

Η συμβολή της τρισδιάστατης αποτύπωσης βιομηχανικών υποδομών με έμφαση στη δημιουργία τρισδιάστατου φωτορεαλιστικού μοντέλου

Σ. Μπίθαρης*

Δρ. Μηχανικός Γεωπληροφορικής & Τοπογραφίας, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, ΑΠΘ
Κτίριο Πολυτεχνικής Σχολής, Πανεπιστημιούπολη, 54124, Θεσσαλονίκη

Χ. Πικριδάς

Καθηγητής, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών Α.Π.Θ

Β. Τσιούκας

Καθηγητής, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών Α.Π.Θ

Ι-Α. Κάρολος

Υπ. Διδάκτωρ, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, ΑΠΘ

Κ. Μπέλλος

Υπ. Διδάκτωρ, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, ΑΠΘ

*Τηλ.: +30 2310996110, E-mail: smpithar@topo.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Η παρούσα μελέτη περιγράφει τη διαδικασία μετρήσεων πεδίου καθώς και τη συμβολή της 3D Ψηφιακής Τεκμηρίωσης σε πολύπλοκες βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Η όλη εφαρμογή πραγματοποιήθηκε στις εγκαταστάσεις των Ελληνικών Πετρελαίων στη Βόρεια Ελλάδα (ΕΛΠΕ). Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν επίγειοι σαρωτές λέιζερ (TLS) για την τρισδιάστατη γεωμετρική αποτύπωση και δέκτης GNSS για τον υπολογισμό θέσης που απαιτείται στη διαδικασία της γεωαναφοράς. Πιο συγκεκριμένα, οι συσκευές ψηφιακής σάρωσης 3D έχουν προσφέρει νέα μέσα για τη διατήρηση των γεωμετρικών και φωτορεαλιστικών νεφών 3D σημείων. Ένας σημαντικός λόγος για την εφαρμογή φωτορεαλιστικών μοντέλων τα οποία περιλαμβάνουν την οπτικοποίηση των αντικειμένων (από διάφορες απόψεις) είναι επειδή πολλές φορές αυτό γίνεται αδύνατο στον πραγματικό κόσμο, λόγω του μεγέθους ή της προσβασιμότητας, ή και της αλληλεπίδρασης του προσωπικού με αντικείμενα, ειδικά σε βιομηχανικές περιοχές υψηλού κινδύνου. Οι 3D σαρωτές προσφέρουν τη δυνατότητα να αποτυπώνουν ιδιαίτερα περιβάλλοντα χωρίς την ανάγκη φυσικής πρόσβασης στο χώρο τους. Τα δεδομένα πεδίου μπορούν να αποθηκευτούν για να αναλυθούν (μετρήσεις απόστασης, επιθεώρηση ρωγμών, ογκομετρική ανάλυση) σε περιβάλλον γραφείου. Μέσα από την παρούσα μελέτη, γίνεται προσπάθεια να τονιστεί η αξία της τρισδιάστατης ψηφιακής αποτύπωσης στη δημιουργία ψηφιακών διδύμων με έμφαση στις πολύπλοκες βιομηχανικές εγκαταστάσεις.

Λέξεις Κλειδιά: Σύγχρονες τεχνολογίες αποτύπωσης, τρισδιάστατο νέφος σημείων, γεωαναφορά, ψηφιακά δίδυμα, βιομηχανικές υποδομές

ABSTRACT: This study describes the field procedure and impact of the 3D Digital Documentation in complex industrial environments. It took place at Hellenic Petroleum facilities in Northern Greece (HELPE). For this purpose, Terrestrial Laser Scanners (TLS) were used for the 3D geometric recording and a GNSS receiver for the position information and the georeferenced procedure. More specific, digital 3D scanning devices has provided new means to preserve geometric and photorealistic 3D point clouds. An important reason for applying photorealistic models include visualization from a point of view, is because that is impossible in the real world due to size or accessibility, interaction with non-hazardous objects

and maximum staff safety, especially in industrial areas with high-risk hazards. 3D scanners allow surveyors to capture environments without the need to physically access the restrict area. The field data can be saved in order to be analyzed (distance measurements, crack inspection, volumetric analysis) from an office environment. Through this study, we tried to emphasize the value of 3D digital survey for the creation of digital twins for complex industrial facilities.

Keywords: Modern mapping technologies, 3D point cloud, georeferencing, digital twins, industrial infrastructure.

Ι. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η πολυπλοκότητα των τεχνικών ελέγχων και διαδικασιών συντηρήσεων, η επέκταση των βιομηχανικών υποδομών καθώς και ο όγκος της παραγωγής, έχει αναδείξει το στόχο της ασφάλειας και της τεχνικής συντήρησης του εξοπλισμού πιο επίκαιρο από ποτέ. Η έλευση νέων ψηφιακών τρισδιάστατων συσκευών σάρωσης παρείχε νέα μέσα για την ψηφιακή αποτύπωση-απόδοση αυτών των μηχανήματων και των σύνθετων εγκαταστάσεων τους δημιουργώντας γεωμετρικά και φωτορεαλιστικά τρισδιάστατα μοντέλα [1].

Τα πιο συνήθη κίνητρα για τρισδιάστατη αποτύπωση και μοντελοποίηση είναι η τεκμηρίωση ιστορικών κτιρίων και μνημείων και γενικά κατασκευών ιδιαίτερου ενδιαφέροντος όπως και η δημιουργία εκπαιδευτικών μέσων για ερευνητές και μελετητές [2]. Σε ότι αφορά την βιομηχανική συντήρηση, η διάθεση της πληροφορίας στο κατάλληλο προσωπικό σε πραγματικό χρόνο και η παρουσίασή της με τεχνικές επαυξημένης πραγματικότητας σε κινητές συσκευές, σε συνδυασμό με ευφύες μεθόδους λήψης αποφάσεων βασισμένες σε τεχνικές μηχανικής μάθησης αποτελούν το μέλλον της σύγχρονης Βιομηχανίας και θα απλοποιήσουν με τη σειρά τους τόσο τις διαδικασίες συντήρησης του εξοπλισμού όσο και θα

διευκολύνουν το τεχνικό προσωπικό στην διεκπεραίωση τους [3].

