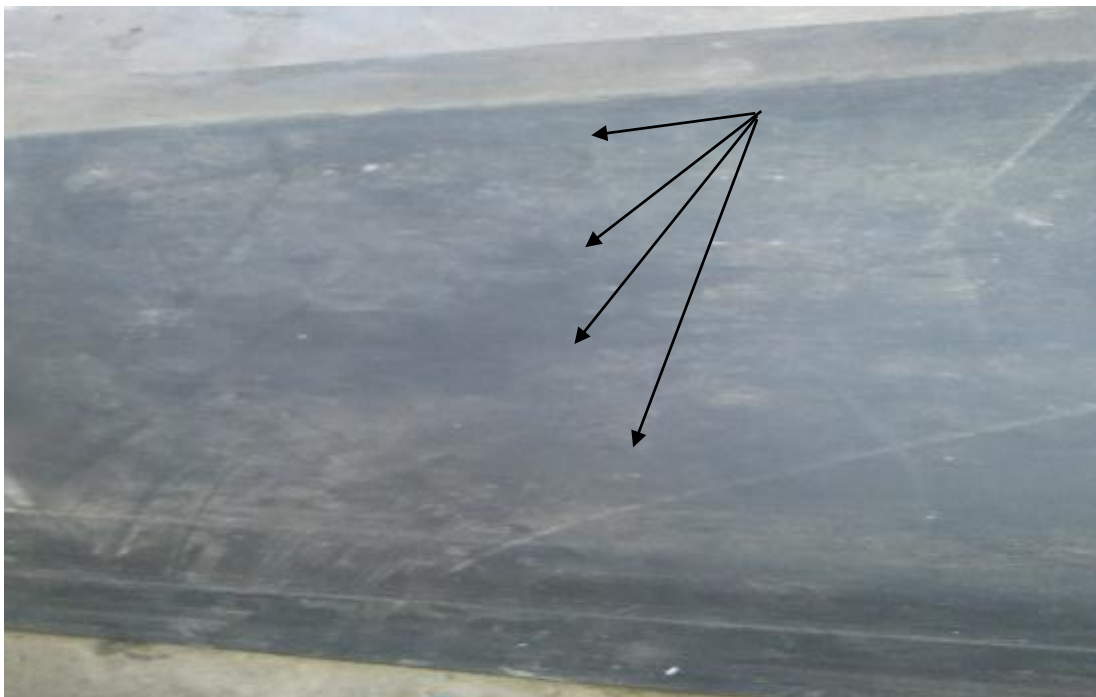
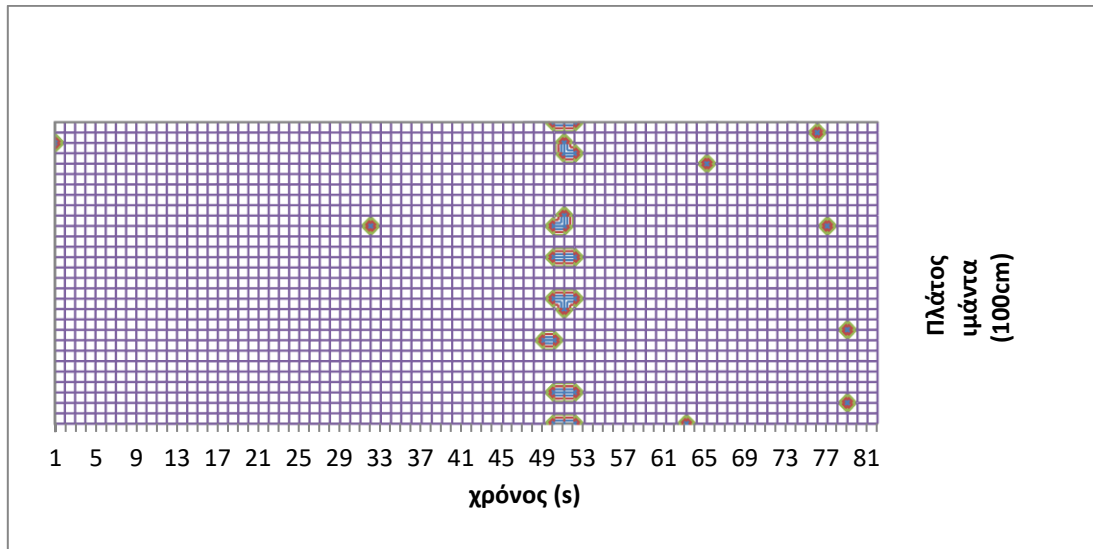
Με τη βοήθεια του excel έγινε χαρτογράφηση των μετρήσεων που λήφθηκαν με την χρήση του αισθητήρα Lidar. Με αυτόν τον τρόπο δόθηκε η δυνατότητα της παρατήρησης και σύγκρισης οπτικά των επιφανειακών φθορών που παρουσίαζαν οι μάντες των διαφορετικών ηλικιών όπως φαίνεται παρακάτω.



**Εικόνα 4.6.**Χαρτόγραφηση μετρήσεων Lidar για φθορά ιμάντα ηλικίας 15 ετών, όπου φαίνεται η έντονη επιφανειακή φθορά λόγω παλαιότητας.

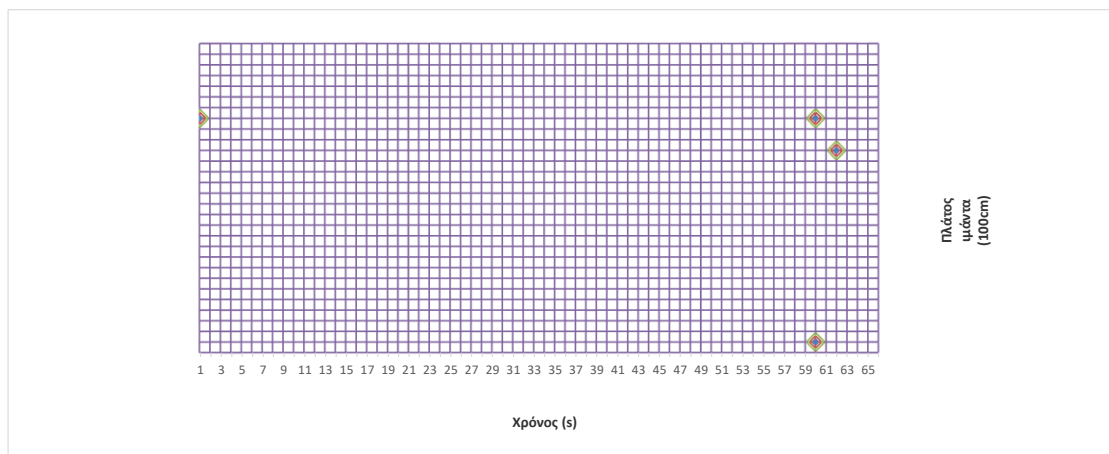
Συγκρίνοντας οπτικά την Εικ. 4.6, φαίνεται η πραγματική απεικόνιση του ιμάντα όπου διακρίνεται η έντονη φθορά λόγω της λειτουργίας του για χρονικό διάστημα 15 ετών, με αυτήν που αντιστοιχεί στη χαρτογράφιση των μετρήσεων που λήφθηκαν μέσω του αισθητήρα Lidar και παρατηρείται η ταύτισή τους στα σημεία που παρουσιάζεται η φθορά. Φαίνεται δηλαδή ότι η περιοχή του ιμάντα με τη μεγαλύτερη και έντονη φθορά συμπίπτει με τις μη αναμενόμενες τιμές της χαρτογράφισης των αποτελεσμάτων του αισθητήρα. Όπως και στη μέτρηση της διατομής του προηγούμενο ιμάντα, έτσι και σε αυτόν τον ιμάντα ηλικίας 7 ετών αν συγκριθεί οπτικά η Εικ. 4.7, παρατηρείται η επιφανειακή φθορά όπου είναι μικρότερη σαφώς σε έκταση σε σχέση με τον ιμάντα ηλικίας 15 ετών με τα αποτελέσματα της χαρτογράφισης των τιμών του Lidar. Φαίνονται και εδώ τα σημεία (μικρότερα σε

