

**Τρισδιάστατη Σάρωση και Ψηφιακή Διατήρηση 3Δ αρχείων:  
μία επισκόπηση του πεδίου**

**Νοέμβριος 2023**

Συντελεστές: Σταμάτης Χατζησταμάτης, Δρ. Χρήστος-Νικόλαος Αναγνωστόπουλος,  
Ερευνητική Ομάδα Τρισδιάστατης Οπτικοποίησης - Εργαστήριο Ευφών Συστημάτων (i-  
lab.aegean.gr), Τμήμα Πολιτισμικής Τεχνολογίας και Επικοινωνίας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου

Προτεινόμενος τρόπος αναφοράς: Τρισδιάστατη Σάρωση και Ψηφιακή Διατήρηση 3D αρχείων:  
μία επισκόπηση του πεδίου, Εργαστήριο Ευφών Συστημάτων (i-lab.aegean.gr), Τμήμα  
Πολιτισμικής Τεχνολογίας και Επικοινωνίας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου & Εθνικό Κέντρο  
Τεκμηρίωσης και Ηλεκτρονικού Περιεχομένου, Αθήνα, Νοέμβριος 2023

Copyright © 2023 Εθνικό Κέντρο Τεκμηρίωσης και Ηλεκτρονικού Περιεχομένου δ. Βασιλέως  
Κωνσταντίνου 48, 11635 Αθήνα | τ.: 210 7273900 | f: 210 7246824 | e: [ekt@ekt.gr](mailto:ekt@ekt.gr) |  
[www.ekt.gr](http://www.ekt.gr)

Ο παρόν οδηγός διατίθεται με άδεια Commons Αναφορά Δημιουργού - Μη Εμπορική Χρήση  
- Παρόμοια Διανομή 4.0 Διεθνές (CC BY-NC-SA 4.0) Προκειμένου να δείτε αντίγραφο της  
άδειας επισκεφθείτε: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.el>



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Ταμείο  
Περιφερειακής  
Ανάπτυξης

Ε.Π. "Μεταρρύθμιση Δημόσιου Τομέα 2014-2020"  
ΕΥΔ Προγράμματος "Ψηφιακός Μετασχηματισμός"  
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1. Εισαγωγή.....	7
2. Τεχνολογίες τρισδιάστατης αποτύπωσης .....	9
2.1 Βασικές έννοιες.....	11
2.1.1 Νέφος σημείων.....	11
2.1.2 Ανάλυση νέφους σημείων .....	12
2.1.3 Ταυτοποίηση νεφών σημείων .....	13
2.1.4 Απόσταση δείγματος εδάφους.....	14
2.1.5 Σημεία ελέγχου.....	15
2.1.6 Μοντέλο επιφάνειας .....	16
2.2. 3Δ σαρωτές λέιζερ.....	17
2.2.1 Σαρωτές τριγωνισμού.....	19
2.2.2 Σαρωτές παλμού .....	20
2.2.3 Σαρωτές σύγκρισης φάσεων.....	21
2.2.4 Σαρωτές κάμερας .....	21
2.3. Φωτογραμμετρικές μέθοδοι .....	22
2.4. Τοπογραφικές μέθοδοι .....	24
2.4.1 Σχετικός κινηματικός προσδιορισμός .....	24
2.4.2 Γεωδαιτικός σταθμός.....	26
3. Μεθοδολογία ψηφιοποίησης .....	27
3.1. Σχεδιασμός έργου ψηφιοποίησης.....	28
3.1.1 Σκοπός.....	28
3.1.2 Συνθήκες τοποθεσίας.....	28
3.1.3 Τελικά προϊόντα.....	29
3.1.4 Κλίμακα του αντικειμένου .....	29
3.1.5 Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του αντικειμένου.....	29
3.1.6 Ακρίβεια και ανάλυση.....	30
3.1.7 Προϋπολογισμός .....	30
3.1.8 Σημεία ελέγχου.....	31
3.2 Χρήση σαρωτή λέιζερ.....	32
3.2.1 Ασφάλεια .....	33
3.2.2 Κάλυψη.....	34
3.2.3 Χρήση σημείων ελέγχου .....	36

3.2.4 Ανάλυση και ακρίβεια.....	37
3.2.5 Ένταση και χρώμα.....	38
3.2.6 Επεξεργασία δεδομένων .....	38
3.3 Χρήση φωτογραμμετρίας.....	41
3.3.1 Ασφάλεια .....	41
3.3.2 Κάλυψη.....	42
3.3.3 Χρήση σημείων ελέγχου .....	42
3.3.4 Ανάλυση και ακρίβεια.....	43
3.3.5 Φωτισμός .....	43
3.3.6 Κάμερα.....	44
3.3.7 Σενάρια λήψης φωτογραφιών.....	45
3.3.8 Επεξεργασία δεδομένων .....	49
4. Αποθήκευση και Αρχαιοθέτηση.....	55
4.1 Παράγωγα προϊόντα ψηφιοποίησης .....	56
4.2 Τύποι αρχείων για αποθήκευση τρισδιάστατων δεδομένων .....	57
4.3 Αρχαιοθέτηση δεδομένων σαρωτή λέιζερ.....	64
4.4 Αρχαιοθέτηση δεδομένων φωτογραμμετρίας.....	66
4.5 Σχήματα μεταδεδομένων για τρισδιάστατες δομές.....	68
5. Προβολή και διάθεση.....	70
5.1 Πνευματικά δικαιώματα και προσωπικά δεδομένα.....	70
5.2 Λογισμικά προβολής τοπικά και στο διαδίκτυο.....	70
5.3 3D PDF.....	72
5.4 WebGL.....	74
5.4.1 Potree .....	74
5.4.2 Sketchfab.....	75
5.4.2 3DHOP.....	76
Αναφορές.....	77

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1 - Κατηγοριοποίηση απαιτήσεων συμμόρφωσης του παρόντος οδηγού .....	8
Πίνακας 2 - Απαιτούμενη ανάλυση νέφους σημείων στις τυπικές αρχιτεκτονικές κλίμακες .....	30
Πίνακας 3 - Παράμετροι που επηρεάζουν τον σχεδιασμό ενός έργου ψηφιοποίησης .....	31

Πίνακας 4 - Προδιαγραφές επιλογής στάσεων σαρωτή λέιζερ .....	34
Πίνακας 5 - Προδιαγραφές λήψης σημείων ελέγχου .....	36
Πίνακας 6 - Απαιτούμενη ανάλυση σαρωτή στις τυπικές αρχιτεκτονικές κλίμακες .....	37
Πίνακας 7 - Στάδια για 3Δ ψηφιοποίηση με χρήση σαρωτή λέιζερ.....	40
Πίνακας 8 - GSD για φωτογραμμετρία στις τυπικές αρχιτεκτονικές κλίμακες.....	43
Πίνακας 9 - GSD για τοπογραφική αποτύπωση από αεροφωτογράφιση .....	43
Πίνακας 10 - Συνιστώμενες ρυθμίσεις κάμερας .....	44
Πίνακας 11 - Συγκεντρωτικός πίνακας καλών πρακτικών για φωτογραμμετρία .....	46
Πίνακας 12 - Στάδια για 3Δ ψηφιοποίηση με φωτογραμμετρία .....	53
Πίνακας 13 - Παράγωγα προϊόντα ψηφιοποίησης .....	56
Πίνακας 14 – Ιδιόκτητοι τύποι αρχείων που μπορούν να αποθηκεύσουν τρισδιάστατα δεδομένα.58	
Πίνακας 15 - Τύποι αρχείων που μπορούν να αποθηκεύσουν τρισδιάστατα δεδομένα .....	59
Πίνακας 16 - Συστάσεις για την αποθήκευση δεδομένων σαρωτή λέιζερ.....	64
Πίνακας 17 - Προτεινόμενο σύστημα ονομασίας αρχείων .....	66
Πίνακας 18 - Συστάσεις για την αποθήκευση δεδομένων φωτογραμμετρικής επεξεργασίας.....	66
Πίνακας 19 - Σχήματα μεταδεδομένων για τρισδιάστατες δομές.....	68
Πίνακας 20 - Λογισμικά προβολής τοπικά και στο διαδίκτυο .....	71

## **ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ**

Σχήμα 1 - Διαθέσιμες μέθοδοι αποτύπωσης σε όρους μεγέθους (κλίμακα) και πολυπλοκότητας αντικειμένου [2].....	11
Σχήμα 2 – Τμήμα ενός νέφους σημείων πυργίσκου .....	12
Σχήμα 3 – Το GSD σχηματικά .....	14
Σχήμα 4 - Τεχνητοί στόχοι σφαιρικοί (αριστερά) και τύπου σκακιέρας (δεξιά).....	15
Σχήμα 5 - Παράδειγμα χρήσης σταθερών σημείων ως σημείων ελέγχου .....	16
Σχήμα 6 - Το ίδιο μοντέλο, από υψηλότερο (αριστερά) έως χαμηλότερο (δεξιά) πλήθος πολυγώνων .....	17
Σχήμα 7 – Αρχαίο λυχνάρι με πληροφορία χρώματος, πυκνό νέφος σημείων (αριστερά) λεπτομερές τριγωνικό πλέγμα (δεξιά).....	17
Σχήμα 8 – Σαρωτής λέιζερ χωρίς φυσική επαφή (αριστερά) και με φυσική επαφή (δεξιά) .....	18
Σχήμα 9 – Μετρήσεις που λαμβάνει για κάθε σημείο ένας 3Δ σαρωτής λέιζερ .....	18
Σχήμα 10 – Σαρωτές τριγωνισμού.....	19
Σχήμα 11 - Apple iPhone με ενσωματωμένο αισθητήρα λέιζερ .....	22
Σχήμα 12 - Φωτογραμμετρική λειτουργία [10] .....	23

Σχήμα 13 - Αρχή λειτουργίας RTK.....	25
Σχήμα 14 – Pix4D vidoDoc RTK rover.....	25
Σχήμα 15 - Topcon OS-101 Total Station.....	26
Σχήμα 16 - Παράδειγμα συμπλήρωσης αρχείου εργασιών πεδίου.....	32
Σχήμα 17 - Αυτοκόλλητο ταξινόμησης CLASS 1 προϊόντος λέιζερ.....	33
Σχήμα 18 - Παράδειγμα χρήσης επέκτασης τριπόδου (αριστερά) και υδραυλικού ανυψωτικού (δεξιά) .....	36
Σχήμα 19 - Τεχνητοί στόχοι εκτυπωμένοι από λογισμικό φωτογραμμετρίας.....	46
Σχήμα 20 - Κυκλικές τροχιές γύρω από αντικείμενο [17].....	48
Σχήμα 21 - Πλατφόρμα φωτογραμμετρίας [18].....	48
Σχήμα 22 - Καλή πρακτική λήψης φωτογραφιών σε εξωτερική χώρο/τοιχοποιία [19].....	49
Σχήμα 23 - Καλή πρακτική λήψης φωτογραφιών σε εσωτερικό χώρο [19].....	49
Σχήμα 24 - Διαδικασία masking. Δεξιά η δυαδική μάσκα, όπου με μαύρο σημειώνεται η περιοχή που αποκόπτεται από τη διαδικασία.....	50
Σχήμα 25 - Σημεία ενδιαφέροντος (μπλε: σωστά, κόκκινο: λανθασμένα).....	51
Σχήμα 26 - Αραιό νέφος σημείων.....	52
Σχήμα 27 - Πολυγωνικό πλέγμα με υφή.....	53
Σχήμα 28 – Αρχείο 3D PDF. Τρισδιάστατη γεωμετρική αναπαράσταση μιας ανασκαφής. Ο χρήστης δύναται να περιστρέψει, κλιμακώσει, εστιάσει και μετακινήσει το 3Δ μοντέλο με τον κέρσορα. Κάτω αριστερά σε κάθε οθόνη φαίνονται και οι βασικοί άξονες X, Y, Z.....	73
Σχήμα 29 –Εμφάνιση αρχείου πλέγματος ανασκαφής από φωτογραμμετρία στο Sketchfab.....	76

## 1. Εισαγωγή

Η τρισδιάστατη σάρωση κινητών και ακίνητων μνημείων κερδίζει συνεχώς έδαφος, με ένα ευρύ πεδίο εφαρμογών στην έρευνα, την εκπαίδευση, τη μακροχρόνια διατήρηση, το gaming και την τουριστική προβολή. Τα οφέλη αυτά αναγνωρίζονται και στην Ευρωπαϊκή Σύσταση για τη Δημιουργία ενός Χώρου Δεδομένων για τον Πολιτισμό<sup>1</sup>, η οποία καλεί τα κράτη-μέλη να αυξήσουν τις επενδύσεις στη δημιουργία τρισδιάστατων αναπαραστάσεων ιδίως των μνημείων που κινδυνεύουν από ανθρωπογενείς παράγοντες και την κλιματική αλλαγή, καθώς και των πλέον επισκέψιμων και δημοφιλών μνημείων. Σε αυτό το πλαίσιο και στη χώρα μας έχουν αυξηθεί τα έργα τα οποία παράγουν τρισδιάστατα αρχεία. Δεδομένου ότι πρόκειται για ένα ταχύτατα εξελισσόμενο πεδίο με ελάχιστη, ακόμα, τυποποίηση, ο παρών οδηγός έχει ως στόχο να αποτυπώσει τις τρέχουσες τεχνολογίες και πρακτικές και να αποτελέσει ένα πολύτιμο βοήθημα για τους φορείς και τους εμπλεκόμενους σε έργα τρισδιάστατης αποτύπωσης πολιτιστικού περιεχομένου.

Ο οδηγός απευθύνεται σε φορείς που έχουν ως αντικείμενο ή μέρος της δραστηριότητάς τους την τρισδιάστατη (3D) ψηφιοποίηση αντικειμένων ανεξαρτήτου μεγέθους, την αποθήκευση των δεδομένων και τη διάθεση αυτών. Περιλαμβάνει ένα σύνολο καλών πρακτικών και προδιαγραφών για την 3D αποτύπωση χρησιμοποιώντας σύγχρονες τεχνολογίες και ένα σύνολο καλών πρακτικών και προδιαγραφών διαλειτουργικότητας, διάθεσης και ποιότητας ψηφιακού περιεχομένου - μεταδεδομένων και ψηφιακών αρχείων - που μεγιστοποιούν την ευρεσιμότητα και την επανάχρησή του. Σκοπός είναι να εξασφαλιστεί η ποιότητα και η μακροχρόνια διαθεσιμότητα του αποτελέσματος των έργων 3D ψηφιοποίησης. Ο παρών οδηγός έχει ως επιμέρους στόχο να παρέχει καθοδήγηση σε φορείς που υλοποιούν χρηματοδοτούμενες ή συγχρηματοδοτούμενες Πράξεις με αντικείμενο την 3D ψηφιοποίηση, αποθήκευση και διάθεση τέτοιου υλικού.

Η καθοδήγηση που παρουσιάζεται σε αυτόν τον οδηγό παρέχει τις απαραίτητες πληροφορίες για τη χρήση νέων τεχνολογιών όπως τη σάρωση λέιζερ και τη φωτογραμμετρία, την επεξεργασία των δεδομένων, την αποθήκευση των δεδομένων και τη διάθεσή τους. Ο οδηγός αποτελείται από πέντε κεφάλαια. Μετά το τρέχον εισαγωγικό κεφάλαιο, ακολουθεί το δεύτερο κεφάλαιο όπου στην αρχή παρουσιάζονται κάποιες βασικές έννοιες για τη 3D ψηφιοποίηση και στη συνέχεια παρουσιάζονται οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την γεωμετρική αποτύπωση αντικειμένων ανεξαρτήτου μεγέθους. Το τρίτο κεφάλαιο προτείνει καλές πρακτικές και μεθοδολογία για τη χρήση των τεχνολογιών που παρουσιάστηκαν στο δεύτερο κεφάλαιο σε ένα ολοκληρωμένο έργο 3D

---

<sup>1</sup> <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/news/commission-proposes-common-european-data-space-cultural-heritage>

ψηφιοποίησης. Το τέταρτο κεφάλαιο πραγματεύεται συστάσεις και προδιαγραφές για αποθήκευση και διατήρηση των αρχείων ενός έργου 3Δ ψηφιοποίησης. Τέλος, το πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζει τρόπους διάθεσης των αρχείων ενός έργου 3Δ ψηφιοποίησης.

Κάθε κεφάλαιο αποτελείται από επιμέρους ενότητες, κάποια εισαγωγικά-περιγραφικά στοιχεία και συνοπτικούς πίνακες που αποτυπώνουν, αφενός, τις ελάχιστες απαιτήσεις συμμόρφωσης, και αφετέρου, κάποιες επιπλέον συστάσεις για την επίτευξη βέλτιστων αποτελεσμάτων. Οι απαιτήσεις συμμόρφωσης μπορεί να είναι υποχρεωτικές, συνιστώμενες ή προαιρετικές, ανάλογα με το διακριτικό (Πίνακας 1).

Ο παρών οδηγός εντάσσεται στη σειρά των καλών πρακτικών, συστάσεων και προδιαγραφών που παράγει το Εθνικό Κέντρο Τεκμηρίωσης (ΕΚΤ), ως αρμόδιος φορέας για τη συλλογή και τεκμηριωμένη διάθεση της επιστημονικής και πολιτιστικής παραγωγής της χώρας μας με στόχο την προώθηση της παραγωγής ψηφιακού περιεχομένου ποιοτικού, ανοικτού και διαλειτουργικού, καθώς και συμβατού με τα διεθνή πρότυπα και τις σύγχρονες πολιτικές διάθεσης.

Ο παρών οδηγός παρήχθη από το εργαστήριο Ευφών Συστημάτων του Τμήματος Πολιτισμικής Τεχνολογίας και Επικοινωνίας του Πανεπιστημίου Αιγαίου και είναι προϊόν της εμπειρογνωμοσύνης ΕΠΣΕΤΑΚ01/04: Προδιαγραφές ψηφιοποίησης και ψηφιακής διατήρησης αρχείων στο πλαίσιο του έργου «Εθνικό Πληροφοριακό Σύστημα Έρευνας και Τεχνολογίας: Υποδομή Συσσώρευσης, Τεκμηρίωσης και Διάθεσης Ψηφιακού Περιεχομένου με διασφάλιση διαλειτουργικότητας, μακροχρόνιας διατήρησης και ανοικτής πρόσβασης».

Πίνακας 1 - Κατηγοριοποίηση απαιτήσεων συμμόρφωσης του παρόντος οδηγού

<b>ΥΠ</b>	Υποχρεωτική	Πρέπει απαραίτητα να πληρείται
<b>ΣΥ</b>	Συνιστώμενη	Συνιστάται να πληρείται
<b>ΠΡ</b>	Προαιρετική	Δεν είναι απαραίτητο να πληρείται



## 2. Τεχνολογίες τρισδιάστατης αποτύπωσης

Η γνώση της θέσης, του μεγέθους, του σχήματος και της ταυτότητας των στοιχείων για παράδειγμα ενός ιστορικού κτηρίου ή τοποθεσίας αποτελεί θεμελιώδες μέρος ενός έργου που σχετίζεται με τη διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς. Η διαδικασία συλλογής και επεξεργασίας των παραπάνω δεδομένων ονομάζεται γεωμετρική αποτύπωση και τεκμηρίωση. Η γεωμετρική αποτύπωση ορίζεται ως η λεπτομερής σχεδιαστική παρουσίαση ενός αντικειμένου ώστε να αποδίδεται με ακρίβεια η μορφή του και η γεωμετρική τεκμηρίωση ορίζεται ως η αρχειοθέτηση και η πλήρης καταγραφή όλων των πληροφοριών που έχουν σχέση με τη γεωμετρική πληροφορία. Η γεωμετρική τεκμηρίωση εμπεριέχει την έννοια της αποτύπωσης. Με την αυστηρή έννοια του όρου [1], η γεωμετρική τεκμηρίωση ενός αντικειμένου ορίζεται ως *η διαδικασία λήψης, επεξεργασίας, αρχειοθέτησης και παρουσίασης των στοιχείων για τον καθορισμό της θέσης και της υπάρχουσας μορφής, σχήματος και μεγέθους ενός αντικειμένου στον τρισδιάστατο χώρο σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή.*

Οι πιο διαδεδομένες μέθοδοι αποτύπωσης είναι η εμπειρική, η τοπογραφική, η φωτογραμμετρική και αυτή με τη χρήση λέιζερ σαρωτών. Εμπειρική μέθοδος είναι μία μέθοδος αποτύπωσης με τη χρήση απλών οργάνων όπως μετροταινίες, αλφαδολάστιχα, κτλ. η οποία χρησιμοποιείται για την αποτύπωση μικρών αντικειμένων που δεν έχουν πολύπλοκη μορφή. Το βασικό πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι το πολύ χαμηλό κόστος. Στην τοπογραφική μέθοδο, χρησιμοποιούνται τοπογραφικά όργανα για τη μέτρηση οριζοντίων και κατακόρυφων γωνιών και αποστάσεων, χαρακτηριστικών σημείων στην επιφάνεια ενός αντικειμένου, τα οποία στη συνέχεια μετατρέπονται σε τρισδιάστατες συντεταγμένες. Το βασικό πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου αποτελεί η υψηλή ακρίβεια αλλά μειονεκτεί ως την μακρά παρουσία κοντά στο αντικείμενο για τη συλλογή μεγάλου αριθμού σημείων.

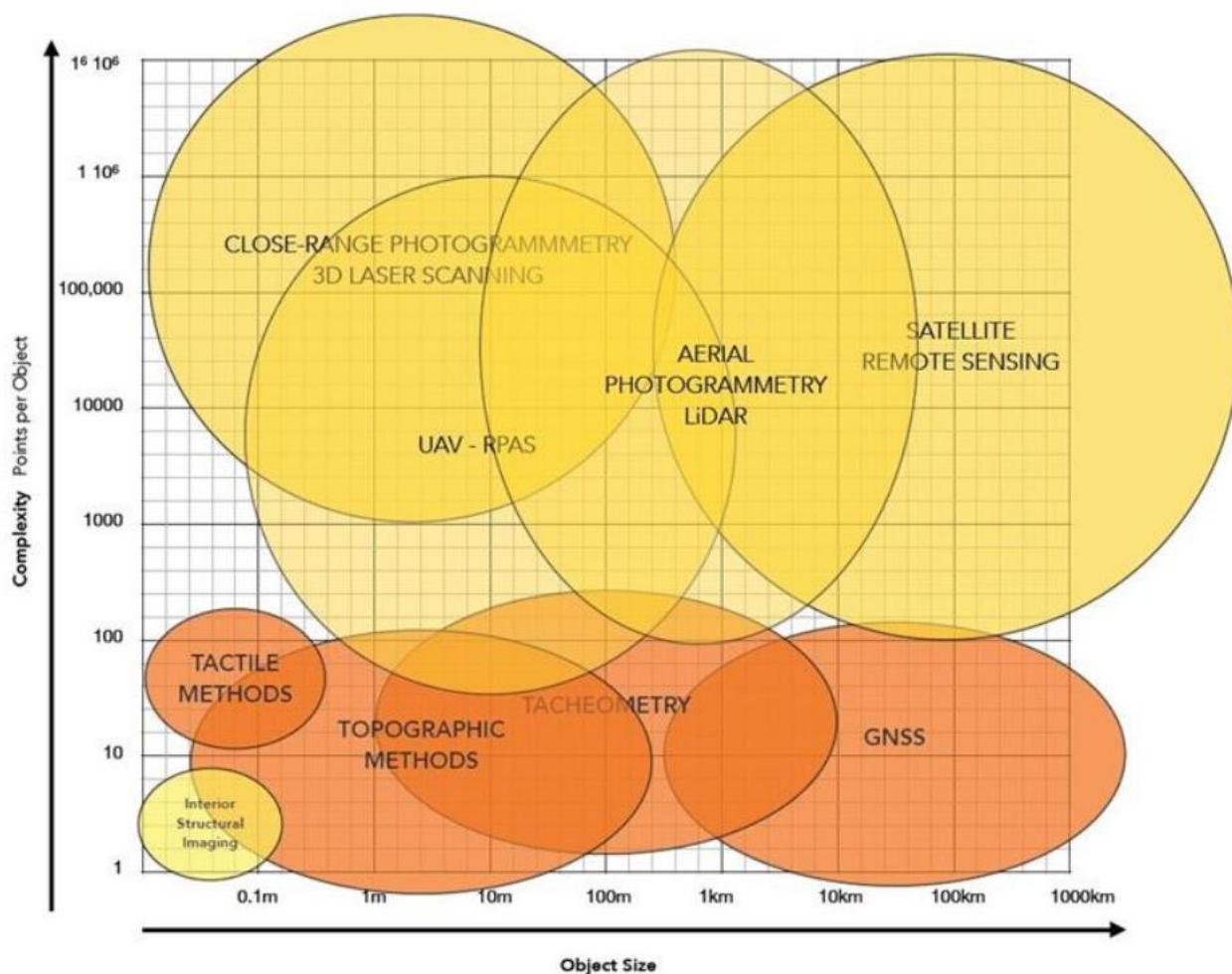
Στην φωτογραμμετρική μέθοδο, κοινές ψηφιακές φωτογραφίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν με την εφαρμογή διαδικασιών φωτογραμμετρικής επεξεργασίας για να εξαχθούν δισδιάστατες ή τρισδιάστατες συντεταγμένες από φωτογραφίες. Η λήψη και επεξεργασία φωτογραμμετρικής εικόνας που μέχρι πρόσφατα απαιτούσε σημαντική επένδυση σε υλικό, λογισμικό, τεχνογνωσία και χρόνο, είναι πλέον δυνατή με πολύ μικρότερο κόστος. Η εμφάνιση πιο προσιτού φωτογραμμετρικού λογισμικού τα τελευταία χρόνια, η ανάπτυξη σχετικά φθηνών ψηφιακών φωτογραφικών μηχανών ικανών να καταγράφουν εικόνες υψηλής ποιότητας, η πρόοδος στην ικανότητα επεξεργασίας των προσωπικών υπολογιστών και η ανάπτυξη μικρών μη επανδρωμένων αεροσκαφών (drones), τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη λήψη εναέριων εικόνων, συνέβαλε στην ευρεία χρήση αυτής της

μεθόδου. Το βασικό πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι η δυνατότητα αποτύπωσης δυσπρόσιτων περιοχών όπως για παράδειγμα του πάνω μέρους ενός μεγάλου μνημείου. Μειονέκτημα παρουσιάζει στο ότι επειδή βασίζεται σε φωτογραφίες είναι αναγκαίος ο επαρκής χρόνος για τη λήψη τους και για να υπάρχει υψηλή ακρίβεια της αποτύπωσης, πρέπει να συνδυαστεί με τοπογραφικές μετρήσεις ή να γίνει σε ελεγχόμενο περιβάλλον φωτισμού αν πρόκειται για μικρό αντικείμενο.