Αλλα κίνητρα για την εφαρμογή φωτορεαλιστικών μοντέλων περιλαμβάνουν την οπτικοποίηση από απόψεις που είναι αδύνατες στον πραγματικό κόσμο λόγω του μεγέθους ή της προσβασιμότητας, της αλληλεπίδρασης με αντικείμενα χωρίς κίνδυνο ζημιάς και με την μέγιστη ασφάλεια του προσωπικού κυρίως για βιομηχανικούς χώρους σε εγκαταστάσεις με υψηλή περιεκτικότητα υδρογονανθράκων όπως είναι οι εγκαταστάσεις των Ελληνικών Πετρελίων (ΕΛΠΕ) στη Βιομηχανική Περιοχή της Θεσσαλονίκης. Πιο συγκεκριμένα, οι Βιομηχανικές Εγκαταστάσεις Θεσσαλονίκης (ΒΕΘ) της εταιρίας ΕΛΠΕ, βρίσκονται στην περιοχή των Διαβατών που είναι στην ευρύτερη περιοχή του νομού Θεσσαλονίκης και περιλαμβάνουν το Διυλιστήριο, τη Μονάδα Διαλυτών και τη Μονάδα Πολυπροπυλενίου σε μια έκταση συνολικά 2211 στρεμμάτων.

Το διυλιστήριο Θεσσαλονίκης είναι τεχνολογίας hydroskimming, (Ατμοσφαιρικής Δύλισης). Έχει αποθηκευτική δυναμικότητα 1,4 εκατ. m³, ενώ η ημερήσια δυναμικότητα δύλισης είναι 90 Kbpd και η ετήσια αγγίζει τα 4,5 M/T εκ. Το 2011 αναβαθμίστηκαν οι τομείς των μονάδων απόσταξης και οι αποθηκευτικές εγκαταστάσεις του διυλιστηρίου, ενώ προστέθηκε μία μονάδα καταλυτικής αναμόρφωσης (CCR: 15χιλ. βαρέλια/ημέρα). Αξίζει να σημειωθεί ότι είναι το μοναδικό διυλιστήριο στη βόρεια Ελλάδα που καλύπτει τις ανάγκες τόσο της Ελληνικής όσο και της νοτιοανατολικής Ευρωπαϊκής αγοράς.

II. ΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΤΡΟΠΟΙ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ

A. Σύγκριση 3D σαρωτών laser και συστημάτων SLAM

Τα τελευταία χρόνια εξελίσσεται ραγδαία η ανάπτυξη συστημάτων SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) ή αλλιώς συστημάτων Ταυτόχρονης χαρτογράφησης και εντοπισμού, βρίσκοντας εφαρμογή τόσο στη ρομποτική όσο και σε τοπογραφικές εφαρμογές. Θα προσπαθήσουμε να ομαδοποιήσουμε τα κυριότερα χαρακτηριστικά των συστημάτων SLAM και των 3D σαρωτών laser, με σκοπό να πραγματοποιήσουμε μια σύγκριση μεταξύ τους.

Ταχύτητα: Η τεχνολογία SLAM επεξεργάζεται οπτικά δεδομένα σε συνδυασμό με τις μετρήσεις που λαμβάνονται στην αδρανειακή του μονάδα (IMU) καθώς ο χειριστής ή το όχημα κινείται στον χώρο γρήγορα και εύκολα. Δεν απαιτείται χρόνος για στάσεις και ρυθμίσεις τρίποδων όπως στην περίπτωση των laser σαρωτών. Ακόμη, ο τρόπος λειτουργίας τους είναι τέτοιος που ο τελικός χρήστης λαμβάνει συνδεδεμένο το τελικό νέφος σημείων χωρίς

να χρειάζεται να ενεργήσει ο ίδιος για να πραγματοποιήσει τις συνδέσεις στο γραφείο όπως συμβαίνει στην περίπτωση του TLS.

Ευκολία στη χρήση: Η ροή εργασίας για τη σάρωση με μονάδα SLAM μπορεί να περιοριστεί στην εκκίνηση του σαρωτή, στη λήψη δεδομένων του και στη συνέχεια στην κάλυψη του απαιτούμενης περιοχής μελέτης. Αυτό μπορεί να αποτελέσει κίνητρο για εταιρείες που δεν διαθέτουν τους πόρους για να απασχολήσουν έναν πιο εξειδικευμένο χειριστή. Η μεθοδολογία μετρήσεων με Laser Scanner, αν και είναι αρκετά πιο απλοποιημένη σε σχέση με τις παραδοσιακές τοπογραφικές και φωτογραμμετρικές μεθόδους συνεχίζει να απαιτεί έναν βαθμό αντίληψης του χώρου από τον χειριστή και έναν “στρατηγικό” σχεδιασμό τοποθέτησης του οργάνου στον χώρο έχοντας παράλληλα πλήρη επίγνωση των χαρακτηριστικών και δυνατοτήτων του μηχανήματος. Αν ο χειριστής αποτύχει στον σωστό σχεδιασμό των σημείων στάσης είναι πιθανό να μην μπορεί να δημιουργηθεί το ζητούμενο τελικό 3D μοντέλο και να πρέπει να επαναλάβει στο πεδίο εκ νέου μετρήσεις. Κάτι τέτοιο ενέχει οικονομικό και χρονικό κόστος.

Χαμηλό συνολικό κόστος: Υπό το πρίσμα πως τόσο το hardware όσο και το software έχουν αρκετά μεγάλο κόστος τόσο για έναν επίγειο σαρωτή όσο και για έναν σύστημα SLAM, η ταχύτητα και η ευκολία χρήσης συμβάλλουν στη συνολική οικονομική προσιτότητα της τρισδιάστατης σάρωσης με SLAM. Αν και ο εξοπλισμός δεν είναι φθηνός, η μείωση της απαιτούμενης εργασίας σε χρόνο και ανθρώπινο δυναμικό μπορεί να μειώσει το συνολικό κόστος του έργου.

Ευελιξία στη χρήση: Τα συστήματα SLAM είναι διαθέσιμα σε διαφορετικές μορφές, από φορητούς σαρωτές σακιδίων LiDAR έως μονάδες με δυνατότητα τοποθέτησης σε UAV. Ορισμένα μοντέλα μπορούν να προσαρμοστούν σε πολλές διαφορετικές μεθόδους, με εναλλαγή μεταξύ χρήσης χειρός και χρήσης σε όχημα, ανάλογα με το έργο. **Ακρίβεια:** Αν και με βάση τα παραπάνω θα μπορούσε να συμπεράνει κανείς πως τα συστήματα SLAM είναι η καλύτερη επιλογή, υπάρχει ένα ξεκάθαρο σημείο υπεροχής των επίγειων σαρωτών και αυτό είναι η ακρίβεια των μετρήσεων και ο έλεγχος της.