αριθμό) που αντιστοιχούν στη φθορά λόγω της χρήσης του, δηλαδή στις μη αναμενόμενες τιμές της χαρτογράφησης.



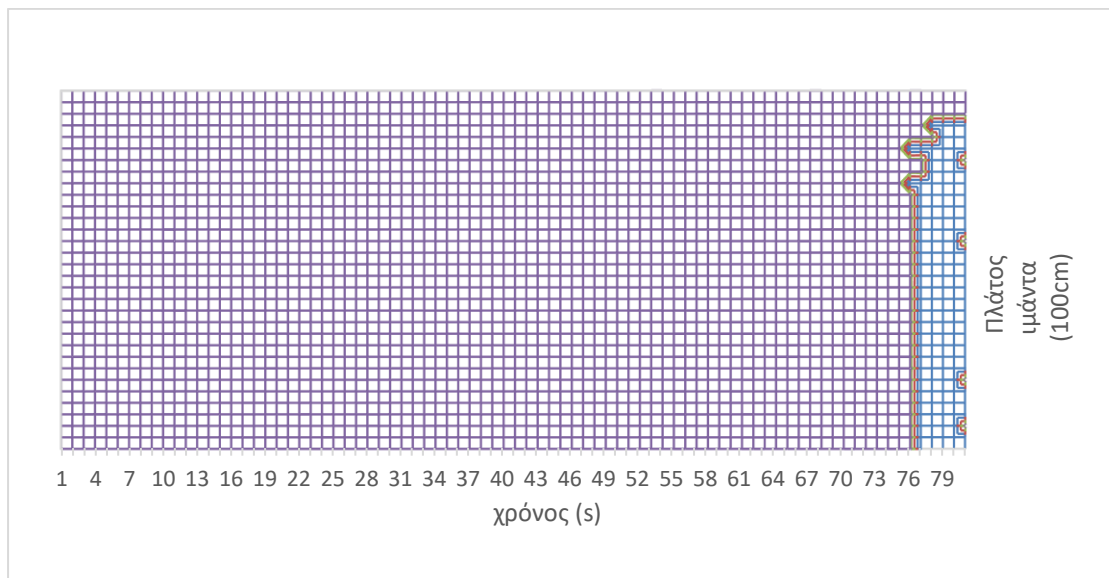
**Εικόνα 4.7.**Χαρτόγραφηση μετρήσεων Lidar για φθορά ιμάντα ηλικίας 7 ετών όπου φαίνονται τα σημεία της επιφάνειας του ιμάντα που φέρουν τη φθορά.

Με τον ίδιο τρόπο αν συγκριθεί οπτικά η Εικ. 4.8, για νέο ιμάντα που δεν φέρει καμιά σχεδόν επιφανειακή φθορά με τη χαρτογράφηση των τιμών του Lidar, θα δούμε ότι δεν απεικονίζονται φθορές, δηλαδή μη αναμενόμενες τιμές στο διάγραμμα όπως δηλαδή είναι η πραγματική κατάσταση της επιφάνειας του ιμάντα. Φαίνεται επομένως ότι με τη χρήση του ανέπαφου αισθητήρα εντοπίστηκαν οι επιφανειακές φθορές διαφόρων ιμάντων και ανεξαρτήτως της χρονικής διάρκειας λειτουργίας τους. Σύμφωνα και με αυτά που αναφέρθηκαν στην παράγραφο 2.2 διαπιστώνεται ότι ένας τέτοιου τύπου ανέπαφος αισθητήρας μπορεί να αποτελέσει ένα σημαντικό εργαλείο για την παρακολούθηση και επίβλεψη του ιμάντα ενός Τ/Δ μεταφοράς.



**Εικόνα 4.8.**Χαρτόγραφηση μετρήσεων Lidar για φθορά νέου ιμάντα. Στην αντίστοιχη φαίνεται ο ιμάντας που δεν φέρει σχεδόν καμιά φθορά.

Η μέτρηση που ακολουθεί έγινε με σκοπό να διαπιστωθεί αν είναι δυνατός ο έγκαιρος εντοπισμός τέτοιων βλαβών όπως είναι το σχίσσιμο των ιμάντων που παρατηρείται συχνά σε συνθήκες μιας παραγωγικής διαδικασίας και μπορούν να οφείλονται στους λόγους που αναπτύχθηκαν στην παράγραφο 2.1. Για την πραγματοποίηση της μέτρησης έγινε τεχνητό σχίσσιμο του ιμάντα όπως φαίνεται στην Εικ. 4.9. Στη συνέχεια χαρτογραφήθηκαν οι τιμές του Lidar, όπου αποδίδουν το τεχνητό σχίσσιμο σαν μια σειρά από μη αναμενόμενες τιμές της χαρτογράφησης που έλαβαν χώρα κατά την ίδια χρονική στιγμή.



**Εικόνα 4.9.** Χαρτογράφηση μετρήσεων Lidar για ιμάντα που φέρει τεχνητό σκίσιμο. Διακρίνεται το τεχνητό σχίσσιμο που πραγματοποιήθηκε στον ιμάντα.

Από τα αποτελέσματα των παραπάνω μετρήσεων, συμπεραίνεται ότι η χρήση του αισθητήρα Lidar απέδωσε σε μεγάλο βαθμό την πραγματική επιφανειακή κατάσταση των ιμάντων, είτε παρουσίαζαν ελάχιστη έως έντονη φθορά, είτε έφεραν ποιο έντονο πρόβλημα όπως αυτό του τεχνητού σκισίματος.