Στην μέθοδο αποτύπωσης με τη χρήση σαρωτών λέιζερ, χρησιμοποιούνται σαρωτές λέιζερ, οι οποίοι είναι όργανα που μπορούν να χαρακτηριστούν ως εξελιγμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί. Οι σαρωτές λέιζερ παρέχουν εξαιρετικά ακριβή και λεπτομερή δεδομένα σε πολύ υψηλές ανοχές, επομένως χρησιμοποιούνται γενικά για τη λήψη με λεπτομέρεια προσώπων, εσωτερικών χώρων ή/και περιορισμένων, στενών χώρων ή έργων όπου η ακρίβεια διαστάσεων ή τα επίπεδα λεπτομέρειας είναι κρίσιμα. Βασικά μειονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι το υψηλό κόστος και παρουσιάζει δυσκολίες στη μεταφορά και την αυτονομία.

Εκτός από τις τέσσερις παραπάνω μεθόδους υπάρχουν και άλλοι μέθοδοι που δεν είναι στους σκοπούς του παρόντος οδηγού. Για παράδειγμα για την αποτύπωση τεράστιων περιοχών μπορεί να χρησιμοποιούνται δορυφορικά δεδομένα ή αεροσκάφη είτε επανδρωμένα ή μη επανδρωμένα εξοπλισμένα με φωτογραφικές μηχανές πολύ υψηλής ανάλυσης ή με αισθητήρες λέιζερ.

Η επιλογή της μεθόδου αποτύπωσης μπορεί να καθοδηγηθεί λαμβάνοντας υπόψη το μέγεθος του αντικειμένου, την πολυπλοκότητά του και την προσβασιμότητά του, αλλά ενδέχεται να προκύψουν περιορισμοί από τον προϋπολογισμό και τον διαθέσιμο εξοπλισμό. Σε όρους μεγέθους και πολυπλοκότητας αντικειμένου, το Σχήμα 1 προσπαθεί να διαφοροποιήσει τις διαθέσιμες μεθόδους αποτύπωσης για την καθοδήγηση του χρήστη προς μία κατάλληλη απόφαση.



Σχήμα 1 - Διαθέσιμες μέθοδοι αποτύπωσης σε όρους μεγέθους (χιλίμετρα) και πολυπλοκότητας αντικειμένου [2]

## 2.1 Βασικές έννοιες

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται κάποιες βασικές έννοιες της 3D ψηφιοποίησης.

### 2.1.1 Νέφος σημείων

Στην 3D απεικόνιση, ένα σημείο (point), είναι το μικρότερο διευθυνσιοδοτήσιμο στοιχείο σε ένα νέφος σημείων (point cloud), όπως ακριβώς είναι ένα εικονοστοιχείο (pixel) σε μια ψηφιακή εικόνα. Ένα νέφος σημείων είναι ένα διακριτό σύνολο σημείων δεδομένων στον χώρο, το οποίο μπορεί να αντιπροσωπεύει ένα τρισδιάστατο αντικείμενο/α, ανεξαρτήτου μεγέθους, διαμορφώνοντας μια αναπαράσταση του αντικειμένου. Το νέφος σημείων λαμβάνεται απευθείας από τρισδιάστατους σαρωτές λέιζερ ή προέρχεται από φωτογραμμετρική επεξεργασία φωτογραφιών και αποτελείται από εκατομμύρια σημεία (Σχήμα 2) που αποτυπώνει τη γεωμετρία του αντικειμένου. Τα νέφη σημείων είναι συνήθως αδόμητα, ακανόνιστα και ακατάστατα (δεν είναι δηλαδή σαν ένα ομοιόμορφο πλέγμα).



Κάθε σημείο προσδιορίζεται στον χώρο με τις καρτεσιανές συντεταγμένες του  $(X, Y, Z)$ , συνοδεύεται από τιμές χρώματος, αν υφίσταται η χρησιμότητά τους και αν προέρχεται από τρισδιάστατο σαρωτή, μπορεί να έχει και την τιμή έντασης της ανακλώμενης ακτίνας.



Σχήμα 2 – Τμήμα ενός νέφους σημείων πυργίσκου

### 2.1.2 Ανάλυση νέφους σημείων

Το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό ενός νέφους σημείων, παρόμοια με την ψηφιακή εικόνα, είναι η ανάλυσή του (resolution). Η διαφορά τους έγκειται στο γεγονός ότι ενώ στην ψηφιακή εικόνα έχουμε εικονοστοιχεία δύο διαστάσεων, σε ένα νέφος σημείων έχουμε μονοδιάστατα σημεία με κενό χώρο μεταξύ τους. Κατά συνέπεια η έννοια της ανάλυσης ενός νέφους σημείων οδηγεί σε δύο άλλους όρους: την πυκνότητα σημείων (point density) και την απόσταση σημείων (point spacing).

Η πυκνότητα σημείων περιγράφει τον αριθμό των σημείων σε μια δεδομένη περιοχή. Ενωσιολογικά, μια περιοχή ορίζεται γύρω από κάθε σημείο και ο αριθμός των σημείων που εμπίπτουν στην περιοχή αθροίζεται και διαιρείται με την έκταση της περιοχής. Έτσι αν αναφερόμαστε σε ένα νέφος σημείων

που αποτυπώνει ένα μεγάλο αντικείμενο, όπως ένα κτήριο, η πυκνότητα σημείων συνήθως δίνεται για ένα τετραγωνικό μέτρο και επομένως χρησιμοποιεί τη μονάδα σημεία/μ<sup>2</sup>. Η πυκνότητα σημείων είναι ένας δείκτης της ανάλυσης των δεδομένων: υψηλότερη πυκνότητα σημαίνει περισσότερες πληροφορίες (υψηλή ανάλυση), ενώ χαμηλότερη πυκνότητα σημαίνει λιγότερες πληροφορίες (χαμηλή ανάλυση).

Ενώ η πυκνότητα σημείων αναφέρεται στον αριθμό των σημείων ανά μονάδα επιφάνειας, η απόσταση σημείων είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει πόσο μακριά είναι κάθε σημείο από γειτονικά σημεία. Η πυκνότητα και η απόσταση των σημείων σχετίζονται άμεσα μεταξύ τους, καθώς η υψηλότερη πυκνότητα θα έχει ως αποτέλεσμα μικρότερη απόσταση μεταξύ των νεφών και το αντίστροφο. Υποθέτοντας ένα κανονικά κατανεμημένο νέφος σημείων, η απόσταση των σημείων είναι η τετραγωνική ρίζα του μέσου εμβαδού ανά σημείο (το εμβαδόν του πολυγώνου διαιρούμενο με τον αριθμό των σημείων που περιέχει).

### 2.1.3 Ταυτοποίηση νεφών σημείων

Τα δεδομένα μέτρησης ενός 3D σαρωτή λέιζερ συνίστανται σε μεμονωμένα νέφη σημείων. Για να αξιοποιηθούν στο σύνολό τους θα πρέπει να ρυθμιστεί η θέση και ο προσανατολισμός τους έτσι ώστε κάθε σάρωση να χρησιμοποιεί ένα κοινό σύστημα συντεταγμένων. Η διαδικασία αυτή χαρακτηρίζεται ως ταυτοποίηση (registration) και μπορεί να γίνει με τρεις μεθόδους. Σύμφωνα με την πρώτη, χρησιμοποιούνται ειδικοί στόχοι ή σφαίρες οι οποίες τοποθετούνται σε διάφορες θέσεις πάνω στο αντικείμενο, αυτές στη συνέχεια σαρώνονται με ακρίβεια από κάθε θέση, προσδιορίζονται οι συντεταγμένες τους και οι σαρώσεις ταυτοποιούνται βάσει των αντίστοιχων στόχων. Στη δεύτερη μέθοδο ταυτοποίησης των νεφών σημείων που καλείται γεωαναφορά, κάθε νέφος προσανατολίζεται με βάση τα γνωστά σημεία των οποίων οι συντεταγμένες έχουν προσδιοριστεί από την τοπογραφική αποτύπωση. Η τρίτη μέθοδος προϋποθέτει τη λήψη δεδομένων με ικανοποιητική επικάλυψη και χρησιμοποιεί την τεχνική ταυτοποίησης αναγνωρίζοντας κοινά χαρακτηριστικά σημεία μεταξύ διαδοχικών νεφών σημείων (cloud-to cloud). Έτσι όλα τα νέφη αναφέρονται σε ένα κοινό σύστημα αναφοράς. Η ταυτοποίηση νεφών σημείων μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για δεδομένα που προέρχονται από διαφορετικές τεχνικές. Για παράδειγμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ταυτοποίηση δεδομένων που προήλθαν από σάρωση λέιζερ, αλλά και από δεδομένα που προήλθαν από φωτογραμμετρική αποτύπωση.

### 2.1.4 Απόσταση δείγματος εδάφους

Η απόσταση δείγματος εδάφους (ground sample distance-GSD) είναι μια μέτρηση που είναι χρήσιμη για τις φωτογραμμετρικές αποτυπώσεις. Το GSD αναφέρεται στις φωτογραφίες που λαμβάνονται και ορίζεται ως η απόσταση μεταξύ των κέντρων δύο γειτονικών εικονοστοιχείων που μετρούνται στο έδαφος. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του GSD, τόσο χαμηλότερη είναι η χωρική ανάλυση της εικόνας και τόσο λιγότερο ορατές λεπτομέρειες υπάρχουν. Το GSD είναι το μέγεθος στον πραγματικό κόσμο αυτού του τμήματος του αντικειμένου που αντιπροσωπεύεται από ένα εικονοστοιχείο μιας ψηφιακής εικόνας (Σχήμα 3). Είναι συνάρτηση (1) εστιακού μήκους, απόσταση κάμερας από το θέμα (ή ύψος πτήσης) και μέγεθος εικονοστοιχείου.

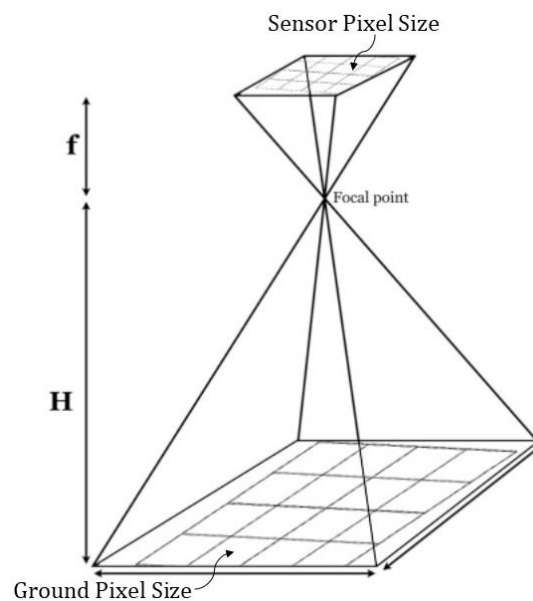
$$GSD = (H/f) \times p \quad (1)$$

όπου:

$H$  = η απόσταση κάμερας από το αντικείμενο ή το ύψος πτήσης

$f$  = η εστιακή απόσταση

$p$  = μέγεθος εικονοστοιχείου (μέγεθος αισθητήρα σε έναν άξονα διαιρούμενο με τον αριθμό των εικονοστοιχείων στον ίδιο άξονα).



Σχήμα 3 – Το GSD σχηματικά<sup>2</sup>

<sup>2</sup> [https://gsp.humboldt.edu/olm/Courses/GSP\\_216/lessons/air-photo.html](https://gsp.humboldt.edu/olm/Courses/GSP_216/lessons/air-photo.html)



Το GSD δεν αναφέρεται μόνο σε περίπτωση εναέριας φωτογραμμετρίας αλλά όπως αναφέρεται στην μεταβλητή  $H$  παραπάνω και στην απόσταση της κάμερας από το αντικείμενο. Συνεπώς είναι μέτρηση που όπως θα δούμε παρακάτω χρησιμεύει για τον καθορισμό των προδιαγραφών ενός φωτογραμμετρικού έργου αποτύπωσης είτε εναέριου ή επίγειου.

### 2.1.5 Σημεία ελέγχου

Ως σημείο ελέγχου ορίζεται μια επακριβώς ελεγμένη θέση συντεταγμένων για ένα φυσικό χαρακτηριστικό που μπορεί να αναγνωριστεί στο αντικείμενο προς αποτύπωση ή στο χώρο που περιβάλλει αυτό, όπως για παράδειγμα το έδαφος που περιβάλλει ένα κτήριο. Τα σημεία ελέγχου μπορεί να είναι τεχνητοί στόχοι (Σχήμα 4) ή φυσικά, δηλαδή κάποιο ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του αντικειμένου (Σχήμα 5). Τα σημεία ελέγχου χρησιμοποιούνται για τη γεωαναφορά του αντικειμένου σε γνωστό σύστημα συντεταγμένων αν αυτό είναι απαραίτητο, για τη ταυτοποίηση των νεφών σημείων όπως αναφέρθηκε παραπάνω, για την υποβοήθηση επίλυσης (αύξηση της ακρίβειας) των φωτογραμμετρικών εξισώσεων (μετατροπή των φωτογραφιών σε 3D νέφος σημείων) και για τον έλεγχο της μετρητικής ακρίβειας στο τελικό 3D μοντέλο.



Σχήμα 4 - Τεχνητοί στόχοι σφαιρικοί (αριστερά) και τύπου σκακιέρας (δεξιά)

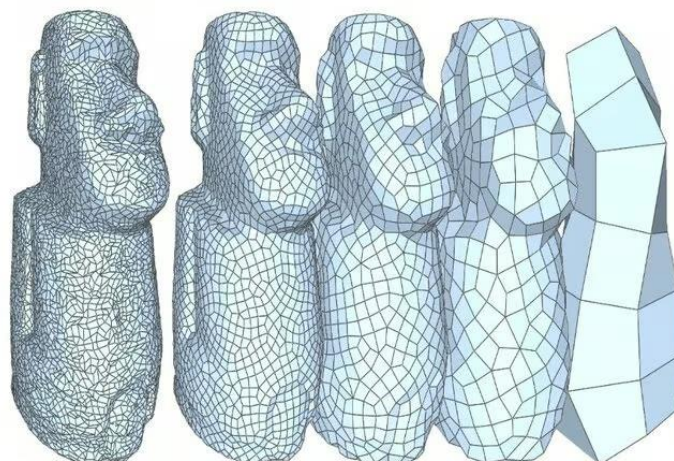


Σχήμα 5 - Παράδειγμα χρήσης σταθερών σημείων ως σημείων ελέγχου

### 2.1.6 Μοντέλο επιφάνειας

Για την παραγωγή ενός πραγματικού μοντέλου επιφάνειας, το νέφος σημείων πρέπει να μετατραπεί σε πλέγμα. Η μετατροπή αυτή είναι μια μαθηματική διαδικασία που χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση των επιφανειών του αντικειμένου ως μια σειρά από πολύγωνα χωρίς κενά (Σχήμα 6). Στην 3D ψηφιοποίηση η πιο συνηθισμένη μορφή είναι το τριγωνικό πλέγμα, με τα τρίγωνα να ποικίλλουν σε μέγεθος για να αντιπροσωπεύουν την επιφάνεια όσο το δυνατόν ακριβέστερα ανάλογα με την πυκνότητα των σημείων μέσα στο νέφος σημείων. Αυτό το πλέγμα αναφέρεται ως τριγωνικό ακανόνιστο δίκτυο (triangulated irregular network-TIN) ή πιο απλά τριγωνικό πλέγμα (mesh). Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των τριγώνων σε ένα αντικείμενο τόσο πιο λεπτομερής είναι η αποτύπωσή του. Για τη πιστή αναπαράσταση του αντικειμένου, στο τριγωνικό πλέγμα εφαρμόζονται και οι πληροφορίες χρώματος (Σχήμα 7).





Σχήμα 6 - Το ίδιο μοντέλο, από υψηλότερο (αριστερά) έως χαμηλότερο (δεξιά) πλήθος πολυγώνων<sup>3</sup>



Σχήμα 7 – Αρχαίο λυχνάρι με πληροφωρία χρώματος, πυκνό νέφος σημείων (αριστερά) λεπτομερές τριγωνικό πλέγμα (δεξιά)

## 2.2. 3Δ σαρωτές λέιζερ

Στη βιβλιογραφία έχουν προταθεί διάφορες ταξινομήσεις 3Δ σαρωτών με πιο βασική την ταξινόμηση, όπου διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες, ανάλογα με το αν σαρώνουν το αντικείμενο ενδιαφέροντος χωρίς φυσική επαφή (σαρωτές χωρίς επαφή) ή εάν χρειάζονται φυσική επαφή για τη σάρωση (σαρωτές επαφής) (Σχήμα 8) [3]. Οι σαρωτές επαφής χρησιμοποιούνται κυρίως στην αεροδιαστημική, τη μηχανική, τη συναρμολόγηση και την αυτοκινητοβιομηχανία.

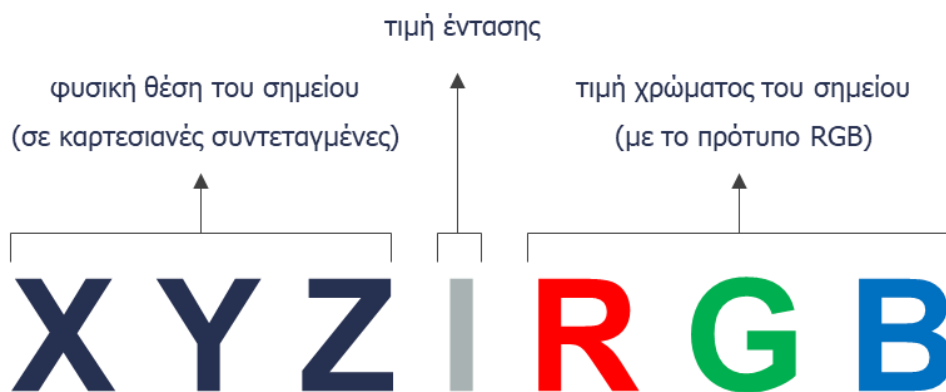
Οι 3Δ σαρωτές λέιζερ, είναι σαρωτές χωρίς επαφή και όργανα ενεργούς απεικόνισης τα οποία δίνουν σε πραγματικό χρόνο τις συντεταγμένες του αντικειμένου που αποτυπώνεται σε τρεις διαστάσεις. Η βασική αρχή λειτουργίας τους είναι ότι μία ακτίνα λέιζερ εκπέμπεται και για κάθε σημείο του χώρου καταγράφονται οι συντεταγμένες του (XYZ). Ταυτόχρονα, ο σαρωτής καταγράφει την ανακλαστικότητα του σημείου δίνοντας μια τιμή έντασης (i). Κατά την σάρωση, οι σύγχρονοι

<sup>3</sup> <https://all3dp.com/2/most-common-3d-file-formats-model/>

σαρωτές συλλέγουν και φωτογραφίες με την ενσωματωμένη φωτογραφική μηχανή που διαθέτουν έτσι ώστε να ορίζεται το χρώμα και η υφή της αποτυπωμένης επιφάνειας (Σχήμα 9). Μια σάρωση μπορεί να ολοκληρωθεί μέσα σε λίγα λεπτά και να μας δώσει ένα λεπτομερές νέφος σημείων που σχηματίζει και αποδίδει λεπτομερέστατα τη γεωμετρία του αντικειμένου.



Σχήμα 8 – Σαρωτής λέιζερ χωρίς φυσική επαφή (αριστερά) και με φυσική επαφή (δεξιά)<sup>4</sup>



Σχήμα 9 – Μετρήσεις που λαμβάνει για κάθε σημείο ένας 3Δ σαρωτής λέιζερ

Οι 3Δ σαρωτές λέιζερ έχουν σημειώσει σημαντική πρόοδο τα τελευταία χρόνια, με αυξήσεις στην ταχύτητα συλλογής δεδομένων, βελτιώσεις στην ποιότητα των δεδομένων και ανάπτυξη μεθόδων που επιτρέπουν την ταχεία αποτύπωση δυσκολότερων περιοχών, προσαρμοσμένοι σε διάφορα μέσα μεταφοράς. Διακρίνονται σε χειρός, επίγειους (σε τρίποδα), φορητούς (χειρός, τοποθετημένοι σε σακίδιο ή σε όχημα) και αερομεταφερόμενους σε προσαρμοσμένο αεροσκάφος ή σε Μη Επανδρωμένο Όχημα (Unmanned Aerial Vehicle-UAV), κοινώς γνωστό ως drone. Οι

<sup>4</sup> <https://www.faro.com/>

περισσότεροι σαρωτές λέιζερ λειτουργούν με μία από τις τρεις αρχές εμβέλειας: τριγωνισμού, παλμού ή σύγκρισης φάσης [4], [5].

### 2.2.1 Σαρωτές τριγωνισμού

Οι σαρωτές τριγωνισμού (triangulation) χρησιμοποιούνται γενικά για σαρώσεις μικρών αντικειμένων διαστάσεων που κυμαίνονται από 0,5-2μ (Σχήμα 10). Οι τρισδιάστατες συντεταγμένες υπολογίζονται με τριγωνισμό της θέσης μιας δέσμης ή λωρίδας φωτός λέιζερ. Μερικοί από αυτούς τους σαρωτές, λειτουργούν σε παρόμοια βάση με λευκό φως αντί για λέιζερ. Η βασική αρχή λειτουργίας βασίζεται στην εκπομπή μιας ακτίνας λέιζερ κατά μήκος του θέματος και κάθε ανάκλαση εστιάζεται στον αισθητήρα από τον φακό. Η θέση του σημείου στον αισθητήρα, η γνωστή απόσταση μεταξύ της εκπομπής και της λήψης και η καταγεγραμμένη γωνία σε συνδυασμό, παρέχουν τρισδιάστατες συντεταγμένες με βάση τη βασική τριγωνομετρία.



Σχήμα 10 – Σαρωτές τριγωνισμού<sup>5</sup>

Μια εναλλακτική είναι η χρήση ενός υπέρυθρου προβολέα, ο οποίος εκπέμπει δομημένο φως (structured light), δηλαδή ένα προσχεδιασμένο σχέδιο εικονοστοιχείων. Πρόκειται για μη-ορατό

---

<sup>5</sup> <https://www.creaform3d.com/en>

φως (σχεδόν σε μήκος κύματος υπεριώθρων), που περνά από ένα φίλτρο και σκεδάζεται σε ένα ημι-τυχαίο αλλά σταθερό σχέδιο από μικρές κουκκίδες που προβάλλεται στο περιβάλλον μπροστά στον αισθητήρα. Ο αισθητήρας βάθους λαμβάνει το ανακλώμενο σχέδιο και υπολογίζει το σχήμα και την θέση του αντικειμένου. Ενδεικτικά μερικοί από τους πιο γνωστούς σαρωτές τριγωνισμού που διατίθενται στην αγορά είναι: Artec Space Spider<sup>6</sup> (Εύρος: έως 0,05μμ) και Creaform HandySCAN 3D<sup>7</sup> (Εύρος: έως 0,05μμ).

### 2.2.2 Σαρωτές παλμού

Οι σαρωτές παλμών (pulse ή time-of-flight, ToF) βασίζονται στην αρχή ότι εκπέμπεται μια ακτίνα λέιζερ και μετρείται ο χρόνος που χρειάζεται για να επιστρέψει από το αντικείμενο. Η απόσταση υπολογίζεται από τον τύπο: Απόσταση = (Ταχύτητα φωτός x Χρόνος πτήσης)/2. Οι σαρωτές αυτοί απαιτούν έναν εξελιγμένο μηχανισμό χρονισμού και ένα ακριβές σύστημα περιστροφής καθρέπτη 360° γύρω από έναν κατακόρυφο άξονα και μεταξύ 270° και 330° γύρω από έναν οριζόντιο άξονα. Για την περιοχή που σαρώθηκε, η απόσταση που μετρήθηκε χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των 3D συντεταγμένων (x, y, z) για κάθε σημείο. Με μια απλή σάρωση, ένας σαρωτής λέιζερ καταγράφει εκατομμύρια σημεία με τις αντίστοιχες 3D συντεταγμένες. Ενδεικτικά μερικοί από τους πιο γνωστούς επίγειους σαρωτές λέιζερ που βασίζονται στην αρχή ToF και διατίθενται στην αγορά είναι: Leica RTC360<sup>8</sup> (Εύρος: 0,5μ έως 130μ), Riegl VZ-2000i<sup>9</sup> (Εύρος: 1μ έως 2.500μ), Teledyne Optech Polaris<sup>10</sup> (Εύρος: 1,5μ έως 250μ/750μ/2.000μ), Topcon GLS1500<sup>11</sup> (Εύρος: έως 330μ), Trimble X7 3D Scanner<sup>12</sup> (Εύρος: 0,6μ έως 80μ).

Μια ενδιαφέρουσα συνοδευτική εξέλιξη με τους σαρωτές ToF είναι η ενσωμάτωση βελτιωμένων καμερών, τόσο σε ανάλυση όσο και σε ποιότητα εικόνας. Συνήθως, χρησιμοποιείται μια κάμερα σχετικά χαμηλής ανάλυσης με στενό οπτικό πεδίο για τη λήψη μιας σειράς φωτογραφιών στην ίδια περιοχή κάλυψης με τη σάρωση λέιζερ. Οι φωτογραφίες είναι συραμμένες με ακρίβεια σε ένα μωσαϊκό χωρίς συρραφή, το οποίο στη συνέχεια μπορεί να επικολληθεί στα δεδομένα σάρωσης. Η διαδικασία μωσαϊκού είναι διαφορετική από τα συμβατικά πανοράματα, καθώς χρησιμοποιεί τον

---

<sup>6</sup> <https://www.artec3d.com/portable-3d-scanners/artec-spider>

<sup>7</sup> <https://www.goengineer.com/3d-scanners/creaform/handyscan#specifications>

<sup>8</sup> <https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/scanners/leica-rtc360>

<sup>9</sup> <http://www.riegl.com/nc/products/terrestrial-scanning/produktdetail/product/scanner/58/>

<sup>10</sup> <https://www.teledyneoptech.com/en/products/static-3d-survey/polaris/>

<sup>11</sup> <http://topconcare.com/en/hardware/scanning/gls-1500/>

<sup>12</sup> <https://tunneling.trimble.com/x7>

γνωστό προσανατολισμό κάθε φωτογραφίας, αντί για ανίχνευση χαρακτηριστικών. Μέρος της βελτίωσης στις κάμερες είναι η χρήση μεθόδων απεικόνισης υψηλού δυναμικού εύρους (HDR), διότι συχνά συμβαίνει ότι ένας γεμάτος θόλος εικόνων θα έχει ευρέως ποικίλες εκθέσεις από, για παράδειγμα, μια σκιασμένη πλευρά ενός κτιρίου έως έναν φωτεινό μπλε ουρανό ή από μια σκοτεινή γωνία ενός δωματίου έως έναν προβολέα οροφής.