Οι τρισδιάστατοι σαρωτές αφενός έχουν καλύτερη ονομαστική ακρίβεια από τα συστήματα SLAM και αφετέρου δίνουν περιθώρια στον (έμπειρο) χρήστη να επεξεργαστεί ο ίδιος τις μεμονωμένες μετρήσεις ξεχωριστά και να φροντίσει να ενοποιηθούν με όσο το δυνατόν καλύτερες προϋποθέσεις (αλληλοεπικάλυψη νεφών, οπτική αναγνώριση κοινών σημείων, απόρριψη προβληματικών νεφών σημείων, κλπ). Τα δεδομένα που προκύπτουν από ένα SLAM σύστημα είναι ήδη ενοποιημένα, πράγμα που σημαίνει πως μία ολίσθηση στο αδρανειακό σύστημα ή μία παρόμοια επαναλαμβανόμενη σκηνή στον

οπτικό αισθητήρα μπορεί να οδηγήσουν το λογισμικό σε “λάθος” το οποίο πολλές φορές να μην μπορεί να γίνει καν αντιστροφή και να οδηγήσει στην παραγωγή λανθασμένων 2D σχεδίων ή 3D τελικών προϊόντων. Συνεπώς στο κομμάτι της ακρίβειας οι επίγειοι σαρωτές ακόμη υπερτερούν.

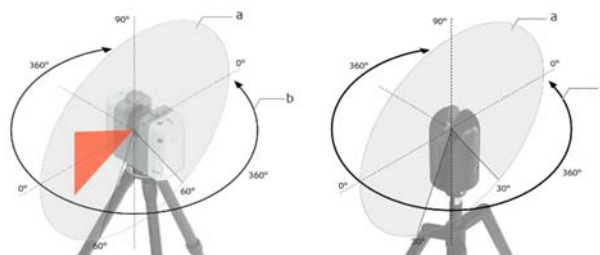
Β. Σύγκριση 3D σαρωτών laser και κλασσικών τοπογραφικών οργάνων

Κρίνεται σκόπιμο να πραγματοποιηθεί μια (βασική) σύγκριση μεταξύ των 3D σαρωτών laser και των κλασσικών τοπογραφικών οργάνων, που θα συμβάλει στην επιλογή της κατάλληλης μεθόδου αλλά και του σχεδιασμού των εργασιών σε εφαρμογές βιομηχανικής αποτύπωσης. Κάποια από τα κυριότερα πλεονεκτήματα των 3D επίγειων σαρωτών laser είναι ότι δίνουν τη δυνατότητα να αποτυπώσουμε σύνθετες και γεωμετρικά πολύπλοκες κατασκευές, όπως είναι αυτές που εμφανίζονται σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Επίσης, δίνουν τη δυνατότητα να αποτυπώσουμε με μεγαλύτερη λεπτομέρεια την εκάστοτε περιοχή ενδιαφέροντος ή την κατασκευή που ζητείται. Στην περίπτωση που θα χρησιμοποιούσαμε κάποιο κλασσικό/γεωδαιτικό Total Station αντί για το 3D επίγειο σαρωτή laser, θα έπρεπε να οδηγηθούμε σε γενικεύσεις, λειτουργώντας αφαιρετικά και επιλέγοντας τα κατάλληλα σημεία που θα έδιναν την δυνατότητα της αναπαράστασης της υφιστάμενης κατάστασης. Η δυνατότητα που δίνουν οι σαρωτές laser ώστε να αποτυπώνουμε εκατομμύρια σημεία σε πολύ μικρό χρόνο, βοηθούν στο να μειώσουμε δραματικά το χρόνο παραμονής στο πεδίο, ωστόσο προϋποθέτουν μετεπεξεργασία των δεδομένων προκυμμένου να οδηγηθούμε στη δημιουργία ενός 3D φωτορεαλιστικού μοντέλου και να μπορέσουμε να το αξιοποιήσουμε κατάλληλα. Συνεπώς, αξιολογώντας τις απαιτήσεις της παρούσας μελέτης, κρίθηκε σκόπιμο να χρησιμοποιηθεί ο συνδυασμός δύο 3D laser scanner, σε σχέση με τα κλασσικά τοπογραφικά/γεωδαιτικά όργανα, αλλά και σε σχέση με φωτογραμμετρικές μεθόδους.

III. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ

Το πρώτο στάδιο για την τρισδιάστατη αποτύπωση των βιομηχανικών μονάδων, αφορά τις εργασίες πεδίου, όπου αποφασίστηκε καθ’ υπόδειξη των υπευθύνων των ΕΛΠΕ, σε συνεννόηση με τις επιμέρους υπηρεσίες συντήρησης, η ψηφιακή αποτύπωση τριών συμπιεστών που ανήκουν στην μονάδα καταλυτικής αναμόρφωσης (CCR). Η συγκεκριμένη μονάδα, έχει κομβικό ρόλο στη λειτουργία του διωλιστηρίου διότι, μπορεί και κατεργάζεται επιπλέον της ίδιας παραγωγής νάφθας, τη διαθέσιμη νάφθα από το διωλιστήριο Ελευσίνας, αυξάνοντας το συνολικό περιθώριο των διωλιστηρίων του Ομίλου. Για την αποτύπωση των συγκεκριμένων βιομηχανικών μονάδων η Ερευνητική Ομάδα του ΤΑΤΜ/ΑΠΘ χρησιμοποίησε τον Laser σαρωτή

RTC360LT της εταιρείας Leica Geosystems με δυνατότητα συλλογής 1000000 pts/sec και μέγιστη απόσταση μέτρησης τα 130 m και σε ειδικές περιπτώσεις το laser σαρωτή BLK360, με δυνατότητα συλλογής 680.000 pts/sec και μέγιστη απόσταση μέτρησης τα 45m (βλ. Πίνακα 1) [4,5]. Στο Σχήμα 1, απεικονίζονται οι δύο επίγειοι 3D laser scanners που χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας μελέτης, όπου είναι εμφανές το εύρος του πεδίου παρατήρησης, κατά το κατακόρυφο (α) και οριζόντιο (β) επίπεδο.

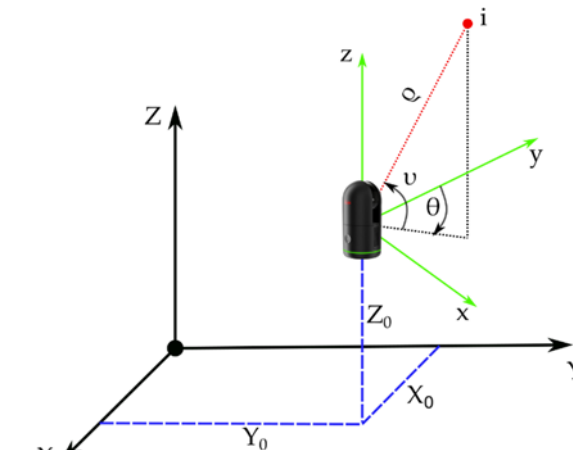


Σχήμα 1 – Οι Αξονες περιστροφής των 3D σαρωτών laser που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη. Leica RTC360-LT (αριστερά), Leica BLK360 (δεξιά).

