



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗ  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

## **Διπλωματική Εργασία**

**Η ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΕΙΚΟΝΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΕΡΙΗΓΗΣΗΣ ΣΧΟΛΙΚΟΥ  
ΚΤΙΡΙΟΥ ΩΣ ΜΕΣΟ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΤΗΣ ΧΩΡΙΚΗΣ ΣΚΕΨΗΣ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΧΟΛΙΚΗ ΗΛΙΚΙΑ**

**Ελπίδα Μπαξεβανίδη**

**ΑΜ: 15036**

**Επιβλέπων:**

**Βασίλειος Παγούνης**

**Αθήνα, Οκτώβριος 2022**



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

**Diploma Thesis**

**CREATION OF A 3D VIRTUAL MODEL OF A SCHOOL BUILDING TOUR AS A MEANS  
OF ENHANCEMENT OF SPATIAL THINKING IN PRESCHOOL AGE**

**Elpida Baxevanidi**

**Registration Number: 15036**

**Supervisor: Vasileios Pagounis**

**Athens, October 2022**



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**Η ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΕΙΚΟΝΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΕΡΙΓΗΣΗΣ ΣΧΟΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΩΣ ΜΕΣΟ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΤΗΣ ΧΩΡΙΚΗΣ ΣΚΕΨΗΣ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΧΟΛΙΚΗ ΗΛΙΚΙΑ**

**Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή**

Η διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

Α/α	ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	Παγούνης Βασίλειος	Επιβλέπων Καθηγητής Καθηγητής ΠΑ.Δ.Α.	
2	Αναστασίου Δημήτριος	Επίκουρος Καθηγητής Σ.Α.Τ.Μ – Ε.Μ.Π.	
3	Ηλιοδρομίτης Αθανάσιος	Ακαδημαϊκός Υπότροφος ΠΑ.Δ.Α.	

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη **Ελπίδα Μπαξεβανίδη** του **Παντελεήμωνος**, με αριθμό μητρώου **15036** φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

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

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

Η Δηλούσα

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Μετά την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας με τίτλο «Η Δημιουργία Τρισδιάστατου Εικονικού Μοντέλου Περιήγησης Σχολικού Κτιρίου ως Μέσο Ενίσχυσης της Χωρικής Σκέψης στην Προσχολική Ηλικία», θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Βασίλη Παγούνη, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε στην ανάθεση του θέματος της εργασίας καθώς και για την υποστήριξη και την καθοδήγηση που μου παρείχε καθ' όλη την διάρκεια της συνεργασίας μας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την διευθύντρια του 4<sup>ου</sup> Νηπιαγωγείου Λυκόβρυσης, κ. Δώρα Αυγέρη και την διευθύντρια του 2<sup>ου</sup> Νηπιαγωγείου Λυκόβρυσης, κ. Ελένη Σπαντιδάκη για την εμπιστοσύνη τους και για την παροχή πρόσβασης στον σχολικό χώρο των Νηπιαγωγείων.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω την εταιρεία «METRICA ΑΕ» για την δωρεάν διάθεση μετρητικού εξοπλισμού στα πλαίσια της Διπλωματικής μου Εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την κατανόηση και την υποστήριξή τους σε κάθε μου βήμα.

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η Διπλωματική Εργασία που παρουσιάζεται εκπονήθηκε στο πλαίσιο ολοκλήρωσης του Προγράμματος Προπτυχιακών Σπουδών της σχολής Μηχανικών του τμήματος «ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ», με εμβάθυνση στην Γεωδαισία, του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής. Στόχος της εργασίας αποτελεί η δημιουργία και χρήση ενός εικονικού τρισδιάστατου περιβάλλοντος, ως παιδαγωγικής πλατφόρμας παιχνιδιών σοβαρού σκοπού η οποία μπορεί να βοηθήσει στην βελτίωση των μαθησιακών διαδικασιών.

Η παρούσα εργασία εστιάζει στην σημασία των παιχνιδιών σοβαρού σκοπού ως εκπαιδευτικά εργαλεία, μέσω των οποίων μπορεί να προαχθεί η τρισδιάστατη χωρική σκέψη στην προσχολική και σχολική ηλικία. Η δημιουργία του τρισδιάστατου εικονικού περιβάλλοντος δημιουργήθηκε με τη χρήση επίγειων και φορητών τεχνικών σάρωσης λέιζερ.

## **ABSTRACT**

The Diploma Thesis presented was carried out as part of the completion of the Undergraduate Studies Program of the Faculty of Engineering of the Department of "SURVEYING AND GEOINFORMATICS ENGINEERING ", with a specialization in Geodesy, of the University of West Attica (UNI.W.A.). Its aim is the creation and use of a virtual 3D environment, as a pedagogical platform of serious games which can help to improve the learning processes.

This Diploma Thesis focuses on the importance of serious games as educational tools, through which three-dimensional spatial thinking can be promoted in preschool and school age. The creation of the 3D virtual environment was created using terrestrial and handheld laser scanning techniques.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ .....	5
ABSTRACT.....	6
<b>1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>	<b>11</b>
<b>2 ΧΩΡΙΚΗ ΣΚΕΨΗ .....</b>	<b>12</b>
2.1 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΧΩΡΙΚΗΣ ΣΚΕΨΗΣ.....	12
2.2 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΧΩΡΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ.....	13
2.3 ΕΡΕΥΝΑ .....	14
<b>3 ΠΑΙΧΝΙΔΙΑ ΣΟΒΑΡΟΥ ΣΚΟΠΟΥ .....</b>	<b>15</b>
3.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΙΧΝΙΔΙΩΝ ΣΟΒΑΡΟΥ ΣΚΟΠΟΥ .....	15
3.2 ΧΡΗΣΗ ΠΑΙΧΝΙΔΙΩΝ ΣΟΒΑΡΟΥ ΣΚΟΠΟΥ ΩΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ.....	16
<b>4 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΑ ΕΙΚΟΝΙΚΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ.....</b>	<b>18</b>
4.1 ΧΡΗΣΗ ΚΑΙ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ.....	18
4.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗΝ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ.....	19
4.3 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΕΙΚΟΝΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΜΕ ΣΑΡΩΤΕΣ LASER.....	20
4.3.1 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....	21
4.3.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΣΑΡΩΤΩΝ .....	21
4.3.3 ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΚΡΙΒΕΙΕΣ ΣΑΡΩΣΗΣ .....	25
4.3.4 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ .....	29
<b>5 ΕΦΑΡΜΟΓΗ .....</b>	<b>31</b>
5.1 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΣΑΡΩΣΗ ΣΧΟΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ .....	31
5.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ .....	34
5.3 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΕΙΚΟΝΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΜΕ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΑ ΠΑΙΧΝΙΔΙΑ ΣΟΒΑΡΟΥ ΣΚΟΠΟΥ .41	
5.3.1 ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΚΑΙ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ .....	41



5.3.2 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΑΙΧΝΙΔΙΟΥ ΣΟΒΑΡΟΥ ΣΚΟΠΟΥ .....	45
<b>6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>49</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α' .....</b>	<b>50</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β' .....</b>	<b>52</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>73</b>

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Δέκτες συστήματος LiDAR – MMS [44] .....	20
Εικόνα 2: Επίγειος σαρωτής Leica RTC360 [45] .....	20
Εικόνα 3: Κατηγοριοποίηση σαρωτών [46].....	22
Εικόνα 4: Σαρωτής τύπου γέφυρας της εταιρείας Hexagon [48] .....	22
Εικόνα 5: Φορητός Σαρωτής με βραχίονα της εταιρείας Hexagon [49] .....	22
Εικόνα 6: Αρχή λειτουργίας Time-of-Flight σαρωτών [51] . .....	24
Εικόνα 7: Αρχή λειτουργίας σαρωτών σύγκρισης φάσης [51] .....	24
Εικόνα 8: Αρχές λειτουργίας σαρωτών τριγωνισμού [51] .....	25
Εικόνα 9: Παράδειγμα αποτύπωσης βλάστησης και κινητών αντικειμένων που αποτελούν θόρυβο στην σάρωση .....	27
Εικόνα 10: Πιθανές περιπτώσεις που η δέσμη λέιζερ χτυπά στην άκρη του αντικειμένου - Σφάλμα ακμής [55].....	28
Εικόνα 11: Στόχοι για αποτυπώσεις με laser scanner [46] .....	29
Εικόνα 12: Ο σαρωτής Leica BLK360 [56].....	31
Εικόνα 13: Φορητός σαρωτής Leica BLK2GO [57].....	32
Εικόνα 14: Στάση επίγειου σαρωτή BLK360.....	32
Εικόνα 15: Χρήση στόχων Black and White .....	33
Εικόνα 16: Θέση υλοποιημένων στάσεων με επίγειο σαρωτή (μπλε χρώμα) και εικονικών στάσεων με σαρωτή χειρός (κόκκινο χρώμα).....	33
Εικόνα 17: Στιγμιότυπο από την διαδικασία συνένωσης στο λογισμικό Cyclone .....	34
Εικόνα 18: Στατιστικά στοιχεία ένωσης στάσεων 18-19.....	35
Εικόνα 19: Επικάλυψη (overlap) μεταξύ στάσεων 18-19 .....	36
Εικόνα 20: Στατιστικά στοιχεία συνένωσης των στάσεων.....	36
Εικόνα 21: Εντοπισμός και διόρθωση σφάλματος που εντοπίστηκε κατά την διάρκεια του ελέγχου .....	37
Εικόνα 22: Στιγμιότυπο από τη διαδικασία ελέγχου σε τομές του νέφους στην κατακόρυφη διεύθυνση .....	37
Εικόνα 23: Κάτοψη του τελικό ενοποιημένου νέφους σημείων .....	38
Εικόνα 24: Απόσπασμα τελικού νέφους - απώλεια πληροφορίας στην περιοχή της στέγης του σχολικού κτιρίου .....	39

Εικόνα 25: Απόσπασμα τελικού νέφους στο εσωτερικό του κτηρίου με πανοραμική φωτογραφία HDR.....	39
Εικόνα 26: Απόσπασμα τελικού νέφους εξωτερικής περίφραξης σχολείου .....	40
Εικόνα 27: Απόσπασμα τελικού νέφους από την αυλή του σχολείου .....	40
Εικόνα 28: Δυνατότητα μετρήσεων εντός του διαδραστικού περιβάλλοντος .....	41
Εικόνα 29: Δυνατότητα εισαγωγής ετικετών .....	42
Εικόνα 30: Διαδραστικό περιβάλλον Leica TruView Enterprise .....	43
Εικόνα 31: Επίπεδο χρωματικής πληροφορίας RGB διαδραστικού περιβάλλοντος.....	43
Εικόνα 32: : Επίπεδο HDR διαδραστικού περιβάλλοντος.....	44
Εικόνα 33: Επίπεδο IR διαδραστικού περιβάλλοντος.....	44
Εικόνα 34: Επίπεδο Grayscale διαδραστικού περιβάλλοντος .....	45
Εικόνα 35: Επίπεδο Hue Intensity διαδραστικού περιβάλλοντος .....	45
Εικόνα 36: Στιγμιότυπο από την ιστοσελίδα.....	48
Εικόνα 37: Απόσπασμα από το παιχνίδι ερωτήσεων .....	48

# 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Την τελευταία δεκαετία, έχουν πραγματοποιηθεί πολλές έρευνες σχετικά με την χωρική σκέψη και έχει αναγνωριστεί ως σημαντική ικανότητα τόσο για τις επιστήμες όσο και για την καθημερινή ζωή. Το επίπεδο ανάπτυξης των χωρικών ικανοτήτων προκύπτει από μια αλληλεπίδραση μεταξύ βιολογικών και περιβαλλοντικών παραγόντων και πολλές μελέτες δείχνουν ότι μπορεί να αναπτυχθεί σημαντικά μέσω της εκπαίδευσης [1]. Πιο συγκεκριμένα, η κατάλληλη επαφή με τη γεωμετρία συμβάλλει στην ανάπτυξη συλλογιστικών διαδικασιών, οι οποίες με τη σειρά τους υποστηρίζουν τις δεξιότητες επίλυσης προβλημάτων που χρειάζονται τα παιδιά για να κατανοήσουν τις αριθμητικές καθώς και τις γεωμετρικές έννοιες.

Η έκθεση του Εθνικού Συμβουλίου Έρευνας (National Research Center) των ΗΠΑ το 2006, με τίτλο «Think Spatially: GIS as a Support System in the K-12 Curriculum», τονίζει ότι χωρίς τη ρητή προσοχή στη χωρική παιδεία, δεν μπορεί η εκπαίδευση να ανταποκριθεί στις ευθύνες της για τον καταρτισμό της επόμενης γενιάς μαθητών σε ό,τι αφορά τον προσωπικό και εργασιακό τους βίο στον 21ο αιώνα. Η χωρική σκέψη θεωρείται βασική ικανότητα για τους κλάδους STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics), με αποτέλεσμα να αποτελεί ταλέντο ζωτικής σημασίας για την επίτευξη καινοτομίας στους κλάδους αυτούς. Συνεπώς η χωρική σκέψη αποτελεί μία πολύ ισχυρή γνωσιακή ικανότητα, η οποία μπορεί να καλλιεργηθεί και να διδαχθεί μέσω της εκπαίδευσης.

Στο πλαίσιο αυτό, στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η ανάπτυξη της χωρικής σκέψης στην προσχολική και σχολική ηλικία, μέσω της σχεδίασης παιχνιδιών σοβαρού σκοπού σε τρισδιάστατο περιβάλλον περιήγησης της σχολικής κτιριακής μονάδας. Το τρισδιάστατο περιβάλλον περιήγησης δημιουργήθηκε μέσω της αποτύπωσης του σχολικού κτιρίου, με τεχνολογία Laser Scanner. Περιοχή Μελέτης αποτέλεσε το 4<sup>ο</sup> Νηπιαγωγείο Λυκόβρυσης το οποίο έχει έδρα στην οδό Δημητρίου Μπενίση 20, στο δήμο Λυκόβρυσης Πεύκης.

## 2 ΧΩΡΙΚΗ ΣΚΕΨΗ

Ο όρος *εγγραμματισμός (literacy)* με την κλασσική γλωσσική έννοια σημαίνει ότι κάποιος μπορεί να διαβάσει, να γράψει και να μιλήσει σε μια γλώσσα. Οι ικανότητες αυτές φαίνονται σε όλες τις πτυχές της ύπαρξης του ανθρώπου: στις προφορικές και γραπτές επικοινωνίες στην καθημερινή ζωή, στο χώρο εργασίας και στην επιστήμη. Ο χωρικός γραμματισμός ακολουθεί ένα παρόμοιο μοτίβο: οι άνθρωποι βασίζονται στη χωρική τους γνώση, στην αξιοποίηση χωρικών τρόπων σκέψης και δράσης και στις χωρικές ικανότητές τους να επιλύουν προβλήματα σε όλες τις πτυχές της ζωής τους.

### 2.1 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΧΩΡΙΚΗΣ ΣΚΕΨΗΣ

Υπάρχουν πολλές μορφές σκέψης όπως προφορική, μεταφορική, λογική, υποθετική και άλλες, οι οποίες διακρίνονται βάση του συστήματος αναπαράστασής τους ή το συλλογιστικό τους σύστημα. Μια μορφή σκέψης είναι και η χωρική σκέψη. Υπάρχουν πολλές διαφορετικές απόψεις για το πώς ορίζεται και τι περιλαμβάνει η έννοια της χωρικής σκέψης, καθώς και την σχέση της με την χωρική ικανότητα.

Βάση για την χωρική σκέψη (*spatial thinking*) αποτελεί η δομή του χώρου και οι λειτουργίες που μπορούμε να εκτελέσουμε πάνω σε αυτήν την δομή. Σχετίζεται με τη γνώση και κατανόηση χωρικών εννοιών και σχέσεων και ορίζεται ως η νοητική διαδικασία αναπαράστασης, ανάλυσης και εξαγωγής συμπερασμάτων από χωρικές σχέσεις. Αυτές οι χωρικές σχέσεις θα μπορούσαν να είναι σχέσεις μεταξύ αντικειμένων (π.χ. σχέσεις μεταξύ ορόσημων σε μια πόλη) ή σχέσεις εντός αντικειμένων [2].

Η χωρική σκέψη χαρακτηρίζεται ως «μια συλλογή γνωστικών δεξιοτήτων που αποτελείται από τη γνώση των εννοιών του χώρου, χρησιμοποιώντας εργαλεία αναπαράστασης και συλλογιστικές διαδικασίες» [3].

Σύμφωνα με το Εθνικό Συμβούλιο Έρευνας των ΗΠΑ (NRC) [3], η χωρική σκέψη αποτελεί συνισταμένη βασικών διεργασιών όπως:

- χρήση/κατανόηση χωρικού κώδικα: Ο χωρικός γλωσσικός και συμβολικός κώδικας μας επιτρέπει να συλλάβουμε τα χαρακτηριστικά των αντικειμένων στο χώρο. Σε ένα χάρτη αυτά μπορεί να είναι αντικείμενα που παρουσιάζονται ως σημεία, γραμμές ή περιοχές, οι μονάδες μέτρησης και τα σημεία αναφοράς
- σύνθετοι χωρικοί συλλογισμοί και δημιουργία χωρικών εννοιών (εύρεση διαδρομών, χωρικών συσχετισμών, ανακάλυψη χωροχρονικών σχέσεων, συνδέσεων, εξαγωγή συμπερασμάτων που αφορούν απόσταση, γωνία θέσης, διεύθυνση, όρια κ.α.)
- εργαλεία αναπαράστασης (χαρακτηριστικά Χωρικών οντοτήτων, σχέσεις μεταξύ στατικών και δυναμικών οντοτήτων)
- διαδικασίες αιτιολόγησης

- μετασχηματισμοί (αλλαγή προοπτικής, προσανατολισμού, αλλαγή μεγέθους και κλίμακας, μετασχηματισμός σχημάτων κ.α.)

Επιπλέον, σύμφωνα με το NRC [3], η χωρική σκέψη είναι μία «συλλογή γνωστικών δεξιοτήτων που αποτελούνται από δηλωτικές και αντιληπτικές μορφές γνώσης και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να μετασχηματίσουν, να συνδυάσουν ή να λειτουργήσουν αυτή τη γνώση» εντός κάποιων χωρικών πλαισίων. Οι τρεις διαστάσεις/χωρικά πλαίσια της χωρικής σκέψης είναι ο ζωτικός χώρος, ο φυσικός χώρος και ο πνευματικός χώρος.

- *Ζωτικός χώρος (Life space)*: Αφορά την γνώση μέσα στον γεωγραφικό κόσμο των τεσσάρων διαστάσεων, όπου ζουν και κινούνται καθημερινά οι άνθρωποι. Στον χώρο αυτό η χωρική σκέψη είναι το μέσο αντιμετώπισης των στατικών και δομικών χωρικών σχέσεων μεταξύ αντικειμένων στο φυσικό περιβάλλον.
- *Φυσικός χώρος (Physical space)*: Αφορά την γνώση μέσα στον τετραδιάστατο κόσμο του χωροχρόνου, αλλά εστιάζοντας στην επιστημονική κατανόηση της φύσης, της δομής και της λειτουργίας φαινομένων που κυμαίνονται από την μικροσκοπική έως την αστρονομική κλίμακα. Περιλαμβάνει την σκέψη για τον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί ο κόσμος.
- *Νοητικός χώρος (Intellectual space)*: Αφορά την σχέση μεταξύ εννοιών και αντικειμένων τα οποία δεν είναι από μόνα τους χωρικά, αλλά μπορούν να χωροθετηθούν εάν τους δοθούν θέσεις μέσω χωροχρονικών συντεταγμένων. Βασική προϋπόθεση αποτελεί η μετατροπή δεδομένων των σχέσεων μεταξύ αντικειμένων σε τοποθεσίας και κατ' επέκταση η οργάνωση των δεδομένων στο χώρο [3].

Αξίζει να αναφερθεί ότι οι όροι χωρική και γεωχωρική σκέψη συχνά χρησιμοποιούνται αδιακρίτως ως ταυτόσημες έννοιες. Όπως αναφέρει ο Golledge [11], σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση του Montello ο όρος “γεωχωρικός” αναφέρεται στον περιβαλλοντικό και γεωγραφικό χώρο, σχετίζεται με τη Φυσική Γήινη Επιφάνεια (ΦΓΕ) και χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση και ανάλυση γεωγραφικών φαινομένων στη βιβλιογραφία. Όσον αφορά τον όρο «χωρικός», ο Ishikawa [12] υποστηρίζει πως είναι ευρύτερος, σχετίζεται με οποιαδήποτε χώρο ανεξάρτητα Κλίμακας, ενώ ο Goodchild [13] θεωρεί τους όρους «γεωγραφικός» και «γεωχωρικός» ταυτόσημους, επισημαίνοντας πως ο πρώτος χρησιμοποιείται κυρίως για να αποδώσει στο χώρο γεωγραφικό πλαίσιο ή ιδιότητες.

## 2.2 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΧΩΡΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ

Οι χωρικές ικανότητες είναι γνωστικές δεξιότητες θεμελιώδεις για τη χωρική σκέψη και μπορούν να χωριστούν στις παρακάτω τρεις κατευθύνσεις:

- την χωρική οπτικοποίηση, δηλαδή την νοητική ικανότητα χειρισμού, περιστροφής, στροφής και αντιστροφής ενός δισδιάστατου ή τρισδιάστατου οπτικού ερεθίσματος
- τον χωρικό προσανατολισμό, δηλαδή την ικανότητα κατανόησης ενός χάρτη, μίας αναπαράστασης και του προσανατολισμού στο χώρο

- τις χωρικές σχέσεις, δηλαδή την ικανότητα αναγνώρισης αντικειμένων, χωρικών αλληλεπιδράσεων, δημιουργίας χαρτών από περιγραφές και σύνδεσης χαρτών από αντικείμενα [4].

Σύμφωνα με τον Chan [5], χωρική ικανότητα είναι η ικανότητα αναπαράστασης και μετατροπής μη γλωσσικών πληροφοριών στο χώρο (ή τον τόπο), ενώ ο Taha [6] αναφέρει ότι ορίζεται ως η ικανότητα αντιμετώπισης του τόπου και η μετάβαση από το ένα μέρος στο άλλο.

Οι Linn και Petersen [7] διακρίνουν την χωρική ικανότητα σε 3 κατηγορίες. Αρχικά την χωρική αντίληψη, η οποία αφορά στην ικανότητα του ατόμου να προσδιορίζει χωρικές σχέσεις, έχοντας αντίληψη της δικής του τοποθεσίας ή θέσης ως προς ένα άλλο αντικείμενο στο χώρο. Στην συνέχεια την νοητική περιστροφή η οποία είναι η ικανότητα νοητικής στρέψης ενός αντικειμένου στο χώρο, η οποία περιλαμβάνει τόσο δισδιάστατες όσο και τρισδιάστατες εργασίες νοητικής περιστροφής όπως κάρτες, σχήματα και σημαίες. Τέλος αφορά την χωρική οπτικοποίηση, η οποία περιλαμβάνει χωρικές εργασίες που αφορούν σε πολλαπλών σταδίων αναλυτικές εργασίες και που απαιτούν ευελιξία στην επιλογή στρατηγικής.

Οι πρώτες εμπειρίες με την έννοια του χώρου αποκτούνται μέσω δραστηριοτήτων όπως οι κατασκευές με μπλοκ, τα παιχνίδια σχημάτων και τα παιχνίδια πάζλ που βοηθούν τα παιδιά να αναπτύξουν χωρικές δεξιότητες [8]. Έχει παρατηρηθεί ότι τα παιδιά που παίζουν με παζλ μεταξύ 2 και 4 ετών έχουν καλύτερες χωρικές ικανότητες από τους συνομήλικους τους όταν βρίσκονται σε ηλικία 4,5 ετών [9]. Το καθοδηγούμενο παιχνίδι μάλιστα, θεωρείται ως τεχνική στήριξης που ενισχύει την δέσμευση, οδηγεί στην εξερεύνηση, διευκολύνοντας στην κατανόηση των επιθυμητών εννοιών [10]. Τέλος η χρήση διάφορων χωρικών εργαλείων όπως αφηγήσεις, χειρονομίες συμβάλλει σημαντικά στην αποτελεσματικότητα της χωρικής διδασκαλίας [11].

Η χωρική ικανότητα είναι φανερό από όλα τα παραπάνω, ότι δεν αποτελεί ένα χαρακτηριστικό με το οποίο ο άνθρωπος γεννιέται αλλά αναπτύσσεται στα πρώιμα στάδια της παιδικής ηλικίας. Η ικανότητα του ατόμου να σκέφτεται χωρικά, καλλιεργείται και αναπτύσσεται με τη χρήση διάφορων εργαλείων και μεθόδων, μέσω συλλογιστικών διαδικασιών και εννοιών του χώρου, τόσο μέσω της εκπαίδευσης όσο και εμπειρικά.

