ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΣΑΡΩΤΩΝ LASER

Χ. ΚΟΣΜΑΣ[1], Μ. ΤΣΑΚΙΡΗ[1], Κ. ΤΟΚΜΑΚΙΔΗΣ[2], Κ. ΑΝΔΡΙΤΣΟΣ[2]

[1.] Σχολή Αγρονόμων -Τοπογράφων Μηχανικών, ΕΜΠ
[2.] Τμήμα Αγρονόμων -Τοπογράφων Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή, ΑΠΘ
e-mail: xkosmas@gmail.com, mtsakiri@central.ntua.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι μετρήσεις με οπτικές μεθόδους, όπως στους επίγειους σαρωτές laser, είναι επιρρεπείς σε σφάλματα λόγω της διαφορετικής ανακλαστικότητας των επιφανειών στο επιστρεφόμενο σήμα. Η παρούσα εργασία διερευνά την επίδραση της ανακλαστικότητας στις μετρήσεις δύο επίγειων σαρωτών laser (Leica HDS2500, Trimble GS200). Για τη διερεύνηση αυτής της παραμέτρου εξετάσθηκε η σάρωση στόχων διαφορετικών αποχρώσεων και υλικών σε διαφορετικές αποστάσεις και εκτελέστηκαν εργαστηριακά πειράματα στην πρότυπη βάση ελέγχου οργάνων EDM (Electronic Distance Measurement) μήκους 50m της σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ καθώς και πειράματα σε εξωτερικό περιβάλλον. Άλλα χαρακτηριστικά των σαρωτών laser που εξετάσθηκαν ήταν η αυτόματη αναγνώριση στόχου και η επιστρεφόμενη ένταση του παλμού.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η επίγεια σάρωση laser (terrestrial laser scanning) αποτελεί μια νέα και εξελισσόμενη τεχνολογία για την τρισδιάστατη καταγραφή της μορφολογίας επιφανειών και την αποτύπωση περιοχών. Οι επίγειοι σαρωτές laser που διατίθενται εμπορικά, παρόλο που διαφέρουν ο ένας από τον άλλο ως προς τα ειδικά χαρακτηριστικά τους, έχουν ένα κοινό στοιχείο ως προς τη λειτουργία τους: λαμβάνουν το σχήμα αντικειμένων μετρώντας οριζόντιες και κατακόρυφες γωνίες (μέσω της απόκλισης του παλμού με μετακίνηση εσωτερικών κατόπτρων) και αποστάσεις προς ένα μεγάλο πλήθος σημείων που απέχουν πολύ κοντά το ένα από το άλλο. Αυτό επιτυγχάνεται με μεγάλη ταχύτητα επιτρέποντας τη συλλογή δεδομένων εκατομμυρίων σημείων σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα.

Καθώς η χρήση των σαρωτών laser αυξάνεται, η ανάγκη της αξιολόγησης της λειτουργικότητας και της ακρίβειας τους είναι μεγάλη. Οι επίγειοι σαρωτές laser έχουν πολλές πηγές σφάλματος που δεν έχουν πλήρως διερευνηθεί. Επομένως απαιτείται εκτενής έλεγχος του τρόπου λειτουργίας και της αξιοπιστίας των μετρήσεων που παρέχουν [1]. Συγκεκριμένες διαδικασίες ελέγχου που έχουν αναπτυχθεί για τους γεωδαιτικούς σταθμούς (total stations) εδώ δε μπορούν να εφαρμοσθούν επακριβώς αφού διαφέρει ο μηχανικός σχεδιασμός τους. Κάθε όργανο παρουσιάζει τα δικά του χαρακτηριστικά παρόλο που έχει ελεγχθεί εργοστασιακά λόγω βασικά της μη μαζικής παραγωγής τους. Επομένως, για τον πλήρη έλεγχο κάθε οργάνου απαιτείται να εφαρμοσθεί η διαδικασία της διακρίβωσης όπου με κατάλληλο όργανο βαθμονομείται το υπό έλεγχο όργανο και διαπιστώνεται, επαληθεύεται ή επαναφέρεται με ρύθμιση η ακρίβεια του.

Οι μετρήσεις με οπτικές μεθόδους, όπως στους σαρωτές laser, είναι επιρρεπείς στις περιβαλλοντικές συνθήκες (θερμοκρασία, πίεση, υγρασία, σκόνη) και επιπλέον η ανακλαστικότητα των αντικειμένων επηρεάζει τις μετρήσεις του σαρωτή. Συγκεκριμένα, η αναλογία του ανακλώμενου παλμού που δέχεται το σύστημα του σαρωτή εξαρτάται από γεωμετρικούς παράγοντες, τις φυσικές ιδιότητες της επιφάνειας ανάκλασης και από το μήκος κύματος του ανακλώμενου παλμού laser. Οι γεωμετρικοί παράγοντες περιλαμβάνουν την γωνία πρόσπτωσης και την τραχύτητα της επιφάνειας. Οι φυσικές ιδιότητες της επιφάνειας (απόχρωση, πυκνότητα, ηλεκτρική αγωγιμότητα, μαγνητική διαπερατότητα) είναι η αιτία των απωλειών του παλμού κατά την ανάκλαση και έχουν γίνει προσπάθειες ελέγχου της επίδρασης της.