Η αρχή του συστήματος αναφοράς του σαρωτή laser ταυτίζεται με το ηλεκτροοπτικό κέντρο της μετρητικής κεφαλής του οργάνου [6]. Οι πρωτογενείς μετρήσεις του σαρωτή laser πραγματοποιούνται σε πολικές συντεταγμένες, όπως συμβαίνει και τις κλασσικές τοπογραφικές εργασίες (βλ. Σχήμα 2). Για τον μετασχηματισμό των μετρούμενων πολικών συντεταγμένων [7], χρησιμοποιούνται οι γνωστές εξισώσεις (βλ. Σχέση 2.1) όπως δίνονται σε μορφή πινάκων:

$$\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix} = \rho_i \begin{bmatrix} \sin(\theta_i) \cos(u_i) \\ \sin(\theta_i) \sin(u_i) \\ \cos(u_i) \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

Όπου, ρ_i, θ_i, u_i οι πολικές συντεταγμένες για το κάθε i σημείο. Με ρ αναφερόμαστε την μετρούμενη απόσταση μεταξύ του κέντρου της μετρητικής κεφαλής του οργάνου προς το σημείο μέτρησης, ενώ με θ και u είναι η οριζόντια και κατακόρυφη μετρούμενη γωνία, που σχηματίζεται από το τοπικό σύστημα αναφοράς του οργάνου προς το κάθε i σημείο μέτρησης. Σχηματικά, δίνεται από το Σχήμα 2.



Σχήμα 2 - Τα συστήματα αναφοράς του οργάνου η σύνδεση μεταξύ τους.

Για την αξιοποίηση των μετρήσεων είναι απαραίτητο να μετασχηματισθούν οι συντεταγμένες από το τοπικό σύστημα αναφοράς σε ένα ενιαίο σύστημα αναφοράς. Η σύνδεση των δύο συστημάτων αναφοράς πραγματοποιείται μέσω της εφαρμογής ενός άκαμπτου μετασχηματισμού 6-παραμέτρων όπως δίνεται από την Σχέση 2.2:

$$\begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} + \mathbf{R} \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

Όπου, με X_0, Y_0, Z_0 συμβολίζονται οι τρεις μεταθέσεις του συστήματος αναφοράς του σαρωτή προς το ενιαίο σύστημα αναφοράς που χρησιμοποιείται για την εκτέλεση των εργασιών και για τη σύνδεση των επιμέρους σαρώσεων. Με $\mathbf{R}$ συμβολίζουμε τον πίνακα των τριών στροφών μεταξύ των δύο συστημάτων αναφοράς, όπως δίνεται σε μορφή πίνακα από την Σχέση 2.3. Η έννοια της κλίμακας δεν εισάγεται στο μετασχηματισμό μεταξύ των δύο συστημάτων αναφοράς σε μετρήσεις που αφορούν επίγειους 3D σαρωτές laser, καθώς μπορούμε να οδηγηθούμε λανθασμένα αποτελέσματα, παραμορφώνοντας την γεωμετρία του νέφους σημείων. Η εισαγωγή της κλίμακας στον μοντέλο του μετασχηματισμού δεν συμβάλλει σημαντικά, παρά μπορεί να οδηγήσει σε υποβάθμιση της ακρίβειας της τελικής λύσης [8,9].

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} 1 & -R_z & R_y \\ R_z & 1 & -R_x \\ -R_y & R_x & 1 \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Όπως συμβαίνει με όλα τα γεωδαιτικά όργανα, έτσι και με τους επίγειους 3D σαρωτές laser είναι απαραίτητη η βαθμονόμηση/διακρίβωση των οργάνων, σύμφωνα με τα εθνικά και διεθνή πρότυπα, με σκοπό την επαλήθευση της ονομαστικής ακρίβειας των οργάνων [10–12]. Πιο συγκεκριμένα, οι κυριότερες πηγές σφαλμάτων που εμφανίζονται στους επίγειους 3D σαρωτές laser, οφείλονται κυρίως: α) στα σφάλματα του τηλεμέτρου του σαρωτή laser β) στα σφάλματα της μονάδας εκτροπής δέσμης και στο σύστημα μέτρησης των γωνιών γ) στα σφάλματα των αξόνων, δηλαδή στον κάθετο και οριζόντιο άξονας, καθώς επίσης τον άξονας ευθυγράμμισης. Έχουν προταθεί στην διεθνή βιβλιογραφία διαφορετικές κατηγοριοποιήσεις των σφαλμάτων που υπεισέρχονται στις μετρήσεις των 3D σαρωτών laser [13]. Πρέπει να επισημανθεί ότι η διαδικασία της διακρίβωσης της ακρίβειας των μετρήσεων πρέπει να ακολουθεί συγκεκριμένα πρότυπα που έχουν καθιερωθεί από τον Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης ISO [14,15].

Για την γεωαναφορά των νεφών σημείων (Points Cloud) στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ87) μετρήθηκαν επίγειοι στόχοι που κατασκεύασε και εγκατέστησε κατάλληλα η ΕΟ ΑΠΘ. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με δορυφορικό

δέκτη GNSS με δυνατότητα καταγραφής όλων των διαθέσιμων δορυφορικών σημάτων (GPS, GLONASS, Galileo, Beidou), ενώ πριν τις μετρητικές καμπάνιες προηγήθηκαν επιμέρους επισκέψεις, σε όλους τους χώρους, για το βέλτιστο σχεδιασμό-επιλογή θέσης των σημείων ελέγχου της γεωαναφοράς [16].

Α. Σύστημα αναφοράς - Γεωαναφορά Μετρήσεων

Όλοι οι στόχοι που χρησιμοποιήθηκαν από την Ερευνητική Ομάδα με σκοπό την γεωαναφορά των σαρώσεων, προσδιορίστηκαν με τη χρήση δεδομένων GNSS και με εφαρμογή του σχετικού προσδιορισμού θέσης τόσο εκ των υστέρων όσο και σε πραγματικό χρόνο [17]. Οι στόχοι κατασκευάστηκαν σε τετραγωνική διάσταση περίπου 16x16cm με w/b αντίθεση ώστε να φαίνονται ευδιάκριτα στην σάρωση. Κατά τη διαδικασία, χρησιμοποιήθηκε και το δίκτυο μόνιμων σταθμών GNSS του TATM [18], αλλά και ο σταθμός AUT1 ο οποίος συμμετέχει και στο Ευρωπαϊκό δίκτυο μόνιμων σταθμών EPN/EUREF και έχει κατά καιρούς αποτελέσει το βασικό σταθμό αναφοράς για την υλοποίηση διαφόρων δικτύων του Ελλαδικού χώρου με πιο χαρακτηριστικό, το δίκτυο σταθμών της Κτηματολόγιο Α.Ε.