### 2.2.3 Σαρωτές σύγκρισης φάσεων

Οι σαρωτές σύγκρισης φάσεων προσφέρουν παρόμοιες ακρίβειες με τους σαρωτές ToF. Ένας σαρωτής σύγκρισης φάσεων λειτουργεί με την αρχή του προσδιορισμού της απόστασης ενός αντικειμένου με τη διαφορά στη μετατόπιση φάσης μεταξύ του εκπεμπόμενου και του επιστρεφόμενου σήματος. Αυτοί οι σαρωτές χρησιμοποιούν μια σταθερή δέσμη ακτίνων λέιζερ από τον σαρωτή και μετρούν τη μετατόπιση φάσης για να υπολογίσουν την απόσταση. Οι σαρωτές σύγκρισης φάσεων περιλαμβάνουν επίσης κάμερες και επεξεργασία HDR. Ενδεικτικά μερικοί από τους πιο γνωστούς επίγειους σαρωτές λέιζερ που βασίζονται στην αρχή σύγκρισης φάσεων και διατίθενται στην αγορά είναι: ARTEC RAY<sup>13</sup> (Εύρος: 0,5μ έως 130μ), FARO Focus M 70<sup>14</sup> (Εύρος: 0,6μ έως 70μ), Leica BLK360<sup>15</sup> (Εύρος: 0,6μ έως 60μ), Zoller+Fröhlich Imager 5016<sup>16</sup> (Εύρος: έως 360μ).

### 2.2.4 Σαρωτές κάμερας

Μια εξελισσόμενη τεχνολογία είναι οι σαρωτές που αντί να λαμβάνεται ένας παλμός φωτός από έναν αισθητήρα, μια μήτρα αισθητήρων μπορεί να λειτουργήσει ως ενεργή κάμερα που μετρά τόσο την απόσταση όσο και την ένταση. Οι κάμερες αυτής της μορφής που σαρώνουν και αποδίδουν αντικείμενα σε 3D αποτελούν πλέον τυπικό χαρακτηριστικό σε πολλά έξυπνα κινητά τηλέφωνα. Για να καταγράψουν αυτές τις μετρήσεις, οι τρισδιάστατες κάμερες απαιτούν συχνά τη δική τους πηγή φωτός. Συχνά, αυτή η πηγή φωτός είναι ένα μικροσκοπικό λέιζερ ενσωματωμένο σε μια συσκευή κοντά στην κάμερα (Σχήμα 11). Πολλοί κατασκευαστές χρησιμοποιούν υπέρυθρο αισθητήρα δομημένου φωτός για το σκοπό αυτό.

---

<sup>13</sup> <https://www.artec3d.com/portable-3d-scanners/laser-ray>

<sup>14</sup> <https://www.faro.com/en/Products/Hardware/Focus-Laser-Scanners>

<sup>15</sup> <https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/scanners/blk360>

<sup>16</sup> <https://www.zofre.de/laserscanner/3d-laserscanner/z-f-imager-5016>





Σχήμα 11 - Apple iPhone με ενσωματωμένο αισθητήρα λέιζερ<sup>17</sup>

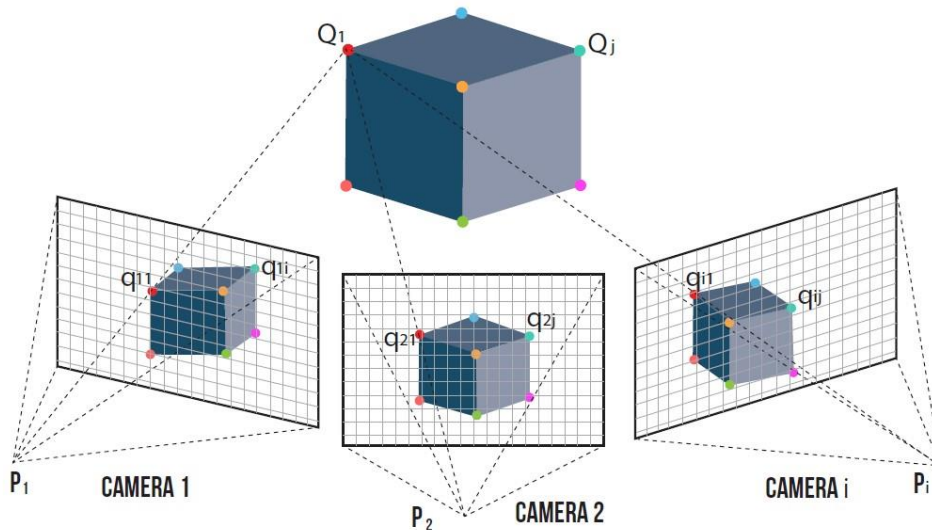
Αυτός ο συνδυασμός αισθητήρων χρησιμοποιείται για τη συλλογή 3D νεφών σημείων σε πραγματικό χρόνο. Η τεχνολογία αυτή έχει εξελιχθεί τα τελευταία χρόνια και θα είναι ενδιαφέρον να δούμε πώς θα εξελιχθεί η τεχνολογία, αλλά ήδη φαίνεται να υπάρχει σοβαρή δυνατότητα χρήσης της σε αποτυπώσεις μικρής κλίμακας [6]–[9].

### 2.3. Φωτογραμμετρικές μέθοδοι

Η φωτογραμμετρία είναι η τέχνη και η επιστήμη της εξαγωγής τρισδιάστατων πληροφοριών από φωτογραφίες. Η διαδικασία περιλαμβάνει τη λήψη επικαλυπτόμενων φωτογραφιών ενός αντικειμένου, δομής ή χώρου και τη μετατροπή τους σε ψηφιακά μοντέλα τριών διαστάσεων (Σχήμα 12). Υπάρχουν δύο κύριοι τύποι φωτογραμμετρίας: η εναέρια και η φωτογραμμετρία κοντινής εμβέλειας.

---

<sup>17</sup> <https://www.apple.com/iphone-15-pro/specs/>



Σχήμα 12 - Φωτογραμμετρική λειτουργία [10]

Η εναέρια είναι η διαδικασία χρήσης αεροσκαφών για την αεροφωτογράφιση που μπορεί να μετατραπεί σε μοντέλο τριών διαστάσεων ή να χαρτογραφηθεί ψηφιακά. Ο πιο συνηθισμένος τύπος εναέριας φωτογραμμετρίας είναι η φωτογράφιση από κατάλληλη φωτογραφική μηχανή η οποία είναι τοποθετημένη σε μη επανδρωμένο εναέριο όχημα, που είναι γνωστό όπως αναφέρθηκε ως drone. Τα drones έχουν διευκολύνει την ασφαλή αεροφωτογράφιση δυσπρόσιτων αντικειμένων ή δυσπρόσιτων περιοχών όπου η παραδοσιακή τοπογραφία θα μπορούσε να είναι επικίνδυνη ή μη πρακτική. Στη φωτογραμμετρία κοντινής εμβέλειας οι εικόνες καταγράφονται με χρήση κάμερας χειρός ή με κάμερα τοποθετημένη σε τρίποδο. Το αποτέλεσμα αυτής της μεθόδου δεν είναι η ψηφιοποίηση μεγάλων αντικειμένων, αλλά η κατασκευή τρισδιάστατων μοντέλων αντικειμένων μικρότερης κλίμακας.

Οι φωτογραφίες που λαμβάνονται και με τους δύο παραπάνω τρόπους υφίστανται επεξεργασία με κατάλληλους αλγορίθμους για να δημιουργηθεί το μοντέλο τριών διαστάσεων σε μορφή, όπως και στην περίπτωση των σαρωτών λέιζερ, ενός λεπτομερούς νέφους σημείων. Η εξέλιξη των αλγορίθμων αυτών, μαζί με την εξέλιξη των drones και των καμερών που ενσωματώνουν σε συνδυασμό με την αύξηση της υπολογιστικής ισχύος ακόμη και οικιακών υπολογιστών, κατέστησαν πολύ προσιτές τις φωτογραμμετρικές μεθόδους.

## 2.4. Τοπογραφικές μέθοδοι

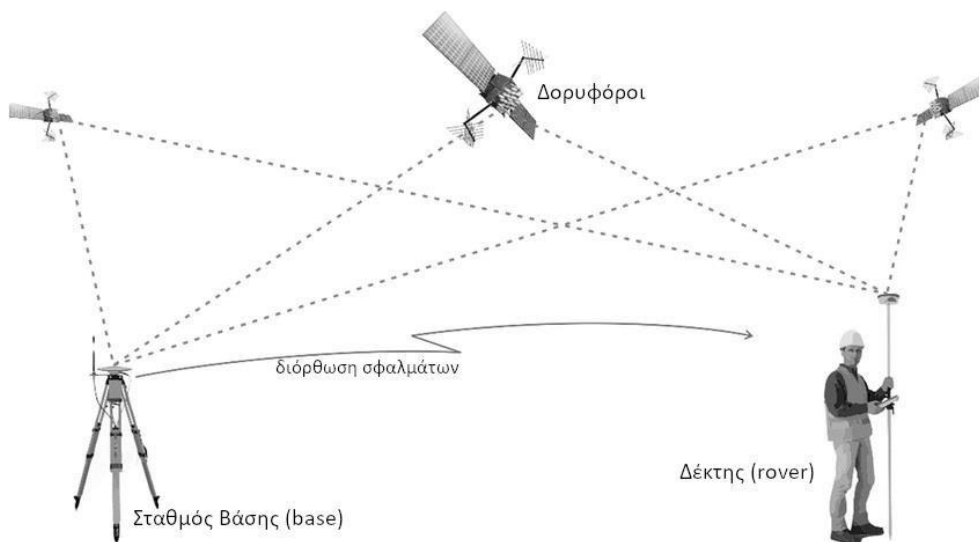
Στην τοπογραφικές μεθόδους χρησιμοποιούνται τοπογραφικά όργανα. Από τις μετρήσεις αυτές μπορούν να προκύψουν δεδομένα αποτύπωσης ενός αντικειμένου αλλά η χρήση τους για αυτό τον λόγο είναι περιορισμένος λόγω των μειονεκτημάτων που παρουσιάστηκαν στην εισαγωγή του παρόντος κεφαλαίου. Αντίθετα, χρησιμοποιούνται ευρέως σε συνδυασμό με τις δύο άλλες μεθόδους (φωτογραμμετρική και μέθοδος με χρήση σαρωτή λέιζερ) για τη μέτρηση σημείων ελέγχου (ενότητα 2.1.5). Είναι προφανές ότι το τελευταίο έχει νόημα σε μεσαίας με μεγάλης κλίμακας αντικείμενα (π.χ. από ένα μνημείο μέχρι μια ολόκληρη περιοχή).

Όταν ένα έργο αποτύπωσης απαιτεί και τη γεωαναφορά του αντικειμένου ή της περιοχής, οι προδιαγραφές που τίθενται συνιστάται να απαιτούν πλήρη γεωαναφορά στο εθνικό δίκτυο συντεταγμένων (για την Ελλάδα στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987 ή ΕΓΣΑ'87) σε όλη την τοποθεσία. Για τη δημιουργία ενός δικτύου σημείων ελέγχου μεγάλης ακριβείας απαιτούνται μετρήσεις κυρίως από δύο όργανα: από ένα παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα πλοήγησης (global navigation satellite system-GNSS) που λειτουργεί με τη μέθοδο του σχετικού κινήματικού προσδιορισμού και έναν γεωδαιτικό σταθμό (Total station).

### 2.4.1 Σχετικός κινήματικός προσδιορισμός

Η μέθοδος σχετικού κινήματικού προσδιορισμού RTK (Real Time Kinematic).RTK είναι κινήματικός προσδιορισμός, στην οποία χρησιμοποιούνται δύο δέκτες (base – rover), με την προϋπόθεση ότι υπάρχει επικοινωνία μεταξύ των δεκτών, η οποία πραγματοποιείται είτε με κάποιο UHF modem είτε με κάποιο GSM/GPRS modem. Ο κινήματικός δέκτης λαμβάνει συνεχώς διορθώσεις από τη βάση, η οποία έχει γνωστές συντεταγμένες X,Y,Z και τις χρησιμοποιεί για να επιλύσει τα σφάλματα από τις δορυφορικές λήψεις για την επίτευξη μεγαλύτερης οριζοντιογραφικής και υψομετρικής ακριβείας, στις θέσεις μέτρησης (Σχήμα 13). Με την μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται ακρίβεια της τάξης του εκατοστού σχεδόν σε πραγματικό χρόνο.





Σχήμα 13 - Αρχή λειτουργίας RTK

Σε πολλά όργανα μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο ο κινητός δέκτης, όταν υπάρχουν σταθερές βάσεις της εταιρείας παραγωγής του οργάνου και υπάρχει η σχετική συνδρομή από τον χρήστη. Οι μεγαλύτερες εταιρείες παραγωγής τέτοιων οργάνων έχουν στήσει τέτοια δίκτυα σταθερών βάσεων σε πολλά σημεία της ελληνικής επικράτειας. Μια αξιοσημείωτη τεχνολογική εξέλιξη είναι η κατασκευή τέτοιου οργάνου που ενσωματώνεται σε έξυπνο κινητό με ενσωματωμένο αισθητήρα λέιζερ (Σχήμα 14), παρέχοντας την δυνατότητα συνδυασμού αποτύπωσης με φορητή συσκευή μαζί με ακριβείς μετρήσεις θέσης.



Σχήμα 14 – Pix4D viDoc RTK rover<sup>18</sup>

<sup>18</sup> <https://www.pix4d.com/product/vidoc-rtk-rover/>

## 2.4.2 Γεωδαιτικός σταθμός

Γεωδαιτικός σταθμός ή Total station (Σχήμα 15) ονομάζεται τοπογραφικό όργανο που έχει δυνατότητα μέτρησης γωνιών και αποστάσεων. Αποτελεί συνδυασμό σε ενιαία συσκευή, ψηφιακού θεοδόλιχου με ηλεκτρονική μέτρηση απόστασης (electronic distance measurement-EDM) για τη μέτρηση τόσο των κατακόρυφων όσο και των οριζόντιων γωνιών και της απόστασης κλίσης από το όργανο σε ένα συγκεκριμένο σημείο, και έναν υπολογιστή ενσωματωμένο για τη συλλογή δεδομένων και την εκτέλεση υπολογισμών τριγωνισμού. Επιτρέπει στο χρήστη του να συλλέγει όλες τις μετρήσεις που του είναι απαραίτητες για μία τοπογραφική αποτύπωση με χρήση της ψηφιακής τεχνολογίας.



Σχήμα 15 - Topcon OS-101<sup>19</sup> Total Station

<sup>19</sup> <https://www.topconpositioning.com/gb/total-stations/manual-total-stations/os-100>

### 3. Μεθοδολογία ψηφιοποίησης

Στον παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται προτεινόμενη μεθοδολογία για την υλοποίηση ενός έργου ψηφιοποίησης. Η επιλογή της μεθόδου ψηφιοποίησης μπορεί να σχεδιαστεί/ να γίνει ανάλογα με το μέγεθος του αντικειμένου, την πολυπλοκότητά του και την προσβασιμότητά του, αλλά μπορεί να προκύψουν περιορισμοί από τον προϋπολογισμό και τον διαθέσιμο εξοπλισμό. Οι συστάσεις και καλές πρακτικές βασίζονται στην τεχνογνωσία των συγγραφέων και σε αντίστοιχες διαδεδομένες διεθνείς μελέτες και πηγές [2], [10]–[15].

Ένα ουσιαστικό μέρος της διαδικασίας σχεδιασμού είναι να καθοριστεί εάν υπάρχουν εναλλακτικές μέθοδοι για την επίτευξη των ίδιων στόχων. Η σάρωση με λέιζερ ή οποιαδήποτε μέθοδος μαζικής συλλογής δεδομένων μπορεί να είναι υπερβολική όταν απαιτούνται π.χ. βασικά σχέδια 2D σε μνημείο μεγάλης κλίμακας που μπορεί να εξυπηρετηθούν καλύτερα με ένα γεωδαιτικό σταθμό. Εάν απαιτείται ταυτόχρονη ερμηνεία από έναν αρχιτέκτονα, συντηρητή, κτλ. τότε η διαδικασία της αποτύπωσης θα πρέπει να αποτελεί μέρος της παράλληλης θεματικής έρευνας.

Το μεγαλύτερο δίλημμα σε ένα έργο ψηφιοποίησης είναι αν πρέπει ο φορέας ή ο ιδιώτης να έχουν τον απόλυτο έλεγχο του αποτελέσματος ενός έργου, αλλά σε βάρος του χρόνου, των επενδύσεων και των πιθανών προβλημάτων, έναντι μιας δουλειάς που γίνεται εκτός φορέα, αλλά με ελάχιστη εσωτερική γνώση και υψηλό κόστος. Εάν υπάρχει συνεχής εργασία (π.χ. σε μια Εφορεία Αρχαιοτήτων), η δημιουργία μιας μονάδας ψηφιοποίησης θα αποκομίσει οφέλη μακροπρόθεσμα. Αν απαιτείται για παράδειγμα σάρωση με λέιζερ το κόστος του εξοπλισμού μπορεί να είναι απαγορευτικό καθιστώντας μονόδρομο την ανάθεση του έργου σε επαγγελματία του χώρου. Σε κάθε περίπτωση η διαδικασία του σχεδιασμού καθορίζεται από τις παραμέτρους που καθορίζει ο φορέας. Το παρόν κεφάλαιο παρουσιάζει την διαδικασία σχεδιασμού ενός έργου ψηφιοποίησης και τα βασικά στάδια της υλοποίησης ενός έργου με τις δύο μεθόδους, τη σάρωση λέιζερ και την φωτογραμμετρία, και τη παράλληλη χρήση τοπογραφικών μεθόδων όταν απαιτείται. Τα στάδια της υλοποίησης παρουσιάζονται αφενός για την περίπτωση που θα υλοποιηθεί το έργο με ίδια μέσα και αφετέρου να αποτελέσει έναν οδηγό κατανόησης της διαδικασίας έτσι ώστε να είναι ευκολότερη η κοστολόγηση ενός έργου σε περίπτωση που θα δοθεί εξωτερικά σε επαγγελματία. Σημειώνεται ότι η προτεινόμενη μεθοδολογία σχεδιασμού και υλοποίησης ενός έργου περιλαμβάνει τους γενικούς κανόνες που διέπουν ένα έργο. Η μεθοδολογία πρέπει να προσαρμόζεται με βάση το μέγεθος και την πολυπλοκότητα του αντικείμενου που πρόκειται να ψηφιοποιηθεί. Στην ενότητα 3.1 που ακολουθεί προτείνονται τα βήματα για το σχεδιασμό ενός έργου, στη συνέχεια στην 3.2 η υλοποίηση με χρήση

σαρωτή λέιζερ και στην 3.3 η υλοποίηση με χρήση φωτογραμμετρικών μεθόδων. Ο σχεδιασμός θα καθορίσει ποια μέθοδος είναι κατάλληλη, αλλά στην πράξη πολλά έργα απαιτούν τη χρήση συνδυασμού των δύο μεθόδων και ίσως και τη χρήση και τοπογραφικών μεθόδων.

### **3.1. Σχεδιασμός έργου ψηφιοποίησης**

Ένα από τα πιο βασικά στάδια ενός έργου ψηφιοποίησης είναι ο σχεδιασμός του. Ένας σωστός σχεδιασμός εγγυάται την αποτελεσματικότητα της ψηφιοποίησης. Το πρώτο βήμα είναι να πραγματοποιηθεί έρευνα εάν υπάρχει ήδη κάποια τεκμηρίωση για το υπό διερεύνηση έργο. Συνήθως είναι απίθανο, αλλά παλιά σχέδια, φωτογραφίες και αναφορές μπορούν να αποτελέσουν τη βάση για το καθορισμό του πλαισίου νέας ψηφιοποίησης και την παροχή πολύτιμων πληροφοριών.

#### **3.1.1 Σκοπός**

Ο σχεδιασμός ενός έργου ξεκινάει με τον καθορισμό του σκοπού που θα επηρεάσει τις μεθόδους και τις προδιαγραφές που απαιτούνται. Ο σκοπός θα καθορίσει τα χαρακτηριστικά που θα αποτυπωθούν και σε ποιο επίπεδο λεπτομέρειας θα πρέπει να απεικονιστούν. Πρέπει να απαντηθεί η βασική ερώτηση Για ποιο σκοπό θα γίνει η ψηφιοποίηση; Για οπτικοποίηση; Για τεκμηρίωση που απαιτεί υψηλή μετρητική ακρίβεια; Για στατική ανάλυση ενός κτηρίου ή μιας αρχαίας κατασκευής; Για δημιουργία μιας πίστας σε παιχνίδι; Απαντώντας σε αυτήν την ερώτηση μπορεί να καθοριστούν η μέθοδος/οι που θα χρησιμοποιηθούν και να ρυθμιστούν ανάλογα οι υπόλοιπες παράμετροι που παρουσιάζονται στη συνέχεια αυτού του κεφαλαίου.

#### **3.1.2 Συνθήκες τοποθεσίας**

Οι συνθήκες της τοποθεσίας του χώρου/αντικειμένου που πρόκειται να ψηφιοποιηθεί είναι σημαντικοί παράγοντες για την πιθανή επιτυχία ενός έργου και επηρεάζουν την απόφαση για την επιλογή της μεθόδου. Ενδεικτικά μπορεί να υπάρχουν:

- ζητήματα πρόσβασης, όπως ένα πρανές στην άκρη ενός γκρεμού
- δυσκολίες τοποθεσίας, όπως ένα κάστρο σε ένα λόφο
- φυσικά κινούμενα εμπόδια, όπως η συνεχής παρουσία ανθρώπων ή αυτοκινήτων
- φυσικά ακίνητα εμπόδια, όπως δέντρα ή πυκνή βλάστηση ή διπλανά αντικείμενα σε εκθέματα

ενός μουσείου

- άσχημες καιρικές συνθήκες, όπως βροχή και σκόνη που επηρεάζει τον εξοπλισμό ή άνεμος που επηρεάζει τη σταθερότητα
- χρονικοί περιορισμοί, όπως έργο που απαιτεί εργασία μόνο την νύχτα (π.χ. αντικείμενα σε μουσείο που λειτουργεί συνεχώς κατά τη διάρκεια της ημέρας).

### **3.1.3 Τελικά προϊόντα**

Τα απαιτούμενα τελικά προϊόντα πρέπει να καθορίζονται με σαφήνεια καθώς επηρεάζουν τη μέθοδο που θα επιλεγεί αλλά και την απαιτούμενη ανάλυση. Τα τελικά προϊόντα θα περιλαμβάνουν τις πληροφορίες που απαιτούνται για εργασίες ανάλυσης, διατήρησης ή διαχείρισης στο μέλλον. Η παράδοση για παράδειγμα 3Δ μοντέλων ή 2Δ αρχιτεκτονικών σχεδίων απαιτεί αρκετά διαφορετικά συστήματα επιτόπιας εργασίας και επεξεργασίας δεδομένων. Τα πιθανά προϊόντα που προέρχονται από εργασίες ψηφιοποίησης παρουσιάζονται στην ενότητα 4.1.

### **3.1.4 Κλίμακα του αντικειμένου**

Το μέγεθος του αντικειμένου ή της τοποθεσίας θα πρέπει να χρησιμοποιείται για να βοηθήσει στον καθορισμό της κατάλληλης μεθόδου ψηφιοποίησης. Για παράδειγμα για τεχνουργήματα, όπου απαιτείται ανάλυση και ακρίβεια κάτω του χιλιοστού, ένας σαρωτής λέιζερ χειρός θα ήταν πιθανώς η καλύτερη επιλογή. Για ένα κτίριο, ένας επίγειος σαρωτής λέιζερ θα ήταν καταλληλότερος. Για μία μεγάλη τοποθεσία, η χρήση φωτογραμμετρικών μεθόδων με εναέρια μέσα (drones) θα ήταν πιθανώς η καταλληλότερη μέθοδος.

### **3.1.5 Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του αντικειμένου**

Κάποια ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των αντικειμένων μπορούν να επηρεάσουν την μέθοδο που θα απαιτηθεί για την ψηφιοποίηση. Για παράδειγμα αν πρέπει να ψηφιοποιηθούν αντικείμενα που έχουν ιδιαίτερη λάμψη όπως ασημένια σκεύη θα ήταν δύσκολο να αποτυπωθούν με φωτογραμμετρική μέθοδο. Για το εσωτερικό ενός ναού, όπου υπάρχουν πολλές γυαλιστερές επιφάνειες η σάρωση λέιζερ θα παρουσίαζε λανθασμένες μετρήσεις. Σε κάθε περίπτωση υπάρχει δυνατότητα υπερκέρρασης αυτών των προβλημάτων, όπως π.χ. η κάλυψη των γυαλιστερών επιφανειών ή κάλυψη με σκόνη ενός γυαλιστερού σκεύους.

### 3.1.6 Ακρίβεια και ανάλυση

Ο πιο προφανής παράγοντας για το σχεδιασμό μιας ψηφιοποίησης χρησιμοποιώντας μια τεχνική μαζικής συλλογής δεδομένων είναι η διασφάλιση ότι οι απαιτούμενες πληροφορίες είναι πραγματικά ευδιάκριτες στο σύνολο δεδομένων. Αυτό ισχύει τόσο για δεδομένα σάρωσης λέιζερ που καθορίζεται από την πυκνότητα του νέφους σημείου όσο και για φωτογραφικά δεδομένα που καθορίζεται από το μέγεθος των εικονοστοιχείων. Ένας γενικός εμπειρικός κανόνας είναι ότι η πυκνότητα του σημείου ή η ανάλυση πρέπει να είναι μεγαλύτερη κατά δύο φορές από το μικρότερο χαρακτηριστικό που πρέπει να προσδιοριστεί. Με απλά λόγια, για παράδειγμα αν θα πρέπει να παραχθούν 2Δ σχέδια μιας όψης σε κλίμακα 1:50 θα πρέπει η ανάλυση να είναι ικανή να αποτυπώσει όλες τις λεπτομέρειες που περιέχει η όψη σε αυτή την κλίμακα.

Η απαιτούμενη ανάλυση καθορίζει και την μέθοδο που θα επιλεγεί αλλά και τα όργανα που θα χρησιμοποιηθούν. Ενδεικτικά, ο Πίνακας 2 παρουσιάζει την απαιτούμενη ανάλυση του νέφους σημείων (μέση απόσταση σημείων) στις τυπικές αρχιτεκτονικές κλίμακες των τελικών παραδοτέων [11]. Το νέφος σημείων μπορεί να προέρχεται από σάρωση λέιζερ ή να έχει παραχθεί κατόπιν φωτογραμμετρικής επεξεργασίας.

Πίνακας 2 - Απαιτούμενη ανάλυση νέφους σημείων στις τυπικές αρχιτεκτονικές κλίμακες

Κλίμακα	Ανάλυση
1:10	1-15μμ
1:20	3-30μμ
1:50	5-50μμ
1:100	15-100μμ
1:200	30-300μμ
1:500	75-750μμ

### 3.1.7 Προϋπολογισμός

Η ψηφιοποίηση είναι μια διαδικασία με κόστος, κόστος που καθορίζεται με βάση το σχεδιασμό και τις παραμέτρους που επιλέγονται στην παρούσα ενότητα. Ο απαιτούμενος προϋπολογισμός μπορεί

να μην είναι πάντα διαθέσιμος και όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή αυτού του κεφαλαίου εάν υπάρχει συνεχής εργασία (π.χ. σε μια Εφορεία Αρχαιοτήτων), η δημιουργία μιας μονάδας ψηφιοποίησης θα αποκομίσει οφέλη μακροπρόθεσμα.