Στη προσπάθεια διερεύνησης της επίδρασης της ανακλαστικότητας έχουν εξεταστεί τόσο η παράμετρος «απόχρωση» όσο και η παράμετρος «υλικό επιφάνειας» [2]. Εργαστηριακοί έλεγχοι που αφορούν τη σάρωση στόχων διαφορετικών αποχρώσεων καταδεικνύουν την ύπαρξη αποκλίσεων στη μετρημένη απόσταση που οφείλονται στη χρωματική διαφοροποίηση. Επιπλέον, σαρώσεις σε διαφορετικά υλικά οδηγούν σε νέφη σημείων που διαφέρουν ως προς τον αριθμό των συλλεγμένων σημείων και το θόρυβο.

Αντικείμενο της εργασίας είναι η διερεύνηση της επίδρασης της ανακλαστικότητας στην ποιότητα των μετρήσεων δύο εμπορικών συστημάτων, του σαρωτή Leica HDS2500 (με προηγούμενο όνομα Cyrax 2500) και Trimble GS200. Στην ενότητα 2 της εργασίας επεξηγείται η έννοια της ανακλαστικότητας κατά την σάρωση. Στην ενότητα 3 περιγράφεται η πειραματική διαδικασία ελέγχου. Όπως σε κάθε διαδικασία διακρίβωσης, ο έλεγχος αφορά τόσο την εσωτερική όσο και την εξωτερική ακρίβεια των μετρήσεων. Οι μετρήσεις γίνονται με χρήση ειδικών ανακλαστικών στόχων καθώς και σε επιφάνειες με διαφορετική ανακλαστικότητα. Στην ενότητα 4 γίνεται συγκριτική ανάλυση των αποτελεσμάτων και τα συμπεράσματα δίνονται στην ενότητα 5.

2. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

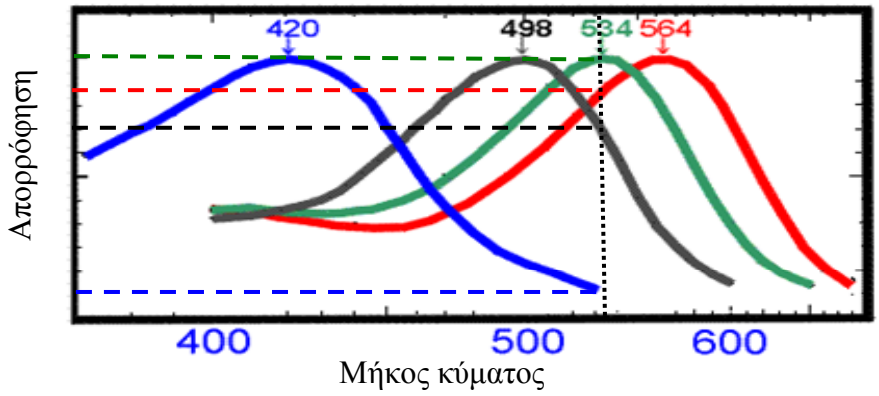
Η ποσότητα της ακτινοβολίας που επιστρέφεται από την επιφάνεια ενός στόχου χαρακτηρίζεται ως συντελεστής ανακλαστικότητας r. Για στόχο μεγάλης ανακλαστικότητας η μέγιστη τιμή του συντελεστή r είναι 100%. Για καθρέφτες ή για αυτοανακλόμενους στόχους, η (θεωρητική) τιμή της ανακλαστικότητας μπορεί να ξεπεράσει το 100% κατά πολύ.

Η ανάκλαση εξαρτάται από το μήκος κύματος του παλμού laser, από τις ιδιότητες του υλικού της επιφάνειας και τη γωνία πρόσπτωσης. Ανακλάσεις προς μια διεύθυνση συμβαίνουν όταν η τραχύτητα της επιφάνειας είναι μικρή συγκριτικά με το μήκος κύματος της ανακλώμενης ακτινοβολίας.

Η απορρόφηση τμήματος της ενέργειας του παλμού προκαλεί τη καταγραφή μεγαλύτερου χρονικού διαστήματος επιστροφής του παλμού. Αυτή η χρονική «καθυστέρηση» οδηγεί στη καταγραφή μεγαλύτερης απόστασης από την ορθή. Αυτό αποδεικνύεται εύκολα ως εξής: $\text{Αν}\ \rho_o = \frac{1}{2} c \Delta t_o$, όπου ρ_o η ορθή απόσταση, Δt_o ο σωστός χρόνος καταγραφής και c η ταχύτητα του παλμού laser, τότε αν η μετρημένη απόσταση είναι ρ και η χρονική καθυστέρηση της απορρόφησης είναι κ θα είναι:

$$\rho=\frac{1}{2}c\Delta t \Rightarrow \rho=\frac{1}{2}c(\Delta t_o+\kappa) \Rightarrow \rho=\frac{1}{2}c\Delta t_o+\frac{1}{2}c\kappa \Rightarrow \rho=\rho_o+\frac{1}{2}c\kappa>\rho_o \qquad (1)$$

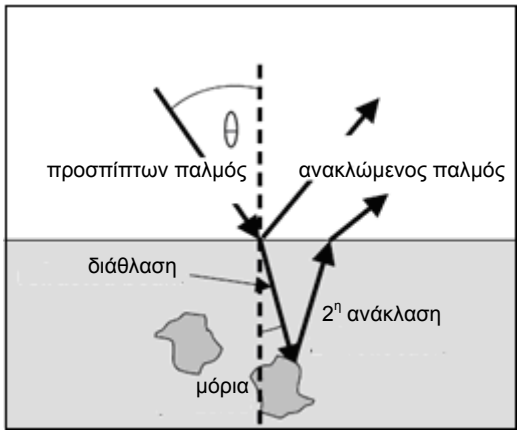
Άσπρες επιφάνειες θα αποφέρουν μεγάλης έντασης ισχυρές ανακλάσεις ενώ η ανάκλαση είναι μικρή σε μαύρες επιφάνειες. Οι επιδράσεις των χρωματισμένων επιφανειών εξαρτώνται επίσης από τα φασματικά χαρακτηριστικά του εκπεμπόμενου laser (πράσινο, κόκκινο, εγγύς υπέρυθρο). Επιφάνειες λαμπερές συνήθως δεν είναι εύκολο να καταγραφούν [3].