Οι αρχικές γεωκεντρικές καρτεσιανές συντεταγμένες προσδιορίστηκαν στο σύστημα αναφοράς HTRS07. Το HTRS07 αποτελεί την υλοποίηση του Ευρωπαϊκού συστήματος ETRS89 στον Ελλαδικό χώρο εγκεκριμένη από τη EUREF, την αρμόδια επιτροπή για τον ορισμό και τη διαχείριση του ETRS89 (European Terrestrial Reference Frame). Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε το επίσημο μοντέλο (αμφίδρομο) μετασχηματισμού μεταξύ HTRS07 και ΕΓΣΑ87 [19]. Το μοντέλο αυτό σύμφωνα με της οδηγίες της (τότε) Κτηματολόγιο ΑΕ (πλέον Ελληνικό Κτηματολόγιο -ως ΝΠΔΔ) πρέπει να χρησιμοποιείται κατά την παραγωγή συντεταγμένων στο ΕΓΣΑ87, μέσω μόνιμων σταθμών GNSS που αναφέρονται στο σύστημα αναφοράς. Για τις ανάγκες των εργασιών, οι συντεταγμένες μετατράπηκαν από γεωκεντρικές καρτεσιανές συντεταγμένες, σε προβολικές συντεταγμένες χρησιμοποιώντας την Εγκάρσια Μερκατορική προβολή μιας ζώνης TM87. Η TM87 εφαρμόζεται από τις αρχές της δεκαετίας του 1990 και μετά την αποδοχή του νέου Ελληνικού Γεωδαιτικού Συστήματος Αναφοράς του 1987 (ΕΓΣΑ87, ελλειψοειδές GRS80), αποτελώντας έκτοτε το επίσημο ελληνικό κρατικό προβολικό σύστημα. Αξίζει να αναφερθεί, ότι η απεικόνιση TM87 αποτελεί και το επίσημο προβολικό σύστημα για την υλοποίηση του Κτηματολογίου στην Χώρα μας. Όλος ο Ελλαδικός χώρος αποτελεί μία ζώνη με κεντρικό μεσημβρινό $\lambda_0=24^\circ$ και $m_0=0.9996$, $E_0=500000m$, $\varphi_0=0^\circ$, $N_0=0m$. Επειδή το εύρος του Ελλαδικού χώρου είναι πάνω από 9° θα πρέπει να χρησιμοποιούνται οι ακριβείς μαθηματικές εκφράσεις για εργασίες ανώτερης τάξης ενώ οι απλοποιημένες εκφράσεις μπορούν να χρησιμοποιούνται στις συνήθεις γεωδαιτικές και τοπογραφικές εργασίες.

IV. ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΝΕΦΟΥΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΑΡΩΣΕΩΝ

Στην συγκεκριμένη ενότητα παρατίθενται αναλυτικά τα στοιχεία επεξεργασίας της σάρωσης (δείκτες ποιότητας) από μια καμπάνια μετρήσεων στο χώρο των ΕΛΠΕ. Η συγκριμένη μετρητική καμπάνια αποτελείται συνολικά από 39 στάσεις (setup) του σαρωτή. Όλες οι συνδέσεις των νέφων σημείων (point clouds) από τις επιμέρους σαρώσεις πραγματοποιήθηκαν με ακρίβεια της τάξης των 1-2 mm το οποίο είναι βασική προϋπόθεση για τη δημιουργία ενός αξιόπιστου τρισδιάστατου ψηφιακού μοντέλου και με επικάλυψη (μέση τιμή) 45%.

Πίνακας 1 – Τεχνικά χαρακτηριστικά των 3D σαρωτών laser

Σύστημα μέτρησης αποστάσεων	RTC360 LT	BLK360
Μέγιστη εμβέλεια	130 m	45 m
Μέγιστος ρυθμός σάρωσης	1 mio pts/sec	680.000 pts/sec
Επιλογές ανάλυσης	3 (3/6/12 mm @ 10 m)	4 (6/12/25/50 mm @ 10 m)
Μήκος κύματος laser	1550 nm (invisible)	830 nm (invisible)
Αισθητήρας κλίσης, Ακρίβεια κλίσης	IMU, 18 arcsec	IMU
3D Ακρίβεια	6.4 mm @ 50 m 12.5 mm @ 100 m	4 mm @ 10 m 8 mm @ 20 m
Ευθυγράμμιση σαρώσεων		
Προ- Ευθυγράμμιση σαρώσεων στο πεδίο	4	4
Cloud to cloud	4	4
Στόχοι αναφοράς	4	4
Επιπλέον αισθητήρες		
IMU	4	4
GNSS	4	6
Αλτίμετρο	4	6
Πυξίδα	4	6
Οπτικό αδρανειακό σύστημα (VIS)	6	4
Φορητότητα		
Βάρος	5.3 kg	0.85 kg
Μέγεθος	120 x 240 x 230 mm	80 x 80 x 155 mm

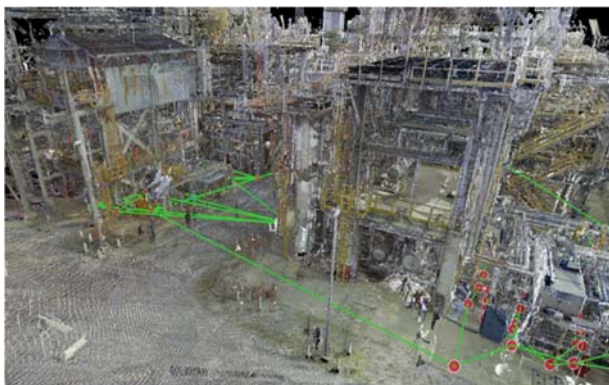
Στο στάδιο της επεξεργασίας στόχος είναι η δημιουργία τρισδιάστατου φωτορεαλιστικού μοντέλου των βιομηχανικών υποδομών στα ΕΛΠΕ (Θεσσαλονίκη), που δημιουργήθηκε χρησιμοποιώντας ως εξοπλισμό πεδίου δύο σαρωτές: 1) Leica RTC360 3D και 2) Leica BLK360 ως επικουρική βοήθεια σε συγκεκριμένες περιπτώσεις. Η επιλογή για την χρησιμοποίηση δυο διαφορετικών 3D σαρωτών laser, επιλέχθηκε για την αξιοποίηση των επιμέρους βέλτιστων χαρακτηριστικών που διαθέτουν. Ειδικότερα, τα συγκριτικά πλεονεκτήματα του Leica RTC360 3D εστιάζονται στην μεγαλύτερη ταχύτητα σάρωσης σημείων ανά δευτερόλεπτο (1000000/sec) και στη βέλτιστη εφαρμογή σε βιομηχανικές εφαρμογές που απαιτείται υψηλή χωρική ανάλυση και ακρίβεια. Επιπρόσθετα, αξιοποιήθηκε και ο 3D σαρωτής Leica