### 3.1.8 Σημεία ελέγχου

Η απαίτηση για μέτρηση με χρήση τοπογραφικών οργάνων και λήψη σημείων ελέγχων μπορεί να εξυπηρετεί δύο λόγους: είτε να συσχετίσει τα παραδοτέα σε εθνικό σύστημα αναφοράς (γεωαναφορά) ή να χρησιμοποιηθεί για την επεξεργασία των σαρώσεων ή την φωτογραμμετρική επεξεργασία. Σε κάθε περίπτωση προφανώς επηρεάζει το κόστος.

Ο Πίνακας 3 αποτυπώνει συστάσεις ως προς τις παραμέτρους που πρέπει να ληφθούν υπόψη για το σχεδιασμό ενός έργου αποτύπωσης.

Πίνακας 3 - Παράμετροι που επηρεάζουν τον σχεδιασμό ενός έργου ψηφιοποίησης

	ΥΠ	ΣΥ	ΠΡ
Αναζήτηση για υπάρχουσες πηγές δεδομένων	✓		
Καθορισμός του σκοπού του έργου	✓		
Απαιτούμενα τελικά προϊόντα	✓		
Συνθήκες τοποθεσίας	✓		
Κλίμακα/Χαρακτηριστικά αντικειμένου	✓		
Ακρίβεια, ανάλυση	✓		
Σημεία ελέγχου			✓
Υλοποίηση με ίδια μέσα ή ανάθεση εξωτερικά	✓		



### 3.2 Χρήση σαρωτή λέιζερ

Μετά τον σχεδιασμό ενός έργου που παρουσιάστηκε παραπάνω ακολουθεί η υλοποίησή του. Αυτή η ενότητα αναφέρεται στην υλοποίηση ενός έργου με χρήση σαρωτή λέιζερ και επικεντρώνεται κυρίως στη χρήση επίγειων σαρωτών και σαρωτών χειρός.

Σε κάθε έργο είναι σημαντικό να τηρούνται αρχεία των εργασιών πεδίου, τα οποία χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση της εξέλιξης του έργου και πρέπει να παραδίδονται στο τέλος μαζί με τα τελικά παραδοτέα. Σε αυτά τα αρχεία προτείνεται να περιλαμβάνονται οι λεπτομέρειες της τοποθεσίας, του χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού, των ρυθμίσεων σάρωσης, των σιτίσεων σημείων ελέγχου, των σκαριφημάτων τοποθεσίας σάρωσης, της ημερομηνίας, των συνθηκών, κτλ (Σχήμα 16). Αυτό παρέχει μια βάση δεδομένων πληροφορίας για πρόσβαση στους χρήστες για οποιαδήποτε περαιτέρω ανάλυση που μπορεί να απαιτηθεί.

**Scan Sequence Form**

Date(s):	
Project name:	Peridromos (1)
Scan sequence name:	peridromos -
Scanner operator(s)	
Overall weather trend for sequence	Sunny.
Total number of scans in sequence	99 - 113

**Project or Subsection Sketch Map**

Σχήμα 16 - Παράδειγμα συμπλήρωσης αρχείου εργασιών πεδίου



### 3.2.1 Ασφάλεια

Σε οποιαδήποτε έργο ψηφιοποίησης η ασφάλεια του προσωπικού και διερχομένων ανθρώπων παίζει πρωταρχικό ρόλο. Στην περίπτωση ενός έργου ψηφιοποίησης με σαρωτή λέιζερ η ασφάλεια ορίζεται με δύο παραμέτρους: την φυσική ασφάλεια και την προστασία από το όργανο.

Η φυσική ασφάλεια ερμηνεύεται ότι ο ανάδοχος ή εμείς οι ίδιοι θα λαμβάνουμε όλα τα μέτρα έτσι ώστε να μην κινδυνεύσει κανένας. Ενδεικτικά, μπορούμε να αναφέρουμε τη χρήση προστατευτικού κράνους και γυαλιών ασφαλείας σε περίπτωση που το έργο πραγματοποιείται για παράδειγμα σε ένα εργοστάσιο, τη λήψη όλων των μέτρων ασφαλείας σε περίπτωση χρήσης σιαλωσιάς ή σιάλας, την αποφυγή σάρωσης από την άκρη ενός γκρεμού, κτλ.

Ορισμένοι τύποι λέιζερ μπορεί να είναι επιβλαβείς για τα μάτια και για το λόγο αυτό υπάρχει ένα ολοκληρωμένο σύστημα ταξινόμησης για την αποφυγή οποιουδήποτε πιθανού κινδύνου. Τα λέιζερ κατηγοριοποιούνται ανάλογα με το μήκος κύματος και την ισχύ της εκπεμπόμενης ενέργειας. Η Διεθνής Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή (IEC) ορίζει τα ισχύοντα πρότυπα ασφαλείας, γνωστά ως Πρότυπα IEC 60825, τα οποία έχουν υιοθετηθεί στην Ευρώπη και είναι γνωστά ως Πρότυπα EN 60825. Στο πρότυπο EN 60825-1:2014, έχει πλέον προστεθεί μια τροποποίηση η οποία απαιτεί συμμόρφωση με το νέο ευρωπαϊκό πρότυπο EN 50689:2021 (Particular Requirements for Consumer Laser Products). Όλοι οι καινούργιοι σαρωτές λέιζερ είναι «CLASS 1» στην παραπάνω ταξινόμηση, που σημαίνει ότι είναι ασφαλή υπό όλες τις συνθήκες χρήσης, συμπεριλαμβανομένης της άμεσης παρακολούθησης εντός ακτίνων. Αυτή είναι η μόνη κατηγορία λέιζερ για την οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο όρος «ασφαλής για τα μάτια». Σε κάθε άλλη περίπτωση αναζητούμε το σχετικό αυτοκόλλητο (Σχήμα 17) στον σαρωτή και αν είναι επιβλαβής για τα μάτια λαμβάνουμε τα απαραίτητα μέτρα για το προσωπικό και για διερχόμενους ανθρώπους.



Σχήμα 17 - Αυτοκόλλητο ταξινόμησης CLASS 1 προϊόντος λέιζερ

Σημειώνεται μάλιστα ότι ένας σαρωτής λέιζερ παλιάς τεχνολογίας, εκτός από την ασφάλεια των ανθρώπινων ματιών, μπορεί να επηρεάσει και το αντικείμενο που ψηφιοποιείται.

### 3.2.2 Κάλυψη

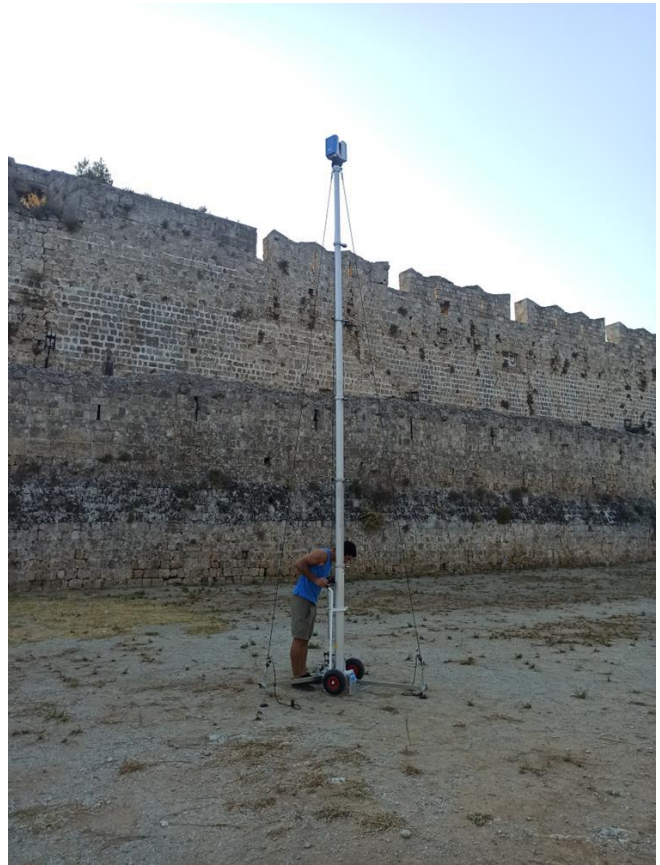
Ο σχεδιασμός για να διασφαλιστεί ότι η κάλυψη του θέματος είναι πλήρης ή όσο το δυνατόν πιο ολοκληρωμένη, είναι απαραίτητη προϋπόθεση για οποιαδήποτε αποτύπωση. Μια επιτόπια αυτοψία θα βοηθήσει για να καθοριστούν οι θέσεις του σαρωτή. Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 2.1.3 τα δεδομένα μέτρησης ενός 3D σαρωτή λέιζερ συνίστανται σε μεμονωμένα νέφη σημείων που πρέπει στη συνέχεια να ταυτοποιηθούν έτσι ώστε να αποτυπώνει όλο το θέμα. Η διαδικασία αυτή μπορεί να γίνει με δύο τρόπους: είτε χρησιμοποιούνται σημεία ελέγχου ή εξασφαλίζεται επαρκής επικάλυψη μεταξύ διαδοχικών σαρώσεων για να ταυτοποιηθούν τα νέφη σημείων στη συνέχεια στο λογισμικό επεξεργασίας με κοινά χαρακτηριστικά. Τα σύγχρονα λογισμικά που συνοδεύουν τους σαρωτές επιτρέπουν την «σε πραγματικό χρόνο» ταυτοποίηση των νεφών σημείων, γλυτώνοντας έτσι χρόνο από την επεξεργασία αυτών.

Ο Πίνακας 4 περιλαμβάνει τις προδιαγραφές που καθορίζουν την επιλογή των σημείων για την τοποθέτηση του σαρωτή.

Πίνακας 4 - Προδιαγραφές επιλογής στάσεων σαρωτή λέιζερ

Προδιαγραφή	Περιγραφή
<b>Κάλυψη</b>	Επιλογή στάσεων με γνώμονα την πλήρη κάλυψη του θέματος. Η επέκταση τρίποδων μπορεί να είναι ένας καλός, σταθερός τρόπος για να αποκτήσουμε κάποιο επιπλέον ύψος και συνεπώς καλύτερη κάλυψη (Σχήμα 18). Ενδέχεται να απαιτείται συνδυασμός τεχνικών και αυτό θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τον σχεδιασμό, δηλαδή για παράδειγμα να χρησιμοποιηθεί επίγειος σαρωτής λέιζερ και φωτογραμμετρική επεξεργασία φωτογραφιών από drone για τα υψηλότερα σημεία.
<b>Αποφυγή εμποδίων</b>	Επιλογή στάσεων, όπου μεταξύ του σαρωτή και του θέματος δεν παρεμβάλλονται εμπόδια, φυσικά της δέντρα ή τεχνητά όπως παρκαρισμένα αυτοκίνητα.
<b>ιστοποίηση σκιών</b>	Επιλογή στάσεων που ελαχιστοποιούν τις «σκιές» (τμήματα του θέματος που δεν θα σαρωθούν).

<b>Απόσταση</b>	Η εμβέλεια του σαρωτή πρέπει να επιλεγθεί σε σχέση με την ακρίβεια, λόγω του ότι όσο μεγαλύτερη είναι η απόστασή του από το θέμα τόσο μειωμένη θα είναι η ανάλυση και η ακρίβεια του τελικού προϊόντος.
<b>Επικάλυψη</b>	Οι στάσεις να παρέχουν επικάλυψη τουλάχιστον 30% μεταξύ δύο διαδοχικών σαρώσεων. Σε περίπτωση που αυτό δεν είναι εφικτό εξαιτίας της ιδιόμορφης χωρικής διάταξης του θέματος, τότε επίκειται συμβιβασμός με μικρότερο ποσοστό επικάλυψης, δεδομένου ότι η χρήση των τεχνητών στόχων θα διευκολύνει κατά πολύ την όλη προσέγγιση και θα διορθώσει τα προβλήματα που ενδέχεται να παρουσιαστούν, λόγω μικρότερου ποσοστού επικάλυψης.
<b>Σημεία ελέγχου</b>	Επιλογή στάσεων όπου μεταξύ δύο διαδοχικών σαρώσεων να υπάρχουν τουλάχιστον τρία (3) σημεία ελέγχου πλήρως ορατά από τον σαρωτή και για τις δύο αυτές σαρώσεις.
<b>Γωνία σάρωσης</b>	Ελαχιστοποίηση της γωνίας πρόσπτωσης της ακτίνας λέιζερ στην επιφάνεια του θέματος.
<b>Αριθμός στάσεων</b>	Την ελαχιστοποίηση του αριθμού των στάσεων.
<b>Καιρικές συνθήκες</b>	Παράγοντες όπως ο ήλιος, η σκόνη και η υγρασία μπορούν να επηρεάσουν την ακρίβεια της σάρωσης.
<b>Ασφάλεια</b>	Μέριμνα για την ασφάλεια των προσωπικού, των διερχόμενων ατόμων και των οργάνων.



Σχήμα 18 - Παράδειγμα χρήσης επέκτασης τριπόδου (αριστερά) και υδραυλικού ανυψωτικού (δεξιά)

### 3.2.3 Χρήση σημείων ελέγχου

Μια σημαντική πτυχή της διαδικασίας συλλογής δεδομένων είναι ο καθορισμός ενός δικτύου σημείων ελέγχου στο οποίο μπορούν να αναφέρονται όλα τα άλλα δεδομένα μετρικού πεδίου, όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 2.1.5. Ο Πίνακας 5 περιλαμβάνει τις προδιαγραφές που καθορίζουν τη λήψη των σημείων ελέγχου.

Πίνακας 5 - Προδιαγραφές λήψης σημείων ελέγχου

Προδιαγραφή	Περιγραφή
Αριθμός	Πρέπει να υπάρχουν τουλάχιστον τρία σημεία καλά κατανομημένα σε κάθε σάρωση, για το βέλτιστο ορισμό του συστήματος αναφοράς της σε σχέση με την προηγούμενη.
Γοποθέτηση στον χώρο	Πρέπει να τοποθετηθούν όσο το δυνατόν ευρύτερα, όχι μόνο στις κατευθύνσεις των άξονα X και Y αλλά και προς την κατεύθυνση του άξονα Z

<b>Γωνία σάρωσης</b>	Η γωνία πρόσπτωσης της ακτίνας λέιζερ στους στόχους τύπου σκακιέρας πρέπει να είναι μικρότερη των 45°.
<b>Απόσταση</b>	Η ανάλυση στην οποία έχει ρυθμιστεί ο σαρωτής θα επηρεάσει το πόσο μακριά μπορεί να τοποθετηθεί ένας στόχος. οι μικρότεροι σε μέγεθος στόχοι πρέπει να τοποθετούνται πιο κοντά στο σαρωτή.
<b>Καιρικές συνθήκες</b>	Παράγοντες όπως ο ήλιος, η σκόνη και η υγρασία μπορούν να επηρεάσουν την ακρίβεια της σύλληψης των στόχων.

### 3.2.4 Ανάλυση και ακρίβεια

Η επιλογή της ανάλυσης στον σαρωτή είναι κρίσιμος παράγοντας. Η έννοια της ανάλυσης έχει αναφερθεί στις ενότητες 2.1.2 και 3.1.6 για το παραγόμενο νέφος σημείων. Ποια ανάλυση όμως πρέπει να επιλέξουμε στον σαρωτή για να πετύχουμε το αποτέλεσμα που αναφέρεται στην ενότητα 3.1.6; Η ανάλυση για οποιονδήποτε σαρωτή ορίζεται από τη μικρότερη γωνιακή διαφορά μεταξύ διαδοχικών ακτίνων που μετρείται σε δύο διαστάσεις για στατικούς τριποδικούς σαρωτές: την περιστροφή του πρίσματος (οριζόντιος άξονας) και την περιστροφή του οργάνου (κατακόρυφος άξονας). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το θέμα είναι πιθανό να βρίσκεται σε μια σειρά αποστάσεων από τον σαρωτή με αποτέλεσμα η ανάλυση που ορίζεται θα ποικίλλει για μικρότερες και μεγαλύτερες αποστάσεις. Έτσι, για παράδειγμα αν καθορίσουμε ανάλυση 4μμ στα 10 μέτρα αυτή ισοδυναμεί με 2μμ στα 5 μέτρα. Όπως είναι προφανές δεν μπορούμε να καθορίσουμε ανάλυση μεγαλύτερη από αυτή των προδιαγραφών του σαρωτή. Ενδεικτικά, ο Πίνακας 6 παρουσιάζει την απαιτούμενη ανάλυση του σαρωτή στις τυπικές αρχιτεκτονικές κλίμακες των τελικών παραδοτέων [11].

Πίνακας 6 - Απαιτούμενη ανάλυση σαρωτή στις τυπικές αρχιτεκτονικές κλίμακες

<b>Κλίμακα</b>	<b>Ανάλυση σαρωτή</b>
1:10	≤1μμ
1:20	≤3μμ
1:50	≤5μμ

1:100	$\leq 15\mu\text{m}$
1:200	$\leq 30\mu\text{m}$
1:500	$\leq 75\mu\text{m}$

Πολλοί παράγοντες μπορούν να επηρεάσουν την ακρίβεια και συνεπώς την ποιότητα μιας ψηφιοποίησης. Αυτοί οι παράγοντες μπορούν να διακριθούν σε αυτούς που σχετίζονται με τη λειτουργία του οργάνου, τη μορφή και τη φύση του αντικειμένου, τις περιβαλλοντικές συνθήκες και την επιλογή της μεθοδολογίας κατά τη διαδικασία μέτρησης (πιο αναλυτικά στο [16]).

### 3.2.5 Ένταση και χρώμα

Η συλλογή δεδομένων έντασης της ανακλώμενης ακτίνας λέιζερ και χρώματος παρέχει ανεκτίμητες πληροφορίες για την ερμηνεία του νέφους σημείων. Η ένταση ποικίλλει ανάλογα με τις ανακλαστικές ιδιότητες του υλικού, τη γωνία πρόσπτωσης και την απόσταση από το θέμα, αν και ορισμένοι σαρωτές μπορούν να βαθμονομήσουν την ένταση έτσι ώστε να είναι ανεξάρτητη από την εμβέλεια. Στους σαρωτές χειρός οι φωτογραφίες λαμβάνονται ταυτόχρονα. Για τους επίγειους σαρωτές, πρέπει να ληφθεί υπόψη ο επιπλέον χρόνος που απαιτείται για τη λήψη της φωτογραφίας αμέσως μετά τη διαδικασία σάρωσης, αλλά αυτός είναι συνήθως μόνο λίγα λεπτά. Εάν η ενσωματωμένη κάμερα διαθέτει σύστημα υψηλού δυναμικού εύρους (High Dynamic Range), γνωστό και ως HDR, το χρησιμοποιούμε σε περιπτώσεις που η έκθεση στον φωτισμό έχει πολλές αλλαγές.

### 3.2.6 Επεξεργασία δεδομένων

Τα μη επεξεργασμένα νέφη σημείων μπορούν να παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες οπτικοποιώντας το έργο μέσω, για παράδειγμα, στατικών σκηνών. Το σύνολο δεδομένων μπορεί, φυσικά, να παραδοθεί ακατέργαστο στους τελικούς χρήστες για να εξάγουν πληροφορίες, αλλά, στις περισσότερες περιπτώσεις, οποιαδήποτε περαιτέρω ανάλυση απαιτεί την επεξεργασία των δεδομένων σάρωσης. Για να μετατραπούν τα δεδομένα σάρωσης σε χρήσιμο προϊόν, οι σαρώσεις πρέπει πρώτα να ταυτοποιηθούν, γενικά με τη χρήση πρόσθετων μετρήσεων σημείων ελέγχου ή με την εύρεση χαρακτηριστικών σημείων σε επικαλυπτόμενα διαδοχικά νέφη σημείων.



Ο καθαρισμός και το φιλτράρισμα των δεδομένων περιλαμβάνει την αφαίρεση ξένων δεδομένων σάρωσης από ανεπιθύμητα χαρακτηριστικά. Για παράδειγμα, σε δεδομένα σάρωσης μεγάλης κλίμακας, όπως μνημεία, τα ξένα δεδομένα είναι γειτονικά κτίρια, άτομα, βλάστηση, εμπόδια, δεδομένα από παράθυρα κ.λπ. Σε περίπτωση σάρωσης κειμηλίων με σαρωτή χειρός, ξένα δεδομένα θεωρούνται αυτά που αφορούν στο περιβάλλον του αντικειμένου, π.χ. προθήκες, τραπέζι, γειτονικά κειμήλια κ.α. Αυτή η επεξεργασία μειώνει το μέγεθος του συνόλου δεδομένων και συνιστάται να πραγματοποιείται μετά την ταυτοποίηση. Ως μέρος της προεπεξεργασίας ή του καθαρισμού των δεδομένων, ο θόρυβος που δημιουργείται από κακή επιστροφή σήματος μπορεί να φιλτραριστεί από το λογισμικό επεξεργασίας.

Οι περισσότεροι σαρωτές λέιζερ παρέχουν ταυτόχρονες τιμές που μετρούν την ένταση του σήματος επιστροφής. Αυτά τα δεδομένα έντασης μπορούν να είναι χρήσιμα ως πρόσθετη πηγή πληροφοριών κατά την ανάλυση. Καθώς οι περισσότεροι σαρωτές λειτουργούν εκτός του ορατού φάσματος, ο χάρτης έντασης μπορεί να οριοθετήσει χαρακτηριστικά που δεν είναι ορατά με γυμνό μάτι. Η ανάλυση των δεδομένων έντασης μπορεί να αποκαλύψει, για παράδειγμα, υγρασία, παλιές ρωγμές και αλλαγές υποστρώματος στους τοίχους.

Μετά την επεξεργασία των νεφών σημείων δημιουργείται το μοντέλο επιφάνειας (mesh). Για τη μοντελοποίηση μικρότερων αντικειμένων, όπως τεχνουργήματα, μπορεί να παραχθεί ένα πολύ λεπτομερές mesh από την υψηλή πυκνότητα των σημείων που παράγονται από έναν τριγωνικό σαρωτή. Ορισμένα αντικείμενα υψηλής ανακλαστικότητας ενδέχεται να μην παράγουν μια πλήρη επιφάνεια και μπορεί να απαιτείται κάποια επεξεργασία και πλήρωση των κενών του μοντέλου. Οι παράμετροι μπορούν να ρυθμιστούν μέσα στο λογισμικό επεξεργασίας για να γεμίσουν τα κενά ανάλογα με το μέγεθος. Για πιο ρεαλιστική ψηφιοποίηση, εφαρμόζονται στο mesh οι πληροφορίες χρώματος.

Πολλοί σαρωτές περιλαμβάνουν μια κάμερα καλής ποιότητας αλλά σχετικά χαμηλής ανάλυσης, αλλά αντισταθμίζουν αυτό με τη λήψη πολλών εικόνων που συγχωνεύονται για να παράγουν μια πανοραμική φωτογραφία ολόκληρου του περιβάλλοντος χώρου. Το πανόραμα καταγράφεται αυτόματα με το νέφος σημείων και ορισμένοι σαρωτές περιλαμβάνουν δυνατότητα HDR για να αντισταθμίσουν οποιαδήποτε μεγάλη διακύμανση στην έκθεση. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η απόδοση της εικόνας μπορεί να μειώσει την ποιότητα. Η ανάλυση της εικόνας μπορεί να βελτιωθεί με τη χρήση εξωτερικής κάμερας, που συνιστάται οι εικόνες να ληφθούν ακριβώς στην ίδια θέση με τη σάρωση.

Η επεξεργασία των δεδομένων σάρωσης μπορεί να παράγει και άλλα προϊόντα ανάλογα με τις ανάγκες. Ο Πίνακας 13 στην ενότητα 4.1 αποτυπώνει ενδεικτικά κάποια από αυτά. Συνοψίζοντας, ο Πίνακας 7 περιέχει τα στάδια που απαιτούνται για την 3D ψηφιοποίηση με χρήση σαρωτή λέιζερ.

Πίνακας 7 - Στάδια για 3D ψηφιοποίηση με χρήση σαρωτή λέιζερ

Στάδιο	Εργασία	Παράμετροι
Σχεδιασμός	Καθορισμός του σκοπού του έργου	
	Αναζήτηση για υπάρχουσες πηγές δεδομένων	
	Απαιτούμενα τελικά προϊόντα	
	Συνθήκες τοποθεσίας	
	Χαρακτηριστικά αντικειμένου	
	Κλίμακα	
Εργασίες πεδίου	Ακρίβεια, ανάλυση	
	Σημεία ελέγχου	
	Υλοποίηση με ίδια μέσα ή ανάθεση εξωτερικά	
	Αυτοψία του χώρου	
	Σημειώσεις καθόλη τη διάρκεια εργασιών πεδίου	
	Επιλογή στάσεων	Κάλυψη Αποφυγή εμποδίων Ελαχιστοποίηση σκιών Απόσταση Επικάλυψη Σημεία ελέγχου Γωνία σάρωσης Αριθμός στάσεων Καιρικές συνθήκες



	Ασφάλεια
	Αριθμός
	Τοποθέτηση στον χώρο
Τοποθέτηση τεχνητών στόχων	Γωνία σάρωσης
	Απόσταση
	Καιρικές συνθήκες
	Ανάλυση
Πραγματοποίηση σαρώσεων	Λήψη φωτογραφιών
	Χρήση HDR
	Ασφάλεια
<b>Επεξεργασία</b>	Ταυτοποίηση
	Φιλτράρισμα
	Καθαρισμός θορύβου
	Περιοπή στο θέμα
	Παραγωγή προϊόντων

### 3.3 Χρήση φωτογραμμετρίας

Αυτή η ενότητα αναφέρεται στην υλοποίηση ενός έργου με χρήση φωτογραμμετρικών μεθόδων και επικεντρώνεται στη φωτογραμμετρική επεξεργασία με φωτογραφίες που λαμβάνονται είτε με drone ή επίγεια. Και σε αυτή την περίπτωση προηγείται ο σχεδιασμός του έργου όπως παρουσιάστηκε στην ενότητα 3.1. Ομοίως με την υλοποίηση ενός έργου με χρήση σαρωτή λέιζερ, είναι σημαντικό να τηρούνται αρχεία των εργασιών πεδίου, τα οποία χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση της εξέλιξης του έργου και πρέπει να παραδίδονται στο τέλος μαζί με τα τελικά παραδοτέα.

#### 3.3.1 Ασφάλεια

Η ασφάλεια σε μία φωτογραμμετρική αποτύπωση συνιστάται στην ασφάλεια του προσωπικού και διερχομένων ανθρώπων. Συγκεκριμένα, σε περίπτωση χρήσης drone θα πρέπει να λαμβάνονται όλα τα απαραίτητα μέτρα που ορίζει η νομοθεσία, όπως για παράδειγμα η απαγόρευση πτήσης πάνω από ανθρώπους.

### 3.3.2 Κάλυψη

Πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι ολόκληρη η περιοχή θέματος πρέπει να καλύπτεται και να υπάρχει επικάλυψη στις διαδοχικές εικόνες. Για το λόγο αυτό μπορεί να απαιτηθεί ο σχεδιασμός διαφορετικών σεναρίων λήψης εικόνων ή σχεδίων πτήσης. Ασφαλής κανόνας για την επικάλυψη είναι να υπάρχει τουλάχιστον 80% επικάλυψη μεταξύ διαδοχικών εικόνων. Τα «τυφλά σημεία» πρέπει να ελαχιστοποιούνται, καθώς το λογισμικό επεξεργασίας μπορεί να ανακατασκευάσει μόνο τη γεωμετρία που είναι ορατή από τουλάχιστον δύο φωτογραφίες. Στην ενότητα 3.7 παρουσιάζονται κάποια βασικά σενάρια λήψης φωτογραφιών.