Σχήμα 1: Απορρόφηση χρώματος συναρτήσει του μήκους κύματος *(www.yorku.ca)*

Για τα δύο εξεταζόμενα συστήματα σαρωτών στην παρούσα εργασία, φαίνεται από το Σχήμα 1 ότι στο μήκος κύματος του παλμού laser του σαρωτή laser Leica HDS2500 και του σαρωτή Trimble GS200 (λ= 532nm) τη μεγαλύτερη απορρόφηση πρέπει να έχει το πράσινο χρώμα, ακολουθεί το κόκκινο, το σκούρο καφέ ενώ τη μικρότερη απορρόφηση έχει το μπλε χρώμα.

Η ένταση του ανακλώμενου παλμού εξαρτάται από φυσικούς και από γεωμετρικούς παράγοντες των υλικών. Φυσικοί παράγοντες είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα και η μαγνητική διαπερατότητα του υλικού. Γεωμετρικοί παράγοντες περιλαμβάνουν τη γωνία και τη τραχύτητα της επιφάνειας.



Σχήμα 2: Επιδράσεις ανακλαστικότητας και διάθλασης σε μη ομογενή ημιδιαφανή υλικά (ξύλο, μάρμαρο) *(www.geometh.ethz.ch)*

Επιπροσθέτως, ορισμένα υλικά διαπερνώνται από το παλμό laser και η ακτίνα επιπλέον διαθλάται και ανακλάται μέσα στο ίδιο υλικό. Αυτό συμβαίνει σε υλικά μη ομογενή, όπως για παράδειγμα το ξύλο και το μάρμαρο, και προκαλεί ένα επιπλέον συστηματικό σφάλμα που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς (Σχήμα 2) [4].

3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Ο έλεγχος της εσωτερικής ακρίβειας των μετρήσεων ενός σαρωτή πραγματοποιείται με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις. Από τις επαναλαμβανόμενες μετρήσεις προκύπτει το τυπικό σφάλμα προσδιορισμού της μέσης τιμής της μέτρησης. Το μέγεθος αυτό είναι ενδεικτικό της επαναληπτικότητας (εσωτερικής ακρίβειας) του συστήματος. Για το σκοπό αυτό απαιτούνται επαναλαμβανόμενες σαρώσεις σε συγκεκριμένες θέσεις διαφορετικών αποστάσεων από το σαρωτή. Οι μετρήσεις σε εργαστηριακό περιβάλλον πραγματοποιήθηκαν στο μετρολογικό εργαστήριο της σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου όπου γίνεται χρήση μιας πρότυπης βάσης ελέγχου οργάνων EDM (electronic distance meter) μήκους 50m. Επειδή οι σαρωτές που εξετάσθηκαν δεν έχουν δυνατότητα κέντρωσης ο εξωτερικός έλεγχος των μετρήσεων βασίστηκε σε γνωστές σχετικές αποστάσεις στόχων σε βάθρα ή μετρημένες με γεωδαιτική μεθοδολογία μεγάλης ακρίβειας.

Τα χρώματα που εξετάσθηκαν είναι το μπλε, το πράσινο, το κόκκινο, το κίτρινο, το άσπρο και το μαύρο. Όσον αφορά στα υλικά, επιλέχθηκαν το αλουμίνιο, το ατσάλι, ο σίδηρος, ο χαλκός, ο γύψος, το μάρμαρο και το πλαστικό. Τέλος, χρησιμοποιήθηκε πράσινος στόχος με γυαλιστερό κάλυμμα για να διαπιστωθεί η επίδρασή του στην ανακλαστικότητα.

