



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**
**Σχολή Αγρονόμων
και Τοπογράφων
Μηχανικών**

Διπλωματική Εργασία:
**Κανονιστική
μοντελοποίηση στο
3D Κτηματολόγιο –
Εφαρμογή στην
Πολυτεχνειούπολη
Ζωγράφου**

Τσιλιάκου Εύα

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:
Έφη Δημοπούλου,
Αν. Καθηγήτρια, Ε.Μ.Π

Αθήνα, Οκτώβριος 2013



**National Technical
University of Athens
School of Rural and
Surveying Engineering**

**Diploma Thesis:
Procedural Modeling
for 3D Cadastre –
Case study in NTUA
campus**

Tsiliakou Eva

**Supervisor:
Efi Dimopoulou,
Associate Professor, NTUA**

Athens, October 2013

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Με την ολοκλήρωση των προπτυχιακών σπουδών μου στη σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους ανθρώπους που μου προσέφεραν σημαντική βοήθεια και συνέβαλαν στην προσπάθειά μου κατά τη διάρκεια της εκπόνησης αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα της εργασίας, κυρία Έφη Δημοπούλου για την πολύτιμη καθοδήγησή της και την εμπιστοσύνη της καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας, καθώς υπήρξε παρούσα κάθε φορά που χρειάστηκα τη συνδρομή της. Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω τον Τάσο Λαμπρόπουλο, Δρ. Α.Τ.Μ για την πολύτιμη συνδρομή του σε θέματα πάσης φύσεως.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω θερμά τον φορέα ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. για τη βοήθεια που μας προσέφεραν και τον Οργανισμό Κτηματογραφήσεων και Χαρτογραφήσεων Ελλάδος για το υλικό που πρόθυμα μας διέθεσαν. Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω την Τεχνική Υπηρεσία του Πολυτεχνείου για το υλικό που μας διέθεσαν και τέλος τον κύριο Άδωνη Κοντό από την Marathon Data Systems, που μας εξασφάλισε την άδεια του προγράμματος και μας εισήγαγε στον κόσμο του CityEngine.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους φίλους μου για την υπομονή τους και την υποστήριξη που μου προσέφεραν όλο αυτό το διάστημα.

ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ

Οι ακόλουθες δημοσιεύσεις έχουν προκύψει από την παρούσα έρευνα:

Tsiliakou, E., & Dimopoulou, E. (2011). *Adjusting the 2D Hellenic Cadastre to the Complex 3D World—Possibilities and Constraints*. In: Proceedings 2nd International Workshop on 3D Cadastres, Delft, The Netherlands.

Δημοπούλου, Ε., & Τσιλιάκου, Ε. (2011). *Τρέχουσες εξελίξεις στα 3D Κτηματολόγια- State of the art*. Δημοσίευση στο ελληνικό περιοδικό 'Γεωανάλεκτα' της HellasGIs.

Tsiliakou E., Labropoulos T., Dimopoulou E., (2013). *Transforming 2d cadastral data into a dynamic smart 3d model*. In: Archives of the ISPRS, 8th 3DGeoInfo Conference & WG II/2 Workshop, Istanbul, Turkey.

Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

Περίληψη	9
Abstract	10
Εισαγωγή	11
1. ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ	13
1.1 3D ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ	14
1.1.1 Πλαίσιο του 3D Κτηματολογίου	16
1.1.1 Δόμηση της 3D πληροφορίας.....	16
1.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΓΙΑ 3D ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ	16
1.3 3D ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΕΚΤΟΣ ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟΥ	17
1.4 ΕΙΔΗ 3D ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟΥ	17
1.4.1 Πλήρες 3D Κτηματολόγιο	18
1.4.2 Υβριδικό Κτηματολόγιο	19
1.4.2.1 Καταγραφή των όγκων 3D δικαιωμάτων.....	19
1.4.2.2 Καταγραφή των 3D φυσικών αντικειμένων.....	20
1.4.3 3D σύνδεσμοι στο τρέχον κτηματολόγιο.....	20
1.5 ΕΘΝΙΚΟ ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ.....	20
1.5.1 Βασική Νομοθεσία	20
1.5.2 Μέθοδος αρχικής μοντελοποίησης.....	22
1.5.3 Προβλήματα που σχετίζονται με την 2D και 3D απεικόνιση των ιδιοκτησιών στο Ε.Κ.	23
1.5.3.1 Κτήρια και γεωτεμάχια	23
1.5.3.2 Διηρημένες ιδιοκτησίες και κτήρια.....	24
1.5.4 Ανάγκες για 3D καταγραφές	24
1.5.5 Περιπτώσεις που χρήζουν 3D καταγραφής.....	25
1.5.5.1 Επικαλυπτόμενες Δημόσιες και Ιδιωτικές ιδιοκτησίες	25
1.5.5.2 Επικαλυπτόμενες ιδιωτικές ιδιοκτησίες	25
1.5.5.3 Ειδικά ιδιοκτησιακά αντικείμενα	26
1.5.5.4 «Μη Συμβατική» Εσωτερική Αξιοποίηση Πολυεπίπεδων Κτηρίων.....	27
1.5.6 Διαχείριση της 3D πραγματικότητας από το Ε.Κ.....	27
1.5.6.1 Κτήρια.....	27
1.5.6.2 Ειδικά ιδιοκτησιακά αντικείμενα	28
1.5.7 Θεσμικό πλαίσιο της τρίτης διάστασης.....	28
2 ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΟ 3D ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ	30
2.1 Η ΤΡΙΤΗ ΔΙΑΣΤΑΣΗ ΣΕ ΔΙΕΘΝΗ ΠΡΟΤΥΠΑ	31
2.1.1 LAND ADMINISTRATION DOMAIN MODEL	31

2.1.2 Η οδηγία INSPIRE	32
2.2 ΠΡΩΤΟΤΥΠΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗ ΔΙΕΘΝΗ ΕΜΠΕΙΡΙΑ	35
2.2.1 Το Ισπανικό Κτηματολόγιο	35
2.2.1.1 Επίπεδο CONSTRU3D	35
2.2.1.2 Επίπεδο κτηρίων “EDIFICIOS”	35
2.2.1.3 Κτηματολογικός χάρτης	36
2.2.1.3.1 Γενικό 3D Μοντέλο Ορόφων	37
2.2.1.3.2 3D Μοντέλο Ορόφων.....	37
2.2.2 Το Πολυστρωματικό 3D κτηματολόγιο στο Ισραήλ	38
2.2.2.1 Διαχείριση χωρικής πληροφορίας.....	39
2.2.3 Το Πιλοτικό 3D Κτηματολόγιο στη Ρωσική Ομοσπονδία	40
2.2.3.1 Πρωτότυπο 3D Κτηματολογίου.....	40
2.2.3.1.1 Ανάπτυξη πρωτοτύπου	41
2.2.3.1.2 Λειτουργικότητα	41
2.2.4 Το Πρωτότυπο Σύστημα Απεικόνισης στην Αυστραλία (Queensland)	43
2.2.5 Η σταδιακή εφαρμογή 3D Κτηματολογίου στην Ολλανδία.....	45
2.2.5.1 Πρώτη Φάση της Υλοποίησης 3D Κτηματολογίου.....	48
2.2.6 Περίπτωση μελέτης στην πόλη Shenzhen της Κίνας.....	50
2.2.6.1 Ανάπτυξη του συστήματος.....	50

3 Η ΤΡΙΤΗ ΔΙΑΣΤΑΣΗ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (GIS) 53

3.1 3D ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ	55
3.1.1 3D Γεωμετρικά μοντέλα.....	56
3.1.2 3D Τοπολογικά μοντέλα.....	56
3.1.2.1 Εφαρμογή στο 3D κτηματολόγιο.....	57
3.1.2.1.1 Επίδραση της αναπαράστασης του αντικειμένου (2D/3D) στο χωρικό ερώτημα	57
3.1.2.1.2 Τρισδιάστατη κατάτμηση του χώρου	58
3.1.2.1.3 Συνέπεια των δεδομένων	58
3.1.3 3D Σημασιολογικά μοντέλα	59
3.2 ΤΕΧΝΙΚΕΣ 3D ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ	59
3.2.1 Φωτογραμμετρία	59
3.2.2 Μοντελοποίηση βάση εικόνων.....	60
3.2.3 Παραμετρική Μοντελοποίηση.....	61
3.2.4 Τεχνικές Αυτόματης μοντελοποίησης	61
3.3 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΤΕΡΕΩΝ.....	62
3.3.1 Constructive Solid Geometry	62
3.3.2 Boundary representation (b-rep).....	63
3.3.3 Primitive Instancing.....	63
3.3.4 Spatial-Partitioning Representations	63
3.3.5 Sweep Representations	64
3.3.6 Τύποι δεδομένων ελεύθερης μορφής.....	65
3.3.6.1 NURBS	65
3.3.6.2 MultiPatch στο ArcGIS.....	65
3.4 3D ΤΥΠΟΙ ΑΡΧΕΙΩΝ.....	66
3.4.1 COLLADA	66