### 3.3.3 Χρήση σημείων ελέγχου

Η χρήση σημείων ελέγχου στη φωτογραμμετρία εκτελεί την ίδια λειτουργία με τον έλεγχο στη σάρωση λέιζερ. Τα σημεία ελέγχου χρησιμοποιούνται όχι μόνο για τον εντοπισμό των δεδομένων χωρικά, αλλά και για την κλίμακα και τον προσανατολισμό των δεδομένων, για τη βελτιστοποίηση της αυτόματης ευθυγράμμισης της εικόνας και τη μείωση των μη γραμμικών σφαλμάτων στο μοντέλο και για τον έλεγχο της ακρίβειας της ανακατασκευής (της μετατροπής των φωτογραφιών σε 3D μοντέλο). Τα σημεία ελέγχου μπορεί να μην απαιτούνται σε ορισμένες περιπτώσεις, για παράδειγμα για εργασία που πραγματοποιείται με γνώμονα μόνο την οπτικοποίηση ή με χαμηλές μετρικές απαιτήσεις.

Τα φωτογραμμετρικά μοντέλα είναι, από μόνα τους, χωρίς κλίμακα. Για την ενσωμάτωση κλίμακας απαιτούνται τουλάχιστον δύο σημεία ελέγχου. Αυτά δεν χρειάζεται να έχουν τρισδιάστατες συντεταγμένες, αλλά μπορεί να είναι σημεία που προσδιορίζονται στα άκρα μιας γραμμής γνωστού μήκους που μετρείται μεταξύ δύο σημείων ορατών στις εικόνες, για παράδειγμα μιας γραμμής κλίμακας (scale bar).

Για την κλίμακα και τον προσανατολισμό, απαιτούνται τουλάχιστον τρία σημεία, δύο από τα οποία πρέπει να έχουν τρισδιάστατες συντεταγμένες (δηλαδή τιμές x,y,z) και ένα από τα οποία χρειάζεται να έχει μόνο μια διάσταση (x,y ή z). Πρέπει όλα να είναι ορατά σε τουλάχιστον δύο εικόνες, αλλά στην πράξη θα πρέπει να είναι ορατά σε πολλές περισσότερες. Για βελτίωση της ακρίβειας της ανακατασκευής, θα χρειαστούν περισσότερα από τρία τρισδιάστατα σημεία.

### 3.3.4 Ανάλυση και ακρίβεια

Βασική παράμετρος σε μία φωτογραμμετρική αποτύπωση είναι η επιλογή της σωστής ανάλυσης. Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 2.1.4, μονάδα μέτρησης είναι το GSD. Για τον υπολογισμό του GSD υπάρχουν πολλά διαθέσιμα δωρεάν εργαλεία στο διαδίκτυο, όπως για παράδειγμα της εταιρείας Pix4D<sup>20</sup>. Ο Πίνακας 8 και ο Πίνακας 9 αποτυπώνουν ενδεικτικά συνιστώμενες τιμές του GSD [11]. Οι τιμές αυτές μπορούν να επεκταθούν και σε άλλες κλίμακες ανάλογα.

Πίνακας 8 - GSD για φωτογραμμετρία στις τυπικές αρχιτεκτονικές κλίμακες

Κλίμακα εξόδου	GSD
1:50	3μμ μέγιστο
1:20	2μμ μέγιστο
1:10	1μμ μέγιστο

Πίνακας 9 - GSD για τοπογραφική αποτύπωση από αεροφωτογράφιση

Κλίμακα εξόδου	GSD
1:500	3εκ μέγιστο
1:200	2εκ μέγιστο
1:100	1εκ μέγιστο

### 3.3.5 Φωτισμός

Σε αντίθεση με την κανονική φωτογραφία, ο σχετικά επίπεδος φωτισμός προτιμάται γενικά για φωτογραμμετρικούς σκοπούς. Απαιτείται καλός φωτισμός για την επίτευξη καλύτερης ποιότητας των αποτελεσμάτων, ωστόσο θα πρέπει να αποφεύγονται οι αντανακλάσεις και οι λάμψεις. Συνιστάται η αφαίρεση των πηγών φωτός από τα οπτικά πεδία της κάμερας. Επίσης, δεν συνιστάται η χρήση φλας. Σε περίπτωση εναέριας φωτογράφισης δεν συνιστάται η φωτογράφιση της ίδιας περιοχής κατά τη διάρκεια όλης της ημέρας καθώς οι συνθήκες φωτισμού αλλάζουν κατά τη διάρκεια της ημέρας. Μια

<sup>20</sup> <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202560249-TOOLS-GSD-calculator>

συννεφιασμένη μέρα είναι καλύτερη γιατί το φως διαχέεται ομοιόμορφα στο θέμα. Για εσωτερικούς χώρους συνιστάται η χρήση τεχνητού φωτισμού, εάν είναι δυνατόν.

### 3.3.6 Κάμερα

Στη φωτογραμμετρία, η ποιότητα της εξόδου εξαρτάται σχεδόν εξ ολοκλήρου από την ποιότητα της εισόδου, δηλαδή της φωτογραφίας. Σε γενικές γραμμές, οι DSLR κάμερες θα παρέχουν καλύτερα αποτελέσματα από τις compact κάμερες, και αυτές με τη σειρά τους θα παρέχουν καλύτερα αποτελέσματα από τις ultra-compact κάμερες ή τα κινητά τηλέφωνα. Βέβαια σε μερικές περιπτώσεις, η κάμερα που θα χρησιμοποιηθεί μπορεί να μην είναι η καλύτερη από την άποψη της ποιότητας εικόνας, αλλά να είναι απαραίτητη λόγω περιορισμών βάρους ή όγκου, μια κατάσταση που συναντάται συνήθως όταν χρησιμοποιούνται drones. Σε κάθε περίπτωση, θα πρέπει να επιλεγεί η καλύτερη ποιότητα φωτογραφικής μηχανής για την εργασία, η οποία δεν είναι απαραίτητα η κάμερα που προσφέρει την υψηλότερη ανάλυση. Για φωτογραμμετρικές εργασίες, είναι γενικά καλύτερο να αποφεύγεται η χρήση λειτουργιών σταθεροποίησης εικόνας ή μείωσης κραδασμών σε φακούς ή κάμερες που προσφέρουν αυτή τη δυνατότητα. Ο Πίνακας 9 αποτυπώνει τις συνιστώμενες ρυθμίσεις της κάμερας.

Πίνακας 10 - Συνιστώμενες ρυθμίσεις κάμερας

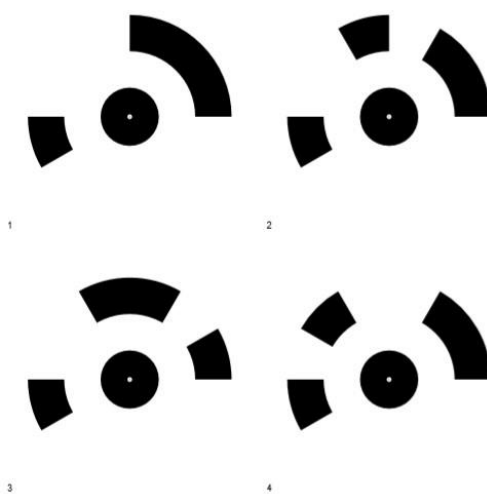
Παράμετρος	Τιμή
<b>Ανάλυση</b>	Λήψη φωτογραφιών στη μέγιστη επιτρεπόμενη ανάλυση.
<b>Εστιακό μήκος (Focal length)</b>	Η καλύτερη επιλογή για μια κάμερα κοινού καρέ είναι οι φακοί εστιακού μήκους 50μμ ή ισοδύναμοι με φιλμ 35μμ. Συνιστάται η χρήση της εστιακής απόστασης από 20 έως 80μμ.
<b>Παραμόρφωση φακού (Lens distortion)</b>	Η παραμόρφωση των φακών που χρησιμοποιούνται για τη λήψη των φωτογραφιών θα πρέπει να προσομοιώνεται καλά με το μοντέλο κάμερας που χρησιμοποιείται στο λογισμικό. Το μεγαλύτερο μέρος του φωτογραμμετρικού λογισμικού που

	χρησιμοποιείται σήμερα δεν απαιτεί προ-βαθμονομημένη κάμερα.
<b>Ευαισθησία αισθητήρα (ISO)</b>	Οι τιμές ISO αντικατοπτρίζουν τη σχετική ευαισθησία του αισθητήρα στο φως. Το ISO θα πρέπει να ρυθμιστεί στη χαμηλότερη δυνατή τιμή, διαφορετικά, οι υψηλές τιμές ISO θα προκαλέσουν πρόσθετο θόρυβο στις φωτογραφίες και ορισμένες λεπτομέρειες ενδέχεται να χαθούν.
<b>Ρύθμιση διαφράγματος Aperture value</b>	Το βάθος πεδίου ελέγχεται από τις ρυθμίσεις διαφράγματος. Το διάφραγμα είναι μια οπή μεταβλητού μεγέθους που ελέγχει πόσο φως εισέρχεται στην κάμερα κατά τη διάρκεια μιας έκθεσης. Η τιμή του διαφράγματος πρέπει να είναι αρκετά υψηλή ώστε να έχει επαρκές εστιακό βάθος: είναι σημαντικό οι φωτογραφίες να είναι ευκρινείς και όχι θολές (προτεινόμενες τιμές f/stop: f/8 - f/11).
<b>Ταχύτητα κλείστρου Shutter speed</b>	Η ταχύτητα κλείστρου δεν πρέπει να είναι πολύ αργή, διαφορετικά μπορεί να προκληθεί θάμπωμα λόγω ελαφρών κινήσεων.
<b>Μορφή αρχείων</b>	Προτιμάται η χρήση δεδομένων RAW που μετατρέπονται σε αρχεία TIFF, καθώς η συμπίεση JPG μπορεί να προκαλέσει ανεπιθύμητο θόρυβο στις φωτογραφίες. Αν και για κοινά έργα, οι φωτογραφίες JPG με ρυθμίσεις υψηλότερης ποιότητας (και χαμηλότερη συμπίεση) είναι αποδεκτές.

### 3.3.7 Σενάρια λήψης φωτογραφιών

Οι βασικές παράμετροι που αναφέρθηκαν παραπάνω ισχύουν για οποιαδήποτε φωτογραμμετρικό έργο. Αυτό που διαφέρει είναι το σενάριο λήψης φωτογραφιών, με γνώμονα πάντα την πλήρη κάλυψη του θέματος και την επαρκή επικάλυψη μεταξύ διαδοχικών φωτογραφιών. Ο Πίνακας 11 παρουσιάζει

μια σύνοψη καλών πρακτικών για διαφορετικά είδη φωτογραμμετρίας. Αν έχουμε ένα μικρό αντικείμενο σε εσωτερικό χώρο, φροντίζουμε να έχουμε καλό φωτισμό και φωτογραφίζουμε περιμετρικά και από διαφορετικά ύψη (κλίση της κάμερας). Συνήθως ένα σετ 40-50 φωτογραφιών είναι επαρκές για τη μετέπειτα επεξεργασία. Για την υποβοήθηση του λογισμικού μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τεχνητούς στόχους (Σχήμα 19) αλλά συνιστάται και η χρήση μιας γραμμής κλίμακας για να μπορέσει να δοθεί η απαραίτητη κλίμακα στο μοντέλο. Οι στόχοι και η γραμμή κλίμακας μπορούν να τοποθετούνται και στη βάση (εκτός) του αντικειμένου αλλά σε αυτή την περίπτωση πρέπει να περιλαμβάνονται στις φωτογραφίες.



Σχήμα 19 - Τεχνητοί στόχοι εκτυπωμένοι από λογισμικό φωτογραμμετρίας

Σε εξωτερικό χώρο αν πρόκειται για αντικείμενο που μπορεί να φωτογραφηθεί από το έδαφος συνιστάται η χρήση τρίποδα. Η βασική αρχή είναι ότι μετακινούμαστε εμείς για να βγάλουμε τις επικαλυπτόμενες φωτογραφίες, δηλαδή από κάθε στάση της κάμερας βγάζουμε μόνο μία φωτογραφία και στη συνέχεια μετακινούμαστε. Αυτό έχει σημασία καθώς οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται στα φωτογραμμετρικά λογισμικά λειτουργούν βάσει της κίνησης. Ισχύει και σε αυτή την περίπτωση η χρήση στόχων και γραμμής κλίμακας.

Σε περίπτωση εναέριας φωτογράφισης το συνιστώμενο σενάριο περιλαμβάνει μία αρχική πτήση με τη θέση της κάμερας σε κατακόρυφη γωνία και όσες πτήσεις απαιτηθούν για να υπάρχει η πλήρης κάλυψη (και επικάλυψη των φωτογραφιών) του θέματος, μειώνοντας το ύψος πτήσης και αυξάνοντας τη γωνία της κάμερας με κάθε πτήση.

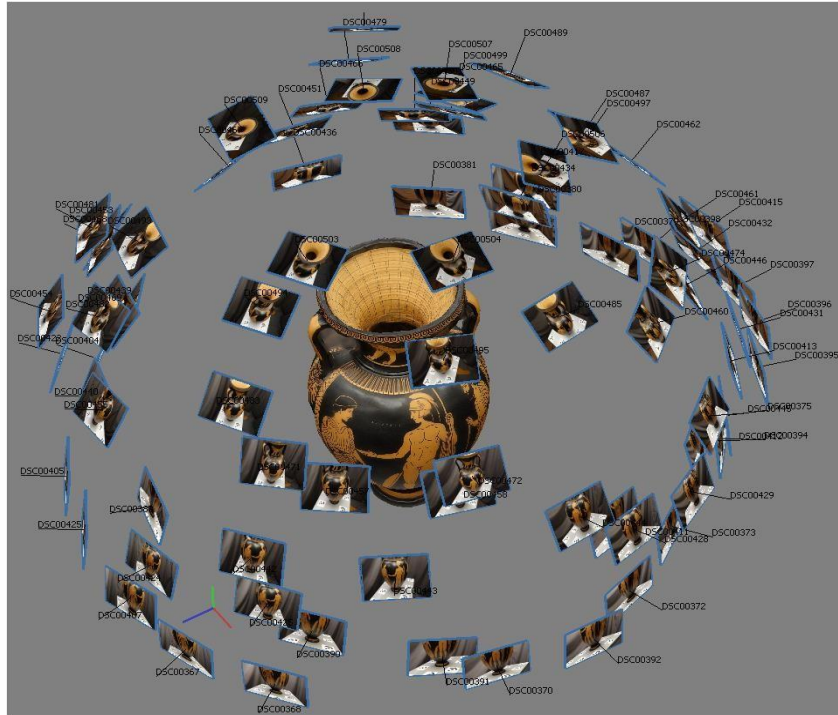
Πίνακας 11 - Συγκεντρωτικός πίνακας καλών πρακτικών για φωτογραμμετρία



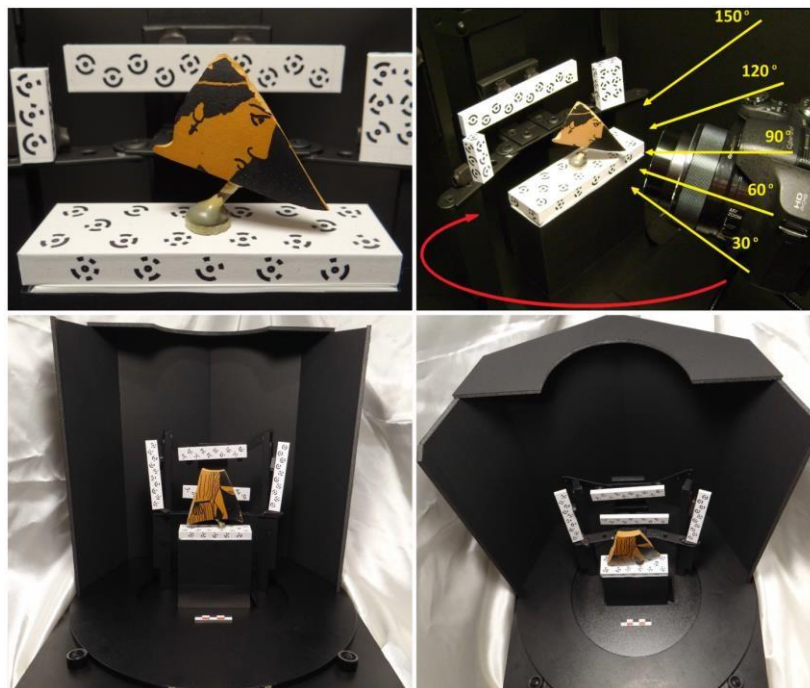
Είδος αντικειμένου	Μεθοδολογία λήψης εικόνων	Παρατηρήσεις
Κινητό αντικείμενο μικρής κλίμακας (π.χ. μικρό αγγείο, θραύσμα, είδη κεραμικής κτλ)	<p>Πολλαπλοί κλειστοί ομόκεντροι κύκλοι από λήψεις που προβάλλουν το αντικείμενο από διαφορετικές οπτικές. Το αντικείμενο πρέπει να είναι ακίνητο και να κινείται ο φωτογράφος (Σχήμα 20) ή να είναι ακίνητη η συσκευή λήψης και να τοποθετείται το αντικείμενο σε περιστρεφόμενη πλατφόρμα (Σχήμα 21).</p>	<p>Συνίστανται λήψη σε τουλάχιστον 2 τροχιές (πάνω και μεσαίο μέρος). Αν χρειαστεί και το κάτω μέρος, να γίνει σε ξεχωριστό έργο φωτογραμμετρίας και να ενωθούν μετά. Για αντικείμενο μικρής κλίμακας 30-40 φωτογραφίες είναι αρκετές.</p>
	<p>Σταθερή απόσταση αντικειμένου-κάμερας (όσο είναι δυνατόν) κατά τη διάρκεια της φωτογράφισης.</p>	<p>Η περιστροφή (του αντικειμένου μέσω πλατφόρμας ή του χρήστη/φωτογράφου σε σχέση με το αντικείμενο) συστήνεται να γίνεται συστηματικά, κατά μια διεύθυνση μόνο (αριστερά προς δεξιά ή δεξιά προς αριστερά), για τη διευκόλυνση του λογισμικού.</p>
	<p>Όσο το δυνατόν πιο ομοιόμορφες συνθήκες φωτισμού</p>	<p>Χρήση whiteboxes και βοηθητικών μονάδων φωτισμού LED.</p>
Μη φορητό αντικείμενο μεσαίας ή μεγάλης κλίμακας (π.χ. μέρος μια ανασκαφής, τοιχοποιία ενός μνημείου, εσωτερικός χώρος κτλ)	<p>Οι λήψεις πρέπει να πραγματοποιούνται πάνω σε μία νοητή γραμμή που ακολουθεί τη γεωμετρία του αντικειμένου</p>	<p>Για εξωτερικό χώρο δεσ <b>Error! Reference source not found.</b> Σχήμα 22 Για εσωτερικό χώρο δεσ Σχήμα 23 Για αντικείμενο μεσαίας ή μεγάλης κλίμακας δεν υπάρχει σύσταση για αριθμό φωτογραφιών, καθώς αυτός εξαρτάται από τη φύση, την πολυπλοκότητα και το μέγεθός του.</p>
	<p>Η νοητή γραμμή κίνησης θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν ίσης απόστασης από το αντικείμενο</p>	<p>Η κίνηση πρέπει να γίνεται συστηματικά, κατά μια διεύθυνση μόνο (αριστερά προς δεξιά και δεξιά προς αριστερά), για διευκόλυνση του λογισμικού.</p>

Όσο το δυνατόν πιο ομοιόμορφες φωτισμού συνθήκες

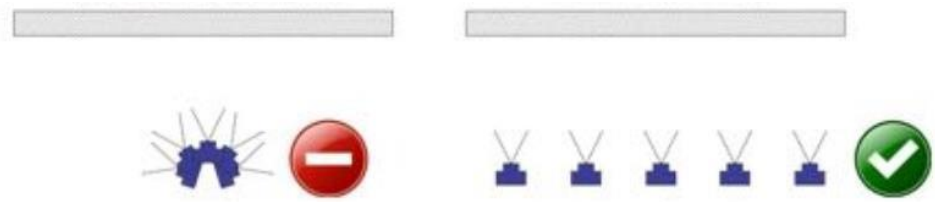
Για εξωτερικό χώρο ιδανικές συνθήκες είναι οι νεφροσκεπείς ημέρες. Για εσωτερικό χώρο, χρήση βοηθητικών μονάδων φωτισμού.



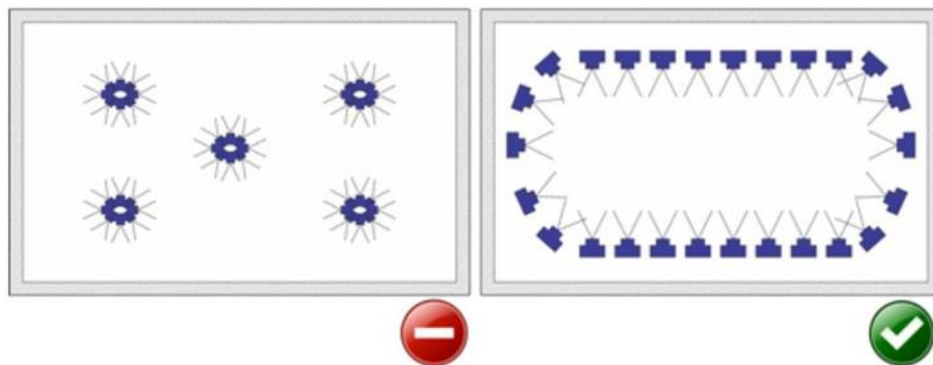
Σχήμα 20 - Κυκλικές τροχιές γύρω από αντικείμενο [17]



Σχήμα 21 - Πλατφόρμα φωτογραμμετρίας [18]



Σχήμα 22 - Καλή πρακτική λήψης φωτογραφιών σε εξωτερική χώρο/τοιχοποιία [19]

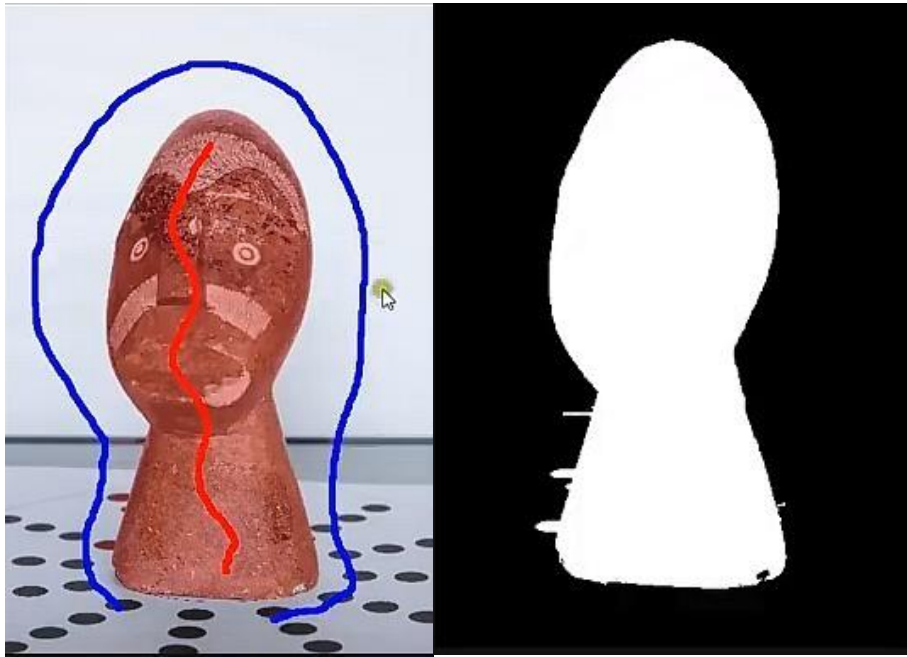


Σχήμα 23 - Καλή πρακτική λήψης φωτογραφιών σε εσωτερικό χώρο [19]

### 3.3.8 Επεξεργασία δεδομένων

Για να μετατραπούν οι εικόνες σε χρήσιμο προϊόν πρέπει να υποστούν φωτογραμμετρική επεξεργασία σε κατάλληλο λογισμικό. Πριν την εφαρμογή των αλγορίθμων 3Δ ανακατασκευής προτείνεται:

- Ο εντοπισμός και απόρριψη των θολών φωτογραφιών με κακή εστίαση.
- Η χρήση διαδικασίας masking για την απευθείας αφαίρεση του φόντου σε περίπτωση όπου υπάρχει ελλιπής χρήση στόχων ή προβληματικού περιβάλλοντος με μεγάλες αντανακλάσεις, εικόνες με θόρυβο (π.χ. βλάστηση σε αποτύπωση χώρων). Το Σχήμα 24 απεικονίζει ένα τέτοιο παράδειγμα.