4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

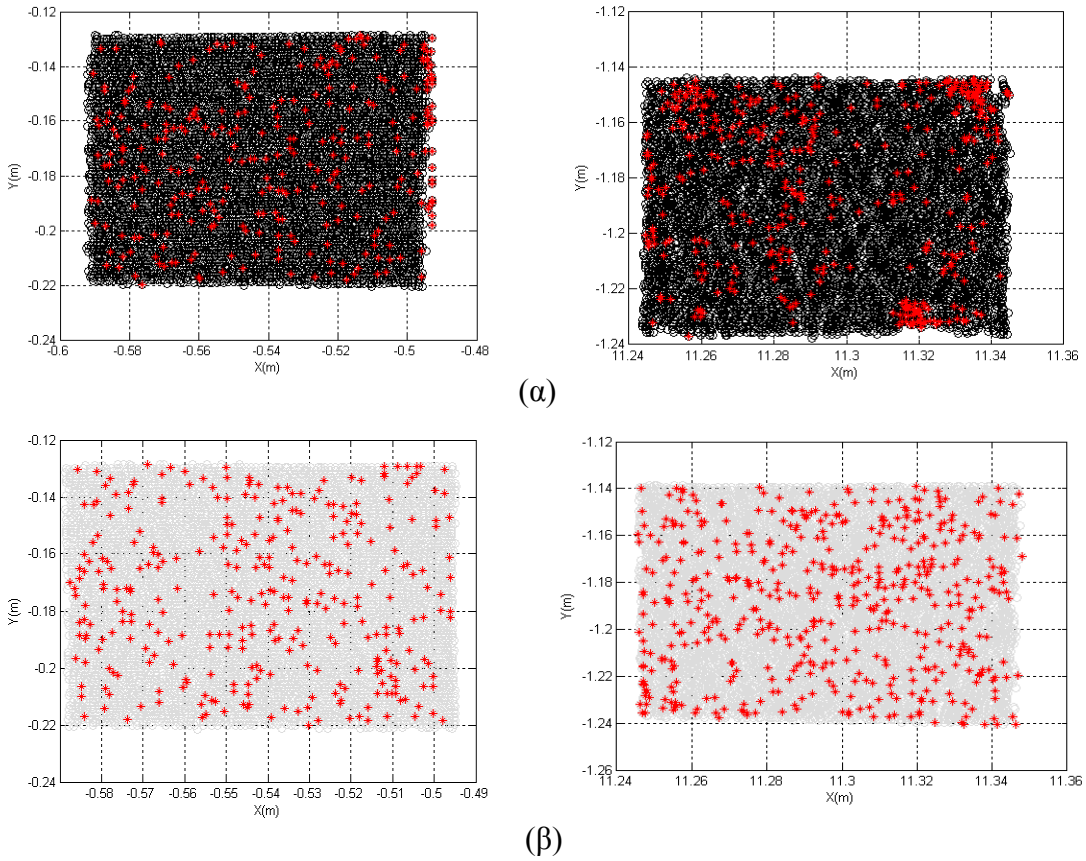
Σκοπός της επεξεργασίας είναι ο υπολογισμός σχετικών αποστάσεων και η διερεύνηση της ακρίβειάς τους βάσει ακριβούς προσδιορισμού του κέντρου επίπεδων στόχων. Οι στόχοι που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ειδικοί στόχοι Cyra που αναγνωρίζονται αυτόματα από το λογισμικό Cyclone του σαρωτή Leica HDS2500, και στόχοι διαφορετικών χρωμάτων και υλικών.

Αποκλίσεις σχετικών αποστάσεων (mm) (5-50m)							
Βάθρα	$d_{mekometer}$	D_{vertex}	$D_{fuzzypos}$	$D_{fuzzyposfine}$	A_{vertex}	$A_{fuzzypos}$	$A_{fuzzyposfine}$
1-2	***7,0004***	7,0037	7,0029	7,0033	-0,0033	-0,0025	-0,0029
1-3	**-**	16,0059	16,0045	16,0060			
1-4	***22***	22,0021	21,9998	22,0019	-0,0021	0,0002	-0,0019
1-5	**-**	27,0013	26,9997	27,0014			
1-6	**45,0005**	45,0034	45,0006	45,0023	-0,0029	-0,0001	-0,0018
2-4	***14,9996***	14,9984	14,9969	14,9986	0,0012	0,0027	0,0010
2-6	**38,0001**	38,0002	37,9977	37,9990	-0,0001	0,0024	0,0011
4-6	**23,0005**	23,0013	23,0008	23,0004	-0,0008	-0,0003	0,0001
Μέση απόλυτη απόκλιση:					***0,0017***	***0,0014***	***0,0015***

Πίνακας 1: Αποκλίσεις σχετικών αποστάσεων

Αρχικά, έγινε ο υπολογισμός των σχετικών αποστάσεων των βάθρων. Οι πρότυπες τιμές των σχετικών αποστάσεων είναι μετρημένες με το διακριβωμένο όργανο μέτρησης μήκους *Mekometer 3000 KERN* με ακρίβεια της τάξης των 0.1mm. Στον πίνακα 1 φαίνονται οι αποστάσεις μεταξύ των βάθρων όπως προσδιορίζονται από τις συντεταγμένες των κέντρων των στόχων υπολογισμένες από τρεις αλγόριθμους, «vertex» του λογισμικού του σαρωτή Leica HDS2500, «fuzzypos» και «fuzzyposfine» [5]. Επιπλέον, υπολογίστηκαν οι αποκλίσεις από τις γνωστές σχετικές αποστάσεις ($d_{mekometer}$). Οπως φαίνεται από τα αποτελέσματα, οι αλγόριθμοι προσδιορισμού κέντρου στόχων «fuzzypos» και «fuzzyposfine» παράγουν σχετικές αποστάσεις καλύτερης εξωτερικής ακρίβειας από το λογισμικό του σαρωτή Leica HDS2500.