## 2.3 ΕΡΕΥΝΑ

Αρκετές έρευνες έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι σήμερα με στόχο να απαντηθούν ερωτήματα σχετικά με το πότε και το πώς αναπτύσσεται η χωρική ικανότητα. Βασικό στοιχείο σε αυτόν τον τομέα είναι το έργο των Piaget και Inhelder [12]. Διεξήγαγαν εκτενείς μελέτες με παιδιά οι οποίες επικεντρώνονται κυρίως σε θέματα ηλικίας αλλά εμβαθύνει και σε νευρολογικά θέματα όπως ημισφαιρική εξειδίκευση.

Οι Piaget και Inhelder [12] ανέπτυξαν αρκετές χωρικές δοκιμές που χρησιμοποιούνται ακόμα και σήμερα. Δήλωσαν ότι η χωρική ικανότητα αναπτύσσεται σε τρεις φάσεις καθώς το παιδί

ωριμάζει. Στο πρώτο στάδιο, του τοπολογικού χώρου, τα παιδιά αποκτούν δεξιότητες 2D και μαθαίνουν τη σχέση των αντικειμένων μεταξύ τους. Κατά τη διάρκεια του προβολικού χώρου, τα παιδιά μαθαίνουν να εργάζονται με τρισδιάστατα αντικείμενα, ιδιαίτερα πώς μοιάζουν τα αντικείμενα από διαφορετικές πλευρές (δεξιότητες προσανατολισμού) και πώς φαίνονται τα αντικείμενα όταν περιστρέφονται (δεξιότητες περιστροφής). Στο τρίτο στάδιο, τα άτομα μαθαίνουν να μεταβαίνουν από τον προβολικό χώρο στον Ευκλείδειο χώρο, αποκτώντας έννοιες όπως παραλληλισμός, αναλογία, εμβαδόν, όγκος και απόσταση. Παράλληλες εργασίες έχουν διεξαχθεί από τους Bruner [13] και Werner [14].

Η χωρική ικανότητα βελτιώνεται με την ηλικία στα παιδικά χρόνια [15] αλλά μειώνεται με την ηλικία στην ενήλικη ζωή [16]. Οι διαφορές που σχετίζονται με την ηλικία είναι συχνά αποτέλεσμα διαφορών στην ταχύτητα επεξεργασίας, τη γνώση και την εμπειρία [17] και την ακρίβεια που επηρεάζει την ηλικία στην επίλυση προβλημάτων [18]. Η ικανότητα προσδιορισμού οριζόντιων ή κάθετων διαστάσεων, δηλαδή η χωρική αντίληψη δεν εμφανίζεται μέχρι την ηλικία των εννέα περίπου αλλά οι διαφορές του φύλου στη χωρική ικανότητα που ευνοούν τα αρσενικά υπάρχουν στην προεφηβική ηλικία [19]. Αυτές οι διαφορές παραμένουν σταθερές μέχρι την ηλικία των 18 ετών [20]. Ωστόσο, η εμφάνιση διαφοράς σχετικά με το φύλο εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον τύπο του ελέγχου μιας και δεν υπάρχει ανδρικό πλεονέκτημα σε όλους τους χωρικούς παράγοντες [21].

Η εξειδίκευση του ημισφαιρίου είναι ένας άλλος τομέας που εξετάζεται από αναπτυξιακούς ερευνητές. Εδώ οι ερευνητές προσπαθούν να κατανοήσουν τη φυσιολογία του εγκεφάλου και τη σχέση της με τη χωρική ικανότητα [22]. Υπάρχει γενική συμφωνία ότι τα άτομα με κυριαρχία του δεξιού εγκεφάλου αποδίδουν καλύτερα σε χωρικές εργασίες και έχουν πιο πολύ ανεπτυγμένες χωρικές ικανότητες [23].

Τα παραπάνω συμπεράσματα αν και δεν αποτελούν εξαντλητική ανασκόπηση της βιβλιογραφίας σε αυτόν τον τομέα, παρέχουν ένα δείγμα αντιπροσωπευτικών μελετών.

## **3 ΠΑΙΧΝΙΔΙΑ ΣΟΒΑΡΟΥ ΣΚΟΠΟΥ**

### **3.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΙΧΝΙΔΙΩΝ ΣΟΒΑΡΟΥ ΣΚΟΠΟΥ**

Αν και στις μέρες μας ο όρος χρησιμοποιείται αρκετά συχνά, δεν υπάρχει σαφής ορισμός των Παιχνιδιών Σοβαρού σκοπού. Συνήθως ο όρος αναφέρεται σε παιχνίδια που αποσκοπούν στην κατάρτιση και την εκπαίδευση και είναι σχεδιασμένα να λειτουργούν σε υπολογιστές ή κονσόλες βιντεοπαιχνιδιών.

Ο πρώτος επίσημος ορισμός δίνεται από τον Zyda [24], ο οποίος υποστηρίζει ότι τα Σοβαρά παιχνίδια «Serious Games» είναι ένας διανοητικός διαγωνισμός, που παίζεται με υπολογιστή σύμφωνα με συγκεκριμένους κανόνες, χρησιμοποιώντας τη ψυχαγωγία για να πετύχει τους στόχους κυβερνητικής ή εταιρικής εκπαίδευσης, υγείας, κοινωνικής πολιτικής και στρατηγικών επικοινωνιών.



Με μία πρώτη ματιά, ο όρος «Serious Games» μοιάζει με οξύμωρο σχήμα, αφού οι δύο λέξεις που τον αποτελούν έχουν ελαφρώς αντίθετες έννοιες. Παρόλα αυτά, όπως αναφέρει ο Bugo [25] η «σοβαρότητα» στα Serious Games σχετίζεται με τον επιδιωκόμενο σκοπό του παιχνιδιού, το λόγο για τον οποίο δημιουργήθηκε και όχι με το περιεχόμενό του. Ας μην ξεχνάμε ότι σε πολλές περιπτώσεις συναντάται αλληλοεπικάλυψη μεταξύ της εκπαίδευσης και της διασκέδασης αφού χρησιμοποιώντας η κάθε πλευρά τα εργαλεία της άλλης, είναι πιο εύκολη η επίτευξη του επιθυμητού αποτελέσματος.

Οι Michael και Chen [26] υποστηρίζουν ότι Serious Game είναι ένα παιχνίδι όπου η εκπαίδευση (στις διάφορες μορφές της) είναι κύριος στόχος και όχι η διασκέδαση. Έτσι, ακόμη και αν ο κύριος στόχος των Serious Games δεν είναι η διασκέδαση, θα πρέπει να την παρέχει στο χρήστη με ένα πλαίσιο που τον δεσμεύει και τον παρακινεί.

Τέλος ο Stokes [27] αναφέρει ότι τα παιχνίδια σοβαρού σκοπού είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να ψυχαγωγούν τους παίκτες ενώ παράλληλα τους επιμορφώνουν, τους εκπαιδεύουν ή τους αλλάζουν τη συμπεριφορά.

Με βάση τους παραπάνω ορισμούς προκύπτει ότι τα Παιχνίδια Σοβαρού Σκοπού, αποτελούν παιχνίδια τα οποία έχουν κατασκευαστεί με ψυχαγωγικούς σκοπούς, με απώτερο στόχο όμως την εκπαίδευση του χρήστη. Ουσιαστικά τα παιχνίδια αυτά «εκμεταλλεζόμενα» την πολύωρη ενασχόληση των νέων με τα ηλεκτρονικά παιχνίδια, επιδιώκουν να τους περάσουν μηνύματα και γνώσεις σχετικά με ποικίλα γνωστικά πεδία.

### **3.2 ΧΡΗΣΗ ΠΑΙΧΝΙΔΙΩΝ ΣΟΒΑΡΟΥ ΣΚΟΠΟΥ ΩΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ**

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης των Σοβαρών Παιχνιδιών στον κλάδο της εκπαίδευσης είναι πολλά και σύμφωνα με τους Mansour και El-Said [28], μπορούν να μετατραπούν σε ισχυρά εργαλεία διδασκαλίας. Πιο συγκεκριμένα τα πλεονεκτήματα αυτά είναι:

- Στήριξη της ανάπτυξης διαφόρων δεξιοτήτων, όπως η στρατηγική σκέψη, ο σχεδιασμός, η επικοινωνία, η συνεργασία, οι ομαδικές αποφάσεις και οι δεξιότητες διαπραγμάτευσης.
- Βελτίωση του ποσοστού απόκτησης και διατήρησης της γνώσης
- Προσαρμογή της μαθησιακής εμπειρίας, σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά του μαθητή, το στυλ και το βαθμό μάθησης.
- Διευκόλυνση της μάθησης να λάβει χώρα σε ένα πλαίσιο που να έχει νόημα για το παιχνίδι.
- Στήριξη της δημιουργίας ομάδων

Σε ένα παιχνίδι, όλοι οι παίκτες, συμπεριλαμβανομένων και εκείνων που είναι ντροπαλοί στην τάξη, συμμετέχουν ενεργά σε αντίθεση με άλλες πρακτικές εκπαίδευσης που συμμετέχουν μόνο εκείνοι που είναι αρκετά τολμηροί.

Ακόμη, τα Serious Games έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν συγκεκριμένες εμπειρίες μάθησης ενώ επιτρέπουν και ευνοούν συνδέσεις μεταξύ των αφηρημένων εννοιών και των καταστάσεων του πραγματικού κόσμου [29], καθώς και βελτιώνουν τα επίπεδα των κινήτρων για το μαθητή και την εκμάθηση της αποτελεσματικότητας [30].

Αξίζει να αναφερθεί, ότι τα Serious Games λόγω της ψηφιακής τους φύσης, παρέχουν εκπαίδευση σε ασφαλές και ελεγχόμενο περιβάλλον, χωρίς κινδύνους και χωρίς ακριβό εξοπλισμό. Πρόκειται δηλαδή για εξομοίωση πραγματικών συμβάντων και διαδικασιών.

Ωστόσο για να είναι πετυχημένο εκπαιδευτικό εργαλείο ένα Serious Game σύμφωνα με τον Prensky [31], θα πρέπει να πλαισιώνεται από τις εξής διαστάσεις:

1. Κανόνες: οριοθετούν ένα παιχνίδι και αναγκάζουν τον χρήστη να ακολουθεί συγκεκριμένες οδούς, καθιστώντας το παράλληλα δίκαιο και εξάπτοντας το ενδιαφέρον.
2. Σκοπούς και στόχους: αποτελούν την κινητήρια δύναμη του παίχτη.
3. Έκβαση και ανάδραση: βοηθούν τον παίχτη στην παρακολούθηση της προόδου του και των αποτελεσμάτων των ενεργειών του.
4. Σύγκρουση, ανταγωνισμός, πρόκληση, αντιπαράθεση: χαρακτηριστικά που παρουσιάζονται στον παίχτη ως καταστάσεις που πρέπει να επιλυθούν προκειμένου να φτάσει στον στόχο του.
5. Διάδραση: επιτυγχάνεται μέσα από την σχέση του χρήστη με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή και με τους άλλους χρήστες.
6. Αναπαράσταση και σενάριο: εμπεριέχεται σε κάθε παιχνίδι και αποτελεί μεγάλο μέρος της ταυτότητας ενός παιχνιδιού.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, η παρούσα εργασία παρουσιάζει την ανάπτυξη ενός απλού σοβαρού παιχνιδιού για σκοπούς προσχολικής εκπαίδευσης χρησιμοποιώντας ένα τρισδιάστατο εικονικό μοντέλο περιβάλλοντος.

## 4 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΑ ΕΙΚΟΝΙΚΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ

### 4.1 ΧΡΗΣΗ ΚΑΙ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Η τεχνολογική πρόοδος επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τον τομέα της εκπαίδευσης όπως και όλους τους άλλους τομείς και ερευνητές και εκπαιδευτικοί προσπαθούν με διάφορους τρόπους να ενσωματώσουν τεχνολογίες που υποστηρίζουν τη μάθηση και τις σύγχρονες τεχνολογίες σε εκπαιδευτικά περιβάλλοντα [32]. Τα τελευταία χρόνια πολλές μελέτες, οι οποίες έχουν διερευνήσει την χρήση τρισδιάστατων εικονικών περιβαλλόντων (3D Virtual Learning Environments) στην εκπαίδευση και την ικανότητά τους να υποστηρίζουν την μάθηση, δηλώνουν ότι οι δραστηριότητες εντός του εικονικού περιβάλλοντος ενισχύουν την ομαδική μάθηση και την αλληλεπίδραση των εμπλεκόμενων μελών, δημιουργώντας νέες ευκαιρίες για διδασκαλία και μάθηση [33]. Τα 3d Virtual Learning Environments αποτελούν τρισδιάστατους, γραφικούς χώρους που δημιουργούνται από υπολογιστή και αναπτύσσονται ως ένα παιδαγωγικό πλαίσιο το οποίο μπορεί να βασίζεται σε πραγματικά ή φανταστικά περιβάλλοντα.

Οι Τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνίας ή ICT (Information and Communication Technologies) θεωρούνται ένα από τα πιο ισχυρά εργαλεία για την υποστήριξη της μαθησιακής διαδικασίας [34]. Η συνεισφορά τους προέρχεται κυρίως από τα τεχνολογικά τους χαρακτηριστικά, τους τρόπους με τους οποίους καταγράφουν, διαχειρίζονται, αναπαριστούν και επικοινωνούν δεδομένα και πληροφορίες. Τα χαρακτηριστικά αυτά αφορούν τη διαχείριση μεγάλου όγκου δεδομένων και πληροφοριών σε σύντομο χρονικό διάστημα, την παρουσίαση πληροφοριών μέσω δυναμικών, διαδραστικών και πολλαπλών αναπαραστάσεων και την επικοινωνία. Ωστόσο, η ουσιαστική συμβολή των ICT στη μαθησιακή διαδικασία έρχεται έμμεσα μέσα από την παιδαγωγική τους αξιοποίηση και μέσω ορισμένων χαρακτηριστικών που προκύπτουν από τα παραπάνω τεχνολογικά χαρακτηριστικά. Αυτή η συνεισφορά περιλαμβάνει κυρίως εργασίες για την ενεργό συμμετοχή μαθητών και δασκάλων στη μαθησιακή διαδικασία, δράση και ανατροφοδότηση μέσω εκπαιδευτικών σεναρίων και διαδραστικών ουσιαστικών μαθησιακών δραστηριοτήτων που βασίζονται σε ένα συγκεκριμένο θεωρητικό μοντέλο, καθώς και διαδικασίες που υποστηρίζουν τη δημιουργία νοητικών μοντέλων [35].

Αυτά τα πλεονεκτήματα έχουν παρατηρηθεί και σε χώρους προσχολικής ηλικίας. Οι Martinez et al. [36] διερεύνησαν πώς η καθοδηγούμενη αλληλεπίδραση με τρισδιάστατες εφαρμογές μπορεί να ενσωματωθεί σε περιβάλλον προσχολικής ηλικίας, πώς μπορεί να βοηθήσει τα παιδιά να μάθουν μέσω του παιχνιδιού και πώς μπορεί να βελτιώσει τα μαθησιακά τους αποτελέσματα. Τα ευρήματά της έρευνας έδειξαν ότι η χρήση τρισδιάστατων διαδραστικών εφαρμογών προάγει την ενεργή συμπεριφορά, τις δεξιότητες επικοινωνίας και κάθε είδους αλληλεπιδράσεις στην τάξη και βοηθά τους μαθητές να επιτύχουν τους μαθησιακούς τους στόχους πιο γρήγορα.

## 4.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗΝ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ

Η συμβολή των 3D εικονικών περιβαλλόντων (VLEs) στην εκπαίδευση μπορεί να περιγραφεί από πλήθος εφαρμογών. Για παράδειγμα, στην εκπαίδευση επαγγελματιών υγείας τα VLEs χρησιμοποιούνται πολύ συχνά για να παρέχουν στους εκπαιδευόμενους ένα ασφαλές και επαναλαμβανόμενο περιβάλλον μάθησης. Επειδή η ιατρική εκπαίδευση είναι συνήθως χρονοβόρα και πολύπλοκη για τους μαθητές, τα VLEs προσφέρουν μία πραγματική και επαναλαμβανόμενη ευκαιρία μάθησης η οποία μπορεί να τους εκπαιδεύσει να χειρίζονται επιδέξια τον κατάλληλο θεραπευτικό εξοπλισμό, να εξασκούν τις ικανότητες τους, μειώνοντας έτσι ανεπιθύμητες παρενέργειες κατά την διάρκεια μίας κλινικής εξέτασης [37].

Επιπλέον στην εκπαίδευση φυσικών επιστημών, χαρακτηριστικά των VLEs όπως η αίσθηση της παρουσίας, της ορατότητας και της πλοήγησης βοηθούν ιδιαίτερα τους μαθητές στην απόκτηση γνώσης. Κάποιες περίπλοκες έννοιες μπορούν να αποσαφηνιστούν πολύ εύκολα μέσω της προβολής του περιβάλλοντος από πολυδιάστατη όψη. Η εμπλοκή και ο εύκολος χειρισμός του VR δημιουργεί μια τρισδιάστατη μέθοδο αναπαράστασης για την παρουσίαση μιας προσομοιωμένης κατάστασης ώστε οι εκπαιδευόμενοι να κατανοούν πλήρως τα προβλήματα και να εξετάζουν το περιβάλλον όποτε είναι απαραίτητο [38][39].

Όσον αφορά την επαγγελματική κατάρτιση, παρόμοια με τους εκπαιδευτικούς φυσικών επιστημών, οι ερευνητές χρησιμοποιούν την τεχνολογία VR για να δημιουργήσουν ένα περιβάλλον με διαδραστικότητα και δυνατότητα χειρισμού. Εκθέτοντας τους εαυτούς τους σε ένα πραγματικό περιβάλλον, οι εκπαιδευόμενοι έχουν την αίσθηση ότι «μπαίνουν» στο πραγματικό περιβάλλον και οι επαγγελματικές τους δεξιότητες (όπως η επιθεώρηση/συντήρηση αεροσκαφών ή η ομαδική επικοινωνία του γραφείου έκτακτης ανάγκης) ενισχύονται αποτελεσματικά μέσω της «πραγματικότητας» [40]. Ο τρόπος αυτός δεν είναι μόνο αποτελεσματικός, αλλά και οικονομικός και ασφαλής. Είναι φανερό λοιπόν από τις παραπάνω περιπτώσεις, ότι ένα μαθησιακό περιβάλλον με ποικίλη και πολύτροπη ανατροφοδότηση κάνει τις μαθησιακές εμπειρίες πιο μεταβιβάσιμες στον πραγματικό κόσμο.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η χρήση των VLEs στην ειδική αγωγή από ειδικούς παιδαγωγούς, ως κίνητρο για να βοηθήσουν μαθητές με αναπηρία (π.χ. άτομα στο φάσμα του αυτισμού) να έχουν κοινωνική αλληλεπίδραση με τους υπόλοιπους μαθητές. Στην συγκεκριμένη εφαρμογή, επειδή το περιβάλλον είχε σχεδιαστεί κατάλληλα έτσι ώστε να είναι διαδραστικό και να υπάρχει δυνατότητα χειραγώγησης, οι μαθητές καθοδηγήθηκαν με επιτυχία ώστε να αναπτύξουν με επιτυχία τις κοινωνικές τους δεξιότητες [41], [42].

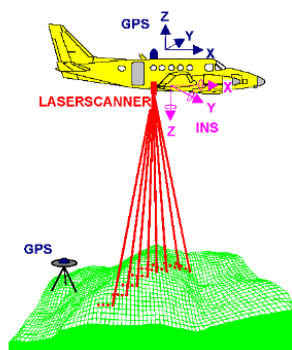
Με βάση όλων των παραπάνω, η χρήση τρισδιάστατων εικονικών περιβαλλόντων στην εκπαίδευση έχει εξεταστεί επανειλημμένα από επαγγελματίες σε διάφορους τομείς, σε μαθητές διαφορετικής ηλικίας, με κοινό στόχο πάντα την μάθηση και την εξέλιξη των εκπαιδευόμενων.

## 4.3 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΕΙΚΟΝΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΜΕ ΣΑΡΩΤΕΣ LASER

Η δημιουργία τρισδιάστατων VLEs μπορεί να πραγματοποιηθεί εύκολα και γρήγορα μέσω της αποτύπωσης του χώρου ενδιαφέροντος με τη χρήση συσκευών σάρωσης laser μιας και τα τελευταία χρόνια η χρήση σαρωτών laser αποτελεί μία πολύ διαδεδομένη και αποτελεσματική τεχνική για την τρισδιάστατη απόκτηση σύνθετων αντικειμένων. Στην διεθνή βιβλιογραφία μπορούν να αναφέρονται ως Laser Scanners, 3D Scanners, Terrestrial Scanners ή και LiDAR και είναι όργανα ενεργής απεικόνισης τα οποία έχουν δυνατότητα συλλογής στοιχείων για τη θέση σημείων από τον περιβάλλοντα χώρο σε μορφή τρισδιάστατων συντεταγμένων XYZ (νέφη σημείων) καθώς επίσης και στοιχείων σχετικά με την εμφάνιση τους, όπως την ένταση του ανακλώμενου σήματος για το υλικό ή χρωματικά στοιχεία με την μορφή τιμών RGB.

Η τεχνολογία του Laser Scanner βρίσκει ευρεία εφαρμογή σε πάρα πολλούς τομείς που απαιτούν μεγάλη ταχύτητα και ακρίβεια στην διαδικασία συλλογής δεδομένων. Ενδεικτικές εφαρμογές χρήσης του τρισδιάστατου σαρωτή είναι η αποτύπωση αρχαιολογικών χώρων, αποτύπωση διατηρητέων κτιρίων ή μνημείων, αποτύπωση ορυχείων, σηράγγων, σπηλαίων, μεταλλείων κ.α., αποτύπωση ειδικών κατασκευών όπως για παράδειγμα κεραιών κινητής τηλεφωνίας, συλλογή δεδομένων και σχεδιασμός τρισδιάστατων μοντέλων εργοστασιακών και βιομηχανικών “as-built” εφαρμογών, τρισδιάστατος σχεδιασμός μοντέλων αεροσκαφών, πλοίων και οχημάτων (κατασκευή – επισκευή), εικονική πραγματικότητα, προσομοίωση, ειδικά effects και πολλές άλλες [43].

Ανάλογα με το πεδίο εφαρμογής τους ταξινομούνται σε δύο κύριες κατηγορίες, σε επίγειους και σε αερομεταφερόμενους σαρωτές. Οι αερομεταφερόμενοι σαρωτές (αναφέρονται συνήθως ως LIDAR) τοποθετούνται σε αεροσκάφη και χρησιμοποιούνται στην αποτύπωση του γήινου ανάγλυφου καθώς και του πυθμένα των θαλασσών και λιμνών (Εικόνα 1). Οι επίγειοι σαρωτές laser τοποθετούνται συνήθως σε τρίποδα και χρησιμοποιούνται για αποτυπώσεις εδαφολογικών και κτιριακών χαρακτηριστικών, στην τεκμηρίωση και αποτύπωση πολιτιστικών αντικειμένων καθώς και σε αποτυπώσεις σε ναυτιλία, βιομηχανία (Εικόνα 2).



Εικόνα 1: Δέκτες συστήματος LiDAR – MMS [44]



Εικόνα 2: Επίγειος σαρωτής Leica RTC360 [45]

### **4.3.1 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ**

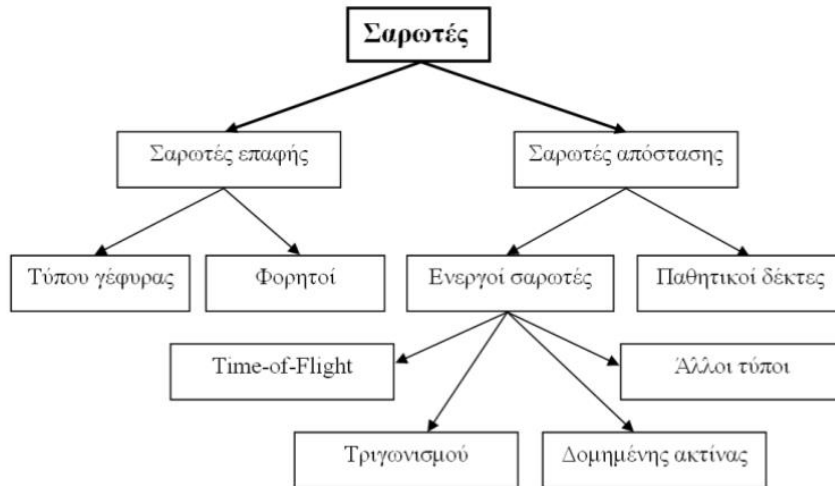
Οι σαρωτές laser βασίζονται στην χρήση της οπτικής ακτινοβολίας, στέλνοντας τρισεκατομμύρια φωτόνια ανά μονάδα χρόνου πάνω στο αντικείμενο ενδιαφέροντος. Στην συνέχεια τα φωτόνια αυτά αντανακλώνται και ένα ποσοστό τους επιστρέφει στον αισθητήρα του σαρωτή, με την βοήθεια των οπτικών διατάξεων που υπάρχουν σε κάθε όργανο. Η ανακλαστικότητα κάθε επιφάνειας εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως είναι το υλικό, το χρώμα και το συντελεστή ανακλαστικότητάς (albedo) του. Για παράδειγμα υλικά με πολύ υψηλό συντελεστή albedo είναι οι λευκές επιφάνειες, οι οποίες αντανακλούν το μεγαλύτερο ποσοστό του φωτός. Αντίστοιχα επιφάνειες όπως το μαύρο καουτσούκ έχουν πολύ χαμηλό συντελεστή albedo αφού αντανακλούν πολύ χαμηλό φως. Τέλος διάφανες επιφάνειες όπως το γυαλί διαθλούν την οπτική ακτινοβολία οδηγώντας σε εισαγωγή σφαλμάτων στις μετρήσεις [46].