3.4.2 GML (Geography Markup Language).....	67
3.4.3 CityGML	67
3.4.4 Building Information Model (BIM).....	68
3.4.5 3D PDF.....	69
3.5 3D ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ.....	69
3.5.1 Τρισδιάστατη απεικόνιση στον κτηματολογικό τομέα.....	70
3.5.1.1 Απεικόνιση σε 2.5D	71
3.5.1.2 Πραγματική 3D απεικόνιση	71
3.5.2 Συστήματα 3D απεικόνισης.....	72
3.5.3 Δεδομένα	73
3.5.4 Τεχνικές 3D απεικόνισης.....	73
3.5.5 Παράμετροι στην 3D απεικόνιση	74
4 ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ (PROCEDURAL MODELING)	76
4.1 STATE OF THE ART	76
4.1.1 Οι Τυπικές Γραμματικές του Τσόμσκι	77
4.1.2 L-Συστήματα	77
4.1.2.1 Αστική Μοντελοποίηση	77
4.1.3 Γραμματικές Σχήματος (Shape Grammars).....	78
4.1.3.1 Εφαρμογές	79
4.1.3.2 Γραμματικές σχήματος για σχεδιασμό.....	80
4.1.4 Γραμματική διάσπασης (Split Grammar).....	80
4.2 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕ CGA ΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ.....	80
4.3 Η ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΣΩΠΕΩΝ ΒΑΣΕΙ ΕΙΚΟΝΩΝ (FAÇADE WIZARD).....	84
4.3.1 Επισκόπηση	84
4.3.2 Ανίχνευση της δομής της πρόσοψης	84
4.3.3 Εντοπισμός συμμετρίας.....	85
4.3.4 Κατατμήσεις των πλακών της πρόσοψης.....	85
4.3.4.1 Εντοπισμός τοπικής διάσπασης	86
4.3.4.2 Συγχρονισμός συνολικής διάσπασης	86
4.3.5 Επεξεργασία και εξαγωγή κανόνα.....	87
4.3.6 Συμπεράσματα.....	89
4.4 CITYENGINE	89
4.4.1 Επιφάνεια του χρήστη	92
4.4.2 Πλοηγός (navigator)	92
4.4.3 Παράθυρο προεπισκόπησης (preview window)	92
4.4.4 Επεξεργαστής της σκηνής (scene editor).....	93
4.4.5 Επεξεργαστής κανόνων (rule editor)	93
4.4.6 Παράθυρο προβολής (viewport).....	93
4.4.7 Παράθυρο επιθεώρησης	93
4.4.8 Συμπεράσματα.....	93
4.4.8.1 Δυνατά σημεία του προγράμματος.....	94
4.4.8.2 Αδυναμίες του προγράμματος.....	94
5 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥΠΟΛΗΣ ΖΩΓΡΑΦΟΥ	96

5.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ ΚΑΙ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ	96
5.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ	97
5.2.1 Κτήρια	98
5.2.2 Τρισδιάστατο μοντέλο των κτηρίων.....	100
5.2.3 Κατασκευή των κτηριακών γεωμετριών με CGA κανόνες	103
5.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	153