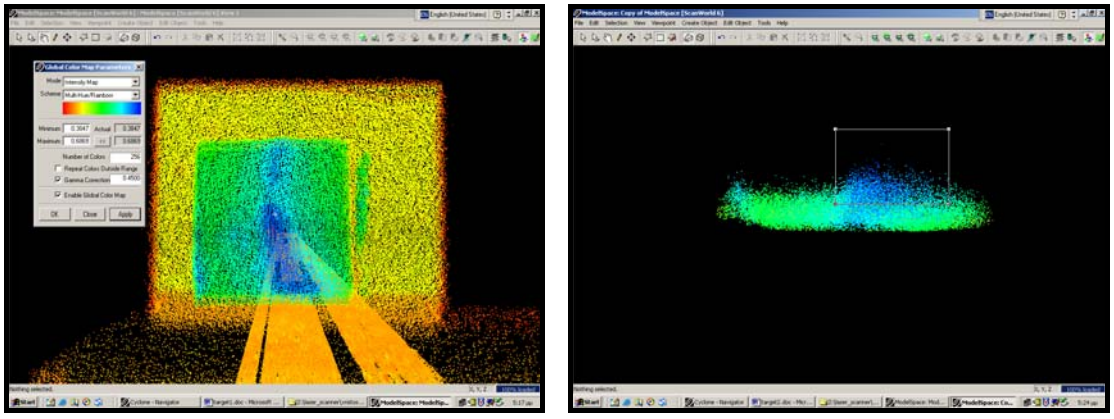
Προκειμένου να εξετασθεί η χωρική κατανομή του «θορύβου» των μετρημένων αποστάσεων κατασκευάσθηκαν διαγράμματα απεικόνισης των αφαιρούμενων σημείων για 95% επίπεδο εμπιστοσύνης. Για να εξετασθεί επιπλέον η συσχέτιση του «θορύβου» με την απόσταση κατασκευάσθηκαν διαγράμματα για κάθε χρώμα και υλικό, ένα στα 5m και ένα στα 50m απόσταση από το σαρωτή (βλ. Σχήμα 3α, 3β).



Σχήμα 3: Αφαιρούμενα σημεία για 95% «ε.ε» (α) για το μαύρο χρώμα (β) για το άσπρο χρώμα (αριστερά 5m, δεξιά 50m απόσταση από το σαρωτή)

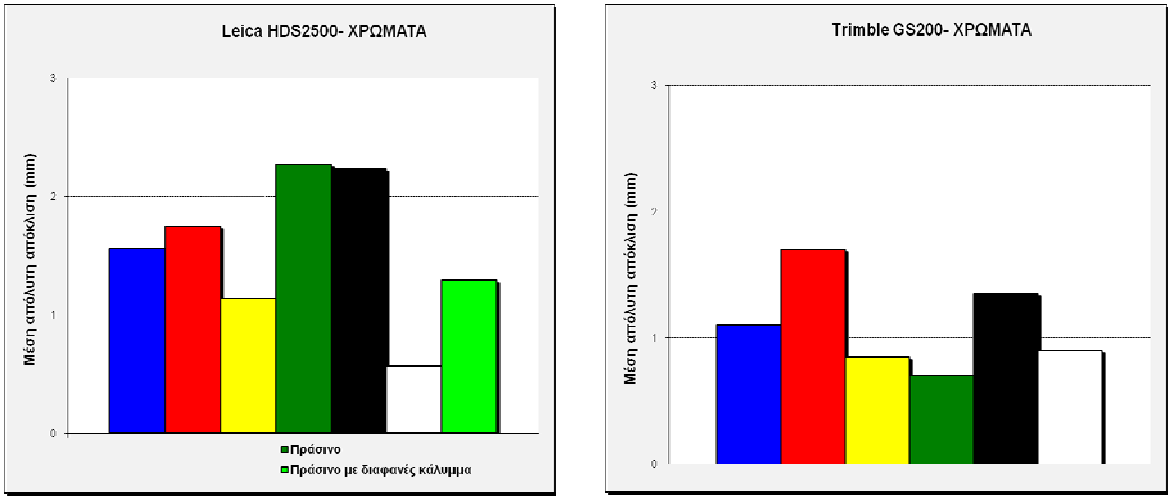
Παρατηρείται ότι η κατανομή των αφαιρούμενων σημείων τόσο στα χρώματα όσα και στα υλικά είναι τυχαία (βλ. Εικόνα 1), γεγονός που συμφωνεί με προηγούμενα πειράματα [6]. Εξαίρεση αποτελεί το μαύρο χρώμα που παρουσιάζει μια συγκέντρωση αφαιρούμενων σημείων πάνω και κάτω δεξιά. Ως προς τη πυκνότητα

των σημείων παρατηρείται ότι στα 50m αυξάνει ελαφρώς σε σχέση με την αντίστοιχη στα 5m απόσταση από το σαρωτή. Τοπικές συγκεντρώσεις αφαιρούμενων σημείων στα άκρα του στόχου είναι αναμενόμενες μιας και ο θόρυβος αυξάνεται στα άκρα του (όπως παρατηρείται στο μαύρο χρώμα, στο χαλκό και το μάρμαρο) λόγω απότομης αλλαγής της ανακλαστικότητας των μετρούμενων σημείων.



Εικόνα 1: Μεταβολή ανακλαστικότητας λόγω ύπαρξης κηλίδων στο αλουμίνιο (περιβάλλον Cyclone)

Οι αποκλίσεις των μετρημένων σχετικών αποστάσεων (1-2 έως 1-6, από Πίνακα 1), από τις πρότυπες (Mekometer), υπολογίσθηκαν. Στο Σχήμα 4α, β αναπαρίσταται η μέση απόλυτη απόκλιση για κάθε χρώμα ξεχωριστά για απόσταση στόχων από τους δυο σαρωτές 5-50m.



