



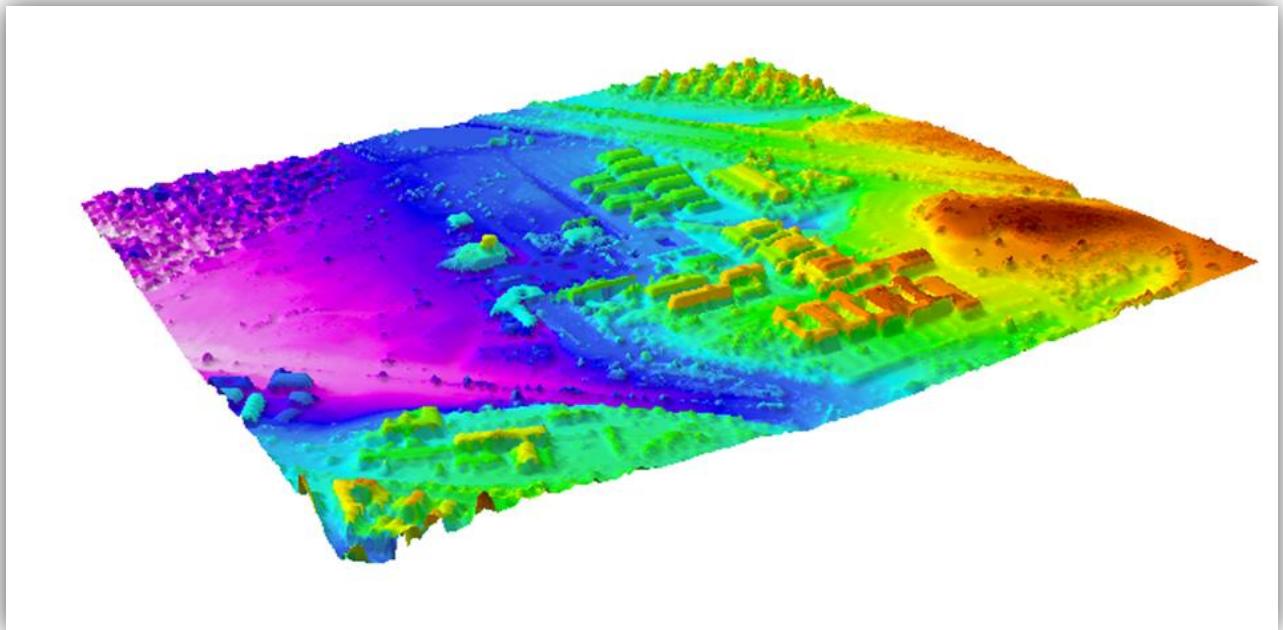
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ

ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΜΒΟΛΗΣ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ LIDAR
ΣΤΟ 3D ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ**



ΓΙΑΝΝΑΚΑ ΟΛΓΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ: Ε. ΔΗΜΟΠΟΥΛΟΥ, ΑΝΑΠΛ. ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ Ε.Μ.Π

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2013

Πρόλογος

Στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής εργασίας διερευνάται η συμβολή των δεδομένων LiDAR στο τρισδιάστατο Κτηματολόγιο, δηλαδή η ικανότητα ανταπόκρισης των δεδομένων αυτών στην αναπαράσταση του 3D χώρου λαμβάνοντας υπόψη τις προδιαγραφές του Κτηματολογίου. Για αυτό το σκοπό, έγινε μια εφαρμογή δεδομένων LiDAR στην περιοχή της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου και συγκεκριμένα στα κτήρια της σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών. Στο πλαίσιο της εφαρμογής έγινε προσομοίωση του τρισδιάστατου χώρου, χρησιμοποιώντας τα νέφη σημείων που έχουν προκύψει από πτήσεις με LiDAR και ελέγχθηκε αν τα δεδομένα, που προέρχονται από αυτό το σύστημα, πληρούν τις προδιαγραφές του Κτηματολογίου. Τα υπόβαθρα που χρησιμοποιήθηκαν παραχωρήθηκαν ευγενώς από την εταιρεία NAMA A.E. για εκπαιδευτικούς σκοπούς στο Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας της ΣΑΤΜ ΕΜΠ καθώς και από την ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΑΕ.

Το τρισδιάστατο Κτηματολόγιο είναι ένα πολύ δημοφιλές θέμα για την επιστημονική κοινότητα τα τελευταία 15 χρόνια. Η ενασχόληση με αυτό το θέμα ήταν αναγκαία καθώς η πραγματικότητα, σε συνάρτηση με τα ιδιοκτησιακά δικαιώματα των ακινήτων, έχει αποδειχθεί πολύπλοκη και δεν μπορεί να αντιμετωπιστεί κατάλληλα από ένα δισδιάστατο σύστημα. Στην Ελλάδα συγκεκριμένα, λόγω του ιδιαίτερου ανάγλυφου αλλά και ιδιαιτεροτήτων όπως του εθνικού δικαίου κ.ά., δημιουργούνται καταστάσεις που επιζητούν μια διαφορετική προσέγγιση για να προσδιοριστούν τα δικαιώματα στον τρισδιάστατο χώρο με σκοπό την δημιουργία του 3D Κτηματολογίου. Για να είναι αυτό εφικτό, χρειάζεται να προσδιορισθούν οι μέθοδοι και οι διαδικασίες που θα δημιουργήσουν τα μοντέλα των κτηρίων με τις κατάλληλες τοπολογικές σχέσεις. Υπάρχουν κάποιες πηγές δεδομένων που δύναται να χρησιμοποιηθούν τόσο σε χειροκίνητες όσο και σε αυτόματες διαδικασίες. Μία πηγή δεδομένων η οποία μέχρι στιγμής έχει χρησιμοποιηθεί ελάχιστα είναι το σύστημα LiDAR το οποίο συλλέγει δεδομένα σε σύντομο χρονικό διάστημα και με μεγάλη ακρίβεια. Αυτό το πεδίο δεν έχει ερευνηθεί ακόμα εις βάθος και αποτελεί αντικείμενο που μελλοντικά θα απασχολήσει ιδιαίτερα την επιστημονική κοινότητα καθώς μπορεί να συμβάλει καθοριστικά στη δημιουργία του τρισδιάστατου Κτηματολογίου.

Η παρούσα διπλωματική αποτελείται από τρία κεφάλαια τα οποία έχουν ως εξής: στο πρώτο κεφάλαιο περιγράφεται το Κτηματολόγιο ως έχει στην Ελλάδα. Εδώ αναφέρονται τα προγράμματα που έχουν υλοποιηθεί, τα δικαιώματα που είναι εγγεγραμμένα καθώς και οι μελλοντικές δράσεις για την ολοκλήρωση του Κτηματολογίου. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η αναγκαιότητα δημιουργίας ενός τρισδιάστατου Κτηματολογίου για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που εμφανίζονται στην Ελλάδα, με μελέτη περίπτωσης στο νησί της Σαντορίνης. Επιπλέον, παρουσιάζονται οι διεθνείς εξελίξεις σε θέματα Κτηματολογίων και γίνεται αναφορά σε μεθόδους και διαδικασίες που χρησιμοποιούνται. Παράλληλα, αναφέρονται μέθοδοι μοντελοποίησης των ακινήτων καθώς και διεθνή πρότυπα του τρισδιάστατου Κτηματολογίου. Επεξηγηματικά, παρουσιάζονται ορισμένες

χαρακτηριστικές περιπτώσεις στις οποίες γίνεται προσπάθεια εφαρμογής κάποιου προτύπου. Στο τέλος παρουσιάζονται οι τεχνικές προδιαγραφές του Κτηματολογίου, όπως αυτές εξελίχθηκαν κατά την πορεία εξέλιξης του έργου. Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύεται το σύστημα LiDAR, οι δυνατότητές του στον τομέα της τρισδιάστατης απεικόνισης και περιγράφονται αλγόριθμοι που χρησιμοποιούν αυτά τα δεδομένα για το συγκεκριμένο σκοπό. Παράλληλα, γίνεται σύγκριση με άλλη μέθοδο όπως είναι η φωτογραμμετρία, παρουσιάζεται η εξέλιξη και η πρόοδος στην ποιότητα και ακρίβεια των δεδομένων LiDAR καθώς και τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει. Στο τρίτο κεφάλαιο, γίνεται εφαρμογή των δεδομένων LiDAR στην περιοχή μελέτης. Περιγράφονται τα διαθέσιμα δεδομένα και αναπτύσσεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε. Από τα αποτελέσματα της διαδικασίας προέκυψαν ορισμένα συμπεράσματα για τη συμβολή τέτοιου είδους δεδομένων στη δημιουργία του 3D Κτηματολογίου. Συγκεκριμένα, τα διαθέσιμα δεδομένα, φαίνεται ότι μπορούν να αποδώσουν ικανοποιητικά τον τρισδιάστατο χώρο αλλά δεν μπορούν να ανταποκριθούν στις προδιαγραφές που έχουν τεθεί από το Κτηματολόγιο. Παρόλα αυτά, πιο πρόσφατα δεδομένα που διαθέτουν μεγαλύτερη ακρίβεια είναι δυνατόν να μπορούν να ανταποκριθούν και να συμβάλλουν στην δημιουργία του τρισδιάστατου Κτηματολογίου. Σε αντίθετη περίπτωση, τα LiDAR δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με άλλες πηγές, όπως είναι οι τοπογραφικοί χάρτες, για να επιτευχθεί η επιδιωκόμενη ακρίβεια. Στο τέλος του κεφαλαίου, περιγράφεται μια αυτοματοποιημένη διαδικασία με την οποία προσδιορίζεται το απόλυτο υψόμετρο των αντικειμένων και παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας.

Αυτή η διπλωματική εργασία αποτελεί το τέλος της φοίτησης μου στη Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών. Θα ήθελα λοιπόν να ευχαριστήσω όσους ανθρώπους με στήριξαν σε αυτή μου την προσπάθεια και συνέβαλαν στην ολοκλήρωσή της.

Καταρχήν, θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα της εργασίας μου, κυρία Έφη Δημοπούλου, η οποία μου ανέθεσε ένα θέμα στο οποίο είχε μεγάλη πίστη και με καθοδήγησε ως προς την επίτευξή του.

Ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στον κύριο Ανδρέα Γεωργόπουλο ο οποίος με τις γνώσεις του, τις συμβουλές του και το ενδιαφέρον του συνείσφερε σε μεγάλο βαθμό στην εξέλιξη και διεκπεραίωση της διπλωματικής εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΑΕ και πιο συγκεκριμένα τον κύριο Ιωάννη Καββάδα, τόσο για την προθυμία που έδειξε να βοηθήσει όσο και για το υλικό που μου διέθεσε για τη διερεύνηση και εφαρμογή της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την εμπιστοσύνη που μου έδειξαν όλα αυτά τα χρόνια άλλα και για την υπομονή τους κατά τη διάρκεια της διπλωματικής. Η ενθάρρυνση και η πίστη τους με βοήθησαν ιδιαίτερος στις δύσκολες στιγμές. Για αυτό θα ήθελα να αφιερώσω την δουλειά μου σε δύο ανθρώπους, τον πατέρα μου και τον παππού μου!

Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	3
Περιεχόμενα.....	5
Περιεχόμενα Εικόνων.....	7
Περιεχόμενο Πινάκων.....	8
Περίληψη.....	10
Abstract.....	10
Εισαγωγή.....	12
1. Το Κτηματολογικό σύστημα στο χώρο των δύο και τριών διαστάσεων.....	14
1.1 Το Κτηματολόγιο.....	15
1.2 Ιδιοκτησιακά αντικείμενα Κτηματολογίου.....	19
1.3 Αναγκαιότητα Προσαρμογής του 2D Κτηματολογίου στην 3D πραγματικότητα... ..	22
1.4 Διερεύνηση της δυνατότητας ενσωμάτωσης 3D καταγραφών στο Κτηματολόγιο.....	28
1.5 Περίπτωση τρισδιάστατης εφαρμογής στην Ελλάδα.....	30
1.6 Η μετάβαση στο τρισδιάστατο σύστημα.....	33
1.7 Ορισμός του 3D Κτηματολογίου.....	34
1.7.1 Πλήρες τρισδιάστατο Κτηματολόγιο.....	37
1.7.2 Υβριδική μορφή Κτηματολογίου.....	37
1.7.3. Δισδιάστατο Κτηματολόγιο με εξωτερικές παραπομπές.....	38
1.8 Τεχνικές πτυχές του 3D Κτηματολογίου.....	39
1.9 Τεχνολογική εξέλιξη του 3D Κτηματολογίου.....	40
1.10 Μέθοδοι συλλογής δεδομένων για την 3D απεικόνιση πόλεων.....	41
1.11 Τρισδιάστατη απεικόνιση δεδομένων.....	46
1.11.1. Τρισδιάστατη απεικόνιση κτηρίων.....	46
1.11.2. Τρισδιάστατη απεικόνιση των ειδικών ιδιοκτησιακών αντικειμένων.....	47
1.12 Μοντελοποίηση 3D αντικειμένων για το Κτηματολόγιο.....	48
1.12.1. Γεωμετρικά μοντέλα και μοντέλα εικόνων.....	49
1.12.2. Χρήση 3D GIS.....	51
1.13 Διεθνή Πρότυπα 3D Κτηματολογίου.....	53
1.14 Χαρακτηριστικές περιπτώσεις εφαρμογής 3D Κτηματολογίου.....	55

1.14.1.	Εφαρμογή στην Ολλανδία.....	56
1.14.2.	Εφαρμογή στη Ταιβάν.....	59
1.14.3.	Εφαρμογή στη Ρωσία.....	63
1.15	Τεχνικές προδιαγραφές Κτηματολογίου.....	68
2.	Το σύστημα LiDAR και οι δυνατότητες του.....	73
2.1	Γενικά χαρακτηριστικά του συστήματος LiDAR.....	74
2.2	Προδιαγραφές.....	79
2.3	Κριτήρια επιλογής συστήματος σαρωτή.....	80
2.4	Παράμετροι λειτουργίας του συστήματος LiDAR.....	81
2.5	Δημιουργία ψηφιακού μοντέλου εδάφους (DEM).....	83
2.6	LiDAR και Φωτογραμμετρία.....	83
2.7	Πλεονεκτήματα των LiDAR.....	84
2.8	Ακρίβεια και ποιότητα LiDAR δεδομένων.....	85
2.9	State-of-the-art.....	88
2.10	Προσεγγίσεις 3D κτηρίων με αυτόματο αλγόριθμο.....	90
2.11	Προσεγγίσεις 3D κτηρίων με ημι-αυτόματο αλγόριθμο.....	91
2.12	Συμβολή των δεδομένων LiDAR στο τρισδιάστατο Κτηματολόγιο.....	94
3.	Πιλοτική Εφαρμογή στην Πολυτεχνειούπολη.....	97
3.1	Περιγραφή διαθέσιμων δεδομένων και περιοχή μελέτης.....	98
3.2	Επεξεργασία δεδομένων – Ανάπτυξη μεθοδολογίας.....	101
3.3	Αξιολόγηση προσδιορισμού τρίτης διάστασης ιδιοκτησιών.....	109
3.4	Σύγκριση με άλλες πηγές δεδομένων.....	112
3.5	Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα.....	118
	Συμπεράσματα.....	121
	Βιβλιογραφία.....	124
	Ιστότοποι.....	127

Περιεχόμενα Εικόνων

Εικόνα 1: (α) ανώγειο, (β) υπόσκαφο, (γ) σύρματα, (δ) στοά, (ε) ανεμόμυλοι, (ζ) τρούλοι .	21
Εικόνα 2: (α) ιδιωτικό παρκινγκ κάτω από δημόσια περιοχή, (β) ανώγειο, (γ) ιδιωτική κατασκευή πάνω από εθνική οδό.....	24
Εικόνα 3: εναέρια κατασκευή πάνω από εθνική οδό.....	25
Εικόνα 4: αθλητικές εγκαταστάσεις και ελεύθεροι χώροι πάνω από την Αττική Οδό.....	25
Εικόνα 5: Κατασκευές πάνω από κοινόχρηστες στοές.....	26
Εικόνα 6: πολλές ανεξάρτητες ιδιοκτησίες κάτω από την γέφυρα της Αράχοβας.....	26
Εικόνα 7: οι επίγειες είσοδοι υπόγειων ιδιοκτησιών.....	27
Εικόνα 8 : τυπικό παράδειγμα κατακόρυφης ανάπτυξης στην Σαντορίνη.....	28
Εικόνα 9 : Υποδιαίρεση ιδιοκτησίας.....	29
Εικόνα 10: κατασκευές πάνω από δρόμους και γεωτεμάχια.....	30
Εικόνα 11: άνισα κατανομημένη ιδιωτική γη.....	30
Εικόνα 12: κτηματολογικός χάρτης της περιοχής Καστέλι αλλά και της ευρύτερης περιοχής.....	31
Εικόνα 13: θεματικός χάρτης περιοχής μελέτης, τρισδιάστατες απεικονίσεις των κτηρίων και περιγραφικός πίνακας ιδιοτήτων.....	32
Εικόνα 14: Η ιδιοκτησία με ΚΑΕΚ 290980110032 (μωβ) βρίσκεται πάνω από κοινόχρηστη στοά.....	32
Εικόνα 15: Κάτω από τμήμα της ιδιοκτησίας με ΚΑΕΚ 290980113008 (πράσινο) βρίσκεται άλλη ιδιοκτησία (κόκκινο). Περίπλοκη κατάσταση ιδιοκτησίας δύο επιπέδων με καταστάσεις τριών επιπέδων.....	33
Εικόνα 16: Κατακόρυφη και πλάγιες εναέριας φωτογραφίες από το Monterray του Μεξικού, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του Pictometry.....	43
Εικόνα 17: Earthmine Mars Collection System.....	44
Εικόνα 18: Οι προβολές των κτηρίων πάνω στο έδαφος φανερώνουν την επικάλυψη με τους δημόσιους χώρους.....	45
Εικόνα 19: Οπτικές από την Φορταλέζα της Βραζιλίας από τον δικτυακό τόπο της Earthmine.....	45
Εικόνα 20: Τρισδιάστατη απεικόνιση ημι-υπόγειου καταστήματος στο Κολωνάκι.....	48
Εικόνα 21: Μοντέλο τετράεδρου, πολυέδρου και πολυέδρου με κυλινδρικά και σφαιρικά μέρη.....	49
Εικόνα 22: μοντέλο που απαρτίζεται από τριγωνικά στοιχεία.....	49
Εικόνα 23: Εξαγωγή από σχέδια: Α) σχέδια των ορίων των μονάδων ιδιοκτησίας, Β) Δημιουργία των τρισδιάστατων μονάδων ιδιοκτησίας.....	52
Εικόνα 24: καταγραφή της 3D αναπαράστασης των τρισδιάστατων δικαιωμάτων μέσα από διαφορετικές απόψεις του ίδιου 3D σχεδίου, πάνω αριστερά: αρχιτεκτονική άποψη, πάνω δεξιά: οπτική γωνία των τρισδιάστατων νόμιμων χώρων, κάτω αριστερά: κατακόρυφη τομή, κάτω δεξιά: κάτοψη πρώτου ορόφου.....	58
Εικόνα 25: Διαδικασία δημιουργίας κάτοψης κτηρίου.....	61
Εικόνα 26: 3D μοντέλο κτηρίου που δημιουργείται από τους επιμέρους ορόφους.....	61
Εικόνα 27: Ψηφιοποίηση κάτοψης και ευθυγράμμιση επιπέδων.....	62
Εικόνα 28: Μοντέλο κτηρίου με τα όρια των ιδιοκτησιών.....	62

Εικόνα 29: Το κτήριο Teledom και το περιβάλλον του	65
Εικόνα 30: Συγκρότημα διαμερισμάτων με υπόγειο παρκινγκ	66
Εικόνα 31: Περίπτωση αγωγού πίεσης	66
Εικόνα 32: το κτήριο Teledom με τα τρισδιάστατα τμήματα του σχεδιασμένα στο Google Sketchup	67
Εικόνα 33: Συνδυασμός LiDAR, GPS, INS.....	75
Εικόνα 34: βασικές παράμετροι εναέριας σάρωσης	75
Εικόνα 35:πολλαπλές επιστροφές από έναν παλμό	77
Εικόνα 36: Ανάκλαση παλμού laser από επιφάνεια με μεγάλη γωνία (Petrie & Toth 2008a).....	83
Εικόνα 37: Πολλαπλές επιστροφές από ένα σήμα Laser (Morin 2002).....	83
Εικόνα 38: Συγχώνευση των δεδομένων LiDAR και του τοπογραφικού χάρτη για την ανακατασκευή κτηριακών μοντέλων.....	91
Εικόνα 39: η διαδικασία ανακατασκευής κτηρίων από εικόνα και δεδομένα LiDAR	93
Εικόνα 40: ανακατασκευή μοντέλου κτηρίων επενδυμένο με αεροφωτογραφία.....	94
Εικόνα 41: Πολυτεχνειούπολη, Ζωγράφου.....	99
Εικόνα 42: Περιοχή μελέτης, κτήρια ΣΑΤΜ.....	99
Εικόνα 43: DSM Πολυτεχνειούπολης από δεδομένα LiDAR	99
Εικόνα 44: αριστερά αληθής ορθοφωτογραφία και δεξιά ορθοφωτογραφία από τον ΟΚΧΕ	101
Εικόνα 45 : 3D αναπαράσταση της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου	102
Εικόνα 46: έλεγχος σύμπτωσης VLSO ορθοφωτογραφίας και DSM	103
Εικόνα 47: κτήρια της ΣΑΤΜ.....	106
Εικόνα 48: 3D αναπαράσταση των κτηρίων της ΣΑΤΜ, Πολυτεχνειούπολη, Ζωγράφου	109
Εικόνα 49: επικάλυψη οροφών με βλάστηση, κτήριο ΒΕΗ, ΣΑΤΜ	110
Εικόνα 50: ακανόνιστο περίγραμμα κτηρίων στο DSM	111
Εικόνα 51 : DSM Πολυτεχνειούπολης από VLSO	112
Εικόνα 52: στην αριστερή εικόνα παρουσιάζεται το DSM από τις VLSO ορθοφωτογραφίες ενώ δεξιά το DSM από τα δεδομένα LiDAR,	113
Εικόνα 53: ψηφιοποίηση των περιγραμμάτων των κτηρίων στο ArcMap	116
Εικόνα 54: εισαγωγή των περιγραμμάτων των κτηρίων της ΣΑΤΜ στο ArcScene	117
Εικόνα 55: τρισδιάστατη απεικόνιση της ΣΑΤΜ στο ArcScene.....	118

Περιεχόμενο Πινάκων

Πίνακας 1: διαχρονική εξέλιξη δυνατοτήτων 3D απεικόνισης (A. Aien, A.Rajabifard et al., 2011).....	40
Πίνακας 2: Κριτήρια Γεωμετρικής Ακρίβειας των Κτηματολογικών διαγραμμάτων (ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΑΕ,2007)	72
Πίνακας 3: οι προδιαγραφές του συστήματος LiDAR (David F. Maune, 2007)	79
Πίνακας 4: Βέλτιστες επιλογές παραμέτρων LiDAR (Tempfli & Huurneman 2004)	81
Πίνακας 5: Απόλυτο υψόμετρο επιπέδων κτηρίου 1	106
Πίνακας 6: Απόλυτο υψόμετρο επιπέδων κτηρίου 2	107
Πίνακας 7: Απόλυτο υψόμετρο επιπέδων κτηρίου 3	107

Πίνακας 8: Απόλυτο υψόμετρο επιπέδων κτηρίου 4	107
Πίνακας 9: Απόλυτο υψόμετρο επιπέδων κτηρίου 5	108
Πίνακας 10: Απόλυτο υψόμετρο επιπέδων κτηρίου 6	108
Πίνακας 11: : Σύγκριση τιμών απόλυτου υψομέτρου από LiDAR και VLSO για το κτήριο 1	114
Πίνακας 12: Σύγκριση τιμών απόλυτου υψομέτρου από LiDAR και VLSO για το κτήριο 2..	114
Πίνακας 13: Σύγκριση τιμών απόλυτου υψομέτρου από LiDAR και VLSO για το κτήριο 3..	114
Πίνακας 14: Σύγκριση τιμών απόλυτου υψομέτρου από LiDAR και VLSO για το κτήριο 4..	115
Πίνακας 15: Σύγκριση τιμών απόλυτου υψομέτρου από LiDAR και VLSO για το κτήριο 5..	115
Πίνακας 16: Σύγκριση τιμών απόλυτου υψομέτρου από LiDAR και VLSO για το κτήριο 6..	115

Περίληψη

Το υπάρχον δισδιάστατο κτηματολογικό σύστημα δεν είναι σε θέση να διαχειριστεί και να αναπαραστήσει τα ιδιοκτησιακά δικαιώματα, περιορισμούς και ευθύνες σε ένα τρισδιάστατο πλαίσιο. Για αυτό το λόγο είναι αναγκαίο να διερευνηθεί ένα τρισδιάστατο Κτηματολόγιο στο οποίο τα δικαιώματα να απεικονίζονται με τρισδιάστατο τρόπο πάνω και κάτω από το έδαφος. Αυτό το σύστημα θα περιέχει την τοπολογία και τις συντεταγμένες του περιγράμματος του κτηρίου. Η αναπαράσταση του τρισδιάστατου κόσμου γίνεται μέσω τοπογραφικών, φωτογραμμετικών διαδικασιών καθώς και μέσω των μεθόδων του LiDAR και pictometry. Το σύστημα LiDAR αποκτά ένα τρισδιάστατο νέφος σημείων το οποίο περιγράφει την επιφάνεια του εδάφους. Δίνει μια άμεση απεικόνιση των αντικειμένων του εδάφους και μετρά τις συντεταγμένες τους. Επιπλέον, παρέχει μεγάλη ακρίβεια στη θέση και στην υψομετρική πληροφορία αλλά λιγότερη πληροφορία για το γεωμετρικό σχήμα του αντικειμένου.

Σε αυτή τη μελέτη γίνεται μια εφαρμογή του 3D Κτηματολογίου χρησιμοποιώντας δεδομένα LiDAR. Διερευνάται αν αυτού του είδους τα δεδομένα μπορούν να ικανοποιήσουν τις προδιαγραφές που έχουν τεθεί για το Εθνικό Κτηματολόγιο. Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε ήταν το ArcGIS 10.1 και τα διαθέσιμα δεδομένα ήταν το ψηφιακό μοντέλο επιφανείας και ορθοφωτογραφίες της περιοχής μελέτης. Λαμβάνοντας υπόψη την εφαρμογή, συμπεραίνεται ότι τα δεδομένα LiDAR μπορούν να δώσουν πολύ ακριβή υψομετρικά δεδομένα αλλά δε μπορούν να υπολογίσουν καλά το περίγραμμα της όψης της στέγης. Οι ακρίβειες που δίνει μπορούν να ικανοποιήσουν τις προδιαγραφές του Κτηματολογίου, με την προϋπόθεση ότι λαμβάνονται υπόψη οι καλύτερες συνθήκες για τις παραμέτρους του συστήματος.

Abstract

The current 2D cadastral systems are not able to manage and represent land ownership rights, restrictions and responsibilities in a 3D context. It may be necessary to consider a 3D Cadastre system in which proprietary rights are represented in the three dimensions way above and below ground level. That system will contain the topology and the coordinates of the buildings outline. Representations of the 3D world are being done through topography, photogrammetry, as well as LiDAR, pictometry surveys etc. LiDAR system acquires a three-dimensional point cloud that describes the Earth's surface. It gives a direct representation of objects on the ground surface and measures their coordinates. Moreover, it provides very accurate position and level information, although the direct information on the object's geometrical shape are less.

At this study, an implementation of 3D Cadastre using LiDAR data is developed. It is questioned if this kind of data can satisfy the specifications that are set for the

purposes of National Cadastre. The software which used was ArcGIS 10.1 and the available data was a digital surface model and true orthos of the study area. In view of that implementation, it is possible to conclude that LiDAR data provides very accurate height/level information but the outline of the roof face cannot be estimated accurately. The accuracy of data can quite fulfill the specification of Cadastre, on the condition that parameters are accumulated and considered in the best way.

Εισαγωγή

Η σύνταξη του Κτηματολογίου μιας περιοχής ορίζεται ως η διαδικασία καταγραφής των εμπράγματων ή άλλων εγγραπτών δικαιωμάτων (πλήρης ή ψιλή κυριότητα, επικαρπία, προσημείωση ή άλλο εμπράγματο βάρος, κ.λπ.) που έχουν τα φυσικά ή νομικά πρόσωπα σε ακίνητα μιας συγκεκριμένης περιοχής της χώρας. Επομένως, κάθε ακίνητο περιγράφεται από την θέση του στο χώρο με συντεταγμένες στο Εθνικό σύστημα αναφοράς, από τα δικαιώματα που εγγράφονται σε αυτό καθώς και από νομικούς περιορισμούς.

Η έντονη αστικοποίηση, η αύξηση του πληθυσμού και η ανάγκη για σύγχρονες μεταφορικές εγκαταστάσεις δημιούργησε πολύπλοκες κατασκευές, με επικαλύψεις δημόσιων και ιδιωτικών χώρων τα οποία συνοδεύονται από πληθώρα ιδιοκτησιακών δικαιωμάτων. Όπως προκύπτει από αυτό, η σύγχρονη πραγματικότητα δεν μπορεί να αποδοθεί εύκολα και με ακριβή τρόπο σε μια επίπεδη απεικόνιση και ακόμη κι αν αποδοθεί, η εγγραφή θα είναι ασαφής. Ακριβώς για αυτό τον λόγο, εισάγεται η έννοια του τρισδιάστατου Κτηματολογίου το οποίο θα μπορεί να διαχειρίζεται πολύπλοκες χωρικές σχέσεις. Πρόκειται για μια μετάβαση από την επίπεδη γεωμετρική απεικόνιση ενός δισδιάστατου στοιχείου (γεωτεμαχίου ή οποιασδήποτε οικοδομικής κατασκευής) σε τρισδιάστατη απεικόνιση με την προσθήκη των υψομέτρων των στοιχείων και με παράλληλη μεταφορά των δικαιωμάτων ιδιοκτησίας.

Υπάρχουν τρεις προσεγγίσεις σχετικά με την εφαρμογή του 3D Κτηματολογίου. Η πρώτη αφορά ένα πλήρες τρισδιάστατο Κτηματολόγιο, η δεύτερη αφορά μια υβριδική λύση ενώ η τρίτη προσέγγιση αφορά την διατήρηση των δισδιάστατων δεδομένων με εξωτερική παραπομπή στα τρισδιάστατα δεδομένα. Η μεγαλύτερη και πιο ουσιαστική αλλαγή είναι εφικτή μέσω της πρότασης εφαρμογής του πλήρους 3D Κτηματολογίου καθώς απαιτεί τη ριζική αλλαγή του νομικού πλαισίου της χώρας για την εγγραφή των τρισδιάστατων μονάδων ιδιοκτησίας. Οι άλλες δύο λύσεις αποτελούν μεταβατικό στάδιο και είναι πιο εύκολα εφαρμόσιμες καθώς διατηρούν ως βάση αναφοράς το δισδιάστατο γεωτεμάχιο. Στη μεν μία περίπτωση στο σύστημα ενσωματώνονται τρισδιάστατα αντικείμενα ενώ στην άλλη περίπτωση το σύστημα τα λαμβάνει υπόψη ως εξωτερικές αναφορές. Για την επιλογή της καταλληλότερης μορφής η εκάστοτε χώρα πρέπει να μελετήσει τα δεδομένα και τις απαιτήσεις της καθώς και την δυνατότητα εφαρμογής του.

Για την δημιουργία του 3D Κτηματολογίου, δηλαδή την καταγραφή και διαχείριση των τρισδιάστατων ιδιοκτησιών απαιτείται η γνώση της υψομετρικής πληροφορίας για τις δισδιάστατες εγγραφές με σκοπό την αναπαράσταση των όγκων των ιδιοκτησιών και όχι των δισδιάστατων προβολών τους. Η συλλογή της υψομετρικής πληροφορίας καθώς και των ψηφιακών δεδομένων που θα συνεισφέρουν στην δημιουργία των τρισδιάστατων μονάδων γίνεται με διάφορες μεθόδους. Οι πιο γνωστές είναι η φωτογραμμετρία και τα συστήματα GIS, ενώ οι αναδυόμενες μέθοδοι Pictometry, 360° και το σύστημα LiDAR κερδίζουν συνεχώς έδαφος.

Το εναέριο σύστημα LiDAR αποτελεί μια καινούρια τεχνική η οποία παρουσιάζει τεράστιο ενδιαφέρον και έχει μεγάλες προοπτικές. Αυτό το σύστημα, εκτελώντας μια σειρά πτήσεις, παράγει ένα νέφος σημείων. Οι συντεταγμένες των σημείων που έχουν συλλεχθεί μπορούν να υπολογιστούν με μεγάλη ακρίβεια καθώς το LiDAR βασίζεται στη γνωστή τεχνική της μέτρησης του χρόνου που μεσολαβεί μεταξύ της εκπομπής του παλμού laser και της επιστροφής του. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνουν τον προσδιορισμό της απόστασης μεταξύ του κέντρου της συσκευής και του εκάστοτε σημείου ανάκλασης.

Το σύστημα LiDAR παρέχει ένα μεγάλο αριθμό πλεονεκτημάτων καθώς συλλέγει δεδομένα γρήγορα, με μεγάλη ακρίβεια καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Παράλληλα, μπορεί να συλλέξει σημεία ακόμη και σε πολύ μεγάλη απόσταση ενώ έχει την ικανότητα διείσδυσης σε πυκνή βλάστηση για την αποτύπωση του εδάφους. Δύο από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά του LiDAR είναι η μεγάλη πυκνότητα των σημείων που διαθέτει καθώς και η επιτυγχανόμενη μεγάλη χωρική ακρίβεια. Ενδεικτικά, σε μια ώρα συλλογής δεδομένων το σύστημα συλλέγει 175 εκατομμύρια σημεία. Η υψομετρική ακρίβεια στο έδαφος είναι της τάξης των 15cm ή και καλύτερη, ενώ αντίθετα η οριζοντιογραφική ακρίβεια είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθεί, μα είναι λίγο χειρότερη από την κατακόρυφη. Οι διάφορες εφαρμογές έδειξαν ότι η ακρίβεια που παρέχουν υψομετρικά είναι 0.10-0.15 m ενώ οριζοντιογραφικά 0.30-1.00 m.

Η τρισδιάστατη απεικόνιση των δεδομένων δεν αποτελεί μια εύκολη διαδικασία ακόμη και για το συγκεκριμένο σύστημα. Έχει αναπτυχθεί πληθώρα αλγορίθμων και αυτόματων διαδικασιών με σκοπό της εξαγωγή των κτηρίων από αυτά τα δεδομένα. Μέχρι στιγμής, δεν έχουν γίνει αξιοσημείωτες εφαρμογές κατά τις οποίες να χρησιμοποιούνται μόνο τα δεδομένα LiDAR σε αυτή την διαδικασία καθώς συνήθως συνδυάζονται με άλλου είδους δεδομένα.

Το μεγάλο πλεονέκτημα που παρουσιάζει αυτό το σύστημα είναι ότι συλλέγει τα σημεία σε μικρό χρονικό διάστημα και με μεγάλη ακρίβεια. Αυτός είναι ο λόγος που παρουσιάζει τεράστιο ενδιαφέρον η εκμετάλλευση αυτής της τεχνολογίας στα πλαίσια δημιουργίας και ανάπτυξης του τρισδιάστατου Κτηματολογίου. Η πρόκληση εμφανίζεται στην ικανότητα των δεδομένων LiDAR να ικανοποιήσουν ή όχι τις προδιαγραφές γεωμετρικής ακρίβειας των ορίων των αντικειμένων. Η ανάπτυξη του 3D Κτηματολογίου με την χρήση μόνο του συστήματος LiDAR θα αποτελέσει αντικείμενο μελέτης και ανάλυσης κατά τα επόμενα χρόνια.

1. Το Κτηματολογικό σύστημα στο χώρο των δύο και τριών διαστάσεων

1.1 Το Κτηματολόγιο

Το Κτηματολόγιο αποτελεί ένα σύστημα οργανωμένων σε κτηματοκεντρική βάση νομικών, τεχνικών και άλλων πρόσθετων πληροφοριών για όλα τα ακίνητα της επικράτειας. Η σύνταξη του Κτηματολογίου μιας περιοχής ορίζεται ως η διαδικασία καταγραφής των εμπράγματων ή άλλων εγγραπτέων δικαιωμάτων (πλήρης ή ψιλή κυριότητα, επικαρπία, προσημείωση ή άλλο εμπράγματο βάρος, κ.λπ.) που έχουν τα φυσικά ή νομικά πρόσωπα σε ακίνητα μιας συγκεκριμένης περιοχής της χώρας και η σύνδεση των δικαιωμάτων αυτών με συγκεκριμένα ακίνητα, όπως αυτά ορίζονται και απεικονίζονται κατόπιν διαδικασιών ελέγχου και τεχνικής επεξεργασίας στα κτηματολογικά διαγράμματα.

Κατά την καταγραφή ενός εμπράγματος δικαιώματος καταγράφονται επίσης και μια σειρά νομικών πληροφοριών (ληξιαρχικά στοιχεία και στοιχεία ταυτότητας του δικαιούχου, τρόπος απόκτησης του δικαιώματος, στοιχεία της πράξης με την οποία έχει αποκτηθεί το δικαίωμα κ.λπ.). Επιπροσθέτως, τα γεωτεμάχια απεικονίζονται στα κτηματολογικά διαγράμματα κατά απόλυτο τρόπο με συγκεκριμένες συντεταγμένες κορυφών στο Εθνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ 87), οριογραμμές και εμβαδά. Συγκεκριμένα ο ορισμός του έχει ως εξής: *«Το Κτηματολόγιο είναι ένα δημόσιο, συστηματικό και διαρκώς ενήμερο σύστημα πληροφοριών γης με βάση τα γεωτεμάχια της εκάστοτε χώρας, που καταγράφει δικαιώματα, περιορισμούς και ευθύνες. Επίσης, περιλαμβάνει τη γεωμετρική περιγραφή των γεωτεμαχίων η οποία συνδέεται με άλλες περιγραφικές πληροφορίες που σχετίζονται με τη φύση των εγγραφών, την κυριότητα ή τον έλεγχο αυτών και συχνά την αξία και τις βελτιώσεις τους. Χρησιμοποιείται για νομικούς, διοικητικούς, οικονομικούς και τεχνικούς σκοπούς και επιτρέπει τη βιώσιμη ανάπτυξη και προστασία του περιβάλλοντος»* (FIG, 1995).

Η σύνταξη του αποσκοπεί στη δημιουργία ενός σύγχρονου, πλήρως αυτοματοποιημένου αρχείου ακίνητης ιδιοκτησίας, όλα τα στοιχεία του οποίου έχουν αποδεικτικό χαρακτήρα, εξασφαλίζοντας τη μεγαλύτερη δυνατή δημοσιότητα και ασφάλεια των συναλλαγών.

Το Ελληνικό Κτηματολόγιο δεν υφίσταται ακόμη και βρίσκεται σε εξέλιξη η κτηματογράφηση. Η διαδικασία κτηματογράφησης έχει συγκεκριμένο χρονοδιάγραμμα, που ξεκινά με την κήρυξη μιας περιοχής υπό κτηματογράφηση και ολοκληρώνεται με την έναρξη λειτουργίας του Κτηματολογικού Γραφείου στη συγκεκριμένη περιοχή.

Συνοπτικά, περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

- **Υποβολή δηλώσεων ιδιοκτησίας** από τους δικαιούχους στα Γραφεία Κτηματογράφησης και καταχώριση των δηλώσεων σε ψηφιακή βάση.
- **Σύνταξη προσωρινών κτηματολογικών πινάκων και διαγραμμάτων** με βάση τα στοιχεία που έχουν συλλεχθεί από τη διαδικασία της υποβολής δηλώσεων και έχουν τύχει επεξεργασίας από νομικούς και τοπογράφους.

- **Ανάρτηση προσωρινών κτηματολογικών στοιχείων** (πινάκων και διαγραμμάτων) στα Γραφεία Κτηματογράφησης για διάστημα δύο μηνών και αποστολή αποσπασμάτων στους δικαιούχους προς ενημέρωσή τους.
- **Υποβολή ενστάσεων** ενώπιον ανεξάρτητων διοικητικών επιτροπών ή αιτήσεων διόρθωσης κτηματολογικής εγγραφής κατά περίπτωση -από οποιονδήποτε έχει έννομο συμφέρον- για διάστημα δύο μηνών για τους κατοίκους εσωτερικού και τεσσάρων μηνών για τους κατοίκους εξωτερικού.
- **Αναμόρφωση των κτηματολογικών στοιχείων** μετά την εξέταση των ενστάσεων και των αιτήσεων διόρθωσης και σύνταξη των τελικών κτηματολογικών πινάκων και διαγραμμάτων. Οι εγγραφές που εμφανίζονται στους τελικούς κτηματολογικούς πίνακες ονομάζονται Αρχικές Εγγραφές, καθώς αποτελούν την πρώτη (αρχική) εγγραφή στο Κτηματολόγιο.
- **Έναρξη λειτουργίας Κτηματολογικού Γραφείου** στη συγκεκριμένη περιοχή στη θέση του παλαιού Υποθηκοφυλακείου.

Βάση αναφοράς του Κτηματολογίου είναι οι μοναδιαίες και νομικά αυτοτελείς ιδιοκτησίες ή αλλιώς τα ακίνητα μιας χώρας, τα οποία ταυτίζονται ή εμπεριέχονται στα γεωτεμάχια. Γεωτεμάχια ορίζονται ως ενιαία και συνεχόμενα τμήματα γης με τα συστατικά αυτών μέρη ή τα παραρτήματά τους, με ενιαία λειτουργικότητα ή χρήση και που περιγράφονται αυτόνομα και αυτοτελώς σε δικαιοπραξία, καθορίζονται με κλειστά όρια και ανήκουν σε ένα ή περισσότερους κυρίους εξ αδιαιρέτου, φυσικά ή νομικά πρόσωπα ή το δημόσιο (Ζεντέλης, 2007). Συνοπτικά, το Κτηματολόγιο είναι ένα σύστημα πολύ πιο σύγχρονο και ολοκληρωμένο από το παλιό σύστημα Υποθηκών και Μεταγραφών που υποστηρίζουν τα Υποθηκοφυλακεία. Με την καταγραφή στο Κτηματολόγιο επιτυγχάνεται η πλήρης καταγραφή της πληροφορίας που αφορά σε κάθε ακίνητο, συνδυάζοντας τη χωρική με τη νομική πληροφορία. Το σύστημα καταγραφής/παρακολούθησης των ιδιοκτησιών μεταβάλλεται από ανθρωποκεντρικό σε γεωκεντρικό. Η φιλοσοφία της καταγραφής αλλάζει ριζικά, θεωρώντας σαν επίκεντρο το ακίνητο και όχι τον ιδιοκτήτη του όπως συμβαίνει στα Υποθηκοφυλακεία. Η αναζήτηση ενός ακινήτου δεν ξεκινά πλέον από την αναζήτηση του εκάστοτε ιδιοκτήτη του, αλλά από το ίδιο το ακίνητο, το οποίο φέρει ολόκληρο το ιστορικό ιδιοκτησίας του. Σε κάθε γεωτεμάχιο αντιστοιχεί ένας μοναδικός κωδικός αριθμός (Κ.Α.Ε.Κ.), υπάρχει επομένως αμφιμονοσήμαντη αντιστοιχία μεταξύ γεωτεμαχίου ή ακινήτου με έναν κωδικό αναγνώρισης.

Σύμφωνα με το Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (ΥΠΕΚΑ), με το άνοιγμα των Κτηματολογικών Γραφείων σηματοδοτείται η μετάβαση από το παλιό σύστημα «Μεταγραφών και Υποθηκών» στο νέο σύστημα του Κτηματολογίου. Συγκεκριμένα, τα βιβλία που τηρούσε το αρμόδιο υποθηκοφυλακείο για τις περιοχές αυτές επέχουν θέση αρχείου, ενώ όλες οι συναλλαγές πραγματοποιούνται πλέον από το Κτηματολογικό Γραφείο και οι εγγραφές που αφορούν τα ακίνητα γίνονται στο Σύστημα Πληροφορικής Εθνικού Κτηματολογίου (ΣΠΕΚ).

Σε αυτό το κεντρικό πληροφοριακό σύστημα που συντηρείται στην Κτηματολόγιο Α.Ε.:

- ✓ είναι συνδεδεμένα μέσω διαδικτύου τα 96 Κτηματολογικά Γραφεία
- ✓ σε 333 ΟΤΑ της χώρας που κτηματογραφήθηκαν την περίοδο 1995-2000
- ✓ το σύστημα περιλαμβάνει δεδομένα 6,7 εκατ. δικαιωμάτων
- ✓ περίπου 2 εκατ. δικαιούχων
- ✓ για συνολικά 3,6 εκατ. ιδιοκτησίες.

Τα δεδομένα αυτά προήλθαν από το Α' Πιλοτικό, Β' Πιλοτικό και 1^ο Κύριο Πρόγραμμα του Εθνικού Κτηματολογίου.

Από τον Απρίλιο του 2012, η Κτηματολόγιο ΑΕ έχει εκπονήσει Επιχειρησιακό Σχέδιο ολοκλήρωσης σύνταξης του Κτηματολογίου. Το σχέδιο αυτό, περιλαμβάνει αναλυτικό σχεδιασμό της κτηματογράφησης του υπολοίπου της χώρας, ανάλυση των επιχειρησιακών επιλογών, προϋποθέσεις επίτευξης στόχων, αλλά και χρηματοοικονομικό σχεδιασμό του έργου μέχρι την ολοκλήρωσή του. Αναφέρεται επίσης, ότι, με βάση τον σχεδιασμό της Κτηματολόγιο ΑΕ, η σύνταξη του Κτηματολογίου προγραμματίζεται να ολοκληρωθεί μέχρι το 2020.

- Αυτή τη στιγμή, σε διαδικασία κτηματογράφησης, μετά την ανάρτηση, βρίσκονται 1.300.000 δικαιώματα, δηλαδή, ποσοστό 3,5%.
- Σε διαδικασία κτηματογράφησης προ ανάρτησης, βρίσκονται 5.850.000 δικαιώματα, δηλαδή, ποσοστό 15,8%.
- Για την ανάδειξη αναδόχου, προχωρά διαδικασία που αφορά σε 6.720.000 δικαιώματα, δηλαδή ποσοστό 18,1%.
- Εκτός προγράμματος κτηματογράφησης βρίσκονται 16.230.000 δικαιώματα, δηλαδή, ποσοστό 43,8%.

Σε διαδικασία μετάπτωσης (κτηματογράφηση Δωδεκανήσου) βρίσκονται 390.000 δικαιώματα, ποσοστό 1,1%, ενώ εμπλοκές στη διαδικασία κτηματογράφησης υπάρχουν για 30.000 δικαιώματα, δηλαδή για ποσοστό 0,1%.

Είναι αναγκαίο να αναφερθεί ότι το Κτηματολόγιο διαχειρίζεται τόσο τις αστικές όσο και τις αγροτικές περιοχές.

Ως αστική περιοχή για τις ανάγκες της κτηματογράφησης ορίζεται

α) η περιοχή εντός σχεδίου πόλης ή εντός ορίου οικισμού προϋφιστάμενου του 1923 ή ορίου οικισμού κάτω των 2000 κατοίκων που έχει οριοθετηθεί.

β) η περιοχή η οποία καταρχήν περιλαμβάνει τη δομημένη επιφάνεια ενός οικισμού καθώς και την περίξ αυτού περιοχή στην οποία παρατηρείται τέτοια κατάτμηση οικοπέδων ή αγροτεμαχίων που υποδηλώνει προοπτική μελλοντικής αστικής

ανάπτυξης του οικισμού έστω κι αν σήμερα δεν παρατηρείται συμπαγής αστικός ιστός εκεί.

Ως αγροτική περιοχή για τις ανάγκες της κτηματογράφησης ορίζεται η περιοχή η οποία βρίσκεται εκτός σχεδίου πόλης ή εκτός ορίου οικισμού προϋφιστάμενου του 1923 ή εκτός οριοθετημένου οικισμού κάτω των 2000 κατοίκων και δεν παρουσιάζει χαρακτηριστικά συστηματικής δόμησης. Το όριο της αγροτικής περιοχής καθορίζεται από την ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. με την διαδικασία που προβλέπεται από τις προδιαγραφές και δεν μεταβάλλεται μετά την έναρξη συλλογής των δηλώσεων.

Παρόλα αυτά, το σύστημα καταγραφής των δικαιωμάτων γης στην Ελλάδα ήταν και εξακολουθεί να είναι, η καταγραφή των πράξεων, που λειτουργεί από το λεγόμενο «υποθηκοφυλακείο». Στο πλαίσιο ενός τέτοιου συστήματος, ένα αντίγραφο της κάθε πράξης μεταβίβασης των δικαιωμάτων ιδιοκτησίας έχει κατατεθεί στο μητρώο σε μια χρονολογική σειρά. Το μητρώο συμπληρώνεται από ένα μητρώο εγγείου ιδιοκτησίας, το οποίο παρέχει πληροφορίες σχετικά με τα τέλη, τις υποθήκες, πραγματικές δουλειές και τις αξιώσεις ιδιοκτησίας. Επιπλέον, ένα ευρετήριο των ονομάτων των πωλητών, των αγοραστών και των δικαιούχων παρέχεται για κάθε πράξη που έχει καταχωρηθεί. Η καταγραφή των αγροτεμαχίων είναι συνήθως σε συνδυασμό με μια εκτεταμένη λεκτική περιγραφή των ορίων ή/και ένα γραφικό σχέδιο, που επισυνάπτεται σε κάθε συναλλαγή, υποχρεωτική από το 1977 και να κατατεθεί στη συμβολαιογράφο (Ζεντέλης & Δημοπούλου, 2001). Σε περιοχές όπου η κτηματογράφηση παραμένει σε εξέλιξη, τα υποθηκοφυλακεία εξακολουθούν να ισχύουν ενώ λειτουργούν παράλληλα με τα αντίστοιχα Κτηματολογικά Γραφεία. Πρέπει να αναφερθεί ότι ο νομικός ορισμός της ακίνητης ιδιοκτησίας που προβλέπεται από το παλιό σύστημα δεν αντικατοπτρίζει πάντα την πραγματική κατάσταση του εδάφους και η κατάσταση αυτή δημιουργεί περαιτέρω σύγχυση στο χειρισμό και τη διαχείριση των ζητημάτων της γης εντός της ελληνικής επικράτειας. Ειδικότερα:

- Οι πράξεις δεν περιέχουν τρισδιάστατες (3D) πληροφορίες σχετικά με τα ύψη που εφαρμόζονται για την ακίνητη περιουσία, αλλά και τις σχετικές περιγραφικές πληροφορίες. Η μόνη εξαίρεση είναι όταν η νομική περιγραφή στα έργα συνοδεύεται από τοπογραφικό σχέδιο που θα περιλαμβάνει συντεταγμένες και / ή τα ύψη.

-Τα Κτηματολογικά Γραφεία διατηρούν νομικές πληροφορίες σχετικά με τα αγροτεμάχια και οι πληροφορίες αυτές ενημερώνονται από νέα πωλητήρια έγγραφα που περιγράφουν πρόσφατες συναλλαγές επί ακινήτων. Το πρόβλημα που συναντάται όμως είναι ότι μέχρι σήμερα δεν υπάρχει δυνατότητα δημιουργίας τοπικών γραφείων, για τη διατήρηση και ενημέρωση χωρικών δεδομένων.