BLK360, σε περιπτώσεις που εξυπηρετούσε τον σχεδιασμό των μετρήσεων πεδίου, λόγω της ευελιξίας που παρέχει στο πεδίο (πολύ μικρών διαστάσεων). Στον Πίνακα 1, δίνονται αναλυτικά τα τεχνικά χαρακτηριστικά των δύο σαρωτών laser που αξιοποιήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας. Η διαδικασία της ενοποίησης των μετρήσεων από τους δύο διαφορετικούς σαρωτές, αλλά και από τις επιμέρους καμπάνιες μετρήσεων, πραγματοποιήθηκε με την διαδικασία “cloud to cloud registration”. Επεξηγηματικά, η συγκεκριμένη τεχνική, αποτελεί την ταυτοποίηση των επιμέρους αποτελεσμάτων της κάθε σάρωσης, που είναι ένα νέφος σημείων “point cloud”, από την κάθε στάση, αναγνωρίζοντας τα κοινά σημεία που εντοπίζονται και στις δύο σαρώσεις. Αξίζει να σημειωθεί, ότι εγκαταστάθηκαν στο πεδίο στόχοι, προκειμένου να είναι δυνατή η ενοποίηση των επιμέρους μετρήσεων και με την δεύτερη τεχνική “target to target registration”, καθώς επίσης αξιοποιήθηκαν και για τη γεωαναφορά των μετρήσεων.

Αρχικά, στο πεδίο πραγματοποιήθηκε ο πρωταρχικός ποιοτικός έλεγχος των μετρήσεων, αξιοποιώντας τους δείκτες αξιοπιστίας που δίνονται, για την ενοποίηση των επιμέρους σαρώσεων. Ακολούθως, μέσω του λογισμικού Leica Cyclone 360 [20], δημιουργήθηκε το τελικό/ενοποιημένο νέφος σημείων, όπου με κατάλληλη επεξεργασία δημιουργήθηκε το τρισδιάστατο φωτορεαλιστικό μοντέλο. Τα αποτελέσματα της ενοποίησης, μπορούν να χαρακτηρισθούν υψηλής ακρίβειας, καλύπτοντας τις απαιτήσεις που είχαν τεθεί εξ αρχής.

Αξίζει να σημειωθεί ότι μετά τη ομαδοποίηση και ευθυγράμμιση των επιμέρους σκαναρισμάτων από τις στάσεις, ακολούθησε η προ-επεξεργασία του νέφους σημείων, για την απομάκρυνση αντικειμένων τα οποία βρίσκονται στο εύρος της σάρωσης (π.χ. οχήματα, απομακρυσμένες εγκαταστάσεις) που δεν σχετίζονται με το αντικείμενο της μελέτης. Η διαδικασία του καθαρισμού του νέφους σημείων, είναι μια αρκετά απαιτητική διαδικασία η οποία πρέπει να γίνεται με μεγάλη προσοχή, καθώς μπορεί να αφαιρεθεί χρήσιμη πληροφορία που είναι απαραίτητη για την δημιουργία του φωτορεαλιστικού μοντέλου. Ειδικότερα, η διαδικασία πραγματοποιήθηκε σε κατάλληλο περιβάλλον μέσω του λογισμικού Leica Cyclone 360, αξιοποιώντας όλα τα διαθέσιμα εργαλεία (limit box) που παρέχονται και εξυπηρετούν ώστε να απομονωθούν οι συγκεκριμένες περιοχές ενδιαφέροντος, διευκολύνοντάς με το τρόπο αυτό την προ-επεξεργασία.

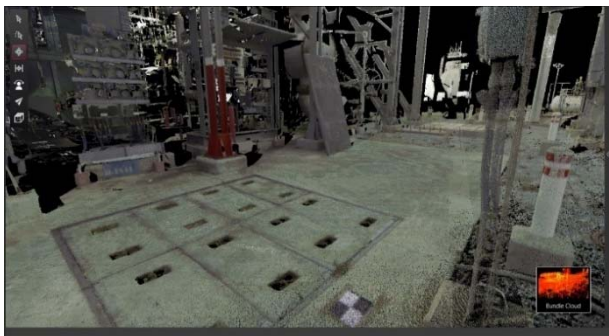
Το Σχήμα 3 δείχνει την όδευση αποτύπωσης του σαρωτή σε μια μονάδα εγκατάστασης συμπίεστη. Οι πράσινες γραμμές απεικονίζουν τη σύνδεση μεταξύ των σημείων μέτρησης (στάσεις σαρωτή - κόκκινες κουκκίδες).



Σχήμα 3 – Ψηφιακή απόδοση σημείων στάσης λέιζερ σαρωτή (κόκκινες σφαίρες) από οδύση (πράσινη γραμμή) γύρω από μια μονάδα Συνεχούς Καταλυτικής Αναμόρφωσης.

V. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΦΩΤΟΡΕΑΛΙΣΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Η διαθεσιμότητα και η χρήση δεδομένων 3D ανοίγει ένα ευρύ φάσμα περαιτέρω εφαρμογών και επιτρέπει νέες αναλύσεις, μελέτες, ερμηνείες, πολιτικές διατήρησης ή ψηφιακή αποκατάστασης. Επομένως, οι 3D εικονικές φωτορεαλιστικές θα πρέπει να χρησιμοποιούνται συχνότερα λόγω των μεγάλων πλεονεκτημάτων που προσφέρουν οι σύγχρονες τεχνολογίες και η εισαγωγή της τρίτης διάστασης για την αναγνώριση των αναγκών ψηφιακής τεκμηρίωσης και διατήρησης που αναφέρονται σε παγκόσμια κλίμακα. Το 3D Modeling είναι μία σημαντική παράμετρος για τη βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου. Στη παρούσα μελέτη η διαδικασία δημιουργίας αντικειμένων CAD (Computer-Aided Design) έγινε (αρχικά) στο λογισμικό Cyclone, όπου τα μοντέλα βασίζονται σε δεδομένα 3D σημείου cloud. Τα μοντέλα CAD περιλαμβάνουν περισσότερα από μόνο σχήματα, καθώς μπορούν επίσης να μεταφέρουν πληροφορίες, όπως υλικά, διεργασίες, διαστάσεις και άλλες λεπτομέρειες για τον χρήστη. Τα νέφη σημείων που εξήχθησαν από το σαρωτή εισήχθησαν στο λογισμικό, έγινε η σύνδεση μεταξύ τους και γεωαναφέρθηκαν ώστε στη συνέχεια να δημιουργηθεί το τρισδιάστατο φωτορεαλιστικό μοντέλο.