#### 4.4 Δυναμικές μετρήσεις με έμφορτο ιμάντα

Οι δυναμικές μετρήσεις σε έμφορτο ιμάντα όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο πραγματοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό της διατομής του χύδην μεταφερόμενου υλικού και στη συνέχεια του ρυθμού μεταφοράς του T/Δ, του βαθμού φόρτισής του και της ομοιομορφίας κατανομής του υλικού επί του ιμάντα. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν και για τα δύο “ρεύματα” που διέρχονται από τον ταινιόδρομο και αφορούν το υλικό της ανακύκλωσης και τα σύμμεικτα απορρίμματα. Για τον υπολογισμό των διατομών τόσο του υλικού της ανακύκλωσης όσο και του σύμμεικτου, έγιναν κάποιες διορθώσεις των μη αναμενόμενων τιμών (Πίνακας 4.2) με βάση τις προηγούμενες έγκυρες μετρήσεις (Πίνακας 4.3). Οι μη αναμενόμενες τιμές μπορεί να προήλθαν από υλικά που έχουν εντελώς διαφορετικό συντελεστή ανάκλασης από τα υπόλοιπα, όπως είναι το γυαλί που το συναντάμε συχνά στους κάδους ανακύκλωσης καθώς και μέσα στα σύμμεικτα αστικά απορρίμματα.

scan_0	scan_1	scan_2	scan_3	scan_4	scan_5	scan_6	scan_7
timestamp_0	timestamp_1	timestamp_2	timestamp_3	timestamp_4	timestamp_5	timestamp_6	timestamp_7
9480159	9480259	9480360	9480460	9480560	9480660	9480760	9480861
logTime_0	logTime_1	logTime_2	logTime_3	logTime_4	logTime_5	logTime_6	logTime_7
48:40.7	48:40.8	48:40.9	48:41.0	48:41.1	48:41.2	48:41.3	48:41.4
distance_0	distance_0	distance_0	distance_0	distance_0	distance_0	distance_0	distance_0
1617	0	7	1631	7	0	0	1645
1617	1627	0	1620	1627	1625	1618	1630
1617	1627	7	1620	1621	1624	1618	1630
1631	1627	1630	1621	1621	1624	1618	1645
1637	1626	1630	1621	1621	1624	1619	1645
1637	1634	1630	1629	1621	1627	1625	1633
1633	1634	1630	1635	1630	1639	1625	1635
1631	1634	1633	1637	1633	1639	1625	1633
1631	1631	1636	1635	1636	1637	1629	1630

**Πίνακας 4.2.** Μετρήσεις Lidar με μη αναμενόμενες τιμές.

scan_0	scan_1	scan_2	scan_3	scan_4	scan_5	scan_6
timestamp_0	timestamp_1	timestamp_2	timestamp_3	timestamp_4	timestamp_5	timestamp_6
9480159	9480259	9480360	9480460	9480560	9480660	9480760
logTime_0	logTime_1	logTime_2	logTime_3	logTime_4	logTime_5	logTime_6
48:40.7	48:40.8	48:40.9	48:41.0	48:41.1	48:41.2	48:41.3
distance_0	distance_0	distance_0	distance_0	distance_0	distance_0	distance_0
1617	1617	1617	1631	1631	1631	1631
1617	1627	1627	1620	1627	1625	1618
1617	1627	1627	1620	1621	1624	1618
1631	1627	1630	1621	1621	1624	1618
1637	1626	1630	1621	1621	1624	1619
1637	1634	1630	1629	1621	1627	1625
1633	1634	1630	1635	1630	1639	1625
1631	1634	1633	1637	1633	1639	1625
1631	1631	1636	1635	1636	1637	1629
1631	1636	1636	1629	1633	1637	1629
1628	1631	1637	1635	1630	1625	1629

**Πίνακας 4.3.** Διόρθωση μη αναμενόμενων τιμών Lidar.

#### 4.4.1 Δειγματοληπτικές μετρήσεις προσδιορισμού της φαινόμενης πυκνότητας του χύδην μεταφερόμενου υλικού ανακύκλωσης και σύμμεικτου απορρίμματος.

Στον πίνακα 4.4, παρουσιάζονται οι τιμές της φαινόμενης πυκνότητας που υπολογίστηκαν για τρεις διαφορετικές χρονικές στιγμές δειγματοληψίας, που πραγματοποιήθηκαν με δοχείο γνωστού όγκου.

Ανακυ/ση	ΜΕΤΡΗΣΗ (hr)	13:00	13:20	13:40
	ΒΑΡΟΣ (g)	700	650	1150
	ΦΑΙΝΟΜΕΝΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ (g/cm <sup>3</sup> )	0.080	0.075	0.132
Σύμμεικτο	ΜΕΤΡΗΣΗ (hr)	10:50	11:10	11:30
	ΒΑΡΟΣ (g)	1850	1500	2050
	ΦΑΙΝΟΜΕΝΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ (g/cm <sup>3</sup> )	0.226	0.183	0.250

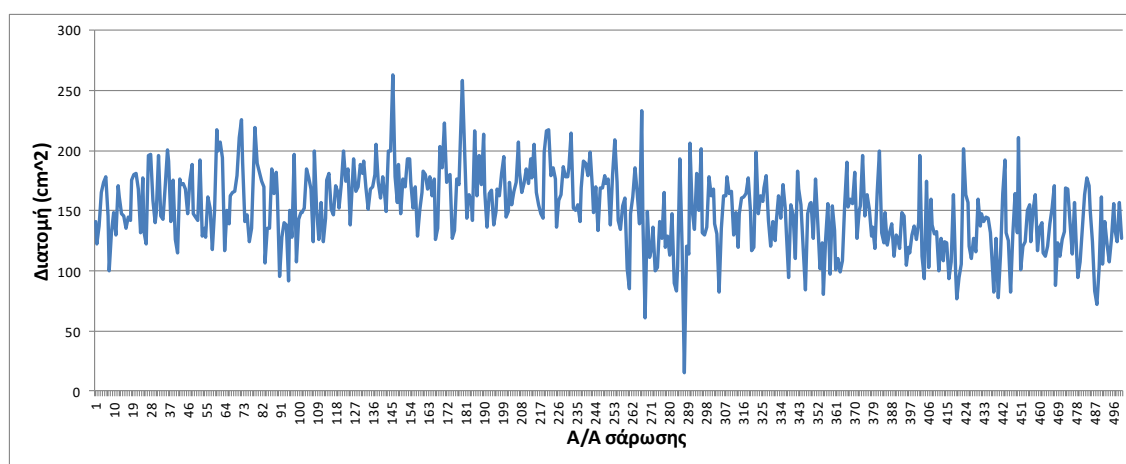
**Πίνακας 4.4.** Υπολογισμός φαινόμενης πυκνότητας χύδην υλικού και μέσης παροχής T/Δ.