Τα τυπικά μέρη ενός συστήματος σαρωτή laser είναι η συσκευή του σαρωτή και τα παρελκόμενα που απαιτούνται για την λειτουργία του όπως μπαταρίες, τρίποδος, ειδικό στόχοι σάρωσης και η μονάδα ελέγχου όταν απαιτείται (φορητός υπολογιστής/ tablet). Εσωτερικά το σύστημα του σαρωτή αποτελείται από πομπό ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, δέκτη ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που λαμβάνει το επιστρεφόμενο σήμα, καταγραφική μονάδα στην οποία καταγράφονται η επιστροφή του σήματος και ο χρόνος εκπομπής – λήψης, χρονόμετρο για τη μέτρηση του χρόνου μετάβασης και επιστροφής του εκπεμπόμενου σήματος, σύστημα περιστρεφόμενων καθρεφτών που κατευθύνει τη δέσμη της ακτινοβολίας [47].

### **4.3.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΣΑΡΩΤΩΝ**

Υπάρχουν πολλοί τρόποι να ταξινομηθούν οι σαρωτές λέιζερ που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε επίγειες εφαρμογές. Είτε με βάση την αρχή μέτρησης (δηλαδή τριγωνισμό, φάση ή παλμό) είτε με βάση τις τεχνικές προδιαγραφές που επιτυγχάνουν. Κάποιοι σαρωτές είναι κατάλληλοι για χρήση σε εσωτερικούς χώρους και μεσαίες εμβέλειες (έως 60 μέτρα), άλλοι σαρωτές είναι καλύτεροι για εξωτερική χρήση με μεγάλες αποστάσεις (έως 150 μέτρα περίπου) και υπάρχουν επίσης σαρωτές για εφαρμογές κοντινής απόστασης (έως μερικά μέτρα) με υψηλή ακρίβεια. Ανάλογα με την εφαρμογή πρέπει να επιλεγεί ο κατάλληλος σαρωτής λέιζερ.

Ο πρώτος διαχωρισμός των σαρωτών laser μπορεί να γίνει βάση της τεχνολογίας που χρησιμοποιούν, σε σαρωτές επαφής (Contact scanners) και σαρωτές απόστασης (Non-contact scanners) [46].



Εικόνα 3: Κατηγοριοποίηση σαρωτών [46]

#### 4.3.2.1 ΣΑΡΩΤΕΣ ΕΠΑΦΗΣ

Οι σαρωτές επαφής (contact scanners) είναι όργανα τα οποία αποτυπώνουν το αντικείμενο μέσω της φυσικής επαφής, δίνοντας σχετικές συντεταγμένες στο ενσωματωμένο καταγραφικό σύστημα που διαθέτουν. Τα συστήματα αυτά περιλαμβάνουν τα συστήματα CMM. Οι σαρωτές επαφής διαχωρίζονται περαιτέρω σε φορητούς και σαρωτές τύπου γέφυρας (Εικόνες 4, 5). Στα μειονεκτήματα των συστημάτων αυτών είναι ότι απαιτούν φυσική επαφή με το αντικείμενο που μπορεί να επιφέρει καταστροφές στο υπό εξέταση αντικείμενο ειδικά όταν αφορά ιστορικά έργα τέχνης καθώς και ότι είναι εξαιρετικά χρονοβόρα ως προς την αποτύπωση. Οι συγκεκριμένοι σαρωτές χρησιμοποιούνται σε βιομηχανικές εφαρμογές, στον σχεδιασμό βιντεοπαιχνιδιών καθώς και στον κινηματογράφο για την δημιουργία εικονικών χαρακτήρων [46].



Εικόνα 4: Σαρωτής τύπου γέφυρας της εταιρείας Hexagon [48]



Εικόνα 5: Φορητός Σαρωτής με βραχίονα της εταιρείας Hexagon [49]

#### 4.3.2.2 ΣΑΡΩΤΕΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ

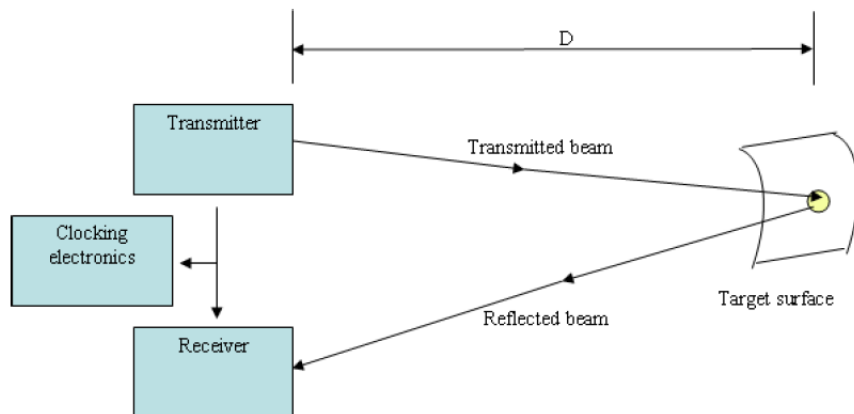
Οι σαρωτές απόστασης (non-contact scanners) χρησιμοποιούν ακτινοβολία για να εντοπίσουν την θέση των σημείων. Η ακτινοβολία εκπέμπεται και καταγράφεται είτε από τον ενσωματωμένο δέκτη που διαθέτουν, όταν αναφερόμαστε σε ενεργούς σαρωτές, είτε από έναν δέκτη που εκμεταλλεύεται την υπάρχουσα ακτινοβολία του αντικειμένου, όταν αναφερόμαστε σε παθητικούς δέκτες [46]. Επιπλέον οι σαρωτές απόστασης μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με βάση την αρχή του συστήματος μέτρησης απόστασης, το οποίο σχετίζεται τόσο με την εμβέλεια όσο και με την ακρίβεια του συστήματος.

Οι ενεργητικοί σαρωτές αποστάσεων σύμφωνα με την αρχή λειτουργίας χωρίζονται σε επιμέρους κατηγορίες. Τους σαρωτές χρόνου πτήσης παλμού (time-of-flight), τους σαρωτές σύγκρισης φάσης (phase comparison) και τους σαρωτές που μετρούν σημεία στον χώρο χρησιμοποιώντας αρχές από τη θεωρία των τριγώνων (σαρωτές τριγωνισμού-triangulation Scanners). Οι σαρωτές χρόνου πτήσης παλμού και οι σαρωτές σύγκρισης φάσης μετρούν το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο συμβάντων. Το πρώτο συμβάν είναι η εκπομπή ενός παλμού laser και το δεύτερο συμβάν είναι η λήψη του αντίστοιχου ανακλώμενου από το αντικείμενο παλμού. Αυτοί οι δύο τύποι σαρωτών αποκαλούνται επίσης και time based σαρωτές (σαρωτές μέτρησης χρόνου) [50].

##### ➤ Σαρωτές χρόνου πτήσης παλμού (Time Of Flight, TOF)

Το πιο δημοφιλές σύστημα μέτρησης για σαρωτές μέχρι σήμερα, είναι η τεχνολογία μέτρησης χρόνου πτήσης ενός παλμού laser (Time of flight). Χρησιμοποιείται κυρίως σε αποτυπώσεις μεγάλων αντικειμένων, κτιρίων και γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών. Αυτή η τεχνική επιτρέπει την μέτρηση σημείων σε μεγάλες αποστάσεις έως και αρκετές εκατοντάδες μέτρα. Οι σαρωτές αυτής της κατηγορίας, οι οποίοι εκπέμπουν ακτινοβολία σε μορφή παλμών, χρησιμοποιούν μία συσκευή μέτρησης χρόνου για να υπολογίζουν αποστάσεις. Η πηγή η οποία είναι τοποθετημένη στη συσκευή, δημιουργεί έναν παλμό laser και τον εκπέμπει προς το αντικείμενο ενδιαφέροντος. Ο παλμός χτυπά στην επιφάνεια του αντικειμένου και ανακλάται από αυτήν. Τελικά, πραγματοποιείται η λήψη του ανακλώμενου παλμού από τη συσκευή. Η ταχύτητα διάδοσης της ακτίνας laser είναι σταθερή και ίση με την ταχύτητα του φωτός οπότε η απόσταση μεταξύ πηγής και ανακλώμενης επιφάνειας υπολογίζεται από το χρόνο ταξιδιού του σήματος μεταξύ εκπομπής και λήψης (Εικόνα 6).

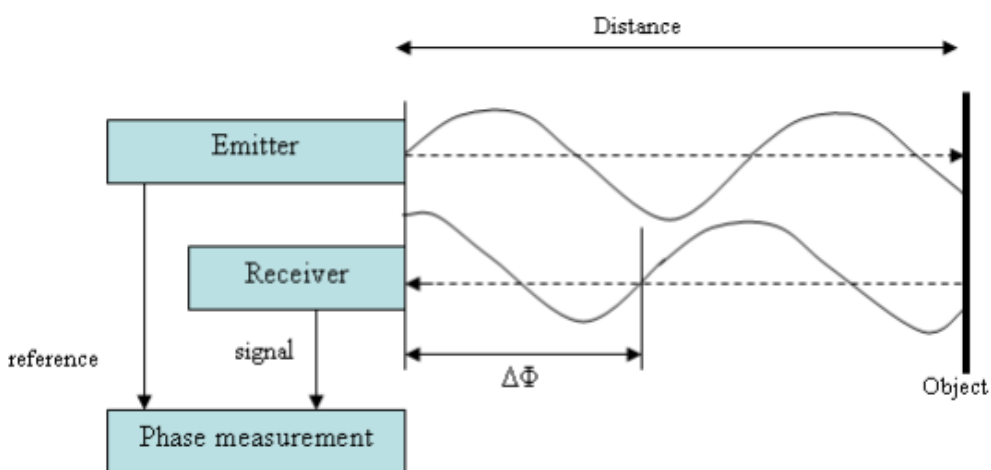




Εικόνα 6: Αρχή λειτουργίας Time-of-Flight σαρωτών [51].

➤ Σαρωτές σύγκρισης φάσης (Phase Comparison Scanners)

Οι σαρωτές σύγκρισης φάσης προσφέρουν παρόμοιες ακρίβειες με τους σαρωτές Time-of-Flight, ωστόσο υπολογίζουν την απόσταση από τον στόχο διαφορετικά. Ένας σαρωτής σύγκρισης φάσης βασίζεται στην μέτρηση του στις διαφορές φάσης μεταξύ των εκπεμπόμενων και των επιστρεφόμενων σημάτων και όχι απευθείας στον χρόνο πτήσης. Ο χρόνος μετάβασης - επιστροφής του σήματος είναι ευθέως ανάλογος της διαφοράς φάσης μεταξύ του εκπεμπόμενου και λαμβανόμενου σήματος και εξαρτάται από τη συχνότητα διαμόρφωσης και την απόσταση του σαρωτή από το αντικείμενο (Εικόνα 7). Λόγω της αρκετά πολύπλοκης διαδικασίας που χρειάζεται για την ανάλυση των σημάτων, τα αποτελέσματα έχουν μεγάλη ακρίβεια και διαθέτουν πολύ υψηλούς ρυθμούς λήψης δεδομένων (πάνω από ένα εκατομμύριο σημεία ανά δευτερόλεπτο). Δεδομένου ότι απαιτείται ένα καλά καθορισμένο σήμα επιστροφής για τον υπολογισμό των αποστάσεων, οι σαρωτές διαφοράς φάσης έχουν μειωμένη εμβέλεια [47].

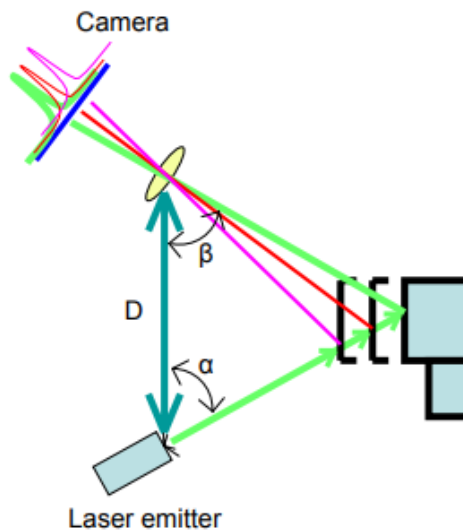


Εικόνα 7: Αρχή λειτουργίας σαρωτών σύγκρισης φάσης [51].

➤ Σαρωτές Τριγωνισμού (Triangulation Scanners)

Οι σαρωτές τριγωνισμού, χρησιμοποιούν την μέθοδο των τριγώνων για να μετρήσουν σημεία στο χώρο. Όπως και οι προηγούμενες δύο κατηγορίες σαρωτών χρησιμοποιούν μία συσκευή εκπομπής ακτινοβολίας laser. Ωστόσο οι σαρωτές αυτοί χρησιμοποιούν την ακτίνα laser για να “φωτίσουν” σημεία πάνω στο αντικείμενο και μία κάμερα (CCD) για να εντοπίσουν τα σημεία που φωτίζει κάθε φορά η ακτίνα. Ανάλογα με την θέση που χτυπάει η ακτίνα το αντικείμενο, με χρήση εξισώσεων φωτογραμμετρίας ο σαρωτής υπολογίζει τη θέση του κάθε σημείου στον τρισδιάστατο χώρο [46].

Οι σαρωτές που λειτουργούν με τη μέθοδο των τριγώνων έχουν το μικρότερο όριο μέτρησης αποστάσεων. Οι εφαρμογές που πραγματοποιούνται με αυτού του είδους τους σαρωτές απαιτούν μετρήσεις αποστάσεων μικρότερων των 10 μέτρων. Εξαιτίας του περιορισμένου εύρους, οι σαρωτές που βασίζονται στη μέθοδο των τριγώνων δε χρησιμοποιούνται σε τοπογραφικές και εφαρμογές χαρτογράφησης αλλά σε βιομηχανικές εφαρμογές και αντίστροφη μηχανική. Ακρίβειες μέχρι μερικά μικρόμετρα μπορούν να επιτευχθούν με αυτήν την τεχνολογία.



Εικόνα 8: Αρχές λειτουργίας σαρωτών τριγωνισμού [51]

### 4.3.3 ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΚΡΙΒΕΙΕΣ ΣΑΡΩΣΗΣ

Ένα πολύ σημαντικό στοιχείο που πρέπει πάντα να λαμβάνεται υπόψη κατά την διάρκεια σάρωσης με Laser scanner, όπως και σε οποιαδήποτε μέθοδο αποτύπωσης είναι η ακρίβεια. Η κάθε μέθοδος τρισδιάστατης αποτύπωσης προσφέρει διαφορετική ακρίβεια η οποία παίζει καθοριστικό ρόλο στην ποιότητα του τελικού παραδοτέου. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι ακρίβειες και οι εμβέλειες για κάθε μέθοδο σάρωσης, όπως αναλύθηκε στην προηγούμενη ενότητα.

Πίνακας 1: Οι κατηγορίες σαρωτών Laser με τις ακρίβειες και τις εμβέλειές τους [52]

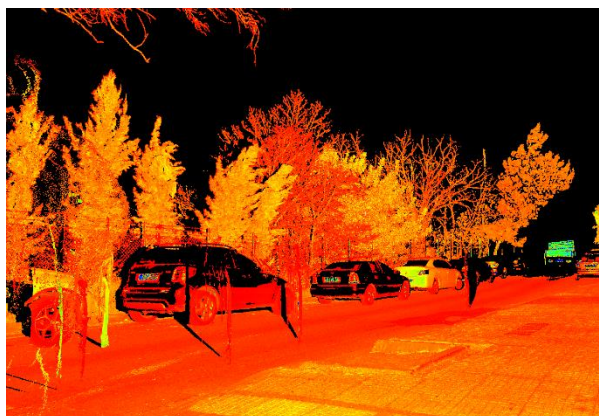
Scanning System		Usage	Typical Accuracies (mm)	Typical Range (m)
Triangulation	Rotation stage	Small objects taken to scanner. Replica production	0.05	0.1 – 1
	Arm mounted	Small objects. Lab or field. Replica production	0.05	0.1 – 3
	Tripod mounted	Small objects in the field. Replica production	0.1 – 1	0.1 – 2.5
	Close range handheld	Small objects. Lab. Replica production	0.03 – 1	0.2 – 0.3
	Mobile (handheld, backpack)	Awkward locations eg building interiors, caves	0.03 – 30	0.3 – 20
Pulse (TOF)	Terrestrial	Building exteriors/interiors. Drawings, analysis, 3D models	1 – 6	0.5 – 1000
	Mobile (vehicle)	Streetscapes, highways, railways. Drawings, analysis, 3D models	10 – 50	10 – 200
	UAS	Building roofscapes, archaeological sites. Mapping and 3D models	20 – 200	10 - 125
	Aerial	Large site prospecting and mapping	50 – 300	100 – 3500
Phase	Terrestrial	Building exteriors/interiors. Drawing, analysis, 3D models	2 – 10	1 – 300

Οι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν τις μετρήσεις των σαρωτών καθώς και της ποιότητας του τελικού προϊόντος είναι η γωνία πρόσπτωσης, ο θόρυβος, η ανακλαστικότητα της επιφάνειας, το σφάλμα ακμής, η θερμοκρασία και οι ατμοσφαιρικές συνθήκες [46], [53].

#### 4.3.3.1 Θόρυβος

Το φαινόμενο του θορύβου παρατηρείται κατά την διάρκεια σάρωσης ενός αντικείμενου και μεταφέρεται στα τελικά αποτελέσματα των μετρήσεων. Ο θόρυβος της σάρωσης μπορεί να αποτελείται από περιττά σημεία τα οποία αποτυπώνονται από λάθος είτε από σημεία που αποτυπώνονται σκόπιμα, εν γνώσει του χειριστή του οργάνου προκειμένου να αποφευχθούν κενά στην αποτύπωση. Ο θόρυβος παρουσιάζεται στο τελικό προϊόν ως σημεία που αποκλίνουν από το νοητό επίπεδο και κατευθύνονται προς τυχαίες διευθύνσεις γύρω από αυτό. Έτσι εμφανίζεται ως τυχαία διάχυση της δέσμης. Η αντιμετώπιση του θορύβου συχνά πραγματοποιείται με χρήση ειδικών φίλτρων ομαλοποίησης και απλοποίησης, τα οποία έχουν στόχο να αφαιρέσουν το θόρυβο, να μειώσουν τον όγκο των δεδομένων, αλλά ταυτόχρονα, να διατηρήσουν άθικτα τα περιθώρια των επιφανειών και τον όγκο του αντικείμενου. Συχνά, θόρυβος αποκαλείται και η περιττή πληροφορία που αποτυπώνεται από τον σαρωτή κατά την διάρκεια των μετρήσεων όπως η βλάστηση ή κινητά αντικείμενα.

Ο καθαρισμός των μετρήσεων από την περιττή πληροφορία γίνεται κατά την διαδικασία της επεξεργασίας είτε χειροκίνητα είτε με αυτόματο τρόπο [53].



Εικόνα 9: Παράδειγμα αποτύπωσης βλάστησης και κινητών αντικειμένων που αποτελούν θόρυβο στην σάρωση

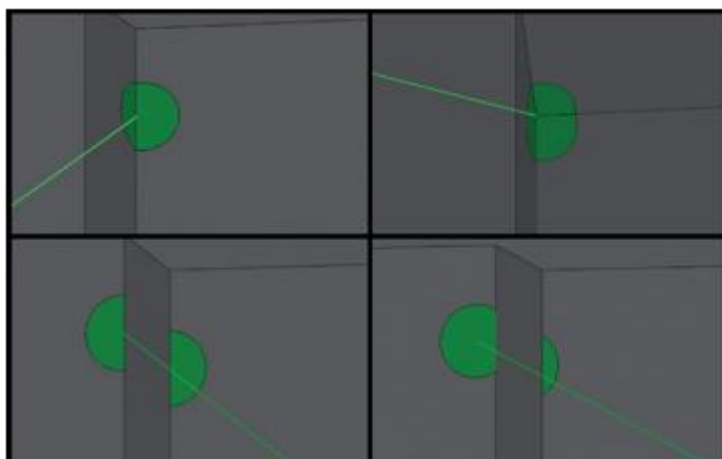
#### 4.3.3.2 Ανακλαστικότητα

Η επίδραση της ανακλαστικότητας στην επιφάνεια του αντικειμένου ενδιαφέροντος αποτελεί πολύ σημαντικό παράγοντα στην ακρίβεια της σάρωσης. Ανεξαρτήτως της μεθόδου που χρησιμοποιείται στην σάρωση, η ένταση του επιστρεφόμενου σήματος εξαρτάται από τις δυνατότητες αντανάκλασης της επιφάνειας. Επιφάνειες που ανακλούν τον παλμό σε υψηλό βαθμό, επιστρέφουν μεγαλύτερη ενέργεια και άρα είναι δυνατή η μέτρησή τους σε μεγαλύτερες αποστάσεις. Παράλληλα, επιφάνειες που καλύπτονται από ένα λεπτό στρώμα νερού, όπως είναι το βρεγμένο οδόστρωμα είναι πολύ δύσκολο να σαρωθούν εξαιτίας της μεγάλης ανακλαστικότητας του νερού. Λευκές επιφάνειες αποδίδουν εντονότερη αντανάκλαση σε αντίθεση με σκούρες και κυρίως μαύρες επιφάνειες όπου η αντανάκλαση είναι ασθενής. Οι επιδράσεις των χρωματισμένων επιφανειών εξαρτώνται από τα φασματικά χαρακτηριστικά του laser (πράσινο, κόκκινο, εγγύς υπέρυθρο). Επιπλέον γυαλιστερές επιφάνειες είναι πολύ δύσκολο να αποτυπωθούν. Παράλληλα έχει παρατηρηθεί ότι επιφάνειες που παρουσιάζουν διαφορές ως προς την ανακλαστικότητά τους, οδηγούν σε συστηματικά σφάλματα κατά την μέτρηση. Για κάποια υλικά αυτά τα σφάλματα μπορεί να είναι αρκετές φορές μεγαλύτερα από την τυπική απόκλιση μιας μέτρησης [54].

#### 4.3.3.3 Σφάλμα Ακμής

Η δέσμη laser του σαρωτή έχει ένα ορισμένο μέγεθος και συχνά όταν πέφτει πάνω σε ακμές του αντικειμένου ενδιαφέροντος δημιουργείται πρόβλημα. Όταν η δέσμη φτάνει την ακμή του αντικειμένου, μόνο ένα μέρος της δέσμης αντανακλάται πίσω στο δέκτη και το υπόλοιπο μπορεί να αντανακλάται από διπλανή επιφάνεια, μία διαφορετική επιφάνεια πίσω από την ακμή στο φόντο της ακμής ή και καθόλου (εάν δεν υπάρχει άλλο αντικείμενο εντός της πιθανής εμβέλειας του σαρωτή). Συνεπώς στον σαρωτή φτάνουν σήματα από διαφορετικές

επιφάνειες και το όργανο για να υπολογίσει την θέση βγάζει τον μέσο όρο των μετρήσεων με αποτέλεσμα η ακμή να βρίσκεται σε λάθος θέση. Για τον λόγο αυτό συχνά παρατηρείται κόκκινος νέφος θορύβου κοντά στις ακμές [46].



Εικόνα 10: Πιθανές περιπτώσεις που η δέσμη λέιζερ χτυπά στην άκρη του αντικειμένου - Σφάλμα ακμής [55]

#### 4.3.3.4 Θερμοκρασία

Ένα ακόμα στοιχείο που μπορεί να επηρεάσει το αποτέλεσμα της σάρωσης είναι η θερμοκρασία. Κάθε σαρωτής laser λειτουργεί σε συγκεκριμένο εύρος θερμοκρασίας όπως αυτό ορίζεται από τον κατασκευαστή, συνήθως 0-40°. Ωστόσο, ακόμα και εντός του εύρους αυτού μπορεί να παρατηρηθούν σφάλματα εάν οι μετρήσεις πραγματοποιούνται σε μεγάλες αποστάσεις. Επίσης η ανομοιόμορφη έκθεση σε ισχυρή ακτινοβολία ενδέχεται να δημιουργήσει παραμόρφωση της πληροφορίας, ιδιαίτερα όταν ο σαρωτής είναι τοποθετημένος σε τρίποδο.