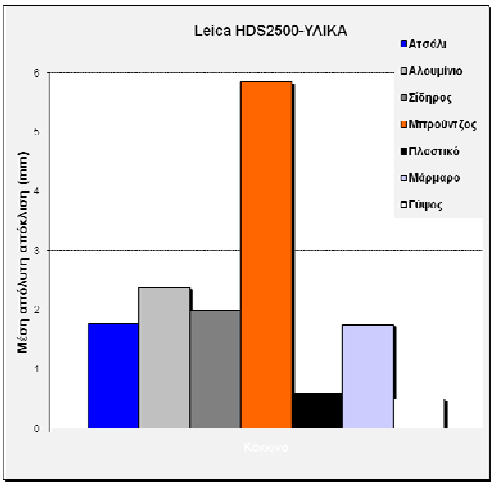
(α) (β)

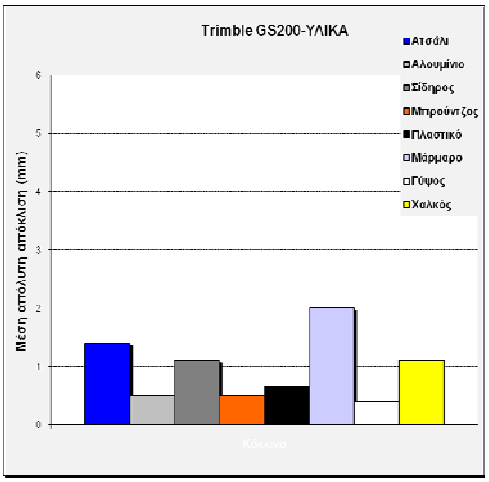
Σχήμα 4: Μέση απόλυτη απόκλιση σχετικών αποστάσεων στόχων διαφορετικών χρωμάτων (5-50m) για τους σαρωτές (α) Leica HDS2500 (β) Trimble GS2000

Οι τιμές των μέσων απόλυτων αποκλίσεων των σχετικών αποστάσεων και για τα δυο όργανα μέτρησης κυμαίνονται από 0.5 έως 2.3mm, με το Trimble GS200 να παρουσιάζει γενικά μικρότερες αποκλίσεις. Τα παραπάνω διαγράμματα συνάδουν με το Σχήμα 1, που δείχνει την απορρόφηση των χρωμάτων στο μήκος κύματος εκπομπής του συγκεκριμένου laser (532nm). Εξαίρεση αποτελεί το πράσινο χρώμα που απέφερε μικρές αποκλίσεις με το Trimble GS200. Αυτό, ενδεχομένως, να

οφείλεται στο τρόπο βαθμονόμησης του κατασκευαστή κάθε οργάνου. Αν ληφθεί υπόψη ότι το χρώμα των ειδικών στόχων της Trimble είναι πράσινο, συμπεραίνεται ότι πρέπει να έχει εφαρμοσθεί κάποια διόρθωση στο εσωτερικό του οργάνου με την οποία η επίδραση του πράσινου χρώματος στην απορρόφηση ακτινοβολίας να ελαχιστοποιείται. Το κόκκινο και το μαύρο αποφέρουν και στα δύο όργανα μεγάλες αποκλίσεις σε αντίθεση με το άσπρο και το κίτρινο χρώμα (χρώματα μεγάλης ανακλαστικότητας). Ειδικά για το πράσινο χρώμα παρατηρείται ότι η προσθήκη διαφανούς πλαστικού καλύμματος μειώνει το σφάλμα στη μετρημένη σχετική απόσταση κατά 1mm περίπου (για αποστάσεις 5-50m), λόγω αύξησης της ανακλαστικότητας.

Στο Σχήμα 5 αναπαρίσταται η μέση απόλυτη απόκλιση για κάθε υλικό ξεχωριστά για απόσταση στόχων από το σαρωτή 5-50m.



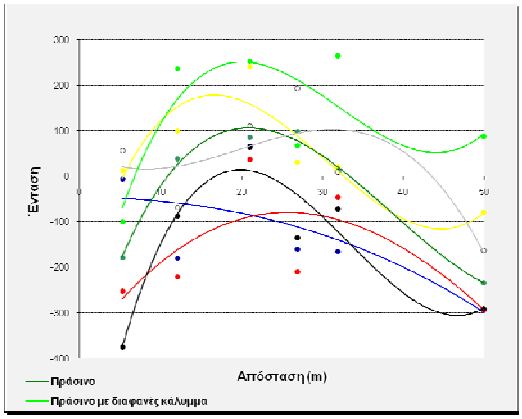


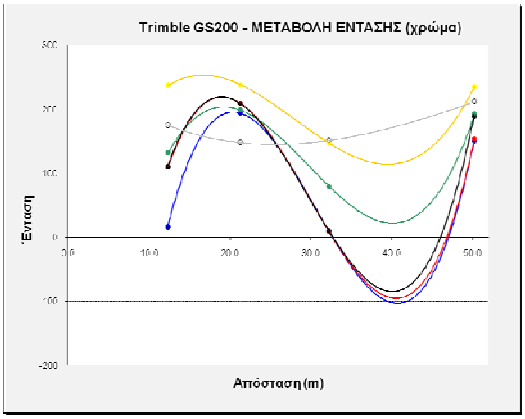
(α) (β)

Σχήμα 5: Αποκλίσεις σχετικών αποστάσεων στόχων διαφορετικών υλικών (5-50m) για τους σαρωτές (α) Leica HDS2500, (β) Trimble GS2000

Στο Σχήμα 5 παρατηρείται ότι οι τιμές των μέσων απόλυτων αποκλίσεων των σχετικών αποστάσεων και για τα δυο όργανα μέτρησης κυμαίνονται από 0.5 έως 5.8mm, με το Trimble GS200 να παρουσιάζει γενικά μικρότερες αποκλίσεις. Τα μέταλλα (ατσάλι, σίδηρος, αλουμίνιο, χαλκός) παρουσιάζουν μεγαλύτερες μέσες αποκλίσεις στις σχετικές τους αποστάσεις (1-2 έως 1-6, από Πίνακα 1) από τα υπόλοιπα υλικά (ξύλο, πλαστικό, μάρμαρο, γύψος, γυαλί). Τη μεγαλύτερη απόκλιση για τον σαρωτή Leica HDS2500 παρουσιάζει ο χαλκός (από τα μεταλλικά υλικά) και το μάρμαρο (από τα άλλα υλικά) ενώ για τον σαρωτή Trimble GS200 το ατσάλι και το μάρμαρο αντίστοιχα. Η μικρότερη απόκλιση εμφανίζεται στον γύψο και στους δυο σαρωτές.