Παρατηρώντας τις τιμές του πίνακα 4.4 και για τις τρεις διαφορετικές χρονικές μετρήσεις που αντιστοιχούν στα επεξεργασμένα διερχόμενα κλάσματα μεγέθους <70mm των υλικών της ανακύκλωσης και του σύμμεικτου απορρίμματος,

παρατηρείται ότι το βάρος των υλικών του οργανικού κλάσματος, το οποίο κυμαίνεται από ~1500-2100 g είναι και στις τρεις μετρήσεις που λήφθηκαν σχεδόν το διπλάσιο από αυτό της ανακύκλωσης που κυμαίνεται από ~700-1200 g. Το ίδιο παρατηρείται επίσης και για τη φαινόμενη πυκνότητα των δυο διερχόμενων κλασμάτων, η οποία για το οργανικό απόρριμμα μεταβάλλεται από ~0.230-0.250 g/cm<sup>3</sup>, ενώ για το υλικό της ανακύκλωσης έχει τιμές από ~0.080-0.140 g/cm<sup>3</sup>. Αυτές οι διαφορές μεταξύ των τιμών που αναφέρθηκαν οφείλονται κατά κύριο λόγο στη διαφορετική φύση που παρουσιάζουν τα δυο αυτά υλικά μεταξύ τους.

#### 4.4.2 Μετρήσεις με έμφορτο ιμάντα που διακινεί κοσκινισμένο υλικό ανακύκλωσης (μπλε κάδος)

Οι μετρήσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν εν ώρα παραγωγής και με έμφορτο τον ιμάντα του Τ/Δ BC-339 με υλικό του μπλε κάδου, για τον προσδιορισμό της διατομής του χύδην μεταφερόμενου υλικού και στη συνέχεια του ρυθμού μεταφοράς του Τ/Δ, του βαθμού φόρτισής του και της ομοιομορφίας κατανομής του υλικού επί του ιμάντα. Με τη χρήση του αισθητήρα Lidar καταγράφηκε το προφίλ του χύδην υλικού πάνω στον ιμάντα το οποίο είναι της τάξης μεγέθους <70mm και στο σύνολό του αποτελείται από συστατικά όπως γυαλί, χαρτί, μικρά κομμάτια πλαστικού, κ.λπ. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζονται στα ακόλουθα διαγράμματα.

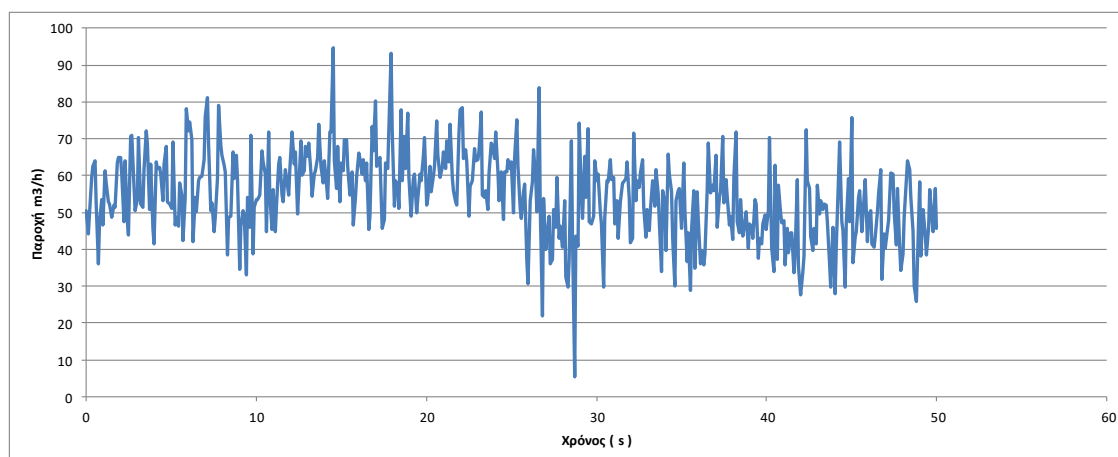


Εικόνα 4.10. Διατομή του χύδην μεταφερόμενου υλικού ανακύκλωσης επί του ιμάντα

Ο υπολογισμός της διατομής του χύδην μεταφερόμενου υλικού της ανακύκλωσης επί του ιμάντα Εικ. 4.10, έγινε με τη μέθοδο που περιεγράφηκε στην παράγραφο 3.4.



Παρατηρείται ότι διατομή του υλικού μεταβάλλεται σε ένα μέσο εύρος μεταξύ ~100-200 cm<sup>2</sup>, ενώ παρουσιάζει μια μέγιστη τιμή στα 260 cm<sup>2</sup> και μια ελάχιστη στα 20 cm<sup>2</sup>. Σύμφωνα με τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι υπάρχει μια σχετική ομοιομορφία όσο αφορά την διατομή του υλικού επί του ιμάντα.