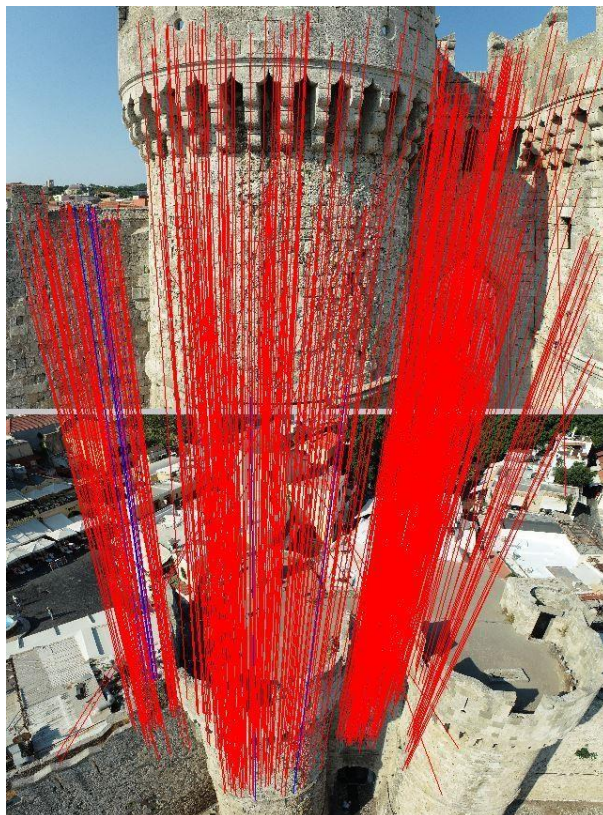


Σχήμα 24 - Διαδικασία masking. Δεξιά η δυαδική μάσκα, όπου με μαύρο σημειώνεται η περιοχή που αποκόπτεται από τη διαδικασία

Ο αλγόριθμος Structure from Motion (SfM) είναι ο πιο διαδεδομένος στην φωτογραμμετρική επεξεργασία. Μόλις ληφθούν και εισαχθούν οι εικόνες, το πρώτο βήμα είναι η αναγνώριση χαρακτηριστικών ή σημείων ενδιαφέροντος (ΣΕ) στις εικόνες. Ο αριθμός των ΣΕ που προσδιορίζονται σε κάθε εικόνα ορίζεται συχνά από τον χρήστη. Στη συνέχεια, τα ΣΕ αντιστοιχίζονται στις διαφορετικές εικόνες (Σχήμα 25). Οι λανθασμένες αντιστοιχίσεις φιλτράρονται χρησιμοποιώντας έναν αλγόριθμο ανίχνευσης ακραίων τιμών, όπως τον RANdom Sample Consensus (RANSAC). Ορισμένα λογισμικά επιτρέπουν την υποεπιλογή μόνο των καλύτερων αντιστοιχιών για κάθε εικόνα. Μόλις αναγνωριστεί ένα ισχυρό σύνολο ΣΕ και αντιστοιχιστεί σε ζεύγη εικόνων, ο αλγόριθμος SfM πρέπει να εκτιμήσει τον εσωτερικό και τον εξωτερικό προσανατολισμό για κάθε εικόνα συνδυάζοντας όλους τους σχετικούς προσανατολισμούς των ζευγών εικόνων. Μόλις ολοκληρωθεί, χρησιμοποιείται μια τεχνική που ονομάζεται τριγωνοποίηση εικόνας για τον υπολογισμό της σχετικής θέσης και του προσανατολισμού για κάθε εικόνα σε κάθε ζεύγος. Τα επικαλυπτόμενα ζεύγη στη συνέχεια συνδυάζονται για να σχηματίσουν ένα ενιαίο μπλοκ, η βελτιστοποίηση του οποίου επιτυγχάνεται με μια προσαρμογή δέσμης, που ονομάζεται έτσι επειδή απαιτεί την προσαρμογή των δεσμών ακτίνων μεταξύ του κέντρου προβολής κάθε κάμερας και του σετ των προβαλλόμενων τρισδιάστατων σημείων μέχρι να υπάρξει ελάχιστη απόκλιση μεταξύ των



θέσεων των παρατηρούμενων και των επαναπροβαλλόμενων σημείων (η απόσταση εικόνας μεταξύ της αρχικής εκτιμώμενης θέσης ενός σημείου και της «αληθινής» ή μετρούμενης τιμής του).



Σχήμα 25 - Σημεία ενδιαφέροντος (μπλε: σωστά, κόκκινο: λανθασμένα)

Τα σημεία σύνδεσης (τα αραιά σημεία νέφους που φαίνονται στην προβολή μοντέλου μετά την ευθυγράμμιση) είναι ΣΕ που έχουν τουλάχιστον δύο προβολές το καθένα: είναι βασικά σημεία που έχουν αντιστοιχιστεί σε δύο ή περισσότερες εικόνες και επομένως έχουν γίνει πιθανά σημεία σύνδεσης. Όταν χρησιμοποιείται ένα όριο σημείων, το λογισμικό θα χρησιμοποιεί μόνο τα πιο αξιόπιστα σημεία σύνδεσης σε κάθε εικόνα για να ταιριάζει στο όριο που έχει ορίσει ο χρήστης (για παράδειγμα τα κορυφαία 1.000 ανά εικόνα), γεγονός που θα έχει ως αποτέλεσμα χαμηλότερο αριθμό σημείων στο αραιό νέφος. Η χρήση πολύ υψηλών ορίων ΣΕ και σημείου σύνδεσης είναι σπάνια παραγωγική: θα οδηγήσει σε μεγαλύτερους χρόνους επεξεργασίας και μπορεί επίσης να επηρεάσει την ακρίβεια της ευθυγράμμισης, επειδή ενδέχεται να χρησιμοποιηθούν λιγότερο αξιόπιστα ΣΕ στη διαδικασία αντιστοίχισης, με αποτέλεσμα την επιλογή λιγότερο ακριβών σημείων.

Το αποτέλεσμα όλων αυτών είναι μια αρχική ανακατασκευή χωρίς κλίμακα και προσανατολισμό ενός αραιού νέφους σημείων (Σχήμα 26). Εάν εισαχθούν τουλάχιστον τρία σημεία ελέγχου και

χρησιμοποιούνται ως περιορισμοί στη ρύθμιση της δέσμης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μείωση περαιτέρω σφαλμάτων στην ανακατασκευή και θα οριστεί ταυτόχρονα επίσης ένα σύστημα αναφοράς συντεταγμένων για το μοντέλο. Για ακριβείς ανακατασκευές, είναι προτιμότερο να ενσωματωθούν οι μετρήσεις ελέγχου κατά την ανακατασκευή παρά να ακολουθηθεί η ροή εργασιών μέχρι την ολοκλήρωση.



Σχήμα 26 - Αρχικό νέφος σημείων

Μόλις ολοκληρωθεί το τμήμα SfM της διαδικασίας, μπορεί να πραγματοποιηθεί η πυκνή ανακατασκευή με χρήση του αλγορίθμου Multi View Stereo (MVS). Τώρα που έχουν καθοριστεί τα οπτικά χαρακτηριστικά των καμερών και οι σχετικές θέσεις των εικόνων, όλες τα πιθανά ΣΕ σε κάθε εικόνα, συμπεριλαμβανομένων εκείνων με χαμηλότερη επαναληψιμότητα από τα ΣΕ που χρησιμοποιούνται στο στάδιο SfM, υπολογίζονται για να σχηματίσουν ένα πυκνό νέφος σημείων, το οποίο είναι παρόμοιο σε εμφάνιση με αυτό που δημιουργείται από έναν επίγειο σαρωτή λέιζερ 3Δ. Η υπόλοιπη επεξεργασία περιλαμβάνει όπως και στην περίπτωση σάρωσης με λέιζερ τον καθαρισμό και το φιλτράρισμα των δεδομένων, την αφαίρεση δηλαδή ξένων δεδομένων από ανεπιθύμητα χαρακτηριστικά και την περικοπή στο θέμα. Στη συνέχεια για την παραγωγή ενός πραγματικού μοντέλου επιφάνειας, το νέφος σημείων πρέπει να μετατραπεί σε πλέγμα (Σχήμα 27).





Σχήμα 27 - Πολυγωνικό πλέγμα με υφή

Συνοψίζοντας, ο Πίνακας 12 περιέχει τα στάδια που απαιτούνται για 3Δ ψηφιοποίηση με φωτογραμμετρία.

Πίνακας 12 - Στάδια για 3Δ ψηφιοποίηση με φωτογραμμετρία

Στάδιο	Εργασία	Παράμετροι
Σχεδιασμός	Καθορισμός του σκοπού του έργου	
	Αναζήτηση για υπάρχουσες πηγές δεδομένων	
	Απαιτούμενα τελικά προϊόντα	
	Συνθήκες τοποθεσίας	
	Κλίμακα	
	Ακρίβεια, ανάλυση	
	Γεωαναφορά	
Εργασίες πεδίου	Υλοποίηση με ίδια μέσα ή ανάθεση εξωτερικά	
	Αυτοψία του χώρου	

	Τοποθέτηση τεχνητών στόχων	
	Πραγματοποίηση φωτογράφισης	Ρυθμίσεις κάμερας Φωτισμός Σενάριο φωτογράφισης Ασφάλεια
<b>Επεξεργασία</b>	Επιλογή φωτογραφιών Masking (προαιρετικό) Ευθυγράμμιση φωτογραφιών Φιλτράρισμα Περιοπή στο θέμα Παραγωγή προϊόντων	

## 4. Αποθήκευση και Αρχαιοθήτηση

Η ψηφιοποίηση των πληροφοριών οδήγησε σε αύξηση της προσβασιμότητας των δεδομένων, αλλά και σε νέες προκλήσεις. Η ψηφιακή διατήρηση στοχεύει στη διατήρηση των ψηφιακών δεδομένων και θα πρέπει να εγγυάται ότι τα δεδομένα παραμένουν προσβάσιμα, αποθηκεύονται με ασφάλεια και είναι κατανοητά στο μέλλον. Για επιστημονικούς σκοπούς, τα ψηφιακά δεδομένα θα πρέπει να διατηρούνται επ' αόριστον, ώστε να επιτρέπεται σε άλλους ερευνητές να πραγματοποιούν περαιτέρω πειράματα και μελέτες επί των δεδομένων. Τα δεδομένα, όπως είναι γνωστό αποθηκεύονται σε αρχεία. Ο θεμελιώδης στόχος των αρχείων είναι να διασφαλίσουν ότι τα ψηφιακά δεδομένα που αποθηκεύονται σε αυτά προστατεύονται. Τα ψηφιακά αρχεία ευδοκίμουν λόγω δύο στοιχείων: της σωστής διατήρησης δεδομένων και της τεκμηρίωσης συνόλων δεδομένων. Η τεκμηρίωση συνόλου δεδομένων περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικά με τον τρόπο συλλογής των δεδομένων, ποια πρότυπα χρησιμοποιούνται και πώς γίνεται η διαχείρισή τους.

Τα ψηφιακά αρχεία πρέπει να συνοδεύονται από στρατηγικές διατήρησης για να εξασφαλισθεί η σωστή διατήρηση και μακροπρόθεσμη πρόσβαση. Η ψηφιακή αποθήκευση δεδομένων απαιτεί πολλές σκέψεις για το υλικό, το λογισμικό και τις μορφές αρχείων. Η στρατηγική διατήρησης πρέπει να περιλαμβάνει οπωσδήποτε την αποθήκευση του πρωτογενούς υλικού για αρχειακούς λόγους, το οποίο υποχρεωτικά πρέπει να συνοδεύεται από τα κατάλληλα μεταδεδομένα. Επίσης πρέπει να περιλαμβάνει τα επεξεργασμένα δεδομένα μαζί με τα παραγόμενα προϊόντα αυτής καθώς και αρχεία που έχουν υποστεί περαιτέρω μετατροπή για τις ανάγκες της τελικής εφαρμογής, όπως για παράδειγμα μείωση της ανάλυσης και μετατροπή σε τύπο αρχείου για προβολή μέσω του διαδικτύου.

Ιδιαίτερη μέριμνα πρέπει να δοθεί στο μέσο/α που θα αποθηκευτεί αυτή η πληροφορία καθώς πρόκειται για τεράστια πληροφορία. Το μέσο πρέπει να έχει την απαιτούμενη χωρητικότητα και παράλληλα η αποθήκευση να ακολουθεί καθορισμένο πρότυπο ονοματοδοσίας φακέλων και αρχείων έτσι ώστε να είναι εύκολα αναζητήσιμα στο μέλλον. Σε κάθε περίπτωση προτείνεται η παραλαβή των αρχείων να συνοδεύεται από άνοιγμα αυτών των αρχείων κατευθείαν από το μέσο που πρόκειται να αποθηκευτεί. Ως μέσο αποθήκευσης προτείνεται κάποιο φυσικό μέσο όπως δίσκος (εσωτερικός ή εξωτερικός) υπολογιστής ή εξυπηρετητής αρχείων (Network-attached storage-NAS) ή σε τεχνολογία cloud που έχει γίνει προσιτή. Ένα από τα μέσα αυτά θα χρησιμοποιηθεί για τη χρήση των αρχείων και ένα άλλο ως αντίγραφο ασφαλείας. Περιοδικοί έλεγχοι των αρχείων θα εξασφαλίσουν την μακροχρόνια διατήρησή τους.

## 4.1 Παράγωγα προϊόντα ψηφιοποίησης

Ο Πίνακας 13 παρουσιάζει ενδεικτικά προϊόντα που προέρχονται από εργασίες 3Δ ψηφιοποίησης.

Πίνακας 13 - Παράγωγα προϊόντα ψηφιοποίησης

Προϊόν	Περιγραφή
<b>Νέφος σημείων</b>	Ένα νέφος σημείων είναι ένα διακριτό σύνολο σημείων στον χώρο που αντιπροσωπεύει ένα τρισδιάστατο σχήμα ή αντικείμενο. Όπως αναφέρθηκε, είναι το βασικό προϊόν της 3Δ ψηφιοποίησης και μπορεί να περιλαμβάνει και χρωματική πληροφορία για κάθε σημείο.
<b>Πολυγωνικό πλέγμα</b>	Ένα 3Δ πολυγωνικό πλέγμα (mesh) είναι μια συλλογή κορυφών, ακμών και όψεων που μαζί σχηματίζουν ένα τρισδιάστατο αντικείμενο. Οι κορυφές είναι οι συντεταγμένες στον τρισδιάστατο χώρο, οι ακμές συνδέουν κάθε δύο γειτονικές κορυφές και οι όψεις (τα πολύγωνα) περιλαμβάνουν τις άκρες για να σχηματίσουν την επιφάνεια του αντικειμένου. Ένα πολυγωνικό πλέγμα μπορεί να το συνοδεύει κατάλληλο αρχείο που περιέχει χρωματική πληροφορία της επιφάνειας.
<b>Σχέδια 2Δ και 3Δ</b>	Η παραγωγή σχεδίων CAD (Computer-Aided Design), π.χ. όψεων, κατόψεων, κτλ.
<b>Μοντέλο Δομικών Πληροφοριών</b>	Το Μοντέλο Δομικών Πληροφοριών που είναι γνωστό ως BIM (Building Information Modeling) περιλαμβάνει τη χρήση παραμετρικών αντικειμένων που ενσωματώνονται για να παρέχουν μια εικονική αναπαράσταση ενός κτιρίου ή μιας εγκατάστασης. Τα παραμετρικά αντικείμενα αντιπροσωπεύουν διάφορα αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά, δομικά στοιχεία, συστήματα, άλλα στοιχεία και χώρους και είναι έξυπνοι φορείς πληροφοριών. Τα παραμετρικά αντικείμενα δημιουργούνται χρησιμοποιώντας γεωμετρικούς ορισμούς, σχετικά δεδομένα και κανόνες που καθορίζουν τη συμπεριφορά τους, δηλαδή πώς αλληλοεπιδρούν με

---

άλλα αντικείμενα ή ανταποκρίνονται σε αλλαγές στις παραμέτρους τους. Στην παραμετρική μοντελοποίηση, οι αλλαγές στη σχεδίαση θα ενημερώνουν αυτόματα το συγκρότημα και τα στοιχεία του, έτσι ώστε οι κανόνες και οι ορισμοί των αντικειμένων να είναι πάντα έγκυροι. Η τεχνολογία BIM συνδυάζει τα πλεονεκτήματα της τρισδιάστατης ψηφιακής γεωμετρικής αναπαράστασης με τη λεπτομερή κατανόηση του τρόπου κατασκευής ενός κτιρίου και της απόδοσής του.

---

### **Ορθοφωτογραφίες**

### **Ορθοφωτοχάρτες**

Μία ψηφιακή ορθοφωτογραφία/ορθοφωτοχάρτης είναι μια εικόνα που δημιουργείται στην οποία έχουν αφαιρεθεί οι μετατοπίσεις (παραμορφώσεις) που προκαλούνται από το ανάγλυφο του αντικειμένου (π.χ. εδάφους) και τις κλίσεις της κάμερας. Συνδυάζει τα χαρακτηριστικά μιας φωτογραφίας ενσωματώνοντας τις γεωμετρικές ιδιότητες. Σε αντίθεση με μια απλή φωτογραφία, μια ορθοφωτογραφία έχει ομοιόμορφη κλίμακα και είναι δυνατή η απευθείας μέτρηση πάνω της. Σε περίπτωση ορθοφωτοχάρτη, όταν προέρχεται από αεροφωτογράφιση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βασικός χάρτης στον οποίο επικαλύπτονται άλλες πληροφορίες χάρτη και είναι επίσης δυνατή η απευθείας μέτρηση, όπως και στους άλλους χάρτες.

---

## **4.2 Τύποι αρχείων για αποθήκευση τρισδιάστατων δεδομένων**

Υπάρχει μια ποικιλία τύπων αρχείων που μπορούν να αποθηκεύσουν τρισδιάστατα δεδομένα. Η βασική κατηγοριοποίηση περιλαμβάνει τον διαχωρισμό σε ιδιόκτητους και ουδέτερους τύπους αρχείων. Οι ιδιόκτητοι τύποι αρχείων είναι αυτοί που έχουν δημιουργηθεί ειδικά για να χρησιμοποιούνται με ένα συγκεκριμένο λογισμικό εφαρμογών, γεγονός που τους δίνει ορισμένα προφανή πλεονεκτήματα, επειδή είναι βελτιστοποιημένοι για να λειτουργούν με το συγκεκριμένο λογισμικό. Τα μειονεκτήματα μπορεί να είναι λιγότερο προφανή, αλλά αξίζει επίσης να ληφθούν υπόψη καθώς ο τύπος αρχείου είναι ιδιόκτητος, είναι λιγότερο πιθανό να συνεργαστεί με άλλο λογισμικό εφαρμογών. Οι ουδέτεροι τύποι αρχείων, ή μορφές ανταλλαγής δεδομένων όπως συνηθίζεται να ονομάζονται, λειτουργούν μεταξύ διαφορετικών λογισμικών εφαρμογών καθιστώντας

δυνατή τη δημιουργία ενός αρχείου σε ένα λογισμικό και την μετέπειτα επεξεργασία του σε άλλο λογισμικό.

Ο Πίνακας 14 αποτυπώνει τους πιο διαδεδομένους ιδιόκτητους τύπους αρχείων δεδομένων και ο Πίνακας 15 τους πιο διαδεδομένους τύπους αρχείων ανταλλαγής δεδομένων που μπορούν να αποθηκεύσουν τρισδιάστατα δεδομένα, μαζί με την αντίστοιχη περιγραφή για την μορφή τους. Ο τύπος αρχείου προσδιορίζεται από την επέκταση αρχείου και τις εφαρμογές που σχετίζονται με το αρχείο ενώ μια μορφή αρχείου καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο αποθηκεύονται τα δεδομένα σε ένα αρχείο.

Πίνακας 14 – Ιδιόκτητοι τύποι αρχείων που μπορούν να αποθηκεύσουν τρισδιάστατα δεδομένα

Τύπος	Περιγραφή της μορφής
<b>.3ds</b>	Το 3ds είναι μια μορφή αρχείου της Autodesk που χρησιμοποιεί το 3ds Max ως έναν από τους τύπους αρχείων του. Ήταν μια κοινή μορφή αρχείου 3D που θεωρείται ευρέως ως πρότυπο για την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ πακέτων λογισμικού 3D για μεγάλο χρονικό διάστημα. Ωστόσο, χρησιμοποιείται κυρίως για απλή γεωμετρία επειδή διατηρεί τις απαραίτητες πληροφορίες - πλέγμα, κινούμενα σχέδια αντικειμένων, φωτισμός, θέση κάμερας, υλικό, χρώμα, τραχύτητα και μετάδοση.
<b>.dae</b>	Η Sony Computer Entertainment δημιούργησε αυτήν τη μορφή αρχείου 3D, την οποία κατέχει πλέον ο Όμιλος Khronos. Η μορφή DAE βασίζεται στο σχήμα XML COLLADA (COLLABorative Design Activity), το οποίο ανήκει πλέον και αναπτύσσεται από την Autodesk. Η επέκταση αρχείου για αυτήν τη μορφή είναι .dae (Digital Asset Exchange). Σχεδιάστηκε για να παρέχει ένα τυπικό σχήμα που θα μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν οι εφαρμογές τρισδιάστατων γραφικών για την αποθήκευση αρχείων, έτσι ώστε αυτά τα αρχεία να μπορούν εύκολα να ανταλλάσσονται μεταξύ των εφαρμογών.
<b>.fbx</b>	Το FBX είναι μια κοινή μορφή αρχείου 3D που δημιουργήθηκε από την Kaydara και στη συνέχεια αγοράστηκε από την Autodesk. Διασφαλίζει ότι τα



---

προγράμματα λογισμικού της Autodesk όπως τα Maya, MotionBuilder, 3Ds Max, Cinema4D, Rhino, Modo και Mudbox συνεργάζονται.

Τα αρχεία fbx περιέχουν δεδομένα 3D αντικειμένων και δεδομένα κινούμενων εικόνων. Αυτό καθιστά αυτόν τον τύπο αρχείου πιο δημοφιλής σε ταινίες και , παιχνίδια, σε όλες τις βιομηχανίες δηλαδή που χρειάζονται πολύπλοκα μοντέλα, υλικά και κινούμενα σχέδια. Τα αρχεία fbx αποθηκεύουν δεδομένα για πλήρεις σκηνές κινουμένων σχεδίων, συμπεριλαμβανομένων των οστών, των ματιών, του φωτισμού και των καμερών και της γεωμετρίας, είναι συμβατά με βιομηχανικά πρότυπα παιχνιδιών και με ροές εργασιών AR/VR [20].

---

#### usd/usdz

Το USD (Universal Scene Descriptor) είναι μια μορφή αρχείου που αναπτύχθηκε εσωτερικά από την Pixar και είναι πλέον ανοιχτού κώδικα. Περιέχει δεδομένα αντικειμένου, υλικού, σκηνής και κινούμενων εικόνων. Το USD αποθηκεύει αποτελεσματικά ολόκληρα δεδομένα σκηνής [21].

Το USDZ είναι μια ιδιόκτητη μορφή που δημιουργήθηκε από κοινού από την Apple και την Pixar ειδικά για AR. Με αυτήν τη μορφή, μπορεί να δημιουργηθεί περιεχόμενο 3D επαυξημένης πραγματικότητας για νεότερες συσκευές Apple.

---

Πίνακας 15 - Τύποι αρχείων που μπορούν να αποθηκεύσουν τρισδιάστατα δεδομένα

---

Τύπος	Περιγραφή της μορφής
-------	----------------------

<b>.3mf</b>	Το 3D Manufacturing Format (3MF) είναι μια μορφή αρχείου προορισμένη για τρισδιάστατη εκτύπωση που επιτρέπει σε εφαρμογές σχεδιασμού να στέλνουν μοντέλα 3D πλήρους πιστότητας σε έναν συνδυασμό άλλων εφαρμογών, πλατφορμών, υπηρεσιών και εκτυπωτών. Το 3MF είναι μια μορφή δεδομένων που βασίζεται σε XML και έχει σχεδιαστεί ειδικά για την βιομηχανία. Περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικά με υλικά, χρώματα και άλλες πληροφορίες που δεν μπορούν να αναπαρασταθούν στη μορφή STL [22].
-------------	--

---

**.xyz**

Τα αρχεία XYZ είναι αρχεία ASCII (American Standard Code for Information Interchange), όπου κάθε σειρά αντιπροσωπεύει ένα σημείο μέσα σε ένα νέφος σημείων και κάθε στήλη στη σειρά οριοθετείται από κάποιο διαχωριστικό χαρακτήρα αντιπροσωπεύοντας ένα στοιχείο του σημείου. Τα αρχεία αυτής της μορφής συναντώνται και αρχεία με πολλές άλλες επεκτάσεις όπως: .asc, .txt, .pts. Το βασικό μειονέκτημα είναι ότι λόγω έλλειψης προδιαγραφών τα περιεχόμενα του αρχείου μπορεί να έχουν μεταβλητό αριθμό στηλών, την πιθανή ύπαρξη μιας ή περισσότερων γραμμών «κεφαλίδας» στην αρχή του αρχείου και ενδέχεται να διαφέρουν ανάλογα με τον δημιουργό. Η πιο συνηθισμένη μορφή περιεχομένων του αρχείου είναι ότι οι τρεις πρώτες στήλες αντιπροσωπεύουν τις συντεταγμένες X,Y,Z και οι υπόλοιπες αντιπροσωπεύουν κάποιο βαθμωτό πεδίο που σχετίζεται με αυτό το σημείο (τιμές R,G,B, τιμή έντασης I, κτλ).

---

**.e57**

Η μορφή αρχείου ASTM E57 3D (E57), που δημιουργήθηκε με συνδυασμό δυαδικών και μορφών XML, XML 1.0, είναι μια μορφή ανταλλαγής αρχείων ανοιχτού κώδικα, πλήρως τεκμηριωμένη, για δεδομένα τρισδιάστατης απεικόνισης. Τα αρχεία E57 μπορούν να αποθηκεύουν δεδομένα σημείου 3D, χαρακτηριστικά δεδομένων σημείου και εικόνες 2D, καθώς και μια καθορισμένη επέκταση για την αντιμετώπιση μελλοντικών πτυχών της τρισδιάστατης απεικόνισης. Η μορφή E57 χρησιμοποιεί «δέντρα» για να περιγράψει τη δομή των δεδομένων XML και να ευρετηριάσει δεδομένα σε δυαδικές ενότητες. Τα δέντρα ορίζονται ως «δομές δεδομένων» που αντιπροσωπεύουν ένα άκυκλο γράφημα αποτελούμενο από κόμβους, οι οποίοι αποθηκεύουν κάποιες πληροφορίες και ακμές (γνωστές και ως τόξα) που συνδέουν τους κόμβους [23]. Η μορφή αρχείου E57 δημιουργήθηκε από την επιτροπή ASTM E57 της ASTM International που ήταν γνωστή ως το 2001 ως American Society for Testing and Material, μια τεχνική επιτροπή που αναπτύσσει και διατηρεί τα πρότυπα ASTM και τεκμηριώνεται στο ASTM E2807-11(2019) [24].

---

**.glb/gltf**

Το glTF (Transmission Format) είναι μια μορφή αρχείου 3D που αποθηκεύει πληροφορίες τρισδιάστατου μοντέλου σε μορφή JSON. Η χρήση του JSON

---

ελαχιστοποιεί τόσο το μέγεθος των τρισδιάστατων στοιχείων όσο και την επεξεργασία χρόνου εκτέλεσης που απαιτείται για την αποσυσκευασία και τη χρήση αυτών των στοιχείων. Υιοθετήθηκε για την αποτελεσματική μετάδοση και φόρτωση τρισδιάστατων σκηνών και μοντέλων από εφαρμογές. Η μορφή αρχείου glTF ορίζει μια επεκτάσιμη, κοινή μορφή δημοσίευσης για εργαλεία και υπηρεσίες τρισδιάστατου περιεχομένου που απλοποιεί τις ροές εργασίας συγγραφής και επιτρέπει τη διαλειτουργική χρήση περιεχομένου σε ολόκληρο τον κλάδο. Το glTF αναπτύχθηκε από την ομάδα εργασίας Khronos Group 3D Formats. Το glb είναι η αναπαράσταση δυαδικής μορφής αρχείου τρισδιάστατων μοντέλων που είναι αποθηκευμένα στη μορφή glTF [25].

---

Η μορφή αρχείου LAS (LASer) αναπτύχθηκε και διατηρείται ως δημόσια προδιαγραφή από την American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS)<sup>21</sup>. Είναι μια μορφή αρχείου για την ανταλλαγή τρισδιάστατων δεδομένων νέφους σημείων η οποία αν και έχει αναπτυχθεί κυρίως για την ανταλλαγή δεδομένων νέφους σημείου από εναέριους σαρωτές λέιζερ, υποστηρίζει την ανταλλαγή οποιωνδήποτε τρισδιάστατων δεδομένων. Παραλλαγή της μορφής LAS είναι η LAZ που αποτελεί μια συμπιεσμένη χωρίς απώλειες έκδοση της LAS.