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

154

Περίληψη

Την τελευταία δεκαετία η στροφή προς την τρίτη διάσταση είναι εμφανής σε όλους τους τομείς και ιδιαίτερα στις επιστήμες που έχουν σχέση με γεωγραφικές πληροφορίες και με την καταγραφή και απεικόνιση φυσικών φαινομένων. Παράλληλα, έχει μελετηθεί εκτενώς η δυνατότητα υλοποίησης ενός τρισδιάστατου κτηματολογικού συστήματος, προκειμένου να αποσαφηνιστούν περιπτώσεις σύνθετης αστικής δομής και επικαλυπτόμενων κατασκευών που αναμφισβήτητα χαρακτηρίζονται από τη σύσταση σύνθετων εμπράγματων δικαιωμάτων. Ωστόσο, παρά την έρευνα και την τεχνολογική πρόοδο σε αυτόν τον τομέα, δεν υπάρχει κανένα ψηφιακό 3D κτηματολόγιο που να είναι πλήρως εν λειτουργία στον κόσμο και η τρέχουσα λειτουργικότητα περιορίζεται σε βασικές εφαρμογές όπως π.χ. στην καταγραφή ογκομετρικών τεμαχίων. Ένα ψηφιακό 3D κτηματολόγιο πρέπει να περιλαμβάνει τρισδιάστατα κτηματολογικά δεδομένα, εφαρμογές και συστήματα απεικόνισης στις τρεις διαστάσεις και να είναι εναρμονισμένο με τις διατάξεις του θεσμικού πλαισίου και του νομικού καθεστώτος της κάθε χώρας. Όσον αφορά στο πεδίο της τρισδιάστατης απεικόνισης, έχουν υπάρξει πράγματι ραγδαίες εξελίξεις, ειδικά στην πλοήγηση και την εξερεύνηση ικανοτήτων, ενώ πρόσφατα, οι τεχνικοί περιορισμοί στην χρήση της τρισδιάστατης πληροφορίας (όπως υπολογιστική ισχύς και εργαλεία για 3D απεικόνιση) έχουν μειωθεί και στις περισσότερες περιπτώσεις, η εξέλιξη στα 3D αντικείμενα προχωρά δυναμικά, ειδικά σε αστικές δομές και περιεχόμενο.

Σε αυτήν τη διπλωματική μελετώνται οι διάφορες τεχνικές μοντελοποίησης και ειδικά η κανονιστική μοντελοποίηση, την οποία αξιοποιούμε/χρησιμοποιούμε μέσω του λογισμικού CityEngine, εστιάζοντας στην απεικόνιση του τρισδιάστατου μοντέλου της Πολυτεχνειούπολης του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου (ΕΜΠ) της Αθήνας με ένα υψηλότερο επίπεδο λεπτομέρειας στη Σχολή των Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του ΕΜΠ.

Abstract

During the last decade the move towards the third dimension is evident in all areas, especially in sciences related to geographic information and natural phenomena and the implementation of a three-dimensional cadastral system has been extensively studied in order to clarify cases of composite urban structure and overlapping constructions, undoubtedly characterized by the establishment of complex property rights. However, despite the research and progress in this particular domain, there is no digital 3D cadastre that is fully operative in the world and current functionality is limited to basic applications, such as the registration of volumetric parcels. A digital 3D cadastre should eventually comprise three-dimensional cadastral data, applications and imaging systems in all three dimensions and must be harmonized with the institutional arrangements and legal status of each country. On the scope of three-dimensional visualization, there have been in fact rapid developments, especially in navigation and the exploration of capabilities, while more recently, technical constraints on the use of three-dimensional information (such as computational power and tools for 3D visualization) have been reduced and in most cases, the evolution in 3D objects dynamically proceeds, especially in urban structures and content.

In this diploma thesis a variety of 3D modeling techniques is studied, specifically procedural modeling, which is employed via software CityEngine focusing on the 3D visualization of National Technical University of Athens campus' three-dimensional model, applying a higher level of detail on the School of Rural and Surveying Engineering.

Εισαγωγή

Κατά τη διάρκεια των δύο τελευταίων αιώνων η πυκνότητα του πληθυσμού έχει αυξηθεί σημαντικά, καθιστώντας τη χρήση της γης πιο έντονη. Η τάση αυτή έχει αυξήσει τη σημασία της ιδιοκτησίας γης, κάτι το οποίο έχει αλλάξει τον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι αναφέρονται πλέον στις χρήσεις γης. Αυτή η αλλαγή απαιτεί ένα σύστημα στο οποίο τα ιδιοκτησιακά δικαιώματα επί της γης είναι σαφώς ορισμένα και αδιαμφισβήτητα καταγεγραμμένα. Το σύστημα που εξασφαλίζει αυτά τα δικαιώματα είναι το Κτηματολόγιο.