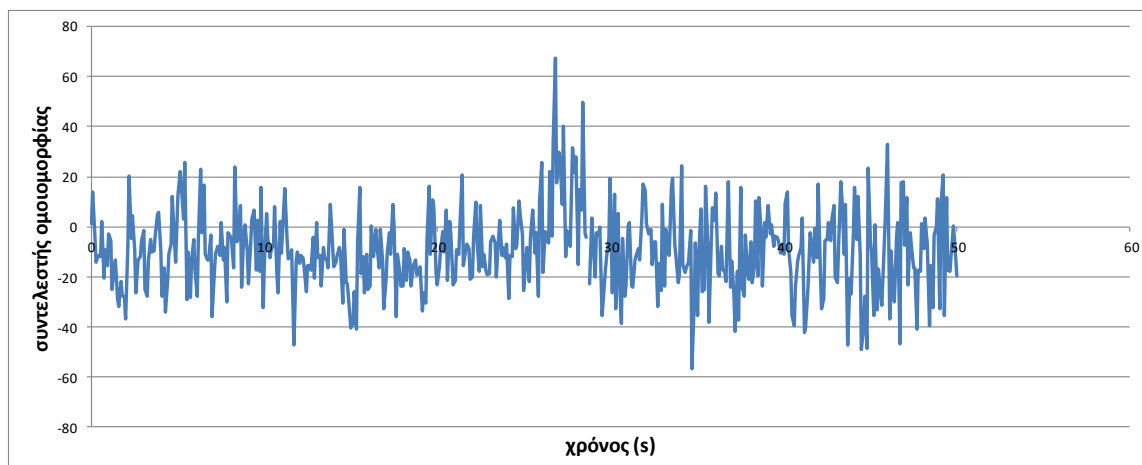


**Εικόνα 4.11.** Παροχή T/Δ σε m<sup>3</sup>/h για το υλικό της ανακύκλωσης.

Ο υπολογισμός της παροχής του ιμάντα για το μεταφερόμενο υλικό της ανακύκλωσης Εικ. 4.11, έγινε σύμφωνα με τη σχέση (3.2) της παραγράφου 3.4. Παρατηρείται ότι έχει ένα εύρος τιμών που κυμαίνεται μεταξύ ~30-80 m<sup>3</sup>/h, ενώ υπάρχει και μια μέγιστη τιμή στα ~95 m<sup>3</sup>/h που αντιστοιχεί σε χρονική στιγμή αύξησης παραγωγής, καθώς και μια ελάχιστη στα ~8 m<sup>3</sup>/h που δίνει πληροφορία για πιθανό κενό ή πρόβλημα κατά την παραγωγική διαδικασία. Επίσης αν ληφθεί υπόψιν η μέση τιμή της φαινόμενης πυκνότητας του υλικού της ανακύκλωσης (0,0956 g/cm<sup>3</sup> πίνακας 4.4) τότε υπολογίζεται μια μέση παροχή 5,21t/h και σύμφωνα και με την παράγραφο 4.3.1 όπου αναφέρονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του ιμάντα, οι μετρήσεις που λήφθηκαν βρίσκονται εντός των ορίων σχεδιασμού του T/Δ και πλησιάζουν την πραγματική τιμή της παροχής που λαμβάνετε κατά την ημερήσια παραγωγή για το υλικό της ανακύκλωσης.

Σύμφωνα με τα παραπάνω και σε συνδυασμό με τη σχέση (3.10), ο βαθμός φόρτισης του ιμάντα για το διερχόμενο υλικό της ανακύκλωσης είναι:

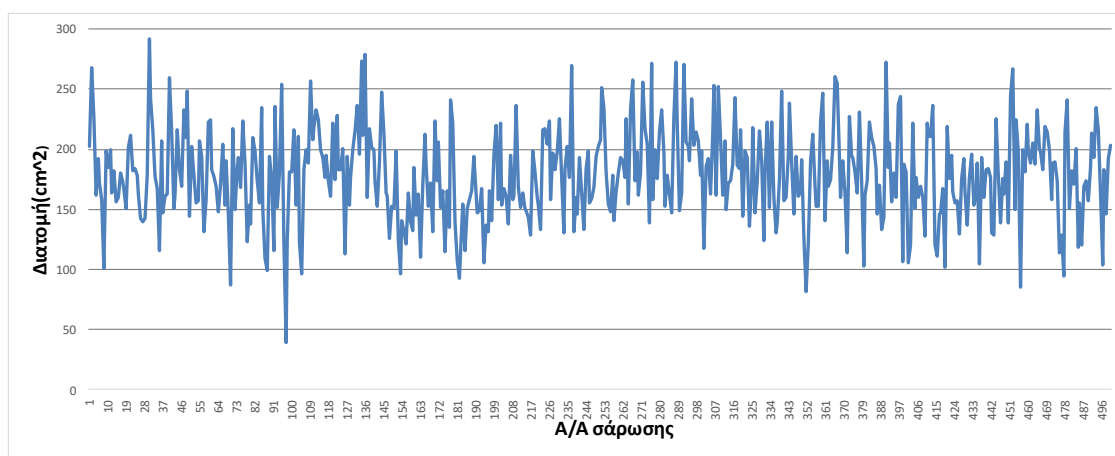
$$B_{\varphi}(\%) = \frac{Q}{Q_{nom}} 100 = \frac{5.21 \text{ t/h}}{37.90 \text{ t/h}} * 100 = 13.74\%$$



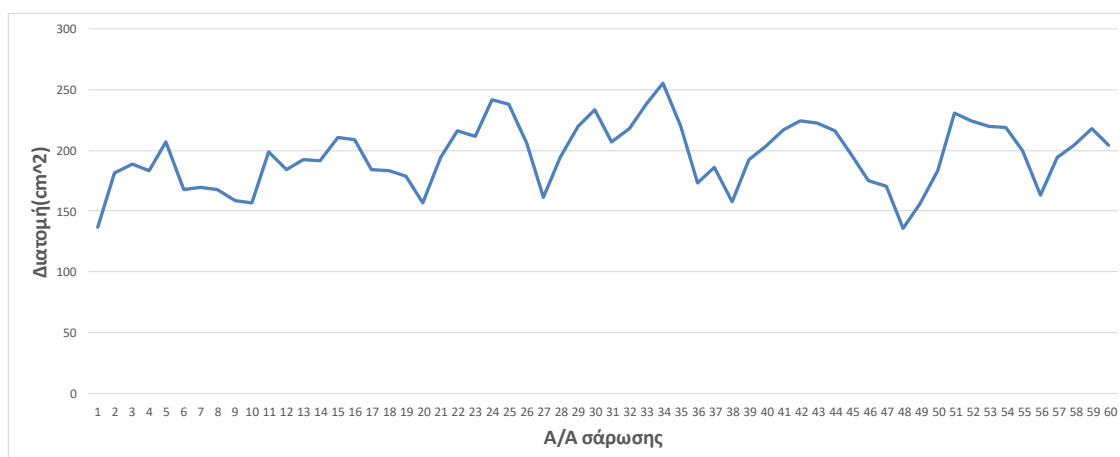
**Εικόνα 4.12.** Συντελεστής ομοιομορφίας για το υλικό της ανακύκλωσης.

Σύμφωνα με τη σχέση (3.11) που αναπτύχθηκε στην παράγραφο 3.4 και παρατηρώντας το διάγραμμα της Εικ. 4.12, μπορούμε να δούμε ότι υπάρχουν συστηματικές αποκλίσεις των τιμών του δείκτη ομοιομορφίας  $\Delta_{\sigma\mu}$  από το μηδέν με αρνητικό πρόσημο, πράγμα που σημαίνει ότι υπάρχει ανομοιόμορφη κατανομή του υλικού στον ιμάντα, με συσσώρευση στη δεξιά πλευρά του, γεγονός που εγκυμονεί κινδύνους για πρόωρη φθορά ή και την εκφυγή του ιμάντα και παρακώληση της παραγωγικής διαδικασίας.