1.2 Ιδιοκτησιακά αντικείμενα Κτηματολογίου

Τα ιδιοκτησιακά αντικείμενα που καταγράφονται από το Ελληνικό Κτηματολόγιο είναι οι οριζόντιες, κάθετες, σύνθετες κάθετες ιδιοκτησίες και μερικά από τα ειδικά ιδιοκτησιακά δικαιώματα.

1. Οριζόντια ιδιοκτησία

Οριζόντια ιδιοκτησία ή ιδιοκτησία κατ'ορόφους ή οροφοκτησία (άρθρα 1002, 1117 Α.Κ. και Ν.3741/1929) καλείται το αυτοτελές ιδιοκτησιακό αντικείμενο, όροφος οικοδομής ή διαμέρισμα του, επί του οποίου υπάρχει αποκλειστική κυριότητα, συνδυασμένη με αναγκαστική συγκυριότητα στο κοινόκτητο έδαφος (οικόπεδο) και στα τυχόν λοιπά κοινόκτητα και κοινόχρηστα μέρη του όλου ακινήτου. Προϋποθέσεις για την ύπαρξη οριζόντιας ιδιοκτησίας είναι η ύπαρξη οικοπέδου, επί του οποίου έχει ανεγερθεί ή πρόκειται να ανεγερθεί οικοδομή αποτελούμενη από περισσότερους αυτοτελείς ορόφους ή περισσότερα αυτοτελή διαμερίσματα ορόφων, και το οικόπεδο αυτό να ανήκει κατά συγκυριότητα σε όλους τους κυρίους των επιμέρους οριζόντιων ιδιοκτησιών (Αντωνίου, Ζεντέλης, 2010).

2. Κάθετη ιδιοκτησία

Κάθετη ιδιοκτησία, (άρθρα 1002, 1117 Α.Κ. και Ν.1024/1971 σε συνδυασμό με το Ν.3741/1929) υφίσταται σε περίπτωση που σε οικόπεδο, το οποίο ανήκει κατά κυριότητα ή συγκυριότητα σε έναν ή περισσότερους συνιδιοκτήτες, έχουν ανεγερθεί περισσότερες της μίας οικοδομές, καθεμία από τις οποίες (ολόκληρη) ανήκει σε έναν ή περισσότερους εξ αδιαιρέτου συγκυρίους του οικοπέδου ή στον μοναδικό κύριο του όλου ακινήτου, κατ' αποκλειστική κυριότητα, η οποία συνδυάζεται με αναγκαστική συγκυριότητα κατά ανάλογη μερίδα στο ενιαίο οικόπεδο και τους λοιπούς κοινόκτητους χώρους (Αντωνίου, Ζεντέλης, 2010).

3. Σύνθετη κάθετη ιδιοκτησία

Σύνθετη είναι η κάθετη ιδιοκτησία (συνιδιοκτησία), όταν περισσότερα κτίσματα που έχουν ανεγερθεί ή προβλέπεται από τη σχετική πράξη σύστασης να ανεγερθούν στο ίδιο γεωτεμάχιο, διαιρούνται και οριζόντια σε ορόφους ή τμήματα ορόφων (διαμερίσματα) και ο καθένας από τους συγκυρίους του όλου γεωτεμαχίου έχει κυριότητα σε όροφο ή τμήμα ορόφου ενός από τα κτίσματα και συγκυριότητα στο όλο γεωτεμάχιο. Στην περίπτωση αυτή, στην πράξη σύστασης, εκτός από το ποσοστό συνιδιοκτησίας επί του τμήματος του γεωτεμαχίου, όπου έχει ή πρόκειται να ανεγερθεί το κτήριο στο οποίο ανήκει η συγκεκριμένη οριζόντια ιδιοκτησία, αναφέρεται και το ποσοστό συνιδιοκτησίας επί του όλου ενιαίου γεωτεμαχίου. Το δεύτερο αυτό ποσοστό (εκφρασμένο συνήθως σε χιλιοστά), είναι το γινόμενο του ποσοστού συνιδιοκτησίας της οριζόντιας ιδιοκτησίας στο τμήμα του γεωτεμαχίου επί το ποσοστό συνιδιοκτησίας της κάθετης ιδιοκτησίας επί του όλου γεωτεμαχίου, που

αντιστοιχεί στο τμήμα αυτό. Όπως και με την οριζόντια ιδιοκτησία, έτσι και η απλή και σύνθετη κάθετη ιδιοκτησία δεν αναπαρίστανται στα κτηματολογικά διαγράμματα, παρά μόνο με τους αριθμούς ΚΑΕΚ, όπου κάθε ψηφίο παραπέμπει σε διαφορετικό κτήριο, όροφο και διαμέρισμα, για κτήρια που έχουν δομηθεί στο ίδιο γεωτεμάχιο.

4. Ειδικά ιδιοκτησιακά αντικείμενα

Ως ειδικά ιδιοκτησιακά αντικείμενα θεωρούνται οι εξ' εθνικού δικαίου δημιουργούμενες ιδιότυπες σχέσεις χωριστής ιδιοκτησίας, σύμφωνα με τις οποίες ο κύριος επί του εδάφους δεν είναι αναγκαία και κύριος των επ' αυτών κτισμάτων, τα οποία συνιστούν αυτοτελή ιδιοκτησιακά αντικείμενα. Από τα ανωτέρω συνάγεται ότι στις περιπτώσεις αυτές η έκταση του ειδικού ιδιοκτησιακού αντικειμένου δεν ακολουθεί τα όρια του γεωτεμαχίου που είναι υλοποιημένα στην επιφάνεια της γης (Αρβανίτης, 2000).

Τα ιδιοκτησιακά αντικείμενα που αναπαρίστανται σε δισδιάστατη πολυγωνική μορφή στα κτηματολογικά διαγράμματα είναι τα εξής:

- ✓ Υπόσκαφα, τα οποία αποτελούν παραδοσιακά σπίτια που είναι λαξευμένα μέσα στη γη.
- ✓ Ανώγεια, τα οποία αποτελούν κατασκευές πάνω από την επιφάνεια του εδάφους.
- ✓ Καμάρες, οι οποίες αποτελούν καμπυλωτά/τοξωτά περάσματα ανάμεσα σε κτίσματα και είναι κυρίως ενετικής προέλευσης.
- ✓ Σύρματα, τα οποία αποτελούν μικρά κτίρια που βρίσκονται σε παραθαλάσσιους οικισμούς στις Κυκλάδες (κυρίως στη Μήλο). Η ονομασία τους προήλθε από ένα ειδικό μηχανισμό που διαθέτουν για να σύρουν τις βάρκες στο εσωτερικό τους κατά τη διάρκεια του χειμώνα.

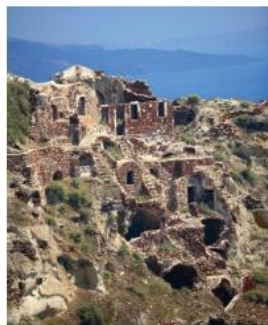
Υπάρχουν και άλλα αντικείμενα που μπορεί να καταγράφονται από το Κτηματολόγιο για κάποιες περιοχές όπως είναι :

- ✓ Ορυχεία, που εκτείνονται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους
- ✓ Στοές
- ✓ Δεξαμενές
- ✓ Πηγάδια
- ✓ Ανεμόμυλοι
- ✓ Τρούλοι

Τα ειδικά ιδιοκτησιακά αντικείμενα που διέπονται από το ανωτέρω δίκαιο, είτε εκτείνονται πάνω από το άλλο γεωτεμάχιο (ανώγεια), είτε άνωθεν δρόμου (καμάρες), είτε κάτω από άλλο γεωτεμάχιο ή δρόμο (υπόσκαφα) ή σε αιγιαλό (σύρματα) έχουν δικαίωμα 0% επί του εδάφους. Τα κατώγεια έχουν δικαίωμα 100% επί του εδάφους. Περιοχές στις οποίες το νερό έχει ιδιαίτερη σημασία, όπως πηγάδια και δεξαμενές, αποδίδονται σημειακά, χωρίς εμβαδόν, στο γεωτεμάχιο εντός του οποίου βρίσκονται. Τα παραπάνω ιδιοκτησιακά αντικείμενα δεν καταγράφονται οπωσδήποτε από το ελληνικό Κτηματολόγιο. Πιο ενδιαφέρουσες περιπτώσεις κτηματογραφικών εγγραφών αποτελούν όσα έχουν πολυγωνική μορφή όπως τα υπόσκαφα, τα ανώγεια, οι καμάρες και τα σύρματα. Αυτά διαθέτουν διαφορετικό ΚΑΕΚ από αυτό του γεωτεμαχίου στο οποίο ανήκουν. Όπως είναι εύκολα κατανοητό, αυτές οι περιπτώσεις είναι ιδιαίτερες πολύπλοκες στην κατανόηση και αποτύπωση των ιδιοκτησιακών δικαιωμάτων στον δισδιάστατο χώρο. Έτσι, απαιτείται μια διαφορετική προσέγγιση της κατάστασης τους.



(α)



(β)



(γ)



(δ)



(ε)



(ζ)

Εικόνα 1: (α) ανώγεια, (β) υπόσκαφο, (γ) σύρματα, (δ) στοά, (ε) ανεμόμυλοι, (ζ) τρούλοι (Πηγή: Τσιλιάκου, 2011)

1.3 Αναγκαιότητα Προσαρμογής του 2D Κτηματολογίου στην 3D πραγματικότητα

Η έντονη αστικοποίηση, η αύξηση του πληθυσμού και η ανάγκη για σύγχρονες μεταφορικές εγκαταστάσεις δημιουργεί μεγαλύτερη και πιο έντονη την ανάγκη αύξησης του χώρου αλλά και επέκτασης οδικών δικτύων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία υπόγειων μέσων μεταφοράς κάτω από υφιστάμενα κτήρια καθώς και την ανέγερση πολύπλοκων κατασκευών. Προκειμένου να αυξηθεί η λειτουργικότητα των υποδομών και να κατανοηθεί η περιπλοκότητα των κτηρίων που χτίζονται καθώς και η ιδιοκτησιακή κατάσταση που επικρατεί κατά την κατακόρυφη συνιστώσα είναι αναγκαία η απόδοση της τρίτης διάστασης και η δημιουργία του 3D Κτηματολογίου.

Η βέλτιστη λύση για την πολύπλοκη πραγματικότητα της Ελλάδας αποτελεί το υβριδικό Κτηματολόγιο. Σύμφωνα με αυτό, διατηρείται το 2D Κτηματολόγιο ως έχει ενώ ενσωματώνονται σε αυτό 3D εγγραφές και δεδομένα. Σύμφωνα με τη Δημοπούλου (2006), τα βασικά στάδια για την μετατροπή από 2D σε 3D κτηματολογικό μοντέλο είναι τα εξής:

- ✓ Ανάλυση της Εθνικής Κτηματολογικής βάσης δεδομένων
- ✓ Καθορισμός του περιβάλλοντος της εφαρμογής και επιλογή του κατάλληλου λογισμικού
- ✓ Μετατροπή της γεωμετρίας του ακινήτου από 2D σε 3D
- ✓ Δημιουργία ενός 3D πρότυπου για την καταγραφή των 3D ιδιοτήτων.

Η εγγραφή της τρίτης διάστασης στο Ελληνικό Κτηματολόγιο είναι αναγκαιότητα εξετάζοντας

- Το έντονο ανάγλυφο του εδάφους που έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία πολύπλοκων κατασκευών με περίπλοκα ιδιοκτησιακά δικαιώματα.
- Την ελάχιστη διαθέσιμη επιφάνεια εδάφους η οποία σε συνδυασμό με την αυξανόμενη αστικοποίηση, οδήγησε στην εμφάνιση πολυεπίπεδων κατασκευών.
- Την μεγάλη ιστορική αξία της ελληνικής γης, στην οποία πολλοί σύγχρονοι οικισμοί είναι κτισμένοι πάνω από τα ερείπια αρχαίων πόλεων.
- Την καταγραφή των Ειδικών ιδιοκτησιακών αντικειμένων
- Την καταγραφή των εθιμικών ιδιοκτησιακών δικαιωμάτων.
- Τις αντιφάσεις στην ελληνική νομοθεσία σχετικά με τρισδιάστατα αντικείμενα.

- Την ανάγκη αστικού σχεδιασμού. Ένα 3D μοντέλο Κτηματολογίου θα έδινε την δυνατότητα παρουσίασης της νομική κατάσταση στο εσωτερικό των κτηρίων και της ανίχνευση των παραβάσεων του Γενικού Οικοδομικού Κώδικα.
- Την ανάγκη για φορολογικές και πραγματικές εκτιμήσεις ακινήτων, δεδομένου ότι η αξία της γης είναι υψηλή, ειδικά σε αστικές και εμπορικές περιοχές.

Λόγω του περιορισμένου ελεύθερου χώρου έχουν δημιουργηθεί επικαλυπτόμενες ιδιοκτησίες διαφορετικών χρήσεων κατά την κατακόρυφη έννοια με αποτέλεσμα να μην γίνονται κατανοητά τα δικαιώματα και οι περιορισμοί από μια δισδιάστατη απεικόνιση. Έτσι, δεν μπορεί να αποδοθεί η δραστηριότητα στον υπόγειο και υπέργειο χώρο.

Τα υπόσκαφα, τα ανώγεια, τα μεταλλεία και τα σύρματα είναι οι μόνες τρισδιάστατες καταγραφές που αναφέρονται στο μοντέλο του Εθνικού Κτηματολογίου. Στην ουσία, οι περιπτώσεις που επιζητούν την τρισδιάστατη απεικόνιση και καταγραφή στα ελλαδικά εδάφη είναι οι εξής:

- 1) Επικαλύψεις ιδιωτικών και δημόσιων ιδιοκτησιών
 - Δημόσιες ιδιοκτησίες κάτω από ιδιωτικές περιοχές
 - Δημόσιες ιδιοκτησίες πάνω από ιδιωτικές περιοχές
 - Κατασκευές κάτω από ιδιωτική χρήση γης

Είναι συχνό το φαινόμενο της επικάλυψης δημόσιων χώρων όπως πλατείες, ελεύθεροι χώροι και υποδομές με ιδιωτικά οικόπεδα ή κτήρια. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν περιπτώσεις όπως οι ακόλουθες (Δημοπούλου,2010):

- Δημόσιες ιδιοκτησίες βρίσκονται πάνω από ιδιωτικές. Τέτοιο παράδειγμα αποτελεί η κατασκευή υπόγειου χώρου στάθμευσης κάτω από πλατεία
- Στοές μεταλλείων που δεν συνδέονται με το υπερκείμενο γεωτεμάχιο
- Δημόσιες εκτάσεις που καταλαμβάνονται από δρόμους με ιδιωτικά υπερκείμενα γεωτεμάχια ή κατασκευές
- Ανώγεια σε νησιωτικές ή άλλες περιοχές που διατηρούν παραδοσιακά αρχιτεκτονικά στοιχεία πάνω από κοινοτικές οδούς
- Στοές ιδιωτικών κτηρίων επί κοινόχρηστου πεζοδρομίου εντός όμως του περιγράμματος των κτηρίων

- Κοινόχρηστα δίκτυα υποδομών, κοινής ωφέλειας κάτω από ιδιωτικά ακίνητα

Η αποτύπωση αυτών περιπλοκών και ταυτόχρονων χρήσεων γης δεν ήταν εφικτή μέχρι αυτή τη στιγμή με συνέπεια να χάνεται πολύτιμη πληροφορία για την ελληνική πραγματικότητα.

2) Ιδιωτικά ιδιοκτησιακά δικαιώματα σε πολλαπλά επίπεδα

Είναι συνηθισμένο σε νησιωτικές κυρίως περιοχές με έντονη κλίση του εδάφους να δημιουργούνται επικαλυπτόμενες ιδιοκτησίες οικοπέδων και κτισμάτων. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην μορφολογία και φύση του εδάφους (όπως είναι το ηφαιστειογενές έδαφος της Σαντορίνης), που επιτρέπει τη δημιουργία τέτοιων χώρων σκάβοντας τα γνωστά υπόσκαφα, καθώς και στο ισχύον εθιμικό δίκαιο.

3) Μη συμβατική εσωτερική αξιοποίηση πολυεπίπεδων κτηρίων

Οι μεζονέτες των πολυκατοικιών αποτελούν χαρακτηριστικό παράδειγμα ασύμμετρης χρήσης του όγκου των κτηρίων χωρίς να προβλέπεται αποτύπωση αυτής της διαφοράς. Η διαμόρφωση πολλών εσωτερικών χώρων γίνεται έτσι ώστε να καταλαμβάνει επίπεδα σε περισσότερους από έναν ορόφους δημιουργώντας αίθρια, πατάρια ή σοφίτες. Μέχρι στιγμής ούτε αυτή η περίπτωση καταγράφεται από το ελληνικό Κτηματολόγιο και πρέπει να αντιμετωπιστεί.



Εικόνα 2: (α) ιδιωτικό παρκινγκ κάτω από δημόσια περιοχή, (β) ανώγειο, (γ) ιδιωτική κατασκευή πάνω από εθνική οδό (Πηγή: Τσιλιάκου, 2011)

Στη συγκεκριμένη εργασία, το μεγαλύτερο βάρος δίνεται κυρίως στο Εθνικό Κτηματολόγιο κι έτσι, θα ήταν καλό να γίνει μια περαιτέρω ανάλυση της υφιστάμενης κατάστασης και των περιπτώσεων που χρήζουν τρισδιάστατης αντιμετώπισης στην Ελλάδα. Τέτοιες περιπτώσεις παρουσιάζονται παρακάτω.

Περίπτωση 1: Κατασκευή πάνω από Δημόσιο δρόμο

Κάθε δημόσιος δρόμος ανήκει στην πολιτεία και είναι κατασκευασμένος για τα δημόσια όφελος. Θεωρείται ως μια ανεξάρτητη ιδιοκτησία και καταχωρείται στο

Κτηματολόγιο έχοντας ένα μοναδικό κωδικό ΚΑΕΚ. Όταν μια δημόσια περιουσία κατασκευάζεται πάνω από τον δρόμο το κτηματολογικό σύστημα πρέπει να αναγνωρίζει δυο διαφορετικούς ιδιοκτήτες για την ίδια θέση και να παρέχει στον καθένα ένα ξεχωριστό ΚΑΕΚ.



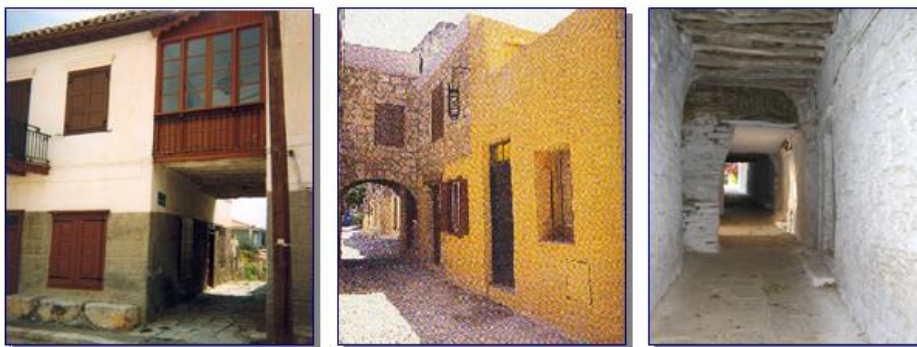
Εικόνα 3: εναέρια κατασκευή πάνω από εθνική οδό (Πηγή: Παπαευθυμίου, 2004)



Εικόνα 4: αθλητικές εγκαταστάσεις και ελεύθεροι χώροι πάνω από την Αττική Οδό (Πηγή: Παπαευθυμίου, 2004)

Περίπτωση 2: Κατασκευές πάνω από κοινόχρηστη στοά

Αυτές οι κατασκευές που η θέση τους είναι πάνω από κοινόχρηστη στοά συνήθως καλούνται «ανώγεια». Θεωρούνται ως επεκτάσεις άλλων ιδιοκτησιών που βρίσκονται δίπλα στη στοά και η είσοδος τους βρίσκεται πάντα στο έδαφος, δίπλα από αυτές τις ιδιοκτησίες. Αυτή η περίπτωση συναντάται κυρίως σε μικρά χωριά και ιδιαίτερα σε νησιά. Στα ανώγεια δίνονται δύο ΚΑΕΚ, ένα για τη στοά και ένα για την ιδιοκτησία, καταχωρημένα σε ειδικό πεδίο.



Εικόνα 5: Κατασκευές πάνω από κοινόχρηστες στοές (Πηγή: Παπαευθυμίου, 2004)

Περίπτωση 3: Κατασκευές πάνω ή κάτω από γέφυρα

Αυτή η περίπτωση είναι παρόμοια με την περίπτωση κατασκευής πάνω από κοινόχρηστη στοά. Έτσι, και στην δεδομένη κατάσταση δίνονται δύο ΚΑΕΚ, ένα για την γέφυρα κι ένα για την κατασκευή.



Εικόνα 6: πολλές ανεξάρτητες ιδιοκτησίες κάτω από την γέφυρα της Αράχοβας (Πηγή: Παπαευθυμίου, 2004)

Περίπτωση 4: Υπόγειες κατασκευές

Οι υπόγειες κατασκευές συνήθως πραγματοποιούνται για εμπορικές στοές, γκαράζ ή ως εγκαταστάσεις για αποθηκευτικούς σκοπούς προκειμένου να αξιοποιηθούν περισσότερο και με πιο οικονομικό τρόπο οι υπόγειοι χώροι. Έτσι, εφόσον ο ιδιοκτήτης της γης μπορεί να είναι διαφορετικός από τον ιδιοκτήτη της κατασκευής κάτω από αυτή, χρειάζεται να αποδοθούν δύο διαφορετικά ΚΑΕΚ. Βασικό στοιχείο σε αυτή την περίπτωση αποτελεί το βάθος κάτω από την επιφάνεια της γης.

Περίπτωση 5: Υπόγειες κατασκευές με είσοδο πάνω από την επιφάνεια της γης-Υπόσκαφα

Είναι μια παρόμοια περίπτωση με την παραπάνω με την διαφορά ότι πρόκειται κυρίως για κατοικημένες ακίνητα σε παραδοσιακά χωριά και νησιά και τα οποία

καλούνται υπόσκαφα. Το κύριο μέρος του ακινήτου βρίσκεται σε διαφορετικό επίπεδο από την είσοδο λόγω μεγάλης υψομετρικής διαφοράς.



Εικόνα 7: οι επίγειες εισοδοι υπόγειων ιδιοκτησιών (Πηγή: Παπαευθυμίου, 2004)

Περίπτωση 6: Ακίνητα με πρόσβαση μέσα από γειτονικά

Αυτά τα ακίνητα λειτουργούν ως άνω και κάτω ακίνητα με διαφορετικούς ιδιοκτήτες ανά όροφο, και συνήθως ονομάζεται “floor properties”. Συνήθως ο ιδιοκτήτης του ισογείου είναι ιδιοκτήτης του οικοπέδου-αγροτεμάχιο, ενώ ο ιδιοκτήτης του ορόφου έχει ένα ποσοστό 0% για το οικόπεδο, και έχει πρόσβαση στο ακίνητο του από μια εξωτερική σκάλα ή από ένα γειτονικό οικόπεδο-αγροτεμάχιο.

Περίπτωση 7: Περιπτώσεις περίπλοκης ιδιοκτησίας

Σε αυτές τις περιπτώσεις ανήκουν παραδοσιακοί οικισμοί οι οποίοι βρίσκονται σε περιοχές με έντονο ανάγλυφο και αναπτύσσονται οριζόντια και κατακόρυφα σε λόφο ή βουνό. Μπορεί η αυλή μιας ιδιοκτησίας να είναι ταυτόχρονα και στέγη μιας κατοικίας παρέχοντας έτσι δύο διαφορετικά καταγεγραμμένα δικαιώματα με διαφορετικά ΚΑΕΚ. Σε αυτή την περίπτωση, ο μόνος τρόπος να διευκρινιστεί η ιδιοκτησιακή κατάσταση είναι οπτικοποιώντας την στον χώρο των τριών διαστάσεων



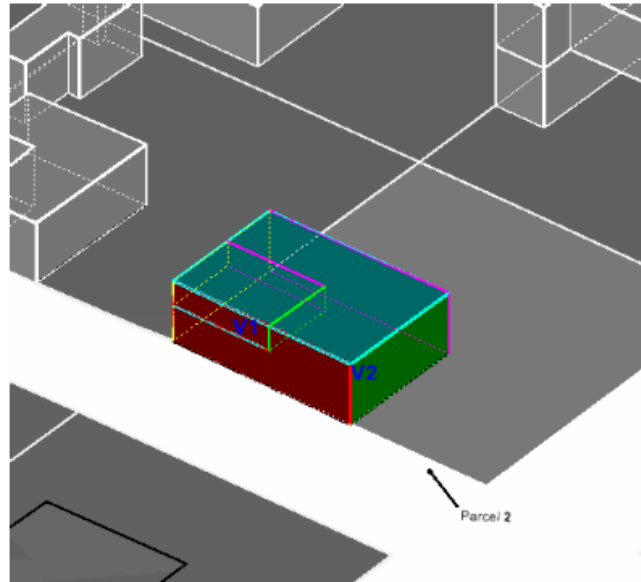
Εικόνα 8 : τυπικό παράδειγμα κατακόρυφης ανάπτυξης στην Σαντορίνη (Πηγή: Παπαευθυμίου, 2004)

1.4 Διερεύνηση της δυνατότητας ενσωμάτωσης 3D καταγραφών στο Κτηματολόγιο

Το κτηματολογικό σύστημα κάθε χώρας στηρίζεται σε ένα μοντέλο που είναι σύμφωνο με το θεσμικό της πλαίσιο, τις διοικητικές της δομές καθώς και το τεχνολογικό της επίπεδο. Σε κάθε περίπτωση, η αντίληψη για το περιεχόμενο αυτού είναι ίδια και επικεντρώνεται στο τρίπτυχο: πρόσωπο-ακίνητο-δικαίωμα. Η εξέλιξη καθώς και οι συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις έδειξαν ότι είναι απαραίτητη η ενσωμάτωση των τρισδιάστατων αντικειμένων στο κτηματολογικό σύστημα καταγραφής. Έτσι, απαραίτητη προϋπόθεση είναι η ενημέρωση του συστήματος που περιέχει τις οριζοντιογραφικές συντεταγμένες, με την τρίτη διάσταση ώστε να δημιουργηθούν τα αντίστοιχα στερεά (Δημοπούλου,2010). Είναι απολύτως κατανοητό ότι προς το παρόν δεν χρειάζεται η τρισδιάστατη αναπαράσταση όλου του χώρου αλλά κυρίως ορισμένων περιπτώσεων που παρουσιάζουν ενδιαφέρον. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι περιπτώσεις που εξετάστηκαν στα πλαίσια του Εθνικού Κτηματολογίου.

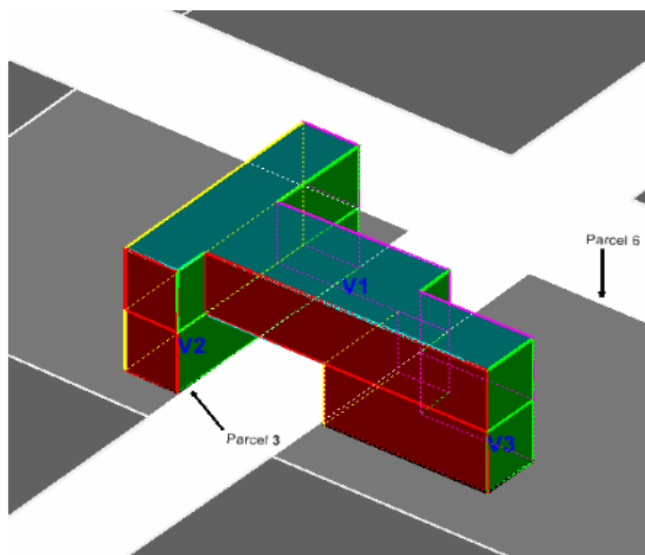
Μια χαρακτηριστική περίπτωση είναι αυτή των ιδιοκτησιών που γειτνιάζουν και φέρονται ως ενιαία ιδιοκτησία στο υπάρχον Κτηματολόγιο, ενώ στην πραγματικότητα διαχωρίζονται με διάφορους τρόπους σε δύο ή περισσότερα μέρη, με διαφορετική χρήση. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα καταστήματα που εκμεταλλεύονται το μεγάλο ύψος που διαθέτουν δημιουργώντας πολλά επίπεδα. Ο ιδιοκτήτης

χρησιμοποιεί τους δημιουργούμενους χώρους ως αποθήκες ή για άλλη χρήση χωρίς αυτό να παρουσιάζεται σε κάποιο διάγραμμα. Έτσι, ενώ φαίνεται στο Κτηματολόγιο ότι εκμεταλλεύεται το εμβαδό V2 ,εκμεταλλεύεται παράλληλα και το εμβαδό V1. Δημιουργώντας το 3D μοντέλο, θα είναι εφικτή η παρουσίαση των δυο τρισδιάστατων ιδιοκτησιών στον ίδιο όγκο (εικόνα 9).



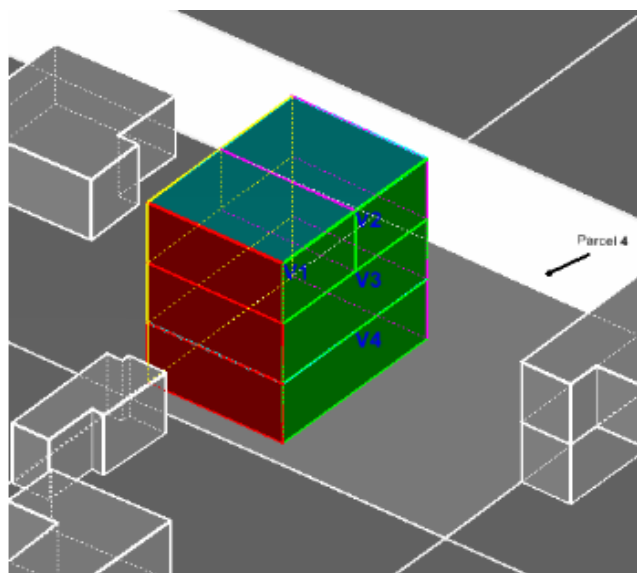
Εικόνα 9 : Υποδιαίρεση ιδιοκτησίας (Πηγή: Δημοπούλου, 2006)

Στη δεύτερη περίπτωση παρουσιάζονται ιδιόκτητοι χώροι που κείνται εν μέρει ή ολικά υπογείως ή υπεργείως κοινόχρηστων χώρων (εικόνα 10). Εδώ, δηλώνονται και καταγράφονται χωρίς πρόβλημα η ιδιοκτησία V2 στο γεωτεμάχιο 3 και η ιδιοκτησία V3 στο γεωτεμάχιο 6. Όμως η V1 δηλώνεται και καταγράφεται στο γεωτεμάχιο 6 με διαφορετικά στοιχεία από τα πραγματικά. Έτσι, φαίνεται μόνο το κομμάτι της V1 που η κάτοψη της βρίσκεται εντός του γεωτεμαχίου 6. Πρέπει λοιπόν, να δηλωθούν ως τρισδιάστατες οντότητες και οι V2, V3 εκτός από την ιδιοκτησία V1 εφόσον επηρεάζουν άμεσα την κατασκευή, με σκοπό την παρουσίαση της χωρικής σχέσης μεταξύ αυτών των ιδιοκτησιών (Δημοπούλου, Γιαβανας, Ζεντέλης, 2006).



Εικόνα 10: κατασκευές πάνω από δρόμους και γεωτεμάχια (Πηγή: Δημοπούλου, 2006)

Στην τρίτη περίπτωση μελετήθηκε η αντισυμβατική εκμετάλλευση του εσωτερικού των κτηρίων (εικόνα 11). Οι περιπτώσεις αυτές αναφέρονται σε ακίνητα τα οποία μοιράζονται άνισα τον ιδιωτικό χώρο, εκμεταλλευόμενοι ή μη ακολουθώντας, ειδικές ρυθμίσεις του οικοδομικού κώδικα. Σε ορισμένες περιπτώσεις, ιδιοκτησίες εντός κτηρίων έχουν εν μέρει ή στο σύνολο τους μεγαλύτερο από το συμβατικό ύψος ή ακόμα μπορεί να έχουν τμήματα με όγκο από τον οποίο προκύπτει επιφάνεια ιδιοκτησίας.



Εικόνα 11: άνισα κατανεμημένη ιδιωτική γη (Πηγή: Δημοπούλου, 2006)

1.5 Περίπτωση τρισδιάστατης εφαρμογής στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα υπάρχουν ορισμένα είδη ιδιοκτησιών που παρουσιάζουν έντονη την ανάγκη ύπαρξης ενός τρισδιάστατου Κτηματολογίου. Χαρακτηριστικό παράδειγμα

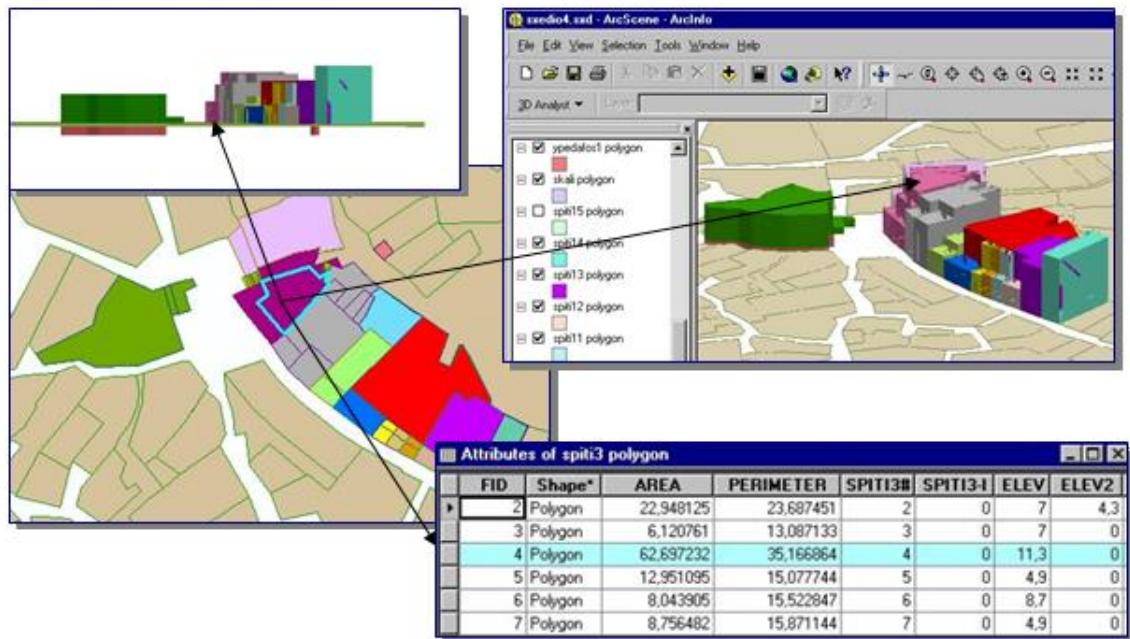
αποτελεί το νησί της Σαντορίνης, στο οποίο έγινε προσπάθεια τρισδιάστατης καταγραφής. Σε αυτό το νησί παρουσιάζονται περίπλοκα δικαιώματα επί των ιδιοκτησιών. Συγκεκριμένα, η εφαρμογή αυτή έγινε στην περιοχή Καστέλι, Βόρεια του Νησιού χρησιμοποιώντας για την αναπαράσταση των δικαιωμάτων την τεχνολογία GIS. Το Καστέλι, έχει το προνόμιο ότι είναι από τις πρώτες εγκαταστάσεις στην οποία είχε καταγραφεί η κτηματολογική της κατάσταση, με συνέπεια τα περισσότερα δικαιώματα επί ακινήτων να είναι καταγεγραμμένα. Πολλά υπόσκαφα (ακίνητα που βρίσκονται κάτω από δημόσιους δρόμους ή άλλα ακίνητα), ακίνητα που εκτείνονται και καταλαμβάνουν έκταση σε γειτονικά κτίρια καθώς και άνω ή κάτω ακίνητα (όπου ο ιδιοκτήτης του ισογείου και του γεωτεμαχίου είναι διαφορετικός από τον ιδιοκτήτη του επάνω ορόφου και το "αέρα") μπορούν να συναντώνται εδώ, χωρίς να παρουσιάζονται στους κτηματολογικούς χάρτες.



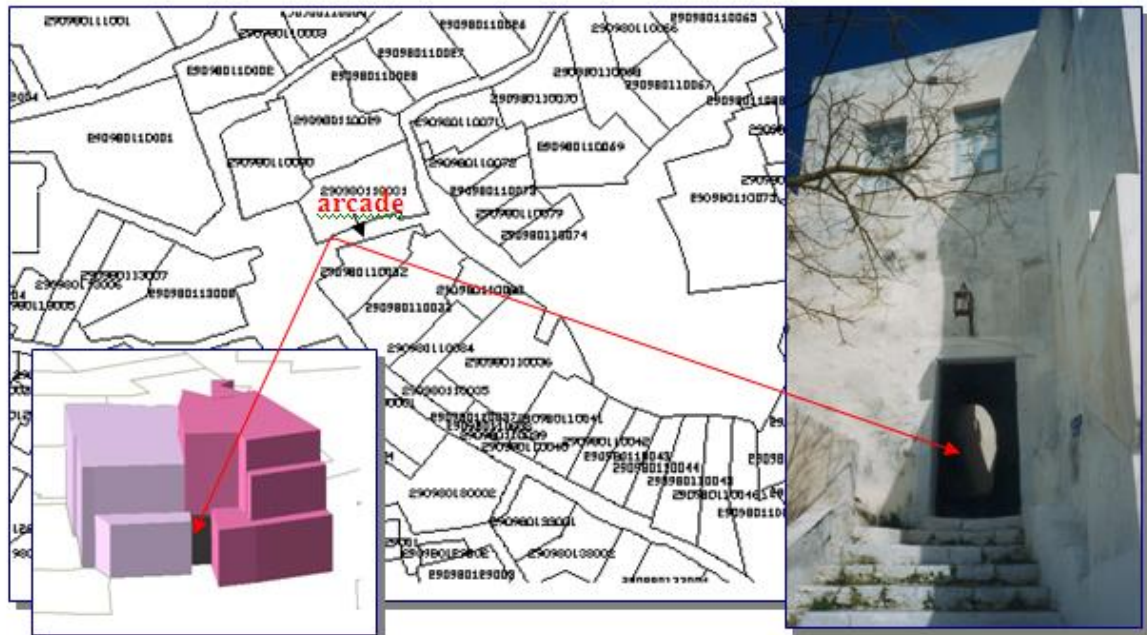
Εικόνα 12: κτηματολογικός χάρτης της περιοχής Καστέλι αλλά και της ευρύτερης περιοχής (Πηγή: Παπαεθθυμίου, 2004)

Για την εφαρμογή χρησιμοποιήθηκε ένα ψηφιακό αρχείο σε dxf format- NGRS 87 του κτηματολογικού χάρτη που παρουσιάζει τα όρια των γεωτεμαχίων καθώς και τους κτηματολογικούς τους αριθμούς, δεδομένα τα οποία προήλθαν από τα Κτηματολογικά Γραφεία της περιοχής. Τα απαραίτητα στοιχεία του διαγράμματος, που έπρεπε να συμπληρωθούν ή να ανανεωθούν, συλλέχθηκαν στο πεδίο με total station. Ο πρώτος στόχος ήταν να συλλεχθούν όλες οι πληροφορίες που έλειπαν από την κάτοψη (είτε επειδή υπήρχαν πρόσφατες αλλαγές, είτε επειδή δεν θα μπορούσε να παρουσιαστεί σε ένα 2D χάρτη). Μετά από αυτό, η υψομετρική πληροφορία συλλέχθηκε από όλες τις ιδιοκτησίες, προκειμένου να αποδοθεί μέσα από την τρίτη διάσταση ο όγκος τους. Με αυτόν τον τρόπο, όλα τα κτίρια μπορούν να παρουσιάζονται ως 3D στερεά και όχι ως 2D προβολές. Κατά τη διάρκεια των εργασιών πεδίου δημιουργήθηκαν οριζόντια επίπεδα, για να διευκολυνθεί η προσομοίωση της floor-property ιδιοκτησίας. Η διαχείριση των δεδομένων έγινε στο ArcGIS 8.2 ενώ η οπτικοποίηση του αποτελέσματος έγινε μέσω του ArcView 3D-

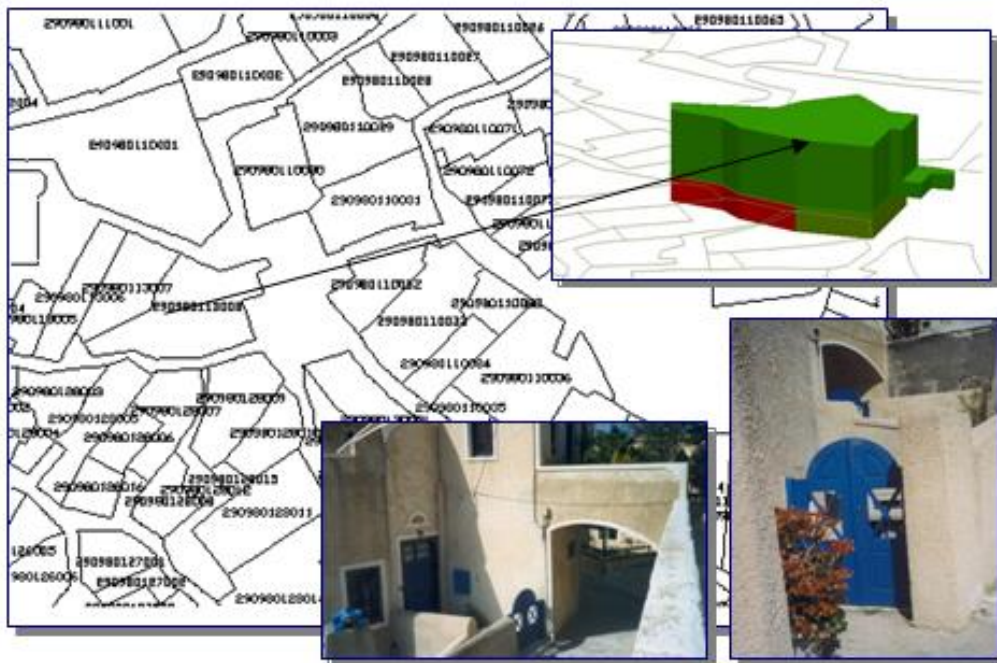
Analyst module. Τα σχετικά αποτελέσματα της εφαρμογής παρουσιάζονται στις εικόνες που ακολουθούν (εικόνες 13-15). Κάθε οντότητα στην οποία έχει αποδοθεί κτηματολογικός αριθμός αντιπροσωπεύεται από ξεχωριστό όγκο.



Εικόνα 13: θεματικός χάρτης περιοχής μελέτης, τρισδιάστατες απεικονίσεις των κτηρίων και περιγραφικός πίνακας ιδιοτήτων (Πηγή: Παπανευθμίου, 2004)



Εικόνα 14: Η ιδιοκτησία με ΚΑΕΚ 290980110032 (μωβ) βρίσκεται πάνω από κοινόχρηστη στοά (Πηγή: Παπανευθμίου, 2004)



Εικόνα 15: Κάτω από τμήμα της ιδιοκτησίας με ΚΑΕΚ 290980113008 (πράσινο) βρίσκεται άλλη ιδιοκτησία (κόκκινο). Περίπλοκη κατάσταση ιδιοκτησίας δύο επιπέδων με καταστάσεις τριών επιπέδων (Πηγή: Παπαγεωργίου, 2004)

1.6 Η μετάβαση στο τρισδιάστατο σύστημα

Ένα σύγχρονο σύστημα Κτηματολογίου χρησιμοποιείται για την καταγραφή και την διαχείριση πληροφοριών που σχετίζονται με την ιδιωτική και δημόσια περιουσία. Αυτή η διαδικασία συμβάλει στην προστασία και διασφάλιση των καταγεγραμμένων δικαιωμάτων επί της ιδιοκτησίας καθώς και στην ανάπτυξη και διαχείριση θεμάτων που είναι συνδεδεμένα με την ιδιοκτησία. Για την διασφάλιση των δικαιωμάτων το κτηματολογικό σύστημα θεωρεί κάθε ιδιοκτησία ως το άθροισμα της γης και των κατασκευών επί αυτής. Μέχρι τώρα, η τρισδιάστατη πραγματικότητα παρουσιαζόταν με έναν δισδιάστατο τρόπο. Σύμφωνα με τον Ζεντέλη (2011), το δισδιάστατο Κτηματολόγιο δεν μπορεί να αντικατοπτρίσει την πολυπλοκότητα των κατασκευών και των δικαιωμάτων επί αυτών. Επομένως, η σύγχρονη πραγματικότητα απαιτεί ένα 3D Κτηματολόγιο που να περιέχει τόσο τα τοπολογικά όσο και τα γεωμετρικά μοντέλα για την καταγραφή και περιγραφή της περιουσίας. Με αυτό τον τρόπο, η πραγματικότητα δεν θα περιγράφεται με επίπεδη γεωμετρική απεικόνιση αλλά θα παρουσιάζεται ως τρισδιάστατη γεωμετρική οντότητα. Αυτό το σκεπτικό προφανώς οδηγεί στη λήψη διαφορετικών αποφάσεων κατά την διερεύνηση μιας κατάστασης, τη διαχείριση ενός ακινήτου ή την χωροθέτηση εγκαταστάσεων. Αυτό συμβαίνει διότι, χρησιμοποιώντας το 3D μοντέλο, δηλαδή παρατηρώντας το πραγματικό μέγεθος σε σχέση με την περιοχή μελέτης και τη θέση μιας κατασκευής, οι

αρχιτέκτονες και οι πολεοδόμοι μπορούν να πάρουν καλύτερες αποφάσεις για λύση κάποιου προβλήματος χώρου όπως είναι οι υποβαθμισμένες περιοχές, οι αυθαίρετες ή αυτές με μεγάλη πληθυσμιακή πυκνότητα. (Παπαευθυμίου, 2004).

Η μετάβαση του Κτηματολογίου από δισδιάστατη προβολή σε τρισδιάστατη αναπαράσταση είναι μια ιδέα που έχει προσελκύσει μεγάλο μέρος της έρευνας και ανάπτυξης κατά την τελευταία δεκαετία. Παρότι έχουν γίνει πολύ ενθαρρυντικές προσπάθειες, υπάρχουν ακόμη πολλές προκλήσεις οι οποίες πρέπει να αντιμετωπιστούν.

Το 3D Κτηματολόγιο είναι απαραίτητο ώστε να παρουσιάζονται και να διαχειρίζονται πολύπλοκες χωρικές σχέσεις. Για να υποστηριχθεί μια πλήρης τρισδιάστατη εφαρμογή πρέπει να γίνει περαιτέρω ορισμός των ορίων του αντικειμένου, των τοπολογικών σχέσεων και του νομικού πλαισίου. Για αυτό το σκοπό, μια υβριδική προσέγγιση που συνδυάζει τόσο δεδομένα 2D όσο και 3D, χρησιμοποιώντας την τεχνολογία του GIS, αντιπροσωπεύει μια εφικτή και ταυτόχρονα οικονομική προσέγγιση.

Όμως η εφαρμογή του 3D Κτηματολογίου παρουσιάζει κάποια προβλήματα. Τέτοια είναι

- 1) Η μεγάλη χρονική διάρκεια που απαιτείται για την μέτρηση των συντεταγμένων των γεωτεμαχίων, του ύψους και του βάθους αυτών.
- 2) Το μεγάλο κόστος μετάβασης από το 2D στο 3D
- 3) Δυσκολία προσδιορισμού των ιδιοκτησιακών δικαιωμάτων σε πολύπλοκες περιπτώσεις
- 4) Για να λειτουργήσει ένα ολοκληρωμένο 3D σύστημα απαιτείται η υποστήριξη του από το νομικό πλαίσιο της χώρας. Μέχρι στιγμής η νομοθεσία υποστήριζε μόνο το 2D σύστημα με συνέπεια να απαιτείται μια ριζική ανανέωση.

Επομένως, πρέπει να γίνει μελέτη προκειμένου να προσδιοριστούν οι ωφέλειες που θα έχει το κράτος από την εφαρμογή ενός τέτοιου συστήματος καθώς και το κόστος δημιουργίας του.

1.7 Ορισμός του 3D Κτηματολογίου

Η κτηματολογική καταγραφή σε δύο διαστάσεις ήταν επαρκής για τις περιπτώσεις όπου τα ιδιοκτησιακά δικαιώματα ήταν σαφή. Στις σύγχρονες όμως περιπτώσεις, το περιβάλλον είναι δομημένο με πολύπλοκο τρόπο και δημιουργεί συγχύσεις ως προς τα δικαιώματα και τους περιορισμούς επί των ακινήτων. Σύμφωνα με τους Stoter και Ploeger (2002), τα δικαιώματα που καθορίζονται στα 2D αγροτεμάχια μπορούν να αναπαρασταθούν 3D, βελτιώνοντας κατά συνέπεια την αντίληψη σχετικά με την κατακόρυφη συνιστώσα των δικαιωμάτων. Στην ουσία, πρόκειται για μια μετάβαση

από την επίπεδη γεωμετρική απεικόνιση ενός δισδιάστατου στοιχείου (γεωτεμαχίου ή οποιασδήποτε οικοδομικής κατασκευής) σε τρισδιάστατη απεικόνιση με την προσθήκη των υψομέτρων των στοιχείων με παράλληλη μεταφορά των δικαιωμάτων ιδιοκτησίας. Πιο συγκεκριμένα, «ένα τρισδιάστατο σύστημα Κτηματολογίου (3D Cadastre) ορίζεται ως ένα σύστημα το οποίο καταγράφει τα δικαιώματα και τους περιορισμούς όχι μόνο των γεωτεμαχίων αλλά και των τρισδιάστατων μονάδων ιδιοκτησίας (3D property units), δηλαδή επεκτείνεται σε χρήσεις του υπέργειου και υπόγειου χώρου ενός γεωτεμαχίου». Η δημιουργία αυτών των οντοτήτων και της κατάλληλης τοπολογίας, ακόμη και η οπτικοποίηση τους ως απλά πολύεδρα δεν είναι καθόλου εύκολη διαδικασία. Παρόλα αυτά, θεωρείται επιτακτική η ανάγκη αναπαράστασης του χώρου σε τρεις διαστάσεις ώστε να είναι πλήρως κατανοητό σε ποια θέση, βάθος, ύψος βρίσκονται τα δικαιώματα. Απαραίτητο είναι λοιπόν να δημιουργηθούν οι βάσεις για το τρισδιάστατο Κτηματολόγιο

Σύμφωνα με την Stoter υπάρχουν τρεις προσεγγίσεις για το 3D Κτηματολόγιο. Η πρώτη αφορά ένα πλήρες τρισδιάστατο Κτηματολόγιο, στο οποίο όλος ο χώρος διαιρείται σε επιμέρους όγκους με μετρήσεις που σχετίζονται μεταξύ τους. Η δεύτερη αφορά μια υβριδική λύση, κατά την οποία όλα τα κτηματολογικά δεδομένα διατηρούνται ως έχουν στον δισδιάστατο χώρο με μετρήσεις που σχετίζονται μεταξύ τους και με νομικούς ορισμούς και με τις σχέσεις που έχουν με τα τρισδιάστατα αντικείμενα. Τέλος, η τρίτη προσέγγιση αφορά την διατήρηση των δισδιάστατων δεδομένων με εξωτερική παραπομπή στα τρισδιάστατα δεδομένα. Προσδιορίζονται οι σχέσεις των δισδιάστατων και των τρισδιάστατων αντικειμένων έτσι ώστε να παρέχεται στο 2D Κτηματολόγιο η αναλυτικότητα του 3D με στόχο να μπορούν να ερευνηθούν και να προσεγγιστούν πολύπλοκα προβλήματα.