#### 4.3.3.5 Ατμόσφαιρα

Η επίδραση της ατμόσφαιρας μπορεί να αποδειχθεί ιδιαίτερα σημαντική κατά τις μετρήσεις ενός επίγειου σαρωτή. Σε περιπτώσεις μέτρησης σχετικά μικρών αποστάσεων, οι αλλαγές που ενδέχεται να προκύψουν στην ταχύτητα διάδοσης του φωτός εξαιτίας των μεταβολών πίεσης και θερμοκρασίας είναι αμελητέες. Αντιθέτως κατά τις μετρήσεις μεγάλων αποστάσεων, που πραγματοποιούνται σε περιβάλλον, όπου υπάρχει σκόνη και ατμός, μπορεί να προκύψουν συστηματικά σφάλματα. Γενικά, οι επίγειοι σαρωτές δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται κάτω από δυσμενείς καιρικές συνθήκες όπως σε ομιχλώδη ή και βροχερό καιρό καθώς οι σταγόνες της βροχής μπορεί να προκαλέσουν θόρυβο στις μετρήσεις [54].

#### 4.3.4 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Τα δεδομένα που προήλθαν από τις μετρήσεις του σαρωτή, αποτελούνται από ανεξάρτητα νέφη σημείων (point cloud) με ξεχωριστά συστήματα συντεταγμένων ανά στάση τοποθέτησης του σαρωτή. Η διαδικασία επεξεργασίας είναι ιδιαίτερα απαιτητική σε υπολογιστική ικανότητα λόγω του μεγάλου όγκου των δεδομένων. Στόχο της επεξεργασίας αποτελεί η επιτυχής συνένωση όλων των νεφών σε ένα ενιαίο νέφος σημείων, στο οποίο θα περιλαμβάνεται όλη η επιθυμητή πληροφορία με την αντίστοιχη ακρίβεια.

##### ➤ Συνένωση νεφών σημείων

Το πρώτο βήμα επεξεργασίας είναι η εισαγωγή των νεφών σημείων στο λογισμικό επεξεργασίας και η συνένωση των επιμέρους στάσεων. Για την δημιουργία ενός συνολικού νέφους ενός αντικειμένου απαιτείται η εφαρμογή ενός ενιαίου συστήματος συντεταγμένων σε όλα τα επιμέρους νέφη. Πραγματοποιείται μετατόπιση, στροφή και ένωση των επιμέρους νεφών και η διαδικασία αυτή ονομάζεται Cloud Alignment ή Registration. Η ένωση των στάσεων πραγματοποιείται βάση των κοινών σημείων νέφους που διαθέτουν. Τα κοινά σημεία μπορεί να είναι είτε προσημασμένοι στόχοι (Εικόνα Χ) είτε χαρακτηριστικά σημεία και επιφάνειες που έχουν αποτυπωθεί και στις δύο σαρώσεις. Σε περιπτώσεις που το τελικό νέφος πρέπει να είναι ενταγμένο σε συγκεκριμένο σύστημα αναφοράς και όχι σε κάποιο αυθαίρετο, απαιτείται και γεωαναφορά του νέφους. Η γεωαναφορά μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με τον εντοπισμό σημείων με γνωστές συντεταγμένες, είτε με την αποτύπωση σταθερών σημείων τα οποία θα αποτυπωθούν με κάποια άλλη μέθοδο (τοπογραφική, GPS κλπ.), είτε με την μέτρηση σημείων πάνω στο αντικείμενο [46].



Εικόνα 11: Στόχοι για αποτυπώσεις με laser scanner [46]

##### ➤ Καθαρισμός/Φιλτράρισμα νέφους

Σε κάθε σάρωση, όπως έχει ήδη αναφερθεί, αποτυπώνονται σημεία τα οποία δεν χρειάζονται ή είναι λανθασμένα, τα οποία χαρακτηρίζονται ως θόρυβος. Η άχρηστη αυτή πληροφορία κοστίζει σε χρόνο στην επεξεργασία του γραφείου και μπορεί να επηρεάσει σε αξιοπιστία και

ακρίβεια στην συνένωση. Οι πηγές θορύβου μπορούν να διορθωθούν αυτόματα ή χειροκίνητα από το λογισμικό επεξεργασίας και είναι τα παρακάτω:

- Κινούμενα αντικείμενα όπως άνθρωποι, ζώα ή οχήματα στο πεδίο σάρωσης
- Αντικείμενα μεγάλου μεγέθους που παρεμβάλλονται μεταξύ σαρωτή και αντικειμένου μελέτης, όπως βλάστηση
- Επιφάνειες υψηλής ανακλαστικότητας, όπως γυαλιστερές επιφάνειες, επιφάνειες με νερό, καθρέφτες
- Ακμές αντικειμένων, οι οποίες συχνά αντανακλούν μέρος της ακτίνας laser δίνοντας ψευδή εικόνα για την θέση της ακμής που αποτυπώνεται («edge effect»).

➤ Διαμόρφωση τελικού προϊόντος

Στο στάδιο αυτό, ανάλογα με τις ανάγκες αποτύπωσης και του επιθυμητού προϊόντος, διαμορφώνεται το τελικό παραγόμενο προϊόν. Αυτό μπορεί να είναι τρισδιάστατο μοντέλο επιφάνειας σε μορφή τριγώνων (3d-mesh), γεωμετρικό μοντέλο επιφανειών, δισδιάστατα σχέδια, μοντέλο δομικών υλικών (BIM), μοντέλο εικονικής περιήγησης.

## 5 ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο, αναλύεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την τρισδιάστατη αποτύπωση του σχολικού κτιρίου του 4<sup>ου</sup> Νηπιαγωγείου Λυκόβρυσης και την επεξεργασία των παραγόμενων δεδομένων με στόχο την δημιουργία τρισδιάστατου εικονικού περιβάλλοντος.

### 5.1 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΣΑΡΩΣΗ ΣΧΟΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ

Η τρισδιάστατη αποτύπωση του σχολικού κτιρίου και περιβάλλοντα χώρου ολοκληρώθηκε σε δύο ημέρες, χρησιμοποιώντας τον συνδυασμό δύο διαφορετικών σαρωτών.

Σε πρώτο στάδιο χρησιμοποιήθηκε ο επίγειος σαρωτής Leica BLK360, ο οποίος ανήκει στην κατηγορία σαρωτών Time of Flight (TOF). Ο σαρωτής BLK360 είναι συμπαγής, ελαφρύς και ασύρματος και είναι ιδανικός για γρήγορη τρισδιάστατη σάρωση σύνθετων περιβαλλόντων. Εκτός από τον αισθητήρα LiDAR (Light Detection And Ranging), διαθέτει αισθητήρες υπέρυθρων για θερμική απεικόνιση και κάμερες 360°. Αυτές οι κάμερες μπορούν να εκτελούν σφαιρική απεικόνιση με υποστήριξη HDR και φλας LED, το οποίο δημιουργεί σφαιρικές εικόνες HDR 150 MP. Ο συγκεκριμένος σαρωτής 3D μπορεί να αποτυπώσει σε απόσταση έως και 60 μέτρων με ακρίβεια 4 mm [56].



Εικόνα 12: Ο σαρωτής Leica BLK360 [56]

Σε δεύτερο στάδιο, χρησιμοποιήθηκε και ο φορητός σαρωτής laser, Leica BLK2GO. Η συσκευή αυτή χρησιμοποιεί έναν συνδυασμό οπτικού SLAM και LIDAR SLAM (Simultaneous Localization And Mapping) και έχει ενσωματωμένες μία κύρια φωτογραφική μηχανή και τρεις μικρές πανοραμικές κάμερες των 12 megapixel στην κεφαλή του οργάνου. Αποτυπώνοντας 420.000 σημεία ανά δευτερόλεπτο, δίνει την δυνατότητα αποτύπωσης σύνθετων χώρων με μεγάλη ταχύτητα. Επίσης δίνεται η δυνατότητα σάρωσης κατά τη διάρκεια του περπατήματος σε πραγματικό χρόνο. Η Μονάδα Αδρανειακής Μέτρησης (IMU) μπορεί να υπολογίσει τη θέση του σαρωτή στο χώρο σε πραγματικό χρόνο. Η εμβέλεια του σαρωτή είναι από 0,5 m έως 25 m. Το εύρος θορύβου είναι  $\pm 3$  mm [57].





Εικόνα 13: Φορητός σαρωτής Leica BLK2GO [57]

Για την αποτύπωση του σχολικού κτιρίου πραγματοποιήθηκαν συνολικά 36 σαρώσεις 360° καλύπτοντας εσωτερικά και εξωτερικά ολόκληρο το σχολικό κτίριο. Επιλέχθηκε η μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια σάρωσης του οργάνου, η λήψη πανοραμικής φωτογραφίας HDR και κάθε σάρωση διήρκησε συνολικά 6 λεπτά. Επίσης πραγματοποιήθηκε μία σάρωση με τον σαρωτή χειρός περπατώντας, περιμετρικά του οικοδομικού τετραγώνου για την αποτύπωση του περιβάλλοντα χώρου του σχολείου, χαρακτηριστικών σημείων καθώς και του οδικού δικτύου γύρω από αυτό.

Οι στάσεις του οργάνου αξιολογήθηκαν και τοποθετήθηκαν με τέτοιον τρόπο, ώστε να πληρούνται κάποιες προϋποθέσεις κατά την διάρκεια των μετρήσεων. Αρχικά η περιοχή ενδιαφέροντος έπρεπε να αποτυπωθεί χωρίς απώλεια πληροφορίας, τόσο εσωτερικά όσο και εσωτερικά και να αποφευχθούν τυχόν αποκρύψεις από αντικείμενα στο βαθμό που είναι δυνατό. Επιπλέον έπρεπε να εξασφαλιστεί επικάλυψη μεταξύ των διαδοχικών στάσεων σε μεγάλο ποσοστό (>25%), έτσι ώστε στην περιοχή επικάλυψης να δημιουργούνται αρκετές ομολογίες για την συνένωση των νεφών.



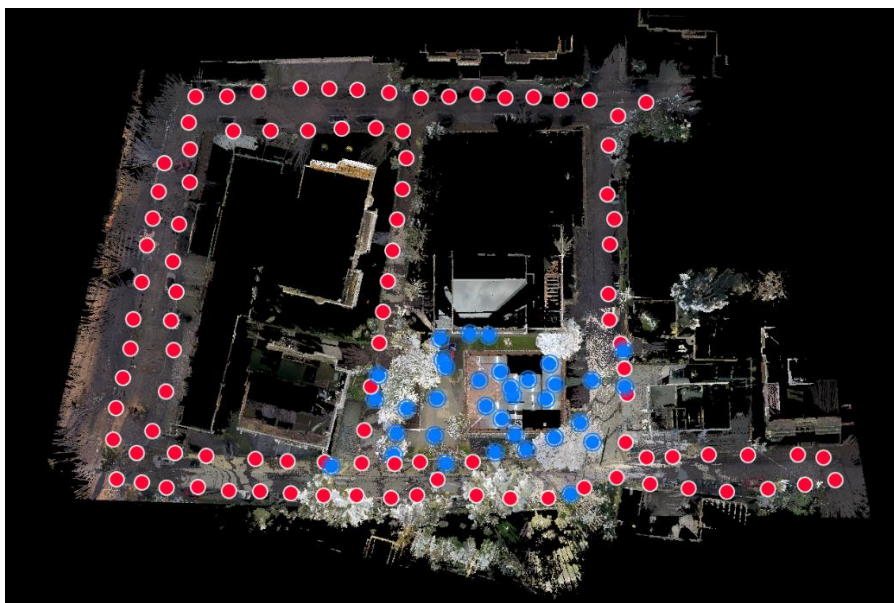
Εικόνα 14: Στάση επίγειου σαρωτή BLK360

Επιπλέον για τις ανάγκες της αποτύπωσης χρησιμοποιήθηκαν ασπρόμαυροι στόχοι (Black&White) οι οποίοι λειτούργησαν ως ομόλογα σημεία μεταξύ των σαρώσεων και βοήθησαν στην συνένωση των μεμονωμένων νεφών. Οι συγκεκριμένοι στόχοι αναγνωρίζονται αυτόματα από το λογισμικό επεξεργασίας και συμβάλλουν στην γρηγορότερη επεξεργασία και δημιουργία του τελικού συνενωμένου νέφους.



Εικόνα 15: Χρήση στόχων Black and White

Η συμπληρωματική σάρωση με τον σαρωτή χειρός πραγματοποιήθηκε περπατώντας τους 3 δρόμους και τα οικοδομικά τετράγωνα που περιβάλλουν το σχολικό κτίριο. Η σάρωση διήρκεσε 10 λεπτά και βασικό κριτήριο ήταν ο σαρωτής να ξεκινήσει και να τελειώσει ακριβώς στην ίδια θέση. Αξίζει να σημειωθεί ότι στο παραγόμενο νέφος υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας εικονικών στάσεων ανά μερικά μέτρα για ευκολότερη περιήγηση μέσα στο νέφος σημείων.



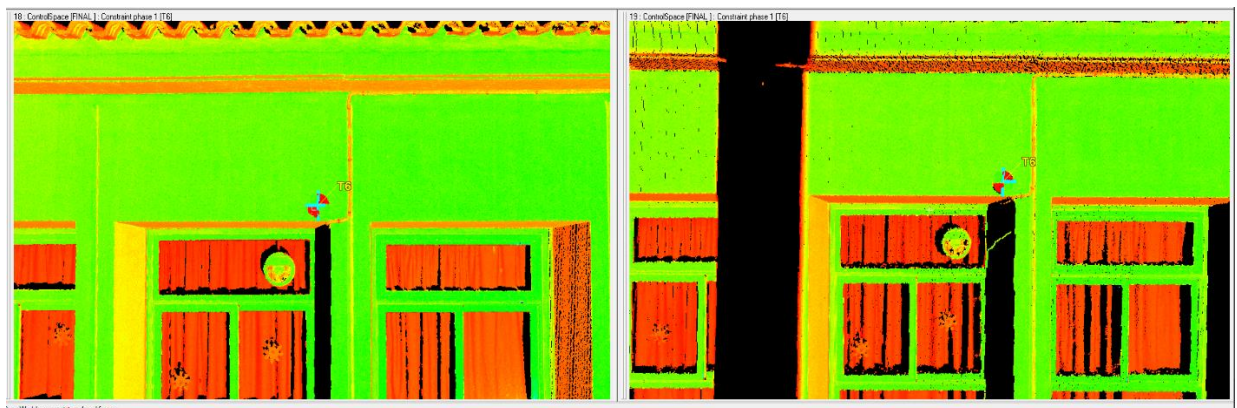
Εικόνα 16: Θέση υλοποιημένων στάσεων με επίγειο σαρωτή (μπλε χρώμα) και εικονικών στάσεων με σαρωτή χειρός (κόκκινο χρώμα)

## 5.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από τον σαρωτή κατά την διάρκεια των μετρήσεων πεδίου, αποθηκεύτηκαν αυτόματα στην εσωτερική μνήμη των σαρωτών. Στην συνέχεια τα δεδομένα και των δύο σαρωτών μεταφέρθηκαν ασύρματα, μέσω Wi-Fi από τον σαρωτή στον ηλεκτρονικό υπολογιστή, χρησιμοποιώντας την εφαρμογή «BLK Data Manager».

Η διαδικασία της συνένωσης των νεφών (Registration) πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό «Cyclone Core» της Leica Geosystems. Το συγκεκριμένο λογισμικό είναι κατάλληλο στην διαχείριση μεγάλου όγκου δεδομένων, απόλυτα συμβατό με τους σαρωτές που χρησιμοποιήθηκαν και παρέχει πλήθος δυνατοτήτων όσον αφορά την επεξεργασία του νέφους. Διαθέτει λειτουργίες εξαγωγής νέφους, ορθοεικόνων, τρισδιάστατου μοντέλου mesh, τρισδιάστατου μοντέλου γεωμετρικών επιφανειών, σε διάφορες μορφότυπους αρχείων.

Στο περιβάλλον του προγράμματος μετά την εισαγωγή των στάσεων, τα δεδομένα καθαρίστηκαν από οποιουδήποτε είδους ανεπιθύμητη πληροφορία και συνενώθηκαν σε ένα ενιαίο σύστημα αναφοράς με την διαδικασία του «Registration», όπως περιγράφεται στο κεφάλαιο 4. Η συνένωση πραγματοποιήθηκε με την χρήση ομόλογων σημείων στις περιοχές με κοινή επικάλυψη μεταξύ των σαρώσεων καθώς και με την χρήση ειδικών στόχων όπου εκείνοι είχαν τοποθετηθεί (Εικόνα 17).



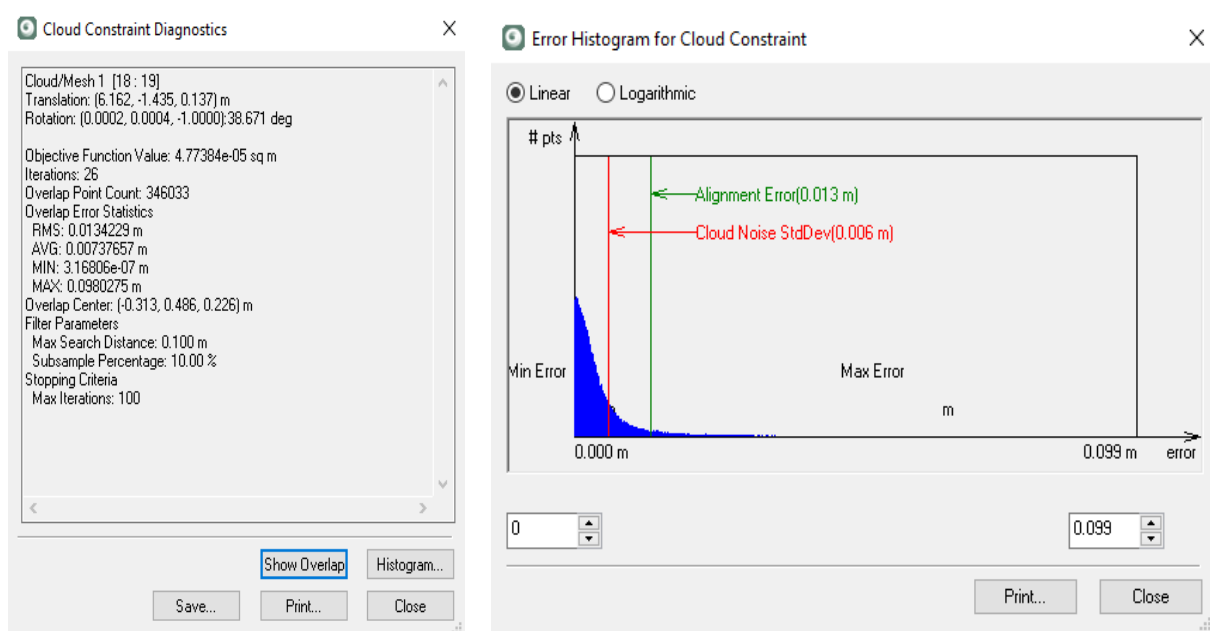
Εικόνα 17: Στιγμιότυπο από την διαδικασία συνένωσης στο λογισμικό Cyclone

Το λογισμικό για την μετατόπιση και τον προσανατολισμό δύο νεφών σημείων σε κοινό σύστημα συντεταγμένων χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο επαναληπτικής προσέγγισης σημείου ICP (Iterative Closest Point), ο οποίος αποτελεί τη δημοφιλέστερη μέθοδο συνένωσης νεφών και πραγματοποιείται σε δύο διακριτά βήματα. Αρχικά πραγματοποιείται η αναγνώριση αντίστοιχων σημείων και στην συνέχεια γίνεται εκτίμηση του χωρικού μετασχηματισμού που ελαχιστοποιεί την απόσταση ανάμεσά τους. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρι να επιτευχθεί η καλύτερη δυνατή συνταύτιση.

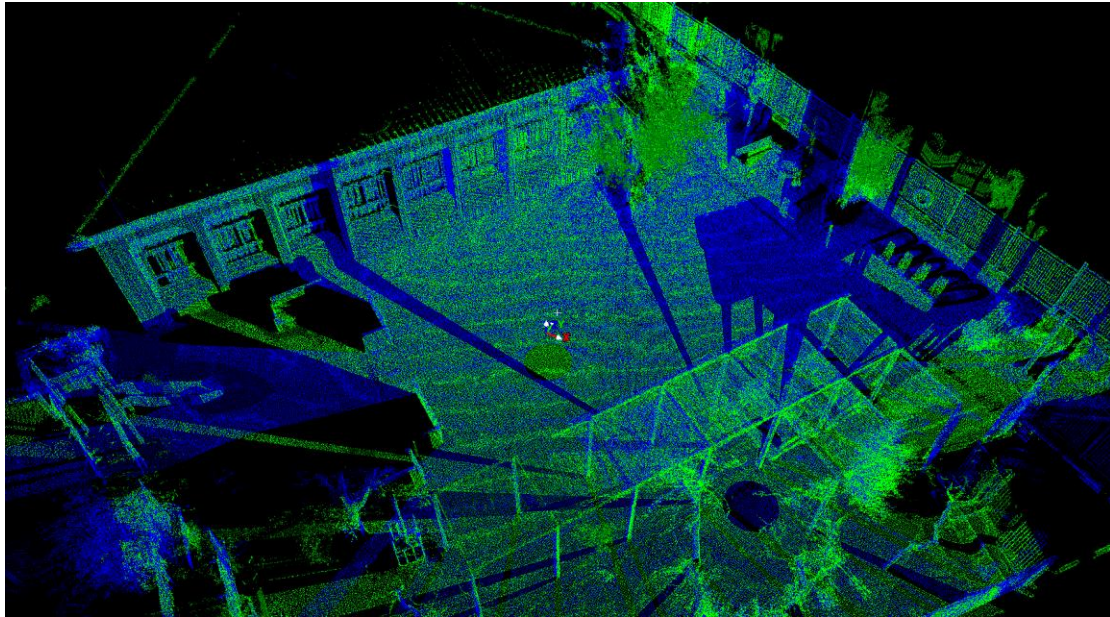
Στην συγκεκριμένη εφαρμογή, χρησιμοποιούνταν πάντα 4-5 ομόλογα σημεία τα οποία βρίσκονταν κατάλληλα κατανεμημένα στο χώρο, έτσι ώστε να μην είναι συνευθειακά στα δύο νέφη. Μετά την χειροκίνητη εισαγωγή των σημείων σειρά είχε η επαναληπτική διαδικασία του αλγορίθμου ICP. Οι παράμετροι που ορίστηκαν ήταν:

- Μέγιστη απόσταση εύρεσης γειτονικών σημείων: 10cm
- Ποσοστό σημείων συνένωσης: 10%
- Μέγιστος αριθμός επαναλήψεων: 100

Η παραπάνω ροή εργασίας ακολουθήθηκε έως ότου να συνενωθούν όλες οι σαρώσεις μεταξύ τους σε ένα ενιαίο σύστημα συντεταγμένων. Για όλες τις ενώσεις, το λογισμικό εξάγει αναλυτική αναφορά για τις παραμέτρους και την ακρίβεια επίλυσης. Στις Εικόνες 18, 19 παρουσιάζονται τα στατιστικά στοιχεία και η επικάλυψη μίας εκ των ενώσεων που πραγματοποιήθηκαν ως χαρακτηριστικό παράδειγμα. Επίσης στην Εικόνα 20 παρουσιάζονται τα συνολικά στατιστικά στοιχεία καθώς και ένα απόσπασμα από το παράθυρο του λογισμικού με την αναλυτική αναφορά των ενώσεων. Τα μέσα τετραγωνικά σφάλματα των διαδοχικών ενώσεων που πραγματοποιήθηκαν κυμαίνονταν από 2-13mm. Αναλυτικά τα στοιχεία παρουσιάζονται στο Παράρτημα Β'.