#### 4.4.3 Μετρήσεις με έμφορτο ιμάντα που διακινεί κοσκινισμένο υλικό από πράσινο κάδο (σύμμεικτα απορρίμματα)

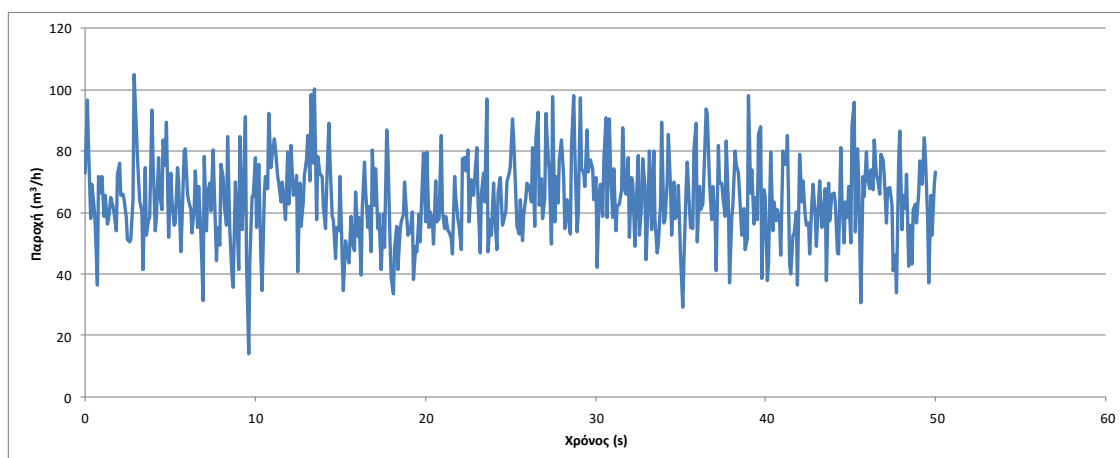


**Εικόνα 4.13.** Διατομή χύδην μεταφερόμενου οργανικού υλικού επί του ιμάντα.

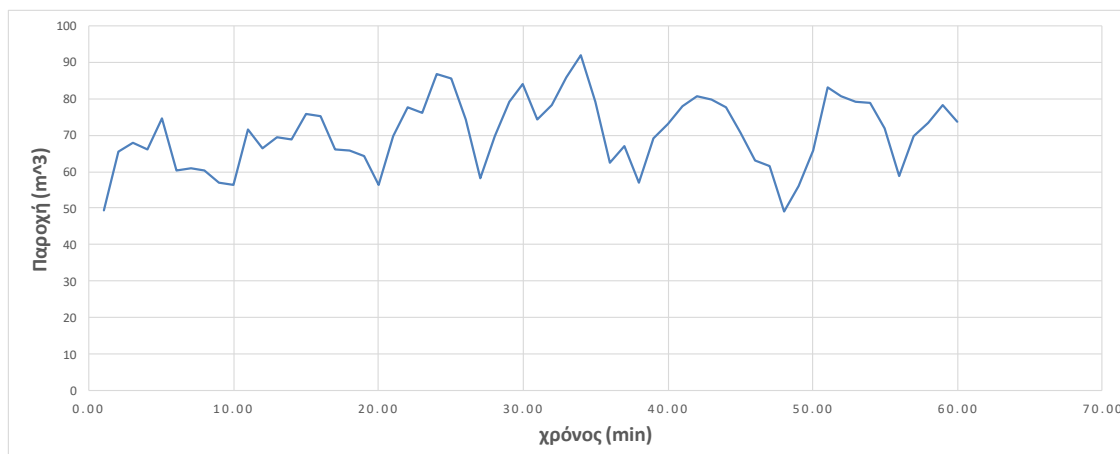


**Εικόνα 4.14.** Διατομή χύδην μεταφερόμενου οργανικού υλικού επί του ιμάντα για 1 ώρα λειτουργίας. Κάθε σάρωση αντιστοιχεί σε μέτρηση ενός λεπτού.

Ο υπολογισμός της διατομής του χύδην μεταφερόμενου υλικού του οργανικού κλάσματος επί του ιμάντα Εικ. 4.13, έγινε και αυτός όπως και του μπλε κάδου, με τη μέθοδο που περιεγράφηκε στην παράγραφο 3.4. Παρατηρείται ότι η διατομή του υλικού μεταβάλλεται σε ένα μέσο εύρος μεταξύ  $\sim 100\text{-}270\text{ cm}^2$ , παρουσιάζει μια μέγιστη τιμή στα  $290\text{ cm}^2$ , ενώ διακρίνουμε και μια ελάχιστη τιμή στα  $45\text{ cm}^2$ , όπου μας δίνει πληροφορία για τη μη ύπαρξη αρκετού υλικού στη συγκεκριμένη θέση του ιμάντα. Σύμφωνα με τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι και στο οργανικό υλικό υπάρχει μια σχετική ομοιομορφία όσο αφορά τη διατομή του υλικού επί του ιμάντα. Για λειτουργία παραγωγής σε διάστημα μιας ώρας (1h) και όπως φαίνεται από την Εικ. 4.14, η διατομή του υλικού μεταβάλλεται σε ένα μέσο εύρος μεταξύ  $\sim 150\text{-}250\text{ cm}^2$ .