Είναι ιδιαίτερα σημαντικό ότι το Κτηματολόγιο προτείνει λύσεις για την οργάνωση και διαχείριση πολυεπίπεδης πληροφορίας. Παρόλα αυτά, ένα μειονέκτημα είναι ότι ένα ολοκληρωμένο τρισδιάστατο σύστημα Κτηματολογίου μπορεί να λειτουργήσει μόνο αν είναι εναρμονισμένο με το νομικό πλαίσιο που ισχύει σε κάθε χώρα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, το Εθνικό Κτηματολόγιο βασίζεται στο νομικό πλαίσιο που καλύπτει δισδιάστατες περιπτώσεις ιδιοκτησιών, χωρίς να συμπεριλαμβάνει τα παραπάνω παραδείγματα όπως επικαλύψεις ιδιοκτησιών, υπόγειες ιδιοκτησίες και γενικότερα τρισδιάστατα ιδιοκτησιακά αντικείμενα. Τη μόνη εξαίρεση αποτελούν τα διαμερίσματα όπου η νομική τους κατοχύρωση υφίσταται μέσω του δικαιώματος της συγκυριότητας (οριζόντια, κάθετη και σύνθετη κάθετη συνιδιοκτησία).

Όσον αφορά το μοντέλο του πλήρους τρισδιάστατου Κτηματολογίου, αν και αυτό αποτελεί την τελική φιλοδοξία για κάθε χώρα, υπάρχουν σημαντικοί παράγοντες που εμποδίζουν τη δημιουργία του στο βραχυπρόθεσμο μέλλον. Πρώτον, από κτηματολογικής και νομικής άποψης η υιοθέτηση ενός τέτοιου μοντέλου συνεπάγεται την ριζική ανανέωση του υφιστάμενου νομικού πλαισίου, καθώς θα πρέπει πρώτα να εισαχθεί η έννοια των δικαιωμάτων που αφορούν στον τρισδιάστατο χώρο, κάτι το οποίο αποτελεί μία αρκετά χρονοβόρα διαδικασία. Στη συνέχεια, θα πρέπει να μετατοπιστεί το σημείο ενδιαφέροντος από το δισδιάστατο γεωτεμάχιο στο

τριδιάστατο αντικείμενο. Επίσης ένα βασικό ερώτημα είναι αν ένα πλήρες τρισδιάστατο σύστημα μπορεί να υποστηρίξει πολύπλοκες καταστάσεις κτηματολογικών εγγραφών που έχουν μεγάλη ιστορία και ήδη περιλαμβάνουν μία πληθώρα πληροφοριών που αφορούν στο δισδιάστατο επίπεδο. Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί ότι ένα τέτοιο σύστημα είναι απαραίτητο μόνο σε πυκνοκατοικημένες και με ανομοιογενές ανάγλυφο περιοχές. Τέλος, σημαντικά προβλήματα που μπορεί να προκύψουν κατά την προσπάθεια εφαρμογής είναι η υπέρβαση του αρχικού προϋπολογισμού του Εθνικού Κτηματολογίου για την ολοκλήρωση του τρέχοντος έργου, η διαφωνία και διαμαρτυρία αρκετών ιδιοκτητών σε ενδεχόμενα ζητήματα επικαλύψεων υπόγειων και υπέργειων ιδιοκτησιών καθώς και η έλλειψη διεθνούς εμπειρίας, ενασχόλησης και τεχνογνωσίας για τη δημιουργία του τρισδιάστατου συστήματος.

Τα παραπάνω θέματα θα πρέπει να αρχίσουν να προβληματίζουν και την Ελλάδα, καθώς ως σήμερα δεν έχουν προβλεφθεί διατάξεις που να διασφαλίζουν τη νομική κατοχύρωση και την κτηματολογική καταγραφή τρισδιάστατων αντικειμένων. Επομένως, βραχυπρόθεσμος ή μακροπρόθεσμος στόχος είναι η δημιουργία μίας νέας φόρμας κτηματολογικής καταγραφής που να λαμβάνει υπόψη τα διάφορα επίπεδα των ακινήτων (ανά ιδιοκτησία), δηλαδή το βάθος και το ύψος τους σε σχέση με την επιφάνεια του εδάφους. Συγκεκριμένα, τα τρισδιάστατα δικαιώματα αφορούν σε όγκους ιδιοκτησιών και όχι σε γεωτεμάχια που συνδέονται με την επιφάνεια του εδάφους. Επομένως, πλέον τα τρισδιάστατα κτηματολογικά αντικείμενα συνδέονται με δικαιώματα και υπόκεινται σε περιορισμούς π.χ. κυριότητας, ύψους, βάθους κλπ, όπως γίνεται στην παρούσα φάση με τα διαμερίσματα.

Προκειμένου να γίνει εφαρμογή ενός τρισδιάστατου Κτηματολογίου πρέπει να διερευνηθούν και να απαντηθούν κάποια ερωτήματα σχετικά με τα αντικείμενα που χρειάζονται να καταγραφούν από ένα τέτοιο σύστημα. Σπουδαίο ερώτημα αποτελεί αν υπάρχει ανάγκη καταγραφής όλων των αντικειμένων του εδάφους στο 3D Κτηματολόγιο ή ορισμένων από αυτά όπως οι υπόγειες και περίπλοκες κατασκευές. Άλλο ερώτημα που πρέπει να απαντηθεί είναι αν η καταγραφή των υπόγειων κατασκευών γίνει ως ένα ενιαίο κτηματολογικό αντικείμενο όπως γίνεται στην Σουηδία ή αν αυτές πρέπει να διαχωριστούν βάσει των γεωτεμαχίων με τα οποία επικαλύπτονται. Τα ερωτήματα αυτά είναι βασικό να απαντηθούν προκειμένου να διαμορφωθεί ένα σωστό και αποτελεσματικό νομικό πλαίσιο που να κατοχυρώνει το τρισδιάστατο Κτηματολόγιο σε κάθε χώρα. Έτσι, είναι απαραίτητο κάθε χώρα να διερευνήσει και να εντοπίσει την βέλτιστη λύση για τη περίπτωση της, ώστε να δημιουργηθεί ένα άρτιο και αποτελεσματικό τρισδιάστατο σύστημα.

Σύμφωνα με αυτά λοιπόν, η κάθε χώρα ορίζει τις απαιτήσεις της αλλά και τις δυνατότητες της ώστε να εφαρμοστεί είτε ένα πλήρες τρισδιάστατο Κτηματολόγιο, είτε ένα υβριδικό ή ένα δισδιάστατο με εξωτερικές τρισδιάστατες αναφορές.

1.7.1 Πλήρες τρισδιάστατο Κτηματολόγιο

Το πλήρες τρισδιάστατο Κτηματολόγιο εισάγει την έννοια των δικαιωμάτων στον τρισδιάστατο χώρο. Βάση αναφοράς και καταγραφής δεν αποτελεί πια το γεωτεμάχιο αλλά η τρισδιάστατη ιδιοκτησία. Για να είναι όμως αυτό εφικτό πρέπει το νομικό πλαίσιο, οι πράξεις των ακινήτων και οι κτηματολογικές καταγραφές να υποστηρίζουν την ίδρυση των τρισδιάστατων δικαιωμάτων. Ο δισδιάστατος χάρτης δεν μπορεί να αναδείξει τυχόν περιορισμούς επί των δικαιωμάτων ενώ οι περιορισμοί και τα δικαιώματα είναι άρρηκτα συνδεδεμένα με τον χώρο του αντικειμένου. Η εφαρμογή λοιπόν του πλήρους τρισδιάστατου Κτηματολογίου απαιτεί την αλλαγή του νομικού συστήματος καθώς και του κτηματολογικού και τεχνολογικού πλαισίου. Κατά την εφαρμογή του, ο τρισδιάστατος χώρος υποδιαιρείται σε όγκους που αντιστοιχούν πλέον σε ιδιοκτησίες.

Υπάρχουν δύο εναλλακτικές που μπορούν να εφαρμοστούν στην περίπτωση του πλήρους τρισδιάστατου Κτηματολογίου. Στην πρώτη εναλλακτική γίνεται μετατροπή της συμβατικής απεικόνισης των ορίων των γεωτεμαχίων από τον δισδιάστατο χώρο στον τρισδιάστατο χώρο. Στην ουσία πρόκειται για μια στήλη του γεωτεμαχίου η οποία δεν έχει περιορισμούς στο ύψος και στο βάθος και τέμνει την επιφάνεια του εδάφους στη θέση που είναι υλοποιημένα τα όρια του γεωτεμαχίου. Εδώ, διακρίνονται δύο είδη ακινήτων που αφορούν τη πρώτη εναλλακτική: η μη ορισμένη στήλη που αφορά το γεωτεμάχιο (parcel column) και ο πλήρως ορισμένος όγκος του γεωτεμαχίου (volume parcel). Η δεύτερη εναλλακτική λύση αφορά μόνο σε καθορισμένους όγκους ιδιοκτησιών που προκύπτουν από επιμέρους διαχωρισμό του 3D χώρου και οι οποίοι ορίζονται σαφώς σε όλες τις διαστάσεις. Σε αυτή την περίπτωση δεν επιτρέπεται πλέον η εγγραφή δικαιώματος σε μια μη ορισμένη στήλη γεωτεμαχίου.

1.7.2 Υβριδική μορφή Κτηματολογίου

Η υβριδική λύση αφορά στη διατήρηση του δισδιάστατου Κτηματολογίου και συγχώνευση των δεδομένων του με τις εγγραφές των 3D καταστάσεων ιδιοκτησίας. Με αυτόν τον τρόπο διατηρείται το νομικό πλαίσιο που αφορά τα δισδιάστατα γεωτεμάχια ενώ παράλληλα εγγράφονται και οι τρισδιάστατες καταστάσεις. Η πραγματική νομική κατάσταση παρόλα αυτά πρέπει ακόμη να προκύψει από τα πρωτότυπα έγγραφα όπως είναι οι πράξεις και τα τοπογραφικά διαγράμματα τα οποία δημιουργούνται για την καταγραφή της γης. Σε αυτές τις πράξεις πρέπει ο αγοραστής και ο πωλητής να συμφωνήσουν στην περιγραφή του όγκου ο οποίος θα καταγραφεί στον τίτλο ιδιοκτησίας του νέου ιδιοκτήτη. Αυτή η περιγραφή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την 3D εγγραφή. Η 3D απεικόνιση μπορεί να αφορά είτε στον όγκο στον οποίο αναφέρεται ο τίτλος είτε σε ένα φυσικό αντικείμενο. Η πρώτη περίπτωση σημαίνει την τρισδιάστατη καταγραφή των δικαιωμάτων που είναι ήδη

εγγεγραμμένα και αφορούν 3D καταστάσεις χρησιμοποιώντας τρισδιάστατους όγκους (3D right-volumes). Με αυτόν τον τρόπο δίνεται μια εικόνα των δικαιωμάτων στον τρισδιάστατο χώρο. Βάση αναφοράς στην πρώτη περίπτωση αποτελεί το γεωτεμάχιο. Στην δεύτερη περίπτωση καταγράφονται τα φυσικά αντικείμενα με τα οποία οι κατασκευές ενσωματώνονται στην κτηματολογική βάση δεδομένων έτσι όπως εγγράφονται και τα κτήρια στην υπάρχον κτηματολογικό σύστημα. Με αυτό τον τρόπο, οι ιδιοκτησίες προσδιορίζονται στον τρισδιάστατο χώρο και επομένως η αλλαγή που γίνεται αφορά στη βάση δεδομένων ή στα κτηματολογικά διαγράμματα. Βάση αναφοράς σε αυτή την περίπτωση αποτελεί το φυσικό αντικείμενο. Και στις δύο εναλλακτικές περιπτώσεις δεν αλλάζει το νομικό πλαίσιο ούτε το κτηματολογικό σύστημα. Τα δικαιώματα ιδρύονται και εγγράφονται στα 2D γεωτεμάχια ενώ ο ιδιοκτήτης των γεωτεμαχίων μπορεί να έχει ορισμένα δικαιώματα και νομικούς περιορισμούς στη στήλη του γεωτεμαχίου. Τα χωρικά ερωτήματα μπορούν να εφαρμοστούν είτε στον δισδιάστατο είτε στον τρισδιάστατο χώρο καθώς είναι ενσωματωμένες στο ίδιο σύστημα οι υπάρχουσες εγγραφές με τις τρισδιάστατες απεικονίσεις.

1.7.3. Δισδιάστατο Κτηματολόγιο με εξωτερικές παραπομπές

Σε αυτή την περίπτωση, διατηρείται το νομικό πλαίσιο του δισδιάστατου Κτηματολογίου με εξωτερικές παραπομπές (ψηφιακά ή αναλογικά) στην απεικόνιση τρισδιάστατων καταστάσεων. Πιο συγκεκριμένα, αυτό το σύστημα βασίζεται στο υφιστάμενο δισδιάστατο Κτηματολόγιο, ενώ σε περιπτώσεις που μία ιδιοκτησία ανήκει σε περισσότερους του ενός δικαιούχους, προστίθεται στις εγγραφές των κτηματολογικών μονάδων μία επισύναψη ή ένας σύνδεσμος. Η βασική διαφορά με την υβριδική μορφή είναι το γεγονός ότι σε αυτή την περίπτωση δεν υφίσταται ενσωμάτωση των δισδιάστατων κτηματολογικών εγγραφών με τις τρισδιάστατες αναπαραστάσεις τους και επομένως ούτε ταυτόχρονη παρακολούθηση και έλεγχος μεταξύ διαφορετικών τρισδιάστατων ιδιοκτησιών. Ένα επιπλέον μειονέκτημα είναι ότι δεν μπορούν να γίνουν χωρικά ερωτήματα σε τρισδιάστατο επίπεδο καθώς οι γεωμετρική τρισδιάστατη πληροφορία δε συνδέεται με την περιγραφική πληροφορία της βάσης δεδομένων.

Συμπεράσματα

Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι η υβριδική μορφή του Κτηματολογίου αποτελεί την προτιμότερη και ιδανικότερη λύση για την υφιστάμενη κατάσταση τόσο του εθνικού Κτηματολογίου αλλά και γενικότερα για χώρες των οποίων οι κτηματολογικές εγγραφές βασίζονται στην επιφάνεια του εδάφους. Αυτή η προσέγγιση πλεονεκτεί στο γεγονός ότι υπάρχει ευκολία προσβασιμότητας σε όλα τα στοιχεία (γεωμετρικά και περιγραφικά) τόσο σε δισδιάστατες όσο και σε τρισδιάστατες ιδιοκτησίες. Επίσης αποτελεί μία λύση που μπορεί να υλοποιηθεί στο

βραχυπρόθεσμο μέλλον καθώς δε χρειάζεται καμία αλλαγή του νομικού καθεστώτος της εκάστοτε χώρας, καθώς τη μοναδιαία βάση αναφοράς αποτελεί το γεωτεμάχιο.

Η υβριδική λύση μπορεί τεχνικά να υλοποιηθεί έως ένα σημείο. Πιο συγκεκριμένα, αν και η τρισδιάστατη τοπολογία δεν έχει εξελιχθεί ακόμα πλήρως, είναι δυνατή η ενσωμάτωση τρισδιάστατων πληροφοριών σε μία δισδιάστατη χωρική βάση δεδομένων έτσι ώστε να ενσωματώνονται οι γεωμετρικές και περιγραφικές πληροφορίες καταλήγοντας σε μία ενιαία αρχιτεκτονική του συστήματος. Το μόνο είδος τοπολογίας που μπορεί να υποστηριχθεί είναι μεταξύ των επιμέρους τμημάτων ενός τρισδιάστατου αντικειμένου και όχι μεταξύ διαφορετικών αντικειμένων ή μεταξύ του αντικειμένου και της δισδιάστατης προβολής (γεωτεμάχιο).

1.8 Τεχνικές πτυχές του 3D Κτηματολογίου

Σύμφωνα με τους Aien, Rajabifard et al (2011), οι τεχνικές πτυχές του 3D Κτηματολογίου διαφέρουν ανάλογα με το περιεχόμενο και μπορούν να ταξινομηθούν σε διαφορετικά επίπεδα με βάση τους στόχους τους:

- 3D καταγραφή των δεδομένων:

Σε αυτό το στάδιο γίνεται έρευνα σχετικά με τους τύπους των 3D κτηματολογικών αντικειμένων που χρειάζεται να συλλέγονται (κτίρια, αγωγοί, σήραγγες, κ.λπ.). Επίσης, γίνεται έρευνα σχετικά με τις μεθόδους που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την συλλογή 3D δεδομένων (Κτηματολόγιο, εναέρια φωτογραμμετρία, laser scanning, Pictometry, 360, mobile mapping κ.λπ.). Ο συνδυασμός των διαφόρων μεθόδων 3D καταγραφής των δεδομένων αποτελεί μία καλή επιλογή, ενώ οι διατομές χρησιμοποιούνται για την οπτικοποίηση των αντικειμένων κατά την κάθετη διεύθυνση.

- 3D αναπαράσταση των δεδομένων:

Το στάδιο αυτό ασχολείται με την απεικόνιση 3D κτηματολογικών αντικειμένων καθώς και 3D και 2.5D αναλύσεις της επιφάνειας της γης με διανυσματικά και ψηφιδωτά αρχεία. Τα 3D GIS και CAD συστήματα μπορούν να παρέχουν αυτή την ευκαιρία ενώ σήμερα τα 2D σχέδια είναι αυτά που χρησιμοποιούνται για να αναπαραστήσουν 3D στοιχεία στα περισσότερα κτηματολογικά συστήματα.

- Ενημέρωση του Κτηματολογίου:

Αφορά την ενημέρωση κτηματολογικών αντικείμενων στη βάση δεδομένων. Η γεωμετρία και η τοπολογία των 3D κτηματολογικών αντικείμενων είναι πολύπλοκες έννοιες και πρέπει να διατηρηθούν σε ένα τρισδιάστατο Data Base Model System (DBMS). Επί του παρόντος όμως χρησιμοποιείται 2D DBMS για το 3D Κτηματολόγιο.

- Δεδομένα 3D modeling:

Σε αυτό το στάδιο μελετάται η ανάπτυξη μοντέλων δεδομένων για τον εντοπισμό 3D αντικείμενων και των μεταξύ τους σχέσεων. Αυτού του είδους τα δεδομένα θα επιτρέψουν τη συλλογή, διαχείριση, ανάλυση και οπτικοποίηση 3D δικαιωμάτων επί της γης καθώς και περιορισμών. Τα περισσότερα από τα υπάρχοντα κτηματολογικά μοντέλα δεδομένων είναι 2D, όπως το μοντέλο δεδομένων EPLAN (ICSM, 2009).

1.9 Τεχνολογική εξέλιξη του 3D Κτηματολογίου

Οι διαδικασίες απόκτησης, αποθήκευσης, επεξεργασίας και παρουσίασης των χωρικών δεδομένων έχουν υποστεί διάφορες αλλαγές τις τελευταίες δεκαετίες και αυτό οδηγεί σε καλύτερες προοπτικές για την δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων αντικειμένων.

Για το τρισδιάστατο Κτηματολόγιο, η τεχνολογία αποτελεί τη γνώση και χρήση εργαλείων, μεθόδων και μοντέλων για την εκτέλεση του. Είναι αποδεκτό ότι η εξέλιξη της τεχνολογίας αυξάνει την αποτελεσματικότητα του Κτηματολογίου τόσο κατά την φάση υλοποίησης όσο και για την εφαρμογή του. Η λειτουργικότητα του αναπτύσσεται σύμφωνα με την εξέλιξη των υπολογιστών και τις μεθόδους απόκτησης δεδομένων. Ο πίνακας 1 (A. Aien, A.Rajabifard et al., 2011) που δίνεται παρουσιάζει αυτή τη διαχρονική εξέλιξη και τις δυνατότητες που παρείχαν τα διαθέσιμα εργαλεία τις τελευταίες δεκαετίες.

Πίνακας 1: διαχρονική εξέλιξη δυνατοτήτων 3D απεικόνισης (A. Aien, A.Rajabifard et al., 2011).

Χρόνος	Διαθέσιμη Τεχνολογία	Σκοποί Κτηματολογίου	Δυνατότητα 3D αναπαράστασης
Πριν το 1980	Χαρτί	Εγγραφή, Φορολογία, 2D οπτικοποίηση	Όχι
1980	CAD	Εγγραφή, Φορολογία, 2D οπτικοποίηση	Όχι
1990	CAD, GIS	Εγγραφή, Φορολογία, 2D οπτικοποίηση, 2D διανυσματική ανάλυση	Όχι
2000	CAD, GIS, 3D εργαλεία για ραστερ	Εγγραφή, Φορολογία, 3D οπτικοποίηση βάσει ράστερ, 2D διανυσματική ανάλυση	Ναι

2010	Επαυξημένη πραγματικότητα, εικονική πραγματικότητα	Εγγραφή, Φορολογία, 3D διανυσματική οπτικοποίηση , 2D διανυσματική ανάλυση	Ναι
Μελλοντικά	CAD, GIS	3D Εγγραφή, Φορολογία, 3D οπτικοποίηση , 3D διανυσματική ανάλυση	Ναι

Όπως παρατηρείται από τον σχετικό πίνακα, μέχρι το 2000 δεν υπήρχε η δυνατότητα αναπαράστασης της πραγματικότητας στον τρισδιάστατο χώρο. Τα κτηματολογικά συστήματα, κατά την πρώτη δημιουργία τους, βασίστηκαν στο χαρτί, και χρησιμοποιήθηκαν για περιορισμένες εφαρμογές όπως την καταγραφή της γης και για φορολογικούς σκοπούς (Ting & Williamson, 1999). Όμως, η διαδικασία απόκτησης αυτών των δεδομένων και η δημιουργία των κτηματολογικών χαρτών ήταν χρονοβόρα και κόστιζε πολύ. Ως εκ τούτου, ήταν ιδιαίτερος σημαντικό να εξελιχθεί η διαθέσιμη τεχνολογία. Σήμερα, το GIS καθώς και άλλα συστήματα χωρικής ανάλυσης διευρύνουν τις εφαρμογές στα κτηματολογικά συστήματα και είναι δυνατόν να αναλύουν και να διερευνούν κτηματολογικά στοιχεία. Παρά το γεγονός ότι όλες οι προσπάθειες του συστήματος ήταν 2D, νέες πρωτοβουλίες, όπως το Google Earth, το Google SketchUp, το Autodesk Map 3D, Bentley's City GIS, και Esri's ArcGIS δίνουν ώθηση στους ερευνητές να εξετάσουν τις πρακτικές δυνατότητες του 3D Κτηματολογίου. Αναπόφευκτα, το 3D Κτηματολόγιο θα επιτευχθεί με την ανάπτυξη των 3D CAD, 3D GIS, και 3D DBMS τα οποία θα παρέχουν τη δυνατότητα για την δημιουργία, την ενημέρωση, την ανάλυση και την οπτικοποίηση των 3D κτηματολογικών αντικείμενων και της 3D κυριότητας τη γης, τους περιορισμούς και τις ευθύνες (Aien, Rajabifard et al., 2011).

Πρέπει να σημειωθεί ότι, τα τωρινά 2D κτηματολογικά δεδομένα είναι απαραίτητα για την δημιουργία του 3D Κτηματολογίου και η συμβολή τους είναι ιδιαίτερος σημαντική καθώς χωρίς αυτά, μέχρι στιγμής, δεν μπορούμε να παράγουμε ακριβή αποτελέσματα.

1.10 Μέθοδοι συλλογής δεδομένων για την 3D απεικόνιση πόλεων

Υπάρχουν διαφορετικές μέθοδοι για την συλλογή ψηφιακών δεδομένων, οι οποίες οδηγούν σε τρισδιάστατα μοντέλα και συνεπώς σε τρισδιάστατες απεικονίσεις πόλεων. Συγκεκριμένα, αυτές οι μέθοδοι περιλαμβάνουν γεωδαιτικές μετρήσεις, αεροφωτογραφίες, επίγειες φωτογραφίες, δορυφορικές εικόνες καθώς και επίγεια και εναέρια συστήματα laser scanner (LiDAR). Όταν οι παραπάνω τεχνικές συνδυαστούν με την τεχνολογία για την απεικόνιση τρισδιάστατης εικονικής πραγματικότητας,

μπορούν να προκύψουν ακριβή και λεπτομερή τρισδιάστατα μοντέλα. Ακόμα, για το ίδιο αποτέλεσμα τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί κάποιες τεχνικές διαφορετικής προσέγγισης από τις συνηθισμένες, οι οποίες με συνδυασμένα συστήματα δημιουργούν τρισδιάστατα μοντέλα πόλεων με μετρητική ακρίβεια. Δύο από αυτές είναι η Pictometry και το mobile mapping.

Σύστημα GIS

Μια μέθοδος που είναι πολύ δημοφιλής για την τρισδιάστατη απεικόνιση είναι αυτή της χρήσης των συστημάτων GIS. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το Google Earth το οποίο επιτρέπει την οπτικοποίηση μιας τοποθεσίας στο επιθυμητό επίπεδο λεπτομέρειας σε ένα παγκόσμιο περιβάλλον. Χρησιμοποιώντας τέτοιου είδους λογισμικά μπορεί εύκολα κάποιος να αλλάξει την οπτική γωνία της πραγματικότητας. Κινείται από μια οπτική γωνία η οποία δείχνει την περιοχή ως επίπεδη σε μια πλάγια οπτική η οποία επιτρέπει στον θεατή να δει το ανάγλυφο και το ύψος των κτηρίων, των δέντρων και άλλων αντικειμένων στον χώρο. Αυτός ο τρόπος απεικόνισης μπορεί να προσδιορίσει χώρους που δεν έχουν αναπτυχθεί, κτίρια με διαφορετικά υψόμετρα, κατασκευές σε απομονωμένες περιοχές, πρόχειρες κατασκευές καθώς επίσης αποτελεί βοήθεια για τον εντοπισμό αλλαγών στις υφιστάμενες χρήσεις γης. Χρησιμοποιώντας GIS εργαλεία για την κατασκευή 3D πόλεων είναι αναγκαίο να είναι διαθέσιμα δισδιάστατα σχέδια των περιγραμμάτων κάθε επιπέδου των κτηρίων που περιέχονται στο Κτηματολόγιο τα οποία πρέπει να είναι συνδεδεμένα με ολοκληρωμένες αλφαριθμητικές βάσεις δεδομένων.

Φωτογραμμετρία

Άλλη μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι αυτή που στηρίζεται στην χρήση φωτογραφιών. Κλασική περίπτωση και ιδιαίτερα διαδεδομένη είναι η παραδοσιακή φωτογραμμετρία η οποία επιτρέπει την παραγωγή 3D τοπογραφικών δεδομένων για τις πόλεις. Με τη χρήση της ψηφιακής Φωτογραμμετρίας μπορούν να γίνουν οι κατάλληλες μετρήσεις των αντικειμένων πάνω σε εικόνες, μειώνοντας κατά πολύ τον όγκο των εργασιών υπαίθρου. Η ποιότητα των ολοκληρωμένων ψηφιακών φωτογραφικών μηχανών καθώς και οι διαδικασίες της την έχουν εδραιώσει καθώς αποτυπώνει αντικείμενα με μεγάλη ακρίβεια. Παρόλα αυτά, επειδή είναι βασισμένη στις κατακόρυφες εναέριες φωτογραφίες πολλές πληροφορίες χάνονται καθώς παραμένουν κρυμμένες. Έτσι, είναι πιθανό να μην μπορούν σε μια κατακόρυφη φωτογραφία να εντοπιστούν περιοχές που δεν έχουν τους προβλεπόμενους δημόσιους χώρους ή που εμφανίζουν παράνομες κατασκευές. Για αυτό το λόγο είναι απαραίτητο να αναπτυχθούν καινούριες εναλλακτικές ώστε να αντιμετωπιστεί το υπάρχον πρόβλημα.

Pictometry

Η Pictometry είναι μία νέα τεχνολογία η οποία περιέχει μετρητικές, γεωαναφερμένες, κάθετες εναέριες φωτογραφίες και δημιουργεί νέες δυνατότητες για την ανάπτυξη καλύτερων 3D βάσεων δεδομένων. Αυτή η τεχνική επιτρέπει την κατασκευή 3D

αντικειμένων βασισμένη σε πέντε φωτογραφίες, μία κατακόρυφη και τέσσερις πλάγιες. Χρησιμοποιείται κυρίως στην Λατινική Αμερική για την χαρτογράφηση πόλεων (Erba, Piumetto, 2012). Το σύστημα διαθέτει πέντε ψηφιακές φωτομηχανές και ενσωματώνει το Παγκόσμιο Σύστημα Προσδιορισμού Θέσης (GPS), το Αδρανειακό Σύστημα Πλόησης (INS) και ένα σύστημα καθορισμού πτήσης. Οι μηχανές είναι σε τέτοια διάταξη ώστε να συλλέγουν αεροφωτογραφίες από διαφορετικές διευθύνσεις. Οι τέσσερις λήψεις γίνονται υπό γωνία 40° από το βορρά, το νότο, την ανατολή και τη δύση ενώ η πέμπτη είναι κατακόρυφη λήψη. Με το ειδικό λογισμικό που συνοδεύει το σύστημα γίνεται ο προσδιορισμός της γεωγραφικής θέσης των σημείων με ακρίβεια της τάξης των 15 cm σε μεγάλη κλίμακα ενώ 60 cm σε μικρή κλίμακα (Σιούλα, 2009). Η μέθοδος που χρησιμοποιεί στηρίζεται στον συνδυασμό των κάθετων και πλάγιων φωτογραφιών με τα δεδομένα που προκύπτουν από το εναέριο σύστημα LiDAR.



Εικόνα 16: Κατακόρυφη και πλάγιες εναέριες φωτογραφίες από το Monterrey του Μεξικού, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του Pictometry (Πηγή: Erba, 2012)

Μέθοδος 360°

Μια ακόμη τεχνική που ξεκινά να εφαρμόζεται και στηρίζεται στις φωτογραφίες είναι αυτή των 360 μοιρών. Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιεί επίγειες κάμερες που καλύπτουν τον χώρο και παίρνουν φωτογραφίες του αντικειμένου σε 360 μοίρες. Προκύπτουν έτσι 3D γεωαναφερμένα δεδομένα όπως είναι η περίπτωση Earthmine. Η Earthmine Mars Collection System έχει σχεδιαστεί και αναπτυχθεί από την Earthmine και είναι το πρώτο πραγματικά επεκτάσιμο κινητό 3D σύστημα χαρτογράφησης. Ξεκινά με υψηλής ανάλυσης πανοραμικές εικόνες που συλλέγονται αυτόματα σε μια συγκεκριμένη απόσταση ανά τακτά χρονικά διαστήματα και σε

κανονικές ταχύτητες οδήγησης. Σε περιοχές που είναι προσβάσιμες το σύστημα μπορεί να τοποθετηθεί σχεδόν σε οποιοδήποτε όχημα ή σε σταθερή πλατφόρμα της Earthmine για την ταχεία συλλογή δεδομένων.



Εικόνα 17: Earthmine Mars Collection System (Πηγή: Erba, 2012)

Με αυτή τη μέθοδο, δίνεται λοιπόν η δυνατότητα να εντοπιστούν διαμερίσματα τα οποία προβάλλοντας τα πάνω στην επιφάνεια του εδάφους φαίνεται ότι επικαλύπτουν δημόσιο χώρο. Επίσης με αυτή τη μέθοδο είναι δυνατό να εντοπιστούν τα όρια μεταξύ των μη καταγεγραμμένων μονάδων του σπιτιού ή τμηματικές οικιστικές ζώνες σε δημόσιους δρόμους. Η μέθοδος 360° αποτελεί βοήθημα για την μέθοδο Pictometry αφού επιτρέπει την απόκτηση πλήθους πληροφοριών που δεν δίνονται από τις κάθετες και τις πλάγιες φωτογραφίες. Σχετικό παράδειγμα που αντιμετωπίζεται πλήρως από αυτή τη μέθοδο αποτελεί η μοντελοποίηση μικρών ακινήτων που περιβάλλονται από ψηλά κτίρια ή διαμερίσματα πολυκατοικιών με περίπλοκα αρχιτεκτονικά σχέδια.



Εικόνα 18: Οι προβολές των κτηρίων πάνω στο έδαφος φανερώνουν την επικάλυψη με τους δημόσιους χώρους (Πηγή: Erba, 2012)



Εικόνα 19: Οπτικές από την Φορταλέζα της Βραζιλίας από τον δικτυακό τόπο της Earthmine (Πηγή: Erba, 2012)

Σύστημα LiDAR

Μια καινούρια τεχνική η οποία παρουσιάζει τεράστιο ενδιαφέρον και έχει μέλλον είναι το εναέριο σύστημα LiDAR (Light Detection and Ranging). Αυτό το σύστημα,

εκτελώντας μια σειρά πτήσεων, παράγει ένα νέφος σημείων (point cloud) και δημιουργεί ένα διάγραμμα διασποράς με το οποίο μπορούν να υπολογιστούν οι συνταγμένες X,Ψ,Z των σημείων που έχουν συλλεχθεί καθώς είναι γνωστή η απόσταση μεταξύ του μετρημένου σημείου και του αισθητήρα. Συγκρίνοντας με την κλασική φωτογραμμετρία, διακρίνουμε ότι χρησιμοποιώντας LiDAR δεδομένα μπορεί αυτόματα να αποκτηθεί μια αρχική εκδοχή των αντικειμένων επί του εδάφους και των συντεταγμένων τους. Πρέπει να αναφερθεί ότι η χρήση των δεδομένων LiDAR είναι περισσότερο διαθέσιμη από την χρήση του Pictometry και της μεθόδου 360°.

1.11 Τρισδιάστατη απεικόνιση δεδομένων

Η κτηματολογική καταγραφή σε δύο διαστάσεις ήταν επαρκής για τις περιπτώσεις όπου τα ιδιοκτησιακά δικαιώματα ήταν ξεκάθαρα. Στις σύγχρονες όμως περιπτώσεις, το περιβάλλον είναι δομημένο με πολύπλοκο τρόπο και δημιουργεί συγχύσεις ως προς τα δικαιώματα και τους περιορισμούς επί των ακινήτων. Το σύγχρονο κτηματολογικό σύστημα πρέπει να απεικονίζει με ακρίβεια την υπάρχουσα κατάσταση του ιδιοκτησιακού καθεστώτος ώστε να γίνεται καλύτερη διαχείριση του δομημένου περιβάλλοντος, λαμβάνοντας υπόψη την πολεοδομική νομοθεσία και τον οικοδομικό κανονισμό (Ε.Δημοπούλου, 2010). Έτσι, θεωρείται επιτακτική η ανάγκη αναπαράστασης του χώρου σε τρεις διαστάσεις ώστε να είναι ξεκάθαρο σε ποια θέση, βάθος, ύψος βρίσκονται τα δικαιώματα. Απαραίτητο είναι λοιπόν να δημιουργηθούν οι βάσεις για το τρισδιάστατο Κτηματολόγιο.

1.11.1. Τρισδιάστατη απεικόνιση κτηρίων

Μια από τις χαρακτηριστικές περιπτώσεις για τις οποίες η τρισδιάστατη απεικόνιση είναι αναγκαία είναι αυτή των διαμερισμάτων. Οι τίτλοι και οι πράξεις των αγοραπωλησιών δεν περιέχουν τις κατόψεις των ορόφων και των διαμερισμάτων αλλά τον κωδικό του κτηρίου τον όροφο και τον κτηματολογικό αριθμό. Έτσι, προκειμένου να γίνει η 3D αναπαράστασή τους, είναι αναγκαίο να αποδοθούν τα περιγράμματα τα οποία δεν παρουσιάζονται στους κτηματολογικούς χάρτες. Σύμφωνα με τις Τσιλιακού, Δημοπούλου (2011) οι τρόποι είναι οι εξής:

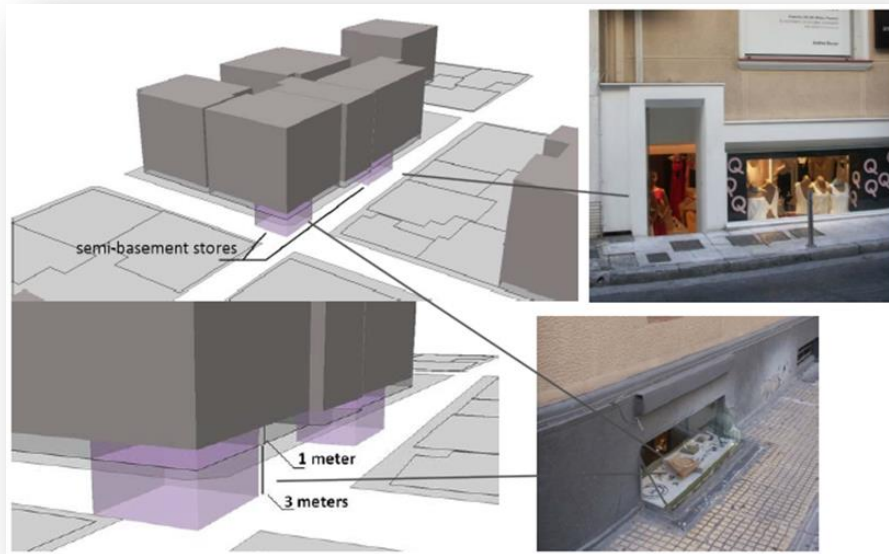
1. Συλλογή των περιγραμμάτων των κτηρίων από τις αρχικές εγγραφές του κτηματολογικού συστήματος σε μπλοκ, όπου έχει συσταθεί οριζόντια ιδιοκτησία. Μετά, γίνεται συλλογή πληροφοριών σχετικά με τον αριθμό των ορόφων από την συμβολαιογραφική πράξη (συμβόλαια) ή τα περιγραφικά στοιχεία του Εθνικού Κτηματολογίου και ελέγχεται η περίμετρος του κτηρίου σε σύγκριση με τις VLSO και LSO ορθοφωτογραφίες. Τέλος, μπορεί να τεθεί μια υποθετική τιμή του ύψους για κάθε όροφο (π.χ. 3 μέτρα), προκειμένου να δημιουργηθεί ο όγκος του κτηρίου.

2. Σε περιοχές όπου το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM) είναι διαθέσιμο, εξάγονται τα ύψη και τίθεται μια υποθετική τιμή του ύψους ανά όροφο (π.χ. 3 μέτρα), έτσι ώστε να αντιπροσωπεύουν τα αντικείμενα σε 3D. Με τον τρόπο αυτό, εκτιμάται ο αριθμός των ορόφων του κτηρίου. Ελέγχεται η περίμετρος του κτηρίου χρησιμοποιώντας τα VLSO και LSO, τα οποία παρέχονται από το Ελληνικό Κτηματολόγιο.
3. Στην περίπτωση των κτηρίων που η αξιολόγηση τους δεν έχει γίνει συμβατικά καθώς υπάρχει μια σοφίτα ή πατάρι, είναι αναγκαίο να υπάρχουν κατόψεις, προκειμένου να απεικονιστεί το ιδιοκτησιακό καθεστώς κατακόρυφα.
4. Σε περίπτωση που στις κατόψεις περιλαμβάνονται τα ύψη, χρησιμοποιούνται οι συντεταγμένες και τα πραγματικά ύψη, προκειμένου να δημιουργηθεί ο όγκος του κτηρίου.

1.11.2. Τρισδιάστατη απεικόνιση των ειδικών ιδιοκτησιακών αντικειμένων

Τα ειδικά ιδιοκτησιακά αντικείμενα περιγράφονται από πολλές και περίπλοκες τοπολογικές σχέσεις μεταξύ ιδιοκτησιών, τα οποία δεν ορίζονται χωρικά αλλά περιγραφικά. Η ακριβής αναπαράσταση τους μπορεί να γίνει με τις παρακάτω μεθολογίες :

1. Η πιο σημαντική παρέμβαση που μπορεί να γίνει στο κτηματολογικό μοντέλο είναι στην περίπτωση που ο τοπογραφικός πίνακας συνοδεύεται από κάποιου είδους χωρική οπτικοποίηση. Από αυτόν εξάγεται η υψομετρική πληροφορία για κάθε ιδιοκτησία και γίνεται αναπαράσταση των δικαιωμάτων κατά την κατακόρυφη διάσταση.
2. Στην περίπτωση που είναι διαθέσιμο το DSM, γίνεται εξαγωγή των υψών και συγκρίνονται με αυτά που προκύπτουν από το τοπογραφικό πίνακα. Τίθεται ένα υποθετικό ύψος για κάθε όροφο ώστε να είναι εφικτή η αναπαράσταση του.
3. Εάν δεν συνοδεύεται ο τοπογραφικός πίνακας από κάποια χωρική αναπαράσταση τότε γίνονται μετρήσεις επί του πεδίου προκειμένου να αποκτηθεί το περίγραμμα της κατασκευής.
4. Στην περίπτωση που χρειάζεται να γίνει η ακριβής αναπαράσταση ενός ειδικού ιδιοκτησιακού αντικειμένου, όπως είναι τα υπόσκαφα, χρειάζεται να γίνουν μετρήσεις χρησιμοποιώντας το HEPOS (Hellenic Positioning System) προκειμένου να αποκτηθεί το ύψος της κατασκευής.



Εικόνα 20: Τρισδιάστατη απεικόνιση ημι-υπόγειου καταστήματος στο Κολωνάκι (Πηγή: Τσιλιάκου, 2011)

1.12 Μοντελοποίηση 3D αντικειμένων για το Κτηματολόγιο

Η τρισδιάστατη αναπαράσταση πόλης (3D City Modelling) είναι η υπό κλίμακα μοντελοποίηση φυσικών και τεχνητών αντικειμένων με σκοπό την αναπαράσταση των χωρικών πληροφοριών και την παρουσίαση της κοινωνικής εξέλιξης της πόλης. Με τη συνεχή εξέλιξη της τεχνολογίας η τρισδιάστατη απεικόνιση έχει μία πληθώρα εφαρμογών στη γεωγραφία, στον αστικό σχεδιασμό, στις στρατιωτικές δραστηριότητες, στην απόδοση των υπάρχοντων κτηρίων και στην προσομοίωση νέων, στην ενημέρωση των βάσεων δεδομένων του Κτηματολογίου και γενικότερα στην απεικόνιση της εικονικής πραγματικότητας. Παρόλο που τα τρισδιάστατα μοντέλα συνήθως χρησιμοποιούνται για την απεικόνιση του δομημένου περιβάλλοντος και την αντίληψη της μορφής του, σε κάποιες περιπτώσεις αυτά χρησιμοποιούνται σαν διεπαφές σε πιο εξελιγμένα μοντέλα προσομοίωσης και για αυτό ενσωματώνουν την τοπογραφία, το τρισδιάστατο Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (3D GIS) και τη διαδικτυακή τεχνολογία (Pop & Bucksch, 2007; Flamanc et al, 2003; Tunc et al, 2004).

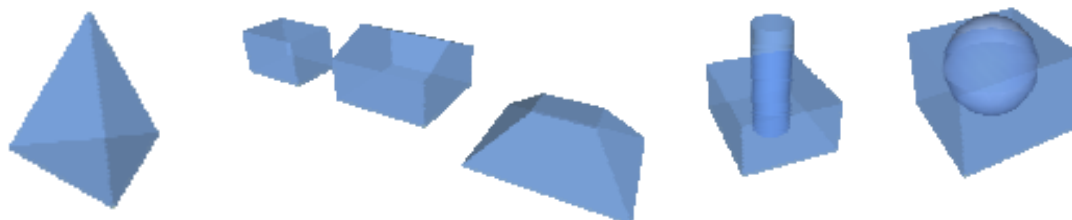
Η τρισδιάστατη απεικόνιση μιας πόλης διαφέρει από το τρισδιάστατο Κτηματολόγιο καθώς δίνουν έμφαση σε διαφορετικές οπτικές. Η 3D απεικόνιση ασχολείται με την προσομοίωση της πόλης, κυρίως από αρχιτεκτονικής άποψης, δίνοντας σημασία στις προσόψεις των κτηρίων ώστε να είναι πιο ρεαλιστική η απόδοση. Η χρησιμότητα της είναι μεγάλη καθώς αποτελεί εργαλείο λήψης αποφάσεων σε πληθώρα εφαρμογών

για την διαχείριση του χώρου. Τέτοιο παράδειγμα είναι τα δημόσια πάρκα άλλα και η κατασκευή μετρό. Χρησιμοποιώντας το τρισδιάστατο μοντέλο είναι δυνατόν να υπολογιστούν οι εναλλακτικές διαδρομές του μετρό, να εντοπιστούν τα γεωτεμάχια με τα οποία υπάρχει επικάλυψη και να υπολογιστούν οι όγκοι εκσκαφής. Από την άλλη, το 3D Κτηματολόγιο ασχολείται με την περιγραφή των πραγματικών ορίων των ιδιοκτησιών και των τοπολογικών σχέσεων των κτηρίων χωρίς να ενδιαφέρεται για το επίπεδο λεπτομέρειας των προσόψεων.

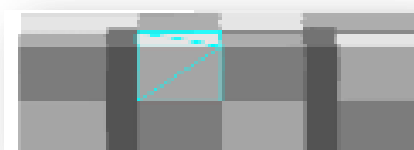
Έτσι, η μοντελοποίηση αποτελεί θεμελιώδες στάδιο για την ολοκλήρωση του τρισδιάστατου Κτηματολογίου. Αυτή μπορεί να γίνει με πληθώρα τρόπων, όπως με διάφορων ειδών κατασκευές, γεωμετρικά μοντέλα, μοντέλα που βασίζονται σε εικόνες, 3D GIS κα.

1.12.1. Γεωμετρικά μοντέλα και μοντέλα εικόνων

Οι Stoter and Oosterom (2006) πρότειναν τέσσερις βασικές κατασκευές για την μοντελοποίηση των γεωτεμαχίων: το τετράεδρο, το πολύεδρο, το πολύεδρο με κυλινδρικά και σφαιρικά μέρη και μοντέλα που αποκτούνται από CAD λογισμικό με στερεομετρία. Ο Ekberg το 2007 πρότεινε τη χρήση τριγωνικών στοιχείων για την σύνθεση των αντικειμένων με σκοπό την δημιουργία πολύεδρων. Σκοπό αυτής της προσέγγισης είναι η βελτίωση των τοπολογικών σχέσεων αναλύοντας τα χωρικά στοιχεία σε τρίγωνα.



Εικόνα 21: Μοντέλο τετράεδρου, πολύεδρου και πολύεδρου με κυλινδρικά και σφαιρικά μέρη (Πηγή: Ekberg, 2007)



Εικόνα 22: μοντέλο που απαρτίζεται από τριγωνικά στοιχεία (Πηγή: Ekberg, 2007)

Τα πολύεδρα είναι αυτά που ξεχωρίζουν στην δημιουργία μοντέλων κυρίως λόγω της εύκολης εφαρμογής τους. Όπως προκύπτει από την μελέτη αυτών των κατασκευών, οι τοπολογικές σχέσεις των αντικείμενων είναι μια ιδιαίτερος σημαντική υπόθεση (Arens et al.,2005). Μια από τις μεγαλύτερες δυσκολίες που συναντώνται στον προσδιορισμό των πρωτογενών δεδομένων είναι τα ακανόνιστα σχήματα των ορίων των γεωτεμαχίων στην επιφάνεια της γης. Η αδυναμία προσδιορισμού των ορίων των γεωτεμαχίων δημιουργεί εμπόδια στην κατασκευή του όγκου των κτηματολογικών μοντέλων καθώς αυτό απαιτεί οριζοντιογραφικές συντεταγμένες τουλάχιστον σε δύο θέσεις καθώς και ένα ύψος ώστε να δημιουργηθεί το ανώτερο και κατώτερο επίπεδο των ορίων της κατασκευής. Για να εφαρμοστούν όμως αυτά πρέπει τα γεωτεμάχια να ακολουθούν σχηματικά ένα είδος κανονικότητας. Έτσι, είναι πολύ σημαντικό να βρεθεί το κατάλληλο μοντέλο για την αναπαράσταση των χωρικών τμημάτων στο πλαίσιο του Κτηματολογίου. Σύμφωνα με τις μελέτες, ο κύλινδρος θεωρείται το καλύτερο γεωμετρικό σχήμα για την αναπαράσταση αυτών των χωρικών σχημάτων.

Η μοντελοποίηση των εικονικών πόλεων στηρίζεται σε δύο οπτικές: τα τρισδιάστατα γεωμετρικά μοντέλα και τα μοντέλα που στηρίζονται σε εικόνες (Nebiker et al.,2010). Και οι δύο οπτικές έχουν χαρακτηριστικά που χρησιμοποιούνται για την τρισδιάστατη υπόσταση του Κτηματολογίου. Το πλεονέκτημα των γεωμετρικών μοντέλων είναι ότι στηρίζονται στις ιδέες των λογισμικών CAD και GIS χρησιμοποιώντας τα ίδια πρότυπα, φορματ και εργαλεία. Αυτό επιτρέπει μεγάλη διαλειτουργικότητα μεταξύ διαφόρων συστημάτων επεξεργασίας και θέασης των μοντέλων. Επιπλέον, χάρη στην μεγάλη ευελιξία που παρουσιάζουν μπορεί οτιδήποτε να μοντελοποιηθεί χρησιμοποιώντας τις τεχνικές του B-rep (Boundary Representation) και CSG (Constructive Solid Geometry). Το μειονέκτημα που παρουσιάζεται είναι ότι η πραγματικότητα είναι πολύ περίπλοκη ώστε να μπορεί να αναπαρασταθεί με συνέπεια να απαιτείται πολύς χρόνος επεξεργασίας και παράλληλα να υπάρχει κίνδυνος το αποτέλεσμα να είναι διαφορετικό από αυτό που περιμένει ο χρήστης (Nebiker et al.,2010).

Από την άλλη, η μοντελοποίηση που στηρίζεται στις εικόνες πλεονεκτεί στο γεγονός ότι δημιουργεί ρεαλιστικές κατασκευές. Δεν είναι ασήμαντο όμως το ότι περιορίζεται στην θέαση των αντικειμένων. Γενικώς, ένας συνδυασμός των δύο προσεγγίσεων χρησιμοποιείται στα περισσότερα εικονικά συστήματα πόλεων. Αυτό γίνεται εφαρμόζοντας τις τιμές φωτεινότητας των εικόνων, ως στοιχεία της υφής των γεωμετρικών μοντέλων που κατασκευάζονται. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι και οι δύο διαδικασίες είναι χρονοβόρες κατά την επεξεργασία του μοντέλου γεγονός που αποτελεί μεγάλο μειονέκτημα αν αναλογιστεί κανείς ότι το κτηματολογικό σύστημα απαιτεί μεγάλη ταχύτητα στην απόκτηση και στην κατασκευή των μοντέλων.