Η ένταση του παλμού είναι αδιάστατο μέγεθος, έχει σχέση με το ποσό της ενέργειας του ανακλώμενου παλμού και μπορεί να σχετίζεται με τις αποκλίσεις στις σχετικές αποστάσεις. Επίσης, δίνει χρήσιμες πληροφορίες για τις ιδιότητες του υλικού των ανακλώμενων επιφανειών. Η μεταβολή της έντασης του παλμού συναρτήσει της απόστασης από το σαρωτή φαίνεται στο Σχήμα 6.



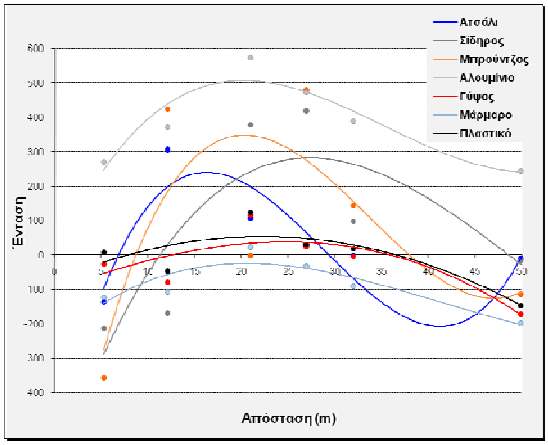


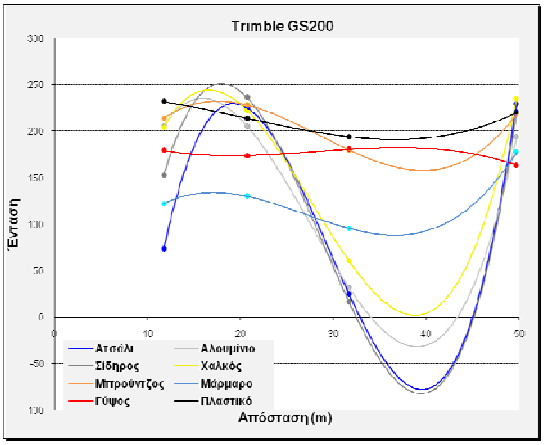
(α) (β)

Σχήμα 6: Μεταβολή έντασης παλμού laser συναρτήσει απόστασης για τα χρώματα (5-50m) για τους σαρωτές (α) Leica HDS2500, (β) Trimble GS2000

Στα παραπάνω διαγράμματα παρατηρείται ότι η ένταση δεν μεταβάλλεται ανάλογα με την απόσταση. Η μορφή των καμπύλων είναι περίπου η ίδια για τα διαφορετικά χρώματα και έχει μεγάλη ομοιότητα με την αντίστοιχη προηγούμενων πειραμάτων [7, 8]: ξεκινά με μια ελάχιστη τιμή σε απόσταση 5m από το σαρωτή παρουσιάζει ένα μέγιστο στα 20m περίπου από το σαρωτή. Εξαίρεση αποτελεί η ένταση για το άσπρο χρώμα. Οι τιμές της έντασης στο διάγραμμα κυμαίνονται από -400 έως 250 περίπου για τον σαρωτή Leica HDS2500 και από -100 έως 250 περίπου για τον Trimble GS200. Τις μικρότερες τιμές έντασης και για τα δυο όργανα παρουσιάζει γενικά το μαύρο χρώμα και το κόκκινο (χρώμα μεγάλης απορρόφησης) και τις υψηλότερες το άσπρο χρώμα και το κίτρινο. Χαρακτηριστικό είναι ότι τις μικρότερες αποκλίσεις παρουσίασαν αυτά τα δύο χρώματα.

Η μεταβολή της έντασης του παλμού συναρτήσει της απόστασης από το σαρωτή για τα υλικά φαίνεται στο Σχήμα 7.





(α) (β)

Σχήμα 7: Μεταβολή έντασης παλμού laser συναρτήσει απόστασης για τα υλικά (5-50m) για τους σαρωτές Leica HDS2500, Trimble GS2000

Στο Σχήμα 7 παρατηρείται ότι η ένταση δεν μεταβάλλεται ανάλογα με την απόσταση. Η μορφή των καμπύλων είναι περίπου η ίδια για τα διαφορετικά υλικά με εξαίρεση το

πλαστικό, το γύψο και το μάρμαρο, και στα δυο συστήματα οργάνων. Οι τιμές της έντασης στο διάγραμμα κυμαίνονται από -300 έως 600 περίπου για τον σαρωτή Leica HDS2500 και από -100 έως 250 περίπου για τον Trimble GS200. Τις μικρότερες τιμές έντασης παρουσιάζει το μάρμαρο, ο γύψος και το πλαστικό για τον σαρωτή Leica HDS2500 και το ατσάλι και ο σίδηρος για τον Trimble GS200. Τις μεγαλύτερες τιμές έντασης παρουσιάζει το αλουμίνιο και ο χαλκός για τον σαρωτή Leica HDS2500 και το πλαστικό και ο χαλκός για τον Trimble GS200. Επιπλέον ο γύψος έχει μεγαλύτερη ένταση παλμού από το μάρμαρο και επομένως μεγαλύτερη ανακλαστικότητα.