Εικόνα 18: Στατιστικά στοιχεία ένωσης στάσεων 18-19



Εικόνα 19: Επικάλυψη (overlap) μεταξύ στάσεων 18-19

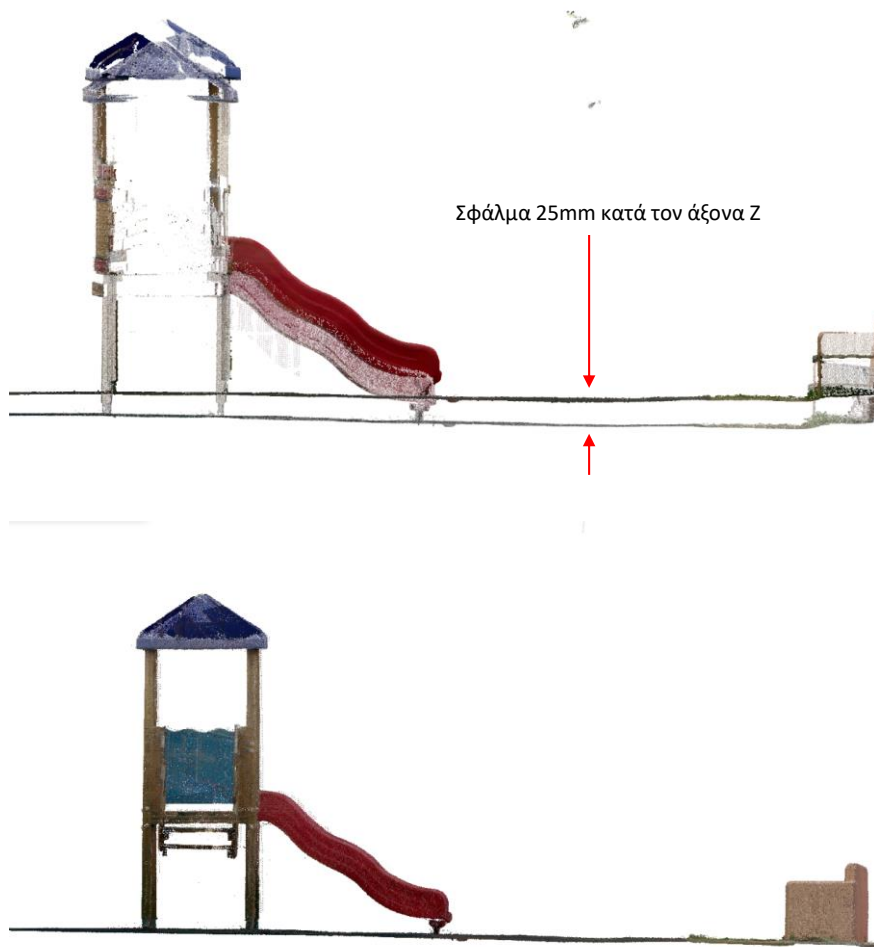
Constraint ID	ScanWorld	ScanWorld	Type	Status	Weight	Overlap Points	Error
396 phase 1   Cloud...   12   13   Cloud: Cloud / Mesh - Cloud...   On   1.0000   16849   0.001 m							
396 phase 1   Cloud...   15   16   Cloud: Cloud / Mesh - Cloud...   On   1.0000   13116   0.003 m							
396 phase 1   Cloud...   9   10   Cloud: Cloud / Mesh - Cloud...   On   1.0000   5052   0.000 m							
396 phase 1   Cloud...   20   22   Cloud: Cloud / Mesh - Cloud...   On   1.0000   8047   0.002 m							
396 phase 1   Cloud...   21   22   Cloud: Cloud / Mesh - Cloud...   On   1.0000   10774   0.005 m							
396 phase 1   Cloud...   1   12   Cloud: Cloud / Mesh - Cloud...   On   1.0000   8242   0.000 m							
396 phase 1   Cloud...   1   13   Cloud: Cloud / Mesh - Cloud...   On   1.0000   17350   0.000 m							
396 phase 1   Cloud...   22   24   Cloud: Cloud / Mesh - Cloud...   On   1.0000   7731   0.006 m							
396 phase 1   Cloud...   15   18   Cloud: Cloud / Mesh - Cloud...   On   1.0000   11248   0.004 m							
396 phase 1   Cloud...   20   21   Cloud: Cloud / Mesh - Cloud...   On   1.0000   15550   0.002 m							
396 phase 1   Cloud...   1   14   Cloud: Cloud / Mesh - Cloud...   On   1.0000   7142   0.000 m							
396 phase 1   Cloud...   1   2   Cloud: Cloud / Mesh - Cloud...   On   1.0000   8909   0.000 m							
396 phase 1   Cloud...   3   7   Cloud: Cloud / Mesh - Cloud...   On   1.0000   3004   0.001 m							
396 phase 1   Cloud...   21   23   Cloud: Cloud / Mesh - Cloud...   On   1.0000   9536   0.001 m							
396 phase 1   Cloud...   3   8   Cloud: Cloud / Mesh - Cloud...   On   1.0000   3829   0.000 m							
396 phase 1   Cloud...   25   26   Cloud: Cloud / Mesh - Cloud...   On   1.0000   20267   0.004 m							
396 phase 1   Cloud...   4   9   Cloud: Cloud / Mesh - Cloud...   On   1.0000   3129   0.001 m							
396 phase 1   Cloud...   10   11   Cloud: Cloud / Mesh - Cloud...   On   1.0000   1079   0.001 m							
396 phase 1   Cloud...   18   19   Cloud: Cloud / Mesh - Cloud...   On   1.0000   33525   0.002 m							
396 phase 1   Cloud...   17   16   Cloud: Cloud / Mesh - Cloud...   On   1.0000   9752   0.003 m							
396 phase 1   Cloud...   2   5   Cloud: Cloud / Mesh - Cloud...   On   1.0000   3597   0.000 m							
396 phase 1   Cloud...   19   21   Cloud: Cloud / Mesh - Cloud...   On   1.0000   18044   0.003 m							
396 phase 1   Cloud...   19   23   Cloud: Cloud / Mesh - Cloud...   On   1.0000   7887   0.001 m							
396 phase 1   Cloud...   25   36   Cloud: Cloud / Mesh - Cloud...   On   1.0000   2527   0.003 m							
396 phase 1   Cloud...   26   36   Cloud: Cloud / Mesh - Cloud...   On   1.0000   2438   0.003 m							
396 phase 1   Cloud...   36   24   Cloud: Cloud / Mesh - Cloud...   On   1.0000   1694   0.004 m							
396 phase 1   Cloud...   15   17   Cloud: Cloud / Mesh - Cloud...   On   1.0000   15237   0.003 m							
396 phase 1   Cloud...   21   36   Cloud: Cloud / Mesh - Cloud...   On   1.0000   1336   0.006 m							
396 phase 1   Cloud...   18   22   Cloud: Cloud / Mesh - Cloud...   On   1.0000   18723   0.004 m							

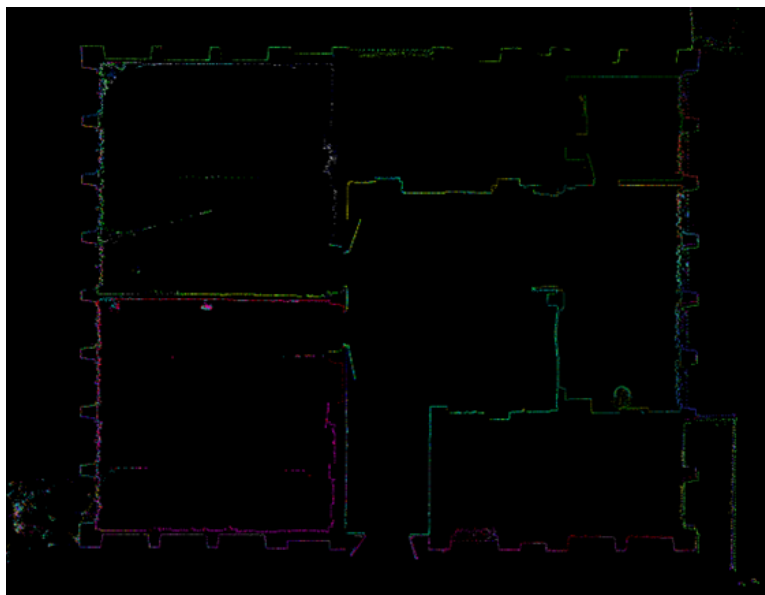
aligned [0.003 m]	n/a	aligned [0.003 m]	Ungrouped
aligned [0.003 m]	n/a	aligned [0.003 m]	Ungrouped
aligned [0.003 m]	n/a	aligned [0.003 m]	Ungrouped
aligned [0.003 m]	n/a	aligned [0.003 m]	Ungrouped
aligned [0.003 m]	n/a	aligned [0.003 m]	Ungrouped
aligned [0.003 m]	n/a	aligned [0.003 m]	Ungrouped
aligned [0.003 m]	n/a	aligned [0.003 m]	Ungrouped
aligned [0.003 m]	n/a	aligned [0.003 m]	Ungrouped
aligned [0.003 m]	n/a	aligned [0.003 m]	Ungrouped
aligned [0.003 m]	n/a	aligned [0.003 m]	Ungrouped
aligned [0.003 m]	n/a	aligned [0.003 m]	Ungrouped
aligned [0.003 m]	n/a	aligned [0.003 m]	Ungrouped
aligned [0.003 m]	n/a	aligned [0.003 m]	Ungrouped

Εικόνα 20: Στατιστικά στοιχεία συνένωσης των στάσεων

Ωστόσο πέρα από τα αποτελέσματα του λογισμικού για τα σφάλματα των ενώσεων, πραγματοποιήθηκε και έλεγχος εντός του συνολικού νέφους για εμφάνιση πιθανών ενδείξεων σφάλματος σε τομές. Σε περίπτωση εύρεσης σφάλματος, ακολουθούσε διόρθωση στις ενώσεις που ευθύνονταν για αυτό, έως ότου οι διαφοροποιήσεις στο νέφος να είναι μικρότερες των 5mm (Εικόνες 21, 22).



Εικόνα 21: Εντοπισμός και διόρθωση σφάλματος που εντοπίστηκε κατά την διάρκεια του ελέγχου



Εικόνα 22: Στιγμιότυπο από τη διαδικασία ελέγχου σε τομές του νέφους στην κατακόρυφη διεύθυνση

Το αποτέλεσμα που προέκυψε από την παραπάνω διαδικασία ήταν πλέον 37 ξεχωριστά νέφη προσανατολισμένα στο ίδιο σύστημα συντεταγμένων, με περισσότερα από 1.000.000.000 σημεία στο σύνολο. Ο όγκος αυτός των σημείων όμως, καθιστά την όποια περαιτέρω διεργασία στο νέφος δύσκολη και χρονοβόρα οπότε αποφασίστηκε να πραγματοποιηθεί ενοποίηση (unify) των νεφών σε ένα τελικό ενιαίο νέφος μειώνοντας την πυκνότητα του στα 3mm. Η διαδικασία αυτή οδήγησε σε ένα πιο ελαφρύ και εύκολα διαχειρίσιμο νέφος που από ενάμισι (1,5) δισεκατομμύρια σημεία κατέληξε στα οχτακόσια (800) εκατομμύρια σημεία (Εικόνα 23).

Το τελικό νέφος σημείων παρουσιάζεται στις παρακάτω εικόνες. Στην σκεπή του κτιρίου παρουσιάζεται έλλειψη γεωμετρικής πληροφορίας καθώς δεν υπήρχε πρόσβαση σε κάποιο ψηλότερο γειτονικό κτίριο για να είναι δυνατή η σάρωση από μεγαλύτερο ύψος (Εικόνα 24). Στο νέφος αποδίδονται και πραγματικές τιμές RGB χάρις στις πανοραμικές φωτογραφίες της ενσωματωμένης κάμερας του σαρωτή.



Εικόνα 23: Κάτοψη του τελικό ενοποιημένου νέφους σημείων



Εικόνα 24: Απόσπασμα τελικού νέφους - απώλεια πληροφορίας στην περιοχή της στέγης του σχολικού κτιρίου



Εικόνα 25: Απόσπασμα τελικού νέφους στο εσωτερικό του κτηρίου με πανοραμική φωτογραφία HDR





Εικόνα 26: Απόσπασμα τελικού νέφους εξωτερικής περιφραξης σχολείου



Εικόνα 27: Απόσπασμα τελικού νέφους από την αυλή του σχολείου

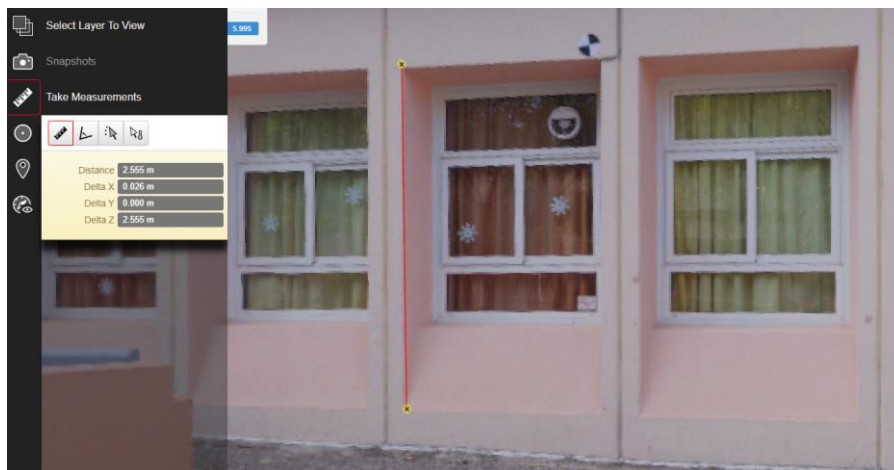
## 5.3 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΕΙΚΟΝΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΜΕ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΑ ΠΑΙΧΝΙΔΙΑ ΣΟΒΑΡΟΥ ΣΚΟΠΟΥ

Μετά την επεξεργασία των δεδομένων σάρωσης και την παραγωγή του τελικού νέφους, η πληροφορία που παρέχεται δίνει την δυνατότητα για παραγωγή πλήθους παραγώγων, όπως είναι τα σχέδια υφιστάμενης κατάστασης (τομές, όψεις, κατόψεις), ορθοεικόνες, τρισδιάστατο μοντέλο επιφανειών, τρισδιάστατο μοντέλο περιήγησης κα. Στο κεφάλαιο αυτό λοιπόν, περιγράφεται η παραγωγή του τρισδιάστατου μοντέλου εικονικής περιήγησης από το νέφος σημείων και η αξιοποίησή του μέσω της δημιουργίας παιχνιδιών σοβαρού σκοπού.

### 5.3.1 ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΚΑΙ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

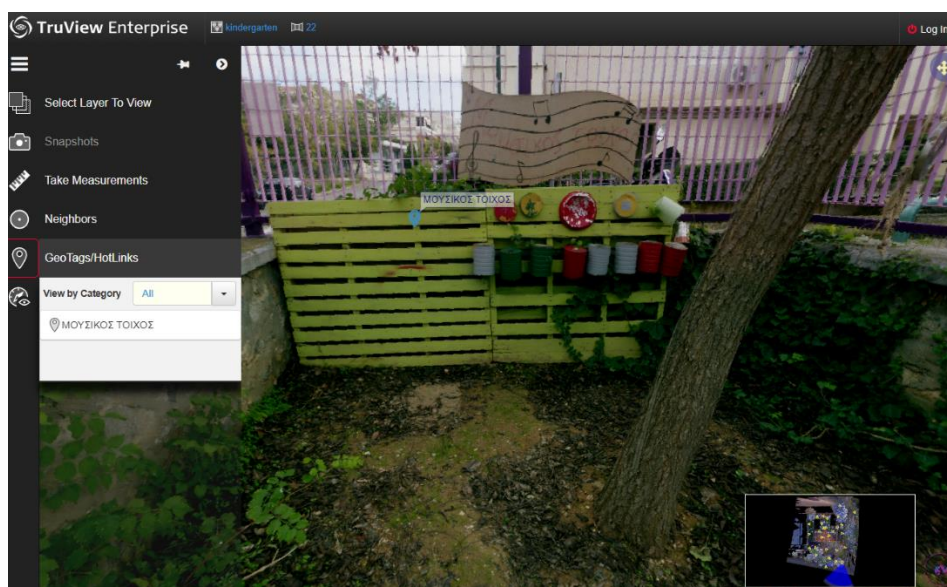
Το λογισμικό Cyclone Core που χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία των σαρώσεων, δίνει και την δυνατότητα εξαγωγής του νέφους σημείων σε κατάλληλο μορφότυπο .lgs ο οποίος φέρει την πληροφορία της εκάστοτε στάσης του σαρωτή. Τα αρχεία LGS είναι αρχεία ψηφιακής πραγματικότητας της Leica Geosystems και χρησιμοποιούν τεχνολογία η οποία επιτρέπει στους χρήστες την πρόσβαση σε όλα τα δεδομένα του έργου τους, συμπεριλαμβανομένων νεφών σημείων, εικόνων, πανοραμικών φωτογραφιών και συμπληρωματικών πληροφοριών (ετικετών, μεταδεδομένων κ.λπ.) χωρίς να απαιτείται μεγάλος χρόνος εισαγωγής και φόρτωσής τους [58].

Με τον τρόπο αυτό δημιουργήθηκε ένα τρισδιάστατο μοντέλο το οποίο φέρει όλη την πληροφορία του νέφους σημείων του σχολικού κτιρίου και του περιβάλλοντα χώρου, καθώς και των πανοραμικών φωτογραφιών ανά στάση του σαρωτή. Το τελικό προϊόν είναι διαθέσιμο μέσω του διαδικτύου στην πλατφόρμα Leica TruView Enterprise που διαθέτει το ερευνητικό εργαστήριο Γεωχωρικής Τεχνολογίας του τμήματος. Εκεί οι χρήστες-μαθητές μπορούν να περιηγηθούν εντός του διαδραστικού περιβάλλοντος και να πραγματοποιούν απλές μετρήσεις στο χώρο του σχολείου (Εικόνα 28).



Εικόνα 28: Δυνατότητα μετρήσεων εντός του διαδραστικού περιβάλλοντος

Η χρήση ετικετών (geotagging) είναι μία ακόμα επιλογή η οποία υπάρχει στο μοντέλο και μπορεί να βοηθήσει την εξερεύνηση και αλληλεπίδραση των μαθητών με το μοντέλο. Η προσθήκη πληροφορίας σε μορφή ετικετών βοηθά τα παιδιά να εξερευνήσουν τόσο ποιοτικές όσο και ποσοτικές πληροφορίες καθώς και χωρικούς συσχετισμούς μεταξύ των αντικειμένων. Μπορεί να προστεθεί πληροφορία σε σύντομες ετικέτες ή κείμενα τα οποία θα περιλαμβάνουν όνομα και περιγραφή χαρακτηριστικών σημείων, σχόλια, υποδείξεις, εικόνες με ήχο κλπ. (Εικόνα 29).



Εικόνα 29: Δυνατότητα εισαγωγής ετικετών

Τα επίπεδα του μοντέλου στα οποία μπορεί να περιηγηθεί ο μαθητής είναι το επίπεδο της απλής χρωματικής πληροφορίας «RGB», το επίπεδο «HDR» στο οποίο μπορεί να αυξομειώσει την φωτεινότητα της εικόνας, το επίπεδο «IR» που έχει προέλθει από την θερμική κάμερα του σαρωτή BLK360, σε επίπεδο «Grayscale», δηλαδή αποχρώσεων του γκρι χρώματος και επίπεδο «Hue Intensity», δηλαδή αναπαράσταση της έντασης ως χρώμα ανάλογα με την ισχύ της ανακλώμενης δέσμης λέιζερ στο εκάστοτε σημείο (Εικόνες 31-36).



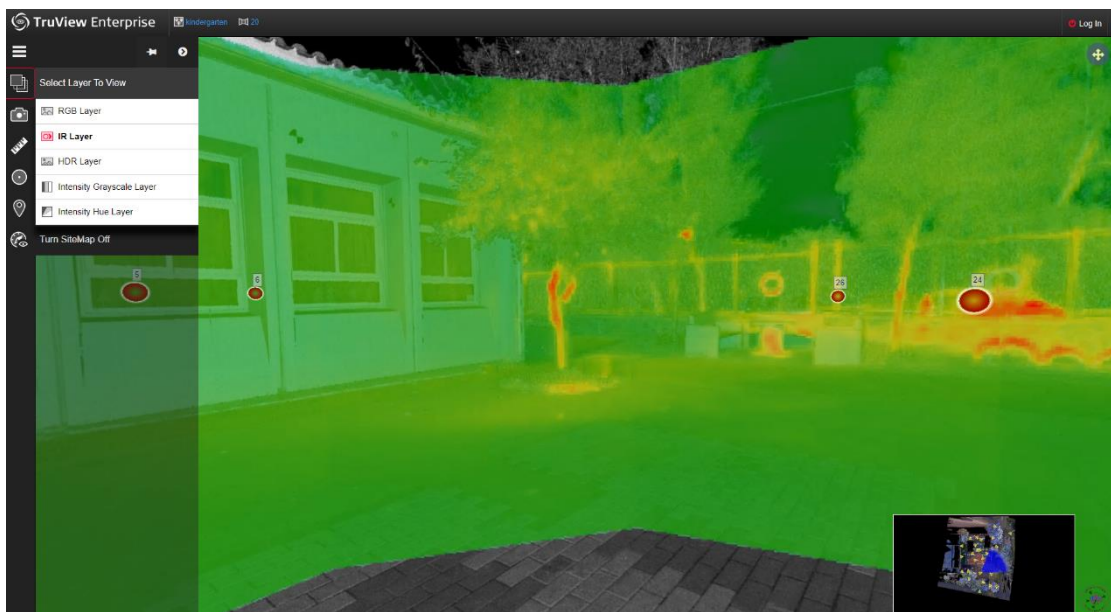
Εικόνα 30: Διαδραστικό περιβάλλον Leica TruView Enterprise



Εικόνα 31: Επίπεδο χρωματικής πληροφορίας RGB διαδραστικού περιβάλλοντος



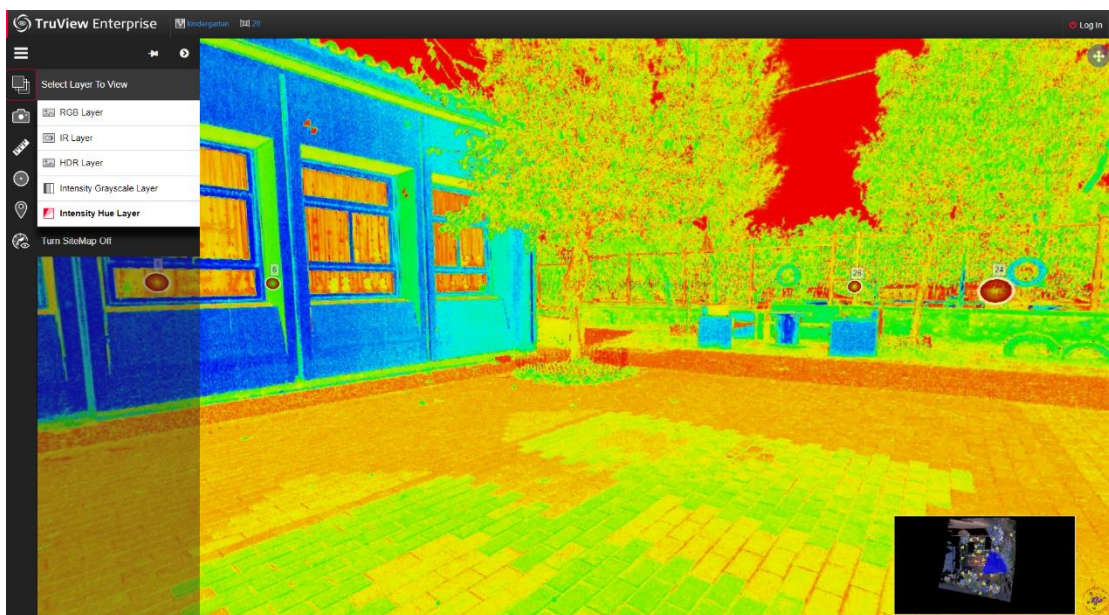
Εικόνα 32: : Επίπεδο HDR διαδραστικού περιβάλλοντος



Εικόνα 33: Επίπεδο IR διαδραστικού περιβάλλοντος



Εικόνα 34: Επίπεδο Grayscale διαδραστικού περιβάλλοντος



Εικόνα 35: Επίπεδο Hue Intensity διαδραστικού περιβάλλοντος

### 5.3.2 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΑΙΧΝΙΔΙΟΥ ΣΟΒΑΡΟΥ ΣΚΟΠΟΥ

Με βάση το μοντέλο εικονικού περιβάλλοντος, αναπτύχθηκε ένα παιχνίδι σοβαρού σκοπού με στόχο την εκπαίδευση των μαθητών της συγκεκριμένης σχολικής μονάδας. Στόχος ήταν ο χρήστης μέσα από το παιχνίδι να αναπτύξει τις χωρικές του δεξιότητες και να μάθει πέρα από το περιεχόμενο του παιχνιδιού και τον τρόπο αντιμετώπισης ενός σύνθετου προγραμματιστικού περιβάλλοντος.

Η διεπαφή (interface) στην συγκεκριμένη εφαρμογή είναι η οθόνη του υπολογιστή σε σχέση με το τοπίο που απεικονίζεται στην οθόνη. Το περιβάλλον διεπαφής είναι ιδιαίτερα φιλικό και εύχρηστο ως προς τον χρήστη βοηθώντας το επίπεδο συγκέντρωσης του χρήστη να παραμένει υψηλό στο αντικείμενο μελέτης. Ο σχεδιασμός της διεπαφής πραγματοποιήθηκε έτσι ώστε να παρέχει μία αναπαράσταση σαφούς και ελκυστικής επικοινωνίας. Πιο συγκεκριμένα το περιβάλλον του παιχνιδιού αποτελείται από μία χωροταξική οργάνωση, στην συγκεκριμένη περίπτωση το σχολικό περιβάλλον του νηπιαγωγείου και από στοχευμένες εργασίες (tasks) που αναφέρονται σε όλο το περιβάλλον. Η χωροταξική οργάνωση προκαλεί την επεξεργασία της χωρικής πληροφορίας και παρέχει ορόσημα για την υποστήριξη του προσανατολισμού του χρήστη και οι εργασίες περιλαμβάνουν κομμάτια γνώσης που μπορούν να ανακαλυφθούν από τον χρήστη. Η θεωρία της μάθησης βάσει εργασιών (Task Based Learning Theory), όπως αναφέρει ο Willis [59], τονίζει τη σημασία συγκεκριμένων, εστιασμένων δραστηριοτήτων για την κατασκευή της γνώσης και την ανάπτυξη δεξιοτήτων.