Όμως για το Κτηματολόγιο δεν απαιτείται σε όλες τις περιπτώσεις τόσο μεγάλη λεπτομέρεια στην απεικόνιση, εξαιρώντας το Κτηματολόγιο Ιστορικής Κληρονομιάς (Historical Heritage Cadastre). Οι υπόλοιπες κατασκευές αρκούνται και σε μικρότερο επίπεδο λεπτομέρειας με την προϋπόθεση να είναι σωστή η περιγραφή των ορίων

τους και οι όγκοι των κτηρίων. Προκύπτει λοιπόν ότι για κάθε είδος εφαρμογής απαιτείται και διαφορετικό επίπεδο λεπτομέρειας κατά την απεικόνιση.

Το Open Geospatial Consortium (OGC) έχει ορίσει πέντε διαφορετικά επίπεδα για να περιγράψει το επίπεδο της λεπτομέρειας (LOD) της παρουσίασης του μοντέλου. Το μοντέλο LOD-0 περιέχει μόνο απλό τμήμα που εκπροσωπεί το έδαφος και τις εικόνες. Το μοντέλο LOD-1 χρησιμοποιεί απλά τμήματα που εκπροσωπούν συλλογικά τα κτίρια. Το μοντέλο LOD-2 περιλαμβάνει υφές και κατασκευές επί της στέγης. Το μοντέλο LOD-3 περιέχει αρχιτεκτονικές λεπτομέρειες προσδιορίζοντας τους εξωτερικούς τοίχους και το μπαλκόνι. Το μοντέλο LOD-4 περιγράφει την εσωτερική αρχιτεκτονική και τα αντικειμενικά, όπως εσωτερικούς τοίχους, πόρτες, παράθυρα, κίονες, σκάλες και έπιπλα (Groger et al, 2008; Elwannas, 2011).

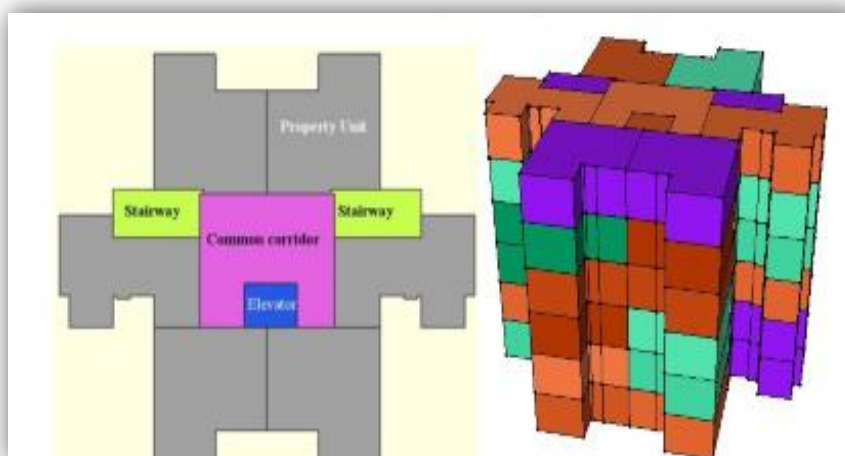
Υπάρχει ένας αριθμός μεθόδων 3D μοντελοποίησης των κτηρίων που αναφέρονται στη βιβλιογραφία. Λόγω της ποικιλίας στην απόκτηση δεδομένων και τεχνικών καθώς και στις απαιτήσεις και εφαρμογές, υπάρχουν διάφοροι τύποι μοντελοποίησης. Σε γενικές γραμμές, τα μοντέλα LOD-1 και LOD-2 συχνά δίνουν έμφαση στην δομή του κτηρίου και την εμφάνιση. Έτσι, περιορίζονται στην εμφάνιση του κτηρίου που εφαρμόζεται στα αστικά τοπία, στην πολεοδομία και στο σχεδιασμό στην ευρύτερη περιοχή. Τα μοντέλα αυτά χρησιμοποιούν συχνά μεγάλης κλίμακας χάρτες, αεροναυτικές εικόνες, ή LiDAR τεχνικές για να επιτευχθεί η απεικόνιση της πόλης. Ωστόσο, οι περισσότερες αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στους ανθρώπους και τα κτίρια είναι σε εσωτερικούς χώρους και οι περιουσίες σχετίζονται άμεσα με όρια του κτηρίου. Για αυτό ακριβώς, τα μοντέλα LOD-3 και LOD-4 από την άλλη πλευρά εκμεταλλεύονται τα δεδομένα LiDAR ή τα κατασκευαστικά σχέδια για να συλλέξουν τις μικρές λεπτομέρειες τόσο για την εξωτερική όσο και την εσωτερική αρχιτεκτονική δομή. Δυστυχώς, τα LOD-3 και LOD-4 δεδομένα είναι δύσκολο να αποκτηθούν και είναι δαπανηρά.

1.12.2. Χρήση 3D GIS

Το 3D GIS παρέχει μεθόδους αναπαράστασης της γεωμετρίας των αντικειμένων του τρισδιάστατου Κτηματολογίου και μπορεί να συσχετίσει με αυτά τα δικαιώματα και τις πράξεις. Κάποιες τεχνικές μπορούν να εφαρμοστούν απευθείας στο κτηματολογικό σύστημα ενώ άλλες χρειάζονται περαιτέρω ανάπτυξη. Το 3D GIS μπορεί να παρέχει 3D πρωτογενή γεωμετρικά σχήματα, οπτικοποιήσεις οντοτήτων πάνω, μέσα και κάτω από την επιφάνεια της γης. Σκοπός αυτής της τεχνικής είναι να καλύψει το κενό μεταξύ της τρισδιάστατης προσομοίωσης του χώρου και του συστήματος διαχείρισης του αστικού χώρου. Ο προσδιορισμός των 3D κτηματολογικών αντικειμένων, η παρουσίαση τους στον τρισδιάστατο χώρο και η συσχέτιση τους με τις ιδιότητες και τα δικαιώματα τους είναι το κλειδί για το τρισδιάστατο κτηματολογικό σύστημα.

Το 3D Κτηματολόγιο αποτελείται από διακριτές υποδιαιρέσεις του τρισδιάστατου χώρου και αστικών στοιχείων όπως κτήρια, πάρκα, μετρό, υπόγειες κατασκευές. Όλα τα αντικείμενα μπορούν να τοποθετηθούν σαφώς στο χώρο με γεωαναφερμένες συντεταγμένες και συγκεκριμένο όγκο.

Υπάρχουν τρεις τρόποι για να δημιουργηθούν 3D γεωμετρικά σχήματα για το τρισδιάστατο Κτηματολόγιο. Πρώτος τρόπος είναι να γίνει εξαγωγή του υπάρχοντος 2D αποτυπώματος ή σχεδίου για την παραγωγή του 3D εξωτερικού ορίου (Ying, Li, Guo, 2011; Ledoux και Meijers, 2011). Από το προκύπτον σχήμα μπορεί να κατασκευαστεί το αντίστοιχο έγκυρο 3D στερεό. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας πρέπει να είναι διαθέσιμα τα σχέδια των κτηρίων ή του προτεινόμενου κτηρίου καθώς και το ύψος αυτών. Δεύτερος τρόπος είναι να γίνει άμεση διάκριση και αναγνώριση των έγκυρων 3D στερεών από τα δοσμένα 3D όρια των όψεων. Αυτή η επεξεργασία όμως χρειάζεται ένα αυστηρό αλγόριθμο ο οποίος να υποστηρίζει τη σωστή γεωμετρία και τοπολογία των στερεών (Ying, Guo, Van Oosterom, et al., 2011). Τελευταίος μα εξίσου σημαντικός τρόπος είναι να γίνει εξαγωγή των 3D κτηματολογικών μοντέλων από το 3D Building Information Models (BIM) ή CityGML.



Εικόνα 23: Εξαγωγή από σχέδια: Α) σχέδια των ορίων των μονάδων ιδιοκτησίας, Β) Δημιουργία των τρισδιάστατων μονάδων ιδιοκτησίας (Πηγή: Yin, 2011)

Η μεγαλύτερη βαρύτητα πρέπει να δοθεί στην επικύρωση των 3D μοντέλων. Αυτό αφορά κυρίως τις μονάδες ιδιοκτησίας οι οποίες χρειάζονται συνεπή και ακριβή γεωμετρικά σχήματα καθώς και τις αληθείς τοπολογικές σχέσεις μεταξύ των τρισδιάστατων αντικειμένων (Ying, Guo, Van Oosterom, et al., 2011; Thomson, Van Oosterom, 2011). Το 3D GIS παρέχει μια συγκεκριμένη χωρική βάση δεδομένων για την διαχείριση των αντικειμένων δίνοντας όμως έμφαση στην ενημέρωση της και στην διατήρηση αυτών. Με αυτό τον τρόπο είναι πολύ εύκολη η εφαρμογή χωρικών ερωτημάτων.

1.13 Διεθνή Πρότυπα 3D Κτηματολογίου

Από την μέχρι τώρα μελέτη του τρισδιάστατου Κτηματολογίου, προέκυψε ότι κάθε χώρα πρέπει να ορίσει τι σημαίνει για αυτή 3D Cadastre ώστε να οριστούν οι απαιτήσεις αυτού. Από αυτό, θα εξαρτηθεί ο τρόπος με τον οποίο θα δομηθεί το 3D σύστημα καθώς και οι αλλαγές που πρέπει να υπάρξουν στο νομικό πλαίσιο ώστε να είναι εφικτή η εφαρμογή του. Υπάρχουν ορισμένες χώρες που έχουν μελετήσει τον τρόπο μετάβασης από το δισδιάστατο στο τρισδιάστατο σύστημα με σκοπό την απεικόνιση των όγκων των εγγεγραμμένων ιδιοκτησιών. Παρακάτω, παρουσιάζεται το περιεχόμενο της καταγραφής καθώς και το τι προβλέπεται περί των τρισδιάστατων δικαιωμάτων σε ορισμένες χώρες όπως είναι η Ολλανδία, η Νορβηγία, η Σουηδία, ο Καναδάς, το Ισραήλ και η Αυστραλία.

Θα ήταν καλό να αναφερθεί αρχικά ότι το τρισδιάστατο Κτηματολόγιο κάθε χώρας ακολουθεί κάποια συγκεκριμένη μορφή LADM (Vandysheva et al., 2011). Το LADM επιτρέπει διάφορες μορφές που μπορούν να εφαρμοστούν για το τρισδιάστατο μοντέλο του Κτηματολογίου. Σύμφωνα με την FIG κάποιες από αυτές είναι οι εξής:

1. Μινιμαλιστικό 3D Κτηματολόγιο: Δεν θεωρεί τα καλώδια, τους αγωγούς και του σιδηροδρόμους ως ακίνητη περιουσία και για αυτό το λόγο δεν τα καταγράφει στο Κτηματολόγιο. Όσο αφορά τα διαμερίσματα των πολυκατοικιών, αυτά είναι διαθέσιμα μέσω επιπέδων επιλέγοντας ένα σύμβολο στον 2D χάρτη. Για τα υπόλοιπα 3D αντικείμενα, προστίθεται ένα σύμβολο στον 2D χάρτη το οποίο παραπέμπει στο σχετικό αρχείο.
2. Τοπογραφικό 3D Κτηματολόγιο: Δεν δημιουργεί την δική τους γεωμετρία για τα νομικά αντικείμενα αλλά τα προσδιορίζει παραπέμποντας σε φυσικά αντικείμενα (τοπογραφία). Το μειονέκτημα αυτής της μορφής είναι ότι τα νομικά αντικείμενα μπορούν να υπάρχουν μόνο αν υπάρχει κάποιο αντίστοιχο τοπογραφικό στο οποίο να παραπέμπουν.
3. Πολυεδρικό 3D Κτηματολόγιο: Οι τρισδιάστατοι όγκοι των γεωτεμαχίων έχουν την δική τους γεωμετρία όπως και στο τρέχον 2D σύστημα μέσω των πολυγώνων. Το πλεονέκτημα αυτής της διαδικασίας είναι ότι μπορεί να εφαρμοστεί εύκολα με την διαθέσιμη τεχνολογία και είναι παρόμοια με την 2D προσέγγιση των πολυγώνων. Το μειονέκτημα είναι ότι δεν υπάρχει τοπολογία ούτε καμπύλες επιφάνειες.
4. Μη πολυεδρικό 3D Κτηματολόγιο: Είναι παρόμοιο με την προηγούμενη εκδοχή με την διαφορά ότι λαμβάνει υπόψη και τις καμπύλες επιφάνειες. Το μειονέκτημα είναι ότι δύσκολα μπορεί να εφαρμοστεί με την διαθέσιμη τεχνολογία και δεν υπάρχει ακόμη τοπολογία.
5. Τοπολογικό 3D Κτηματολόγιο: Οι τρισδιάστατοι όγκοι των γεωτεμαχίων περιγράφονται από τοπολογικές κατασκευές βασισμένες σε κόμβους, ακμές,

προσόψεις και απλούς όγκους. Θεωρείται ότι τα 3D αντικείμενα αποτελούν έναν διαμερισμό του χώρου. Το πλεονέκτημα είναι ότι τα κοινά όρια μεταξύ γειτονικών κτηρίων αποθηκεύονται μόνο μία φορά καθώς επίσης δεν υπάρχουν κενά και επικαλύψεις. Το μειονέκτημα είναι ότι δεν υποστηρίζεται από την σύγχρονη τεχνολογία και από την υπάρχουσα 2D προσέγγιση του Κτηματολογίου.

Στην **Ολλανδία**, βάση αναφοράς στο κτηματολογικό σύστημα καταχώρισης θεωρείται το δισδιάστατο γεωτεμάχιο. Σε αυτό το κτηματολογικό σύστημα, οι υποδομές κάτω και πάνω από την επιφάνεια της γης καταγράφονται σε σχέση με τα γεωτεμάχια του εδάφους με τα οποία επικαλύπτονται και όχι ως ανεξάρτητα αντικείμενα. Σε αυτόν τον κανόνα εξαίρεση αποτελούν τα διαμερίσματα τα οποία αντιμετωπίζονται ως ξεχωριστές ιδιοκτησίες. Σχετικά με τα υπόγεια αντικείμενα, αυτά καταγράφονται με ειδικό κωδικό εμμέσως με την καταγραφή των υπέργειων αντικειμένων των οποίων τέμνουν. Η μετάβαση στο τρισδιάστατο Κτηματολόγιο γίνεται χρησιμοποιώντας την υβριδική μορφή καθώς δεν προβλέπεται από το νομικό πλαίσιο της χώρας η εγγραφή των τρισδιάστατων μονάδων ιδιοκτησίας. Έχουν γίνει μεμονωμένες προσπάθειες δημιουργίας τρισδιάστατων δικαιωμάτων των οποίων ο όγκος που δημιουργείται αντιπροσωπεύει το μέγεθος κάθε ιδιοκτησίας και όχι κάποιον νομικό περιορισμό. Επομένως το νομικό πλαίσιο αφορά στα δισδιάστατα γεωτεμάχια και τα χωρικά ερωτήματα γίνονται ως προς αυτά.

Στη **Νορβηγία** επίσης βάση αναφοράς θεωρείται το δισδιάστατο γεωτεμάχιο το οποίο όμως δεν εκτείνεται απεριόριστα σε ύψος και βάθος, αλλά επιδέχεται περιορισμούς. Οι υπόγειες κατασκευές δεν αποτελούν ξεχωριστές ιδιοκτησίες ούτε κτηματολογικές εγγραφές αλλά διαθέτουν ειδική κωδικοποίηση σε κάθε γεωτεμάχιο στη διαθέσιμη βάση δεδομένων. Το νομικό πλαίσιο της χώρας δεν έχει κατοχυρώσει την εγγραφή τρισδιάστατων ιδιοκτησιών ακόμη, παρότι βρίσκεται σε συζητήσεις από το 1990. Ως τρισδιάστατα αντικείμενα καταγραφής για την χώρα θεωρήθηκαν οι υπόγειες ιδιοκτησίες όπως τα παρκινγκ, κτήρια και υπέργειες υποδομές καθώς και θαλάσσιες κατασκευές. Για την αναπαράσταση όμως των τρισδιάστατων ιδιοκτησιών στη Νορβηγία δεν έχουν γίνει προσπάθειες τεχνικής υποστήριξης.

Στη **Σουηδία** παρουσιάζεται το πρόβλημα των πολλαπλών χρήσεων σε ένα και μόνο ακίνητο, γεγονός που καθιστά αδύνατη την ανεξάρτητη υποθήκη αυτών και αποθαρρύνοντας έτσι πιθανούς επενδυτές. Προκύπτει λοιπόν η ανάγκη διαχωρισμού των ιδιοκτησιών ώστε να αντιμετωπίζονται ως ξεχωριστές και να μη δεσμεύονται οι εκάστοτε χρήσεις των ιδιοκτησιών. Για αυτόν ακριβώς το λόγο το 2004 ψηφίστηκε νόμος που κατοχυρώνει τις τρισδιάστατες μονάδες ιδιοκτησίας. Παρόλα αυτά, η βάση αναφοράς δε μπορεί να αλλάξει τελείως και να μεταβεί από το δισδιάστατο γεωτεμάχιο στην τρισδιάστατη ιδιοκτησία καθώς δεν είναι μεγάλος ο αριθμός καταστάσεων που υποστηρίζονται από τρισδιάστατα δεδομένα. Οι τρισδιάστατες ιδιοκτησίες ακόμη και τώρα δεν αναπαρίστανται με όγκους αλλά μέσω των προβολών τους στο δισδιάστατο κτηματολογικό διάγραμμα.

Στο **Καναδά** από την άλλη, τρισδιάστατο Κτηματολόγιο σημαίνει κατοχύρωση τμημάτων εναέριου χώρου πάνω και κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Ο κάθε ιδιοκτήτης έχει τη δυνατότητα να χωρίσει την γη του σε ξεχωριστές ιδιοκτησίες ή αλλιώς τμήματα εναέριου χώρου (1996). Αυτά τα τμήματα όμως για να καταγραφούν πρέπει να βρίσκονται εντός δισδιάστατου γεωτεμαχίου. Επομένως, βασική προϋπόθεση για τη δημιουργία μιας τρισδιάστατης εναέριας ιδιοκτησίας είναι η ύπαρξη ενός σχεδίου του air space parcel στον τίτλο που το συνοδεύει και το οποίο αποδεικνύει ότι τα όρια βρίσκονται μέσα σε μόνο ένα δισδιάστατο γεωτεμάχιο. Παρότι το νομικό πλαίσιο υποστηρίζει τις τρισδιάστατες ιδιοκτησίες, το πρόβλημα που παρουσιάζεται είναι ότι δεν υπάρχει μια ενιαία κτηματολογική βάση.

Στο **Ισραήλ** βάση αναφοράς αποτελεί το δισδιάστατο γεωτεμάχιο χωρίς όμως να υπόκειται σε περιορισμούς ύψους ή βάθους εκτός ορισμένων περιπτώσεων όπως είναι τα ορυχεία και οι πετρελαιοπηγές. Οι υπόγειες κατασκευές δεν καταγράφονται παρά μόνο στη περίπτωση τομής με δημόσιες εκτάσεις στην οποία καταγράφεται το δικαίωμα δουλείας προς όφελος του κράτους. Τα τελευταία χρόνια γίνονται προσπάθειες εύρεσης λύσης για τη μετάβαση από το δισδιάστατο στο τρισδιάστατο Κτηματολόγιο μελετώντας διάφορα μοντέλα. Το 2004 ολοκληρώθηκε το R&D project σύμφωνα με το οποίο καλύτερη λύση αποτελεί το λεγόμενο Spatial Sub-Parcel σύμφωνα με το οποίο το γεωτεμάχιο του εδάφους διαχωρίζεται σε περισσότερα τεμάχια άνω ή κάτω του εδάφους. Κάθε κατασκευή σε υπο-τεμάχιο περιγράφεται από το τρισδιάστατο περίγραμμα και από τον όγκο αυτού και καταγράφεται στους τίτλους με τον τρισδιάστατο ορισμό του.

Τέλος, η **Αυστραλία** είναι από τις λίγες χώρες που έχουν προβλέψει την κατοχύρωση των τρισδιάστατων ιδιοκτησιών νομικά. Το πρόβλημα όμως που αντιμετωπίζεται είναι κυρίως τεχνικό καθώς οι πληροφορίες σχετικά με τις τρεις διαστάσεις των γεωτεμαχίων βρίσκονται στους τίτλους πράξης τους. Από το 1997 έχουν κατοχυρωθεί οι τρισδιάστατες μονάδες ιδιοκτησίας αλλά ακόμη και σήμερα δεν έχει γίνει εφικτή η τρισδιάστατη αναπαράστασή τους. Στους κτηματολογικούς χάρτες περιλαμβάνονται οι προβολές αυτών ενώ στη κτηματολογική βάση δεδομένων καταγράφονται οι τρισδιάστατες πληροφορίες των μονάδων ιδιοκτησίας χωρίς όμως την τρισδιάστατη γεωμετρία.

Παρακάτω, παρουσιάζονται οι προσπάθειες που έγιναν και τα πρότυπα που εφαρμόστηκαν σε ορισμένες χώρες προκειμένου να προταθεί μια λύση σχετικά με το 3D Κτηματολόγιο. Συγκεκριμένα, μελετούνται οι πρόσφατες εφαρμογές που έγιναν το 2012 στην Ολλανδία, στην Ταιβάν και στην Ρωσία.

1.14 Χαρακτηριστικές περιπτώσεις εφαρμογής 3D Κτηματολογίου

Όπως είναι φανερό, υπάρχουν χώρες που έχουν ασχοληθεί αρκετά χρόνια με το σύστημα του τρισδιάστατου Κτηματολογίου με σκοπό τον εντοπισμό εκείνων των παραμέτρων που θα το κάνουν εφαρμόσιμο στην εκάστοτε περίπτωση. Οι εφαρμογές

που έχουν γίνει στο πλαίσιο της απεικόνισης τρισδιάστατων δικαιωμάτων είναι ελάχιστες. Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τέτοιες υποθέσεις κατά τις οποίες εφαρμόζεται ένα πρότυπο, εξάγονται τα τρισδιάστατα αντικείμενα τα οποία αναπαριστούν και εκπροσωπούν τα τρισδιάστατα δικαιώματα και προτείνονται οι τρόποι μετάβασης από το δισδιάστατο χώρο στον χώρο των τριών διαστάσεων.

1.14.1. Εφαρμογή στην Ολλανδία

Η Ολλανδία ασχολείται με το 3D Κτηματολόγιο πάνω από μια δεκαετία, προσπαθώντας να αναλύσει περίπλοκα τρισδιάστατα δικαιώματα και αναπτύσσοντας πολλά πρωτότυπα μοντέλα ώστε να επιτύχει την καλύτερη λύση. Έχουν βρει διαφόρους τρόπους καταγραφής και δημοσιεύσεων των δικαιωμάτων σε πολυεπίπεδες ιδιοκτησίες ακόμα και στο υπάρχον σύστημα της χώρας. Σύμφωνα με τις μελέτες που έκαναν, κατέληξαν ότι ίσως απαιτείται μια νοητική εξάσκηση ώστε να γίνουν κατανοητές οι 3D καταστάσεις ιδιοκτησίας που στηρίζονται στις πληροφορίες που είναι διαθέσιμες στις κτηματολογικές καταγραφές. Καθοριστικό ρόλο σε κάθε εξέλιξη του 3D Κτηματολογίου παίζει η τεχνολογία και η νομοθεσία, και για αυτό ακριβώς είναι περιορισμένη η ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου τρισδιάστατου Κτηματολογίου. Η αλλαγή του νομικού καθεστώτος είναι μια μακροχρόνια διαδικασία η οποία καθυστερεί κατά πολύ την προσπάθεια αναπαράστασης των τρισδιάστατων ιδιοκτησιών. Έτσι, η προσέγγιση κατά την οποία τα 3D φυσικά αντικείμενα αποθηκεύονται σε 2D κτηματολογικές εγγραφές είναι πολλά υποσχόμενη και μπορεί να αναπτυχθεί εύκολα και σε μικρό χρονικό διάστημα. Μεγάλο πλεονέκτημα αποτελεί η εύκολη προσβασιμότητα σε ένα τέτοιο σύστημα καθώς οι δισδιάστατες και τρισδιάστατες πληροφορίες είναι άμεσα διαθέσιμες και μπορούν να συνδυαστούν ταυτόχρονα. Το μεγάλο μειονέκτημα όμως είναι ότι το μοντέλο βραχυπρόθεσμα εξακολουθεί να είναι μόνο 2D. Έτσι, η προσέγγιση που χρησιμοποιείται είναι αυτή των 3D εξωτερικών παραπομπών οι οποίες δεν αποθηκεύονται στη βάση δεδομένων. Σε αυτή την περίπτωση, 3D περιπτώσεις ανακαλούνται μέσω τοπικών αρχείων που βρίσκονται εξωτερικά του συστήματος και αποτελούν σχέδια (paper drawings). Αυτή η λύση έχει αποδειχθεί αποτελεσματική στην περίπτωση των διαμερισμάτων και αποτελεί μια καλή προσέγγιση αλλά μόνο προσωρινά.

Για την περαιτέρω διερεύνηση της κατάστασης μελετήθηκε μια εφαρμογή η οποία αποτελείται από δύο φάσεις. Στην πρώτη φάση χρησιμοποιείται το υπάρχον Εθνικό Κτηματολόγιο και το νομικό πλαίσιο και εισάγονται νέες τεχνολογίες στο πεδίο του 3D Κτηματολογίου με σκοπό της απόκτησης νέας γνώσης και εμπειρίας. Στηριζόμενοι σε αυτή την εμπειρία προτείνεται μια ουσιαστική λύση, εφαρμόζοντας νέες τεχνολογίες για μια θεμελιώδη αλλαγή. Και οι δύο φάσεις ταιριάζουν στο πρότυπο ISO FDIS 19152 Land Administration Domain Model (LADM; Lemmen et al, 2010; ISO/TC211, 2012) με τα αντίστοιχα δύο LADM 3D προφίλ της χώρας για την Ολλανδία.

Στην πρώτη φάση εφαρμογής, το 3D Κτηματολόγιο εκμεταλλεύεται μια από τις επιλογές του LADM για την μοντελοποίηση 3D καταστάσεων, δηλαδή χωριστά επίπεδα με χωρικές ενότητες, οι οποίες συνδέονται με ένα 3D σχέδιο (LA_SpatialSource.). Η λύση αυτή ταιριάζει στο τρέχον κτηματολογικό και νομικό πλαίσιο και ως εκ τούτου μπορεί να υλοποιηθεί σε σύντομο χρονικό διάστημα (Stoter, Van Oosterom et al, 2012). Επιπλέον, η εφαρμογή αυτή θα παρέχει ένα εμπειρικό περιβάλλον έτσι ώστε να αποκτηθεί εμπειρία και στήριξη από όλους τους εμπλεκόμενους φορείς.

Η εφαρμογή λειτουργεί ως εξής. Στην περίπτωση της 3D δικαιωμάτων ιδιοκτησίας, δεν επιτρέπεται πλέον η υποδιαίρεση ενός 2D γεωτεμαχίου μέσω της προβολής των 3D αντικειμένων στο κτηματολογικό χάρτη, διότι αυτό οδηγεί σε μια εγγραφή η οποία δεν είναι σαφής και δημιουργεί πολύπλοκες καταγραφές. Αντ'αυτού, το αρχικό γεωτεμάχιο διατηρείται ως κτηματολογική βάση αναφοράς και προστίθενται σε αυτό τρισδιάστατα αντικείμενα τα οποία παρέχουν μια εικόνα της ιδιοκτησιακής κατάστασης (δικαίωμα κατοχής, δικαίωμα μακροχρόνιας μίσθωσης, δικαίωμα δουλείας). Μια τέτοια 3D αναπαράσταση μπορεί να καταχωρηθεί μέσω μιας 3D σχεδίασης (σε μορφή pdf) στο πλαίσιο του συστήματος ELAN (Kadaster, 2007). Ένα 3D pdf (Adobe, 2012) παρέχει αλληλεπίδραση και δυνατότητες αναζήτησης, γεγονός ιδιαίτερα ενθαρρυντικό για την κατανόηση των τρισδιάστατων καταστάσεων. Υπάρχει μια επισήμανση για κάθε γεωτεμάχιο στο οποίο είναι καταχωρημένη μια 3D αναπαράσταση. Μια 2D προβολή της 3D αναπαράστασης θα πρέπει να προστεθεί ως παραπομπή στο κτηματολογικό χάρτη με ένα επιπλέον επίπεδο γραφικών, όπως γίνεται στην Αυστραλία (Queensland, 2008; Stoter και Van Oosterom, 2005) και τη Νορβηγία (Valstad, 2010). Το περιεχόμενο αυτού του πρόσθετου επιπέδου γραφικών εμφανίζεται στο κτηματολογικό χάρτη με διαφορετικά σύμβολα από τα «κανονικά γεωτεμάχια» (όρια) και κτήρια. Κατά συνέπεια, η ύπαρξη και η επίδραση του 3D νομικού χώρου για τα κτηματολογικά γεωτεμάχια γίνεται ορατή.

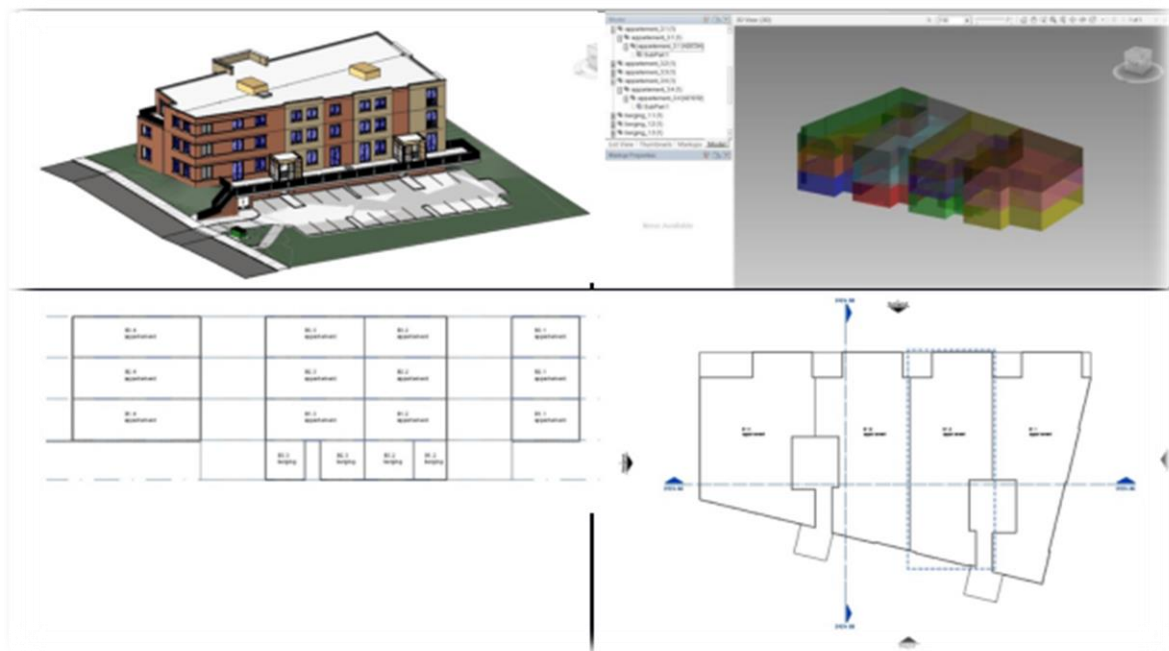
Οι (ελάχιστες) πληροφορίες που απαιτούνται στην αναπαράσταση των τρισδιάστατων αντικειμένων ώστε να γίνει αντιληπτή η κατάσταση του ακινήτου, συνοψίζονται στα παρακάτω:

- 2D γεωτεμάχια τα οποία περιέχουν την προβολή των 3D νόμιμων όγκων, επιτιθέμενα πάνω σε ένα Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους ώστε να εντοπιστούν τα γεωτεμάχια στον χώρο.
- 3D γραφική περιγραφή του νομικού χώρου.
- 2D διατομές με συνοδευτικά σχόλια (π.χ. μοναδικό αναγνωριστικό, βόρεια βέλος κλπ) έτσι ώστε να είναι σε συγχρονισμό με τις οδηγίες των σχεδίων που απαιτούνται για τα διαμερίσματα.
- Αντικείμενα για την αναφορά και τον προσανατολισμό στο τρισδιάστατο περιβάλλον.

- Τα 3D σχέδια θα πρέπει να προσδιορίζουν το 3D νόμιμο όγκο τόσο στο τοπικό σύστημα συντεταγμένων όσο και στο εθνικό υψομετρικό σύστημα δεδομένων.

Αυτή η φάση της εφαρμογής επικεντρώνεται στην οπτικοποίηση των αντικειμένων. Στο υπάρχον κτηματολογικό σύστημα δεν μπορούν να καταγραφούν τρισδιάστατα δεδομένα μα είναι δυνατόν να υποβληθούν προς εγγραφή τα τρισδιάστατα γραφικά σχέδια. Όσο ο τρισδιάστατος χώρος μπορεί να οπτικοποιηθεί καλά, η απεικόνιση γίνεται αποδεκτή μιας και δεν γίνεται να επικυρωθεί η ορθότητα τους με άλλο τρόπο. Όμως έτσι, δεν είναι δυνατόν να ελεγχθεί αν κάθε δικαίωμα περιγράφεται από ένα κλειστό πολύγωνο ή αν επικαλύπτονται τα διάφορα δικαιώματα. Ένα ακόμα μειονέκτημα αποτελεί ότι σε περίπτωση που τα σχέδια χρειαστούν στο μέλλον κάποια αλλαγή, τα δεδομένα πρέπει να συλλεχθούν από την αρχή με τον κίνδυνο ασυνεχειών.

Έχουν παρουσιαστεί πολλές μέθοδοι απόκτησης και διαχείρισης τρισδιάστατων δεδομένων οι οποίες πρέπει να εκμεταλλευτούν κατάλληλα για την βελτίωση της εφαρμογής του τρισδιάστατου Κτηματολογίου. Έτσι, το σχέδιο της δεύτερης φάσης προβλέπει και επιδιώκει την δημιουργία ενός πλήρους 3D Κτηματολογίου το οποίο να περιλαμβάνει την καταχώρηση τρισδιάστατων δεδομένων και όχι τρισδιάστατων σχεδίων. Δηλαδή, αυτό που μελετάται είναι η μετάβαση από ένα κτηματολογικό σύστημα με εξωτερικές αναφορές σε ένα σύστημα που ενσωματώνει τρισδιάστατα δεδομένα.



Εικόνα 24: καταγραφή της 3D αναπαράστασης των τρισδιάστατων δικαιωμάτων μέσα από διαφορετικές απόψεις του ίδιου 3D σχεδίου, πάνω αριστερά: αρχιτεκτονική άποψη, πάνω δεξιά: οπτική γωνία των τρισδιάστατων νόμιμων χώρων, κάτω αριστερά: κατακόρυφη τομή, κάτω δεξιά: κάτοψη πρώτου ορόφου (Πηγή: Stoter, 2012)

Από την δεύτερη φάση της εφαρμογής αυτής προέκυψαν ορισμένα συμπεράσματα που συνοψίζουν τις αρχές-απαιτήσεις του πλήρους κτηματολογικού συστήματος. Ο νόμιμος χώρος είναι ακόμη συνδεδεμένος με ένα ή περισσότερα γεωτεμάχια. Παρόλα αυτά, μια τρισδιάστατη ιδιοκτησία μπορεί να επικαλύπτει πολλά γεωτεμάχια. Για αυτό ακριβώς, θα ήταν επιθυμητή η δημιουργία μόνο μιας πράξης η οποία να περιέχει ένα ενιαίο σχέδιο του τρισδιάστατου όγκου και των γεωτεμαχίων που αυτό επικαλύπτει. Επίσης, πρέπει να οριστούν οι καταστάσεις που επιζητούν την τρισδιάστατη απεικόνιση ενώ παράλληλα είναι αναγκαίο να επιλεγθούν τα γεωμετρικά μοντέλα τα οποία θα αντιπροσωπεύουν τις τρισδιάστατες ιδιοκτησίες. Πρέπει να αποφασιστεί αν αυτά θα αποτελούνται από επίπεδες επιφάνειες όπως τα πολύεδρα ή από επιφάνειες που θα προσεγγίζουν πολύ καλά την πραγματική επιφάνεια μέσα από την εφαρμογή εξισώσεων. Σημαντικό είναι να οριστεί αν οι όγκοι αυτοί θα είναι ανοιχτοί προς τον ουρανό και προς την γη. Τέλος, πρέπει να αποφασισθεί η ζητούμενη ακρίβεια των τρισδιάστατων πληροφοριών. Αυτά τα θέματα, προσπαθούν να αντιμετωπιστούν προκειμένου να είναι εφικτή η εφαρμογή ενός ολοκληρωμένου κτηματολογικού συστήματος. Η κάθε χώρα από τη μεριά της πρέπει να διερευνήσει τα παραπάνω θέματα σύμφωνα με τον νομικό πλαίσιο που επικρατεί καθώς και το σύστημα καταγραφής της γης της ώστε να καταλήξει στον ορισμό των παραμέτρων του κτηματολογικού συστήματος.

1.14.2. Εφαρμογή στη Ταϊβάν

Από το 1990, στην Ταϊβάν έχει χρησιμοποιηθεί μια ψηφιακή μέθοδος για την καταγραφή των κτηματολογικών δεδομένων. Έτσι, όλοι οι αρχικοί αναλογικοί κτηματολογικοί χάρτες είχαν ψηφιοποιηθεί μέχρι το τέλος του 2007 και πλέον οι μετρήσεις επεξεργάζονται ψηφιακά πλήρως. Το κτηματολογικό σύστημα της έχει λοιπόν ως εξής. Οι χρήστες μπορούν να έχουν πρόσβαση στα δεδομένα μέσω του διαδικτύου για την αναζήτηση της τοποθεσίας του ακινήτου, τα στοιχεία της περιγραφής της γης, την ιδιοκτησία καθώς και πληροφορίες σχετικά με άλλα δικαιώματα. Για λόγους ασφαλείας, μόνο ο ιδιοκτήτης του ακινήτου μπορεί να έχει πρόσβαση σε ολόκληρο το ιστορικό ιδιοκτησίας. Η προβολή δεδομένων είναι στο σύστημα αναφοράς TWD97. Η ανάλυση του ψηφιακού μοντέλου εδάφους είναι 5m, το οποίο επιτρέπει 2.5D απεικόνιση των πληροφοριών γης. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η Ταϊβάν έχει επικεντρωθεί στην διαχείριση των ακινήτων για αυτό διαθέτει πολύ καλή οργάνωση σε ότι αφορά τα κτηνιακά δεδομένα. Τέτοια δεδομένα είναι η τοποθεσία του εκάστοτε ακινήτου, η ιδιοκτησία, τα τοπία και όποια στοιχεία επηρεάζουν την αξία των ακινήτων. Παρόλα αυτά, η δημιουργία 3D μοντέλων κτηριών αποτελεί μια περίπλοκη διαδικασία.

Το 3D κτηματολογικό σύστημα διερευνάται εις βάθος στην Ταϊβάν από το 2007, δημιουργώντας εφαρμογές με σκοπό την αναπαράσταση των τρισδιάστατων δικαιωμάτων και την προστασία της ιδιοκτησίας. Εκτός από την αποθήκευση των κτηματολογικών δεδομένων, το σύστημα έχει επίσης χρησιμοποιηθεί σε 3D

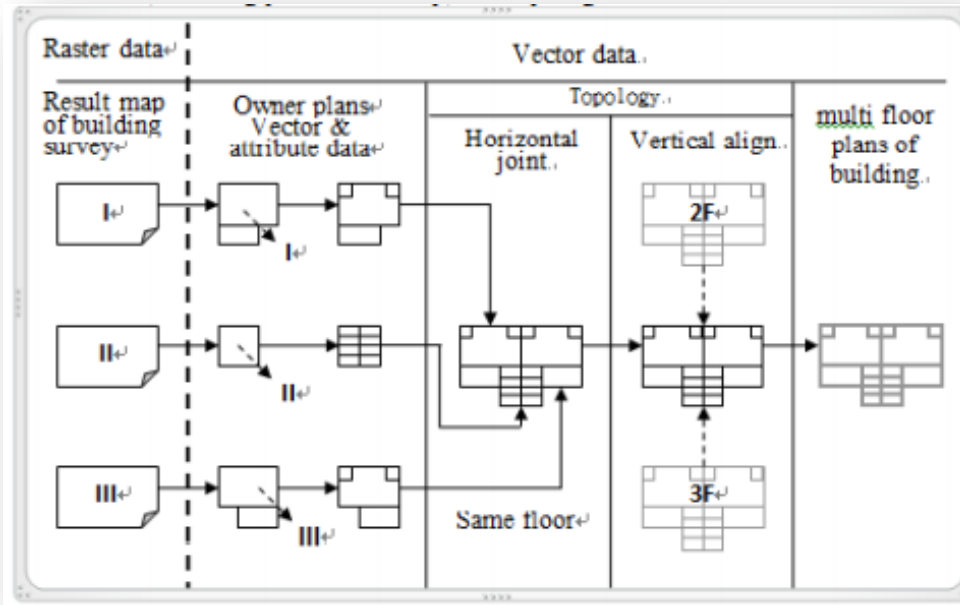
κτηματολογικές διαχειρίσεις ακινήτων, στον πολεοδομικό σχεδιασμό, στη διαχείριση του νοικοκυριού, και δεν περιορίζεται μόνο στην 3D απεικόνιση. Έτσι, χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες που διαθέτουν τα Κτηματολογικά Γραφεία στην Ταιβάν επιχειρήθηκε να βρεθεί μια πρακτική μέθοδος δημιουργίας 3D μοντέλων κτηρίων που να περιέχουν στοιχεία για κάθε ιδιοκτησία, κάθε ορόφου. Η έρευνα που έγινε ανέδειξε με επιτυχία τα κρίσιμα στάδια της δημιουργίας ενός μοντέλου τα οποία και παρουσιάζονται. Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης αποτελούν θεμέλιο της μελλοντικής ανάπτυξης 3D κτηματολογικών δεδομένων και προωθούν ένα πρότυπο 3D Κτηματολογίου για την Ταιβάν.

Στην ουσία, αυτό το πρότυπο σύστημα χρησιμοποιεί τις κατόψεις των κτηρίων που υπάρχουν στα Κτηματολογικά Γραφεία και τις συνδυάζει ώστε να κατασκευαστεί το 3D μοντέλο του κτηρίου. Το ύψος των ορόφων λαμβάνονται από τα κατασκευαστικά σχέδια καθώς και την άδεια του κτηρίου. Από αυτά επίσης λαμβάνονται και οι λεπτομέρειες που είναι απαραίτητες για την σύνθεση του κτηρίου, δηλαδή οι τοίχοι, οι πόρτες κ.α.. Οι διαθέσιμες πληροφορίες που παρέχουν τα Κτηματολογικά Γραφεία και τα διαθέσιμα σχέδια είναι πάρα πολλές, γεγονός που επιτρέπει τη χρήση των μοντέλων για πληθώρα εφαρμογών.

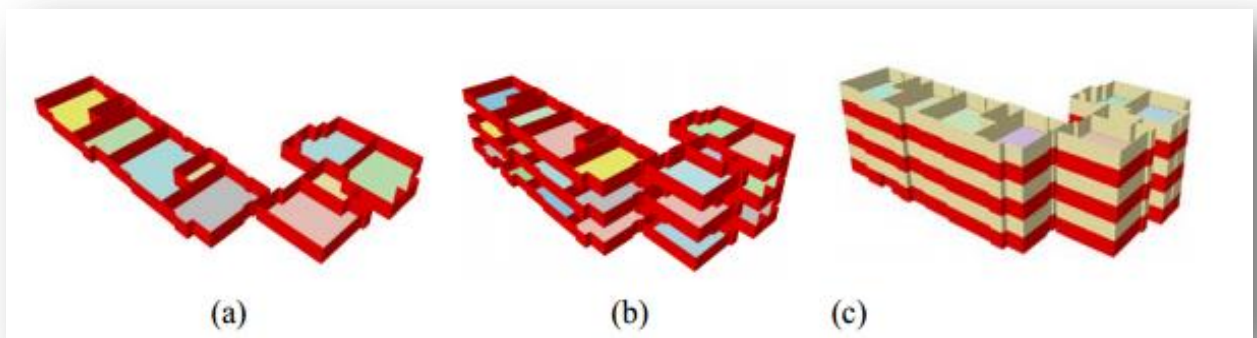
Στην έρευνα αυτή η μεθοδολογία έχει ως εξής: Αρχικά, αναπτύσσεται ένα 3D μοντέλο κτηρίου, το οποίο στη συνέχεια ενσωματώνεται σε ένα τρισδιάστατο σύστημα πληροφοριών για πολλαπλές εφαρμογές του Κτηματολογίου. Τα γραφικά στοιχεία και οι ιδιότητες των ιδιοκτησιών συνδέονται άμεσα με το Εθνικό Πληροφοριακό Σύστημα Κτηματολογίου (Chiang, 2012). Τα στάδια υλοποίησης της εφαρμογής περιγράφονται ως εξής:

- **3D Cadastre modeling.** Οι περισσότεροι υπάρχοντες τοπογραφικοί χάρτες των κατασκευών είναι σε αναλογική μορφή και ως εκ τούτου πρέπει να διανυσματοποιηθούν ώστε να είναι εφικτή η κατασκευή του 3D μοντέλου. Έτσι, αναπτύσσονται δύο υπο-συστήματα:

- Storey Plane Vectorization System. Είναι το σύστημα το οποίο ψηφιοποιεί τις κατόψεις των ορόφων κάθε ιδιοκτησίας και στη συνέχεια τις συνδυάζει οριζόντια σε ένα επίπεδο. Στη συνέχεια, τα πολλά επίπεδα ευθυγραμμίζονται κατακόρυφα χρησιμοποιώντας σημεία ελέγχου και γραμμές αναφοράς που προέκυψαν από τα κτηματολογικά δεδομένα (εικόνα 25). Αφού έχει γίνει η ευθυγράμμιση οριζόντια και κατακόρυφα, ενσωματώνεται σε αυτά η υψομετρική πληροφορία και δημιουργείται το 3D μοντέλο του κτηρίου (εικόνα 26). Το σύστημα έχει αναπτυχθεί σε Java Runtime Environment (JRE), που συνδέεται με το Land National Information Database μέσω ODBC.



Εικόνα 25: Διαδικασία δημιουργίας κάτοψης κτηρίου (Πηγή: Chiang, 2012)

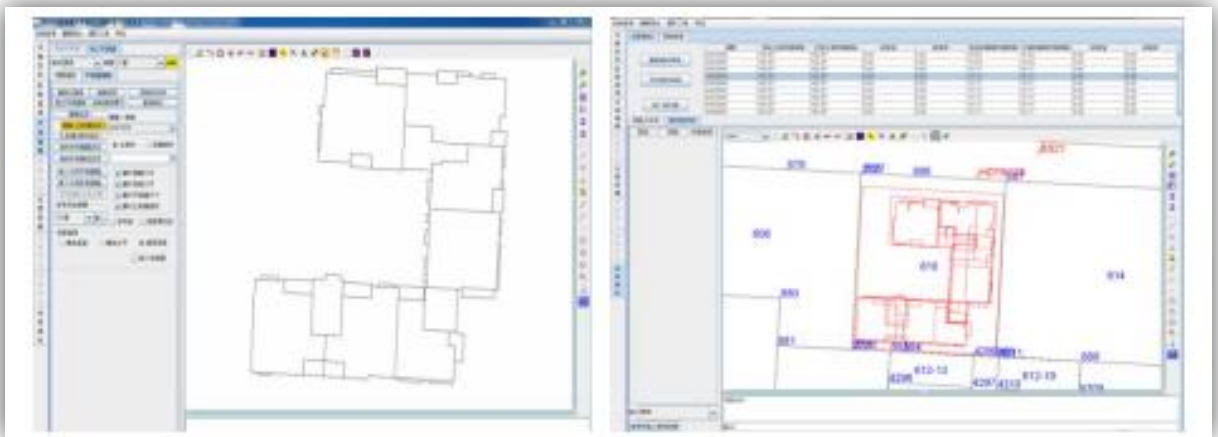


Εικόνα 26: 3D μοντέλο κτηρίου που δημιουργείται από τους επιμέρους ορόφους (Πηγή: Chiang, 2012)

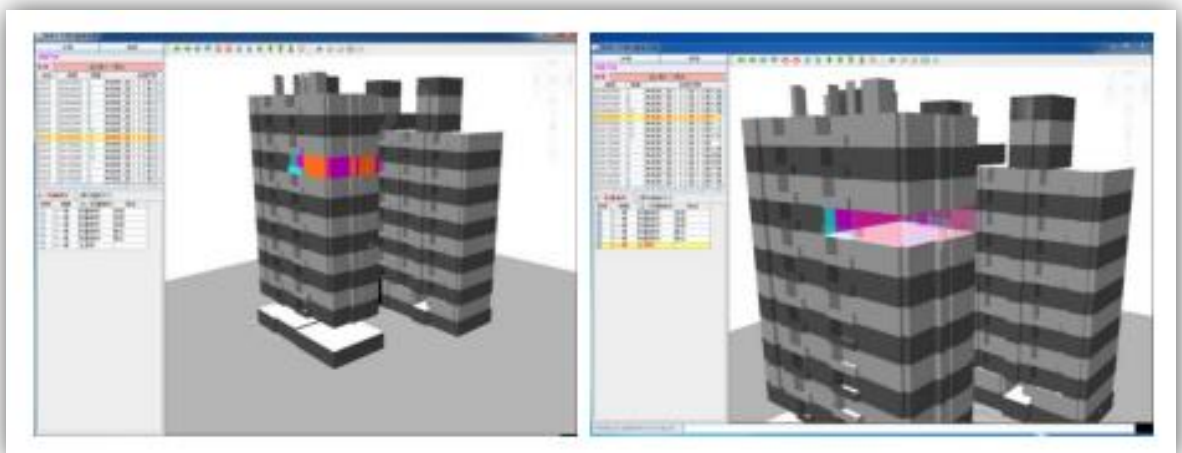
- Basic 3D Cadastral Building System. Το σύστημα αυτό παρέχει μια διαδραστική πλατφόρμα για την κατανομή των στοιχείων όπως πόρτες, παράθυρα, εσωτερικά τοιχώματα, στήλες, και υφές, κλπ, στο 3D μοντέλο. Λεπτομέρειες σχετικά με την τοποθεσία και πληροφορίες για το μέγεθος λαμβάνονται από το σχέδιο των κατασκευών. Το σύστημα έχει αναπτυχθεί χρησιμοποιώντας Apache Tomcat, JRE, και Java 3D, κλπ.

Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας λοιπόν, είναι ένα μοντέλο κτηρίου το οποίο περιέχει τον κωδικό του κτηρίου, την τοποθεσία του, τα πολύγωνα των ορόφων, στοιχεία όπως οι σκάλες, οι τοίχοι κ.α. καθώς και πληροφορίες για τους ορόφους. Το μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με τις ιδιότητες του κτηρίου, όπως είναι η καταγραφή της γης και τα δικαιώματα.

- **Πολλαπλό Κτηματολογικό τρισδιάστατο σύστημα πληροφόρησης.** Πρόκειται για το 3D σύστημα το οποίο είναι βασισμένο στο ίντερνετ και αναπτύσσεται στο SkylineGlobe. Διαθέτει όλες τις απαιτούμενες πληροφορίες των ιδιοκτησιών και έτσι καθιστά το σύστημα ικανό να ανταπεξέλθει σε μεγάλο αριθμό εφαρμογών.