Συγκρίνοντας τα Σχήματα 6 και 7 με το Σχήμα 1 παρατηρείται ότι η μορφή της καμπύλης μεταβολής της έντασης συναρτήσει της απόστασης έχει την ίδια μορφή. Μάλιστα, σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις, η μέγιστη τιμή της έντασης παρουσιάζεται σε απόσταση περίπου 20m από το σαρωτή.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι επίγειοι σαρωτές laser, όπως πολλά όργανα της σύγχρονης τεχνολογίας, δεν έχουν πλήρως διερευνηθεί για την ακρίβεια και την αξιοπιστία των δεδομένων που παρέχουν. Είναι επομένως αναγκαία η κατανόηση των πηγών σφαλμάτων που παρουσιάζει η συγκεκριμένη τεχνολογία και οι επιπτώσεις τους στις μετρήσεις με στόχο την βελτίωση της συνολικής ποιότητας των μετρήσεων και της τελικής τρισδιάστατης απεικόνισης. Μια παράμετρος που επιδρά συχνά ως συστηματικό σφάλμα στον προσδιορισμό της απόστασης των σημείων στις μετρήσεις laser είναι η ανακλαστικότητα λόγω της διαφορετικότητας των υλικών και χρωμάτων των επιφανειών στο επιστρεφόμενο σήμα.

Η μελέτη της επίδρασης του χρώματος έδειξε ότι περισσότερο ανακλαστικοί στόχοι (π.χ. άσπροι) παρουσιάζουν το μεγαλύτερο θόρυβο μετρημένων αποστάσεων στη μεγαλύτερη εξεταζόμενη απόσταση από το σαρωτή (στα 120m). Δε συμβαίνει το ίδιο για χρώματα μικρότερης ανακλαστικότητας (π.χ. μαύρο). Χρώματα μεγάλης ανακλαστικότητας (άσπρο, κίτρινο) παρουσιάζουν καλύτερη εσωτερική και εξωτερική ακρίβεια από χρώματα μικρότερης ανακλαστικότητας (μαύρο). Η καταγραφόμενη ένταση του παλμού παρουσιάζεται να έχει μεγαλύτερες τιμές για χρώματα μεγάλης ανακλαστικότητας.

Η μελέτη της επίδρασης του υλικού έδειξε ότι τα υλικά δεν εμφανίζουν μεγάλες αποκλίσεις στην ίδια απόσταση από το σαρωτή. Ειδικά ο χαλκός εμφανίζει μεγάλες αποκλίσεις και μεγάλο θόρυβο για 5-50m απόσταση από το σαρωτή. Αντιθέτως, ενώ το αλουμίνιο έχει μεγαλύτερο θόρυβο και μικρότερη εξωτερική ακρίβεια από το σίδηρο για αποστάσεις 5-50m από το σαρωτή, σε αποστάσεις μεγαλύτερες των 50m συμβαίνει το αντίθετο και η μέση απόλυτη απόκλιση του σιδήρου γίνεται αρκετά μεγαλύτερη. Ο φωτισμός και η ύπαρξη κηλίδων στο στόχο επηρεάζουν την κατανομή του θορύβου. Σε μεγαλύτερες αποστάσεις παρατηρείται μείωση της εσωτερικής ακρίβειας με παράλληλη μείωση της έντασης του παλμού.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Τσακίρη Μ., Σταθάς Δ., Μπίθας Α., Βαλάνη Α., (2005). Ανάπτυξη μεθοδολογίας ελέγχου επίγειων σαρωτών Laser. Πρακτικά του 1ου Τακτικού Εθνικού Συνεδρίου Μετρολογίας, 11-12 Νοεμβρίου, Αθήνα [CD-ROM].

[2] Cheok G-S. , Stefan L., Rukhin A., (2002). Calibration Experiments of a Laser Scanner. National Institute of Standards and Technology (NISTIR) US, Publ. No 6922, September, 121p *(www.bfrl.nist.gov).*

[3] Boehler W., Bordas Vicent M., Marbs A., (2003). Investigating Laser Scanner Accuracy. Proc of the XIXth CIPA Symposium, 30 Sept.- 4 Oct., Antalya, Turkey, pp696-702.

[4] Ingensand H., Ryf A., Schulz T., (2003). Performances and experiences in terrestrial Laserscanning. Proc. of the 6th Conference on Optical 3D Measurement Techniques, 20-25 Sept., Zurich, Switzerland, pp236-244.

[5] Valanis A. and Tsakiri, M., (2004) Automatic target identification for laser scanners. Proc. XX. ISPRS Congress, Istanbul, Turkey, 12-23 July, Vol XXXV [CD-ROM].

[6] Clark J. and Robson S., (2004). Accuracy of measurements made with a Cyrax 2500 Laser Scanner against surfaces of known colour. Proc. of the XXth ISPRS Congress, 12-23 July, Istanbul, Turkey [[CD-ROM].

[7] Lichti D.D., Franke J., (2006). Self-calibration of the IQSUN 880 Laser Scanner. Proc. of the Optical 3D Measurement Techniques VII, 3-5 October, Vienna, Austria, pp 112-122

[8] Lichti D.D., (2003). Modelling of laser scanner Nir intensity for multi-spectral point cloud classification. Proc. of the 6th Conference on Optical 3D Measurement Techniques, 20-25 Sept., Zurich, Switzerland, pp282-290.