**Εικόνα 4.15.** Παροχή T/Δ σε  $\text{m}^3/\text{h}$  για το σύμμεκτο υλικό (πράσινος κάδος).

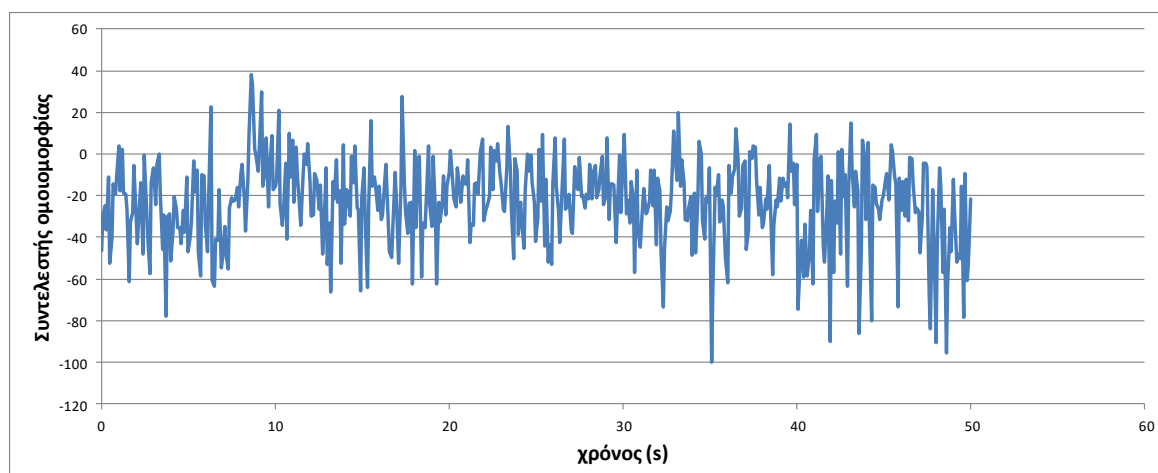


**Εικόνα 4.16.** Παροχή T/Δ σε m³/h για το σύμμεκτο υλικό (πράσινος κάδος) για 1 ώρα λειτουργίας.

Ο υπολογισμός της παροχής του ιμάντα για το μεταφερόμενο οργανικό υλικό του πράσινου κάδου Εικ. 4.15, έγινε όπως και του υλικού της ανακύκλωσης, σύμφωνα με την σχέση (3.2) της παραγράφου 3.4. Παρατηρείται ότι έχει ένα εύρος τιμών που κυμαίνεται μεταξύ ~40-100 m³/h, καθώς επίσης και μια μέγιστη τιμή στα ~110 m³/h που αντιστοιχεί σε χρονική στιγμή που έχουμε αύξηση παραγωγής, όπως και μια ελάχιστη στα ~18 m³/h που δίνει πληροφορία για πιθανό κενό τροφοδοσίας ή πρόβλημα κατά την παραγωγική διαδικασία. Στην αντίστοιχη Εικ. 4.16, για λειτουργία παραγωγής σε διάστημα μιας ώρας η παροχή παρουσιάζει ένα εύρος τιμών που κυμαίνεται μεταξύ ~50-80 m³/h, ενώ παρατηρείται και μια μέγιστη τιμή στα ~92 m³/h που αντιστοιχεί σε χρονική στιγμή που έχουμε αύξηση παραγωγής. Επίσης αν λάβουμε υπόψιν μας τη μέση τιμή της φαινόμενης πυκνότητας του σύμμεκτου υλικού (0,2196 g/cm³ πίνακας 4.4) τότε έχουμε μια μέση παροχή 14,1 t/h και σύμφωνα και με την παράγραφο 4.3.1 όπου αναφέρονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του ιμάντα, οι μετρήσεις που λάβαμε βρίσκονται εντός των ορίων σχεδιασμού του T/Δ και η τιμή αυτή είναι κοντά στην πραγματική τιμή της παροχής που λαμβάνουμε κατά την ημερήσια παραγωγή για το σύμμεκτο απόρριμμα. Σύμφωνα με τα παραπάνω και σε συνδυασμό με την σχέση (3.10), ο βαθμός φόρτισης του ιμάντα για το διερχόμενο οργανικό υλικό είναι :

$$B_{\varphi}(\%) = \frac{Q}{Q_{nom}} 100 = \frac{14.1 \text{ t/h}}{37.90 \text{ t/h}} * 100 = 37.2\%$$

Αν συγκριθεί ο βαθμός φόρτισης του υλικού της ανακύκλωσης με αυτόν του σύμμεικτου απορρίμματος συμπεραίνεται ότι ο ιμάντας του T/Δ 339 μεταφέρει σχεδόν τριπλάσιο βάρος υλικού για το ίδιο χρονικό διάστημα λειτουργίας, το οποίο είναι αναμενόμενο λόγω του μεγαλύτερου ειδικού βάρους του οργανικού υλικού.



**Εικόνα 4.17.** Συντελεστής ομοιομορφίας για το οργανικό υλικό.

Όπως και στο υλικό της ανακύκλωσης έτσι και εδώ, σύμφωνα με την σχέση (3.11) που αναπτύχθηκε στην παράγραφο 3.4 και βλέποντας το διάγραμμα της Εικ. 4.17, παρατηρείται ότι υπάρχουν συστηματικές αποκλίσεις τιμών του δείκτη ομοιομορφίας  $\Delta_{om}$  από το μηδέν με αρνητικό πρόσημο. Μάλιστα στο χρονικό διάστημα 35 έως 50 s βλέπουμε ότι σχεδόν όλο το υλικό συσσωρεύεται στη δεξιά μεριά του ιμάντα, γεγονός που εγκυμονεί κινδύνους για πρόωρη φθορά ή και την εκφυγή του ιμάντα. Στον πίνακα 4.5, παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι τιμές που λήφθηκαν με την χρήση του αισθητήρα Lidar και αυτές των στοιχείων παραγωγής του εργοστασίου της Δ.Ε.ΔΙ.Σ.Α.

Μετρήσεις Lidar	Ανακύκλωση (μπλε κάδος)	Σύμμεικτο (πράσινος κάδος)
Μέση παροχή t/h	5,21	14,1 / 15,43(1hr)
Μέση παροχή m <sup>3</sup> /h	54,49	64,25 / 70,49(1hr)
Μετρήσεις βάση στοιχείων E.M.A.K	Ανακύκλωση (μπλε κάδος)	Σύμμεικτο (πράσινος κάδος)
Μέση παροχή t/h	4,91	16,36
Μέση παροχή m <sup>3</sup> /h	51,35	74,51

**Πίνακας 4.5.** Συγκρίσεις τιμών μεταξύ Lidar και στοιχείων E.M.A.K.-Δ.Ε.ΔΙ.Σ.Α.

Παρατηρείται ότι όπως οι τιμές της μέσης παροχής σε t/h καθώς και εκείνες της παροχής σε m<sup>3</sup>/h που λήφθηκαν μέσω του αισθητήρα lidar, πλησιάζουν τις τιμές των στοιχείων παραγωγής του Ε.Μ.Α.Κ. γεγονός που σημαίνει ότι η χρήση αισθητήρων τύπου lidar μπορούν να αποτελέσουν στο μέλλον ένα χρήσιμο εργαλείο για την παρακολούθηση της παραγωγικής διαδικασίας σε μεγάλες μονάδες παραγωγής.

## **Κεφάλαιο 5. Συμπεράσματα - Προτάσεις**

### **5.1 Συμπεράσματα**

Σύμφωνα με τα αυτά που αναφέρθηκαν παραπάνω, συμπεραίνεται ότι στην εργασία αυτή επιχειρήθηκε μέσω μιας σειράς δυναμικών μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν σε βιομηχανική εγκατάσταση (Ε.Μ.Α.Κ.-Δ.Ε.ΔΙ.Σ.Α.) σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας, να εκτιμηθεί η δυνατότητα μέτρησης της απόδοσης των μεταφορικών ταινιών αλλά και της διάγνωσης των λειτουργικών τους προβλημάτων με χρήση ανέπαφου αισθητήρα τύπου Lidar.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων με τη χρήση του αισθητήρα έδειξαν ότι:

- Ο ανέπαφος αισθητήρας Lidar που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις αποτελεί ένα αξιόπιστο μέσο παρακολούθησης της λειτουργίας και ελέγχου των ιμάντων Τ/Δ εγκαταστάσεων. Τόσο το απόλυτο όσο και το σχετικό μέσο σφάλμα RMSE (3,05 mm που αντιστοιχεί σε σχετικό σφάλμα 0,3%, αφού η απόσταση κυβόλιθου-Lidar που μετρήθηκε

ήταν 1000 mm) είναι σημαντικά μικρότερα εκείνων που εγγυάται ο κατασκευαστής σφάλμα του αισθητήρα Lidar (Πίν. 3.1).