Εικόνα 27: Ψηφιοποίηση κάτοψης και ευθυγράμμιση επιπέδων (Πηγή: Chiang, 2012)



Εικόνα 28: Μοντέλο κτηρίου με τα όρια των ιδιοκτησιών (Πηγή: Chiang, 2012)

Για να ολοκληρωθεί το τρισδιάστατο σύστημα Κτηματολογίου πρέπει να βρεθεί τρόπος ενσωμάτωσης των τρισδιάστατων εγγραφών. Παρόλα αυτά, το 5m DTM και οι εναέριες φωτογραφίες σε κλίμακα 1/1000, σε συνδυασμό με το προτεινόμενο μοντέλο είναι ικανά να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις οπτικοποίησης και διαχείρισης της 3D ιδιοκτησίας.

1.14.3. Εφαρμογή στη Ρωσία

Το κτηματολογικό σύστημα στη Ρωσία καθώς και η καταγραφή των ακινήτων, προς το παρόν, στηρίζεται στη δισδιάστατη απεικόνιση των αντικειμένων συμπεριλαμβανομένου των γεωτεμαχίων, των κτηρίων και των κατασκευών. Παρόλα αυτά, το νομοθετικό πλαίσιο της χώρας είναι αρκετά γενικό όσο αφορά τις 3D καταστάσεις καθώς δεν αναφέρεται σαφώς περί του θέματος αλλά ούτε και απαγορεύει την εγγραφή των τρισδιάστατων όγκων των γεωτεμαχίων.

Σύμφωνα με αυτό το σύστημα, κάθε ιδιοκτησία περιγράφεται από ένα κλειστό πολύγωνο και το κοινό όριο μεταξύ δύο γειτονικών γεωτεμαχίων επαναλαμβάνεται. Η βάση δεδομένων περιέχει ολόκληρο το ιστορικό του κάθε πολυγώνου από την δημιουργία του και μετά. Οι κτηματολογικοί χάρτες που δημιουργήθηκαν διαφέρουν ως προς το περιεχόμενο τους και η κλίμακα αυτών είναι 1/2000 για αστικές περιοχές και 1/10000 για αγροτικές περιοχές. Λόγω του μεγέθους της Ρωσικής Ομοσπονδίας, χρησιμοποιούνται αρκετά συστήματα συντεταγμένων. Σε κάθε περιοχή, χρησιμοποιούνται για κτηματολογικούς σκοπούς ειδικά τοπικά συστήματα αναφοράς. Η διατήρηση των δεδομένων καθώς και η διαχείριση της βάσης δεδομένων γίνεται από τα υπάρχοντα κτηματολογικά γραφεία της εκάστοτε περιοχής. Μέχρι το 2011 η βάση δεδομένων ανανεωνόταν κάθε τρεις μήνες, ενώ προσπάθειες έγιναν και για καθημερινή ενημέρωση αυτής. Πρέπει να σημειωθεί ότι από την έναρξη της Ρωσικής Ομοσπονδίας έχουν καταγραφεί 80 εκατομμύρια γεωτεμάχια μαζί με τα σχετικά δικαιώματα και περιορισμούς καθώς και τα εμπλεκόμενα μέρη. Οι πληροφορίες των αγροτεμαχίων καθώς και οι νομικές και διοικητικές πληροφορίες είναι διαθέσιμες στο διαδίκτυο για το κοινό (<http://maps.rosreestr.ru/Portal/>).

Η δισδιάστατη προσέγγιση του υπάρχοντος κτηματολογικού συστήματος δεν καλύπτει όλες τις περιπτώσεις του πραγματικού κόσμου όπως είναι τα πολυεπίπεδα συγκροτήματα, οι τομές πολλών αντικειμένων στον χώρο, καθώς και υπόγεια και υπερυψωμένα δίκτυα. Ο λόγος αυτός οδήγησε τη Ρωσία στην μελέτη περιπτώσεων που χρήζουν 3D Κτηματολογίου με σκοπό την δημιουργία ενός προτύπου που να υποδεικνύει τις νομικές και θεσμικές συνθήκες που είναι απαραίτητες για την υποστήριξη ενός τρισδιάστατου Κτηματολογίου. Για αυτό τον σκοπό, σε συνεργασία με την Ολλανδία, μελετηθήκαν από τον Μάιο του 2010 μέχρι τον Μάιο του 2012 ορισμένες περιπτώσεις σε περιοχές της Ρωσίας οι οποίες είναι περίπλοκες και θα ήταν ενδιαφέρον να οπτικοποιηθούν τρισδιάστατα. Το 3D κτηματολογικό μοντέλο που

αναπτύχθηκε σύμφωνα με αυτή τη μελέτη, βασίζεται στο πρότυπο ISO 19152 LADM. Το μοντέλο υιοθετήθηκε από το ρωσικό περιβάλλον και προσαπολίστηκε σε πέντε τύπους ιδιοκτησίας: αγροτεμάχια, κτίρια, εγκαταστάσεις, δομές και τα ημιτελή έργα κατασκευής. Η μελέτη αυτή αφορά κυρίως πολύπλοκα κτήρια και κατασκευές όπως είναι οι γέφυρες, τα τούνελ το μετρό και τα υπόγεια δίκτυα (καλώδια και σωλήνες). Ως μοντέλο εργασίας επιλέχθηκε η αναπαράσταση των αντικειμένων ως πολυέδρα, δηλαδή ως όγκους ορισμένους από επίπεδα πρόσωπα. Καμπύλες επιφάνειες των αντικειμένων αυτών όπως είναι οι αγωγοί και τα καλώδια προσεγγίζονται με multi-polylines με διαμέτρους. Για την τεχνική εφαρμογή, επιλέχθηκε ως λύση η υπάρχουσα 2D δικτυακή πύλη η οποία θα συνδέεται με μια νέα 3D Θέαση (3D Viewer). Αυτή η λύση είναι η πιο εύκολα εφαρμόσιμη και απαιτεί ελάχιστες αλλαγές, με βάση τη λειτουργικότητα που υποστηρίζεται από την υπάρχουσα 2D δικτυακή πύλη (Elizarova, Sapelnikov et al., 2012). Ουσιαστικά, μελετήθηκαν δύο είδους περιπτώσεων. Η πρώτη αφορά πολύπλοκες 3D καταστάσεις οι οποίες είναι ασυνήθιστες και μπορούν να προσφέρουν πολλά στις πραγματικές 3D εγγραφές και η δεύτερη αφορά 3D συνηθισμένες καταστάσεις όπως είναι τα διαμερίσματα.

Σύμφωνα με τις απαιτήσεις του πρωτοτύπου, ζητείται ένα πακέτο δεδομένων για την ανάπτυξη της εφαρμογής. Τέτοια είναι:

- Ένας τοπογραφικός χάρτης και ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους.
- Κτηματολογικά στοιχεία, που περιλαμβάνουν τα όρια και τα χαρακτηριστικά των κτηματολογικών αντικειμένων και γεωτεμαχίων.
- Πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση εγγραφής των αγροτεμαχίων, κτηρίων, εγκαταστάσεων και κατασκευών.
- Τεχνικά έγγραφα, συμπεριλαμβανομένων των κατόψεων.

Για την συγκεκριμένη εφαρμογή επιλέχθηκαν να μελετηθούν τρεις περιπτώσεις:

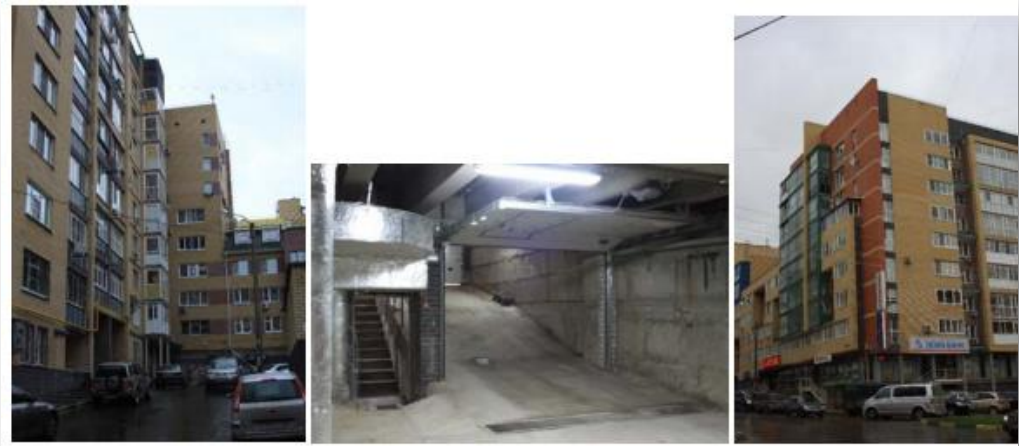
1. Το κτήριο Teledom. Αυτό είναι ένα πολυεπίπεδο κτήριο γραφείων με ένα υπόγειο χώρο στάθμευσης και περιλαμβάνει ένα μεγάλο αριθμό μονάδων με διάφορους τύπους εγγεγραμμένων δικαιωμάτων. Ένα μέρος του προεξέχει πάνω από το δρόμο και ένα άλλο μέρος βρίσκεται πάνω από άλλο κτήριο γειτονικού γεωτεμαχίου (εικόνα 29). Μόνο το υπόγειο εκπροσωπείται εντός του γεωτεμαχίου σε 2D χάρτη. Οι όροφοι του κτηρίου βρίσκονται είτε σε μορφή εικόνας DWG είτε αποτελούν σκαναρισμένες εικόνες οι οποίες είναι γεωαναφερμένες κατά προσέγγιση από κτηματολογικά τεμάχια ή οδούς δρόμων. Το υπόγειο και οι δύο πρώτοι όροφοι ανήκουν σε μια τράπεζα. Ο δεύτερος ιδιοκτήτης έχει στην κτήση του μια στήλη του κτηρίου, δηλαδή του ανήκει ο ίδιος χώρος σε κάθε όροφο και μισθώνει κάθε όροφο σε διαφορετικούς χρήστες. Πρέπει να αναφερθεί ότι στη Ρωσία, αν η μίσθωση είναι πάνω από ένα χρόνο τότε αυτή πρέπει να καταγραφεί. Επομένως αυτό το

κτήριο διαθέτει 20 μονάδες οι οποίες ανήκουν σε 10 διαφορετικούς ιδιοκτήτες. Όπως είναι κατανοητό, το συγκεκριμένο κτήριο είναι μια εξαιρετικά πολύπλοκη και ασυνήθιστη περίπτωση που μελετήθηκε με μεγάλο ενδιαφέρον για την δημιουργία του προτύπου.



Εικόνα 29: Το κτήριο Teledom και το περιβάλλον του (πηγή: Elizarova, 2012)

2. Ένα συγκρότημα διαμερισμάτων με υπόγειο parking. Αυτή η οντότητα χαρακτηρίζεται από μεγάλο αριθμό δικαιούχων, διαφόρων τύπων δικαιωμάτων και περιορισμών που έχουν καταχωρηθεί όπως είναι η ιδιοκτησία, η μίσθωση, κ.λπ. Περιλαμβάνει πνευματικά δικαιώματα για 88 μονάδες στέγασης και 7 μονάδες για μη οικιακούς σκοπούς ενώ ο υπόγειος χώρος στάθμευσης αυτοκινήτων τους ανήκει από κοινού. Υπάρχουν 6 εγγεγραμμένες υποθήκες σε κατοικίες. Το αγροτεμάχιο τους ανήκει από κοινού και αποτελεί το λεγόμενο ημιτελή αντικείμενο (αντικείμενο υπό κατασκευή) βάσει της εγγραφής. Η εικόνα 30 αποτυπώνει αυτή την περίπτωση.



Εικόνα 30: Συγκρότημα διαμερισμάτων με υπόγειο παρκινγκ (Πηγή: Elizarova, 2012)

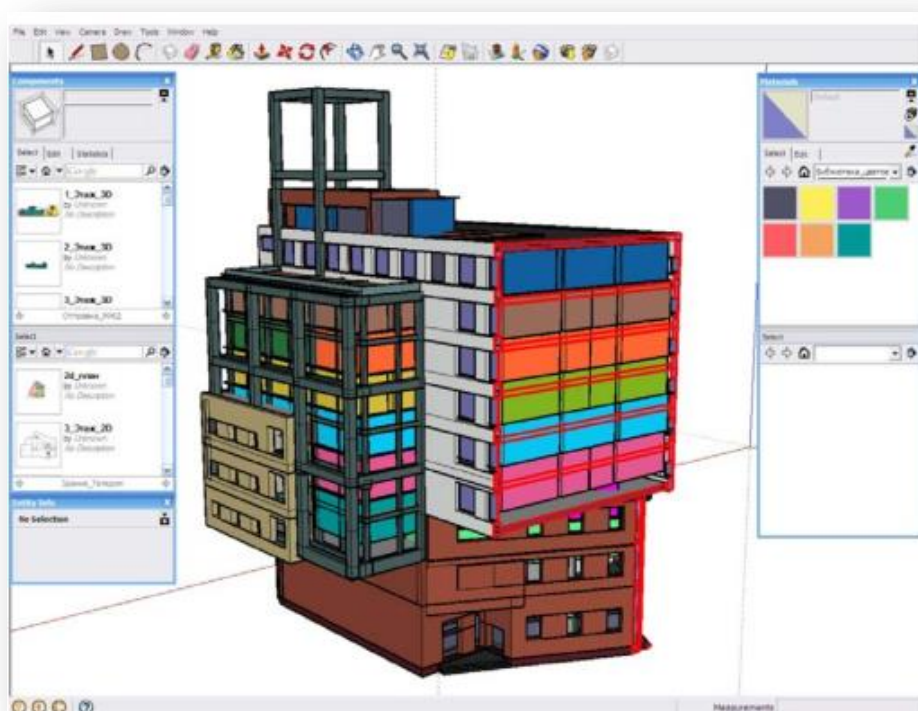
3. Ένας μέσης πίεσης αγωγός φυσικού αερίου. Περιλαμβάνει υπόγεια και υπερυψωμένα τμήματα, και ανήκει στην εταιρεία Nizhegorodoblgaz. Ο αγωγός αυτός διατρέχει αρκετά αγροτεμάχια με διαφορετικούς ιδιοκτήτες. Το συνολικό μήκος αυτής της γραμμής είναι 285.7m, με 12,5m. πάνω από το έδαφος και 273.2m κάτω από το έδαφος (εικόνα 31).



Εικόνα 31: Περίπτωση αγωγού πίεσης (Πηγή: Elizarova, 2012)

Το όνομα του έργου είναι «Μοντελοποίηση του 3D Κτηματολογίου στη Ρωσία» και δίνει έμφαση στη δημιουργία του μοντέλου των κτηρίων. Το μοντέλο αυτό θα

αποτελεί τη βάση για την αρχική εγγραφή, την αποθήκευση των δεδομένων, την επεξεργασία και την εφαρμογή ερωτημάτων επί των δεδομένων. Το μοντέλο εφαρμόστηκε στις επιλεγμένες περιπτώσεις οι οποίες αναφέρθηκαν με σκοπό να εντοπιστούν και να αποκτηθούν οι απαιτούμενες γνώσεις γύρω από τις τεχνικές, οργανωτικές και νομικές επιπτώσεις της τρισδιάστατης πληροφορίας. Προκειμένου να βελτιστοποιηθεί το 3D κτηματολογικό πρωτότυπο χρησιμοποιώντας κατόψεις και πρόσθετες πληροφορίες, τα 3D μοντέλα των κτηρίων αναπτύχθηκαν έτσι ώστε να αντανακλούν τα χαρακτηριστικά του όγκου των χώρων με την ταυτόχρονη απεικόνιση των αντίστοιχων δικαιούχων με συμβατικά χρώματα (εικόνα 32).



Εικόνα 32: το κτήριο Teledom με τα τρισδιάστατα τμήματα του σχεδιασμένα στο Google Sketchup (Πηγή: Elizarova, 2012)

Το πρωτότυπο αναπτύχθηκε έτσι ώστε να συγκεντρώσει τις απαιτήσεις για τη λειτουργικότητα μιας 3D κτηματολογικής θέασης που θα μπορούσε να εμφανίσει τόσο τα 3D αντικείμενα όσο και τις νομικές κτηματολογικές πληροφορίες αυτών των αντικείμεμων. Το πρωτότυπο λειτουργεί με τον Internet Explorer και Firefox σε συνδυασμό με μια προέκταση (plugin) για την οπτικοποίηση και την αλληλεπίδραση με τα 3D αντικείμενα.

Το πρωτότυπο υποστηρίζει την επιλογή πολλαπλών ιδιοτήτων (το όνομα του ιδιοκτήτη, id των κτηματολογικών αντικειμένων, διεύθυνση, κλπ.). Υπάρχει η επιλογή για την εμφάνιση των προσωπικών δεδομένων ή όχι (ανάλογα με το δικαίωμα πρόσβασης του χρήστη), εμφάνιση/αποκρύψης επίπεδων, όπως στον 2D κτηματολογικό χάρτη, και εμφάνισης/απόκρυψης στοιχείων στο 3D μοντέλο όπως

κατόψεις, τοίχους ή όλα τα στοιχεία που δεν έχουν επιλεγεί από τον χρήστη εκείνη τη στιγμή. Για κάθε 3D αντικείμενο, μια σύνδεση με μια φωτογραφία ή web σελίδα μπορούν να συμπεριλαμβάνεται.

Μέσα από την διαδικασία υλοποίησης αυτής της εργασίας προέκυψε ότι όταν ένα νέο 3D νομικό αντικείμενο καταγράφεται στη βάση δεδομένων αυτό πρέπει να οπτικοποιηθεί και να ελεγχθεί για την ακρίβεια του, εάν είναι κλειστό πολύγωνο και αν επικαλύπτεται με άλλα εγγεγραμμένα 3D νομικά αντικείμενα. Αυτός ο έλεγχος είναι απαραίτητος για την συνοχή και την ποιότητα του μοντέλου. Για να είναι εφικτό αυτό πρέπει οπωσδήποτε να υπάρχει βάση δεδομένων με γεωαναφερμένες 3D αναπαραστάσεις των προηγούμενων καταγεγραμμένων 3D δικαιωμάτων.

Επίσης, σύμφωνα με την εφαρμογή που έγινε είναι εφικτό να διατυπωθούν κάποιες κατευθυντήριες γραμμές προκειμένου να προσδιορισθεί ο τρόπος με τον οποίο στο μέλλον μπορούν να εγγράφονται τα 3D γεωτεμάχια στη Ρωσία. Έτσι:

- Πρέπει να παρέχονται σε τα 3D οικόπεδα σε μορφή PDF καθώς και τα 3D δεδομένα σύμφωνα με το υποστηριζόμενο LADM.
- Το 3D πολύεδρο είναι ικανοποιητικό για τα κανονικά γεωτεμάχια.
- Για τα 3D γραμμικά οικόπεδα καθώς και για τους σωλήνες θα πρέπει αν υπάρχει ως πρόσθετη πληροφορία μια επισυναπτόμενη διάμετρος ή ύψος ή πλάτος.
- Νέα 3D οικόπεδα που ανήκουν σε πολλαπλές αγροτεμάχια αποτελούν μια μεταβίβαση της κυριότητας.
- Ένα 3D οικόπεδο παίρνει ένα (προσωρινό) ID και όγκο (m3).
- Ως παραπομπή, απαιτούνται τα ακόλουθα τοπογραφικά αντικείμενα: 3D κτίρια (δωμάτια), δρόμοι, αγωγοί και καλώδια και οι σχετικές επιφάνειες με τα ύψη τους.
- Ακρίβεια ενός 3D αντικειμένου είναι ίση με ενός 2D αντικειμένου (15 cm). Μία πλευρική επιφάνεια πρέπει να είναι 15 cm εντός μίας οριζόντιας επιφάνειας.
- Υψομετρικές (z) συντεταγμένες: απαιτούνται οι απόλυτες ενώ οι σχετικές είναι προαιρετικές.
- Οι καμπύλες επιφάνειες θα πρέπει να προσεγγιστούν από πολλαπλές ακμές.

1.15 Τεχνικές προδιαγραφές Κτηματολογίου

Σκοπός των κτηματογραφήσεων των αστικών κέντρων, των αγροτικών εκτάσεων και των λοιπών περιοχών της χώρας είναι η σύνταξη των κτηματολογικών διαγραμμάτων και των κτηματολογικών φύλλων και πινάκων σε ψηφιακή μορφή που απαιτούνται για τη δημιουργία και τη λειτουργία του Εθνικού Κτηματολογίου σε ολόκληρη την χώρα. Το αποτέλεσμα της επεξεργασίας της χωρικής πληροφορίας που συλλέγεται κατά την διάρκεια της κτηματογράφησης έως την ανάρτηση και έως την περαιώση της κτηματογράφησης απεικονίζεται αντίστοιχα στα προσωρινά και στα τελικά κτηματολογικά διαγράμματα. Τα κτηματολογικά διαγράμματα θα πρέπει να απεικονίζουν το σύνολο των γεωτεμαχίων / ακινήτων που περιλαμβάνονται στους κτηματολογικούς πίνακες. Η χωρική πληροφορία απεικονίζεται στα κτηματολογικά διαγράμματα ανεξαρτήτως κλίμακας υπό την μορφή:

- γραμμικών στοιχείων: Αυτή η περίπτωση αποτελείται από ένα σύνολο γραμμών και χρησιμοποιείται όταν επιτρέπεται να υπάρχουν κενά όπως ασυνέχειες μεταξύ των ορίων. Τέτοια είναι όρια δουλειών, ειδικά ιδιοκτησιακά αντικείμενα, όρια γεωτεμαχίων κ.α.
- κειμένου: οι χωρικές ενότητες δεν περιγράφονται με συντεταγμένες αλλά λεκτικά σε συνάρτηση με την απόσταση, την διεύθυνση από σημεία ενδιαφέροντος. Τέτοια είναι κωδικοί γεωτεμαχίων, κτηματολογικών ενοτήτων και τομέων, κωδικοί κτηρίων, τοπωνύμια, ονομασίες οδών, Τοπικών διαμερισμάτων, νομών κλπ.
- σημειακών στοιχείων: περιλαμβάνει τις συντεταγμένες σημείων αναφοράς. Αναφέρεται και αναπαριστά κτίσματα, αυτοτελή σημειακά ειδικά ιδιοκτησιακά αντικείμενα, κτίρια υπό κατασκευή, σημεία ενδιαφέροντος, αρχαία μνημεία, πλατείες.
- σχεδίου: πρόκειται για ένα απλό σχέδιο και χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση της χωρικής ενότητας όταν δεν είναι διαθέσιμη κάποια καλύτερη περιγραφή.
- πολυγωνικών στοιχείων: χρησιμοποιείται όταν κάθε χωρική ενότητα καταγράφεται ως ξεχωριστή οντότητα. Όμως δεν υπάρχει κάποια τοπολογική σύνδεση μεταξύ των γειτονικών χωρικών ενοτήτων.
- τοπολογικών στοιχείων: αποτελούν μια συνεχή τοπολογική δομή, χωρίς κενά, επικαλύψεις και τομές. Χρησιμοποιείται όταν οι χωρικές ενότητες συνδέονται μέσω των μεταξύ τους ορίων. Μια τοπολογική χωρική ενότητα, είναι κωδικοποιημένη σε συνάρτηση με τα όρια της και κάθε κοινό όριο μεταξύ δύο τέτοιων ενοτήτων αποθηκεύεται μόνο μια φορά.

Τα ψηφιακά διαγράμματα κατά το παρελθόν συντάσσονταν με ακρίβεια που αντιστοιχούσε σε κλίμακα 1: 1000 για αστικές και περιαστικές περιοχές σε κλίμακα 1:5000 για αγροτικές περιοχές σε κλίμακες 1: 10000 ή 1: 20000 για τις υπόλοιπες περιοχές. Οι χρησιμοποιούμενες μέθοδοι αποτύπωσης ήταν τόσο οι επίγειες όσο και φωτογραμμετρικές μέθοδοι. Σύμφωνα με το ΦΕΚ 639 Β'/19.7.1995 :

Η σύνταξη των ψηφιακών κτηματολογικών διαγραμμάτων σε αστικές και περιαστικές περιοχές στηριζόταν σε τοπογραφικά υπόβαθρα κλίμακας 1: 1000, τα οποία, κατά την κρίση του ΟΚΧΕ, και ύστερα από πρόταση του αναδόχου ήταν :

- (α) φωτογραμμετρικά διαγράμματα, σε ψηφιακή μορφή
- (β) τοπογραφικά διαγράμματα με επίγειες τοπογραφικές μεθόδους, σε ψηφιακή μορφή.
- (γ) υπάρχοντα αξιόπιστα τοπογραφικά διαγράμματα, τα οποία είχαν συνταχθεί με επίγειες ή με φωτογραμμετρικές μεθόδους.
- (δ) υπάρχοντα αξιόπιστα κτηματογραφικά διαγράμματα που είχαν συντάχθηκαν στα πλαίσια συναφών δραστηριοτήτων (π.χ. πράξεις εφαρμογής της ΕΠΑ).

Η σύνταξη των κτηματολογικών διαγραμμάτων σε αγροτικές περιοχές στηριζόταν, ανάλογα με την μορφολογία του εδάφους και τα διατιθέμενα στοιχεία, σε τοπογραφικά υπόβαθρα κλίμακας 1: 5000 τα οποία, κατά την κρίση του ΟΚΧΕ και ύστερα από πρόταση του αναδόχου ήταν:

- (α) φωτογραμμετρικά διαγράμματα σε ψηφιακή μορφή
- (β) ψηφιακοί ορθοφωτοχάρτες
- (γ) υπάρχοντα αξιόπιστα τοπογραφικά διαγράμματα
- (δ) υπάρχοντα αξιόπιστα κτηματογραφικά διαγράμματα.

Η γεωμετρική ακρίβεια των τοπογραφικών υποβάθρων και των κτηματολογικών διαγραμμάτων ελεγχόταν ως προς τα σφάλματα αποτύπωσης σημείων που ήταν ευκρινή στα υπόβαθρα και καλά προσδιορισμένα στο έδαφος.

Οι μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές αποκλίσεων μεταξύ των ψηφιακών και των μετρημένων στο πεδίο μεγεθών συντεταγμένων και αποστάσεων (ανοχές – U₀) είχαν ως εξής :

Κλίμακα	Ανοχή U ₀ (μ)
1: 1000	0,40

1: 2000	0,80
1: 5000	2,00
1: 10000	4,00

Το μέσο επιτρεπτό τετραγωνικό σφάλμα (M_0) προσέγγιζε τις παραπάνω τιμές για ένα σχετικά μικρό πλήθος μετρήσεων ελέγχου (π.χ. $n=8$), και σύμφωνα με τις Τεχνικές Προδιαγραφές, δινόταν από τον εμπειρικό τύπο:

$$M_0 = 1,032 * U_0 * \frac{\sqrt{2n-1}}{\sqrt{2n}}$$

Με το Γ' ΚΠΣ αξιοποιούνται οι πρόσφατες εξελίξεις της τεχνολογίας έτσι ώστε να οργανωθεί και να προετοιμαστεί αποτελεσματικότερα και οικονομικότερα η συνέχιση και ολοκλήρωση της σύνταξης του Εθνικού Κτηματολογίου στη Χώρα. Έτσι, εκτός από τις συνηθισμένες διαδικασίες αποτύπωσης (επίγειες, φωτογραμμετικές) χρησιμοποιείται και το HEPOS. Αυτό, αποτελεί ένα Ελληνικό σύστημα εντοπισμού το οποίο χρησιμοποιεί τεχνολογίες GPS για να προσδιορίσει τις συντεταγμένες των σημείων σε μικρό χρονικό διάστημα, με μικρό κόστος και με μεγάλη ακρίβεια (2-4 cm σε πραγματικό χρόνο) για κάθε μέτρηση.

Σύμφωνα με το ΦΕΚ 3370 Β'/17.12.2012, οι γεωμετρικές ακρίβειες για τα Ελληνικά πρότυπα ακολουθούν πλέον τα εξής:

Τα κτηματολογικά διαγράμματα πρέπει να απεικονίζουν τα όρια των γεωτεμαχίων με τη γεωμετρική ακρίβεια του αντίστοιχου τύπου διαγράμματος. Η ακρίβεια ελέγχεται ως προς τα σφάλματα στην αποτύπωση των σημείων υλοποιημένων ορίων τα οποία είναι ευκρινή και σαφώς προσδιορισμένα στο έδαφος. Συγκεκριμένα, στις αστικές περιοχές ισχύει ότι η επιθυμητή ακρίβεια είναι $RMSE_x \leq 0.40m$, $RMSE_y \leq 0.40m$, $RMSE_{xy} \leq 0.56m$ και απόλυτη ακρίβεια $\leq 0,98$ για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% και για κλίμακα 1/1000. Για τις αγροτικές περιοχές ισχύει ότι η επιθυμητή ακρίβεια για κλίμακα 1/5000 είναι $RMSE_x \leq 1.00m$, $RMSE_y \leq 1.00m$, $RMSE_{xy} \leq 1.41m$ και απόλυτη ακρίβεια $\leq 2,45$ για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Η γεωμετρική ακρίβεια ανάλογα με τον τύπο κτηματολογικού διαγράμματος απεικονίζεται στον πίνακα που ακολουθεί στον οποίο συνοψίζονται όλες οι απαιτήσεις οριζοντιογραφικής ακρίβειας (χ, ψ) οι οποίες πρέπει να πληρούνται από τα κτηματολογικά διαγράμματα προκειμένου να γίνουν αποδεκτά από την ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. Πρέπει να σημειωθεί ότι δεν υπάρχουν απαιτήσεις ακριβείας ως προς την συντεταγμένη του υψομέτρου (z). Για τις περιπτώσεις εκείνες όπου από τους παραπάνω ελέγχους προκύπτει ότι δεν ικανοποιούνται οι ζητούμενες ακρίβειες, τα παραδοτέα χωρικά κτηματολογικά στοιχεία απορρίπτονται και ζητείται από τον ανάδοχο η διόρθωση και επανυποβολή τους.

Το τρισδιάστατο Κτηματολόγιο, για να δημιουργηθεί και να εφαρμοστεί, απαιτεί την διατύπωση ενός συνόλου κανόνων που πρέπει να ακολουθηθούν ώστε αυτή να είναι εφικτή. Για κάθε χώρα λοιπόν, πρέπει να είναι γνωστές οι προδιαγραφές ακριβείας των συντεταγμένων οι οποίες είναι αποδεκτές προκειμένου να δημιουργηθούν 3D μοντέλα σύμφωνα με αυτές.

Συνεπώς, οι προδιαγραφές του τρισδιάστατου Κτηματολογίου πρέπει να υπακούουν σε αυτές που έχουν οριστεί οριζοντιογραφικά για το δισδιάστατο Κτηματολόγιο. Εφόσον μέχρι στιγμής δεν έχει κατοχυρωθεί νομικά η απόδοση της τρίτης διάστασης δεν υπάρχει πρόβλεψη των σχετικών τιμών που είναι αποδεκτές για το ύψος. Παρόλα αυτά είναι πολύ σημαντικό, καθώς από αυτό εξαρτάται ο σωστός υπολογισμός του όγκου των κτηρίων και κατά συνέπεια η καταγραφή και η κατοχύρωση των δικαιωμάτων.

Πίνακας 2: Κριτήρια Γεωμετρικής Ακρίβειας των Κτηματολογικών διαγραμμάτων (ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΑΕ,2007)

Είδος Ελέγχου	Αστικές Περιοχές	Αγροτικές Περιοχές
1. RMSE _{xy} , όπως αυτό προκύπτει από τη σύγκριση σημείων γνωστών Συντεταγμένων στο έδαφος με τις συντεταγμένες των ίδιων σημείων στα κτηματολογικά διαγράμματα.	RMSE _x ≤ 0.40m RMSE _y ≤ 0.40m RMSE _{xy} ≤ 0.56m	RMSE _x ≤ 1.00m RMSE _y ≤ 1.00m RMSE _{xy} ≤ 1.41m
2. Απόλυτη ακρίβεια	Απόλυτη ακρίβεια ≤ 0,98 (RMSE _{xy} * 1.73 m) για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%	Απόλυτη ακρίβεια ≤ 2,45 (RMSE _{xy} * 1.73 m) για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%

2. Το σύστημα LiDAR και οι δυνατότητες του¹

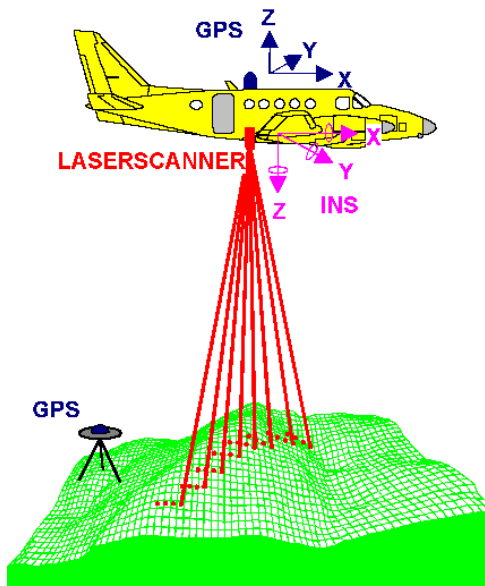
¹ Το κεφάλαιο αυτό βασίζεται κατά κύριο λόγο στην διδακτορική διατριβή της Α. Πόθου (2012)

2.1 Γενικά χαρακτηριστικά του συστήματος LiDAR

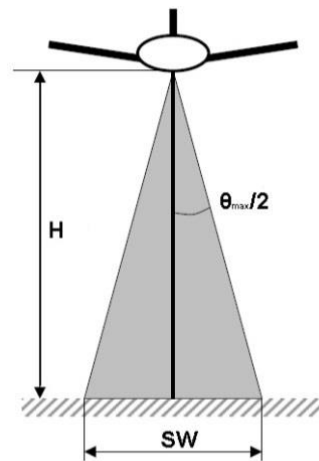
Η τεχνολογία LiDAR (Light Detection And Ranging) είναι μια από τις πιο πρόσφατες μεθόδους συλλογής τρισδιάστατης πληροφορίας για την φυσική γήινη επιφάνεια αλλά και για άλλα αντικείμενα ενδιαφέροντος. Τα ιδιαίτερα πλεονεκτήματά της την έχουν κατατάξει ως μια από τις σημαντικότερες σύγχρονες τεχνολογίες απόκτησης γεωχωρικών δεδομένων. Τα συστήματα LiDAR ανήκουν στην κατηγορία των ενεργών τηλεπισκοπικών συστημάτων και ειδικότερα σε αυτήν των εκπεμπόμενων παλμών laser. Βασιζόμενα στη γνωστή τεχνική της μέτρησης του χρόνου που μεσολαβεί μεταξύ της εκπομπής του παλμού laser και της επιστροφής του, επιτυγχάνουν τον προσδιορισμό της απόστασης μεταξύ του κέντρου της συσκευής και του εκάστοτε σημείου ανάκλασης.

Δύο από τα συχνά αναφερόμενα χαρακτηριστικά του LiDAR είναι η μεγάλη πυκνότητα των σημείων και η επιτυγχανόμενη μεγάλη χωρική ακρίβεια. Ενδεικτικά, θεωρώντας συνεχόμενη λειτουργία του laser και 97% πιθανότητα καλής επιστροφής για κάθε παλμό, σε μια ώρα συλλογής δεδομένων με 50kHz συχνότητα παλμών (δηλαδή 50000 εκπομπές το δευτερόλεπτο), το σύστημα συλλέγει 175 εκατομμύρια σημεία. Οι Baltsavias (1999b), Maas (2002) και Shrestha et al. (1999) αναφέρουν ότι η υψομετρική ακρίβεια στο έδαφος είναι της τάξης των 15cm ή και καλύτερη, ενώ αντίθετα η οριζοντιογραφική ακρίβεια είναι δύσκολο μεν να ποσοτικοποιηθεί, γενικώς δε είναι λίγο χειρότερη από την κατακόρυφη. Ο όγκος των δεδομένων είναι προφανώς πολύ μεγάλος και για αυτό η διαχείριση των αρχείων που δημιουργούνται και οι τρόποι ανταλλαγής και επεξεργασίας τους αποτελούν σημαντικό αντικείμενο μελέτης.

Το σύστημα του LiDAR περιέχει το Σύστημα πλοήγησης (IMU, POS) που αποτελείται από Σύστημα Εντοπισμού Θέσης (GPS) και Αδρανειακό Σύστημα Πλοήγησης (INS). Επίσης διαθέτει Επίγειους σταθμούς GPS. Στην εικόνα 33, απεικονίζεται η βασική ιδέα του συνδυασμού LiDAR, GPS, INS. Από τον συνδυασμό των 3D διανυσμάτων απόστασης, με την θέση και τον προσανατολισμό του δέκτη να προέρχονται από το σύστημα πλοήγησης GPS/INS, υπολογίζονται οι συντεταγμένες X, Y και Z των σημείων που ανακλούν την δέσμη. Αντίστοιχα στην εικόνα 34 απεικονίζονται οι βασικές παράμετροι εναέριας σάρωσης δηλαδή το ύψος πτήσης H, η γωνία σάρωσης θ_{\max} και το πλάτος της λωρίδας σάρωσης SW (swath width) (Πόθου 2012).



Εικόνα 33: Συνδυασμός LiDAR, GPS, INS



Εικόνα 34: βασικές παράμετροι εναέριας σάρωσης

Το σύστημα που αναφέρθηκε παρουσιάζει ορισμένους θορύβους οι οποίοι σε κάθε μελέτη πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. Για παράδειγμα ο θόρυβος στον προσανατολισμό από GPS/INS επιδρά σημαντικά στην περιοχή του ναδίρ και λιγότερο στις περιοχές εκτός ναδίρ. Συγκεκριμένα αναφέρεται η επίδραση του θορύβου του συστήματος LiDAR στο σημειοσύνολο.

- Ο θόρυβος του GPS οδηγεί σε ομοιόμορφο επίπεδο θορύβου στο σύνολο του σημειοσυνόλου LiDAR. Επίσης η επίδραση είναι ανεξάρτητη από το ύψος πτήσης και την γωνία σάρωσης.
- Ο γωνιακός θόρυβος (στον προσανατολισμό LiDAR ή στην γωνία του κατόπτρου) είναι αυτός που επηρεάζει περισσότερο τις οριζοντιογραφικές συντεταγμένες από ό,τι τις κατακόρυφες. Η επίδραση αυτή εξαρτάται από το ύψος πτήσης και την γωνία σάρωσης.
- Ο θόρυβος στην μέτρηση της απόστασης επιδρά κυρίως στην κατακόρυφη συνιστώσα. Η επίδραση είναι ανεξάρτητη από το ύψος πτήσης αλλά εξαρτάται από την γωνία σάρωσης.

Η απόσταση σάρωσης (D) μεταξύ του αποστασιομέτρου laser και του αντικειμένου δίνεται από την σχέση (1.1), όπου c είναι η ταχύτητα του φωτός και t_L ο χρόνος που απαιτείται για να διανύσει ο παλμός την απόσταση. Οι αποστάσεις υπολογίζονται με ακρίβεια από το πλήρες χρονικό ταξίδι των παλμών laser που εκπέμπονται από τον

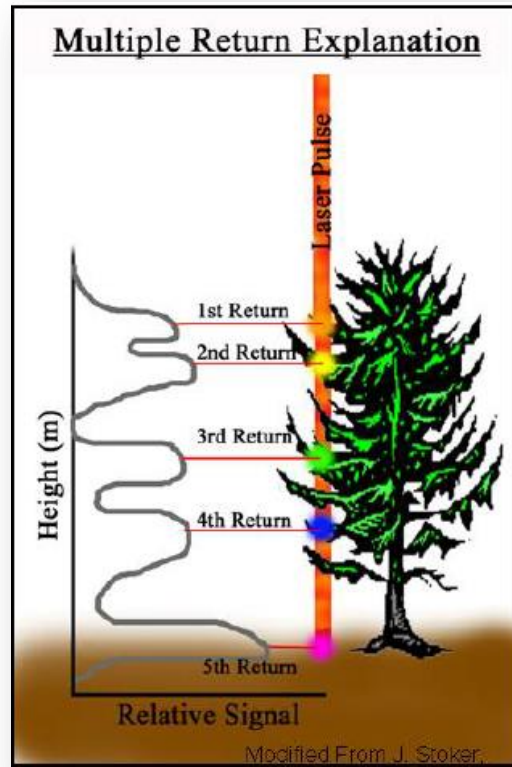
δέκτη, ανακλώνται στο έδαφος ή σε αντικείμενο επί της επιφάνειας του εδάφους και

$$\text{επιστρέφουν στον δέκτη: } D = \frac{1}{2} c \cdot t_L \quad (1.1)$$

Το LiDAR αποτελεί έναν εναλλακτικό δέκτη, ο οποίος παράγει δεδομένα που δεν ήταν δυνατό να αποκτηθούν μέχρι την εμφάνισή του. Δεν φιλοδοξεί να αντικαταστήσει τους συμβατικούς δέκτες (π.χ. Μηχανές αεροφωτογραφίσεων), αλλά λειτουργεί συμπληρωματικά. Η καταγραφή του «πρώτου παλμού» επιτρέπει την αποτύπωση των ψηλότερων αντικειμένων, ενώ η καταγραφή του «τελευταίου παλμού» χρησιμοποιείται για την αποτύπωση του εδάφους. Πρέπει να σημειωθεί ότι για μεγάλες γωνίες σάρωσης οι ακτίνες laser παγιδεύονται στη βλάστηση με αποτέλεσμα να είναι αδύνατο να παραχθεί DEM του εδάφους στις θέσεις αυτές, δεδομένου ότι δεν υπάρχουν σχετικές μετρήσεις. Τα πρωτογενή δεδομένα που παράγονται μέσω αυτής της διαδικασίας είναι σημεία XYZ. Οι διάφορες εφαρμογές έδειξαν ότι η ακρίβεια που παρέχουν υψομετρικά είναι 0.05-0.15 m ενώ οριζοντιογραφικά 0.30-1.00 m.

Μια περίπτωση πολλαπλών επιστροφών από έναν μοναδικό παλμό μπορεί να συμβεί όταν μια δέσμη φτάνει στην οροφή ενός κτηρίου. Εάν ο παλμός είναι αρκετά ευρύς, τότε ένα μέρος του μπορεί να χτυπήσει στην άκρη της στέγης του σπιτιού και η υπόλοιπη να καταλήξει στο έδαφος. Ο ανιχνευτής της επιστρεφόμενης δέσμης καταγράφει μια ανάκλαση από την στέγη και μια από το έδαφος ταυτόχρονα, παρέχοντας ταυτόχρονα δυο διαφορετικά υψόμετρα από έναν μόνο παλμό. Τα υψόμετρο που παράγεται από την οροφή αποτελεί τον πρώτο παλμό ενώ το υψόμετρο που παράγεται από το έδαφος αποτελεί τον τελευταίο παλμό.

Σε μια δασική περιοχή η κατάσταση είναι περισσότερο πολύπλοκη καθώς η δέσμη από το laser θα έχει πολλές επιστροφές έως ότου καταφέρει να φτάσει στο έδαφος. Η πρώτη επιστροφή θεωρείται ότι θα έρθει από την κορυφή των δέντρων, οι επόμενες από τα κλαδιά και την βλάστηση και ίσως η όγδοη επιστροφή να είναι αυτή από το έδαφος. Κάποιες φορές, που η βλάστηση είναι πιο πυκνή η δέσμη του φωτός δε την διαπερνά κι έτσι δεν φτάνει στο έδαφος.



Εικόνα 35:πολλαπλές επιστροφές από έναν παλμό

Η διαδικασία εναέριας σάρωσης με LiDAR που περιλαμβάνει τον προγραμματισμό πτήσης, την επιλογή του κατάλληλου συστήματος σάρωσης, την επεξεργασία και την αποθήκευση των δεδομένων, σε συνάρτηση με τις συνεχείς βελτιώσεις που λαμβάνουν χώρα με την πάροδο του χρόνου, είναι θέματα που απασχολούν εδώ και πολλά χρόνια τους μελετητές και τους χρήστες, καθώς αντανακλούν τις δυνατότητες ακρίβειας του τελικού προϊόντος αλλά και το κόστος απόκτησής του. Οι πλατφόρμες που χρησιμοποιούνται εξαρτώνται από την έκταση και το ανάγλυφο της περιοχής σάρωσης και μπορεί να είναι αεροσκάφη, ελικόπτερα ή και δορυφόροι. Η αύξηση του ανταγωνισμού μεταξύ των κατασκευαστών οδήγησε στη σημαντική μείωση του κόστους απόκτησης συστημάτων LiDAR, καθιστώντας την τεχνολογία αυτή ως μια οικονομική πηγή δεδομένων ακόμα και για ολόκληρες περιφέρειες ή και χώρες.

Στο στάδιο του προγραμματισμού πτήσης αποφασίζεται η πυκνότητα των σημείων που είναι αναγκαία ανάλογα με την εφαρμογή που θα γίνει, τον τύπο βλάστησης, τον τύπο εδάφους και κάποιων χαρακτηριστικών της περιοχής. Για παράδειγμα στην περίπτωση έντονης βλάστησης τα σημεία συλλέγονται με υψηλή πυκνότητα έτσι ώστε να αυξηθεί η πιθανότητα απόκτησης σημείων πάνω ή κοντά στο έδαφος. Επίσης, για τις αναπτυγμένες αστικές περιοχές συλλέγονται σημεία με υψηλή πυκνότητα ώστε να προσδιορισθούν όσο γίνεται καλύτερα οι κατασκευές και η

επιφάνεια του εδάφους. Σκοπός είναι να διατηρηθούν τα σημεία εκείνα που είναι απαραίτητα σε αριθμό και απολύτως χρήσιμα για την οπτικοποίηση του επιθυμητού χώρου.

Στα σύγχρονα συστήματα η καταγραφική μονάδα του δέκτη LiDAR αποθηκεύει την οριζοντιογραφική θέση του σημείου (X,Y), το υψόμετρό του (Z) αλλά και την τιμή της έντασης i (intensity) της επιστρεφόμενης ακτινοβολίας (X,Y,Z,i). Πρέπει να σημειωθεί ότι προφανώς η ένταση του επιστρεφόμενου σήματος είναι μικρότερη από την ένταση του εκπεμπόμενου σήματος και αυτό οφείλεται σε ενδεχόμενες ανακλάσεις του σε άλλες επιφάνειες, σε αναπόφευκτες επιδράσεις του μέσου διάδοσης αλλά και στην υφή των επιφανειών στις οποίες προσπίπτει και προκαλούν την αποδυνάμωσή του. Η ένταση (i) εκφράζεται στα περισσότερα συστήματα ως τιμή ανάλυσης 8bit, δηλαδή 256 διαφορετικών τιμών, όπου το 0 αντιστοιχεί σε μη επιστροφή του σήματος και το 255 σε πλήρη επιστροφή. Οι τιμές 0-255 μετατρέπονται σε ψηφιδωτή (raster) εικόνα με το πλεονέκτημα να δίνεται η δυνατότητα ερμηνείας των παραγόμενων 3D δεδομένων. Ως μειονέκτημα αυτών των εικόνων έντασης θεωρείται η μονοχρωματικότητα τους και η πιθανότητα εσφαλμένης δειγματοληψίας και παρεμβολής του επιστρεφόμενου σήματος (oversampling ή undersampling) καθώς επίσης και η σχετικότητα του σήματος που μπορεί να προκαλέσει σφάλμα στους υπολογισμούς (Πόθου, 2012).

Εφαρμογές για τις οποίες είναι χρήσιμη η εκμετάλλευση των νεφών σημείων:

- Παραγωγή Ψηφιακών Μοντέλων Εδάφους (Digital Elevation Models) με πυκνότητα μέχρι και είκοσι σημείων ανά τμ.
- Χαρτογράφηση δασικών εκτάσεων, προσδιορισμός ύψους δέντρων, δασικά μητρώα
- Παραγωγή Ψηφιακών Μοντέλων Πόλεων (Digital City Models) για ανάγκες μελετών τηλεπικοινωνιακών δικτύων και εφαρμογές GIS. Παραγωγή υψηλής ακρίβειας τρισδιάστατων μοντέλων για προσομοίωση πλημμυρών, θορύβου και ρύπανσης σε αστικές περιοχές.
- Παραγωγή Ψηφιακών Μοντέλων Εδάφους στον κατασκευαστικό και μεταλλευτικό τομέα (οδικά και σιδηροδρομικά έργα, μεγάλα χωματουργικά έργα, επιφανειακά ορυχεία) για ογκομετρήσεις εκσκαφών και επιχωμάτων.
- Ταχεία χαρτογράφηση παράκτιων ζωνών, έλεγχος διάβρωσης ακτών και αποτύπωση μεταβολών.
- Χαρτογράφηση περιοχών που καλύπτονται από πλημμύρες- Προσομοίωση πλημμυρών με χρήση υψηλής ακρίβειας Παραγωγή Ψηφιακών Μοντέλων Εδάφους.
- Χαρτογράφηση ηλεκτρικών γραμμών υψηλής τάσης με υψηλής ακρίβειας αποτύπωση αγωγών και πυλώνων. Απεικόνιση περιβάλλοντος χώρου (εδάφους και βλάστησης) για προσδιορισμό του ελεύθερου ύψους των αγωγών από τη στέψη της βλάστησης.

2.2 Προδιαγραφές

Ανεξάρτητα από τον κατασκευαστή, όλα τα συστήματα laser scanning περιγράφονται από ορισμένα χαρακτηριστικά. Αυτά είναι η ενέργεια παλμού (μJ), η διάρκεια παλμού (ns), ο ρυθμός επανάληψης παλμού (kHz), το οπτικό πεδίο ($^{\circ}$) και η ταχύτητα σάρωσης (Hz). Πρέπει να αναφερθεί ότι οι τιμές των χαρακτηριστικών αυτών μεταβάλλονται συνεχώς έτσι ώστε τα συστήματα να είναι σε θέση να ανταποκριθούν στις όλο και αυξανόμενες απαιτήσεις. Στον παρακάτω πίνακα (David F. Maune, 2007) αναφέρονται οι ικανότητες και οι λειτουργίες που διαθέτουν οι εμπορικοί δέκτες LiDAR.

Πίνακας 3: οι προδιαγραφές του συστήματος LiDAR (David F. Maune, 2007)

Προδιαγραφές	Τυπική Τιμή
Μήκος κύματος	1064 Nm
Ρυθμός Επανάληψης Παλμών	100-500 kHz
Ενέργεια Παλμού	100 μJ
Διάρκεια Παλμού	10 ns
Διασπορά	0.25-2 milliradian
Γωνία Σάρωσης	40-75 $^{\circ}$
Ταχύτητα Σάρωσης	100-400 Hz
Πρότυπο Σάρωσης	Ζιγκ-ζαγκ, ελλειπτικό, ημιτονοειδές, τριγωνικό, τετραγωνικό
Συχνότητα GPS	0,1-10 φορές το δευτερόλεπτο
Συχνότητα INS	50-200 φορές το δευτερόλεπτο
Ύψος πτήσης	80-5000 m
Ίχνος δέσμης στο έδαφος	0.25-2 m
Διάστημα κανάβου	0.2-2 m
Κατακόρυφο RMSEz	5+ cm

2.3 Κριτήρια επιλογής συστήματος σαρωτή

Οι σύγχρονες τάσεις των κατασκευαστών δεκτών LiDAR, αφορούν στην ανάπτυξη συστημάτων τα οποία να είναι εξίσου λειτουργικά και αποτελεσματικά σε μεγαλύτερα από τα συνήθη ύψη σάρωσης, να παρέχουν μεγαλύτερη συχνότητα παλμών και να καταγράφουν φυσικά την ένταση καθώς και περισσότερες από μία επιστροφές ανά παλμό. Επίσης επιδιώκεται τα συστήματα αυτά να μπορούν εύκολα να εγκαθίστανται σε πολλές και διαφορετικές πλατφόρμες, να μπορούν να συνδυάζονται ταυτόχρονα με ψηφιακές φωτομηχανές, να συνεργάζονται με μεγαλύτερη ποικιλία από δέκτες GPS και αδρανειακά συστήματα INS, να αποτελούνται από ελαφρύτερα και μικρότερα σε μέγεθος μέρη και τέλος να απαιτούν για την λειτουργία τους λιγότερη ενέργεια.