Τα περισσότερα σύγχρονα κτηματολογικά συστήματα, ακόμα και τα πιο εξελιγμένα έχουν βάση αναφοράς το γεωτεμάχιο και αναπτύσσονται στις δύο διαστάσεις. Ωστόσο η έντονη αστικοποίηση ιδιαίτερα τις τελευταίες δεκαετίες έχει οδηγήσει σε σύνθετες αστικές δομές, τις οποίες δεν καλύπτει επαρκώς και με σαφήνεια αυτός ο τύπος συστήματος εγγραφών. Ένα δισδιάστατο κτηματολογικό σύστημα δεν δύναται πλέον να απεικονίσει τη σύγχρονη και συνεχώς εξελισσόμενη και σύνθετη πραγματικότητα, όπου οι περιπτώσεις ανάπτυξης και της πολλαπλής χρήσης του χώρου όπως επίσης και η πολυστρωματική διανομή των εμπραγμάτων δικαιωμάτων είναι σύνηθες φαινόμενο. Συνεπώς, ο προσδιορισμός ενός πολυστρωματικού και τρισδιάστατου κτηματολογικού μοντέλου έχει γίνει άμεση ανάγκη προκειμένου να απεικονιστούν και να καταγράφουν οι ιδιοκτησίες με συνέπεια και βάσει της τρισδιάστατης πραγματικότητας.

Αυτή η ανάγκη γίνεται ολοένα και πιο αντιληπτή και γι αυτό το λόγο την τελευταία δεκαετία πραγματοποιούνται συντονισμένες μελέτες προς την ανάπτυξη ενός τέτοιου συστήματος, και ανταλλάσσονται διακρατικά απόψεις μέσω διεθνών συνεδρίων και σεμιναρίων, ενώ ήδη έχουν υλοποιηθεί ένα σύνολο από μελέτες για την εφαρμογή πιλοτικών τρισδιάστατων κτηματολογικών συστημάτων και πρωτοτύπων σε πολλές χώρες. Στην παρούσα φάση μελετώνται τα αποτελέσματα από τα πιλοτικά προγράμματα και με την πραγματοποίηση στατιστικών μελετών και αναλύσεων των απαντήσεων των χρηστών, εξερευνώνται οι ελλείψεις και οι εφαρμογές των προγραμμάτων αυτών. Τα περισσότερα πιλοτικά προγράμματα έχουν εστιάσει στην βελτιστοποίηση της τρισδιάστατης απεικόνισης του ιδιοκτησιακού καθεστώτος, καθώς αυτός είναι ο βασικός άξονας του 3D κτηματολογίου: η οπτικοποίηση και αποσαφήνιση της σύνθετης ιδιοκτησιακής κατάστασης στην κάθετη συνιστώσα. Για να επιτευχθεί αυτό μελετώνται και δοκιμάζονται πολλές τεχνικές 3D μοντελοποίησης, αλλά και συνδυασμοί διαφορετικών λογισμικών και πλατφόρμων για την επίτευξη της διαλειτουργικότητας.

Άλλωστε το πρόβλημα της τρίτης διάστασης στην καθημερινότητα της ανθρώπινης δραστηριότητας και της μοντελοποίησης των φυσικών φαινομένων στην τρίτη διάσταση δεν είναι κάτι καινούριο. Ο άνθρωπος θέλει να κατανοήσει το φυσικό του περιβάλλον βέλτιστα και έχει αντιληφθεί ότι αυτό θα το επιτύχει μόνο αν βρει τη μέθοδο να μοντελοποιήσει την πραγματικότητα έτσι όπως είναι, δηλαδή τρισδιάστατη. Αυτό φαίνεται από πολλές εφαρμογές αυτού του σκεπτικού και στη βιομηχανία του κινηματογράφου, των ηλεκτρονικών παιχνιδιών, προσομοιώσεων κτλ. Από την άλλη η τεχνολογία εξελίσσεται συνεχώς και οι εξελίξεις δεν επιτρέπουν την στασιμότητα, κάτι το οποίο γίνεται εμφανές από την επινόηση πολλών διαφορετικών εργαλείων, αλλά και την επιστράτευση ποικίλων μεθόδων για την απόδοση του τρισδιάστατου χαρακτήρα του κόσμου στον οποίο κατοικούμε.