- Η χρήση ανέπαφων αισθητήρων τύπου Lidar μπορεί να αποτελέσει ένα οικονομικό και αξιόπιστο μέσο παρακολούθησης και ελέγχου της λειτουργίας και συντήρησης του μηχανολογικού εξοπλισμού ταινιοδρόμων και ιμάντων εγκαταστάσεων και γραμμών παραγωγής. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι μπορεί να δώσει πληροφορίες όσον αφορά την χρόνια φθορά τους όπως είδαμε για τους ιμάντες τριών διαφορετικών ηλικιών ή για περιπτώσεις έκτακτης φθοράς όπως διαπιστώθηκε για τον ιμάντα με το τεχνητό σκίσιμο.
- Από τις μετρήσεις που λήφθηκαν από τον αισθητήρα εξήλθαν σημαντικές πληροφορίες που αφορούν την παραγωγική διαδικασία μέσω του ρυθμού μεταφοράς του T/Δ και του βαθμού φόρτισης. Διαπιστώθηκε ότι η παραγωγή του σύμμεικτου απορρίμματος με παροχή 14.1 t/h και 37.2% βαθμό φόρτισης είναι σχεδόν η τριπλάσια σε σχέση με το υλικό του μπλε κάδου με παροχή 5.21 t/h και 13.74% αντίστοιχο βαθμό φόρτισης, ενώ έχει τα περιθώρια να διπλασιαστεί σύμφωνα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά (37.9 t/h) του συγκεκριμένου T/Δ.
- Από τον συντελεστή ομοιομορφίας συμπεραίνεται ότι τόσο στο υλικό της ανακύκλωσης όσο και σε αυτό του σύμμεικτου απορρίμματος παρουσιάζεται ανομοιομορφία στη φόρτιση του ιμάντα με συστηματική συσσώρευση του υλικού στη δεξιά μεριά του ιμάντα, που σημαίνει ότι διαγνώστηκε πρόβλημα στο προηγούμενο σύστημα τροφοδοσίας του T/Δ, το οποίο πρέπει να διορθωθεί για την αποφυγή μελλοντικών προβλημάτων στη λειτουργία του ιμάντα του T/Δ και κατ' επέκταση της παραγωγικής διαδικασίας.
- Από την μέτρηση της διατομής του υλικού του μπλε κάδου καθώς και εκείνου της ανακύκλωσης συμπεραίνεται ότι υπάρχει μια σχετική

ομοιομορφία και για τα δύο 'ρεύματα' προς επεξεργασία. Οι πειραματικές τιμές που προέκυψαν με τη χρήση του παχυμέτρου (~150-220 cm<sup>2</sup>) συμπίπτουν σχεδόν με αυτές του Lidar (~100-200 cm<sup>2</sup> υλικό ανακύκλωσης και ~100-270 cm<sup>2</sup> οργανικό υλικό).

Τέλος με τη χρήση των διαγραμμάτων της μέτρησης του προφίλ επί του ιμάντα και για τα δυο υλικά προέκυψαν χρήσιμες πληροφορίες για την παραγωγή, αφού εντοπίστηκαν μέσω αυτών χρονικά σημεία υπερφόρτωσης του ιμάντα ή κενά που αντιστοιχούν σε άεργους χρόνους παραγωγής.

## 5.2 Προτάσεις

Προκειμένου να υπάρξει μια ολοκληρωμένη εικόνα για την παραγωγική διαδικασία, καθώς και ένας πλήρης έλεγχος και παρακολούθηση της συντήρησης σε συστήματα μεταφοράς υλικών μέσω T/Δ, θα πρέπει να δημιουργηθεί ένα πλήρες λειτουργικό σύστημα που θα συνοδεύεται με έναν αριθμό αισθητήρων τύπου Lidar με το κατάλληλο λογισμικό. Οι αισθητήρες θα συνδέονται μέσω ηλεκτρολογικών εξοπλισμών με το PLC της εκάστοτε εγκατάστασης, όπου θα παρακολουθείται και θα ρυθμίζεται με ηλεκτρονικό τρόπο, οποιαδήποτε χρονική στιγμή αν χρειαστεί και από απομακρυσμένα σημεία, μέσω H/Y ή και κινητού τηλεφώνου, η ροή και επίβλεψη της παραγωγής.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Διεθνής Βιβλιογραφία

1. Lase BVC - Bulk Volume Conveyor, Product module CEWS Bulk Volume, Rudolf-Diesel-Str. 111. [www.lase.de](http://www.lase.de)
2. Laser Scanning of Conveyor Ore Profiles, IRON ORE 2015, Tony Fares – July 2015. [www.ironore2015.ausimm.com](http://www.ironore2015.ausimm.com).



3. Leddar optical time-of-flight sensing technology: a new approach to detection and ranging, By Pierre Olivier, Vice President, Engineering and Manufacturing, LeddarTech Inc. <https://pdfs.semanticscholar.org>
4. Yu, B., Qiao, T., Zhang, H., Gaowei Yan, G. 2018. Dual band infrared detection method based on mid-infrared and long infrared vision for conveyor belts longitudinal tear, Measurement, 120, 140-149
5. He, D., Pang, Y., Lodewijks, G., Liu, X. 2018. Healthy speed control of belt conveyors on conveying bulk materials, Powder Technology, 327, 408-419
6. SICK AG whitepaper, "Meeting point for research and practice" 18<sup>TH</sup> Bulk goods conveyor equipment symposium 2013.
7. Tsakalakis K.G- Michalakopoulos Th. Mathematic modeling of the conveyor belt capacity, The 8<sup>th</sup> International conference for conveying and handling of particulate solids, Tel-Aviv, May 2015.

## **Ελληνική Βιβλιογραφία**

1. Γαλετάκης Μ. (2012). Έλεγχος ποιότητας ορυκτών πρώτων υλών, Πανεπιστημιακές σημειώσεις, Χανιά.
2. Δημητρακάκης Ι.-Τοπάλογλου Φ. (2016). Αυτοματοποίηση 3d σκαναρίσματος μέσω κάμερας, Πτυχιακή εργασία τμήματος Μηχανικών Σχεδίασης Προϊόντων και Συστημάτων, Πανεπιστήμιο Αιγαίου.

3. Κολοβός Χ.Ι. Τεχνολογία Εκμετάλλευσης Γαιανθράκων. Εκδόσεις Ίων 2004.
4. Εφραιμίδης Χ.Ι. Πανεπιστημιακές Σημειώσεις επί των μέσων εκμηχανίσεως των δομικών έργων.
5. Καραβίτης Α.-Τζαγκαράκης Γ. (2013). Σχεδίαση, ανάπτυξη και προγραμματισμός διάταξης και καταγραφής αντικειμένων με τη χρήση μηχανοκίνητου ταινιόδρομου, Πτυχιακή εργασία τμήματος Ηλεκτρολογίας ΤΕΙ Ηρακλείου.
6. Μακρής Ε.-Τσολάκης Α. (2016). Μελέτη, υπολογισμός και κατασκευή σε κλίμακα, μεταφορικού ταινιόδρομου σκαφοειδούς μορφής για τη μεταφορά χύδην υλικών, Πτυχιακή εργασία τμήματος Μηχανολογίας ΤΕΙ Πειραιά.
7. Συμεωνίδης Π. (2007). Σαρωτές Laser, Τεχνολογία, τεχνικές και εφαρμογές, εργαστηριακές σημειώσεις τμήματος Γεωπληροφορικής και Τοπογραφίας ΤΕΙ Σερρών.