Τα συστήματα LiDAR χρησιμοποιούνται κυρίως σε αεροσκάφη, αλλά έχουν χρησιμοποιηθεί επιτυχώς και σε ελικόπτερα και, περιορισμένα, σε δορυφόρους (Baltsavias, 1999a, Wehr & Lohr 1999 και Hyypä et al. 2007). Το μέγιστο ύψος πτήσης περιορίζεται από την ισχύ του laser, την ευαισθησία του δέκτη και από τα προς σάρωση αντικείμενα με το χαμηλότερο υψόμετρο. Κατά τη διάρκεια αποτύπωσης με LiDAR, η ταχύτητα πτήσης περιορίζεται από τεχνικές παραμέτρους του συστήματος, όπως ο ρυθμός σάρωσης, η ικανότητα αποθήκευσης, αλλά και την απαίτηση των ομαλών ελιγμών οι οποίοι είναι απαραίτητοι προκειμένου να διατηρηθεί η επικάλυψη μεταξύ των λωρίδων σάρωσης και να διατηρηθούν σε μικρές τιμές τα σφάλματα πλοήγησης.

Τα ελικόπτερα είναι κατάλληλα για περιοχές όπου πρέπει να σαρωθεί λωρίδα μικρού εύρους (διάδρομοι αεροδρομίων, δρόμοι, ακτογραμμές, ποτάμια, γραμμές ενέργειας κ.ά.), τοπογραφικές και βυθομετρικές αποτυπώσεις κατά μήκος ακτογραμμής, μικρά αεροδρόμια, ανοικτά ορυχεία, όταν απαιτείται χαμηλό υψόμετρο πτήσης αλλά υψηλή ακρίβεια και υψηλή πυκνότητα σημείων και ακόμα όταν απαιτούνται συχνοί ελιγμοί λόγω είτε της εφαρμογής είτε του εδάφους. Η ταχύτητα πτήσης κατά τη διαδικασία της σάρωσης κυμαίνεται μεταξύ 40-90km/h για τα ελικόπτερα και 160-180km/h για τα αεροπλάνα. Σε κάποια συστήματα LiDAR, όπως είναι αυτά των εταιρειών Ortech και Toposys τα οποία εγκαθίστανται και σε δικινητήρια αεροπλάνα η ταχύτητα μπορεί να φτάσει έως και τα 280-350km/h. Τα τυπικά ύψη πτήσεων είναι 200-300m για τα ελικόπτερα ενώ για τα αεροπλάνα τα 500-1000m.

Ο σαρωτής επιλέγεται ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της περιοχής που θα σαρωθεί και το επιθυμητό τελικό προϊόν. Καθοριστικό ρόλο στην επιλογή έχει η ανακλαστικότητα των αντικειμένων (πχ. δασική περιοχή, κτήρια) που καθορίζει το βεληνεκές του σαρωτή. Επιφάνειες με μεγάλη ανακλαστικότητα επιτρέπουν τη χρήση σαρωτή μεγάλου βεληνεκού. Αντίθετα, αντικείμενα με μικρές τιμές ανακλαστικότητας δεν δίνουν ισχυρό σήμα επιστροφής, επομένως στην περίπτωση

αυτή ο σαρωτής πρέπει να έχει μικρότερο βεληνεκές, κάτι που παραπέμπει και σε χαμηλότερο ύψος πτήσης του αεροσκάφους. Οι πιο ευαίσθητοι σαρωτές λειτουργούν σε μήκη κύματος 800–1000nm που όμως εμπεριέχει κινδύνους για την ασφάλεια του ματιού κάτι που πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη. Μεγάλα μήκη κύματος εξασφαλίζουν και μεγάλο βεληνεκές.

2.4 Παράμετροι λειτουργίας του συστήματος LiDAR

Τα LiDAR εκπέμπουν ακτινοβολία laser σε μήκη κύματος στο φάσμα του εγγύς υπέρυθρου (near infrared), με υψηλές συχνότητες. Η ακτίνα του laser κατά την σάρωση κινείται στο κάθετο επίπεδο εκατέρωθεν του άξονα πτήσης, σχηματίζοντας δέσμη ορισμένου πλάτους.

Τα χαρακτηριστικά του LiDAR και του συστήματος εντοπισμού (POS) που το συνοδεύει, καθορίζουν την πυκνότητα σημείων κατά πλάτος της πτήσης, την ακρίβεια και την ανάλυση του υψομέτρου και την ακρίβεια της θέσης. Ο στόχος των κατασκευαστών είναι η κατασκευή σαρωτών laser που επιτυγχάνουν παλμό με επιθυμητά χαρακτηριστικά, εκμεταλλευόμενοι τις φυσικές ιδιότητες των laser, οι οποίες είναι η υψηλή ενέργεια ακτινοβολίας (high radiance L), το μικρό μήκος κύματος (short wavelength λ), το μικρό πλάτος φάσματος (narrow spectral width $\Delta\lambda$), η μικρή διάρκεια του παλμού (short pulse duration τ), ο υψηλός ρυθμός επανάληψης του παλμού (high pulse repetition rate PRF) και η μικρή απόκλιση της δέσμης laser (laser beam divergence γ) (Sizgoric, 2002). Έτσι, για παράδειγμα μεγάλη L έχει ως αποτέλεσμα υψηλότερο ύψος πτήσης, υψηλότερη κατακόρυφη ακρίβεια είναι αποτέλεσμα παλμού μικρότερης διάρκειας (τ), ενώ παλμός υψηλού ρυθμού επανάληψης εξασφαλίζει μεγάλη πυκνότητα δείγματος και η χρήση μικρού πλάτους φάσματος αποφέρει την ικανότητα λειτουργίας ημέρα και νύχτα.

Ο πίνακας 2 (Tempfli & Huurneman 2004) παρουσιάζει τις επιλογές παραμέτρων για τον προγραμματισμό πτήσης σε αστικές και δασικές ή καλλιεργημένες περιοχές, ώστε να αποφευχθούν κενά σάρωσης στις αστικές περιοχές και αντίστοιχα να υπάρχει ικανοποιητικό πλήθος σημείων εδάφους στις δασικές ή καλλιεργημένες περιοχές.

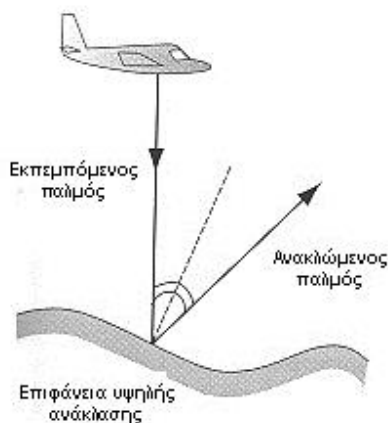
Πίνακας 4: Βέλτιστες επιλογές παραμέτρων LiDAR (Tempfli & Huurneman 2004)

Παράμετρος	Αστικές περιοχές	Δασικές, καλλιεργημένες περιοχές
Γωνία σάρωσης	Μικρή γωνία για να μειωθούν τα κενά σάρωσης	Μικρή γωνία για να διεισδύει η δέσμη ανάμεσα από τα φυλλώματα
Ρυθμός σάρωσης	Υψηλός ρυθμός για καλύτερη κατανομή των σημείων	Υψηλός ρυθμός ή χαμηλό ύψος πτήσης για να αυξηθεί η πιθανότητα λήψης σημείων εδάφους
Συχνότητα παλμού	Υψηλή συχνότητα για να	Υψηλή συχνότητα για περισσότερες

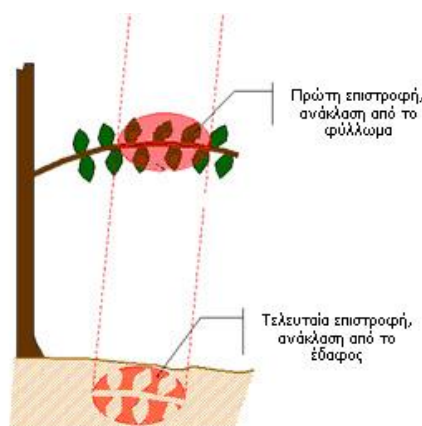
	εντοπισθούν ακμές επιστροφές και δυνατότητα κτηρίων φιλτραρίσματος
Ύψος πτήσης	Υψηλό ύψος πτήσης για να μειωθούν τα κενά σάρωσης Χαμηλό ύψος πτήσης για να αυξηθεί η πιθανότητα λήψης σημείων εδάφους
Ταχύτητα αεροσκάφους	Μικρή ταχύτητα αεροσκάφους για καλύτερη κατανομή των σημείων Μικρή ταχύτητα αεροσκάφους για να αυξηθεί η πιθανότητα λήψης σημείων εδάφους
Επικάλυψη λωρίδων σάρωσης	Μεγάλη για να μειωθούν τα κενά σάρωσης Μεγάλη ώστε να σαρωθούν περισσότερα σημεία και να μπορούν να φιλτραρισθούν. Αρκετό πλήθος εντούτοις θα παραμείνει στο επικαλυπτόμενο τμήμα ώστε να εντοπισθούν συστηματικά σφάλματα

Για την σωστή επιλογή του κατάλληλου μήκους κύματος του laser και του ύψους πτήσης, είναι σημαντική η γνώση της ανακλαστικότητας του εδάφους ή των προς αποτύπωση αντικειμένων, καθώς αυτή επιδρά στην ένταση του καταγραφόμενου σήματος επιστροφής και κατ' επέκταση και στην μετρούμενη απόσταση των σημείων LiDAR. Η ανακλαστικότητα ορίζεται ως η αναλογία της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε μια συγκεκριμένη επιφάνεια προς την ανακλώμενη ακτινοβολία από την επιφάνεια αυτή. Γενικά ισχύει ότι οι ονομαζόμενες σκληρές επιφάνειες, όπως για παράδειγμα οι ανθρώπινες κατασκευές π.χ. κτήρια, πεζόδρομοι κ.ο.κ. είναι υψηλής ανακλαστικότητας και για αυτό δεν εισάγεται σφάλμα, σε αντίθεση με άλλες επιφάνειες, π.χ. καλλιέργειες, φυλλώματα κ.ά.

Σε δασικές περιοχές ο εκπεμπόμενος παλμός μπορεί να διαπεράσει το φύλλωμα και να δώσει ανάκλαση και από το έδαφος. Η ικανότητα της ακτινοβολίας να διεισδύει στο φύλλωμα μειώνεται καθώς αυξάνονται οι γωνίες σάρωσης, δηλαδή μακριά από το ναδίρ (Petrie & Toth 2008a). Το νερό μπορεί να έχει ικανοποιητική επιστροφή εάν η γωνία σάρωσης είναι μικρότερη από 20°. Για γωνίες πρόσπτωσης μεγαλύτερες από 10°, αυξάνονται οι περιοχές που δεν επιστρέφουν ακτινοβολία και που συνήθως λέγονται περιοχές σκίασης. Σε αυτές σαρώνονται λιγότερα σημεία στο έδαφος και έτσι δημιουργούνται “σκοτεινές” περιοχές (occlusions) παρουσιάζοντας κενά στη σάρωση. Ειδικά όταν στην περιοχή υπάρχουν υψηλές κατασκευές όπως π.χ. κτήρια, η μεγάλη γωνία σάρωσης προκαλεί μείωση του αριθμού των επιστροφών σήματος από το έδαφος που κρύβεται από αυτά. Η δημιουργία περιοχών σκιάς, δηλαδή κενών περιοχών λόγω διάθλασης ή ανάκλασης της δέσμης, αντιμετωπίζεται με πολλαπλές σαρώσεις.



Εικόνα 36: Ανάκλαση παλμού laser από επιφάνεια με μεγάλη γωνία (Petrie & Toth 2008a)



Εικόνα 37: Πολλαπλές επιστροφές από ένα σήμα Laser (Morin 2002)

2.5 Δημιουργία ψηφιακού μοντέλου εδάφους (DEM)

Από την κάθε πτήση παράγονται νέφη σημείων μετά την επεξεργασία των οποίων προκύπτουν τα τελικά προϊόντα που είναι τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους (DEM) ή επιφανείας (DSM) και τα χαρακτηριστικά του εδάφους όπως κτήρια, δέντρα κ.ά. Τα περισσότερα διαθέσιμα πακέτα λογισμικού τηλεπισκόπησης ή εναέριας σάρωσης στην αγορά αφορούν κανονικοποιημένα δεδομένα και δεν μπορούν να διαχειρισθούν νέφος σημείων (point cloud) το οποίο συλλέγεται από το LiDAR. Έτσι το πρώτο βήμα είναι η μετατροπή των δεδομένων σε κάρναβο (rasterization). Όλα τα δεδομένα LiDAR τοποθετούνται σε κελιά τα οποία καθορίζονται με κάρναβο. Το μέγεθος των κελιών ορίζεται από την ανάλυση που απαιτείται στην εκάστοτε εργασία. Γενικά ισχύει ότι το μέγεθος του κελιού πρέπει να είναι μεγαλύτερο ή ίσο από το μεγαλύτερο διάστημα μεταξύ των γειτονικών σημείων laser για να διασφαλίσει ότι όλα τα κελιά περιέχουν τουλάχιστον ένα σημείο. Στην περίπτωση που περιλαμβάνονται περισσότερα από ένα σημεία μετά από επεξεργασία προκύπτει μια τελική τιμή.

2.6 LiDAR και Φωτογραμμετρία

Η τεχνολογία LiDAR είναι σχετικά καινούρια και ήρθε να συμπληρώσει τις παλαιότερες τεχνολογίες και μεθόδους μέσα στις οποίες είναι και η φωτογραμμετρία. Η φωτογραμμετρία είναι η τέχνη, η επιστήμη και η τεχνική που σκοπό έχει την εξαγωγή αξιόπιστης μετρικής πληροφορίας φυσικών αντικειμένων και του περιβάλλοντος μέσω των διαδικασιών της καταγραφής, μέτρησης και ερμηνείας φωτογραφικών εικόνων και άλλων πρότυπων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και φαινομένων. Στην ουσία αποτελεί μια τεχνική προσδιορισμού διαστάσεων, του σχήματος και της θέσης των αντικειμένων στο χώρο μέσω φωτογραφιών. Με την εισαγωγή της φωτογραμμετρίας εξάγονται μετρήσιμα χωρικά δεδομένα από τις

φωτογραφίες τα οποία μπορούν να αποτυπωθούν εκτός από το χαρτί σε μια σειρά ψηφιακών και τρισδιάστατων μέσων απεικόνισης.

Το LiDAR εμφανίστηκε ως εναλλακτική λύση της εναέριας Φωτογραμμετρίας για την παραγωγή Ψηφιακών Μοντέλων Εδάφους (DEM) ή Ψηφιακών Μοντέλων Επιφανείας (DSM) λόγω της ταχύτατης συλλογής δεδομένων, της πυκνότητας και της ακρίβειάς τους. Αρκετές χώρες, με πρώτη την Ολλανδία, έχουν ως στόχο την περιοδική ανανέωση του DEM τους μέσω μετρήσεων LiDAR. Η πρόσφατη ραγδαία ανάπτυξη των ολοένα και πιο ευέλικτων ψηφιακών μηχανών διευκόλυνε τον συνδυασμό τους με εναέρια συστήματα LiDAR.

Αποδεικνύεται με την πάροδο του χρόνου ότι το LiDAR δίνει ώθηση στις εφαρμογές και λύσεις σε προβλήματα που υπήρχαν, όπως η σάρωση παράκτιων ζωνών και δασοκαλυμμένων εκτάσεων, όπου είναι ιδιαίτερα δύσκολο να εντοπισθούν σημεία εδάφους από τις αεροφωτογραφίες. Η ενσωμάτωση των δύο τεχνολογιών είναι μια καλή προσέγγιση για την σαφέστερη περιγραφή της επιφάνειας του εδάφους. Τα μειονεκτήματα της μιας μεθόδου αντισταθμίζονται με τα πλεονεκτήματα της άλλης. Εργάζονται συμπληρωματικά και μπορούν να επεκτείνουν την χρήση τους μέσα από τα οφέλη της συγχώνευσής τους βελτιώνοντας την διαδικασία εξαγωγής DEM και παρέχοντας την απαραίτητη οπτική κάλυψη της περιοχής.

Τα κτήρια είναι ένα ιδανικό παράδειγμα για την ανάπτυξη της συμπληρωματικής φύσης των δύο μεθόδων. Το LiDAR παράγει υψηλής πυκνότητας σημεία, αλλά δεν είναι σε θέση να συλλέξει τις γραμμές ασυνέχειας, όπως για παράδειγμα τις ακμές κτηρίων. Η Φωτογραμμετρία από την άλλη μεριά, έχει την δυνατότητα ακριβούς εξαγωγής χαρακτηριστικών, με αδυναμία ακόμα στην πλήρη αυτοματοποίηση της διαδικασίας εξαγωγής τους από τις εικόνες.

Είναι ιδιαιτέρως σημαντικό να αναφερθεί ότι στην Φωτογραμμετρία η οριζοντιογραφική ακρίβεια είναι συνήθως 1/3 καλύτερη από ό,τι η υψομετρική, ενώ αντιθέτως στο LiDAR κατά 1/3 λιγότερο ακριβής. Στην υψομετρική ακρίβεια του LiDAR και ειδικά σε επικλινές έδαφος, μπορούν επίσης να επιδράσουν σημαντικά και τα οριζοντιογραφικά σφάλματα.

2.7 Πλεονεκτήματα των LiDAR

Το LiDAR παρέχει πλούτο πληροφοριών για διάφορες εφαρμογές και προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους εναέριας χαρτογράφησης. Η τεχνολογία αυτή αλλάζει την μέθοδο της αποτύπωσης εδάφους και κερδίζει δημοτικότητα σε πολλές εφαρμογές, όπως την απογραφή των δασών, τη χαρτογράφηση πλημμυρικών περιοχών, την υδρολογία, την γεωμορφολογία, τον αστικό σχεδιασμό. Μερικά από τα βασικά πλεονεκτήματα του LiDAR περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

- Τα δεδομένα μπορούν να συλλέγονται γρήγορα με πολύ μεγάλη ακρίβεια.
- Η διαδικασία είναι ως επί τον πλείστον αυτοματοποιημένη.

- Τα δεδομένα του εδάφους έχουν πολύ υψηλή πυκνότητα. Η υψηλή πυκνότητα του δείγματος βελτιώνει τα αποτελέσματα για ορισμένες εφαρμογές, όπως η οριοθέτηση πλημμυρικών περιοχών.
- Συλλέγουν υψομετρικά δεδομένα σε πυκνό δάσος, ενώ η φωτογραμμετρία αποτυγχάνει να αποδώσει την ακριβή επιφάνεια του εδάφους λόγω της πυκνής συγκόμωσης.
- Το LiDAR χρησιμοποιεί έναν ενεργό αισθητήρα φωτισμού και μπορεί να συλλέγει δεδομένα ημέρα ή νύχτα, σε αντίθεση με τις παραδοσιακές φωτογραμμετρικές τεχνικές που συλλέγουν δεδομένα μόνο κατά τη διάρκεια της ημέρας.
- Το LiDAR δεν έχει γεωμετρικές παραμορφώσεις
- Το LiDAR μπορεί να ενσωματωθεί σε άλλες πηγές δεδομένων.
- Διαθέτει την ικανότητα μέτρησης σε πολύ μεγάλες αποστάσεις (από μερικά μέτρα έως 100-120 χλμ.)

2.8 Ακρίβεια και ποιότητα LiDAR δεδομένων

Όπως αναφέρθηκε, ένα μεγάλο πλεονέκτημα του LiDAR είναι η ακρίβεια συλλογής δεδομένων. Το LiDAR είναι μια ακριβής, αποδοτική μέθοδο για τη συλλογή υψομετρικών τοπογραφικών δεδομένων για μεγάλες περιοχές (Fowler et al., 2007; NOAA, 2012). Η ακρίβεια των δεδομένων του ορίζεται από τους κατασκευαστές και παρουσιάζει την απόλυτη οριζοντιογραφική και κατακόρυφη ακρίβεια των επιμέρους σημείων του νέφους που συνολικά σχηματίζουν την επιφάνεια. Για να αποφασισθεί η τελική ακρίβεια για την επιφάνεια του εδάφους που έχει σχηματιστεί από LiDAR δεδομένα πρέπει να ληφθεί υπόψη η πυκνότητα των σημείων. Η ποιότητα των LiDAR δεδομένων εκφράζει το πόσο καλά αναπαριστούν αυτά τους κυματισμούς και τις ιδιομορφίες του εδάφους καθώς και την συνέχεια του. Ανεξάρτητα από το πόσο ακριβές είναι ένα σημείο, εάν δεν είναι γνωστή η πυκνότητα των σημείων για την απόδοση της συνέχειας του εδάφους, τα δεδομένα δε μπορούν να θεωρηθούν σωστά ή υψηλής ακρίβειας. Ένα πυκνό σύνολο σημείων μπορεί να προσομοιάσει πολύ καλά την επιφάνεια του εδάφους, ειδικά αν συγκριθεί με την επιφάνεια του εδάφους που έχει παραχθεί από TIN (Triangulated Irregular Network). Η απόφαση του επιθυμητού επιπέδου ακριβείας είναι πολύ σημαντικό μέρος της όλης διαδικασίας καθώς τα δεδομένα συλλέγονται έχοντας ως στόχο συγκεκριμένη ακρίβεια. Παρόλα αυτά δεν υπάρχει κάποιος οδηγός που να διευκρινίζει πόσα σημεία είναι αυτά που δίνουν στην επιθυμητή ακρίβεια για τον εκάστοτε σκοπό εργασίας. Έτσι, ο κάθε χρήστης προκειμένου να έχει μεγάλη ακρίβεια στην εργασία του, συλλέγει πολύ περισσότερα από όσα χρειάζονται για την επίτευξη της επιθυμητής ακρίβειας έχοντας ως

αποτέλεσμα την συλλογή τεράστιου όγκου δεδομένων. Έτσι, έχει γίνει επιτακτική η ανάγκη εύρεσης τρόπου προσδιορισμού των κατάλληλων σημείων καθώς και του απαραίτητου αριθμού για την καλύτερη απόδοση.

Τα συστήματα LIDAR είναι πολύπλοκα, συστήματα αισθητήρων τα οποία αποτελούνται από τουλάχιστον τρεις αισθητήρες, τους GPS και INS αισθητήρες πλοήγησης και το σαρωτή λέιζερ του συστήματος. Κατά συνέπεια, ένα κατάλληλο σύστημα βαθμονόμησης, περιλαμβανομένων των μεμονωμένων βαθμονομήσεων του αισθητήρα και ο συγχρονισμός μεταξύ των συστατικών του συστήματος είναι ζωτικής σημασίας για την επίτευξη της απαιτούμενης χαρτογραφικής ακρίβειας (Nora Csanyi May, Toth, 2007). Επιπλέον, εκτός από λάθη στις παραμέτρους της βαθμονόμησης, υπάρχουν πολλές άλλες πηγές λαθών που μπορεί να υποβαθμίζουν την ακρίβεια των συντεταγμένων του εδάφους, όπως για παράδειγμα, σφάλματα στην επίλυση της πλοήγησης, τα σφάλματα μέτρησης φάσματος, κλπ. Επιπλέον, το αποτέλεσμα των διαφόρων σφαλμάτων επηρεάζεται από τις διάφορες παραμέτρους της πτήσης όπως είναι το ύψος πτήσης, η ταχύτητα πτήσης, κλπ., από τα χαρακτηριστικά του εδάφους καθώς και τις ρυθμίσεις του συστήματος, και κατά συνέπεια, η εξάρτηση από την ακρίβεια του σημείου στις διάφορες πηγές σφάλματος είναι πολύ περίπλοκη. Έτσι, η εκτίμηση της ακρίβειας και την επικύρωση των επιδόσεων της παραγόμενων προϊόντων χαρτογράφησης είναι ένα πολύ δύσκολο έργο.

Ο προμηθευτής μπορεί να καθορίσει τις παραμέτρους πτήσης και συστήματος ώστε να πετύχει την απαιτούμενη ακρίβεια και τις προδιαγραφές. Η τεκμηρίωση της ακρίβειας των δεδομένων, είναι σημαντική καθώς εξασφαλίζει την ορθή και ευρεία χρήση και για τη μεγιστοποίηση της χρησιμότητας των δεδομένων. Οι πωλητές των συστημάτων LiDAR παρέχουν προδιαγραφές σχετικά με την κατά προσέγγιση ακρίβεια που μπορεί να αναμένεται από τα συστήματά τους. Οι περισσότερες τιμές ωστόσο είναι έγκυρες υπό συγκεκριμένες συνθήκες (για συγκεκριμένες ύψος πτήσης, GPS αναφοράς, κλπ.) και εξετάζουν μόνο λίγες πηγές σφάλματος με συνέπεια, οι τιμές να είναι συχνά είτε πολύ αισιόδοξες ή πολύ απαισιόδοξες (May, Toth, 2007). Επιπλέον, ορισμένοι από τους πωλητές δεν αναφέρουν σαφώς τις πηγές σφαλμάτων που συμμετέχουν στις προδιαγραφές ακρίβειας, γεγονός που καθιστά δύσκολη και σε ορισμένες περιπτώσεις, σχεδόν αδύνατη την σύγκριση των διαφόρων συστημάτων από διαφορετικούς προμηθευτές. Για παράδειγμα, ορισμένοι προμηθευτές καθορίζουν τη δυνατή ακρίβεια του σημείου λαμβάνοντας υπόψη τα σφάλματα του GPS, ενώ άλλοι δεν περιλαμβάνουν αυτό το σφάλμα στις προδιαγραφές ακρίβειά τους. Εν κατακλείδι, δεν υπάρχει γενικά κάποια αποδεκτή, συνολική και αξιόπιστη τιμή για την ακρίβεια ως εργαλείο αξιολόγησης για να βοηθήσει με τον προγραμματισμό πτήσης προκειμένου να επιτευχθεί η επιθυμητή ακρίβεια του τελικού προϊόντος.

Ενώ μια γενική κατανόηση της σχετικής ακρίβειας των δεδομένων LiDAR είναι γνωστή, υπάρχουν πολύ λίγες εμπειρικές μελέτες για την αξιολόγηση της ακρίβειας των ψηφιακών μοντέλων εδάφους (DEMs) που δημιουργήθηκαν από τα δεδομένα αυτά. Κατά τη διάρκεια των πρώτων ετών των προσπαθειών χαρτογράφησης

χρησιμοποιώντας δεδομένα από LiDAR οι εταιρείες παρέθεταν συνήθως ακρίβειες των 15cm RMSE. Οι περισσότεροι συμφώνησαν ότι τέτοια ακρίβεια μπορεί να επιτευχθεί μόνο κάτω από τις πιο ιδανικές συνθήκες (χαμηλό υψόμετρο πτήσης, επίπεδη έκταση, ελάχιστη ή καθόλου βλάστησης). Λίγες εμπειρικές μελέτες που έχουν διεξαχθεί μέχρι σήμερα αναφέρουν ακρίβειες μέσου τετραγωνικού σφάλματος (RMSE) από 26 cm έως 153 cm για εφαρμογές μεγάλης κλίμακας (Adams και Chandler, 2002; Bowen και Waltermine, 2002; Hodgson et al., 2003). Υπάρχει ανάγκη για πολλές ερευνητικές προσπάθειες για την ποσοτικοποίηση της ακρίβειας των δεδομένων LiDAR λαμβάνοντας υπόψη μια σειρά από παραμέτρους, όπως είναι η διαδικασία συλλογής δεδομένων, οι περιβαλλοντικές συνθήκες κατά την διάρκεια αυτής καθώς μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMSE) και τη μορφολογία του εδάφους.

Σύμφωνα με τον Schmid και την National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (2012) τα δεδομένα LiDAR παρουσιάζουν σημαντικές βελτιώσεις σε σχέση με τα δεδομένα που χρησιμοποιούσαν κατά το παρελθόν. Αυτό είναι εύκολα κατανοητό αν αναλογιστεί κανείς ότι η διαδικασία υπολογισμού των υψομέτρων με φωτογραμμετρικές τεχνικές είναι χρονοβόρα, πολύ επίπονη ειδικά για εφαρμογές υψηλής ακριβείας και επιπλέον τα δεδομένα δεν ενημερώνονται συχνά. Επιπλέον, η ικανότητα να χαρτογραφηθούν περιοχές που κρύβονται από τα δέντρα είναι περιορισμένη, επειδή η τεχνική απαιτεί μια θέση να είναι ορατή από δύο οπτικές γωνίες, δηλαδή δύο εικόνες. Σε αντίθεση, τα δεδομένα LiDAR, είναι παρόμοια σε κόστος με την φωτογραμμετρία, είναι μια πιο γρήγορη τεχνική που στηρίζεται σε μεγάλο βαθμό στις νέες τεχνολογίες για να παράγουν αποτελέσματα και παράλληλα ενημερώνει τα δεδομένα άμεσα.

Η κατακόρυφη ακρίβεια των δεδομένων LiDAR είναι πολύ καλύτερη από εκείνη των παλαιότερων υψομετρικών δεδομένα που δεν περιλαμβάνουν LiDAR πηγές. Για παράδειγμα, ο Gesch (2007) εξέτασε μια πρόσφατη έκδοση του NED (National Elevation Dataset) με τη χρήση υψηλής ακρίβειας σημεία ελέγχου και διαπίστωσε ότι το RMSE κατά την κάθετη συνιστώσα ήταν περίπου 2,4 μέτρα. Αυτή είναι μια σημαντική βελτίωση σε σχέση με το NED από το 1999 που είχε RMSE 3,7 μέτρα και δεν περιλαμβάνει υψηλής ακρίβειας δεδομένα LiDAR. Είναι ενδιαφέρον, ακόμη και ότι τα δεδομένα LiDAR έχουν τυπικά RMSE μικρότερα από 20 εκατοστά. Οι τιμές του υψομέτρου, που προέρχονται από δεδομένα LiDAR, σε περιοχές με δεντροκάλυψη είναι πολύ πιο αξιόπιστα από ό,τι εκείνα που παράγονται με άλλες τεχνικές, λόγω του μεγάλου αριθμού των σημείων. Η ικανότητα μέτρησης υψομέτρων σε δυσδιάκριτες περιοχές είναι ένας λόγος που η ακρίβεια των LiDAR είναι πολύ καλύτερη (10x) από ό,τι αυτή που είχαν τα δεδομένα που είχαν συλλεχθεί κατά το παρελθόν.

Η οριζόντια ανάλυση της απόστασης των σημείων έχει να κάνει με την πυκνότητα των σημείων ανά μέτρο και είναι μια σημαντική θεώρηση που μπορεί να επηρεάσει και την κατακόρυφη ακρίβεια. Τα πρόσφατα δεδομένα LiDAR, των τελευταίων πέντε χρόνων, έχουν συνήθως μια απόσταση σημείων ανάμεσα στα 1 με 2 μέτρα ή και καλύτερη. Αυτό σημαίνει ότι αντικείμενα που έχουν μικρό μήκος και πλάτος είναι

δυνατόν να μην εντοπιστούν και να μην αναπαρασταθούν. Επίσης, πολύ πιθανό είναι τα σημεία που θα συλλεχθούν από τις οροφές των κτηρίων να μην καταφέρουν να απεικονίσουν τις ακμές και τα περιγράμματα τους με αποτέλεσμα την απόδοση ακανόνιστων σχημάτων. Προφανώς, το αποτέλεσμα διαφέρει από εφαρμογή σε εφαρμογή, από δέκτη σε δέκτη και από τις παραμέτρους που καθαρίζονται κατά τον προγραμματισμό πτήσης.

Αντιθέτως όμως, τα υψηλής ανάλυσης δεδομένα LiDAR, δηλαδή πολλαπλά σημεία ανά τετραγωνικό μέτρο, μπορεί να έχουν πάνω από οκτώ σημεία ανά μέτρο και η οριζόντια επίλυση είναι μικρότερη των 30 cm. Πρέπει να σημειωθεί ότι το πραγματικό μέγεθος του ίχνους του laser στο έδαφος είναι 30-50cm το οποίο σημαίνει ότι τα σημεία στην ουσία επικαλύπτονται. Αυτή η τεχνική "υπερδειγματοληψίας" χρησιμοποιείται συχνά για την αύξηση του αριθμού των παλμών που διαπερνούν τη βλάστηση και φθάνουν στο έδαφος, αποδίδοντας έτσι μια πιο ακριβή αναπαράσταση της επιφάνειας του εδάφους καθώς επίσης και του ύψους της βλάστησης.

2.9 State-of-the-art

Τις τελευταίες δύο δεκαετίες το LiDAR έχει γίνει δημοφιλές ως μια αναδυόμενη τεχνολογία συλλογής δεδομένων για την γη. Με αυτό το σύστημα μπορεί κάποιος εύκολα να αποκτήσει τα απαραίτητα δεδομένα για να κατασκευάσει αστικά μοντέλα επιφανείας. Η κατασκευή τρισδιάστατου μοντέλου πόλεως είναι ένα θέμα που έχει αρχίσει να απασχολεί εδώ και αρκετά χρόνια πολλούς επαγγελματίες, καθώς το μόνο που χρειάζεται είναι ένα νέφος σημείων και εικόνες. Έχουν αναπτυχθεί πολλοί αλγόριθμοι και μεθοδολογίες προκειμένου να εκμεταλλευτούν την πυκνότητα των 3D δεδομένων που δίνουν τα εναέρια LiDAR με σκοπό την εξαγωγή πληροφοριών για την επιφάνεια της γης και των κατασκευών επί αυτής. Η εξαγωγή των κτηρίων από τέτοια δεδομένα έχει απασχολήσει πολλούς μελετητές που προσπαθούν να αποκτήσουν τις επιθυμητές πληροφορίες για αστικές εφαρμογές. Τα 3D LiDAR σημεία δίνουν ένα δείγμα του εδάφους και των αντικειμένων πάνω σε αυτό χωρίς επιπλέον διαδικασίες. Επειδή η χρήση αυτής της τεχνολογίας επεκτείνεται συνεχώς έχει γίνει επιτακτική η ανάγκη αυτοματοποίησης της διαδικασίας της εξαγωγής κτηρίων. Η μοντελοποίηση των κτηρίων, από την άλλη, απαιτεί την κατάταξη των σημείων σε ομάδες ώστε να γίνεται διαχωρισμός αυτών που αντιστοιχούν στα κτήρια από αυτά της βλάστησης, του εδάφους και άλλων αντικειμένων της περιοχής μελέτης. Η εξαγωγή των κτηρίων στην ουσία υλοποιείται από τα σημεία LiDAR που μένουν όταν αφαιρούνται τα σημεία του εδάφους από τα δεδομένα. Με αυτή την διαδικασία γίνεται ταξινόμηση των σημείων σε σημεία «εδάφους» και «μη εδάφους» το οποίο αποτελεί ένα είδος φιλτραρίσματος. Υπάρχουν πολλοί αλγόριθμοι φιλτραρίσματος στην βιβλιογραφία.

Ερευνητές τέτοιων αλγορίθμων είναι οι Kraus και Pfeifer (1998), Axelsson (2000), Vosselman (2000), Zhang et al (2003), Sithole και Vosselman (2004), Shan και Sampath (2005), Pfeifer και Mandlbürger (2009) καθώς και οι Mongus and Zalik (2012). Σε αυτούς τους αλγορίθμους συνήθως το πρώτο βήμα που γίνεται είναι ο εντοπισμός των κτηρίων. Αυτό γίνεται κυρίως ακολουθώντας κάποιο φιλτράρισμα του νέφους ή ακολουθώντας ένα αλγόριθμο φιλτραρίσματος στον οποίο να περιέχεται και μια κλάση που αφορά τα κτήρια. Ένας άλλος τρόπος είναι η παραγωγή ενός ομαλοποιημένου DSM (nDSM), δηλαδή ενός DSM που προκύπτει αφαιρώντας από το ψηφιακό μοντέλο επιφανείας το ψηφιακό μοντέλο εδάφους. Στη συνέχεια εφαρμόζονται διάφορες μέθοδοι που αναλύουν το ύψος, τις ασυνέχειες, την υφή στο nDSM για τον εντοπισμό των κτηρίων. Για την απόκτηση των περιγραμμάτων των κτηρίων εκτός όμως από τα δεδομένα LiDAR έχουν χρησιμοποιηθεί ταυτόχρονα και άλλα δεδομένα, όπως σχέδια κτηρίων (Haala and Brenner (1999), Hofmann et al. (2002), Overby (2004), Schwalbe et al. (2005), Tack et al. (2012), Vosselman and Dijkman (2001), You and Lin (2011) ή ακόμη και φωτογραφίες (Awrangjeb et al. (2010), Awrangjeb et al. (2011), Demir and Baltsavias (2010), Hermosilla et al. (2011), Rottensteiner et al. (2007), Schenk and Csatho (2002), Sohn and Dowman, (2007)). Εφόσον αποκτηθούν τα σημεία των κτηρίων, η ανακατασκευή των κτηρίων μπορεί να γίνει είτε ακολουθώντας ένα μοντέλο είτε με γνώμονα τα δεδομένα. Οι μεθοδολογίες που στηρίζονται στα μοντέλα θεωρούν ότι τα κτήρια περιγράφονται από παραμετρικά μοντέλα. Για κάθε κτήριο στο νέφος σημείων, αποφασίζεται το καλύτερο προκαθορισμένο μοντέλο που ταιριάζει και υπολογίζονται οι παράμετροί του. Σε αντίθεση με τη μεθοδολογία περί παραμετρικών μοντέλων, η διαδικασία που στηρίζεται στα δεδομένα, βασίζεται σε πιο γενικές υποθέσεις όπως ότι τα κτήρια αποτελούνται από επίπεδα τμήματα. Όπως προκύπτει, η εξαγωγή πρωτογενών στοιχείων όπως είναι οι γραμμές και τα επίπεδα είναι αναγκαίο βήμα για τους αλγορίθμους μοντελοποίησης κτηρίων. Η κατάτμηση νέφους σημείων δημιουργεί ομάδες σημείων με ομοειδείς ιδιότητες, όπως για παράδειγμα, τα σημεία που ανήκουν στην ίδια επίπεδη οροφή. Αυτή η διάσπαση των κτηρίων επιτρέπει τον προσδιορισμό των τοπολογικών σχέσεων μεταξύ των συστατικών του κτηρίου με σκοπό την ανακατασκευή τους.

Η συνεχής εξέλιξη και βελτίωση της τεχνολογίας LiDAR δίνει γρήγορα και εύκολα δεδομένα για την ανακατασκευή και αναπαράσταση των διαφόρων κατασκευών (Maas και Vosselman 1999). Ωστόσο, τα δεδομένα LiDAR δεν μπορούν να αποδώσουν την υφή των κατασκευών, με αποτέλεσμα η εξαγωγή ενός κτηρίου να είναι δύσκολη υπόθεση. Όπως προκύπτει από τα παραπάνω, τα δεδομένα αυτά από μόνα τους δεν επαρκούν για την ακριβή αναπαράσταση των κτηρίων. Ο συνδυασμός αυτών των δεδομένων με τους υπάρχοντες τοπογραφικούς χάρτες, μπορούν να βελτιώσουν την διαδικασία κατασκευής 3D μοντέλων. Ωστόσο, αυτές οι προσεγγίσεις, μπορεί να οδηγήσουν σε αναξιόπιστα αποτελέσματα αν οι συντεταγμένες των δεδομένων LiDAR και των κατόψεων των σχεδίων δεν είναι στο ίδιο σύστημα αναφοράς. Προκειμένου να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα, πρέπει απαραίτητως να υπολογιστούν τα στοιχεία του μετασχηματισμού για τη συγχώνευση

των δεδομένων LiDAR και των δεδομένων του τοπογραφικού χάρτη (Schenk και Csatho 2002; Filin et al. 2005; Gruen και Akca 2005; Parc et al. 2006). Ενδεικτικά θα αναφερθούν παρακάτω ένας αυτόματος και ένας ημιαυτόματος αλγόριθμος παραγωγής.

2.10 Προσεγγίσεις 3D κτηρίων με αυτόματο αλγόριθμο

Στη μελέτη που έκαναν οι Medioni et al. 2000, τα απλά τμήματα του κτηρίου εξάγονται από δεδομένα LiDAR με βάση τον αλγόριθμο tensor voting. Σε αυτό τον αλγόριθμο ενώνονται τα δεδομένα LiDAR με τοπογραφικούς χάρτες προκειμένου να προκύψουν 3D μοντέλα.


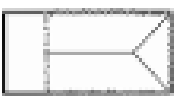




Σύμφωνα με τους Lin, You, Hsu (2010) ο αλγόριθμος tensor voting εντοπίζει και εξάγει χαρακτηριστικά, όπως τις γραμμές των προσώπων, τις επιφάνειες και τα σημεία ταυτόχρονα και απευθείας από τα δεδομένα. Για την ενσωμάτωση όμως των δύο σετ δεδομένων, δηλαδή των χαρτών και των νεφών, εφαρμόζεται μια μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων προκειμένου να υπολογιστούν οι παράμετροι του μετασχηματισμού. Με αυτόν τον τρόπο τα δεδομένα βρίσκονται σε ένα κοινό σύστημα αναφοράς. Στην συνέχεια, ανακατασκευάζονται τρισδιάστατα μοντέλα κτηρίων με αυτοματοποιημένο τρόπο.

Εν ολίγοις, η προτεινόμενη αυτόματη διαδικασία που συνδυάζει τα δεδομένα από LiDAR και τους τοπογραφικούς χάρτες περιλαμβάνει τη δυνατότητα για εξαγωγή, καταγραφή και ανακατασκευή. Τα βήματα που ακολουθούνται για την κατασκευή του μοντέλου είναι τα εξής τρία:

- Πρώτον, παράγονται τα σημεία των ορίων και οι γραμμές που περιγράφουν τις ακμές των οροφών από τα δεδομένα LiDAR με την εφαρμογή του tensor voting. Τα περιγράμματα των κτηρίων λαμβάνονται άμεσα από τα αντίστοιχα δεδομένα του 2D τοπογραφικού χάρτη. Στην περίπτωση που τα συστήματα συντεταγμένων αυτών των δύο ειδών δεδομένων διαφέρουν, είναι απαραίτητη η μετατροπή τους.
- Δεύτερον, καθώς η μετατροπή επηρεάζεται εύκολα από σφάλματα, συνιστάται η εφαρμογή της μεθόδου ελάχιστου τετραγώνων για τον υπολογισμό των παραμέτρων μετασχηματισμού με σκοπό την βελτιστοποίηση των σημείων των ορίων και των περιγραμμάτων των κτηρίων.
- Τρίτον, παράγονται τα περιγράμματα των κτηρίων στο χώρο των τριών διαστάσεων. Αυτό γίνεται με την εισαγωγή του ύψους από τα δεδομένα LiDAR στα 2D περιγράμματα των κτηρίων. Στη συνέχεια, προστίθενται και οι γραμμές που περιγράφουν τις ακμές των οροφών με σκοπό την τελική δημιουργία των μοντέλων.

Από αυτή την διαδικασία όμως είναι δυνατόν να προκύψουν ορισμένα λανθασμένα πολύγωνα. Οι περιπτώσεις που συνήθως εγκυμονούν τέτοιους κινδύνους χωρίζονται σε δύο ομάδες. Στην πρώτη περίπτωση οι στέγες καλύπτονται πλήρως ή εν μέρει από δέντρα, ενώ στην δεύτερη περίπτωση τα περιγράμματα των κτηρίων δεν είναι αρκετά λεπτομερή. Μικρά κτήρια βρίσκονται εντός μεγάλων κτηρίων όμως τα περιγράμματα των μικρών κτηρίων δεν είναι σχεδιασμένα στον χάρτη. Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις τα περιγράμματα των κτηρίων που προέρχονται από το LiDAR δεν ταιριάζουν ικανοποιητικά με τα περιγράμματα των κτηρίων του τοπογραφικού χάρτη. Αυτό δείχνει ότι οι διαφορές μεταξύ των σημείων που περιγράφουν τα όρια και των περιγραμμάτων των κτηρίων επηρεάζουν το αποτέλεσμα της ανακατασκευής του μοντέλου. Αυτά τα λανθασμένα μοντέλα θα πρέπει να διορθωθούν χειροκίνητα με φωτογραμμετρικές μεθόδους ή με εργασίες πεδίου.

Συνοψίζοντας, τα πειράματα έδειξαν ότι η προτεινόμενη μέθοδος για τη διαδικασία ανασυγκρότησης κτηρίων με δεδομένα LiDAR και έναν τοπογραφικό χάρτη, μπορεί να εκτελεστεί αυτόματα και αποδίδει καλά αποτελέσματα. Αν και η χειροκίνητη επεξεργασία είναι αναγκαία για να επιτευχθούν σωστά 3D μοντέλα κτηρίων, τα αποτελέσματα έχουν δείξει ότι η μέθοδος παίρνει τα πλεονεκτήματα και των δύο ειδών δεδομένων και βελτιώνει την διαδικασία ανακατασκευής.

	Actual buildings	Map + LiDAR	Reconstructed models
A			
B			

Εικόνα 38: Συγχώνευση των δεδομένων LiDAR και του τοπογραφικού χάρτη για την ανακατασκευή κτηριακών μοντέλων (Πηγή: Lin, 2010)

2.11 Προσεγγίσεις 3D κτηρίων με ημι-αυτόματο αλγόριθμο

Χρησιμοποιώντας το νέφος σημείων που παράγεται από το σύστημα LiDAR, μπορεί να εκτιμηθούν με ακρίβεια ο προσανατολισμός και το ύψος του κτηρίου, αλλά το περίγραμμα από ένα κτήριο είναι πιο δύσκολο να προσδιοριστεί. Για να βελτιωθεί αυτό το μέρος της 3D κατασκευής γίνεται χρήση του περιγράμματος του κτηρίου που εξάγεται από αντικειμενοστραφή ταξινόμηση που προέρχεται από εικόνες υψηλής ανάλυσης. Σε αυτή την διαδικασία, το LiDAR παράγει DSM (Ψηφιακό Μοντέλο Επιφάνειας) το οποίο χρησιμοποιείται με εικόνες υψηλής ανάλυσης για την αρχική κατάτμηση και την επακόλουθη ταξινόμηση. Οι φασματικές τιμές ανακλαστικότητας και η μέση διαφορά της τιμής του DSM παίζουν ζωτικό ρόλο στον προσδιορισμό του περιγράμματος του κτηρίου. Οι ακμές μαζί με το περίγραμμα του κτηρίου επιλέγεται

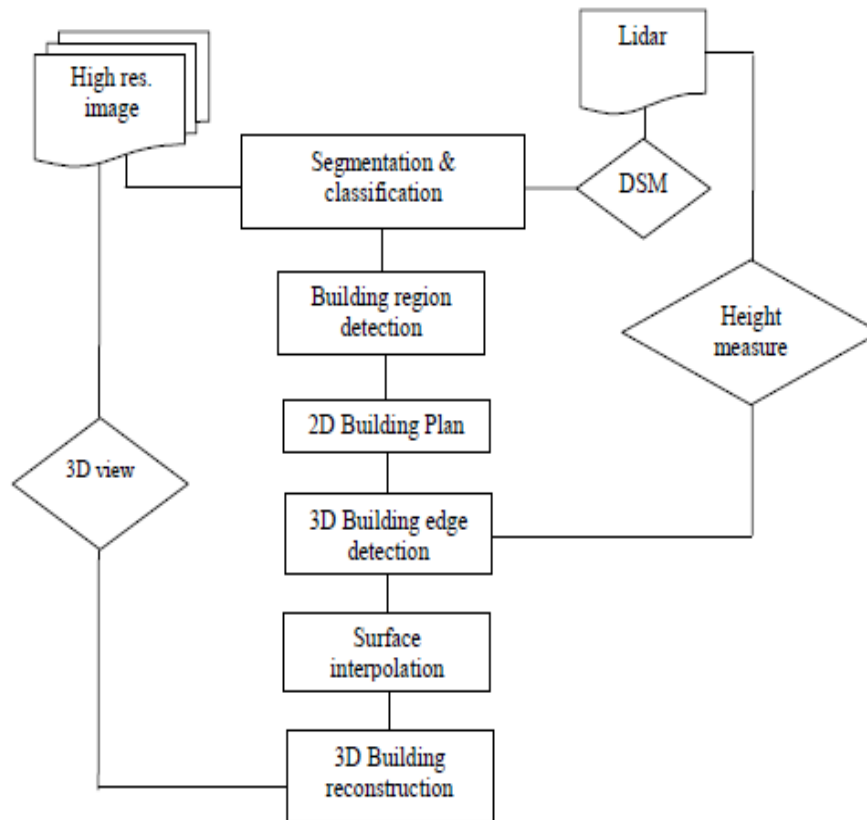
ημι-αυτόματα από την ταξινομημένη εικόνα σε συνδυασμό με τα υψομετρικά δεδομένα ενώ η ταράτσα του κτηρίου προκύπτει από διγραμμική παρεμβολή. Με αυτό τον τρόπο, συνδυάζοντας τα εξαγόμενα περιγράμματα με τις εικόνες υψηλής ανάλυσης προκύπτει ένα πολύεδρο που αναπαριστά την κατασκευή. Τα πειράματα δείχνουν ότι η μέθοδος αυτή εξάγει με ακρίβεια τα σχέδια του κτηρίου και δημιουργεί απλά 3D μοντέλα (Sohel, Dare, Jones). Το υπόβαθρο που χρησιμοποιήθηκε για την παραπάνω διαδικασία έχει ως εξής:

A) Ανακατασκευή κτηρίου από τις εικόνες

Χρησιμοποιώντας αεροφωτογραφίες και υπάρχουσες 2D πληροφορίες περί του κτηρίου οι Sunveg και Vosselman (2004) ανέπτυξαν μια αυτοματοποιημένη διαδικασία ανακατασκευής κτηρίου. Σε αυτή τη διαδικασία, λαμβάνεται ένα κατά προσέγγιση ύψος από τα διαθέσιμα σχέδια των κατόψεων. Στη συνέχεια, οι κατόψεις χωρίζονται σε ορθογώνια και εξάγονται 3D γωνίες από 2D γωνίες της εικόνας. Χρησιμοποιώντας αυτές τις γωνίες και την 2D κάτοψη, υπολογίζεται μια αρχική εκτίμηση για τον όγκο των κτηρίων. Η εκτίμηση αυτή υπόκειται σε περαιτέρω επεξεργασία χρησιμοποιώντας μία μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων προσαρμοσμένη στις εικόνες. Οι Haala και Anders (1997) πρότειναν μια αυτόματη διαδικασία εξαγωγής κτηρίου από στερεοσκοπικές εικόνες. Στη διαδικασία αυτή, με τη χρήση συμβατικών εικόνων παράγεται ένα DSM. Έτσι, οι δύο διαστάσεων γραμμές και των δύο εικόνων ομαδοποιούνται και παράγουν τα τρισδιάστατα τμήματά τους.