Σχήμα 4 – Ψηφιακή απόδοση νέφους σημείων αποτύπωσης και στόχος γεωαναφοράς (B/W) με τη χρήση του λογισμικού Cyclone.

Στο Σχήμα 4, απεικονίζεται το νέφος σημείων καθώς και ο στόχος αναφοράς που είχε εγκατασταθεί με σκοπό την σωστή γεωαναφορά του νέφους αλλά και

την σύνθεση των επιμέρους σαρώσεων από τις διαφορετικές στάσεις.

A. Αξιολόγηση και προεπισκόπηση 3D μοντέλου σε σύστημα εικονικής/επαυξημένης πραγματικότητας

Με τον όρο Επαυξημένη Πραγματικότητα (Augmented Reality-AR) αναφερόμαστε σε εφαρμογές υπολογιστών που ενσωματώνουν στον πραγματικό κόσμο, όπως αυτός εκλαμβάνεται από το χρήστη μέσα από τις αισθήσεις του, πληροφορία και υλικό κυρίως εικόνας και ήχου, δημιουργημένα από μια υπολογιστική μονάδα. Η επαυξημένη πραγματικότητα μπορεί να υποστηρίξει πολλές διαφορετικές περιοχές εφαρμογής όπως και στην περίπτωση των ΕΛΠΕ. Η επαυξημένη πραγματικότητα μπορεί να επιδρά σε πολλές από τις αισθήσεις του χρήστη, αν και έως τώρα είναι πρωτίστως οπτικό μέσο. Απαιτείται λοιπόν αλληλεπίδραση με την ΕΠ, προκειμένου να αποκτηθεί η εμπειρία που παρέχει.

Με την χρήση κατάλληλου υπολογιστή όπου προσφέρεται η ικανότητα άμεσης μεταβολής και ανάκτησης της πληροφορίας, δημιουργήθηκε παράλληλα και ένας πιο ισχυρός τρόπος τροποποίησης και επαύξης του περιβάλλοντός αποτύπωσης. Η ικανότητα παραγωγής και απεικόνισης τρισδιάστατων (3D) γραφικών υπολογιστή σε πραγματικό χρόνο παρείχε πλέον τη δυνατότητα να δημιουργηθούν σκηνές που δεν ήταν δυνατόν να δημιουργηθούν σε έναν καθαρά φυσικό κόσμο. Αποτέλεσμα ήταν η δημιουργία ενός δοκιμαστικού μοντέλου δηλαδή, ένα αλληλεπιδραστικό, τρισδιάστατο περιβάλλον κατασκευασμένο στον/από υπολογιστή, όπου με χρήση της συσκευής Oculus-Rift (ηλεκτρονικά-υπολογιστικά γυαλιά εικονικής πραγματικότητας), πραγματοποιήθηκε μια πρώτη αξιολόγηση ως προς την ποιότητα πληροφοριών του 3D μοντέλου που δημιουργήθηκε.

Η συσκευή Oculus -Rift είναι ένα σύστημα εικονικής πραγματικότητας που μεταφέρει πλήρως το χρήστη σε εικονικούς κόσμους και με οπτική-προβολή 360°. Διαθέτει χειριστήρια αφής και δύο αισθητήρες, για να παρέχουν διαισθητική παρουσία χεριών στο περιβάλλον VR, δηλαδή την αίσθηση ότι τα εικονικά χέρια είναι όντως τα χέρια του εκάστοτε χρήστη. Η συσκευή Oculus - Rift παρέχει υψηλή πιστότητα γραφικών χάρη σε πρωτοποριακά τεχνολογικά χαρακτηριστικά, όπως το Asynchronous Space Warp (ASW).

Στο Σχήμα 5 παρουσιάζεται η χρήση του 3D φωτορεαλιστικού μοντέλου που προέκυψε από την αποτύπωση για μονάδα συμπίεστη των ΕΛΠΕ σε περιβάλλον επαυξημένης πραγματικότητας. Πραγματοποιείται μέτρηση ακριβείας μήκους σωληνώσεως όπου είναι δύσκολη η επίτπου λήψη τιμών λόγω των συνθηκών λειτουργίας (πχ. υψηλών θερμοκρασιών).



Σχήμα 5 – Μέτρηση απόστασης μεταξύ απρόσιτων σημείων με τη χρήση επαυξημένης πραγματικότητας και του 3D φωτορεαλιστικού μοντέλου

VI. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συμπερασματικά, μπορούμε να αναγνωρίσουμε ότι η εξέλιξη των σύγχρονων τεχνολογιών, αποτελεί σημαντικό αρωγό στην επιστήμη της Τοπογραφίας και Γεωδαισίας, δίνοντας τη δυνατότητα να καλύπτει ειδικές εφαρμογές αποτύπωσης, που πριν από μερικά χρόνια φάνταζαν δύσκολες και εξαιρετικά χρονοβόρες. Η επίγνωση των δυνατοτήτων και των προβλημάτων κάθε συστήματος που αξιοποιείται για την μέτρηση/αποτύπωση είναι απαραίτητη για την ορθότερη υλοποίηση ενός έργου. Το κόστος, ο χρόνος και η ζητούμενη ακρίβεια των μετρήσεων είναι ιδιαίτερα σημαντικές έννοιες που πρέπει να αναλύονται σε βάθος πριν την έναρξη των εργασιών. Φυσικά ο συνδυασμός των τεχνολογιών και μεθοδολογιών είναι το ιδανικότερο σενάριο. Τέλος, ανεξάρτητα με τον βαθμό ευκολίας της διαδικασίας των μετρήσεων, ο χρήστης οφείλει να είναι κατάλληλα καταρτισμένος, ώστε να είναι σε θέση να λαμβάνει αποφάσεις με σύνεση και γνώση για την ορθή πορεία και ολοκλήρωση του έργου. Στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης, αξιοποιήθηκαν δύο σύγχρονοι σαρωτές laser, σε ένα από τα πιο απαιτητικά περιβάλλοντα εργασίας, τόσο λόγω των συνθηκών που επικρατούν όσο και λόγω της πολυπλοκότητας των γεωμετρικών χαρακτηριστικών που καλούμαστε να αποτυπώσουμε με υψηλή ακρίβεια, όπως είναι ο μηχανολογικός εξοπλισμός που βρίσκεται σε ένα διωλιστήριο.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ: Η παρούσα μελέτη αποτελεί περαιτέρω επεξεργασία ερευνητικού έργου που πραγματοποιήθηκε με συγχρηματοδότηση από την Ευρωπαϊκή Ένωση και εθνικούς πόρους μέσω του Επιχειρησιακού Προγράμματος “Ανταγωνιστικότητα, Επιχειρηματικότητα και Καινοτομία”, στο πλαίσιο της πρόσκλησης ΕΡΕΥΝΩ – ΔΗΜΙΟΥΡΓΩ – ΚΑΙΝΟΤΟΜΩ (κωδ.: Τ2ΕΔΚ-00708). Συμμετέχοντες εταίροι Παν. Ιωαννίνων, ΑΠΘ, TekMON και ΕΛΠΕ Group.