Η πρόσβαση στην εφαρμογή πραγματοποιείται μέσω διαδικτύου στην ιστοσελίδα <https://geogaming679186429.wordpress.com>, στην οποία μπορεί να αποκτηθεί πρόσβαση και από υπολογιστή και από κινητό ή τάμπλετ (Εικόνα 36). Στο παιχνίδι που δημιουργήθηκε, βασική εργασία ήταν η πλοήγηση εντός του κτιρίου αλλά και στον εξωτερικό περιβάλλοντα χώρο, ανάλογα με το επίπεδο δυσκολίας που θέλει ο εκπαιδευτικός να τεθεί στο παιδί. Τα παιδιά προσχολικής ηλικίας μπορούν να εξερευνήσουν το περιβάλλον εκτελώντας αποστολές που περιλαμβάνουν μία σειρά από μικρές εργασίες, καθεμία από τις οποίες έχει ένα συγκεκριμένο εκπαιδευτικό στόχο. Η πολυπλοκότητα των αποστολών, δεδομένης της δυσκολίας των εργασιών και του περιβάλλοντος προς εξερεύνηση, μπορεί να αυξηθεί σταδιακά σε όλο και πιο περίπλοκους στόχους. Παρακάτω παρουσιάζονται κάποια σενάρια εργασιών.

- Εντοπισμός απλών αντικειμένων: Στο σενάριο αυτό ο δάσκαλος θα ζητά στο μαθητή να εντοπίσει αντικείμενα εντός του εικονικού περιβάλλοντος των οποίων την θέση γνωρίζει στο πραγματικό περιβάλλον. Στην περίπτωση αυτή, μπορεί να ζητηθεί από τον μαθητή να περιγράψει την θέση του αντικειμένου με παραπάνω από έναν τρόπους.
- Προσομοίωση διαδρομών σχολικού προγράμματος: Ξεκινώντας από την είσοδο του σχολείου ο μαθητής θα πρέπει να πραγματοποιήσει στο εικονικό περιβάλλον τις διαδρομές που ακολουθεί καθημερινά για να καλύψει τις ανάγκες του εντός του σχολικού κτιρίου, όπως η διαδρομή από και προς την τάξη του, την τραπεζαρία κλπ. Κατά τη διάρκεια της διαδρομής θα πρέπει να περιγράψει και λεκτικά τα βήματα που ακολουθεί εξηγώντας τις κινήσεις του στον χώρο του σχολείου.
- Σχεδιασμός χάρτη της περιοχής του σχολείου: Οι μαθητές αφού περιηγηθούν στο μοντέλο του σχολείου θα σχεδιάσουν έναν χάρτη σε χαρτί με την βοήθεια του δασκάλου. Στη συνέχεια περπατώντας στο χώρο του σχολείου θα αποφασίσουν ποια στοιχεία-ορόσημα που συναντούν θα πρέπει να προστεθούν στο χάρτη τους. Στο τέλος θα εμπλουτίσουν τον χάρτη ζωγραφίζοντας τα στοιχεία που αποφασίστηκαν.

- Σύγκριση αποστάσεων: Στην περίπτωση αυτή ο δάσκαλος θα θέτει ερωτήματα στα οποία ο μαθητής θα πρέπει να συγκρίνει αποστάσεις μεταξύ αντικειμένων. Για παράδειγμα να απαντήσει σε ερωτήματα όπως «Ποια αίθουσα είναι πιο κοντά στην πόρτα του σχολείου;», «Ποιο παιχνίδι της αυλής είναι πιο κοντά στις βρύσες;», «Ποιο παιχνίδι της αυλής βρίσκεται δεξιά/αριστερά από τα παγκάκια;»
- Κυκλοφοριακή αγωγή: Πραγματοποιώντας περιήγηση με τη βοήθεια του δασκάλου στους δρόμους γύρω από το σχολείο μέσα στο τρισδιάστατο περιβάλλον, οι μαθητές θα πρέπει να εντοπίσουν που βρίσκεται η διάβαση του σχολείου, το φανάρι και οι ταμπέλες με τα σήματα και να εξηγήσουν σε κάθε σενάριο τί πρέπει να κάνουν και πως πρέπει να κυκλοφορήσουν για να φτάσουν μέχρι την πόρτα του σχολείου με προσοχή και ασφάλεια.
- Παιχνίδι κρυμμένου θησαυρού: Στο σενάριο αυτό ο δάσκαλος έχει οργανώσει μία διαδρομή που θα πρέπει να ανακαλυφθεί από τα παιδιά χρησιμοποιώντας διάφορα «στοιχεία» πλοήγησης εντός του τρισδιάστατου μοντέλου. Στο τέλος τα παιδιά θα πρέπει να επαναλάβουν την ίδια διαδρομή στον πραγματικό κόσμο, ανακαλύπτοντας τη θέση του «θησαυρού».

Οι παραπάνω εργασίες αποτελούν πρότυπα διαφορετικού τύπου και μπορούν να υποστηρίξουν διαφορετικές μαθησιακές δραστηριότητες ανάλογα με τη στρατηγική του δασκάλου. Οι εκπαιδευτικοί μπορούν μέσω των εργαλειοθηκών που διατίθενται να αναπτύξουν και να προσαρμόσουν το περιεχόμενό τους ανάλογα με τους μαθησιακούς στόχους που θέλουν να επιτύχουν. Βασικοί στόχοι των εργασιών είναι τα παιδιά :

- να προσδιορίσουν και να περιγράψουν μέρη, εγκαταστάσεις και διαδρομές στην περιοχή ως διαφορετικά συστήματα αναφοράς χρησιμοποιώντας απλές χωρικές έννοιες (ευθεία, δεξιά, αριστερά, μπροστά, πίσω),
- να αναγνωρίζουν απλές καταστάσεις όταν τις βλέπουν από διαφορετική γωνία / οπτική γωνία,
- να εξερευνήσουν, να πειραματιστούν και να ανακαλύψουν γνώσεις χρησιμοποιώντας ψηφιακές εφαρμογές,
- να εξερευνήσουν και να εξοικειωθούν με ένα ψηφιακό περιβάλλον 3D,
- να διασκεδάσουν.

Στο τέλος του παιχνιδιού τα παιδιά μπορούν με τη βοήθεια του δασκάλου τους, να απαντήσουν σε ένα παιχνίδι ερωτήσεων (quiz) το οποίο βρίσκεται στην ιστοσελίδα, για να αξιολογηθεί η απόδοσή τους και η αποτελεσματικότητα του παιχνιδιού σοβαρού σκοπού στο οποίο συμμετείχαν (Εικόνα 37). Σε περίπτωση που η απόδοσή τους δεν είναι καλή, μπορούν πάντα να περιηγηθούν πάλι μέσα στο μοντέλο για να εντοπίσουν τις σωστές απαντήσεις των ερωτήσεων.





**Περιήγηση στο χώρο του σχολείου**

Περιήγηση στο χώρο του νηπιαγωγείου με ένα κλικ [εδώ](#).

Εικόνα 36: Στιγμιότυπο από την ιστοσελίδα

Ποιο παιχνίδι είναι πιο κοντά στην αυλόπορτα του σχολείου;



1 2 3 4

Εικόνα 37: Απόσπασμα από το παιχνίδι ερωτήσεων

## 6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Είναι σαφές ότι η χωρική σκέψη είναι ένα πολύ ισχυρό εργαλείο καθώς είναι θεμελιώδης δεξιότητα για την επίλυση προβλημάτων σε ποικίλα πλαίσια: σε χώρους ζωής, φυσικούς και πνευματικούς χώρους. Ωστόσο είναι τόσο βαθιά ενσωματωμένη στην καθημερινότητα που είναι δύσκολο να διαχωριστεί και να εκτιμηθεί ο ρόλος της.

Τα παιδιά της προσχολικής ηλικίας μαθαίνουν για τον κόσμο που τους περιβάλλει μέσω εμπειρίας και αλληλεπίδρασης με το περιβάλλον τους. Η κατανόηση του χώρου από τα παιδιά πραγματοποιείται μέσω της συνειδητοποίησής τους για τους ανθρώπους και τα αντικείμενα γύρω τους. Αναπτύσσουν αυτή τη χωρική αίσθηση εξερευνώντας τον κόσμο τους μέσα από το σώμα τους, τις αισθήσεις τους και τις κινήσεις τους. Ο ρόλος του δασκάλου είναι να υποστηρίξει τα παιδιά να επεκτείνουν τις εμπειρίες τους και να τα μετατρέψουν σε γνώση, παρέχοντας ουσιαστικά και αναπτυξιακά κατάλληλα υλικά και ευκαιρίες για εξερεύνηση. Η χρήση μιας ποικιλίας συγκεκριμένου, καθώς και ψηφιακού, εκπαιδευτικού υλικού μαζί με την καθοδήγηση και την υποστήριξη των εκπαιδευτικών θα βοηθήσει τα παιδιά να κατανοήσουν και να αναπτύξουν βασικές πτυχές της χωρικής σκέψης.

Σε αυτό το πλαίσιο, η χρήση ενός ψηφιακού περιβάλλοντος 3D, ειδικά εκείνου που απεικονίζει κάτι πολύ οικείο όπου τα παιδιά αλληλεπιδρούν καθημερινά και με πολλούς τρόπους (το σχολείο τους) μπορεί να είναι ένα πολύ χρήσιμο εκπαιδευτικό υλικό που θα υποστηρίξει την περαιτέρω χωρική μάθηση και κατανόηση των παιδιών. Αυτό το εργαλείο δεν προορίζεται να αντικαταστήσει την πραγματική εξερεύνηση και αλληλεπίδραση. Αντίθετα, στοχεύει να επεκτείνει την εμπειρία που έχουν αποκτήσει τα παιδιά μέσω αυτής της εξερεύνησης και αλληλεπίδρασης.

Η παρούσα εργασία παρουσίασε μία εφαρμογή η οποία αναπτύχθηκε με στόχο την ανάπτυξη των χωρικών ικανοτήτων το μαθητών ενός σχολείου προσχολικής ηλικίας, μέσα από την εκπλήρωση μικρών αποστολών και την απάντηση απλών ερωτημάτων. Το τρισδιάστατο εικονικό περιβάλλον δημιουργήθηκε με τη χρήση laser scanner και φιλοξενείται στην ιστοσελίδα <https://geogaming679186429.wordpress.com>. Το παιχνίδι σοβαρού σκοπού αναπτύχθηκε ως επί τον πλείστον σε λειτουργία περιήγησης εσωτερικά και εξωτερικά του σχολικού κτιρίου. Η πολυπλοκότητα των εργασιών μπορεί να αυξηθεί/ προσαρμοστεί ανάλογα με την κρίση του εκπαιδευτικού και των επιθυμητών μαθησιακών στόχων.

Ωστόσο για να θεωρηθούν τα παιχνίδια σοβαρού σκοπού ως ένα αποτελεσματικό εκπαιδευτικό εργαλείο, θα πρέπει να πραγματοποιηθούν περισσότερες δοκιμές με μέσα παρακολούθησης προόδου. Συνεπώς υπάρχει ανάγκη για περαιτέρω δοκιμές και αξιολόγηση.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α'

# LEICA BLK360

## IMAGING LASER SCANNER



### GENERAL

Imaging scanner 3D scanner with integrated spherical imaging system and thermography panorama sensor system

### DESIGN & PHYSICAL

Housing	Black anodized aluminium
Dimensions	Height: 165 mm / Diameter: 100 mm
Weight	1kg
Transport cover	Hood with integrated floorstand
Mounting mechanism	Button-press quick release

### OPERATION

Stand-alone operation	One-button operation
Remote operation	iPad app, Apple iPad Pro® 12.9"/iOS 10 or later
Wireless communication	Integrated wireless LAN (802.11 b/g/n)
Internal memory	Storage for > 100 setups
Instrument orientation	Upright and upside down

### POWER

Battery type	Internal, rechargeable Li-Ion battery (Leica GEB212)
Capacity	Typically >40 setups

### SCANNING

Distance measurement system	High speed time of flight enhanced by Waveform Digitizing (WFD) technology
Laser class	1 (in accordance with IEC 60825-1:2014)
Wavelength	830 nm
Field of view	360° (horizontal) / 300° (vertical)
Range*	min. 0.6 - up to 60 m
Point measurement rate	up to 360'000 pts / sec
Ranging accuracy*	4mm @ 10m / 7mm @ 20m
Measurement modes	3 user selectable resolution settings

### IMAGING

Camera System	15 Mpixel 3-camera system, 150Mpx full dome capture, HDR, LED flash Calibrated spherical image, 360° x 300°
Thermal Camera	FLIR technology based longwave infrared camera Thermal panoramic image, 360° x 70°

### PERFORMANCE

Measurement speed	< 3 min for complete full dome scan, spherical image & thermal image
3D point accuracy*	6mm @ 10m / 8mm @ 20m

### ENVIRONMENTAL

Robustness	Designed for indoor and outdoor use
Operating temperature	+5 to +40° C
Dust/Humidity	Solid particle/liquid ingress protection IP54 (IEC 60529)

### DATA ACQUISITION

	Live image and scanned data streaming
	Live data viewing and editing
	Automatic tilt measurements

All specifications are subject to change without notice.  
All accuracy specifications are one sigma unless otherwise noted.  
Copyright, Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland 2020.

**Leica** BLK  
Geosystems

# LEICA BLK2GO

## HANDHELD IMAGING LASER SCANNER

### DESIGN & PHYSICAL

Housing	Black anodized aluminium
Dimensions	Height: 279 mm / Diameter: 80 mm
Weight	650 g (775 g including battery)
Transport cover	BLK2GO transportation case

### OPERATION

Stand-alone operation	One-button operation
Mobile device	BLK2GO Live app for iOS and Android including: live 2D and 3D while scanning, device status and data management.
	iOS 12.1 or higher recommended devices: iPhone series 8, X, 11, 12 Android 9 or higher. Recommended devices: Samsung Galaxy series S10, S20, S21
Communication	Wireless (app connection)
Internal memory	24 hours of scanning (compressed data) / 6 hours (uncompressed data)
Battery	Exchangeable, rechargeable Li-Ion battery (Leica GEB821) 45-50 minutes

### LIDAR & IMAGING

Laser class	1 (in accordance with IEC 60825-1)
Wavelength	830 nm
Field of view	360° (horizontal) / 270° (vertical)
Range	Min. 0.5 - up to 25 m
Point measurement rate	420,000 pta/sec
High resolution camera	12 Mpixel, 90° x 120°, rolling shutter
Panoramic vision system	3-camera system, 4.8 Mpixel 300° x 135°, global shutter

### SYSTEM PERFORMANCE (GRANDSLAM BASED)

Range noise **	+/-3 mm
Accuracy indoor ***	+/-10 mm

### ENVIRONMENTAL

Robustness	Designed for indoor and outdoor use
Operating temperature	0 to +40 °C
Dust & humidity protection	IP54 (IEC 60529)

### DATA PROCESSING

Data transfer	Wireless and USB 3.0
Desktop software	Leica Cyclone REGISTER 360 and Cyclone REGISTER 360 (BLK Edition)

All specifications are subject to change without notice.  
All accuracy specifications are one sigma unless otherwise noted.  
\*at 70% albedo

\*\*environment dependent  
\*\*\*controlled environment (scan duration 2 minutes)  
Copyright Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland 2019.

Apple and iPhone are trademarks of Apple Inc., registered in the U.S. and other countries.  
iOS is a trademark or registered trademark of Cisco in the U.S. and other countries and is used under license.

**Leica** BLK  
Geosystems

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β'

Status: VALID Registration

Mean Absolute Error:

for Enabled Constraints = 0.002 m

for Disabled Constraints = 0.000 m

Date: 2022.09.06 11:09:48

Database name: KINDERGARTEN IMP

ScanWorlds

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
36  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35

Constraints

Constraint ID	ScanWorld	ScanWorld	Type
Status Weight Overlap Points	Error	Error Vector	
Horz Vert			
FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 1]]	15	18	Cloud:
Cloud/Mesh - Cloud/Mesh On	1.0000	11248	0.004 m
aligned [ 0.003 m]			
FINAL [phase 1 [T8]]	18	19	
Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000 n/a	
0.004 m ( 0.002 ,		0.003, 0.001) m	0.004 m
0.001 m			
FINAL [phase 1 [T3]]	18	19	
Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000 n/a	
0.003 m ( 0.000 ,		-0.003, -0.001) m	0.003 m -
0.001 m			
FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 2]]	18	19	Cloud:
Cloud/Mesh - Cloud/Mesh On	1.0000	33525	0.002 m
aligned [ 0.003 m]			
FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 3]]	18	22	Cloud:
Cloud/Mesh - Cloud/Mesh On	1.0000	18723	0.004 m
aligned [ 0.003 m]			
FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 4]]	9	11	Cloud:
Cloud/Mesh - Cloud/Mesh On	1.0000	2901	0.001 m
aligned [ 0.003 m]			
FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 5]]	2	3	Cloud:
Cloud/Mesh - Cloud/Mesh On	1.0000	27414	0.000 m
aligned [ 0.002 m]			
FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 6]]	7	8	Cloud:
Cloud/Mesh - Cloud/Mesh On	1.0000	19594	0.000 m
aligned [ 0.002 m]			
FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 7]]	4	11	Cloud:
Cloud/Mesh - Cloud/Mesh On	1.0000	4365	0.000 m
aligned [ 0.003 m]			
FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 8]]	5	6	Cloud:
Cloud/Mesh - Cloud/Mesh On	1.0000	11817	0.000 m
aligned [ 0.002 m]			
FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 9]]	3	4	Cloud:
Cloud/Mesh - Cloud/Mesh On	1.0000	6835	0.000 m
aligned [ 0.002 m]			
FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 10]]	2	4	Cloud:
Cloud/Mesh - Cloud/Mesh On	1.0000	6274	0.000 m
aligned [ 0.002 m]			
FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 11]]	13	14	Cloud:
Cloud/Mesh - Cloud/Mesh On	1.0000	5588	0.001 m
aligned [ 0.003 m]			
FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 12]]	12	13	Cloud:
Cloud/Mesh - Cloud/Mesh On	1.0000	16849	0.001 m
aligned [ 0.003 m]			
FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 13]]	15	16	Cloud:
Cloud/Mesh - Cloud/Mesh On	1.0000	13116	0.003 m
aligned [ 0.003 m]			
FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 14]]	9	10	Cloud:
Cloud/Mesh - Cloud/Mesh On	1.0000	5062	0.000 m
aligned [ 0.002 m]			

FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 15]]	20	22	Cloud:
Cloud/Mesh - Cloud/Mesh On	1.0000	8047	0.003 m
aligned [ 0.003 m]			
FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 16]]	21	22	Cloud:
Cloud/Mesh - Cloud/Mesh On	1.0000	10774	0.005 m
aligned [ 0.003 m]			
FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 17]]	1	12	Cloud:
Cloud/Mesh - Cloud/Mesh On	1.0000	8242	0.000 m
aligned [ 0.003 m]			
FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 18]]	1	13	Cloud:
Cloud/Mesh - Cloud/Mesh On	1.0000	17350	0.000 m
aligned [ 0.003 m]			
FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 19]]	22	24	Cloud:
Cloud/Mesh - Cloud/Mesh On	1.0000	7731	0.006 m
aligned [ 0.003 m]			
FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 20]]	20	21	Cloud:
Cloud/Mesh - Cloud/Mesh On	1.0000	15550	0.002 m
aligned [ 0.003 m]			
FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 21]]	1	14	Cloud:
Cloud/Mesh - Cloud/Mesh On	1.0000	7142	0.000 m
aligned [ 0.003 m]			
FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 22]]	1	2	Cloud:
Cloud/Mesh - Cloud/Mesh On	1.0000	8909	0.000 m
aligned [ 0.002 m]			
FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 23]]	3	7	Cloud:
Cloud/Mesh - Cloud/Mesh On	1.0000	3004	0.001 m
aligned [ 0.002 m]			
FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 24]]	21	23	Cloud:
Cloud/Mesh - Cloud/Mesh On	1.0000	9536	0.002 m
aligned [ 0.003 m]			
FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 25]]	3	8	Cloud:
Cloud/Mesh - Cloud/Mesh On	1.0000	3829	0.000 m
aligned [ 0.003 m]			
FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 26]]	25	26	Cloud:
Cloud/Mesh - Cloud/Mesh On	1.0000	20267	0.004 m
aligned [ 0.003 m]			
FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 27]]	4	9	Cloud:
Cloud/Mesh - Cloud/Mesh On	1.0000	3129	0.001 m
aligned [ 0.002 m]			
FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 28]]	10	11	Cloud:
Cloud/Mesh - Cloud/Mesh On	1.0000	1079	0.001 m
aligned [ 0.002 m]			
FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 30]]	17	16	Cloud:
Cloud/Mesh - Cloud/Mesh On	1.0000	9752	0.003 m
aligned [ 0.003 m]			
FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 31]]	2	5	Cloud:
Cloud/Mesh - Cloud/Mesh On	1.0000	3597	0.000 m
aligned [ 0.003 m]			
FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 33]]	19	21	Cloud:
Cloud/Mesh - Cloud/Mesh On	1.0000	18044	0.003 m
aligned [ 0.003 m]			
FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 34]]	19	23	Cloud:
Cloud/Mesh - Cloud/Mesh On	1.0000	7887	0.001 m
aligned [ 0.003 m]			

FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 35]]	25	36	Cloud:
Cloud/Mesh - Cloud/Mesh On aligned [ 0.003 m]	1.0000	2527	0.003 m
FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 36]]	26	36	Cloud:
Cloud/Mesh - Cloud/Mesh On aligned [ 0.003 m]	1.0000	2438	0.003 m
FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 37]]	36	24	Cloud:
Cloud/Mesh - Cloud/Mesh On aligned [ 0.003 m]	1.0000	1694	0.004 m
FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 38]]	15	17	Cloud:
Cloud/Mesh - Cloud/Mesh On aligned [ 0.003 m]	1.0000	15237	0.003 m
FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 39]]	21	36	Cloud:
Cloud/Mesh - Cloud/Mesh On aligned [ 0.003 m]	1.0000	1336	0.006 m
FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 40]]	20	36	Cloud:
Cloud/Mesh - Cloud/Mesh On aligned [ 0.003 m]	1.0000	1401	0.001 m
FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 42]]	26	27	Cloud:
Cloud/Mesh - Cloud/Mesh On aligned [ 0.003 m]	1.0000	14139	0.005 m
FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 43]]	27	36	Cloud:
Cloud/Mesh - Cloud/Mesh On aligned [ 0.003 m]	1.0000	2942	0.004 m
FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 44]]	28	27	Cloud:
Cloud/Mesh - Cloud/Mesh On aligned [ 0.003 m]	1.0000	15074	0.001 m
FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 45]]	36	28	Cloud:
Cloud/Mesh - Cloud/Mesh On aligned [ 0.003 m]	1.0000	422	0.002 m
FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 46]]	22	14	Cloud:
Cloud/Mesh - Cloud/Mesh On aligned [ 0.003 m]	1.0000	7865	0.000 m
FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 48]]	36	22	Cloud:
Cloud/Mesh - Cloud/Mesh On aligned [ 0.003 m]	1.0000	1585	0.005 m
FINAL [phase 1 [T6]]	15	19	
Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a
0.003 m (-0.001 , 0.001 m		-0.003, -0.001)	m 0.003 m -
FINAL [phase 1 [T5]]	15	18	
Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a
0.003 m (-0.001 , 0.001 m		-0.003, 0.001)	m 0.003 m
FINAL [phase 1 [T5]]	15	19	
Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a
0.002 m ( 0.002 , 0.001 m		0.000, 0.001)	m 0.002 m
FINAL [phase 1 [T3]]	15	16	
Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a
0.001 m (-0.001 , 0.000 m		-0.001, 0.000)	m 0.001 m
FINAL [phase 1 [T3]]	15	18	
Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a