β) Ανακατασκευή κτηρίου από δεδομένα LiDAR

Σε δεδομένα LiDAR που αποκτήθηκαν, η ανίχνευση κτηρίου αρχίζει με την παραγωγή ενός ψηφιακού μοντέλου εδάφους (DTM) από το ψηφιακό μοντέλο επιφανείας (DSM) με κάποιου είδους φιλτράρισμα. Στη συνέχεια, μια περαιτέρω ταξινόμηση διαχωρίζει τα σημεία των κτηρίων από τα σημεία των δέντρων με αξιολόγηση της τοπικής τραχύτητας της επιφάνειας και άλλες ενδείξεις (Rottensteiner et al., 2004). Ο Vosselman (1999) εξάγει την επιφάνεια της στέγης κατευθείαν από τα δεδομένα της σάρωσης χρησιμοποιώντας τον μετασχηματισμό Hough. Στη μέθοδο αυτή, δεν χρησιμοποιούνται κατόψεις, αλλά από τα δεδομένα LiDAR γίνεται αντιληπτός ο προσανατολισμός των κτηρίων καθώς και ο χώρος που περίπου καταλαμβάνουν οι κατασκευές. Ο Brenner (2000) προτείνει μια bottom-up προσέγγιση, η οποία προσπαθεί να εξαγάγει επίπεδες επιφάνειες από DSM εφαρμόζοντας τυχαία δειγματοληψία. Οι προσόψεις γίνονται αποδεκτές ή απορρίπτονται με βάση ένα σύνολο κανόνων, που εκφράζουν πιθανές σχέσεις μεταξύ όψεων και κατόψεων. Η ροή εργασιών για την προτεινόμενη μέθοδο εξαγωγής κτηρίου παρουσιάζεται στο Σχήμα παρακάτω.

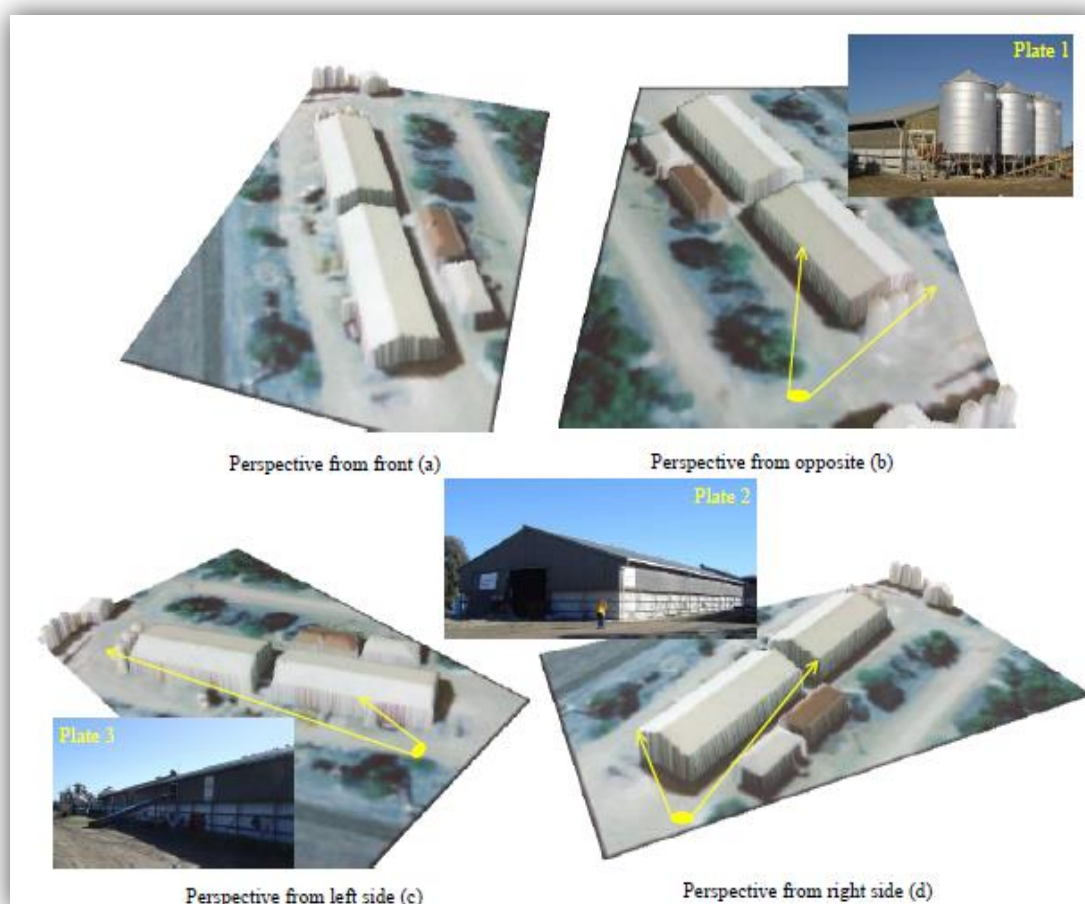


Εικόνα 39: η διαδικασία ανακατασκευής κτηρίων από εικόνα και δεδομένα LiDAR (Πηγή: Sohel, 2004)

Η διαδικασία λοιπόν έχει ως εξής:

Αρχικά, οι περιοχές που περιλαμβάνουν κτήρια, εντοπίζονται στις διαθέσιμες εικόνες υψηλής ανάλυσης καθώς και στα δεδομένα LiDAR μέσα από μια διαδικασία ταξινόμησης. Έτσι, παράγονται τα περιγράμματα των κτηρίων και δημιουργούνται 2D σχέδια τα οποία θα επεξεργαστούν περαιτέρω. Στη συνέχεια, κάθε περιοχή στην οποία εντοπίζονται κτήρια, αντιμετωπίζεται ξεχωριστά. Αυτό σημαίνει ότι για κάθε ακμή του κτηρίου η υψομετρική πληροφορία συλλέγεται χειροκίνητα από τα LiDAR δεδομένα. Με αυτόν τον τρόπο προκύπτει η τρισδιάστατη απεικόνιση του περιγράμματος των κτηρίων. Στο μέχρι τώρα αποτέλεσμα προστίθενται οι προσόψεις των κτηρίων οι οποίες ανακατασκευάζονται μέσω διγραμμικής παρεμβολής. Στην εικόνα 40 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα ανακατασκευής κτηρίων με αυτή τη μέθοδο. Σε αυτή την εφαρμογή, οι περιοχές που αντιστοιχούσαν στα κτήρια διαχωρίστηκαν από τον υπόλοιπο χώρο χρησιμοποιώντας τη μέση τιμή από το επίπεδο του nDSM. Τα αντικείμενα που είχαν μέσο όρο πάνω από 1,2 μ αναπαραστάθηκαν ως κτήρια. Αφού εντοπίστηκαν δισδιάστατα τα κτήρια, ανακατασκευάστηκαν οι προσόψεις των κτηρίων συνενώνοντας επιμέρους τμήματα από την εικόνα υψηλής ανάλυσης. Σε αυτή την διαδικασία το μεγαλύτερο πρόβλημα ήταν ο προσδιορισμός του ύψους των ακμών των κτηρίων το οποίο απαιτεί πολύ μεγάλη πυκνότητα δεδομένων. Όπως συνήθως, έτσι και στο συγκεκριμένο

παράδειγμα, θεωρήθηκε ότι οι ακμές των κτηρίων στο nDSM βρίσκονται παράλληλα στο έδαφος και ταυτίζονται με τις ακμές του δισδιάστατου σχεδίου, που στην προκειμένη περίπτωση είναι η εικόνα υψηλής ανάλυσης. Στη συνέχεια, με γραμμική παρεμβολή ανακατασκευάστηκε το αρχικό μοντέλο του κτηρίου. Στην εικόνα παρουσιάζεται η εναέρια φωτογραφία της περιοχής μαζί με το μοντέλο που κατασκευάστηκε από διάφορες οπτικές γωνίες.



Εικόνα 40: ανακατασκευή μοντέλου κτηρίων επενδυμένο με αεροφωτογραφία

2.12 Συμβολή των δεδομένων LiDAR στο τρισδιάστατο Κτηματολόγιο

Στις παραπάνω ενότητες έγινε παρουσίαση των δυνατοτήτων και ακριβειών που παρέχουν τα δεδομένα LiDAR στον προσδιορισμό των οριζοντιογραφικών και υψομετρικών συντεταγμένων. Σύμφωνα λοιπόν με τις μελέτες, τα δεδομένα αυτά πετυχαίνουν πολύ καλή υψομετρική ακρίβεια που κυμαίνεται από 0.05-0.15 m υπό ιδανικές συνθήκες, ενώ οριζοντιογραφικά η ακρίβεια δεν μπορεί να προσδιοριστεί με ακρίβεια, αλλά εκτιμάται από 0.30-1.00 m. Από την άλλη οι προδιαγραφές του

Εθνικού Κτηματολογίου σύμφωνα με την Κτηματολόγιο Α.Ε. είναι : $RMSE_x \leq 0.40m$, $RMSE_y \leq 0.40m$ και $RMSE_{xy} \leq 0.56m$ και απόλυτη ακρίβεια $\leq 0,98$ ($RMSE_{xy} * 1.73$ m) για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% στις αστικές περιοχές σε κλίμακα 1/1000. Επίσης, στις αγροτικές περιοχές είναι $RMSE_x \leq 1m$, $RMSE_y \leq 1m$ και $RMSE_{xy} \leq 1.41$ m και απόλυτη ακρίβεια $\leq 2,45m$ ($RMSE_{xy} * 1.73$ m) για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% σε κλίμακα 1/5000. Αυτό σημαίνει ότι οι προδιαγραφές του Κτηματολογίου είναι δυνατόν να επιτευχθούν χρησιμοποιώντας δεδομένα LiDAR για την δημιουργία ενός 3D μοντέλου. Για την ικανοποίηση όμως αυτών των ακριβειών πρέπει να γίνει προγραμματισμός των παραμέτρων και διερεύνηση της αναγκαίας πυκνότητας των σημείων.

Η αξιοποίηση των νεφών σημείων είναι μεγάλης σπουδαιότητας για την επέκταση του Κτηματολογίου στον τρισδιάστατο χώρο. Αυτό γίνεται αντιληπτό αν σκεφτεί κανείς το πόσο γρήγορα μπορεί να γίνει χαρτογράφηση μιας ολόκληρης πόλης χρησιμοποιώντας τα δεδομένα που προέρχονται από το σύστημα LiDAR. Υπό άλλες συνθήκες, για την χαρτογράφηση μιας πόλης απαιτούνται πολλοί μήνες τοπογραφικών εργασιών στο πεδίο το οποίο είναι πολύ χρονοβόρο, έχει μεγάλο κόστος και είναι αναγκαία η συγκέντρωση όλων των κτηματογραφήσεων από τους διάφορους εργολήπτες για την δημιουργία ενιαίας βάσης. Έτσι, τα δεδομένα που παράγονται από τις πτήσεις δίνουν πολύ γρηγορότερα αποτελέσματα για την απόδοση του εδάφους και των κατασκευών που βρίσκονται στην επιφάνεια του σε σχέση με τις τοπογραφικές εργασίες. Σκόπιμο είναι όμως να γίνει και μια σύγκριση με την εναέρια φωτογραμμετρία η οποία είναι πολύ διαδεδομένη. Με την μέθοδο της φωτογραμμετρίας κάθε σημείο του εδάφους ανακατασκευάζεται από επικαλυπτόμενες αεροφωτογραφίες έχοντας γνωστό τον εξωτερικό προσανατολισμό. Τα προϊόντα αυτής της διαδικασίας είναι ψηφιακά μοντέλα εδάφους ή επιφανείας, δισδιάστατες και τρισδιάστατες ανακατασκευές καθώς και ορθοεικόνες. Σύμφωνα λοιπόν με τις φωτογραμμετρικές μεθόδους:

- Η συλλογή δεδομένων γίνεται κατά την διάρκεια της ημέρας
- Οι μετρήσεις χρειάζονται επεξεργασία για τον προσδιορισμό των τρισδιάστατων συντεταγμένων των σημείων
- Η ακρίβεια των εργασιών κυμαίνεται από 0.05-0.10m
- Είναι δυνατή η μέτρηση των γραμμών αλλαγής κλίσης και των ασυνεχειών
- Δεν είναι δυνατή η διεύθυνση σε πυκνή βλάστηση

Από την άλλη μεριά, το σύστημα LiDAR:

- Συλλέγει δεδομένα κατά τη διάρκεια της μέρας και της νύχτας
- Οι μετρήσεις δίνουν άμεσα τις τρισδιάστατες συντεταγμένες
- Η ακρίβεια των εργασιών κυμαίνεται από 0.15-0.20m RMS
- Δεν είναι δυνατή η καταγραφή των σημείων αλλαγής κλίσης
- Διαπερνά την βλάστηση και καταγράφει το έδαφος
- Σαρώνει αντικείμενα με μικρό μέγεθος

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω, η ενσωμάτωση των δύο τεχνολογιών μπορεί να αποδώσει καλύτερα την επιφάνεια του εδάφους μιας και η μία συμπληρώνει την άλλη.

Τα τελευταία χρόνια έχουν αρχίσει και γίνονται προσπάθειες τρισδιάστατης απεικόνισης των πόλεων χρησιμοποιώντας τα δεδομένα LiDAR σε διάφορες χώρες του εξωτερικού (Ισραήλ-2005, Βαρσοβία-2013). Παρότι είναι ελάχιστες οι εφαρμογές που αφορούν το 3D Κτηματολόγιο, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι είναι εφικτή η ορθή αναπαράσταση των τοπολογικών σχέσεων και ο εντοπισμός της ορθής τους θέσης. Ήδη η Κύπρος που διαθέτει ένα τελειοποιημένο δισδιάστατο Κτηματολόγιο σκοπεύει να δημιουργήσει το 3D Κτηματολόγιο βασισμένο σε εναέριες πτήσεις του συστήματος LiDAR (Νεοκλέους, 2013). Συνεπώς θα μπορούσαμε να πούμε ότι δεν είναι καθόλου ανέφικτο να δημιουργηθεί ένα τρισδιάστατο Κτηματολόγιο βασισμένο σε δεδομένα LiDAR και για τις υπόλοιπες χώρες. Για την Ελλάδα αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την προϋπόθεση ότι θα ενημερωθούν και θα ολοκληρωθούν οι υπάρχουσες κτηματολογικές βάσεις δεδομένων. Το υβριδικό 3D Κτηματολόγιο είναι η βέλτιστη λύση για τη χώρα μας καθώς δεν απαιτείται αλλαγή του νομικού πλαισίου. Αυτά που απαιτούνται είναι ένα υπόβαθρο σε δύο διαστάσεις καθώς και η υψομετρική πληροφορία που παρέχεται με πολύ καλή ακρίβεια από το νέφος σημείων.

3. Πιλοτική Εφαρμογή στην Πολυτεχνειούπολη

3.1 Περιγραφή διαθέσιμων δεδομένων και περιοχή μελέτης

Στο πλαίσιο της διπλωματικής αυτής θα γίνει μια διερεύνηση της ικανότητας ανταπόκρισης των δεδομένων LiDAR στην αναπαράσταση του 3D χώρου βασιζόμενοι στις προδιαγραφές του Κτηματολογίου. Σκοπός της διαδικασίας που θα ακολουθήσει είναι να γίνει προσομοίωση του τρισδιάστατου χώρου όσο γίνεται καλύτερα, χρησιμοποιώντας ραστερ αρχείο που έχει παραχθεί από τα νέφη σημείων που έχουν προκύψει από πτήσεις με LiDAR. Έως αυτή τη στιγμή, για την οπτικοποίηση του χώρου δεν έχουν χρησιμοποιηθεί από μόνα τους τα δεδομένα LiDAR χωρίς την χρήση κάποιου άλλου υπόβαθρου. Για δε την τρισδιάστατη απεικόνιση στο πλαίσιο του Κτηματολογίου, χρησιμοποιώντας τέτοιου είδους δεδομένα, οι εφαρμογές είναι ελάχιστες. Το 2005 επιχειρήθηκε στο Ισραήλ τέτοια εφαρμογή από τους Filin, Kulakov et al και το 2013 στην Βαρσοβία από τους Sanecki, Klewski et al. Για αυτό το λόγο θα γίνει μια διερεύνηση αν τα δεδομένα αυτά μπορούν να συμβάλλουν από μόνα τους στην δημιουργία του τρισδιάστατου Κτηματολογίου. Θα εξεταστεί λοιπόν αν τα δεδομένα επαρκούν για την ορθή τρισδιάστατη απεικόνιση, δηλαδή αν συμβάλλουν στην ακριβή αναπαράσταση των τοπολογικών σχέσεων των αντικειμένων καθώς και στον προσδιορισμό της οριζοντιογραφικής και υψομετρικής θέσης τους.

Ως περιοχή μελέτης ορίζεται η Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου και συγκεκριμένα η περιοχή στην οποία βρίσκεται η σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών. Η Πολυτεχνειούπολη στο σύνολό της στεγάζει οχτώ σχολές των οποίων τα κτήρια καλύπτουν μικρό μέρος της συνολικής έκτασής της (Εικόνα . Το υπόλοιπο μέρος αυτής καλύπτεται από έντονη βλάστηση. Η σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών βρίσκεται Νοτιοδυτικά της Πολυτεχνειούπολης και απαρτίζεται από το κτήριο Λαμπαδαρίου και το νεότερα κτήρια Βέη και Α. Τα κτήρια αυτά αποτελούν κατασκευές σύνθετες καθώς επικοινωνούν μεταξύ τους μέσα από γέφυρες και διαδρόμους. Οι στέγες τους είναι επίπεδες και δεν διαθέτουν κεραμίδια ή κάποιο είδος σκεπής. Μεμονωμένοι όγκοι που παρουσιάζονται επί των οροφών είναι κλιματιστικά, βάρθρα και αποθήκες.

Το υλικό που είναι διαθέσιμο για την 3D απεικόνιση της περιοχής μελέτης είναι ένα Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM) σε ψηφιδωτή (ράστερ) μορφή το οποίο έχει προέλθει από επεξεργασία νέφους σημείων ενός συστήματος LiDAR, και η αληθής ορθοφωτογραφία της περιοχής. Το ράστερ DSM (Digital Surface Model) προέρχεται από νέφος σημείων με πυκνότητα σημείων 1/τμ και περιέχει το σύνολο της περιοχής. Το ράστερ αρχείο έχει μέγεθος εικονοστοιχείου 1 μέτρο κι αυτό ώστε κάθε κελί να περιέχει ένα σημείο τουλάχιστον. Η υψομετρική ακρίβεια του κυμαίνεται από 5 μέχρι 15 cm ενώ η οριζοντιογραφική ακρίβειά του δεν μπορεί να οριστεί ακριβώς. Τα δεδομένα αυτά έχουν συλλεχθεί το 2004 και παραχωρήθηκαν ευγενώς από την εταιρεία NAMA A.E. για εκπαιδευτικούς σκοπούς στο Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας της ΣΑΤΜ ΕΜΠ. Παρότι τα δεδομένα αυτά έχουν συλλεχθεί προ

δεκαετίας, δεν παρουσιάζεται πρόβλημα καθώς καλύπτουν πλήρως την περιοχή μελέτης η οποία από την ημερομηνία της πτήσης έως τώρα δεν έχει παρουσιάσει κάποια ιδιαίτερη αλλαγή (εικόνα 41).



Εικόνα 41: Πολυτεχνειούπολη, Ζωγράφου



Εικόνα 42: Περιοχή μελέτης, κτήρια ΣΑΤΜ



Εικόνα 43: DSM Πολυτεχνειούπολης από δεδομένα LiDAR (Πηγή: NAMA ΑΕ, 2004)

Οι αληθείς ορθοφωτογραφίες (VLSO) που καλύπτουν το σύνολο της Πολυτεχνειούπολης είναι τέσσερις. Μια από αυτές περιλαμβάνει ολόκληρη την περιοχή που αντιστοιχεί στα κτήρια της ΣΑΤΜ και θα χρησιμοποιηθεί για την υλοποίηση της εφαρμογής. Οι VLSO ορθοφωτογραφίες της περιοχής, οι οποίες

ανήκουν στην ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε., είναι του έτους 2007, έχουν μέγεθος εικονοστοιχείου στο έδαφος 0.20 m, ενώ οι διαστάσεις της πινακίδας είναι 800*600 m. Σε ό,τι αφορά την γεωμετρική ακρίβεια των ορθοφωτογραφιών, αυτές είναι:

(i) Για σημεία στο έδαφος: $RMSE_x \leq 0.20m$, $RMSE_y \leq 0.20m$, $RMSE_{xy} \leq 0.28 m$, Απόλυτη ακρίβεια $\leq 0.48 m$ για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%

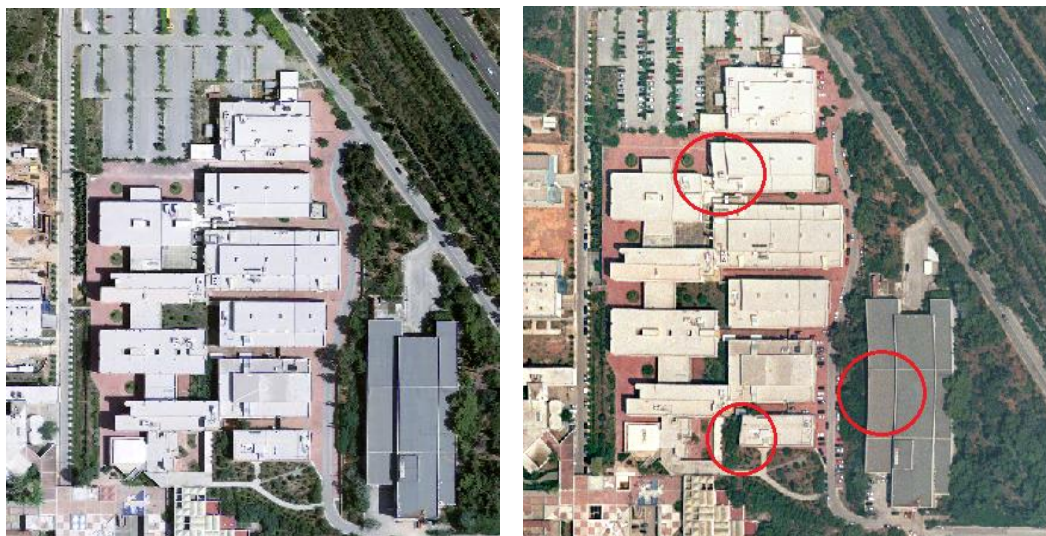
(ii) Για σημεία που βρίσκονται σε οροφές κτηρίων: $RMSE_x \leq 0.40m$, $RMSE_y \leq 0.40m$, $RMSE_{xy} \leq 0.56 m$, Απόλυτη ακρίβεια $\leq 0.97 m$ για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%

Οι VLSO αποτελούν ψηφιακές ορθοφωτογραφίες πολύ μεγάλης κλίμακας και χρησιμοποιούνται για εφαρμογές στις οποίες απαιτείται μεγάλη ακρίβεια και λεπτομέρεια. Η αληθής ορθοφωτογραφία είναι η ορθοφωτογραφία που απεικονίζει πλήρως και ορθά τον πραγματικό κόσμο περιλαμβάνοντας τόσο το φυσικό έδαφος όσο και τα στατικά αντικείμενα που προέρχονται από οποιαδήποτε ανθρώπινη παρέμβαση σε αυτόν (Καββάδας, 2006). Δηλαδή περιλαμβάνει ορθά μοντελοποιημένα τα υπερκείμενα σε αυτό στατικά αντικείμενα που προέρχονται από ανθρώπινη παρέμβαση. Εξαιρέση αποτελούν τα αντικείμενα όπως οι κολώνες της ΔΕΗ, στύλοι φωτισμού, κεραίες κ.ά. τα οποία λόγω της κατασκευής και του μεγέθους τους σε συνδυασμό με την ανάλυση των εικόνων, δε δύνανται να μοντελοποιηθούν και θεωρούνται ως σημειακά. Πρέπει να σημειωθεί ότι στην αληθή ορθοφωτογραφία τα κτήρια απεικονίζονται μόνο με την οροφή τους και απουσιάζουν οι όψεις τους με συνέπεια να μη μπορεί να γίνει εκτίμηση του πιθανού ύψους των κτηρίων.

Η αληθής ορθοφωτογραφία μπορεί εύκολα να χρησιμοποιηθεί για την ενημέρωση διανυσματικής πληροφορίας που αφορά σε κτήρια, όπως είναι τα περιγράμματα των αυτών. Η χρήση της είναι ανεκτίμητη σε πλήθος εφαρμογών καθώς η ακρίβεια και η οπτική ακεραιότητα στην απεικόνιση της πληροφορίας την καθιστά άριστο υπόβαθρο τόσο για την συλλογή πληροφορίας όσο και για την υπέρθεση σχεδίων. Ταυτόχρονα, ο συνδυασμός της με την τρισδιάστατη πληροφορία που χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία της, επιτρέπει την δημιουργία ρεαλιστικών και αξιόπιστων προσομοιώσεων.

Η συμβατική ορθοφωτογραφία συνήθως παράγεται από εικόνες μικρής κλίμακας που έχουν ληφθεί από μεγάλο υψόμετρο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μη δυνατότητα σωστής ψηφιοποίησης των περιγραμμάτων των κτηρίων. Η παραγωγή τους είναι βασισμένη κυρίως σε αλγορίθμους που στηρίζονται στα ψηφιακά μοντέλα αντικειμένου 2,5 διαστάσεων, δηλαδή για κάθε οριζοντιογραφική θέση υποστηρίζεται μόνο μια τιμή υψομέτρου και συνεπώς δεν μπορεί να αποδοθεί πλήρως ένα τρισδιάστατο αντικείμενο ή γενικά επιφάνειες οι οποίες στην ίδια θέση διαθέτουν περισσότερες από μία τιμές ανάγλυφου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, τα αντικείμενα τριών διαστάσεων να εμφανίζονται με παραμορφώσεις στην παραγόμενη εικόνα λόγω του ανάγλυφου και λόγω αδυναμίας των αλγορίθμων να το χειριστεί σωστά.

Στην Εικόνα 44 εμφανίζεται ένα τμήμα της περιοχής μελέτης έτσι όπως έχει απεικονιστεί σε μια συμβατική ορθοφωτογραφία και σε μια αληθή. Παρατηρείται ότι στην δεξιά ορθοφωτογραφία ορισμένα κτήρια εμφανίζουν παραμορφώσεις καθώς δεν παρουσιάζονται ως ορθογώνια και τα περιγράμματα τους παρεκκλίνουν. Αντιθέτως, στην αληθή ορθοφωτογραφία (αριστερά) τα περιγράμματα αυτών παρουσιάζονται ορθά, όπως είναι στην πραγματικότητα.



Εικόνα 44: αριστερά αληθής ορθοφωτογραφία και δεξιά ορθοφωτογραφία από τον ΟΚΧΕ

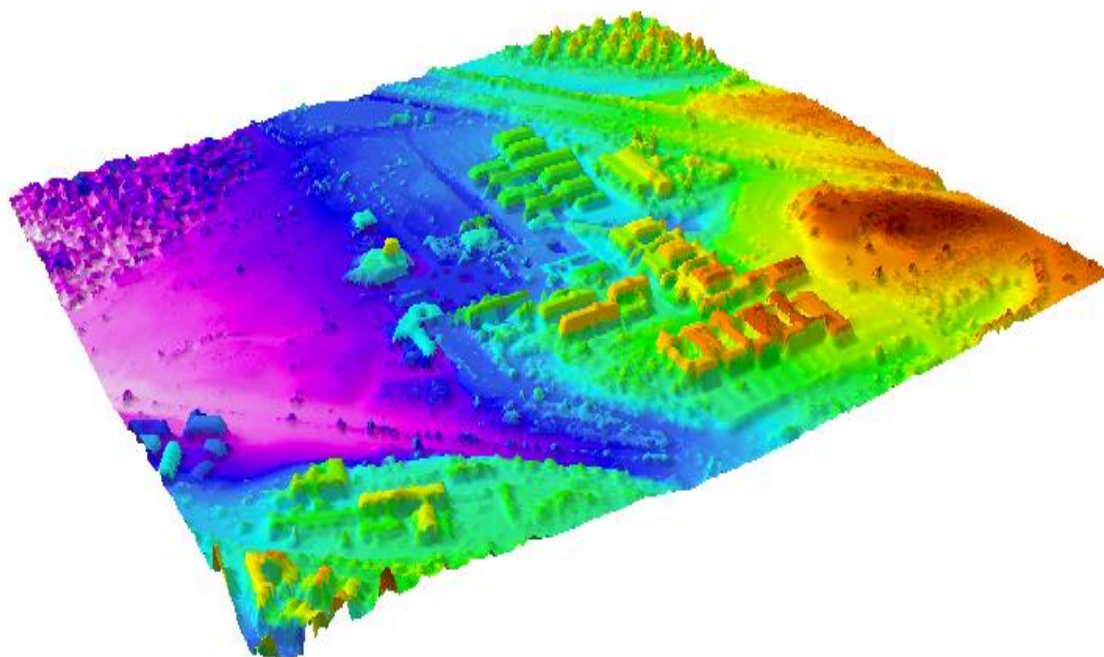
3.2 Επεξεργασία δεδομένων – Ανάπτυξη μεθοδολογίας

Η επεξεργασία των δεδομένων γίνεται σε λογισμικό GIS (Geographic information system) το οποίο είναι γνωστό ως Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ). Το GIS αποτελεί σύστημα διαχείρισης χωρικών δεδομένων (spatial data) και συσχετισμένων ιδιοτήτων. Στην πιο αυστηρή μορφή του είναι ένα ψηφιακό σύστημα, ικανό να ενσωματώσει, αποθηκεύσει, προσαρμόσει, αναλύσει και παρουσιάσει γεωγραφικά συσχετισμένες πληροφορίες. Σε πιο γενική μορφή, ένα ΣΓΠ είναι ένα εργαλείο έξυπνου χάρτη το οποίο επιτρέπει στους χρήστες του να αποτυπώσουν μια περίληψη του πραγματικού κόσμου, να δημιουργήσουν διαδραστικά ερωτήσεις χωρικού ή περιγραφικού χαρακτήρα, να αναλύσουν τα χωρικά δεδομένα (spatial data), να τα προσαρμόσουν και να τα αποδώσουν σε αναλογικά μέσα (εκτυπώσεις χαρτών και διαγραμμάτων) ή σε ψηφιακά μέσα. Τα συστήματα GIS, όπως και τα συστήματα CAD, αποτυπώνουν χωρικά δεδομένα σε γεωγραφικό ή χαρτογραφικό ή καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων. Βασικό χαρακτηριστικό των ΣΓΠ είναι ότι τα χωρικά δεδομένα συνδέονται και με περιγραφικά δεδομένα.

Η ακρίβεια του GIS εξαρτάται από τα δεδομένα προέλευσης, και από τον τρόπο με τον οποίο είναι κωδικοποιημένα να αναφέρονται τα δεδομένα. Οι Τοπογράφοι είναι σε θέση να παρέχουν ένα υψηλό επίπεδο ακρίβειας θέσης αξιοποιώντας τις θέσεις που προέρχονται από GPS, φωτογραμμετρικές ή τοπογραφικές εργασίες. Υψηλής

ανάλυσης DSM και αεροφωτογραφίες, ισχυροί υπολογιστές και η διαδικτυακή τεχνολογία αλλάζουν την ποιότητα, τη χρησιμότητα, και τις προσδοκίες των GIS έτσι ώστε να υπηρετούν την κοινωνία σε μεγάλη κλίμακα.

Στην παρούσα εφαρμογή, με σκοπό την οπτικοποίηση της περιοχής μελέτης και τη δημιουργία των όγκων των ιδιοκτησιών χρησιμοποιήθηκε το περιβάλλον ArcScene 10.1 του ArcGIS. Στο λογισμικό αυτό εισήχθη το ψηφιδωτό αρχείο του ψηφιακού μοντέλου επιφανείας σε μορφή καννάβου. Για την οπτικοποίησή του ακολουθήθηκαν τα εξής βήματα: στο layer του ψηφιακού μοντέλου επιφανείας επιλέγεται properties → Base Heights Floating on a custom surface και Rendering → shade areal features relative to the scene's light position. Έτσι, προέκυψε η τρισδιάστατη μορφή των κτηρίων της περιοχής της Πολυτεχνειούπολης. Στην 3D απεικόνιση που παρουσιάζεται στην εικόνα 45 έχει δημιουργηθεί μια παλέτα χρωμάτων στην οποία τα διάφορα εύρη τιμών των υψομέτρων αντιστοιχίζονται σε διαφορετικά χρώματα. Με αυτό τον τρόπο υπάρχει η δυνατότητα να εντοπιστούν εύκολα τα κτήρια με το ίδιο ύψος, να γίνουν αισθητές οι υπάρχουσες υψομετρικές διαβαθμίσεις καθώς να διαχωριστεί η βλάστηση και το έδαφος από τις κατασκευές. Το πρόβλημα που εμφανίζεται αφορά το περίγραμμα του κτηρίου και των διαδρόμων σύνδεσης. Οι ακμές των κατασκευών δεν εμφανίζονται σαφώς καθορισμένες αλλά στρογγυλοποιημένες. Αυτό επιβεβαιώνει και την βιβλιογραφία η οποία αναφέρει την αδυναμία του LiDAR να εντοπίσει τις ακμές των κτηρίων.



Εικόνα 45 : 3D αναπαράσταση της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου

Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε στο λογισμικό ArcGIS 10.1 στο οποίο εισήχθησαν τόσο οι ορθοφωτογραφίες VLSO όσο και το DSM. Το ψηφιακό μοντέλο

επιφανείας καθώς και οι αληθείς ορθοφωτογραφίες διέθεταν την γεωαναφορά τους και βρίσκονται στο ίδιο σύστημα αναφοράς. Αυτό σημαίνει ότι τα επίπεδα των δύο σετ δεδομένων συμπίπτουν και επικαλύπτονται όπως φαίνεται και στην εικόνα 46 η οποία προέκυψε μετά από την υπέρθεση των δύο δεδομένων.



Εικόνα 46: Έλεγχος σύμπτωσης VLSO ορθοφωτογραφίας και DSM

Έπειτα, ακολούθησε μια διαδικασία για τον υπολογισμό του υψόμετρου των κτηρίων της περιοχής μελέτης καθώς και των αντικειμένων / επιπέδων που διακρίνονται. Πρέπει να σημειωθεί ότι το υψόμετρο που έχει καταγραφεί και έχει καταχωρηθεί σε κάθε εικονοστοιχείο του καννάβου αντιστοιχεί στο απόλυτο υψόμετρο, δηλαδή στην κατακόρυφη απόσταση του σημείου από το γεωειδές. Για αυτό το σκοπό, στην περιοχή που αντιστοιχεί στα κτήρια της ΣΑΤΜ, έγινε έλεγχος των τιμών των pixel οι οποίες αντιστοιχούν στο απόλυτο υψόμετρο χρησιμοποιώντας την εντολή identify του λογισμικού. Πρέπει να σημειωθεί ότι, εφόσον το ψηφιδωτό του DSM και η ορθοφωτογραφία βρίσκονται στο ίδιο σύστημα αναφοράς, τα αντίστοιχα πολύγωνα των κτηρίων είναι παράλληλα και επικαλύπτονται. Κατά συνέπεια, από την ορθοφωτογραφία εντοπίζονται οι περιοχές του DSM που αντιστοιχούν στα συγκεκριμένα κτήρια. Στη συνέχεια, επιλέγονται τα εικονοστοιχεία του DSM που βρίσκονται εντός των περιγραμμάτων των κτηρίων της ορθοφωτογραφίας ώστε να υπολογιστεί το απόλυτο υψόμετρο κάθε κτηρίου.

Για τον εντοπισμό των αντικειμένων χρησιμοποιήθηκαν ορισμένα κριτήρια σύμφωνα με τα οποία η διαφορά μεταξύ των pixel έπρεπε να βρίσκεται μέσα σε ένα εύρος τιμών. Συγκεκριμένα η διαδικασία είχε ως εξής: Αρχικώς, σε κάθε οροφή επιλέχθηκε χειροκίνητα μικρός αριθμός γειτονικών εικονοστοιχείων των οποίων οι τιμές διέφεραν μέχρι 2 cm και υπολογίστηκε ο μέσος όρος αυτών. Η τιμή των 2 cm έχει τεθεί πολύ αυστηρά καθώς είναι αναγκαίο για την εκκίνηση της διαδικασίας να

βρίσκονται τα επιλεγμένα εικονοστοιχεία στο ίδιο επίπεδο. Στη συνέχεια επιλέγονται pixel που βρίσκονται σε μικρή απόσταση από αυτή την περιοχή ώστε να ελεγχθεί η τιμή τους. Στην περίπτωση που η απόλυτη διαφορά τους είναι μεγαλύτερη από μια συγκεκριμένη τιμή α , η τιμή αυτού του pixel δεν συμπεριλαμβάνεται στον υπολογισμό του καινούριου μέσου όρου. Αντιθέτως, εάν η τιμή του pixel είναι μέσα στην επιτρεπόμενη απόκλιση, λαμβάνεται υπόψη. Το όριο που θεωρήθηκε επιτρεπτό είναι το διπλάσιο του μέγιστου σφάλματος που έχουν τα υψομετρικά δεδομένα. Εφόσον τα συγκεκριμένα δεδομένα έχουν μέγιστο σφάλμα 15 cm το επιτρεπτό όριο διαφοράς των pixel είναι 30 cm. Ακολουθώντας, συγκρίνεται ο μέσος όρος που προκύπτει από κάθε νέο σημείο που λαμβάνεται υπόψη με τον τελευταίο μέσο όρο που είχε υπολογιστεί πριν από αυτό το σημείο. Η διαφορά των μέσων όρων έχει μια επιτρεπόμενη τιμή β η οποία στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι το 1/3 της τιμής α . Επομένως τα κριτήρια έχουν ως εξής:

$$|h_i - \bar{h}| < \alpha \text{ cm} \quad (1)$$

και

$$|\bar{h}' - \bar{h}| < \frac{1}{3} * \alpha \text{ cm} \quad (2)$$

Οι τιμές αυτές δεν είναι προκαθορισμένες και τίθενται κάθε φορά από τον χρήστη. Στην μελέτη αυτή, τα επιτρεπόμενα όρια επιλέχθηκαν με βάση την υψομετρική ακρίβεια των διαθέσιμων δεδομένων LiDAR.

Σε κάθε επίπεδο ελέγχθηκε αρκετά μεγάλος αριθμός σημείων για τον υπολογισμό του μέσου όρου έτσι ώστε να είναι πιο αξιόπιστο το αποτέλεσμα. Οι τιμές των pixel που δεν ικανοποιούσαν τα παραπάνω δύο κριτήρια απορρίπτονταν και δε συμμετείχαν στον υπολογισμό του μέσου όρου. Η μεγάλη διαφορά τιμών σήμαινε τον εντοπισμό μιας οντότητας σε μεγαλύτερο ή μικρότερο υψόμετρο του επιπέδου που εξετάζοταν. Με αυτό τον τρόπο εντοπίστηκε η ύπαρξη των διαφορετικών επιπέδων ή αντικειμένων κάθε κατασκευής. Τα εικονοστοιχεία που επιλέχθηκαν ήταν όσο πιο κοντά στις ακμές του κτηρίου ήταν εφικτό αλλά και τυχαία σημεία της οροφής.

Μετά τον εντοπισμό των διαφορετικών οντοτήτων στο DSM έγινε αναγνώριση του είδους τους παρατηρώντας τις VLSO. Αυτό ήταν δυνατό λόγω των διαθέσιμων δεδομένων. Σε αντίθετη περίπτωση δε θα ήταν εφικτή η αναγνώριση του είδους των αντικειμένων παρά μόνο η ύπαρξη διαφορετικών επιπέδων. Οι ορθοφωτογραφίες χρησιμοποιήθηκαν για την σύγκριση των περιγραμμάτων που δημιουργούν τα εικονοστοιχεία με αυτά που υφίστανται στην πραγματικότητα. Οι ακμές των οροφών των κτηρίων δεν είναι δυνατόν να καθοριστούν με ακρίβεια μόνο με τη χρήση της υψομετρικής πληροφορίας που παρέχουν τα δεδομένα LiDAR καθώς η πυκνότητα τους δε μπορεί να τις περιγράψει γραμμικά. Κατά την απεικόνιση της πληροφορίας με εικονοψηφίδες κατά μήκος των ακμών των κτηρίων, κάποια υψομετρικά σημεία βρίσκονται επί του κτηρίου και κάποια άλλα επί του εδάφους, παρουσιάζοντας την ακμή της οροφής της συγκεκριμένα. Κατά συνέπεια, το περίγραμμα που δημιουργείται

δεν είναι το πραγματικό και η επιλογή των εικονοστοιχείων που θα συμμετέχουν στον υπολογισμό του υψομέτρου του αντικειμένου πρέπει να γίνει με προσοχή. Ο χρήστης είναι δυνατό να αστοχήσει μερικά pixels και να μην επιλέξει εκείνο που είναι πιο κοντά στην ακμή.

Επομένως, για κάθε κτήριο συλλέχθηκε δείγμα μετρήσεων για κάθε όροφο-διαβάθμιση του κτηρίου η οποία εντοπίστηκε καθώς και για τους όγκους επί των οροφών όπως είναι τα κλιμακοστάσια, και οι μικρές αποθήκες. Στη συνέχεια υπολογίστηκε ο μέσος όρος των υψομέτρων σε φύλλο excel και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους πίνακες που ακολουθούν. Όπως αναφέρθηκε, οι τιμές που απείχαν αρκετά από τις υπόλοιπες αποκλείστηκαν από τον υπολογισμό του μέσου όρου του κάθε αντικειμένου ή οροφής καθώς αυτό σήμαινε ότι το σημείο δεν ανήκει σε αυτό το επίπεδο-αντικείμενο.

Σύμφωνα με μελέτες, τα γειτονικά σημεία που διαφέρουν μεταξύ τους υψομετρικά πάνω από 1,20 μέτρα ανήκουν σε διαφορετικά επίπεδα. Με αυτόν τον τρόπο, γνωρίζοντας το απόλυτο υψόμετρο του εδάφους, είναι εφικτός ο διαχωρισμός των κατασκευών από αυτό. Οι πίνακες παρουσιάζουν τα σχετικά αποτελέσματα, δηλαδή τους μέσους όρους των απόλυτων υψομέτρων των επιπέδων και των αντικειμένων των κτηρίων, ενώ η εικόνα 47 παρουσιάζει την κατανομή αυτών. Σε κάθε άλλη περίπτωση, κατά την οποία είναι διαθέσιμο μόνο το DSM της περιοχής, η αναγνώριση της ύπαρξης διαφορετικών επιπέδων γίνεται βάσει της διαφοράς των τιμών μεταξύ γειτονικών pixels. Παρόλα αυτά, δεν είναι δυνατή η αναγνώριση του είδους του αντικειμένου που εντοπίζεται, όπως αναφέρθηκε.



Εικόνα 47: κτήρια της ΣΑΤΜ

Πίνακας 5: Απόλυτο υψόμετρο επιπέδων κτηρίου 1

Κτήριο 1	Απόλυτο Υψόμετρο (m)
όροφος 1	195,55
όροφος 2	199,40
όροφος 3	203,20
εξαερισμός	205,65
βεράντα	199,29
αποθήκη	206,80

Πίνακας 6: Απόλυτο υψόμετρο επιπέδων κτηρίου 2

Κτήριο 2	Απόλυτο Υψόμετρο (m)
οροφή	199,17
βεράντα	194,98
ημιώροφος	197,98
αποθήκη	199,82
διάδρομος	199,40

Πίνακας 7: Απόλυτο υψόμετρο επιπέδων κτηρίου 3

Κτήριο 3	Απόλυτο Υψόμετρο (m)
οροφή	206,97
αποθήκη	209,76
κλιματιστικό	211,75
συνδετικός διάδρομος Κ	198,97
συνδετικός διάδρομος Λ	198,92
συνδετικός διάδρομος Ρ	206,87

Πίνακας 8: Απόλυτο υψόμετρο επιπέδων κτηρίου 4

Κτήριο 4	Απόλυτο Υψόμετρο (m)
οροφή	200,22
εξαερισμός	202,22

Πίνακας 9: Απόλυτο υψόμετρο επιπέδων κτηρίου 5

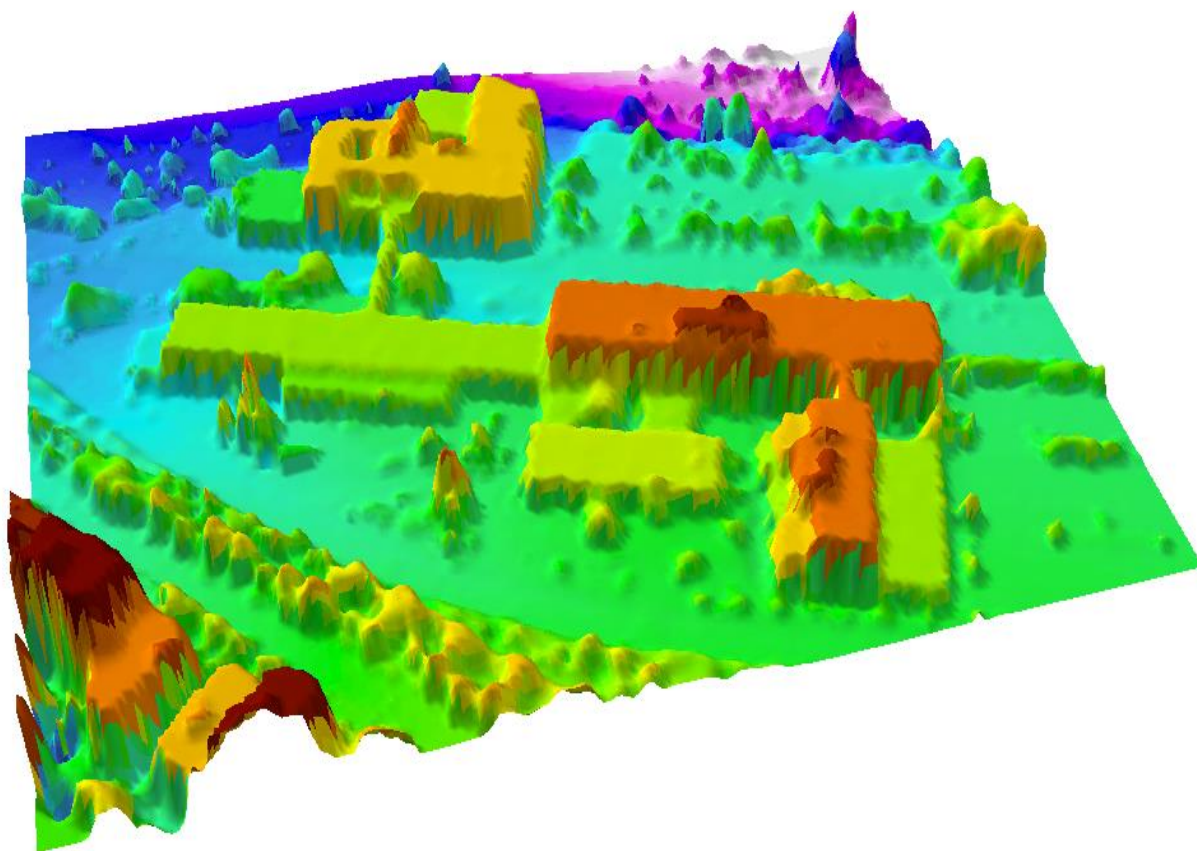
Κτήριο 5	Απόλυτο Υψόμετρο (m)
οροφή	199,41

Πίνακας 10: Απόλυτο υψόμετρο επιπέδων κτηρίου 6

Κτήριο 6	Απόλυτο Υψόμετρο (m)
οροφή	206,81
αποθήκη	209,62
βεράντα 1	203,08
βεράντα 2	203,05

3.3 Αξιολόγηση προσδιορισμού τρίτης διάστασης ιδιοκτησιών

Για κάθε κτήριο της ΣΑΤΜ έγινε εξαγωγή της υψομετρικής πληροφορίας από το διαθέσιμο ψηφιδωτό αρχείο. Όπως είναι φυσικό, τα εικονοστοιχεία δεν είχαν όλα κοντινή τιμή κι αυτό οφείλεται στο ότι σε κάθε οροφή υπάρχουν κλιμακοστάσια, κουβούκλια εξαερισμού, κλιματιστικά και βάρθρα. Αυτά, προφανώς, έχουν μεγαλύτερο υψόμετρο από την οροφή των κτηρίων, γεγονός που φαινόταν και στην τιμή του εικονοστοιχείου καθώς και στη τρισδιάστατη απεικόνιση της εικόνας 48.



Εικόνα 48: 3D αναπαράσταση των κτηρίων της ΣΑΤΜ, Πολυτεχνειούπολη, Ζωγράφου

Σε αυτή την εικόνα παρουσιάζεται η τρισδιάστατη μορφή του κτηρίου Λαμπαδαρίου και του Βέη όπως προέκυψε από την επεξεργασία του DSM στο ArcScene. Βόρεια απεικονίζεται το κτήριο ΒΕΗ, νότια οι αίθουσες Α ενώ τα υπόλοιπα είναι το κτήριο Λαμπαδάριο. Αρχικά, πρέπει να γίνει έλεγχος απόδοσης των διαφόρων επιπέδων που διαθέτουν τα κτήρια. Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα που έχουν καταχωρηθεί στο excel, παρατηρείται ότι κάθε όροφος βρίσκεται στη σωστή υψομετρική θέση σχετικά με τους άλλους. Επίσης είναι δυνατό κάποιος να παρατηρήσει και την ύπαρξη των

συνδετικών διαδρόμων καθώς και τις γέφυρες. Παρόλα αυτά, ο διαχωρισμός του είδους των όγκων δεν είναι πολύ εύκολος καθώς από τους σχηματιζόμενους οντότητες είναι δύσκολο να διακριθεί αν πρόκειται περί αποθήκης ή κλιμακοστασίου. Παράλληλα, η ύπαρξη δέντρων δίπλα από τα κτήρια όπως φαίνεται και στην εικόνα 49 προκαλεί θόρυβο στην τρισδιάστατη απεικόνιση. Επίσης, από την μη κανονικότητα των κτηρίων είναι εύκολα αντιληπτό ότι οι ακμές παρουσιάζονται στρογγυλοποιημένες με εμφανή την αστοχία.