VII. ΑΝΑΦΟΡΕΣ

[1] S. Bitharis, I.-A. Karolos, V. Tsioukas, C. Pikridas, V. Bantis, T. Gkamas, S. Kontogiannis, Industrial area 3D geometric documentation

using Terrestrial Laser Scanners, in: FIG Congress 2022, 2022.

- [2] G. Pavlidis, A. Koutsoudis, F. Arnaoutoglou, V. Tsioukas, C. Chamzas, Methods for 3D digitization of Cultural Heritage, *Journal of Cultural Heritage*. 8 (2007) 93–98. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2006.10.007>.
- [3] I.A. Karolos, S. Bitharis, V. Tsioukas, C. Pikridas, S. Kontogiannis, T. Gkamas, N. Zinas, Proposed 4.0 Industrial Management System for daily operations that poses point cloud assets with annotated real-time sensory measurements and utilizes unsupervised alert logic, *FIG Peer Review Journal*. (2022).
- [4] Leica Geosystems, User Manual of Leica Cyclone FIELD 360, <https://Leica-Geosystems.Com/Products/Laser-Scanners/Scanners/Leica-Rtc360>. (2020).
- [5] Leica Geosystems, User Manual of RTC360 3D laser Scanner, <https://Leica-Geosystems.Com/Products/Laser-Scanners>. (2020).
- [6] Β. Γκίκας, Σ. Καραμήτσος, Ι. Κώτσης, Χρήση Τρισδιάστατου Σαρωτή Laser στην Αποτύπωση Διατομών Σηράγγων, *Τεχνικά Χρονικά Επιστ. Εκδ. ΤΕΕ, Ι.* (2007).
- [7] Α. Φωτίου, Γεωμετρική Γεωδαισία, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη, 2007.
- [8] M.A. Abbas, Z. Majid, M.A.A.M. Azmi, A.K. Chong, M.A. Mustafar, L.C. Luh, A. Aspuri, Terrestrial Laser Scanners Datum Transformation: Insignificant Analysis of Scale Factor, *Engineering Journal*. 25 (2021) 253–262.
- [9] S.J. Gordon, D.D. Lichti, TERRESTRIAL LASER SCANNERS WITH A NARROW FIELD OF VIEW: THE EFFECT ON 3D RESECTION SOLUTIONS, *Survey Review*. 37 (2004) 448–468. <https://doi.org/10.1179/sre.2004.37.292.448>.
- [10] I.D. Doukas, Industrial Metrology (and 3D Metrology) vs. Geodetic Metrology (and Engineering Geodesy). Common ground and topics, in: Εκδόσεις Ζήτη, 2017.
- [11] Y. Reshetyuk, Self-calibration and direct georeferencing in terrestrial laser scanning, 2009.
- [12] Ι. Δούκας, Η Γεωδαισία (Όργανα και Μέθοδοι) και η Μετρολογία Τριών Διαστάσεων, 3ο Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας. (2010). <http://ikee.lib.auth.gr/record/289256> (accessed August 7, 2022).
- [13] Μ. Τσακίρη, Ο. Αραμπατζή, Β. Παγούνης, Δ. Σταθάς, Β. Ανδριτσάνος, Βαθμονόμηση επίγειων σαρωτών laser στο πλαίσιο των προδιαγραφών ISO, in: 4ο Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας, 2012.
- [14] ISO 17123, Optics and Optical Instruments: Field Procedures for Testing Geodetic and Surveying Instruments., ISO, 2012. <http://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:17123:-1:ed-2:v1:en>.
- [15] M. Tsakiri, V. Pagounis, O. Arabatzi, Evaluation of a pulsed terrestrial laser scanner based on ISO

- standards, Surface Topography: Metrology and Properties. 3 (2015) 015006. <https://doi.org/10.1088/2051-672x/3/1/015006>.
- [16] Α. Φωτίου, Χ. Πικριδάς, GPS και Γεωδαιτικές Εφαρμογές, 2η, Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 2012.
- [17] L. Li, X. Cao, Q. He, J. Sun, B. Jia, X. Dong, A new 3D laser-scanning and GPS combined measurement system, Comptes Rendus Geoscience. 351 (2019) 508–516. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.crte.2019.09.004>.
- [18] Α. Fotiou, C. Pikridas, D. Rossikopoulos, S. Spatalas, V. Tsioukas, S. Katsougiannopoulos, The Hermes GNSS NtripCaster of AUTH, Bulletin of Geodesy and Geophysics, Former “Bollettino Di Geodesia e Scienze Affini. 69 (2009).
- [19] K. Katsambalos, C. Kotsakis, M. Gianniou, Hellenic terrestrial reference system 2007 (HTRS07): a regional realization of ETRS89 over Greece in support of HEPOS, Bulletin of Geodesy and Geomatics. 69 (2010) 151–164.
- [20] Leica Geosystems, Leica Cyclone 3D Point Cloud Processing Software, <https://Leica-Geosystems.Com/Products/Laser-Scanners/Software/Leica-Cyclone>. (2020).

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ

Δρ. Στυλιανός Ι. Μπίθαρης

Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών

Τομέας Γεωδαισίας και Τοπογραφίας

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Κτίριο Πολυτεχνικής Σχολής, Πανεπιστημιούπολη,

54124, Θεσσαλονίκη - ΕΛΛΑΣ

Τη/ Fax: +30 2310996110

e-mail: smpithar@topo.auth.gr

Χωρογραφίες/ Τεύχος 9 – 2022 – σελ. 18-25