0.002 m	(-0.001 ,	0.002, 0.000) m	0.002 m
0.000 m			
FINAL [phase 1 [T3]]		15 19	
Coincident: Vertex - Vertex		On 1.0000 n/a	
0.002 m	(-0.001 ,	-0.001, -0.001) m	0.002 m -
0.001 m			
FINAL [phase 1 [T1]]		15 18	
Coincident: Vertex - Vertex		On 1.0000 n/a	
0.007 m	( 0.002 ,	0.007, 0.000) m	0.007 m
0.000 m			
FINAL [phase 1 [T3]]		16 18	
Coincident: Vertex - Vertex		On 1.0000 n/a	
0.002 m	( 0.000 ,	0.002, 0.000) m	0.002 m
0.000 m			
FINAL [phase 1 [T3]]		16 19	
Coincident: Vertex - Vertex		On 1.0000 n/a	
0.001 m	( 0.000 ,	-0.001, -0.001) m	0.001 m -
0.001 m			
FINAL [phase 1 [T2]]		18 22	
Coincident: Vertex - Vertex		On 1.0000 n/a	
0.008 m	(-0.006 ,	-0.006, 0.000) m	0.008 m
0.000 m			
FINAL [phase 1 [T5]]		18 19	
Coincident: Vertex - Vertex		On 1.0000 n/a	
0.004 m	( 0.003 ,	0.003, 0.000) m	0.004 m
0.000 m			
FINAL [phase 1 [T6]]		15 18	
Coincident: Vertex - Vertex		On 1.0000 n/a	
0.005 m	( 0.001 ,	-0.005, -0.001) m	0.005 m -
0.001 m			
FINAL [phase 1 [T7]]		18 22	
Coincident: Vertex - Vertex		On 1.0000 n/a	
0.007 m	( 0.005 ,	0.005, 0.000) m	0.007 m
0.000 m			
FINAL [phase 1 [T6]]		18 19	
Coincident: Vertex - Vertex		On 1.0000 n/a	
0.003 m	(-0.002 ,	0.002, 0.001) m	0.003 m
0.001 m			
FINAL [phase 2 [Cloud/Mesh 6]]		34 35	Cloud:
Cloud/Mesh - Cloud/Mesh On		1.0000 357500	0.000 m
aligned [ 0.016 m]			
FINAL [Cloud/Mesh 1]		26 29	Cloud:
Cloud/Mesh - Cloud/Mesh On		1.0000 260733	0.000 m
aligned [ 0.013 m]			
FINAL [Cloud/Mesh 3]		26 30	Cloud:
Cloud/Mesh - Cloud/Mesh On		1.0000 165500	0.000 m
aligned [ 0.015 m]			
FINAL [Cloud/Mesh 4]		23 33	Cloud:
Cloud/Mesh - Cloud/Mesh On		1.0000 680866	0.001 m
aligned [ 0.016 m]			
FINAL [Cloud/Mesh 5]		23 32	Cloud:
Cloud/Mesh - Cloud/Mesh On		1.0000 349666	0.001 m
aligned [ 0.016 m]			

FINAL [Cloud/Mesh 6]	32	33	Cloud:
Cloud/Mesh - Cloud/Mesh On	1.0000	346300	0.001 m
aligned [ 0.016 m]			
Cloud/Mesh 1	36	31	Cloud:
Cloud/Mesh - Cloud/Mesh On	1.0000	176333	0.000 m
aligned [ 0.016 m]			
Cloud/Mesh 2	15	34	Cloud:
Cloud/Mesh - Cloud/Mesh On	1.0000	447633	0.002 m
aligned [ 0.015 m]			
Cloud/Mesh 3	33	34	Cloud:
Cloud/Mesh - Cloud/Mesh On	1.0000	388033	0.001 m
aligned [ 0.016 m]			

FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 1]] [15 : 18]

Objective Function Value: 6.41024e-06 sq m

Iterations: 29

Overlap Point Count: 11248

Overlap Error Statistics

RMS: 0.00268924 m

AVG: 0.00215013 m

MIN: 3.04662e-07 m

MAX: 0.00770591 m

Overlap Center: (6.619, -3.687, 0.316) m

Error after global registration: 7.95432e-06 sq m

Translation: (6.749, -3.984, -0.101) m

Rotation: (0.0002, 0.0004, -1.0000):80.301 deg

FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 2]] [18 : 19]

Objective Function Value: 6.01689e-06 sq m

Iterations: 23

Overlap Point Count: 33525

Overlap Error Statistics

RMS: 0.00265137 m

AVG: 0.00213201 m

MIN: 9.47262e-07 m

MAX: 0.00786017 m

Overlap Center: (-1.361, 0.521, 0.459) m

Error after global registration: 3.10243e-06 sq m

Translation: (6.162, -1.436, 0.137) m

Rotation: (-0.0002, -0.0003, 1.0000):-38.672 deg

FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 3]] [18 : 22]

Objective Function Value: 5.83349e-06 sq m

Iterations: 26

Overlap Point Count: 18723

Overlap Error Statistics

RMS: 0.00259121 m

AVG: 0.00206771 m

MIN: 2.88068e-07 m

MAX: 0.00796866 m

Overlap Center: (0.099, 0.984, 0.305) m

Error after global registration: 6.83041e-06 sq m

Translation: (4.197, 6.069, -0.071) m

Rotation: (-0.0001, -0.0004, 1.0000):120.841 deg

FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 4]] [9 : 11]

Objective Function Value: 6.08039e-06 sq m

Iterations: 10

Overlap Point Count: 2901

```

Overlap Error Statistics
  RMS: 0.0025647 m
  AVG: 0.00204152 m
  MIN: 1.6106e-06 m
  MAX: 0.00784364 m
Overlap Center: (-1.902, -0.251, 0.481) m
Error after global registration: 2.31816e-07 sq m
Translation: (-3.388, -0.343, -0.008) m
Rotation: (-0.0003, 0.0008, -1.0000):114.622 deg
FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 5]] [2 : 3]
Objective Function Value: 4.46652e-06 sq m
Iterations: 15
Overlap Point Count: 27414
Overlap Error Statistics
  RMS: 0.00227808 m
  AVG: 0.00180191 m
  MIN: 3.98629e-08 m
  MAX: 0.00792418 m
Overlap Center: (2.145, 2.297, 0.643) m
Error after global registration: 1.97927e-08 sq m
Translation: (-1.463, 0.766, 0.000) m
Rotation: (0.0000, 0.0004, -1.0000):38.080 deg
FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 6]] [7 : 8]
Objective Function Value: 4.98008e-06 sq m
Iterations: 24
Overlap Point Count: 19594
Overlap Error Statistics
  RMS: 0.00239786 m
  AVG: 0.00191327 m
  MIN: 6.41211e-08 m
  MAX: 0.00787236 m
Overlap Center: (2.103, 1.174, 0.938) m
Error after global registration: 8.05465e-08 sq m
Translation: (3.289, 3.184, 0.003) m
Rotation: (0.0000, -0.0005, 1.0000):43.844 deg
FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 7]] [4 : 11]
Objective Function Value: 6.39821e-06 sq m
Iterations: 16
Overlap Point Count: 4365
Overlap Error Statistics
  RMS: 0.00262613 m
  AVG: 0.00209753 m
  MIN: 8.08346e-07 m
  MAX: 0.00777228 m
Overlap Center: (-1.317, -0.860, 0.496) m
Error after global registration: 1.1143e-07 sq m
Translation: (-3.063, -4.522, -0.010) m
Rotation: (0.0002, -0.0058, 1.0000):3.379 deg
FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 8]] [5 : 6]
Objective Function Value: 5.51763e-06 sq m
Iterations: 25
Overlap Point Count: 11817
Overlap Error Statistics
  RMS: 0.00248714 m
  AVG: 0.00199344 m

```

MIN: 8.57412e-08 m  
 MAX: 0.00773799 m  
 Overlap Center: (-0.203, -0.622, 0.812) m  
 Error after global registration: 5.64397e-23 sq m  
 Translation: (-0.365, -4.111, -0.008) m  
 Rotation: (-0.0002, -0.0001, 1.0000):152.494 deg  
 FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 9]] [3 : 4]  
 Objective Function Value: 5.54829e-06 sq m  
 Iterations: 12  
 Overlap Point Count: 6835  
 Overlap Error Statistics  
   RMS: 0.00246558 m  
   AVG: 0.00194624 m  
   MIN: 5.25788e-08 m  
   MAX: 0.00779833 m  
 Overlap Center: (1.131, 3.736, 0.572) m  
 Error after global registration: 1.44325e-08 sq m  
 Translation: (-1.245, 3.633, -0.014) m  
 Rotation: (-0.0002, -0.0004, 1.0000):-160.736 deg  
 FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 10]] [2 : 4]  
 Objective Function Value: 5.57376e-06 sq m  
 Iterations: 12  
 Overlap Point Count: 6274  
 Overlap Error Statistics  
   RMS: 0.00248683 m  
   AVG: 0.00199294 m  
   MIN: 1.57379e-07 m  
   MAX: 0.00770256 m  
 Overlap Center: (1.701, 1.879, 0.578) m  
 Error after global registration: 1.66777e-08 sq m  
 Translation: (-0.203, 4.393, -0.014) m  
 Rotation: (-0.0002, -0.0004, 1.0000):161.190 deg  
 FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 11]] [13 : 14]  
 Objective Function Value: 6.68658e-06 sq m  
 Iterations: 23  
 Overlap Point Count: 5588  
 Overlap Error Statistics  
   RMS: 0.00273123 m  
   AVG: 0.00221083 m  
   MIN: 1.20097e-06 m  
   MAX: 0.00789326 m  
 Overlap Center: (3.100, -0.690, 0.192) m  
 Error after global registration: 2.32579e-07 sq m  
 Translation: (5.889, 2.039, 0.149) m  
 Rotation: (0.0001, 0.0007, 1.0000):27.732 deg  
 FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 12]] [12 : 13]  
 Objective Function Value: 5.42657e-06 sq m  
 Iterations: 26  
 Overlap Point Count: 16849  
 Overlap Error Statistics  
   RMS: 0.00252344 m  
   AVG: 0.00200175 m  
   MIN: 1.53215e-08 m  
   MAX: 0.00783928 m  
 Overlap Center: (-1.740, 3.270, 0.478) m

Error after global registration: 1.8726e-07 sq m  
 Translation: (-4.300, 4.337, 0.060) m  
 Rotation: (-0.0001, -0.0004, 1.0000):98.131 deg  
 FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 13]] [15 : 16]  
 Objective Function Value: 6.66771e-06 sq m  
 Iterations: 24  
 Overlap Point Count: 13116  
 Overlap Error Statistics  
   RMS: 0.00276569 m  
   AVG: 0.00224101 m  
   MIN: 4.96799e-08 m  
   MAX: 0.00786119 m  
 Overlap Center: (4.948, 1.054, 1.379) m  
 Error after global registration: 6.1179e-06 sq m  
 Translation: (-4.143, 1.058, 0.045) m  
 Rotation: (-0.0004, -0.0004, 1.0000):-138.450 deg  
 FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 14]] [9 : 10]  
 Objective Function Value: 4.55965e-06 sq m  
 Iterations: 17  
 Overlap Point Count: 5062  
 Overlap Error Statistics  
   RMS: 0.002284 m  
   AVG: 0.00179732 m  
   MIN: 7.40134e-08 m  
   MAX: 0.00760265 m  
 Overlap Center: (-0.856, -0.508, 0.243) m  
 Error after global registration: 1.21193e-07 sq m  
 Translation: (-5.981, -3.742, 0.006) m  
 Rotation: (0.0000, 0.0002, 1.0000):50.213 deg  
 FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 15]] [20 : 22]  
 Objective Function Value: 5.79726e-06 sq m  
 Iterations: 19  
 Overlap Point Count: 8047  
 Overlap Error Statistics  
   RMS: 0.00252205 m  
   AVG: 0.00199896 m  
   MIN: 7.27739e-09 m  
   MAX: 0.00769869 m  
 Overlap Center: (7.551, -10.788, 0.124) m  
 Error after global registration: 3.32419e-06 sq m  
 Translation: (3.925, -8.167, -0.175) m  
 Rotation: (0.0003, 0.0005, -1.0000):117.480 deg  
 FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 16]] [21 : 22]  
 Objective Function Value: 6.21827e-06 sq m  
 Iterations: 20  
 Overlap Point Count: 10774  
 Overlap Error Statistics  
   RMS: 0.00266233 m  
   AVG: 0.00213904 m  
   MIN: 4.85703e-07 m  
   MAX: 0.00788458 m  
 Overlap Center: (-10.410, 4.272, -0.659) m  
 Error after global registration: 1.3457e-05 sq m  
 Translation: (-6.960, 3.174, -0.261) m  
 Rotation: (0.0001, -0.0003, 1.0000):130.859 deg

```

FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 17]] [1 : 12]
  Objective Function Value: 5.99607e-06 sq m
  Iterations: 18
  Overlap Point Count: 8242
  Overlap Error Statistics
    RMS: 0.00266869 m
    AVG: 0.00212791 m
    MIN: 7.55519e-07 m
    MAX: 0.00782864 m
  Overlap Center: (-0.233, 1.743, -0.128) m
  Error after global registration: 1.08844e-07 sq m
  Translation: (-6.722, 4.019, -0.497) m
  Rotation: (0.0000, -0.0004, 1.0000):-138.991 deg
FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 18]] [1 : 13]
  Objective Function Value: 7.80723e-06 sq m
  Iterations: 14
  Overlap Point Count: 17350
  Overlap Error Statistics
    RMS: 0.00293972 m
    AVG: 0.00238462 m
    MIN: 1.84834e-07 m
    MAX: 0.00789149 m
  Overlap Center: (-2.556, 3.298, 0.582) m
  Error after global registration: 9.48418e-08 sq m
  Translation: (-0.631, 3.569, -0.440) m
  Rotation: (-0.0003, 0.0004, -1.0000):40.859 deg
FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 19]] [22 : 24]
  Objective Function Value: 5.63765e-06 sq m
  Iterations: 28
  Overlap Point Count: 7731
  Overlap Error Statistics
    RMS: 0.00257003 m
    AVG: 0.00202499 m
    MIN: 6.16335e-07 m
    MAX: 0.00769178 m
  Overlap Center: (-2.571, 7.061, 0.272) m
  Error after global registration: 2.07852e-05 sq m
  Translation: (4.568, -3.880, 0.027) m
  Rotation: (-0.0001, -0.0004, 1.0000):-165.176 deg
FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 20]] [20 : 21]
  Objective Function Value: 6.74626e-06 sq m
  Iterations: 40
  Overlap Point Count: 15550
  Overlap Error Statistics
    RMS: 0.00279776 m
    AVG: 0.00225633 m
    MIN: 2.15108e-07 m
    MAX: 0.00790148 m
  Overlap Center: (6.250, 3.807, 3.284) m
  Error after global registration: 1.53693e-06 sq m
  Translation: (4.306, -0.524, 0.093) m
  Rotation: (0.0001, -0.0006, 1.0000):111.677 deg
FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 21]] [1 : 14]
  Objective Function Value: 7.22402e-06 sq m
  Iterations: 13

```

Overlap Point Count: 7142  
Overlap Error Statistics  
RMS: 0.0028708 m  
AVG: 0.00231886 m  
MIN: 5.41401e-07 m  
MAX: 0.0079808 m  
Overlap Center: (7.225, -1.632, -0.029) m  
Error after global registration: 1.06374e-07 sq m  
Translation: (5.157, 1.260, -0.292) m  
Rotation: (-0.0010, 0.0029, -1.0000):13.118 deg  
FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 22]] [1 : 2]  
Objective Function Value: 4.45303e-06 sq m  
Iterations: 16  
Overlap Point Count: 8909  
Overlap Error Statistics  
RMS: 0.00227332 m  
AVG: 0.00177462 m  
MIN: 1.36637e-07 m  
MAX: 0.0077142 m  
Overlap Center: (-3.573, -6.586, 0.403) m  
Error after global registration: 1.02363e-17 sq m  
Translation: (-3.118, -7.245, 0.027) m  
Rotation: (-0.0001, -0.0007, 1.0000):106.049 deg  
FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 23]] [3 : 7]  
Objective Function Value: 5.13907e-06 sq m  
Iterations: 6  
Overlap Point Count: 3004  
Overlap Error Statistics  
RMS: 0.00242502 m  
AVG: 0.00189225 m  
MIN: 1.85381e-06 m  
MAX: 0.00762714 m  
Overlap Center: (-1.830, -4.970, 0.781) m  
Error after global registration: 1.28033e-07 sq m  
Translation: (-3.314, -1.750, -0.013) m  
Rotation: (0.0001, 0.0004, -1.0000):116.548 deg  
FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 24]] [21 : 23]  
Objective Function Value: 7.16792e-06 sq m  
Iterations: 18  
Overlap Point Count: 9536  
Overlap Error Statistics  
RMS: 0.00286214 m  
AVG: 0.00231394 m  
MIN: 5.58185e-08 m  
MAX: 0.00779324 m  
Overlap Center: (5.140, -4.881, 3.612) m  
Error after global registration: 1.43212e-06 sq m  
Translation: (1.475, -7.932, 0.062) m  
Rotation: (0.0000, -0.0004, 1.0000):84.227 deg  
FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 25]] [3 : 8]  
Objective Function Value: 5.86527e-06 sq m  
Iterations: 22  
Overlap Point Count: 3829  
Overlap Error Statistics  
RMS: 0.00251854 m

AVG: 0.0019996 m  
 MIN: 9.75326e-07 m  
 MAX: 0.00751338 m  
 Overlap Center: (-1.496, -3.485, 0.980) m  
 Error after global registration: 8.19605e-08 sq m  
 Translation: (-1.936, -6.116, -0.012) m  
 Rotation: (0.0003, 0.0004, -1.0000):72.691 deg  
 FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 26]] [25 : 26]  
 Objective Function Value: 6.60314e-06 sq m  
 Iterations: 27  
 Overlap Point Count: 20267  
 Overlap Error Statistics  
   RMS: 0.0027289 m  
   AVG: 0.00219061 m  
   MIN: 1.61968e-07 m  
   MAX: 0.00790976 m  
 Overlap Center: (3.259, -12.390, 0.308) m  
 Error after global registration: 1.00957e-05 sq m  
 Translation: (4.799, -10.200, 0.187) m  
 Rotation: (-0.0007, -0.0005, 1.0000):38.594 deg  
 FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 27]] [4 : 9]  
 Objective Function Value: 4.19528e-06 sq m  
 Iterations: 17  
 Overlap Point Count: 3129  
 Overlap Error Statistics  
   RMS: 0.00215631 m  
   AVG: 0.00167713 m  
   MIN: 6.45263e-07 m  
   MAX: 0.0074021 m  
 Overlap Center: (-3.063, -4.193, 0.122) m  
 Error after global registration: 1.56543e-07 sq m  
 Translation: (-4.956, -1.692, 0.001) m  
 Rotation: (0.0002, -0.0006, 1.0000):118.035 deg  
 FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 28]] [10 : 11]  
 Objective Function Value: 4.80623e-06 sq m  
 Iterations: 12  
 Overlap Point Count: 1079  
 Overlap Error Statistics  
   RMS: 0.0023373 m  
   AVG: 0.00179387 m  
   MIN: 2.76787e-06 m  
   MAX: 0.00740583 m  
 Overlap Center: (5.865, -1.930, 0.114) m  
 Error after global registration: 1.2538e-07 sq m  
 Translation: (4.272, 0.184, -0.014) m  
 Rotation: (-0.0003, -0.0006, 1.0000):-164.870 deg  
 FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 30]] [17 : 16]  
 Objective Function Value: 6.68982e-06 sq m  
 Iterations: 14  
 Overlap Point Count: 9752  
 Overlap Error Statistics  
   RMS: 0.00277914 m  
   AVG: 0.00223743 m  
   MIN: 4.54227e-07 m  
   MAX: 0.00794689 m



Overlap Center: (1.486, 1.126, 1.569) m  
 Error after global registration: 4.92528e-06 sq m  
 Translation: (8.718, -4.271, 0.058) m  
 Rotation: (0.0002, -0.0002, -1.0000):56.277 deg  
 FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 31]] [2 : 5]  
 Objective Function Value: 6.4292e-06 sq m  
 Iterations: 20  
 Overlap Point Count: 3597  
 Overlap Error Statistics  
   RMS: 0.00267235 m  
   AVG: 0.00217414 m  
   MIN: 1.66667e-07 m  
   MAX: 0.00774254 m  
 Overlap Center: (-0.814, -0.473, 0.579) m  
 Error after global registration: 2.00971e-27 sq m  
 Translation: (-2.143, -5.354, -0.012) m  
 Rotation: (0.0000, -0.0004, 1.0000):102.941 deg  
 FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 33]] [19 : 21]  
 Objective Function Value: 7.11735e-06 sq m  
 Iterations: 26  
 Overlap Point Count: 18044  
 Overlap Error Statistics  
   RMS: 0.00278635 m  
   AVG: 0.00225782 m  
   MIN: 1.70328e-07 m  
   MAX: 0.00789538 m  
 Overlap Center: (-1.385, 1.682, 1.012) m  
 Error after global registration: 3.14936e-06 sq m  
 Translation: (1.408, 5.185, 0.053) m  
 Rotation: (-0.0002, -0.0007, 1.0000):28.664 deg  
 FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 34]] [19 : 23]  
 Objective Function Value: 7.65412e-06 sq m  
 Iterations: 20  
 Overlap Point Count: 7887  
 Overlap Error Statistics  
   RMS: 0.00293219 m  
   AVG: 0.00236636 m  
   MIN: 4.46448e-07 m  
   MAX: 0.00780619 m  
 Overlap Center: (0.211, -0.445, 1.236) m  
 Error after global registration: 3.80793e-07 sq m  
 Translation: (6.508, -1.067, 0.118) m  
 Rotation: (-0.0001, -0.0004, 1.0000):112.881 deg  
 FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 35]] [25 : 36]  
 Objective Function Value: 1.02585e-05 sq m  
 Iterations: 35  
 Overlap Point Count: 2527  
 Overlap Error Statistics  
   RMS: 0.0032828 m  
   AVG: 0.00272367 m  
   MIN: 2.4909e-07 m  
   MAX: 0.0079419 m  
 Overlap Center: (6.365, -6.842, 0.559) m  
 Error after global registration: 3.72877e-06 sq m  
 Translation: (19.126, 10.814, 0.076) m

Rotation: (-0.0018, -0.0005, -1.0000):98.668 deg  
 FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 36]] [26 : 36]  
 Objective Function Value: 8.88276e-06 sq m  
 Iterations: 30  
 Overlap Point Count: 2438  
 Overlap Error Statistics  
   RMS: 0.00304931 m  
   AVG: 0.00252085 m  
   MIN: 3.46137e-06 m  
   MAX: 0.00768431 m  
 Overlap Center: (-3.939, -3.603, -0.356) m  
 Error after global registration: 8.36309e-06 sq m  
 Translation: (24.311, 7.475, -0.150) m  
 Rotation: (0.0022, -0.0007, 1.0000):-137.279 deg  
 FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 37]] [36 : 24]  
 Objective Function Value: 1.05386e-05 sq m  
 Iterations: 22  
 Overlap Point Count: 1694  
 Overlap Error Statistics  
   RMS: 0.003301 m  
   AVG: 0.002771 m  
   MIN: 3.0031e-06 m  
   MAX: 0.00760602 m  
 Overlap Center: (-3.837, 2.763, 0.268) m  
 Error after global registration: 7.69056e-06 sq m  
 Translation: (-3.836, 1.579, 0.431) m  
 Rotation: (-0.0006, -0.0008, 1.0000):133.613 deg  
 FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 38]] [15 : 17]  
 Objective Function Value: 6.00024e-06 sq m  
 Iterations: 21  
 Overlap Point Count: 15237  
 Overlap Error Statistics  
   RMS: 0.0025842 m  
   AVG: 0.0020477 m  
   MIN: 7.67893e-07 m  
   MAX: 0.00787717 m  
 Overlap Center: (-1.031, 5.494, 2.309) m  
 Error after global registration: 5.38042e-06 sq m  
 Translation: (-1.104, 10.277, -0.003) m  
 Rotation: (0.0005, 0.0005, -1.0000):82.132 deg  
 FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 39]] [21 : 36]  
 Objective Function Value: 1.0022e-05 sq m  
 Iterations: 35  
 Overlap Point Count: 1336  
 Overlap Error Statistics  
   RMS: 0.00324744 m  
   AVG: 0.00270569 m  
   MIN: 5.40177e-07 m  
   MAX: 0.00780131 m  
 Overlap Center: (4.425, -2.890, 2.419) m  
 Error after global registration: 2.10431e-05 sq m  
 Translation: (-11.095, 9.891, -0.692) m  
 Rotation: (-0.0012, 0.0005, 1.0000):-167.904 deg  
 FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 40]] [20 : 36]  
 Objective Function Value: 1.03337e-05 sq m

Iterations: 18  
 Overlap Point Count: 1401  
 Overlap Error Statistics  
   RMS: 0.00330257 m  
   AVG: 0.00273448 m  
   MIN: 6.98785e-06 m  
   MAX: 0.00754002 m  
 Overlap Center: (5.928, -2.552, 1.298) m  
 Error after global registration: 1.04296e-06 sq m  
 Translation: (-0.802, -14.486, -0.605) m  
 Rotation: (0.0027, 0.0016, -1.0000):56.258 deg  
 FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 42]] [26 : 27]  
 Objective Function Value: 5.97618e-06 sq m  
 Iterations: 30  
 Overlap Point Count: 14139  
 Overlap Error Statistics  
   RMS: 0.00259051 m  
   AVG: 0.00208881 m  
   MIN: 2.25923e-08 m  
   MAX: 0.00779822 m  
 Overlap Center: (-3.954, -6.418, -0.454) m  
 Error after global registration: 1.12704e-05 sq m  
 Translation: (2.136, -12.015, 0.109) m  
 Rotation: (0.0003, -0.0004, 1.0000):111.741 deg  
 FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 43]] [27 : 36]  
 Objective Function Value: 9.53972e-06 sq m  
 Iterations: 18  
 Overlap Point Count: 2942  
 Overlap Error Statistics  
   RMS: 0.00316665 m  
   AVG: 0.00262361 m  
   MIN: 5.34598e-07 m  
   MAX: 0.00775683 m  
 Overlap Center: (3.501, 5.387, -0.203) m  
 Error after global registration: 9.19827e-06 sq m  
 Translation: (9.866, -27.814, -0.291) m  
 Rotation: (0.0018, -0.0023, 1.0000):110.951 deg  
 FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 44]] [28 : 27]  
 Objective Function Value: 5.53618e-06 sq m  
 Iterations: 22  
 Overlap Point Count: 15074  
 Overlap Error Statistics  
   RMS: 0.00253286 m  
   AVG: 0.00201322 m  
   MIN: 1.77301e-07 m  
   MAX: 0.00768663 m  
 Overlap Center: (-15.368, -3.670, 2.701) m  
 Error after global registration: 1.11793e-06 sq m  
 Translation: (0.049, 0.149, -0.005) m  
 Rotation: (0.0000, -0.0002, 1.0000):111.165 deg  
 FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 45]] [36 : 28]  
 Objective Function Value: 5.88664e-06 sq m  
 Iterations: 15  
 Overlap Point Count: 422  
 Overlap Error Statistics