Εικόνα 49: επικάλυψη οροφών με βλάστηση, κτήριο ΒΕΗ, ΣΑΤΜ

Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κάποια υψομετρικά σημεία βρίσκονται επί του κτηρίου και κάποια άλλα επί του εδάφους, παρουσιάζοντας την ακμή της οροφής της συγκεκριμένα. Συνέπεια αυτού είναι το περίγραμμα των κτηρίων να μην αποδίδεται σωστά, δηλαδή οι τιμές των υψομέτρων των ακμών των κτηρίων να εμφανίζονται με λανθασμένη ένδειξη. Αυτές οι τιμές είναι μικρότερες από τις αναμενόμενες από 2m μέχρι και 5m , γεγονός που σημαίνει ότι τα pixels αυτά έχουν τις τιμές της γύρω από το κτήριο περιοχής, όπως κάποιου χαμηλότερου επιπέδου ή ακόμα και του εδάφους. Τα δεδομένα LiDAR στη συγκεκριμένη μελέτη αστοχούν στον εντοπισμό των ακμών και επομένως δεν περιέχουν την σωστή υψομετρική πληροφορία για μήκος περίπου 1,5m από την ακμή. Αυτό διαπιστώθηκε μετά από μια σειρά μετρήσεων χρησιμοποιώντας και συγκρίνοντας το περίγραμμα των κτηρίων στην ορθοφωτογραφία και το κατά προσέγγιση περίγραμμα του ψηφιδωτού. Το ψηφιδωτό του DSM και η ορθοφωτογραφία βρίσκονται στο ίδιο σύστημα αναφοράς, με αποτέλεσμα τα αντίστοιχα πολύγωνα των κτηρίων να είναι παράλληλα και να επικαλύπτονται. Έτσι, έγινε αναγνώριση των υψομέτρων των στοιχείων από το εικονοστοιχείο που θα έπρεπε να αντιστοιχεί την ακμή βάσει την VLSO, μέχρι το σημείο εκείνο στο οποίο θα είχε ως ένδειξη την τιμή του υψομέτρου της οροφής.

Αυτή η αστοχία συμβαίνει διότι το LiDAR συλλέγει σημεία ανά ένα μέτρο κατά τον άξονα των x και κατά τον άξονα των y και είναι πολύ πιθανό το σημείο που συλλέγεται να μην συμπίπτει με την ακμή του κτηρίου αλλά να υπάρχει πάνω στο κτήριο, κάποια εκατοστά πριν από αυτή. Έτσι, διαπιστώθηκε ότι για τις περισσότερες ακμές η τιμή του υψομέτρου είναι υποτιμημένη για μήκος 1-1,5 μέτρο από αυτές. Παρομοίως, περιμετρικά των κτηρίων η αστοχία κυμαίνεται από 0,5m μέχρι και 1m. Αποτέλεσμα αυτού είναι οι όγκοι που δημιουργούνται από τα συγκεκριμένα δεδομένα να είναι μικρότερα των πραγματικών. Οι τιμές αυτές προέκυψαν δειγματοληπτικά και αφού υπολογίστηκε ο μέσος όρος τους σε φύλλο excel. Πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι το μέγεθος του κάθε εικονοστοιχείου στον κάρναβο είναι 1 μέτρο γεγονός που σημαίνει ότι μια αστοχία του χρήστη στην επιλογή του εικονοστοιχείου μπορεί αυτόματα να ανάγει το σφάλμα στο 1 μέτρο.



Εικόνα 50: ακανόνιστο περίγραμμα κτηρίων στο DSM

Παράλληλα, η βλάστηση αποτελεί ακόμη ένα πρόβλημα για το σύνολο των δεδομένων. Υπάρχουν κτήρια των οποίων οι ακμές κι ένα μέρος του κτηρίου καλύπτονται από δέντρα. Ως εκ τούτου η τιμή του pixel είναι μεγαλύτερη από αυτή που θα έπρεπε καθώς το LiDAR αποτυπώνει ό,τι υπάρχει στην επιφάνεια του εδάφους και όχι μόνο τα κτήρια. Επίσης, η απόδοση του υψομέτρου σε περιοχές στις οποίες η οροφή της κατασκευής έχει κλίση και μεταβάλλεται συνεχώς το υψόμετρο της (σχετικό παράδειγμα υπάρχει στο κτήριο A) αστοχεί εν μέρει καθώς στο χαμηλότερο κομμάτι της η τιμή είναι αυτή που αντιστοιχεί στην γύρω περιοχή ενώ καθώς μεγαλώνει το υψόμετρό της η τιμή μεταβάλλεται συνεχώς με μια κάποια αστοχία. Το μήκος και το πλάτος των αντικειμένων παίζουν επίσης ρόλο στην απεικόνιση των αντικειμένων. Στο κτήριο Βήη παρουσιάζονται λεπτές δοκοί στην προέκταση της οροφής, παρόλα αυτά το LiDAR δεν εντοπίζει την υψομετρική πληροφορία του αντικειμένου και αποδίδει ό,τι βρίσκεται κάτω από αυτό (εικόνα 49). Αυτό οφείλεται στο ότι η πυκνότητα των διαθέσιμων δεδομένων δεν επαρκεί για την απόδοση οντοτήτων μικρού πλάτους.

3.4 Σύγκριση με άλλες πηγές δεδομένων

Οι μετρήσεις του συστήματος LiDAR έδωσαν αποτελέσματα σχετικά με το απόλυτο υψόμετρο των σημείων και αντικειμένων. Είναι σκόπιμο να γίνει μια επαλήθευση των απόλυτων υψομέτρων κάθε οντότητας που εντοπίστηκε έτσι ώστε να διερευνηθεί η ικανότητα των δεδομένων LiDAR στην απόδοση της σωστής υψομετρικής πληροφορίας. Με αυτό τον τρόπο τα συμπεράσματα θα είναι έγκυρα και πιο ακριβή. Θα χρησιμοποιηθεί για αυτόν το σκοπό το ψηφιδωτό αρχείο του ψηφιακού μοντέλου επιφανείας που προέρχεται από τις VLSO ορθοφωτογραφίες. Το DSM που έχει παραχθεί από τις VLSO ορθοφωτογραφίες έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά. Το μέγεθος του εικονοστοιχείου στο έδαφος 0,80 m ενώ οι διαστάσεις της πινακίδας είναι 960*760 m συμπεριλαμβανομένης της επικάλυψης. Η γεωμετρική ακρίβειά του είναι $RMSE_z \leq 0.60$ m και η υψομετρική ακρίβεια ≤ 1.18 m, για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

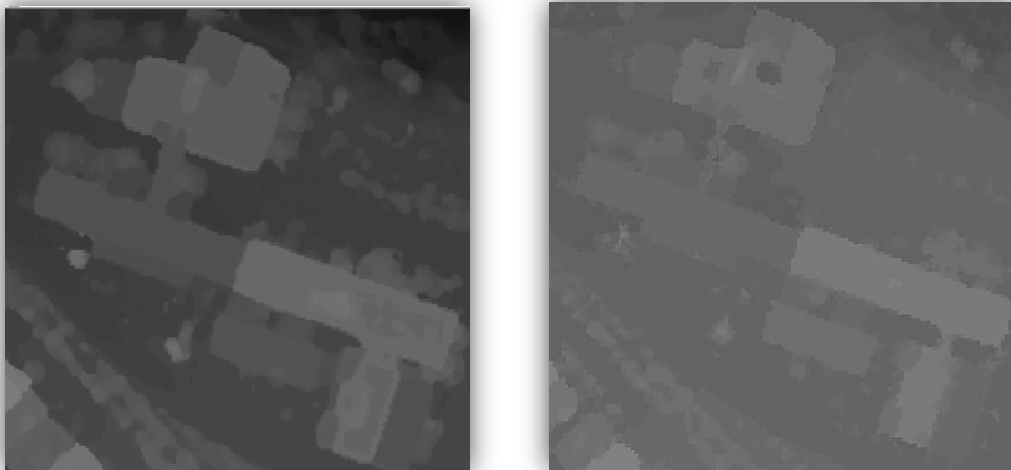


Εικόνα 51 : DSM Πολυτεχνειούπολης από VLSO

Για να γίνει η σύγκριση των τιμών της υψομετρικής πληροφορίας ακολουθήθηκε η διαδικασία που περιγράφηκε στο εδάφιο 3.2. Έγινε δηλαδή αναγνώριση του υψομέτρου με το εργαλείο Identify και υπολογισμός του μέσου όρου στο excel. Όπως προκύπτει από το παρακάτω DSM που απεικονίζει την περιοχή μελέτης είναι φανερό ότι:

- πιο πυκνό είναι το πρώτο DSM που προέκυψε από τις VLSO καθώς τα σημεία είναι περισσότερα και τα σχήματα παρουσιάζονται με πιο διακριτό τρόπο. Πρέπει να αναφερθεί ότι το DSM από τις VLSO έχει υψομετρική πληροφορία ανά 0,8 μ σε αντίθεση με το αρχικό DSM που έχει πυκνότητα 1 σημείο ανά μέτρο. Ως εκ τούτου, στην μια περίπτωση το μέγεθος του εικονοστοιχείου είναι μικρότερο, επομένως μεγαλύτερη ευκρίνεια και το περίγραμμα των κτηρίων προσεγγίζεται καλύτερα.
- παρουσιάζεται η δυνατότητα εντοπισμού αντικείμενων που έχουν μικρό μήκος και πλάτος και δεν ήταν δυνατόν να εντοπιστούν στην άλλη περίπτωση (πχ λεπτές δοκοί).
- τα pixel διαθέτουν την κατάλληλη τιμή στα περισσότερα από τα περιγράμματα των κτηρίων σε αντίθεση με το DSM που αντιστοιχεί στα δεδομένα LiDAR. Παρόλα αυτά, παρατηρείται ότι ακόμα και με το ψηφιακό μοντέλο επιφανείας από τις VLSO οι ακμές δεν εντοπίζονται σε πολλά κτήρια και υπάρχει κάποια αστοχία.

Κατά συνέπεια, το ψηφιδωτό που έχει παραχθεί από το LiDAR δεν έχει την ίδια ευκρίνεια στην περιγραφή των οριογραμμών των κτηρίων σε σχέση με το ψηφιδωτό των ορθοφωτογραφιών λόγω του μεγέθους του εικονοστοιχείου του καννάβου. Συγκρίνοντας δε τις τιμές των απόλυτων υψομέτρων από τα δύο DSM παρατηρείται ότι η διαφορά τους κυμαίνεται στα 10-18 cm ενώ στη περίπτωση των διαδρόμων φτάνει μέχρι 40 cm γεγονός που ίσως οφείλεται στο δείγμα των εικονοστοιχείων που επιλέχθηκαν καθώς και στο σφάλμα που ενδέχεται να έχουν τα Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους. Στην περίπτωση που δεν ήταν διαθέσιμο το DSM από τις VLSO η σύγκριση θα μπορούσε να γίνει με υπαίθριες μετρήσεις με GPS.



Εικόνα 52: στην αριστερή εικόνα παρουσιάζεται το DSM από τις VLSO ορθοφωτογραφίες ενώ δεξιά το DSM από τα δεδομένα LiDAR,

Οι πίνακες παρακάτω παρουσιάζουν τις τιμές στις δύο περιπτώσεις για μια πιο αναλυτική σύγκριση. Παρατηρείται λοιπόν, ότι οι τιμές των οροφών κατά κύριο λόγο

συμπίπτουν, εκτός ελάχιστων περιπτώσεων ενώ οι διαφορές παρατηρούνται κυρίως στους διαδρόμους που συνδέουν τα κτήρια οι οποίοι έχουν μικρό πλάτος.

Πίνακας 11: : Σύγκριση τιμών απόλυτου υψομέτρου από LiDAR και VLSO για το κτήριο 1

Κτήριο 1	Απόλυτο Υψόμετρο (LiDAR)	Απόλυτο Υψόμετρο (VLSO)
όροφος 1	195,55	195,55
όροφος 2	199,40	199,60
όροφος 3	203,20	203,20
εξαερισμός	205,65	205,65
βεράντα	199,29	199,29
δωμάτιο	206,80	206,64

Πίνακας 12: Σύγκριση τιμών απόλυτου υψομέτρου από LiDAR και VLSO για το κτήριο 2

Κτήριο 2	Απόλυτο Υψόμετρο (LiDAR)	Απόλυτο Υψόμετρο (VLSO)
οροφή	199,17	199,30
βεράντα	194,98	195,30
ημιώροφος 7	197,98	198,32
αποθήκη	199,82	199,70
διάδρομος	199,40	199,58

Πίνακας 13: Σύγκριση τιμών απόλυτου υψομέτρου από LiDAR και VLSO για το κτήριο 3

Κτήριο 3	Απόλυτο Υψόμετρο (LiDAR)	Απόλυτο Υψόμετρο (VLSO)
οροφή	207,00	207,23
αποθήκη	209,76	210,06

κλιματιστικό	211,75	211,60
συνδετικός διάδρομος Κ	198,97	199,20
συνδετικός διάδρομος Λ	198,92	199,10
συνδετικός διάδρομος Ρ	206,87	207,30
βάθρο	207,34	207,30

Πίνακας 14: Σύγκριση τιμών απόλυτου υψομέτρου από LiDAR και VLSO για το κτήριο 4

Κτήριο 4	Απόλυτο Υψόμετρο (LiDAR)	Απόλυτο Υψόμετρο (VLSO)
οροφή	200,22	200,28
εξαερισμός	202,22	202,10

Πίνακας 15: Σύγκριση τιμών απόλυτου υψομέτρου από LiDAR και VLSO για το κτήριο 5

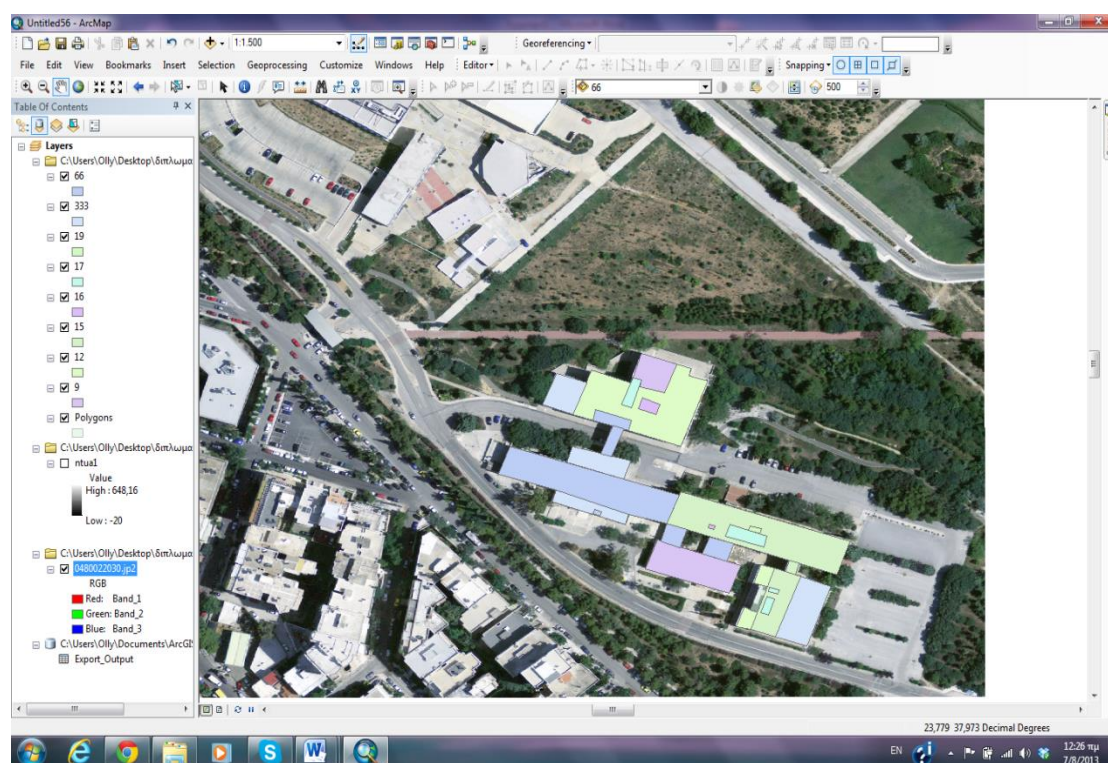
Κτήριο 5	Απόλυτο Υψόμετρο (LiDAR)	Απόλυτο Υψόμετρο (VLSO)
οροφή	199,41	199,36

Πίνακας 16: Σύγκριση τιμών απόλυτου υψομέτρου από LiDAR και VLSO για το κτήριο 6

Κτήριο 6	Απόλυτο Υψόμετρο (LiDAR)	Απόλυτο Υψόμετρο (VLSO)
οροφή	206,81	207,05
ύψωμα	209,62	209,54
βεράντα 1	203,08	203,12
βεράντα 2	203,05	203,12

Τα δεδομένα LiDAR παρέχουν ένα πολύ γρήγορο και εύκολο τρόπο για την απεικόνιση της πληροφορίας του εδάφους. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο γίνονται προσπάθειες απευθείας εξαγωγής των όγκων από αυτά τα δεδομένα με αυτόματους ή

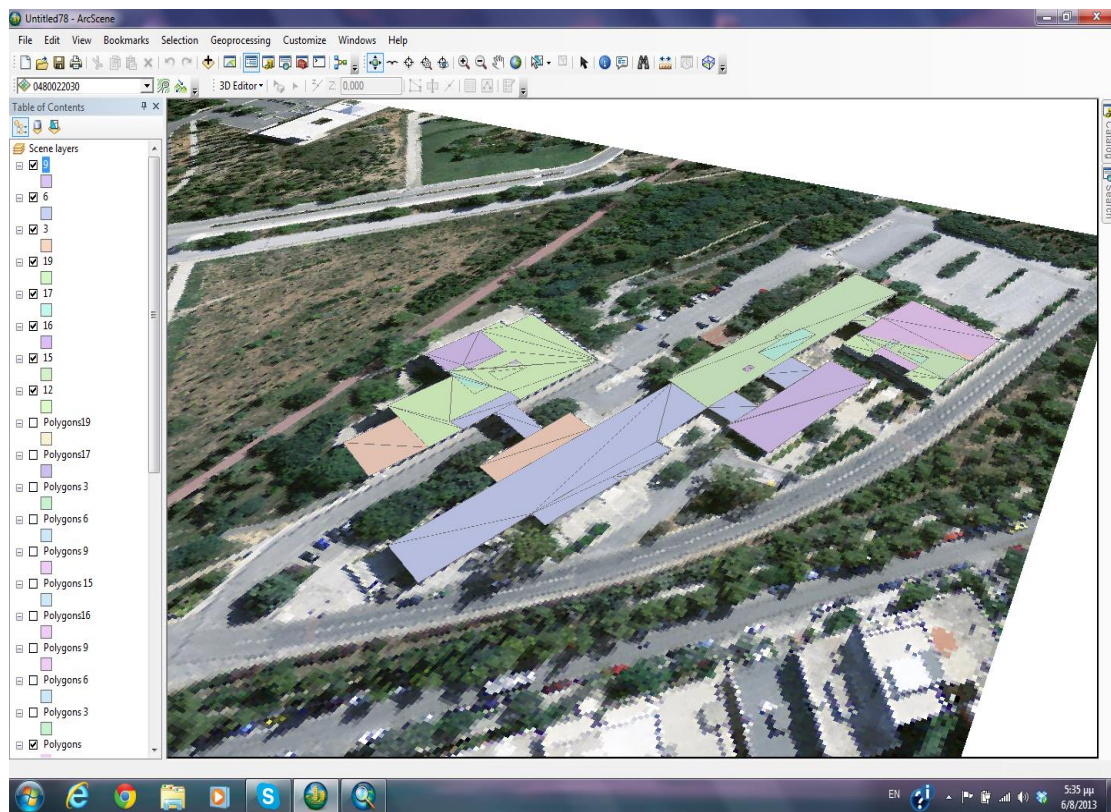
ημιαυτόματους αλγορίθμους. Για να είναι αυτό απολύτως κατανοητό έγινε προσπάθεια απεικόνισης των τοπολογικών σχέσεων αλλά και των ορθών θέσεων των κτηρίων με άλλη μέθοδο ώστε να συγκριθεί ο χρόνος, η δυσκολία και το κόστος. Για αυτό το σκοπό χρησιμοποιήθηκε πάλι το ArcScene 10.1 και το ArcMap 10.1 και η διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι η εξής: Στο ArcMap έγινε ψηφιοποίηση των κτηρίων Λαμπαδαρίου και Βέη και συμπλήρωση ενός πεδίου του πίνακα ιδιοτήτων με το υψόμετρο στο οποίο βρίσκεται η οντότητα που μελετάται. Η συλλογή των οριογραμμών των κτηρίων στην ορθή οριζοντιογραφική τους θέση έγινε με την ψηφιοποίηση επί της ορθοφωτογραφίας του ίχνους του κτηρίου πάνω στο έδαφος. Το περίγραμμα του κτηρίου που ψηφιοποιείται, τοποθετείται στο ανάλογο layer ανάλογα με τον αριθμό των ορόφων που διαθέτει το κτήριο (εικόνα 53).



Εικόνα 53: ψηφιοποίηση των περιγραμμάτων των κτηρίων στο ArcMap

Στη συνέχεια, τα περιγράμματα εισάγονται στο ArcScene και από εκεί για κάθε layer δημιουργείται ο όγκος ως εξής: properties → Extrusion value or expression και τίθεται η τιμή του υψομέτρου υποθέτοντας ότι κάθε όροφος είναι 3 μέτρα. Έτσι, για το layer του πρώτου ορόφου τέθηκε η τιμή 3, για το layer του δεύτερου ορόφου η τιμή 6, για το layer του τρίτου ορόφου η τιμή 9 κτλ. Έπειτα, επιλέγεται το Apply extrusion by adding to each feature's minimum height. Με αυτόν τον τρόπο παράγεται το αποτέλεσμα της εικόνας 55, στο οποίο παρουσιάζονται οι εκάστοτε οντότητες με τα επιμέρους επίπεδα. Αυτή η μέθοδος απεικονίζει τους όγκους που δημιουργούνται από το πραγματικό περίγραμμα και ύψος, στις σωστές θέσεις και έχοντας τις πραγματικές τοπολογικές σχέσεις. Παρόλα αυτά, η διαδικασία είναι αρκετά επίπονη αν αναλογιστεί κανείς το μέγεθος εργασίας που απαιτείται για την απόδοση όλων των απαραίτητων λεπτομερειών των κτηρίων που αναλογούν σε μια πόλη. Η

ψηφιοποίηση απαιτεί αρκετή ώρα και προσοχή για την σωστή απόδοση τόσο του περιγράμματος όσο και για τη καταγραφή της υψομετρικής πληροφορίας στο πεδίο του attribute table. Παράλληλα, εκτός από χρονικό κόστος, υπάρχει και μεγάλο οικονομικό κόστος καθώς απαιτούνται πολλές ώρες ψηφιοποίησης και τοποθέτησης στο κατάλληλο Layer. Επίσης, είναι σχεδόν ακατόρθωτο να ενταχθεί κάθε περίγραμμα αντικειμένου που ψηφιοποιείται στο κατάλληλο layer. Όπως προκύπτει, είναι επιτακτική η ανάγκη αξιοποίησης των δεδομένων LiDAR και αυτοματοποίησης της διαδικασίας δημιουργίας τρισδιάστατων αντικειμένων προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί ο χρόνος εργασίας και να συμβάλει ουσιαστικά στη δημιουργία του 3D Κτηματολογίου.



Εικόνα 54: εισαγωγή των περιγραμμάτων των κτηρίων της ΣΑΤΜ στο ArcScene



Εικόνα 55: τρισδιάστατη απεικόνιση της ΣΑΤΜ στο ArcScene

3.5 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα

Τα δεδομένα που προήλθαν από το σύστημα LiDAR εξετάστηκαν για την δυνατότητα προσέγγισης της τρισδιάστατης πραγματικότητας και την δυνατότητα αξιοποίησής τους στο πλαίσιο του Κτηματολογίου. Ο έλεγχος αφορούσε την ικανότητα δημιουργίας του όγκου που αντιπροσωπεύει την κάθε ιδιοκτησία χρησιμοποιώντας αυτά τα δεδομένα. Όπως παρουσιάστηκε στις προηγούμενες ενότητες, τα δεδομένα αυτά παρουσιάζουν ορισμένα πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλου είδους δεδομένα, αλλά υστερούν και σε ορισμένα σημεία. Σύμφωνα λοιπόν με την προϋπάρχουσα γνώση και λαμβάνοντας υπόψη την εφαρμογή στην περιοχή της Πολυτεχνειούπολης προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα.

Πλεονεκτήματα:

- Τα δεδομένα LiDAR παρέχουν απευθείας μια 3D περιγραφή της σκαναρισμένης περιοχής καθώς και την υψομετρική πληροφορία που αφορά όχι μόνο το έδαφος αλλά και τις κατασκευές πάνω σε αυτό. Χρησιμοποιώντας αυτού του είδους τα δεδομένα είναι εύκολο να ενημερωθεί μια κτηματολογική βάση δεδομένων.
- Παράλληλα, αποδίδουν γρήγορα και με εύκολο τρόπο τις οντότητες επί της επιφανείας του εδάφους χωρίς να απαιτείται τεράστιος όγκος εργασίας.

- Τα απόλυτα υψόμετρα που παρουσιάζονται στη συγκεκριμένη εφαρμογή αντιστοιχούν στην πραγματικότητα και αποκλίνουν από αυτή ελάχιστα (μέχρι 35cm). Γενικότερα τα υψομετρικά δεδομένα είναι και καλύτερης ακρίβειας.
- Εντοπίζουν ακόμη και αντικείμενα που καταλαμβάνουν ελάχιστο όγκο στις οροφές των κτηρίων ανάλογα φυσικά με την πυκνότητά τους.
- Ο συνδυασμός τους με άλλου είδους δεδομένα, όπως είναι οι ορθοφωτογραφίες, δίνει εντυπωσιακά αποτελέσματα από άποψη ακριβείας. Με αυτό τον τρόπο οι προδιαγραφές γεωμετρικής ακρίβειας των ορίων των αντικειμένων του Κτηματολογίου για τα υπόβαθρα 2012 καλύπτονται με πολύ μεγάλη ασφάλεια.
- Αποδίδουν ορθά τις τοπολογικές σχέσεις των κτηρίων.

Μειονεκτήματα:

- Τα όρια των γεωτεμαχίων ή των σημείων καμπής δεν έχουν σαφή υψομετρική υπογραφή κι έτσι δε μπορούν να θεωρηθούν αξιόπιστα για την καταγραφή του υψομέτρου τους. Λόγω του ασαφούς περιγράμματος δημιουργούνται σχήματα τα οποία δεν αντιστοιχούν στην πραγματικότητα.
- Σε αρκετές περιπτώσεις δεν είναι εύκολο να διαχωριστούν τα δέντρα από τα κτήρια, ειδικά όταν αυτά βρίσκονται σε ελάχιστη απόσταση μεταξύ τους.
- Τα περιγράμματα των κτηρίων, όπως είναι τα στηθαία στις ταράτσες συνήθως δεν αποδίδονται πλήρως και ίσως ορισμένες φορές και καθόλου. Αυτό συμβαίνει διότι, καθώς τα σημεία που βρίσκονται στο αληθές περίγραμμα παίρνουν τις τιμές των pixel που βρίσκονται τριγύρω, έχουν λάθος υψόμετρο. Έχουν μικρό πλάτος και δεν εντοπίζονται λόγω πυκνότητας.
- Είναι δυνατόν ορισμένες κατασκευές που απέχουν ελάχιστα μεταξύ τους να παρουσιάζονται ως μία ενιαία κατασκευή, καθώς η πυκνότητα των σημείων που λαμβάνονται ίσως να μην επαρκεί ώστε να αποδοθεί ο χώρος μεταξύ των κτηρίων.
- Πρόβλημα αποτελεί το γεγονός ότι δε γίνεται διακριτό αν η οντότητα που αποδίδεται τρισδιάστατα στις οροφές των κτηρίων αντιστοιχεί σε αποθήκη, κλιμακοστάσιο ή εξαερισμό ή ακόμα και σε κάποια αρχιτεκτονική ιδιαιτερότητα.
- Επίσης, περίπλοκες καταστάσεις, στις οποίες ένα κτήριο επικαλύπτει μέρος ενός άλλου κτηρίου, είναι δυνατόν να μην μπορούν να αποδοθούν.
- Στη περίπτωση κατά την οποία η οροφή δεν είναι επίπεδη αλλά διαθέτει κάποιου είδους στέγη (πχ κεραμίδια), το τρισδιάστατο σχήμα θα εμφανίζεται αρκετά παραμορφωμένο καθώς απαιτείται μεγάλη πυκνότητα σημείων.
- Τα διαθέσιμα δεδομένα δε πληρούν τις προδιαγραφές του Κτηματολογίου για το 2012. Παρόλα αυτά, πιο πρόσφατα δεδομένα μεγαλύτερης πυκνότητας (πάνω από 6 σημεία ανά τμ) μπορούν να καλύψουν τέτοιες προδιαγραφές.

Όπως προέκυψε από την μελέτη της περιοχής των κτηρίων της ΣΑΤΜ αλλά και από γενικότερη επισκόπηση των κατασκευών της περιοχής είναι εύκολο να προκύψουν ορισμένα συμπεράσματα γύρω από την ικανότητα απόδοσης του τρισδιάστατου χώρου χρησιμοποιώντας τα δεδομένα LiDAR. Λαμβάνοντας υπόψη της ανάγκες του Κτηματολογίου για αναπαράσταση των δικαιωμάτων και περιορισμών στις ιδιοκτησίες προκύπτει ότι: χρησιμοποιώντας μόνο τα δεδομένα αυτά είναι εύκολο να εντοπιστεί η ύπαρξη διάφορων όγκων που βρίσκονται επί των επίπεδων οροφών των κτηρίων όπως είναι τα κλιμακοστάσια, οι εξαερισμοί κτλ. Αυτό που ενδιαφέρει ως επί το πλείστον είναι οι όγκοι οι οποίοι λαμβάνουν εκατοστά επί τις ιδιοκτησίας και αποτελούν δικαιώματα και περιέχουν περιορισμούς. Τέτοια αντικείμενα ιδιοκτησίας είναι το ρετιρέ, η πισίνα και οι διαμορφωμένοι χώροι όπως είναι το roof garden καθώς αποτελούν εκμετάλλευση του λεγόμενου «αέρα». Οι ιδιοκτησίες αυτές απεικονίζονται ως όγκοι χωρίς όμως να έχουν ακριβέστατα όρια. Σε άλλες χώρες που τα όρια των ιδιοκτησιών δεν χρειάζεται να είναι ακριβή (για παράδειγμα η Μεγάλη Βρετανία), αλλά αρκούν τα γενικευμένα όρια μια τέτοια αξιοποίηση, θα ήταν πολύ καλή επιλογή. Παρόλα αυτά, στην Ελλάδα δεν ισχύουν τα γενικευμένα όρια και δεν υπάρχει ολοκληρωμένο 2D Κτηματολόγιο. Παράλληλα, οι ακρίβειες που δίνουν τα δεδομένα αυτά ως προς το υψόμετρο είναι 5-15cm, το οποίο σίγουρα ανταποκρίνεται στις ανάγκες δημιουργίας ενός σωστού όγκου. Από την άλλη, το θέμα της οριζοντιογραφικής ακρίβειας δε μπορεί να οριστεί σαφώς. Στη συγκεκριμένη εργασία, έχοντας μια απόσταση 1 μέτρου μεταξύ των μετρημένων σημείων από το σύστημα LiDAR, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι είναι δυνατόν να υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις από την πραγματικότητα, ίσως και κοντά στο 1 μέτρο. Προκύπτει λοιπόν ότι, η εκμετάλλευση των συγκεκριμένων δεδομένων, που προήλθαν από το σύστημα LiDAR, δεν μπορεί από μόνη της να ικανοποιήσει τις κτηματολογικές ανάγκες στις αστικές ελληνικές περιοχές στην περίπτωση που χρειάζεται η καταγραφή των δικαιωμάτων. Για την καταγραφή τους απαιτούνται αεροφωτογραφίες υψηλής κλίμακας της περιοχής, σχέδια κατόψεων καθώς και τοπογραφικά σχέδια. Επομένως, τα δεδομένα LiDAR μπορούν να συμβάλλουν στην απόκτηση μιας άποψης της κατανομής των οντοτήτων στην επιφάνεια τους εδάφους, και δεν επαρκούν για την απόκτηση των ορθών όγκων. Σήμερα όμως η τεχνολογία έχει εξελιχθεί ραγδαία και τα σύγχρονα συστήματα LiDAR καταγράφουν πολύ περισσότερα σημεία/τμ. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα πιο πρόσφατα δεδομένα να είναι μεγαλύτερης πυκνότητας και συγκεκριμένα σύνηθες είναι από 6 μέχρι 10 σημεία ανά τμ. Αυτή η πυκνότητα σημείων μπορεί με πολύ μεγάλη πιθανότητα να καλύψει τις τρέχουσες προδιαγραφές του Κτηματολογίου. Ο συνδυασμός δε των πυκνότερων δεδομένων με τα προαναφερμένα είδη παροχής δεδομένων (ορθοφωτογραφίες, τοπογραφικά σχέδια κτλ) θα επιφέρει σίγουρα πολύ μεγάλη ακρίβεια στο τελικό προϊόν. Ενδεικτικά, μπορεί να αποκτηθεί η πληροφορία για το περίγραμμα των κτηρίων από τα σχέδια ή τις αεροφωτογραφίες ενώ η υψομετρική πληροφορία να αποκτηθεί από τις πτήσεις LiDAR. Αυτή η διαδικασία οδηγεί στην δημιουργία ενός αξιόπιστου 3D μοντέλου κι έχει χρησιμοποιηθεί μέχρι τώρα για αυτό τον σκοπό.

Συμπεράσματα

Το τρισδιάστατο Κτηματολόγιο εμφανίστηκε λόγω της ανάγκης προσδιορισμού των δικαιωμάτων στο χώρο, έτσι ακριβώς όπως είναι στην πραγματικότητα. Το θέμα αυτό άρχισε να διερευνάται στο εξωτερικό καθώς το δισδιάστατο Κτηματολόγιο δεν ήταν σε θέση να ανταπεξέλθει στις απαιτήσεις του σύγχρονου κόσμου. Στην Ελλάδα, αυτή η ανάγκη δημιουργήθηκε κυρίως λόγω του έντονου ανάγλυφου το οποίο προκαλεί μια πολυπλοκότητα στην ιδιοκτησιακή κατάσταση και η οποία δεν είναι δυνατόν να αποτυπωθεί σε έναν δισδιάστατο χάρτη. Σύμφωνα με την Stoter υπάρχουν τρεις προσεγγίσεις σχετικά με την εφαρμογή του 3D Κτηματολογίου. Η πρώτη αφορά ένα πλήρες τρισδιάστατο Κτηματολόγιο, η δεύτερη αφορά μια υβριδική λύση ενώ η τρίτη προσέγγιση αφορά την διατήρηση των υπαρχόντων δισδιάστατων δεδομένων με εξωτερική αναφορά στα τρισδιάστατα δεδομένα. Η καλύτερη επιλογή στην περίπτωση της Ελλάδας φαίνεται να είναι η υβριδική, κατά την οποία βάση αναφοράς αποτελεί ακόμη το γεωτεμάχιο και δεν μεταβάλλεται το νομικό πλαίσιο. Σε αυτή τη διαδικασία ενσωματώνεται η τρισδιάστατη πληροφορία στο ήδη δισδιάστατο σύστημα κι έτσι δημιουργείται μια ενιαία βάση δεδομένων η οποία περιέχει τόσο τις γεωμετρικές όσο και τις περιγραφικές πληροφορίες. Η μετάβαση από το δισδιάστατο στο τρισδιάστατο σύστημα απαιτεί την συλλογή των απαραίτητων δεδομένων όπως είναι τα περιγράμματα των κτηρίων και οι τρισδιάστατες συντεταγμένες τους. Τα δεδομένα αυτά είναι απαραίτητο να υπακούουν στις προδιαγραφές του Εθνικού Κτηματολογίου και οι οποίες είναι για τις αστικές περιοχές οι εξής: για κλίμακα 1:1000, $RMSE_x \leq 0.40m$, $RMSE_y \leq 0.40m$, $RMSE_{xy} \leq 0.56m$ και απόλυτη ακρίβεια $\leq 0,98$ για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Υπάρχουν αρκετές μέθοδοι συλλογής αυτών των δεδομένων, μία από τις οποίες είναι το σύστημα LiDAR. Τα δεδομένα αυτά παρέχουν μεγάλη υψομετρική ακρίβεια (0,05-0,15m) ενώ η οριζοντιογραφική είναι χειρότερη (0,30-1m). Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει είναι αρκετά, όπως η δυνατότητα συλλογής δεδομένων γρήγορα, με μεγάλη ακρίβεια, καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Παράλληλα, έχει την ικανότητα συλλογής σημείων ακόμη και σε πολύ μεγάλη απόσταση από αυτό ενώ μπορεί ο παλμός που εκπέμπει να διαπερνά και την πυκνή βλάστηση.

Σε αυτή την εργασία διερευνήθηκε η ικανότητα ανταπόκρισης των δεδομένων LiDAR στις προδιαγραφές του Κτηματολογίου μέσω μιας εφαρμογής στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου. Τα δεδομένα LiDAR όπως υπέστησαν επεξεργασία και μελετήθηκαν, οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι είναι πολύ χρήσιμο εργαλείο για την τρισδιάστατη απεικόνιση της επιφάνειας του εδάφους και των συστατικών του μερών. Αυτό σημαίνει ότι η αξιοποίηση τους στα πλαίσια του Κτηματολογίου θα ήταν ιδιαίτερος σημαντική και θα συνέβαλε ουσιαστικά στην περίπτωση που ικανοποιούν τις απαιτήσεις και τις προδιαγραφές του. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη συγκεκριμένη εφαρμογή καθώς και από την υπάρχουσα βιβλιογραφία συνοψίζονται ως εξής. Τα δεδομένα LiDAR αποδίδουν με γρήγορο και εύκολο τρόπο τις οντότητες επί της επιφανείας του εδάφους χωρίς να απαιτείται

τεράστιος όγκος εργασίας ενώ παράλληλα εντοπίζουν ακόμη και αντικείμενα που καταλαμβάνουν ελάχιστο όγκο στις οροφές των κτηρίων ανάλογα φυσικά με την πυκνότητά τους. Παράλληλα, παρέχουν απευθείας μια 3D περιγραφή της σκαναρισμένης περιοχής καθώς και την υψομετρική πληροφορία που αφορά όχι μόνο το έδαφος αλλά και τις κατασκευές πάνω σε αυτό. Χρησιμοποιώντας αυτού του είδους τα δεδομένα είναι εύκολο να ενημερωθεί μια κτηματολογική βάση δεδομένων. Η υψομετρική ακρίβεια των δεδομένων είναι ιδιαίτερος καλή (5-15cm) και αυτό καθιστά την υψομετρική πληροφορία κατάλληλη για την δημιουργία των πραγματικών όγκων των ιδιοκτησιών. Ο συνδυασμός των δεδομένων LiDAR με άλλου είδους δεδομένα, όπως είναι οι ορθοφωτογραφίες, τα τοπογραφικά σχέδια και οι κατόψεις μπορούν να αποδώσουν ορθώς τους όγκους των ιδιοκτησιών. Με αυτό τον τρόπο οι προδιαγραφές γεωμετρικής ακρίβειας των ορίων των αντικειμένων του Κτηματολογίου για τα υπόβαθρα 2012 καλύπτονται με πολύ μεγάλη ασφάλεια. Παρόλα αυτά, υπάρχουν και στοιχεία που καθιστούν τα δεδομένα ακατάλληλα. Για παράδειγμα, δεν είναι εύκολο πολλές φορές να διαχωριστούν τα δέντρα από τα κτήρια, ειδικά όταν αυτά βρίσκονται σε ελάχιστη απόσταση μεταξύ τους. Επίσης, είναι δυνατόν ορισμένα κτήρια που απέχουν ελάχιστα μεταξύ τους να παρουσιάζονται ως μία ενιαία κατασκευή, καθώς η πυκνότητα των σημείων που λαμβάνονται μπορεί να μην είναι ικανοποιητική. Παράλληλα, οι ακμές και τα περιγράμματα των κτηρίων δεν αποδίδονται επακριβώς, με αποτέλεσμα το σχήμα των κατασκευών να μην είναι το πραγματικό αλλά να αποτελεί μία προσέγγιση αυτού. Εξαιτίας αυτού, οι όγκοι των κτηρίων παρουσιάζονται μικρότεροι. Σημαντική παρατήρηση είναι ότι δεν μπορεί να γίνει διακριτό από τα εικονοστοιχεία του DSM αν η οντότητα που αποδίδεται τρισδιάστατα στις οροφές των κτηρίων αντιστοιχεί σε αποθήκη, κλιμακοστάσιο ή εξαερισμό ή ακόμα και σε κάποια αρχιτεκτονική ιδιαιτερότητα. Ακόμη, περίπλοκες καταστάσεις, στις οποίες ένα κτήριο επικαλύπτει μέρος ενός άλλου κτηρίου, είναι δυνατόν να μην μπορούν να αποδοθούν.

Στη συγκεκριμένη εργασία η κατακόρυφη ακρίβεια τους Ψηφιακού Μοντέλου Επιφάνειας (DSM) είναι 15cm ενώ η οριζοντιογραφική δεν είναι γνωστή. Συγκρίνοντας το περίγραμμα των οντοτήτων που δημιουργούνται στο DSM με αυτό των οντοτήτων των ορθοφωτογραφιών υπάρχει μια οριζοντιογραφικά διαφορά που κυμαίνεται από 0.50-1m. Όσο αφορά τις ακμές αυτή η διαφορά κυμαίνεται από 1-1.5m. Αυτή η αστοχία οφείλεται εν μέρει στην μικρή πυκνότητα σημείων (1 σημείο/τμ) το καθώς και στη δυσκολία που αντιμετωπίζει ο χρήστης να επιλέξει το καταλληλότερο εικονοστοιχείο που αντιστοιχεί στην ακμή του κτηρίου. Επομένως, οι προδιαγραφές του Κτηματολογίου ($\leq 40\text{cm}$) ως προς την ακρίβεια των οριζοντιογραφικών συντεταγμένων δεν πληρούνται σε αυτή την εργασία με τα διαθέσιμα δεδομένα. Συγκεκριμένα, τα δεδομένα LiDAR τα οποία ήταν διαθέσιμα, ήταν αρκετά παλιά, το οποίο σημαίνει ότι η τεχνολογία βρισκόταν σε διαφορετικό στάδιο από ότι βρίσκεται σήμερα. Πλέον, η πυκνότητα των σημείων μπορεί να είναι αρκετά μεγαλύτερη και τα σημεία να συλλέγονται με καλύτερη ακρίβεια (6-10 σημεία/τμ). Υπό ιδανικές συνθήκες, όπως αραιή βλάστηση, υψηλό ύψος πτήσης, μικρή ταχύτητα αεροσκάφους και υψηλή συχνότητα παλμού, τα δεδομένα μπορούν να έχουν τις βέλτιστες ακρίβειες. Με αυτές τις προϋποθέσεις είναι δυνατόν να

ικανοποιηθούν οι προδιαγραφές του Εθνικού Κτηματολογίου και ως προς τις οριζοντιογραφικές συντεταγμένες με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός 3D Κτηματολογικού μοντέλου.

Τα δεδομένα LiDAR μπορούν να απεικονίσουν με άμεσο τρόπο τους όγκους των κτηρίων και των συστατικών του μερών στον χώρο των τριών διαστάσεων σε αντίθεση με άλλου είδους δεδομένα όπως είναι αυτά που αποτελούν προϊόντα τοπογραφικών ή φωτογραμμετρικών διαδικασιών. Έτσι προκύπτει ότι είναι δυνατόν αυτά τα δεδομένα να συμβάλλουν στη δημιουργία του 3D Κτηματολογίου καθώς μπορούν να επιτύχουν τις απαιτήσεις του. Παρόλα αυτά, ο συνδυασμός τους με άλλου είδους δεδομένα, όπως αληθής ορθοφωτογραφίες είναι δυνατόν να δώσουν εντυπωσιακά αποτελέσματα από άποψη ακρίβειας. Αυτό διότι, οι ορθοφωτογραφίες παρέχουν πολύ καλή ακρίβεια ως προς τις οριζοντιογραφικές συντεταγμένες και μπορούν να αποδώσουν ορθά τα περιγράμματα των κτηρίων. Αν συνδυαστούν με την υψομετρική πληροφορία που παρέχουν τα LiDAR, η τρισδιάστατη απεικόνιση που θα προκύψει θα είναι η βέλτιστη δυνατή καθώς θα διαθέτει τα πλεονεκτήματα και των δύο μεθόδων.

Βιβλιογραφία

1. Aien A., Rajabifard A., Kalantari M., Williamson I. (2011). Aspects of 3D Cadastre- A Case study in Victoria, Proceedings of the FIG Working Week Bridging the Gap between Cultures, 2011, Marrakech, Morocco
2. Bjornsson C., Land N. (2011). ArcGIS for Land Records: Current Status and Future 3D Considerations, 2nd International Workshop on 3D Cadastres 16-18 November 2011, Delft, the Netherlands
3. Carter J., Schmid K., Waters K., Betzhold L., Hadley B., Mataosky R., Halleran J. (2012) Lidar 101: An Introduction to Lidar Technology, Data, and Applications, NOAA Coastal Services Center
4. Chiang H.C. (2012). Data Modelling and Application of 3D Cadastral in Taiwan, 3rd International Workshop on 3D Cadastres: Developments and Practices, Taiwan
5. Dimopoulou E., Gavanas I., Zentelis, P. (2006). 3D Registrations in the Hellenic Cadastre, Shaping the Change XXIII FIG Congress Munich, Germany, October 8-13, 2006
6. Elizarova G., Sapelnikov S., Vandysheva N., Pakhomov S., van Oosterom P.J.M., de Vries M., Stoter J.E., Ploeger H., Spiering B., Wouters R., Hoogeveen A., Penkov V. (2012). Russian-Dutch Project “3D Cadastre Modelling in Russia”, 3rd International Workshop on 3D Cadastres in China: Developments and Practices
7. Erba D.A., Piumetto M.A. (2012). Modern representation technologies for the implementation of 3D cadastres in Latin America, 3rd International Workshop on 3D Cadastres: Developments and Practices 25-26 October 2012, Shenzhen, China
8. Erba D. A., Piumetto M. A. (2012). 3D Cadastre in the Federal Countries of Latin America, International Institution of Surveyors/ Article of the Month, July 2012
9. ESRI, (2005), ArcGIS 9-Working with Digital Elevation Models And Digital Terrain Models in ArcMap 9

10. Filin S., Kulakov Y., Doytsher Y. (2005). Application of Airborne Laser Technology to 3D Cadastre, From Pharaohs to Geoinformatics, FIG Working Week 2005 and GSDI-8 Cairo, Egypt April 16-21, 2005
11. Lemmen C., van Oosterom P., Thompson R., Hespanha J., Uitermark H. (2010). The Modelling of Spatial Units (Parcels) in the Land Administration Domain Model (LADM), FIG Congress 2010, Facing the Challenges – Building the Capacity, Sydney, Australia, 11-16 April 2010
12. Lin B. C., You R. J., Hsu M. C. (2010). Building model reconstruction with LiDAR data and topographic map by registration of building outlines, Taiwan.
13. May N.C., Toth C.K. (2007). Point accuracy of airborne LiDAR systems: a rigorous analysis, International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences
14. Michael Renslow (2013). Airborne Topographic LiDAR Manual
15. Overby J., Bodum L., Kjems E., Ilsøe P.M. (). Automatic 3D building reconstruction from airborne laser scanning and cadastral data using Hough Transform, Denmark
16. Papaefthymiou M., Labropoulos T., Zentelis P. (2004). 3-D Cadastre in Greece. Legal, physical & practical issues. Application on Santorini island., FIG Working Week 2004, Athens, Greece, May 22-27, 2004
17. Revol-Muller C., Peyrin F., Carrillon Y., Odet C. (2001). Automated 3D region growing algorithm based on an assessment function
18. Schwarz B. (2010). LiDAR-Mapping the world in 3D, nature photonics/VOL 4, www.nature.com/naturephotonics
19. Souza G.H.B. , Amorim A. (2012). LiDAR data integration for 3D Cadastre: some experiences from Brazil, FIG Working Week 2012, Knowing to manage the territory, protect the environment, evaluate the cultural heritage, Rome, Italy, 6-10 May 2012
20. Stoter, J.E. (2004). 3D Cadastre

21. Stoter, J.E., van Oosterom, P.J.M. Ploeger, H. D., Aalders H.J. G. L. (2004). Conceptual 3D Cadastral Model Applied in Several Countries, Proceedings of the FIG Working Week 2004, Athens, Greece
22. Stoter J.E., van Oosterom P.J.M., Ploeger H. (2012). The phased 3D Cadastre implementation in the Netherlands, 3rd International Workshop on 3D Cadastres: Developments and Practices 25-26 October 2012, Shenzhen, China
23. Syed S., Dare P., Jones S., 2005, Semi-automatic 3D building model generation from lidar and high resolution imagery, Airborne Research Australia, Proceedings of SSC2005 Spatial Intelligence, Innovation and Praxis: The national biennial Conference of the Spatial Sciences Institute, September, 2005. Melbourne: Spatial Sciences Institute. ISBN 0-9581366-2-9
24. Tsiliakou E., Dimopoulou E. (2011). Adjusting the 2D Hellenic Cadastre to the Complex 3D World – Possibilities and Constraints, 2nd International Workshop on 3D Cadastres 16-18 November 2011, Delft, the Netherlands
25. Wechsler S.P. (2010). Development of a LiDAR Derived Digital Elevation Model (DEM) as Input to a METRANS Geographic Information System (GIS), College of Liberal Arts California State University Long Beach
26. Ying S., Guo R., Li L., He B., (2012). Application of 3D GIS to 3D Cadastre in Urban Environment, 3rd International Workshop on 3D Cadastres: Developments and Practices 25-26 October 2012, Shenzhen, China
27. Zhou Q.Y., Neumann U. (2006), Fast and Extensible Building Modeling from Airborne LiDAR Data, Southern California
28. Ζεντέλης Π. (2012). Περί Κτημάτων λόγος και Κτηματολόγιο, Παπασωτηρίου, Αθήνα
29. Καββάδας Ι., 2006, Αληθής ορθοφωτογραφία
30. ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. (2011). Τεχνικές προδιαγραφές μελετών κτηματογράφησης για τη δημιουργία Εθνικού Κτηματολογίου
31. Πόθου, Α. (2012). Ανάπτυξη Διαδικασίας Βαθμονόμησης Συστήματος LiDAR, Διδακτορική Διατριβή, ΣΑΤΜ ΕΜΠ

32. Σπύρου - Σιούλα Κ., (2011). Ανάπτυξη ενός τρισδιάστατου υβριδικού μοντέλου καταγραφής για το Εθνικό Κτηματολόγιο, Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, ΣΑΤΜ ΕΜΠ

33. ΦΕΚ 3370 β' /17.12.2012

34. ΦΕΚ 639 Β' /19.7.1995

Ιστότοποι

- <http://www.blomasa.com/products-services-en-0-5/products-services-test/lidar-height-data.html>
- <http://www.ethnos.gr/article.asp?catid=22770&subid=2&pubid=63865476>
- <http://www.earthmine.com/index>
- <http://www.ecognition.com/document/semi-automatic-3d-building-model-generation-lidar-and-high-resolution-imagery>
- <http://www.enet.gr/?i=news.el.article&id=349811>
- http://www.featureanalyst.com/lidar_analyst/support/tips/3d_buildings.htm
- http://www.geomatics.gr/el/υπηρεσίες/εφαρμογές_lidar
- <http://www.ktimatologio.gr/ktima/>
- <http://www.pictometry.com/>
- http://proceedings.esri.com/library/userconf/serug08/papers/esri_tech_presentations/working_with_lidar_data.pdf
- <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#//015w0000003z000000>