**.las**

**.laz**

Η μορφή LAS στην τελευταία έκδοση 1.4 βασίζεται σε δομή αρχείου 64-bit, όλες οι τιμές δεδομένων είναι δυαδικές σε μορφή μικρής-ενδιάνικης μορφής και χρησιμοποιεί τέσσερις τύπους εγγραφής [26]: α) το υποχρεωτικό μπλοκ ενιαίας κεφαλίδας περιέχει μια υπογραφή αρχείου, βασικά μεταδεδομένα που προσδιορίζουν το έργο, τον αριθμό και τον τύπο των εγγραφών δεδομένων σημείου, τις διαστάσεις του εύρους x, y, z που περιλαμβάνονται και δείκτες στις κύριες ενότητες του αρχείου, β) τις προαιρετικές εγγραφές μεταβλητού μήκους που περιέχουν μεταβλητούς τύπους δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων των πληροφοριών προβολής, μεταδεδομένων, πληροφοριών πακέτου κυματομορφής και δεδομένων εφαρμογής χρήστη, γ) τις εγγραφές δεδομένων σημείου που αποτελούν το κύριο περιεχόμενο του αρχείου και δ) τις προαιρετικές εγγραφές εκτεταμένου

---

<sup>21</sup> <https://www.asprs.org/>

---

μεταβλητού μήκους που επιτρέπουν μεγαλύτερο ωφέλιμο φορτίο δεδομένων από τις εγγραφές μεταβλητού μήκους και μπορούν εύκολα να προσαρτηθούν στο τέλος ενός αρχείου LAS.

---

#### **.obj**

Η μορφή αρχείου OBJ δημιουργήθηκε από την εταιρεία Wavefront Technologies την δεκαετία του 1990 για την εφαρμογή Advanced Visualizer με σκοπό την αποθήκευση γεωμετρικών αντικειμένων που αποτελούνται από γραμμές, πολυγωνικά πλέγματα και καμπύλες και επιφάνειες ελεύθερης μορφής. Τα αρχεία OBJ μπορούν να κωδικοποιήσουν τη γεωμετρία της επιφάνειας ενός τρισδιάστατου μοντέλου, αλλά μπορούν επίσης να αποθηκεύσουν πληροφορίες χρώματος και υφής χωρίς να αποθηκεύουν πληροφορίες σκηνής (όπως θέση φωτός) ή κινούμενα σχέδια. Η προδιαγραφή για το αρχείο OBJ χρησιμοποιεί ένα συσχετισμένο αρχείο Wavefront Material Template Library (MTL) (παρουσιάζεται παρακάτω) για να ορίσει τόσο τα χρώματα όσο και τις υφές. Οι υφές και τα χρώματα που καθορίζονται με το όνομα σε ένα αρχείο MTL καλούνται από το αρχείο OBJ. Η μορφή αρχείου OBJ παραμένει ιδιαίτερα διαδεδομένη σήμερα για ανταλλαγή 3D μοντέλων και έχει γίνει επίσης δημοφιλής ως μορφή αρχείου για πολύχρωμη τρισδιάστατη εκτύπωση, καθώς η κατά τα άλλα τυπική μορφή τρισδιάστατης εκτύπωσης, STL (παρουσιάζεται παρακάτω), δεν περιέχει πληροφορίες χρώματος και υφής.

Η κεντρική ιδέα σε ένα μοντέλο OBJ είναι το «στοιχείο». Η προδιαγραφή παραθέτει τα ακόλουθα ως στοιχεία: σημείο (p), γραμμή (l), πρόσωπο (f), καμπύλη (καμπύλη), καμπύλη 2D (curv2) και επιφάνεια (surf). Τα στοιχεία κατασκευάζονται από κορυφές. οι κορυφές πρέπει να παρατίθενται πρώτα στο αρχείο, έτσι ώστε τα στοιχεία να μπορούν να αναφέρονται σε αυτές με αριθμό, χρησιμοποιώντας τη σειρά με την οποία εμφανίζονται στο αρχείο. Τα στοιχεία μπορούν προαιρετικά να οργανωθούν σε ομάδες για ευκολία ή για καθοδήγηση εφαρμογών απόδοσης [27].

---

#### **.mtl**

Το αρχείο Wavefront Material Template Library (MTL) είναι ένα συνοδευτικό αρχείο για ένα ή περισσότερα αρχεία OBJ [28]. Όπως η μορφή OBJ, η μορφή MTL χρησιμοποιήθηκε και τεκμηριώθηκε από την Wavefront Technologies. Το αρχείο MTL περιγράφει τις ιδιότητες εμφάνισης της επιφάνειας που πρέπει να εφαρμοστεί

---

---

σε πολυγωνικές όψεις ή καμπύλες ελεύθερης μορφής που ορίζονται σε ένα αρχείο OBJ. Το αρχείο MTL είναι μια «βιβλιοθήκη» που μπορεί να περιέχει έναν ή περισσότερους ορισμούς υλικού με όνομα, καθένας από τους οποίους μπορεί να καθορίσει χαρακτηριστικά χρώματος, υφής και αντανάκλασης. Για παράδειγμα, ο ορισμός για ένα υλικό μπορεί να προσδιορίζει τιμές RGB για τη διάχυτη, την περιβαλλοντική και την κατοπτρική ανακλαστικότητα του υλικού, μαζί με άλλα χαρακτηριστικά όπως ο δείκτης διάθλασης και η διαφάνεια.

---

**.ply**

Η μορφή αρχείου Polygon File Format (PLY) [29] που είναι επίσης γνωστή ως Stanford Triangle Format είναι μια απλή μορφή για την περιγραφή ενός αντικειμένου ως πολυγωνικού μοντέλου. Η μορφή προήλθε από το εργαστήριο γραφικών υπολογιστών του πανεπιστημίου Στάνφορντ τη δεκαετία του 1990, όπου χρησιμοποιήθηκε για μοντέλα που προέρχονταν από έναν τρισδιάστατο σαρωτή τριγωνισμού λέιζερ. Ένα αρχείο PLY περιγράφει μόνο ένα αντικείμενο. Η μορφή αρχείου έχει δύο υποτύπους: μια αναπαράσταση ASCII και ένα δυαδικό ισοδύναμο για πιο συμπαγή αποθήκευση και πιο γρήγορη αποθήκευση και φόρτωση.

---

**.stl**

Η μορφή αρχείου STL (STereoLithography) είναι μια ανοιχτά τεκμηριωμένη μορφή για την περιγραφή της επιφάνειας ενός αντικειμένου ως τριγωνικού πλέγματος, δηλαδή ως αναπαράσταση μιας τρισδιάστατης επιφάνειας σε τριγωνικές όψεις [30]. Το STL αναφέρεται μερικές φορές ως «Standard Triangle Language». Η μορφή αναπτύχθηκε αρχικά για τη στερεολιθογραφία, μια μορφή τρισδιάστατης εκτύπωσης που χρησιμοποιήθηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1980 για γρήγορη δημιουργία πρωτοτύπων. Το STL τεκμηριώθηκε για πρώτη φορά στο StereoLithography Interface Specification το 1988 από την 3D Systems, Inc.

---

**.stp**

Η μορφή αρχείου STEP, γνωστή και ως "Standard for Exchange of Product Model Data" είναι μια μορφή αρχείου 3D που επιτρέπει στους χρήστες να μεταφέρουν αρχεία μεταξύ προγραμμάτων CAD και μεταξύ λογισμικού CAD και 3D. Τα αρχεία STEP χρησιμοποιούνται συνήθως στη σχεδίαση με τη βοήθεια υπολογιστή (CAD)

---

---

και στην τρισδιάστατη εκτύπωση για να περιέχουν δεδομένα τρισδιάστατων μοντέλων για μια μεγάλη ποικιλία εργασιών σχεδιασμού.

---

**.x3d**

Το X3D (Extensible 3D) είναι ένα σύνολο προτύπων ISO/IEC από την Κοινοπραξία Web3D χωρίς δικαιώματα για την δηλωτική αναπαράσταση 3D δεδομένων [31]. Το X3D έγινε ο διάδοχος της Virtual Reality Modeling Language (VRML) το 2001. Το X3D περιλαμβάνει πολλαπλές μορφές αρχείων γραφικών, ορισμούς API σε γλώσσα προγραμματισμού και προδιαγραφές χρόνου εκτέλεσης τόσο για την παράδοση όσο και για την ενοποίηση διαδραστικών 3D δεδομένων με δυνατότητα δικτύου. Το X3D έχει σχεδιαστεί ειδικά για να λειτουργεί σε διάφορες συσκευές χρησιμοποιώντας την Αρχιτεκτονική Ιστού. Η υποστηρίξιμη μορφή αρχείου X3D περιλαμβάνει XML, ClassicVRML, Συμπιεσμένη Δυναμική Κωδικοποίηση (CBE) και μια πρόχειρη κωδικοποίηση JSON. Η υποστηρίξιμη του σημασιολογικού Ιστού έχει επίσης αποδειχθεί από μια κωδικοποίηση Turtle.

---

### 4.3 Αρχαιοθέτηση δεδομένων σαρωτή λέιζερ

Τα δεδομένα από ένα έργο ψηφιοποίησης με σαρωτή λέιζερ αποτελούνται από πάρα πολλά αρχεία. Ο Πίνακας 16 περιέχει συστάσεις για τα αρχεία προς παραλαβή και αρχαιοθέτηση στο τέλος ενός έργου.

Πίνακας 16 - Συστάσεις για την αποθήκευση δεδομένων σαρωτή λέιζερ

Παραδοτέα	Περιγραφή	Τύπος Αρχείων	ΥΠ	ΣΥ	ΠΡ
Ακατέργαστα δεδομένα σάρωσης	Αρχική μορφή των μεμονομένων σαρώσεων όπως έχουν ληφθεί από τον σαρωτή	Η μορφή αρχείων του σαρωτή	✓		
	Επεξεργασμένη μορφή των μεμονομένων σαρώσεων με ενσωματωμένες τις τιμές της έντασης του λέιζερ, και τις πληροφορίες χρώματος RGB αν απαιτούνται, που λαμβάνονται ανά σημείο σε κάθε θέση σάρωσης	Η μορφή αρχείων του σαρωτή	✓		



Πρόσθετες ψηφιακές εικόνες	Εικόνες που δείχνουν το θέμα που σαρώνεται και το περιβάλλον και λαμβάνονται με ξεχωριστή κάμερα, το οπτικό κέντρο της οποίας έχει ευθυγραμμιστεί με το κέντρο μέτρησης του σαρωτή λέιζερ	Αρχεία .RAW ή μόνο αν δεν υποστηρίζει η κάμερα αρχεία .JPEG			✓
	Μεταδεδομένα	Δεδομένα EXIF των εικόνων			✓
Ταυτοποιημένα δεδομένα σάρωσης	Αρχική μορφή	Η μορφή αρχείων του λογισμικού του σαρωτή	✓		
	Επεξεργασμένη μορφή (νέφος σημείων φιλτραρισμένο, καθαρισμένο, κομμένο στο θέμα)	Μορφή ανταλλαγής δεδομένων π.χ. .las, .e57	✓		
Αναφορά ψηφιοποίησης	<p>Η αναφορά ψηφιοποίησης πρέπει να περιλαμβάνει τουλάχιστον:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ένα διάγραμμα που δείχνει τις κατά προσέγγιση θέσεις σάρωσης</li> <li>πίνακα με μεταδεδομένα της κάθε σάρωσης (ανάλυση, ρυθμίσεις χρώματος, κτλ)</li> <li>πληροφορίες του συνολικού έργου (ημέρες εργασιών πεδίου, πίνακας χαρακτηριστικών των οργάνων που χρησιμοποιήθηκαν, ρυθμίσεις των οργάνων κατά τη διάρκεια σάρωσης)</li> <li>ένα διάγραμμα που δείχνει τη θέση όλων των τεχνητών στόχων/σημείων ελέγχου (αν έχουν χρησιμοποιηθεί)</li> <li>πίνακα με συντεταγμένες όλων των σημείων/στόχων ελέγχου και</li> <li>μια αναφορά ταυτοποίησης που δείχνει τη συνολική ακρίβεια της σάρωσης λέιζερ</li> </ul>	Αρχείο .pdf	✓		
Παράγωγα αποτελέσματα	Σχέδια 2Δ	Αρχεία .dxf			✓
	Μοντέλο Δομικών Πληροφοριών (BIM)	Αρχείο .ifc ή .rvt συμπεριλαμβανομένων			✓

		βιβλιοθηκών εξαρτημάτων που χρησιμοποιήθηκαν			
	Τρισδιάστατα μοντέλα με υφή	Αρχείο .obj μαζί με το .mtl		✓	
	Ορθοφωτογραφίες/Ορθοφωτοχάρτες	Αρχείο .tiff ή αρχείο geoTIFF (γεωαναφερόμενο)			✓
Άλλα δεδομένα	Καθορίζουμε τη μορφή				✓
Αναφορά παραδοτέων αρχείων	Αναφορά που θα εξηγεί αναλυτικά την οργάνωση των φακέλων και αρχείων συμπεριλαμβανομένου του λογισμικού και της έκδοσής του που χρησιμοποιήθηκε	Αρχείο .pdf	✓		

Όλα τα αρχεία πρέπει να παραδοθούν με ονόματα αρχείων με μήκος τουλάχιστον οκτώ χαρακτήρες και πρέπει να ακολουθούν το προτεινόμενο σύστημα ονομασίας αρχείων (Πίνακας 17) ή να καθορίζεται άλλο σύστημα.

Πίνακας 17 - Προτεινόμενο σύστημα ονομασίας αρχείων

Χαρακτήρες	Περιγραφή
1-3	Τυπική συντομογραφία του ονόματος π.χ. MAJ (Κάστρο Μ.Μαγίστρου)
4-5	Έτος που πραγματοποιήθηκε π.χ. 23 (2023)
6	Είδος αποτύπωσης
	P (φωτογραμμετρία)
	O (ορθοφωτογραφία)
	L (δεδομένα σάρωσης λέιζερ)
7-8+	Αριθμός διαδοχικού αρχείου από 01 ή 001 εάν θα υπάρχουν περισσότερα από 99 αρχεία

π.χ. MAJ23L01.TIF ή MAJ23L01.E57

#### 4.4 Αρχαιοθέτηση δεδομένων φωτογραμμετρίας

Τα δεδομένα από ένα έργο ψηφιοποίησης με μεθόδους φωτογραμμετρίας αποτελούνται από πάρα πολλά αρχεία. Ο Πίνακας 18 περιέχει συστάσεις για τα αρχεία προς παραλαβή και αρχαιοθέτηση στο τέλος ενός έργου ψηφιοποίησης.

Πίνακας 18 - Συστάσεις για την αποθήκευση δεδομένων φωτογραμμετρικής επεξεργασίας

Παραδοτέα	Περιγραφή	Τύπος Αρχείων	ΥΠ	ΣΥ	ΠΡ
Αρχικό σετ φωτογραφιών	Αρχική μορφή των φωτογραφιών όπως έχουν ληφθεί από την κάμερα (χειρός ή από drone)	Αρχεία .RAW ή μόνο αν δεν υποστηρίζει η κάμερα αρχεία .JPEG	✓		
	Μεταδεδομένα	Δεδομένα EXIF των εικόνων	✓		
Επεξεργασμένο έργο	Αρχική φωτογραμμετρική επεξεργασία	Η μορφή αρχείων του λογισμικού φωτογραμμετρίας	✓		
	Επεξεργασμένη μορφή (νέφος σημείων φιλτραρισμένο, καθαρισμένο, κομμένο στο θέμα)	Μορφή ανταλλαγής δεδομένων π.χ. .las, .e57	✓		
Αναφορά ψηφιοποίησης	<p>Η αναφορά ψηφιοποίησης πρέπει να περιλαμβάνει τουλάχιστον:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ένα διάγραμμα που δείχνει τις κατά προσέγγιση θέσεις φωτογράφισης</li> <li>• πίνακα με μεταδεδομένα της κάθε φωτογράφισης (ανάλυση, ρυθμίσεις κάμερας, κτλ)</li> <li>• πληροφορίες του συνολικού έργου (ημέρες εργασιών πεδίου, πίνακας χαρακτηριστικών των drones και οργάνων που χρησιμοποιήθηκαν, ρυθμίσεις των οργάνων κατά τη διάρκεια φωτογράφισης)</li> <li>• ένα διάγραμμα που δείχνει τη θέση όλων των τεχνητών στόχων/σημείων ελέγχου (αν έχουν χρησιμοποιηθεί)</li> <li>• πίνακα με συντεταγμένες όλων των σημείων/στόχων ελέγχου και</li> <li>• μια αναφορά που δείχνει τη συνολική ακρίβεια της φωτογραμμετρικής επεξεργασίας</li> </ul>	Αρχείο .pdf	✓		
Παράγωγα αποτελέσματα	Σχέδια 2Δ	Αρχεία .dxf			✓
	Μοντέλο Δομικών Πληροφοριών (BIM)	Αρχείο .ifc ή .rvt συμπεριλαμβανομένων βιβλιοθηκών εξαρτημάτων που χρησιμοποιήθηκαν			✓

	Τρισδιάστατα μοντέλα με υφή	Αρχείο .obj μαζί με το .mtl		✓	
	Ορθοφωτογραφίες/Ορθοφωτοχάρτες	Αρχείο .tiff ή αρχείο geoTIFF (γεωαναφερόμενο)			✓
Άλλα δεδομένα	Καθορίζουμε τη μορφή				✓
Αναφορά παραδοτέων αρχείων	Αναφορά που θα εξηγεί αναλυτικά την οργάνωση των φακέλων και αρχείων συμπεριλαμβανομένου του λογισμικού και της έκδοσής του που χρησιμοποιήθηκε	Αρχείο .pdf	✓		

Όλα τα αρχεία πρέπει να παραδοθούν με ονόματα αρχείων με μήκος τουλάχιστον οκτώ χαρακτήρες και πρέπει να ακολουθούν το προτεινόμενο σύστημα ονομασίας αρχείων (Πίνακας 17) ή να καθορίζεται άλλο σύστημα.

#### 4.5 Σχήματα μεταδεδομένων για τρισδιάστατες δομές

Υπάρχει αυξανόμενη ζήτηση για εφαρμογές για την αντιμετώπιση συγκεκριμένων αναγκών διαχείρισης 3D δεδομένων και κεντρικό στοιχείο σε αυτό είναι ο εντοπισμός και η δημιουργία μοντέλων μεταδεδομένων για την περιγραφή των ψηφιακών υποκατάστατων. Οι μεγαλύτερες προκλήσεις στα μεταδεδομένα διατήρησης είναι η ανάπτυξη ενός ενιαίου πλαισίου, συμπεριλαμβανομένων των σημασιολογικών πληροφοριών που χρειάζονται και σε ποια μορφή πρέπει να μοντελοποιηθούν τα αντικείμενα. Υπάρχουν πολλοί οργανισμοί που εργάζονται ενεργά σε αυτόν τον τομέα. Ο Πίνακας 19 αποτυπώνει μερικές από τις πιο σημαντικές δομές μεταδεδομένων που χρησιμοποιούνται [2].

Πίνακας 19 - Σχήματα μεταδεδομένων για τρισδιάστατες δομές

Σχήμα	Περιγραφή
<b>Smithsonian 3D Metadata Model<sup>22</sup></b>	Το Smithsonian metadata schema είναι ένα από τα πιο χρησιμοποιούμενα για 3D αντικείμενα πολιτιστικής κληρονομιάς,

<sup>22</sup> <https://dpo.si.edu/blog/smithsonian-3d-metadata-model>

---

με βάση την εκτενή εμπειρία ψηφιοποίησης πόρων από πολλαπλές συλλογές.

---

### **LIDO<sup>23</sup>**

Το LIDO (Light Information Describing Objects) προορίζεται για την παράδοση μεταδεδομένων, για χρήση σε μια ποικιλία διαδικτυακών υπηρεσιών, από τη βάση δεδομένων διαδικτυακών συλλογών ενός οργανισμού σε πύλες συγκεντρωτικών πόρων, καθώς και για την έκθεση, την κοινή χρήση και τη σύνδεση δεδομένων στο διαδίκτυο. Προτάθηκε για τη διαχείριση περιεχομένου που σχετίζεται με μουσεία στο πλαίσιο της Europeana.

---

### **CARARE<sup>24</sup>**

Το σχήμα μεταδεδομένων CARARE είναι ένα σχήμα συλλογής που προορίζεται για την παροχή μεταδεδομένων σχετικά με τις διαδικτυακές συλλογές ενός οργανισμού, τα στοιχεία κληρονομιάς και τους ψηφιακούς πόρους του. Η έκδοση 2.0 του σχήματος λαμβάνει υπόψη την εμπειρία που αποκτήθηκε από τη χαρτογράφηση περισσότερων από 40 συνόλων δεδομένων από 20 διαφορετικές χώρες στην έκδοση 1.0 του σχήματος κατά τη διάρκεια του έργου CARARE και τη μετατροπή των μεταδεδομένων CARARE σε EDM για παροχή στην Europeana.

---

---

<sup>23</sup> <https://cidoc.mini.icom.museum/working-groups/lido/lido-overview/about-lido/what-is-lido/>

<sup>24</sup> <https://pro.carare.eu/en/introduction-carare-aggregation-services/carare-metadata-schema/>

## 5. Προβολή και διάθεση

Τα ψηφιακά αρχεία με δεδομένα 3Δ με όποιο τρόπο και να έχουν δημιουργηθεί είναι ογκώδη και παράλληλα δύσκολα διατίθενται ή προβάλλονται στο διαδίκτυο. Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζονται τεχνολογίες και λογισμικά εφαρμογών για την προβολή δεδομένων που προήλθαν από 3Δ ψηφιοποίηση, είτε για προβολή τοπικά ή στο διαδίκτυο.

### 5.1 Πνευματικά δικαιώματα και προσωπικά δεδομένα

Η 3Δ ψηφιοποίηση εγείρει ερωτήματα και νομικά ζητήματα σε σχέση με την πνευματική ιδιοκτησία που προκύπτουν σε σχέση με τα 3Δ δεδομένα [32], [33]. Μια τεχνική πρόκληση, στενά συνδεδεμένη με ζητήματα διαδικτυακής διαχείρισης δεδομένων, αφορά τις πολιτικές που υποστηρίζονται για τη διαχείριση των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Εγείρονται νομικά ερωτήματα, όπως για παράδειγμα αν το προϊόν μιας 3Δ ψηφιοποίησης ενός αγάλματος ακολουθεί τα δικαιώματα του ίδιου του αγάλματος. Η διαχείριση της προστασίας δεδομένων είναι ένα βασικό ζήτημα που επηρεάζει όλα τα μέσα που σχετίζονται με διαδικτυακή πρόσβαση, αλλά είναι πολύ πιο περίπλοκη για τα 3Δ δεδομένα, καθώς είναι μια πιο πρόσφατη μορφή πολυμέσων χωρίς κατάλληλη διεθνή ή εθνική νομοθεσία ικανή να τα προστατεύσει με σαφήνεια [34]. Η διαδικασία 3Δ ψηφιοποίησης και διάθεσης των 3Δ μοντέλων πρέπει να διαθέτει την απαιτούμενη άδεια και να καθορίζονται τα αντίστοιχα πνευματικά δικαιώματα. Οργανισμοί όπως η Ευρωπαϊκή Ένωση βρίσκονται σε διαδικασία διαβούλευσης για την παρουσίαση ενός πιο συγκεκριμένου πλαισίου διάθεσης των δεδομένων από μια 3Δ ψηφιοποίηση. Επίσης σύμφωνα με τον Γενικό Κανονισμό για την Προστασία των Δεδομένων (General Data Protection Regulation, GDPR) οτιδήποτε αρχείο διατίθεται πρέπει να μην περιέχει δεδομένα προσωπικού χαρακτήρα.

### 5.2 Λογισμικά προβολής τοπικά και στο διαδίκτυο

Ορισμένοι κατασκευαστές σαρωτών λέιζερ ή λογισμικών εφαρμογών προσφέρουν λογισμικό (viewer) που επιτρέπει στο νέφος σημείων και τα σχετικά δεδομένα να είναι διαθέσιμα μέσω του διαδικτύου για προβολή από τον πελάτη ή άλλους ενδιαφερόμενους φορείς. Η ροή μόνο των δεδομένων στην οθόνη σε κατάλληλο επίπεδο λεπτομέρειας επιτρέπει τη διαδραστική θέαση για βασική ανάλυση και μετρήσεις μόνο με μια προσθήκη σε ένα πρόγραμμα περιήγησης. Αν και το λογισμικό είναι συνήθως δωρεάν, ο πάροχος δεδομένων μπορεί να θέλει να χρεώσει το κόστος διαχείρισης δεδομένων και διακομιστή. Ορισμένοι κατασκευαστές παρέχουν μια περιορισμένη



έκδοση του λογισμικού επεξεργασίας για την επίτευξη της ίδιας λύσης σε τοπικά αποθηκευμένα δεδομένα. Η τελευταία μέθοδος απαιτεί τον απαραίτητο χώρο αποθήκευσης και την επεξεργαστική ισχύ για τον χειρισμό των δεδομένων. Ο Πίνακας 20 παρουσιάζει ενδεικτικά μερικά από αυτά.

Πίνακας 20 - Λογισμικά προβολής τοπικά και στο διαδίκτυο

Κατασκευαστής	Λογισμικό	Τοπική προβολή	Διαδικτυακή προβολή
Aveva	LFM NetView <sup>25</sup>	✓	✓
Faro	SCENE LT <sup>26</sup>	✓	
Faro	WebShare <sup>27</sup>		✓
Leica	TruView Digital Reality Viewer <sup>28</sup>	✓	✓
Pix4D	Pix4DCloud <sup>29</sup>		✓
RIEGL	RiSCAN PRO viewer <sup>30</sup>	✓	
Topcon	Scanmaster viewer <sup>31</sup>	✓	
Trimble	RealWorks Viewer <sup>32</sup>	✓	

Για τοπική προβολή αλλά και επεξεργασία 3D αρχείων αξιοσημείωτα ανοικτού κώδικα λογισμικά εφαρμογών είναι το Cloudcompare και το MeshLab. Το CloudCompare<sup>33</sup> είναι ένα λογισμικό επεξεργασίας 3D νεφών σημείων (και τριγωνικού πλέγματος). Έχει σχεδιαστεί αρχικά για να πραγματοποιεί σύγκριση μεταξύ δύο νεφών σημείων ή μεταξύ ενός νέφους σημείων και ενός τριγωνικού πλέγματος αλλά σήμερα περιλαμβάνει πολλές λειτουργίες. Το MeshLab<sup>34</sup> είναι ένα σύστημα λογισμικού επεξεργασίας τρισδιάστατων τριγωνικών πλεγμάτων που προσανατολίζεται στη

<sup>25</sup> <https://www.aveva.com/en/products/lfm-netview/>

<sup>26</sup>

[https://knowledge.faro.com/Software/FARO\\_SCENE/SCENE/Software\\_Download\\_Installation\\_and\\_Release\\_Notes\\_for\\_SCENE\\_LT](https://knowledge.faro.com/Software/FARO_SCENE/SCENE/Software_Download_Installation_and_Release_Notes_for_SCENE_LT)

<sup>27</sup> <https://www.faro.com/en/Products/Software/WebShare>

<sup>28</sup> <https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/software/leica-truview>

<sup>29</sup> <https://cloud.pix4d.com/demo>

<sup>30</sup> <http://www.riegl.com/products/software-packages/riscan-pro/>

<sup>31</sup> <https://www.topconpositioning.com/support/products/scanmaster-software>

<sup>32</sup> <https://go2.trimble.com/RealWorks-Viewer-Download.html>

<sup>33</sup> <https://www.danielgm.net/cc/>

<sup>34</sup> <https://www.meshlab.net/>

διαχείριση και επεξεργασία αδόμητων μεγάλων πλεγμάτων και παρέχει ένα σύνολο εργαλείων για επεξεργασία, καθαρισμό, διόρθωση, επιθεώρηση, απόδοση και μετατροπή αυτών των ειδών πλεγμάτων.