RMS: 0.00250068 m  
 AVG: 0.00206325 m  
 MIN: 8.67306e-07 m  
 MAX: 0.00626413 m  
 Overlap Center: (38.472, -5.838, 0.354) m  
 Error after global registration: 1.39651e-06 sq m  
 Translation: (29.641, -0.654, 0.165) m  
 Rotation: (0.0023, -0.0003, 1.0000):137.879 deg  
 FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 46]] [22 : 14]  
 Objective Function Value: 7.35977e-06 sq m  
 Iterations: 22  
 Overlap Point Count: 7865  
 Overlap Error Statistics  
   RMS: 0.00281844 m  
   AVG: 0.00227475 m  
   MIN: 5.08552e-07 m  
   MAX: 0.00791432 m  
 Overlap Center: (3.855, 2.188, -0.159) m  
 Error after global registration: 7.523e-14 sq m  
 Translation: (12.222, 2.663, -0.219) m  
 Rotation: (-0.0001, -0.0007, 1.0000):-138.392 deg  
 FINAL [phase 1 [Cloud/Mesh 48]] [36 : 22]  
 Objective Function Value: 1.01437e-05 sq m  
 Iterations: 31  
 Overlap Point Count: 1585  
 Overlap Error Statistics  
   RMS: 0.00324233 m  
   AVG: 0.00270437 m  
   MIN: 2.73905e-06 m  
   MAX: 0.00744831 m  
 Overlap Center: (-0.637, 8.347, 0.047) m  
 Error after global registration: 1.62899e-05 sq m  
 Translation: (-2.633, 7.435, 0.412) m  
 Rotation: (-0.0002, -0.0009, -1.0000):61.179 deg  
 FINAL [phase 2 [Cloud/Mesh 6]] [34 : 35]  
 Objective Function Value: 0.00016295 sq m  
 Iterations: 51  
 Overlap Point Count: 357500  
 Overlap Error Statistics  
   RMS: 0.0188793 m  
   AVG: 0.0121923 m  
   MIN: 1.47795e-07 m  
   MAX: 0.0986763 m  
 Overlap Center: (0.279, 6.496, 2.582) m  
 Error after global registration: 3.04325e-22 sq m  
 Translation: (0.220, -8.157, 0.079) m  
 Rotation: (0.0000, 0.0005, -1.0000):100.826 deg  
 FINAL [Cloud/Mesh 1] [26 : 29]  
 Objective Function Value: 7.00497e-05 sq m  
 Iterations: 100  
 Overlap Point Count: 260733  
 Overlap Error Statistics  
   RMS: 0.0126958 m  
   AVG: 0.00768245 m  
   MIN: 2.52738e-06 m

MAX: 0.091853 m  
 Overlap Center: (-4.787, -5.081, -0.446) m  
 Error after global registration: 5.95204e-23 sq m  
 Translation: (3.067, -3.397, 0.093) m  
 Rotation: (0.0005, -0.0002, 1.0000):40.348 deg  
 FINAL [Cloud/Mesh 3] [26 : 30]  
 Objective Function Value: 9.17274e-05 sq m  
 Iterations: 64  
 Overlap Point Count: 165500  
 Overlap Error Statistics  
   RMS: 0.014629 m  
   AVG: 0.00902574 m  
   MIN: 7.11186e-08 m  
   MAX: 0.0949284 m  
 Overlap Center: (-1.995, -0.527, -0.720) m  
 Error after global registration: 6.97233e-20 sq m  
 Translation: (-4.579, -11.961, 0.158) m  
 Rotation: (0.0008, -0.0011, 1.0000):33.023 deg  
 FINAL [Cloud/Mesh 4] [23 : 33]  
 Objective Function Value: 0.000119842 sq m  
 Iterations: 76  
 Overlap Point Count: 680866  
 Overlap Error Statistics  
   RMS: 0.0156832 m  
   AVG: 0.010353 m  
   MIN: 2.74856e-07 m  
   MAX: 0.0976086 m  
 Overlap Center: (-0.042, -1.347, 3.074) m  
 Error after global registration: 9.5065e-07 sq m  
 Translation: (-4.411, 1.919, 0.108) m  
 Rotation: (-0.0002, -0.0006, 1.0000):153.088 deg  
 FINAL [Cloud/Mesh 5] [23 : 32]  
 Objective Function Value: 0.000131912 sq m  
 Iterations: 33  
 Overlap Point Count: 349666  
 Overlap Error Statistics  
   RMS: 0.019265 m  
   AVG: 0.0118763 m  
   MIN: 8.43803e-08 m  
   MAX: 0.0976197 m  
 Overlap Center: (3.977, -2.985, 2.061) m  
 Error after global registration: 3.71128e-07 sq m  
 Translation: (10.555, -12.018, -0.096) m  
 Rotation: (0.0000, 0.0004, -1.0000):-142.348 deg  
 FINAL [Cloud/Mesh 6] [32 : 33]  
 Objective Function Value: 0.000180182 sq m  
 Iterations: 29  
 Overlap Point Count: 346300  
 Overlap Error Statistics  
   RMS: 0.0188721 m  
   AVG: 0.0125044 m  
   MIN: 6.56705e-07 m  
   MAX: 0.0981725 m  
 Overlap Center: (13.605, -3.928, 2.446) m  
 Error after global registration: 3.42821e-07 sq m

Translation: (20.364, -1.893, 0.196) m  
 Rotation: (-0.0044, 0.0014, 1.0000):10.745 deg  
 Cloud/Mesh 1 [36 : 31]  
 Objective Function Value: 0.000171375 sq m  
 Iterations: 20  
 Overlap Point Count: 176333  
 Overlap Error Statistics  
   RMS: 0.0204636 m  
   AVG: 0.0133294 m  
   MIN: 1.56382e-07 m  
   MAX: 0.0985133 m  
 Overlap Center: (35.264, -0.898, 0.412) m  
 Error after global registration: 1.82421e-22 sq m  
 Translation: (38.122, 0.809, 0.310) m  
 Rotation: (-0.0023, 0.0015, -1.0000):140.435 deg  
 Cloud/Mesh 2 [15 : 34]  
 Objective Function Value: 7.66082e-05 sq m  
 Iterations: 32  
 Overlap Point Count: 447633  
 Overlap Error Statistics  
   RMS: 0.0149618 m  
   AVG: 0.00862128 m  
   MIN: 9.04675e-07 m  
   MAX: 0.0966357 m  
 Overlap Center: (4.292, -1.649, 0.950) m  
 Error after global registration: 1.64938e-06 sq m  
 Translation: (1.529, 0.047, -0.048) m  
 Rotation: (0.0002, 0.0004, -1.0000):148.774 deg  
 Cloud/Mesh 3 [33 : 34]  
 Objective Function Value: 0.000137944 sq m  
 Iterations: 60  
 Overlap Point Count: 388033  
 Overlap Error Statistics  
   RMS: 0.0161306 m  
   AVG: 0.0108942 m  
   MIN: 3.35485e-07 m  
   MAX: 0.0926604 m  
 Overlap Center: (1.682, -4.391, 3.308) m  
 Error after global registration: 1.04883e-06 sq m  
 Translation: (4.281, -12.886, -0.320) m  
 Rotation: (0.0003, -0.0003, 1.0000):64.214 deg

#### ScanWorld Transformations

1  
 translation: (0.000, 0.000, 0.000) m  
 rotation: (0.0000, 1.0000, 0.0000):0.000 deg  
  
 2  
 translation: (-3.118, -7.245, 0.027) m  
 rotation: (-0.0001, -0.0007, 1.0000):106.049 deg  
  
 3  
 translation: (-3.449, -8.863, 0.025) m  
 rotation: (0.0000, -0.0008, 1.0000):67.971 deg

4  
translation: (-7.284, -8.654, 0.008) m  
rotation: (0.0004, 0.0005, -1.0000):92.763 deg

5  
translation: (2.620, -7.824, 0.019) m  
rotation: (0.0002, 0.0005, -1.0000):151.010 deg

6  
translation: (0.947, -4.051, 0.014) m  
rotation: (0.0217, 0.0074, 0.9997):1.484 deg

7  
translation: (-3.070, -12.592, 0.011) m  
rotation: (0.0006, 0.0004, -1.0000):48.570 deg

8  
translation: (1.494, -12.951, 0.014) m  
rotation: (0.0065, -0.0022, -1.0000):4.723 deg

9  
translation: (-8.735, -3.622, 0.015) m  
rotation: (0.0007, -0.0028, 1.0000):25.264 deg

10  
translation: (-12.546, -9.559, 0.014) m  
rotation: (-0.0004, -0.0008, 1.0000):75.484 deg

11  
translation: (-11.653, -5.378, 0.002) m  
rotation: (0.0004, 0.0004, -1.0000):89.378 deg

12  
translation: (-6.722, 4.019, -0.498) m  
rotation: (0.0000, 0.0003, -1.0000):138.991 deg

13  
translation: (-0.631, 3.568, -0.440) m  
rotation: (-0.0004, 0.0004, -1.0000):40.856 deg

14  
translation: (5.157, 1.259, -0.292) m  
rotation: (-0.0005, 0.0028, -1.0000):13.119 deg

15  
translation: (6.079, -19.913, 0.086) m  
rotation: (0.0005, -0.0004, 1.0000):84.686 deg

16  
translation: (4.644, -23.937, 0.126) m  
rotation: (0.0009, 0.0014, -1.0000):53.749 deg

17  
translation: (-4.255, -20.057, 0.083) m  
rotation: (0.0291, 0.0213, 0.9993):2.540 deg

18  
translation: (10.669, -13.559, -0.010) m  
rotation: (0.0080, 0.0082, 0.9999):4.412 deg

19  
translation: (16.921, -14.518, 0.122) m  
rotation: (0.0005, 0.0017, -1.0000):34.261 deg

20  
translation: (23.444, -7.436, 0.087) m  
rotation: (0.0000, 0.0011, -1.0000):117.264 deg

21  
translation: (21.006, -11.023, 0.175) m  
rotation: (0.0060, 0.0052, -1.0000):5.599 deg

22  
translation: (14.389, -7.181, -0.079) m  
rotation: (0.0002, -0.0005, 1.0000):125.273 deg

23  
translation: (21.698, -19.063, 0.233) m  
rotation: (0.0005, -0.0002, 1.0000):78.621 deg

24  
translation: (14.921, -1.217, -0.055) m  
rotation: (-0.0005, -0.0004, -1.0000):39.910 deg

25  
translation: (-4.501, 15.552, -0.647) m  
rotation: (0.0019, -0.0034, -1.0000):74.854 deg

26  
translation: (-13.093, 8.257, -0.492) m  
rotation: (0.0001, -0.0084, -1.0000):36.252 deg

27  
translation: (-18.468, -2.690, -0.392) m  
rotation: (-0.0034, -0.0035, 1.0000):75.518 deg

36  
translation: (10.934, -0.086, -0.494) m  
rotation: (0.0009, 0.0002, -1.0000):173.523 deg

28  
translation: (-18.594, -2.781, -0.385) m  
rotation: (0.0012, -0.0093, -1.0000):35.648 deg

29  
translation: (-12.628, 3.704, -0.389) m  
rotation: (-0.0202, -0.0719, 0.9972):4.109 deg

30  
translation: (-23.859, 1.319, -0.377) m



rotation: (-0.0211, -0.1020, -0.9946):3.245 deg

31

translation: (-26.854, -5.190, -0.253) m

rotation: (-0.0038, -0.0079, 1.0000):46.043 deg

32

translation: (35.562, -11.088, 0.140) mF

rotation: (-0.0002, 0.0006, -1.0000):139.034 deg

33

translation: (18.945, -23.010, 0.338) m

rotation: (-0.0002, 0.0011, -1.0000):128.291 deg

34

translation: (6.176, -18.385, 0.040) m

rotation: (0.0005, 0.0013, -1.0000):64.079 deg

35

translation: (-1.064, -22.149, 0.120) m

rotation: (-0.0002, 0.0010, -1.0000):164.904 deg

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] M. Baenninger and N. Newcombe, "Environmental input to the development of sex-related differences in spatial and mathematical ability," *Learn. Individ. Differ.*, vol. 7, no. 4, pp. 363–379, Jan. 1995, doi: 10.1016/1041-6080(95)90007-1.
- [2] D. H. Uttal, D. I. Miller, and N. S. Newcombe, "Exploring and Enhancing Spatial Thinking: Links to Achievement in Science, Technology, Engineering, and Mathematics?," *Curr. Dir. Psychol. Sci.*, vol. 22, no. 5, pp. 367–373, 2013, doi: 10.1177/0963721413484756.
- [3] National Research Council, *Learning to Think Spatially: GIS as a Support System in the K-12 Curriculum*. 2006. doi: 10.17226/11019.
- [4] G. Kleeman and N. Hutchinson, "Maps in Classrooms," *The Globe*, no. 57, pp. 1–12, Jan. 2005, [Online]. Available: <https://search.informit.org/doi/10.3316/ielapa.199223135905840>
- [5] D. W. Chan, "Gender differences in spatial ability: Relationship to spatial experience among Chinese gifted students in Hong Kong," *Roepers Rev.*, vol. 29, no. 4, pp. 277–282, Jun. 2007, doi: 10.1080/02783190709554423.
- [6] M. Taha, "Human intelligence: Contemporary Trends and monetary issues." A world of knowledge, the National Council for Culture, Arts and Letter, Kuwait, 2006.
- [7] M. C. Linn and A. C. Petersen, "Emergence and Characterization of Sex Differences in Spatial Ability: A Meta-Analysis," *Child Dev.*, vol. 56, no. 6, p. 1479, Dec. 1985, doi: 10.2307/1130467.
- [8] B. N. Verdine, R. M. Golinkoff, K. Hirsh-Pasek, and N. S. Newcombe, "Finding the missing piece: Blocks, puzzles, and shapes fuel school readiness," *Trends in Neuroscience and Education*, vol. 3, no. 1. Elsevier GmbH, pp. 7–13, 2014. doi: 10.1016/j.tine.2014.02.005.
- [9] S. C. Levine, K. R. Ratliff, J. Huttenlocher, and J. Cannon, "Early puzzle play: A predictor of preschoolers' spatial transformation skill.," *Dev. Psychol.*, vol. 48, no. 2, pp. 530–542, 2012, doi: 10.1037/a0025913.
- [10] K. R. Fisher, K. Hirsh-Pasek, N. Newcombe, and R. M. Golinkoff, "Taking Shape: Supporting Preschoolers' Acquisition of Geometric Knowledge Through Guided Play," *Child Dev.*, vol. 84, no. 6, pp. 1872–1878, Nov. 2013, doi: 10.1111/cdev.12091.
- [11] S. B. Ehrlich, S. C. Levine, and S. Goldin-Meadow, "The importance of gesture in children's spatial reasoning.," *Dev. Psychol.*, vol. 42, no. 6, pp. 1259–1268, 2006, doi: 10.1037/0012-1649.42.6.1259.
- [12] J. Piaget and B. Inhelder, "Mental imagery in the child (PA Chilton, Trans.)," *New York*, 1971.
- [13] J. S. Bruner, "The course of cognitive growth.," *Am. Psychol.*, vol. 19, no. 1, p. 1, 1964.
- [14] H. Werner, *Comparative psychology of mental development*. ISD LLC, 2004.
- [15] B. J. Orde, *A correlational analysis of drawing ability and spatial ability*. University of Wyoming, 1996.
- [16] R. Pak, "A further examination of the influence of spatial abilities on computer task

- performance in younger and older adults,” in *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 2001, vol. 45, no. 22, pp. 1551–1555.
- [17] T. A. Salthouse, “Sources of age-related individual differences in block design tests,” *Intelligence*, vol. 11, no. 3, pp. 245–262, Sep. 1987, doi: 10.1016/0160-2896(87)90009-2.
- [18] R. Nunez, D. Corti, and J. Retschitzki, “Mental rotation in children from Ivory Coast and Switzerland,” *J. Cross. Cult. Psychol.*, vol. 29, no. 4, pp. 577–589, 1998.
- [19] L. Vederhus and S. Krekling, “Sex differences in visual spatial ability in 9-year-old children,” *Intelligence*, vol. 23, no. 1, pp. 33–43, Jul. 1996, doi: 10.1016/S0160-2896(96)80004-3.
- [20] E. S. Johnson and A. C. Meade, “Developmental patterns of spatial ability: An early sex difference,” *Child Dev.*, pp. 725–740, 1987.
- [21] D. Voyer, S. Voyer, and M. P. Bryden, “Magnitude of sex differences in spatial abilities: a meta-analysis and consideration of critical variables.,” *Psychol. Bull.*, vol. 117, no. 2, p. 250, 1995.
- [22] S. L. Rilea, B. Roskos-Ewoldsen, and D. Boles, “Sex differences in spatial ability: A lateralization of function approach,” *Brain Cogn.*, vol. 56, no. 3, pp. 332–343, 2004.
- [23] J. McGlone, “Sex differences in human brain asymmetry: A critical survey,” *Behav. Brain Sci.*, vol. 3, no. 2, pp. 215–227, 1980.
- [24] M. Zyda, “From visual simulation to virtual reality to games,” *Computer (Long. Beach. Calif.)*, vol. 38, no. 9, pp. 25–32, Sep. 2005, doi: 10.1109/MC.2005.297.
- [25] M. Buro, “Real-time strategy games: A new AI research challenge,” *IJCAI Int. Jt. Conf. Artif. Intell.*, pp. 1534–1535, 2003.
- [26] S. Michael, D.R., Chen, *Serious Games: Games That Educate, Train, and Inform*. 2005.
- [27] B. Stokes, “Video games have changed: time to consider “serious games”?,” *Dev. Educ. J.*, vol. 11, no. 3, p. 12, 2005.
- [28] M. Mansour, Samah and El-Said, “The impact of multi-players serious games on the social interaction among online students versus face-to-face students,” 2008.
- [29] Nicola Whitton, *Learning with Digital Games*. Routledge, 2010.
- [30] S. Erhel and E. Jamet, “Digital game-based learning: Impact of instructions and feedback on motivation and learning effectiveness,” *Comput. Educ.*, vol. 67, pp. 156–167, Sep. 2013, doi: 10.1016/j.compedu.2013.02.019.
- [31] M. Prensky, “Digital Natives, Digital Immigrants Part 1,” *Horiz.*, vol. 9, no. 5, pp. 1–6, Sep. 2001, doi: 10.1108/10748120110424816.
- [32] H. Coates, “A model of online and general campus-based student engagement,” *Assess. Eval. High. Educ.*, vol. 32, no. 2, pp. 121–141, Apr. 2007, doi: 10.1080/02602930600801878.
- [33] B. Dalgarno and M. J. W. Lee, “What are the learning affordances of 3-D virtual environments?,” *Br. J. Educ. Technol.*, vol. 41, no. 1, 2010, doi: 10.1111/j.1467-8535.2009.01038.x.
- [34] E. Smeets, “Does ICT contribute to powerful learning environments in primary

- education?," *Comput. & Educ.*, vol. 44, no. 3, pp. 343–355, 2005.
- [35] T. A. Mikropoulos and A. Natsis, "Educational virtual environments: A ten-year review of empirical research (1999–2009)," *Comput. Educ.*, vol. 56, no. 3, pp. 769–780, Apr. 2011, doi: 10.1016/J.COMPEDU.2010.10.020.
- [36] A. C. Martínez, M.-J. Martínez-Segura, M. Laguna-Segovia, D. C. Pérez-López, and M. Contero, "Supporting Learning with 3D Interactive Applications in Early Years," 2014, pp. 11–22. doi: 10.1007/978-3-319-07485-6\_2.
- [37] Y. Cheng and S. H. Wang, "Applying a 3D virtual learning environment to facilitate student's application ability – The case of marketing," *Comput. Human Behav.*, vol. 27, no. 1, pp. 576–584, Jan. 2011, doi: 10.1016/J.CHB.2010.10.008.
- [38] W.-T. Sung and S.-C. Ou, "Web-based learning in the computer-aided design curriculum," *J. Comput. Assist. Learn.*, vol. 18, no. 2, pp. 175–187, 2002.
- [39] V. Ramasundaram, S. Grunwald, A. Mangeot, N. B. Comerford, and C. M. Bliss, "Development of an environmental virtual field laboratory," *Comput. & Educ.*, vol. 45, no. 1, pp. 21–34, 2005.
- [40] S. R. Bowling, M. T. Khasawneh, S. Kaewkuekool, X. Jiang, and A. K. Gramopadhye, "Evaluating the effects of virtual training in an aircraft maintenance task," *Int. J. Aviat. Psychol.*, vol. 18, no. 1, pp. 104–116, 2008.
- [41] Y. Cheng and J. Ye, "Exploring the social competence of students with autism spectrum conditions in a collaborative virtual learning environment--The pilot study," *Comput. & Educ.*, vol. 54, no. 4, pp. 1068–1077, 2010.
- [42] S. Parsons, A. Leonard, and P. Mitchell, "Virtual environments for social skills training: comments from two adolescents with autistic spectrum disorder," *Comput. Educ.*, vol. 47, no. 2, pp. 186–206, Sep. 2006, doi: 10.1016/j.compedu.2004.10.003.
- [43] Δ. Παπακώστας, "ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΤΗΣ ΡΟΤΟΝΤΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ LASER SCANNER," 2011.
- [44] E. P. Paska, "State-of-the-art remote sensing geospatial technologies in support of transportation monitoring and management," The Ohio State University, 2009.
- [45] "Leica RTC360 3D Laser Scanner." <https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/scanners/leica-rtc360>
- [46] Π. Συμεωνιδης, *Σαρωτές Laser. Τεχνολογία, τεχνικές και εφαρμογές*. Σέρρες: Τμήμα Γεωπληροφορικής και Τοπογραφίας, Τ.Ε.Ι. Σερρών, 2007.
- [47] Β. Ν. Αποστολόπουλος, "Υπολογισμός της υπερεκκαφής στο μέτωπο σήραγγας με τη χρήσηεπίγειου σαρωτή laser – Εφαρμογή στην υπό διάνοιξη σήραγγα Τεμπών Τ1," Αθήνα, 2010.
- [48] "GLOBAL Lite." <https://www.hexagonmi.com/products/coordinate-measuring-machines/bridge-cmms/entry-level-cmms/global-lite>
- [49] "Portable Measuring Arms."
- [50] Α. Α. Σιδηρόπουλος, "Αναγνώριση Γεωμετρικών Προτύπων Μέσω Επαναληπτικών Μετρήσεων Τρισδιάστατου Σαρωτή Laser."
- [51] B. Van Genechten, *Theory and practice on Terrestrial Laser Scanning, Training material based on practical applications*, 4th ed. 2008.

- [52] V. Moitinho and J. Bedford, "3D Laser Scanning for Heritage. Advice and Guidance on the Use of Laser Scanning in Archaeology and Architecture," 2018. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/343281484>
- [53] Γ. Κατσούλης, "Τρισδιάστατη Αποτύπωση Βυζαντινού Ναού των Αγίων Αποστόλων Θεσσαλονίκης με σαρωτή Laser," Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, 2013.
- [54] W. Boehler, M. Bordas Vicent, and A. Marbs, "INVESTIGATING LASER SCANNER ACCURACY."
- [55] P. Klapa and B. Mitka, "Edge effect and its impact upon the accuracy of 2d and 3d modelling using laser scanning," *Geomatics, Landmanagement Landsc.*, vol. 1, pp. 25–33, 2017, doi: 10.15576/GLL/2017.1.25.
- [56] "Leica BLK360 Imaging Laser Scanner." <https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/scanners/blk360>
- [57] "Leica BLK2GO Handheld Imaging Laser Scanner." <https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/autonomous-reality-capture/leica-blk2go-handheld-imaging-laser-scanner>
- [58] "Digital Interoperability between Leica Infinity and Leica Cyclone Product Family." <https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/software/leica-cyclone/digital-interoperability-between-leica-infinity-and-leica-cyclone>
- [59] J. Willis, "A flexible framework for task-based learning," *Chall. Chang. Lang. Teach.*, vol. 52, p. 62, 1996.