### 5.3 3D PDF

Το 3D PDF είναι ένα αρχείο PDF με τρισδιάστατη γεωμετρία μέσα που μπορεί να ανοίξει από οποιοδήποτε υποστηριζόμενη εφαρμογή λογισμικού. Χρησιμοποιώντας οποιοδήποτε πρόγραμμα προβολής με δυνατότητα 3D PDF, η περιστροφή, το ζουμ και η επιλογή είναι διαθέσιμη στην τρισδιάστατη προβολή (βλ. Σχήμα 28). Αυτό χρησιμοποιείται συχνά για τεκμηρίωση, κοινή χρήση και συνεργασία. Το 3D PDF είναι ακριβώς όπως ένα κανονικό αρχείο PDF (Portable Document Format), το οποίο περιέχει μια τρισδιάστατη προβολή κάπου εντός μιας σελίδας. Το αρχείο περιέχει στην πραγματικότητα μια τρισδιάστατη γεωμετρική αναπαράσταση της σκηνής, όχι μόνο εικόνες από διαφορετικές οπτικές γωνίες. Δεν υποστηρίζουν όλα τα προγράμματα προβολής PDF 3D.

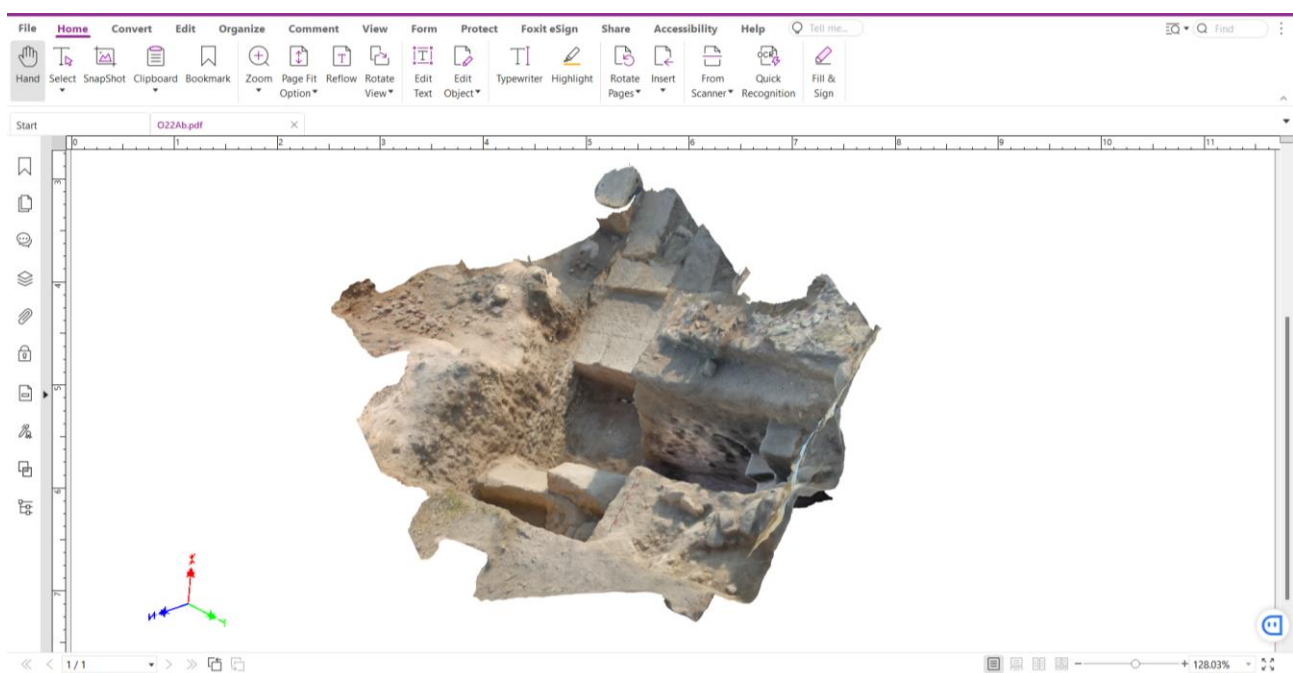
Ένας ειδικός τύπος 3D PDF που ονομάζεται PDF/E χρησιμοποιείται για μακροχρόνια διατήρηση. Το PDF/E – συντομογραφία για το πρότυπο PDF for Engineering documents, είναι ένα διεθνές πρότυπο που προσδιορίζεται ως ISO 24517 και ορίζει μια μορφή αρχείου γνωστή ως PDF/E που παρέχει έναν μηχανισμό για την ανταλλαγή και την αρχειοθέτηση εγγράφων μηχανικής. Ένα ισχυρό χαρακτηριστικό του PDF/E είναι η συμπερίληψη δεδομένων τρισδιάστατου μοντέλου μηχανικής, καθώς πολλά τρισδιάστατα δεδομένα σχετίζονται με κάποιο τρόπο με τις ροές εργασιών μηχανικής.

Το τμήμα 3D εντός του PDF μπορεί να αποτελείται από έναν τύπο κωδικοποίησης U3D ή PRC.

Το U3D (Universal 3D) είναι μια γενική μορφή τρισδιάστατων γραφικών, κατά κύριο λόγο ταιριάζει καλύτερα σε τρίγωνα πλέγματα, γραμμές και σημεία με ιεραρχική δομή, χρώμα και υφή. Τα χαρακτηριστικά μπορούν να προσαρτηθούν σε τρισδιάστατα αντικείμενα, ως ενσωματωμένα μεταδεδομένα. Η μορφή επιτρέπει οπτικές αναπαραστάσεις γεωμετρικών επιφανειών, που αποτελούνται από πλέγματα γεωμετρίας επιφάνειας με τριγωνικά πλέγματα. Το PRC (Product Representation Compact) είναι μια τρισδιάστατη δομή δεδομένων και μορφή αρχείου PDF.

Παράλληλα με το U3D, το PRC είναι πλέον η προτιμώμενη και πιο πλούσια σε χαρακτηριστικά μέθοδος για την ενσωμάτωση τρισδιάστατων διαδραστικών δεδομένων και μοντέλων σε ένα αρχείο PDF. Ένα αρχείο PDF που περιέχει τρισδιάστατο μοντέλο με βάση το PRC μπορεί να προβληθεί χρησιμοποιώντας το Adobe Reader καθώς και άλλα εργαλεία. Περιλαμβάνει μεταδεδομένα δομής, γεωμετρίας και πληροφοριών παραγωγής προϊόντων. Η μορφή επιτρέπει είτε εξαιρετικά

συμπιεσμένες γεωμετρικές και οπτικές αναπαραστάσεις, με ποικίλα επίπεδα χωρικής ανοχής γεωμετρίας. Τα μεταδεδομένα διαστάσεων και τα σχετικά μεταδεδομένα μπορούν επίσης να ενσωματωθούν στην κωδικοποίηση PRC.



Σχήμα 28 – Αρχείο 3D PDF. Τριδιάστατη γεωμετρική αναπαράσταση μιας ανασκαφής. Ο χρήστης δύναται να περιστρέψει, κλιμακώσει, εστιάσει και μετακινήσει το 3Δ μοντέλο με τον κέρσορα. Κάτω αριστερά σε κάθε οθόνη φαινονται και οι βασικοί άξονες X, Y, Z.

## 5.4 WebGL

Η WebGL<sup>35</sup> (Web Graphic Library) είναι μια τεχνολογία που επιτρέπει τη σχεδίαση, την εμφάνιση και την αλληλεπίδραση με εξελιγμένα διαδραστικά τρισδιάστατα γραφικά υπολογιστή μέσα από προγράμματα περιήγησης ιστού. Είναι η έκδοση ιστού του OpenGL<sup>36</sup> που είναι μια βιβλιοθήκη γραφικών πολλαπλών πλατφορμών, που καθορίζεται από τον Όμιλο Khronos<sup>37</sup> και υλοποιείται από τα περισσότερα προγράμματα οδήγησης προμηθευτών καρτών γραφικών. Η WebGL είναι μια JavaScript Διεπαφή Προγραμματισμού Εφαρμογών για την απόδοση διαδραστικών γραφικών 2D και 3D σε οποιοδήποτε συμβατό πρόγραμμα περιήγησης ιστού χωρίς τη χρήση προσθηκών. Η WebGL είναι πλήρως ενσωματωμένη με άλλα πρότυπα ιστού, επιτρέποντας την επιταχυνόμενη από την κάρτα γραφικών χρήση της φυσικής και της επεξεργασίας εικόνας και των εφέ ως μέρος του καμβά της ιστοσελίδας. Τα στοιχεία WebGL μπορούν να αναμειχθούν με άλλα στοιχεία HTML και να συνδυαστούν με άλλα μέρη της σελίδας ή του φόντου σελίδας.

### 5.4.1 Potree

Το Potree<sup>38</sup> είναι ένα ανοιχτού κώδικα λογισμικό πρόγραμμα απόδοσης νεφών σημείων που βασίζεται στο WebGL, που αναπτύχθηκε στο TU Wien [35]. Επιτρέπει στους χρήστες να προβάλλουν σύνολα δεδομένων με δισεκατομμύρια σημεία, από πηγές όπως τη σάρωση λέιζερ ή η φωτογραμμετρία, σε πραγματικό χρόνο σε τυπικά προγράμματα περιήγησης ιστού. Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα της οπτικοποίησης νεφών σημείων στο πρόγραμμα περιήγησης ιστού είναι ότι επιτρέπει στους χρήστες να μοιράζονται τα σύνολα δεδομένων τους με πελάτες ή κοινό χωρίς να χρειάζεται να εγκαταστήσουν εφαρμογές τρίτων και να μεταφέρουν τεράστιες ποσότητες δεδομένων εκ των προτέρων. Η εστίαση σε μεγάλα σε όγκο νέφη σημείων και μια ποικιλία εργαλείων μέτρησης, επιτρέπει επίσης στους χρήστες να χρησιμοποιούν το Potree για να κοιτάζουν, να αναλύουν και να επικυρώνουν τα ακατέργαστα δεδομένα νεφών σημείων.

Η ροή και η απόδοση δισεκατομμυρίων σημείων σε προγράμματα περιήγησης ιστού, χωρίς την ανάγκη εκ των προτέρων φόρτωσης μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων, επιτυγχάνεται με μια ιεραρχική δομή που αποθηκεύει υποδείγματα των αρχικών δεδομένων σε διαφορετικές αναλύσεις. Μια χαμηλή

---

<sup>35</sup> <https://www.khronos.org/webgl/>

<sup>36</sup> <https://www.opengl.org/>

<sup>37</sup> <https://www.khronos.org/>

<sup>38</sup> <https://github.com/potree/potree>

ανάλυση αποθηκεύεται στον ριζικό κόμβο και με κάθε επίπεδο, η ανάλυση αυξάνεται σταδιακά. Το Potree διατίθεται πλέον και σε μορφή εγκατάστασης τοπικά. Για τη χρήση της διαδικτυακής έκδοσης απαιτείται η εγκατάστασή του σε κάποιον εξυπηρετητή διαδικτύου. Το Potree Converter μετατρέπει τα νέφη σημείων σε μορφή συμβατή με το Potree Viewer για προβολή διαδικτυακά. Πολλές επιλογές είναι διαθέσιμες για να προσαρμοστεί η μετατροπή μη ιδιόκτητων μορφών δεδομένων νεφών σημείων (π.χ. las, laz, e57, binary ply, xyz ή ptx) σε μια αναγνώσιμη δομή δεδομένων Potree (octree).

### 5.4.2 Sketchfab

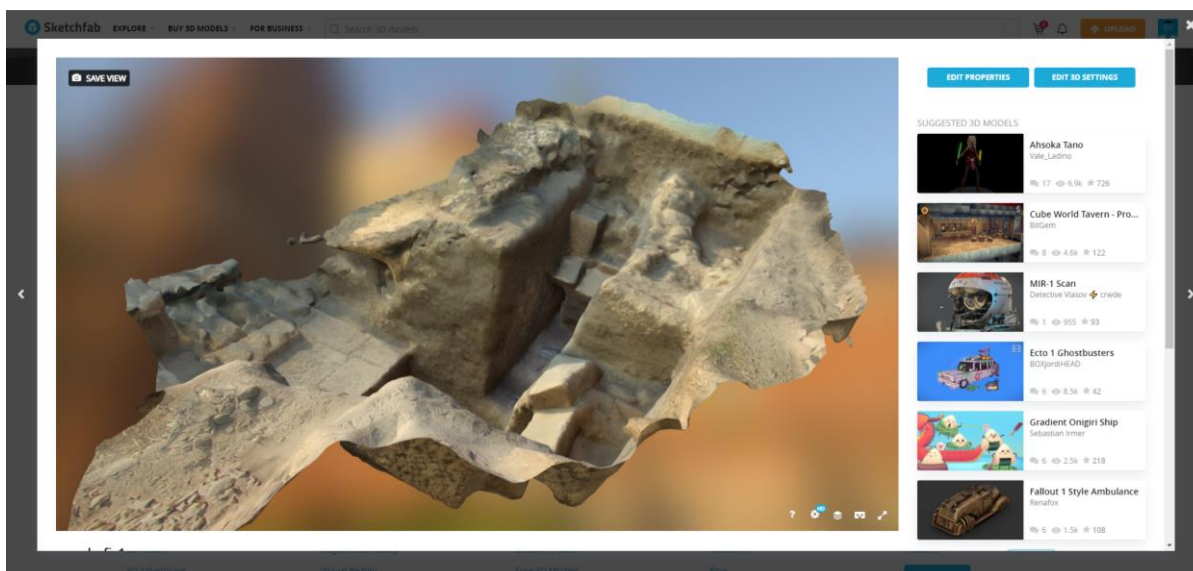
Το Sketchfab<sup>39</sup> είναι μια εμπορική πλατφόρμα 3Δ μοντελοποίησης στο διαδίκτυο για δημοσίευση, κοινή χρήση, εύρεση, αγορά και πώληση περιεχομένου 3Δ, εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας. Παρέχει προβολή 3Δ για το διαδίκτυο που λειτουργεί με διάφορα λειτουργικά συστήματα, προγράμματα περιήγησης και συσκευές καθώς είναι βασισμένο στη βιβλιοθήκη WebGL. Οι χρήστες του Sketchfab μπορούν να ανεβάσουν αρχεία 3Δ, να χρησιμοποιήσουν τα εργαλεία του Sketchfab για την διαχείριση της πλοήγησης και των προβολών, να επεξεργαστούν τον προσανατολισμό και το φωτισμό του μοντέλου. Επίσης μπορούν να προσθέσουν σχολιασμούς στο μοντέλο, απλά μεταδεδομένα και να δημοσιεύσουν το μοντέλο στο διαδίκτυο. Η διαδικασία μεταφόρτωσης ενός 3Δ μοντέλου στο Sketchfab μπορεί να περιλαμβάνει τη μείωση του αριθμού των πολυγώνων και άλλων βημάτων για την παραγωγή μιας πιο ελαφριάς έκδοσης του μοντέλου που έχει βελτιστοποιηθεί για δημοσίευση στο διαδίκτυο. Το Sketchfab έχει δυνατότητα να εισάγει πολλαπλές μορφές αρχείων 3Δ, τόσο ιδιόκτητες όσο και μη ιδιόκτητες. Οι κατασκευαστές προτείνουν τη χρήση της μορφής OBJ μαζί με την αντίστοιχη υφή σε MTL (αν υπάρχει).

Το Sketchfab παρέχει τη δυνατότητα δωρεάν χρήσης αλλά με περιορισμούς που αφορούν τον αριθμό και το μέγεθος των 3Δ μοντέλων που μπορούν να αναρτηθούν. Παράλληλα παρέχει και συνδρομητική έκδοση που αίρονται αυτοί οι περιορισμοί. Το 2021 η Epic Games απέκτησε τη Sketchfab και αργότερα ανακοινώθηκε ότι το Sketchfab θα καταργηθεί σταδιακά και θα συγχωνευθεί στη νέα αγορά της Epic Games που ονομάζεται Fab.

---

<sup>39</sup> <https://sketchfab.com/>





Σχήμα 29 –Εμφάνιση αρχείου πλέγματος ανασκαφής από φωτογραμμετρία στο Sketchfab.

### 5.4.2 3DHOP

Το 3DHOP<sup>40</sup> (3D Heritage Online Presenter) είναι ένα πλαίσιο ανοιχτού κώδικα για τη δημιουργία διαδραστικών διαδικτυακών παρουσιάσεων 3D μοντέλων υψηλής ανάλυσης, προσαρμοσμένα στον τομέα της Πολιτιστικής Κληρονομιάς. Το 3DHOP επιτρέπει τη δημιουργία διαδραστικής απεικόνισης 3D απευθείας μέσα σε μια τυπική ιστοσελίδα, απλώς προσθέτοντας ορισμένα στοιχεία HTML και JavaScript στον πηγαίο κώδικα της ιστοσελίδας. Η τρισδιάστατη σκηνή και η αλληλεπίδραση του χρήστη μπορούν εύκολα να διαμορφωθούν χρησιμοποιώντας μια απλή προσέγγιση «δηλωτικού προγραμματισμού». Με τη χρήση μιας διαχείρισης μοντέλων 3D πολλαπλής ανάλυσης, το 3DHOP μπορεί να εργαστεί με μοντέλα 3D υψηλής ανάλυσης (εκατοντάδες εκατομμύρια τρίγωνα/σημεία) με ευκολία, επίσης σε χαμηλό εύρος ζώνης. Το 3DHOP δεν χρειάζεται εξειδικευμένο διακομιστή, ούτε υπολογισμούς από την πλευρά του διακομιστή: απλώς λίγο χώρο σε έναν διακομιστή ιστού και λειτουργεί απευθείας μέσα σε σύγχρονα προγράμματα περιήγησης ιστού, δεν χρειάζονται πρόσθετα ή πρόσθετα στοιχεία.

<sup>40</sup> <https://3dhop.net/>



## Αναφορές

- [1] Α. Γεωργόπουλος and X. Ιωαννίδης, “Γεωμετρική Τεκμηρίωση Πολιτιστικών Αγαθών.”
- [2] European Commission, “Study on quality in 3D digitisation of tangible cultural heritage : mapping parameters, formats, standards, benchmarks, methodologies, and guidelines: executive summary,” Luxembourg, 2022. doi: 10.2759/581678.
- [3] S. Verykokou and C. Ioannidis, “An Overview on Image-Based and Scanner-Based 3D Modeling Technologies,” *Sensors*, vol. 23, no. 2, p. 596, Jan. 2023, doi: 10.3390/s23020596.
- [4] G. (George) Vosselman and H.-Gerd. Maas, *Airborne and terrestrial laser scanning*. Whittles Publishing, 2010.
- [5] J. Shan and C. K. Toth, Eds., *Topographic Laser Ranging and Scanning*. Second edition. | Boca Raton: Taylor & Francis, CRC Press, 2018.: CRC Press, 2018. doi: 10.1201/9781315154381.
- [6] L. Teppati Losè, A. Spreafico, F. Chiabrando, and F. Giulio Tonolo, “Apple LiDAR Sensor for 3D Surveying: Tests and Results in the Cultural Heritage Domain,” *Remote Sens (Basel)*, vol. 14, no. 17, p. 4157, Aug. 2022, doi: 10.3390/rs14174157.
- [7] W. Błaszczak-Bąk, C. Suchocki, T. Kozakiewicz, and J. Janicka, “Measurement methodology for surface defects inventory of building wall using smartphone with light detection and ranging sensor,” *Measurement*, vol. 219, p. 113286, Sep. 2023, doi: 10.1016/j.measurement.2023.113286.
- [8] G. Vacca, “3D Survey with Apple LiDAR Sensor—Test and Assessment for Architectural and Cultural Heritage,” *Heritage*, vol. 6, no. 2, pp. 1476–1501, Feb. 2023, doi: 10.3390/heritage6020080.
- [9] G. Luetzenburg, A. Kroon, and A. A. Bjørk, “Evaluation of the Apple iPhone 12 Pro LiDAR for an Application in Geosciences,” *Sci Rep*, vol. 11, no. 1, p. 22221, Nov. 2021, doi: 10.1038/s41598-021-01763-9.
- [10] A. Corns, “3D-ICONS: D7.3-Guidelines and Case Studies,” 2013. doi: 10.5281/zenodo.1311797.

- [11] P. Bryan, B. Blake, and J. Bedford, *Metric Survey Specifications for Cultural Heritage*, 3rd ed. Historic England, 2015. [Online]. Available: <http://www.jstor.org/stable/10.2307/j.ctvxbphrz>
- [12] Department of Transportation, “Surveys Manual,” California, 2018. [Online]. Available: [http://www.dot.ca.gov/hq/row/landsurveys/SurveysManual/05\\_Surveys.pdf](http://www.dot.ca.gov/hq/row/landsurveys/SurveysManual/05_Surveys.pdf)
- [13] C. Boardman and B. Bryan, *3D Laser Scanning for Heritage Advice and Guidance on the Use of Laser Scanning in Archaeology and Architecture*, 3rd ed. Swindon: Historic England, 2018.
- [14] J. Bedford, *Photogrammetric Applications for Cultural Heritage Guidance for Good Practice*. Swindon: Historic England, 2017.
- [15] Expert Group on Digital Cultural Heritage and Europeana, “Basic principles and tips for 3D digitisation of tangible cultural heritage for cultural heritage professionals and institutions and other custodians of cultural heritage,” 2020.
- [16] S. Chatzistamatis, G. E. Tsekouras, and C.-N. Anagnostopoulos, “The Quality in 3D Acquisition of Cultural Heritage Assets: Challenges and Risks,” 2023, pp. 65–76. doi: 10.1007/978-3-031-35593-6\_4.
- [17] M. I. Stamatopoulos and C.-N. Anagnostopoulos, “Simulation of an Archaeological Disaster: Reassembling a Fragmented Amphora Using the Thickness Profile Method,” 2018, pp. 162–173. doi: 10.1007/978-3-030-01762-0\_14.
- [18] Μ. Σταματόπουλος and Χ.-Ν. Αναγνωστόπουλος, “Ψηφιακή μοντελοποίηση οστράκων κεραμικής με φωτογραμμετρία και μακροφωτογράφιση: Υπολογισμοί αβεβαιότητας και σφάλματα μέτρησης,” in *Πρακτικά 4ου Πανελληνίου Συνεδρίου Ψηφιοποίησης Πολιτιστικής Κληρονομιάς*, Euromed, 2021.
- [19] Α. Κουτσούδης and Γ. Παυλίδης, *3D Ψηφιοποίηση*. Ιδιωτική Έκδοση, 2019.
- [20] Autodesk, “FBX | Adaptable File Formats for 3D Animation Software.” [Online]. Available: <https://www.autodesk.com/products/fbx/overview>
- [21] Pixar, “Universal Scene Descriptor.” [Online]. Available: <https://www.pixar.com/usd>
- [22] 3MF Consortium, “3MF-The File Format Optimized for 3D Printing.” Accessed: Jul. 16, 2023. [Online]. Available: <https://3mf.io/>

- [23] D. Huber, “The ASTM E57 file format for 3D imaging data exchange,” J. A. Beraldin, G. S. Cheok, M. B. McCarthy, U. Neuschaefer-Rube, A. M. Baskurt, I. E. McDowall, and M. Dolinsky, Eds., Jan. 2011, p. 78640A. doi: 10.1117/12.876555.
- [24] ASTM International, “Standard Specification for 3D Imaging Data Exchange, Version 1.0,” 2023. doi: 10.1520/E2807-11R19E01.
- [25] Khronos Group, “glTF – Runtime 3D Asset Delivery.” [Online]. Available: <https://github.com/KhronosGroup/glTF>
- [26] The American Society for Photogrammetry & Remote Sensing, “LAS Specification 1.4-R15 Release Information,” 2019. Accessed: Jul. 14, 2023. [Online]. Available: [https://www.asprs.org/wp-content/uploads/2019/03/LAS\\_1\\_4\\_r14.pdf](https://www.asprs.org/wp-content/uploads/2019/03/LAS_1_4_r14.pdf)
- [27] Library of Congress, “Wavefront OBJ File Format,” Sustainability of Digital Formats. Accessed: Jul. 10, 2023. [Online]. Available: <https://www.loc.gov/preservation/digital/formats/fdd/fdd000507.shtml>
- [28] Library of Congress, “Wavefront Material Template Library (MTL) File Format,” Sustainability of Digital Formats. Accessed: Jul. 10, 2023. [Online]. Available: <https://www.loc.gov/preservation/digital/formats/fdd/fdd000508.shtml>
- [29] Library of Congress, “Polygon File Format (PLY).” Accessed: Jul. 16, 2023. [Online]. Available: <https://loc.gov/preservation/digital/formats//fdd/fdd000501.shtml>
- [30] Internet Assigned Numbers Authority, “StereoLithography (STL) file format.” Accessed: Jul. 14, 2023. [Online]. Available: <https://www.iana.org/assignments/media-types/model/stl>
- [31] Web3D Consortium, “What is X3D?” [Online]. Available: <https://www.web3d.org/x3d/what-x3d/>
- [32] P. Oruç, “3D Digitisation of Cultural Heritage: Copyright Implications of the Methods, Purposes and Collaboration,” *JIPITEC*, vol. 11, 2020.
- [33] M. Conyers *et al.*, “Copyright and Legal Issues Surrounding 3D Data Citation ‘Copyright and Legal Issues Surrounding 3D Data.’ In 3D Data Creation to Curation: Community Standards for 3D Data Preservation, eds Permanent link Terms of Use Share Your Story

Copyright and Legal Issues Surrounding 3D Data,” Chicago, 2022. [Online]. Available: <https://nrs.harvard.edu/URN-3:HUL.INSTREPOS:37368666>

- [34] M. Potenziani, M. Callieri, M. Dellepiane, and R. Scopigno, “Publishing and Consuming 3D Content on the Web: A Survey,” *Foundations and Trends® in Computer Graphics and Vision*, vol. 10, no. 4, pp. 244–333, 2018, doi: 10.1561/06000000083.
- [35] M. Schuetz, “Potree: Rendering Large Point Clouds in Web Browsers,” 2016. [Online]. Available: [www.tuwien.ac.at](http://www.tuwien.ac.at)