Οι εξελίξεις είναι ραγδαίες και οι μέθοδοι βασίζονται σε τεχνολογίες αιχμής, γεγονός που καθιστά τους χρήστες απαιτητικούς ως προς τη βελτιστοποίηση της μοντελοποίησης και την ρεαλιστική απόδοση της πραγματικότητας. Συγκεκριμένα τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μία στροφή προς την δημιουργία λεπτομερών τρισδιάστατων μοντέλων των αστικών δομών, ακόμα και στο χώρο του

κτηματολογίου και των συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών, που μέχρι πρότινος η κύρια ανησυχία ήταν η οριοθέτηση του νομικού χώρου. Αυτό είναι και το βασικό σημείο της διπλωματικής αυτής εργασίας, δηλαδή η μελέτη της υφιστάμενης κατάστασης ως προς την 3D μοντελοποίηση και 3D απεικόνιση, και η υλοποίηση δημιουργίας τρισδιάστατου περιεχομένου με μία καινοτόμο τεχνική σε ένα σχετικά νέο λογισμικό, που μόλις πριν ένα έτος εντάχθηκε στα εργαλεία του ArcGIS.

Αναλυτικότερα στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας, μελετάμε την σκοπιμότητα, τις ανάγκες και τα πλεονεκτήματα από την εφαρμογή ενός τρισδιάστατου κτηματολογίου ενώ ταυτόχρονα εντοπίζονται τα είδη των 3D κτηματολογικών εννοιολογικών μοντέλων που μπορούν να υποστηριχθούν και τι αλλαγές επιφέρουν αυτά. Το κεφάλαιο κλείνει με αναφορά στην ελληνική πραγματικότητα, το ελληνικό κτηματολογικό μοντέλο και πως αντιμετωπίζονται σε αυτό οι πιθανές 3D περιπτώσεις.

Στο δεύτερο κεφάλαιο της εργασίας γίνεται μία επισκόπηση της διεθνούς εμπειρίας όσον αφορά τις εξελίξεις στο τομέα αυτό, ενώ ταυτόχρονα μελετώνται διεξοδικά οι τρισδιάστατες πτυχές των ισχυρότερων κτηματολογικών προτύπων όπως το LADM αλλά και η οδηγία INSPIRE. Τέλος εξετάζονται έξι πρωτότυπα και πιλοτικά προγράμματα που είναι σε εξέλιξη τα τελευταία δύο χρόνια και εστιάζουν στην 3D απεικόνιση και τη διαλειτουργικότητα. Αυτά θα αποτελέσουν πρότυπα και για την εφαρμογή που σχεδιάσαμε στο πλαίσιο αυτής της ερευνητικής εργασίας.

Στο τρίτο κεφάλαιο, εξετάζονται οι εξελίξεις στο 3D GIS, αλλά και η υφιστάμενη κατάσταση στα μοντέλα και τα συστήματα διαχείρισης βάσεων δεδομένων και κατά πόσο μπορούν να υποστηρίξουν ένα τρισδιάστατο κτηματολογικό σύστημα. Αναλύεται η ανάγκη και η αξία της τρισδιάστατης απεικόνισης και εξετάζονται πολλές τεχνικές και μέθοδοι 3D μοντελοποίησης ταυτόχρονα με κάποια πλαίσια και τύπους αρχείων 3D μοντελοποίησης που προσφέρουν διαλειτουργικότητα και ευελιξία στη χρήση. Ειδικότερα περιγράφεται το CityGML, που είναι το πρώτο τρισδιάστατο σημασιολογικό μοντέλο, αλλά και κάποιες ενδιαφέρουσες γεωμετρίες, όπως το Multipatch του ArcGIS.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, αναλύεται διεξοδικά η μεθοδολογία που επιλέξαμε για 3D μοντελοποίηση δηλαδή η μοντελοποίηση αστικών περιβαλλόντων μέσω κανόνων, από τις απαρχές της επινοήσής τους το 1972 μέχρι και σήμερα που χρησιμοποιούνται ευρέως σε πολλές εφαρμογές και για πολλές εργασίες. Αναφερόμαστε σε δύο προσεγγίσεις μοντελοποίησης με αυτήν την μέθοδο, αναφέροντας με λεπτομέρειες τη ροή εργασιών και πως αναπτύσσονται και δομούνται οι κανόνες. Κλείνουμε το κεφάλαιο με επισκόπηση του λογισμικού που χρησιμοποιήσαμε δηλαδή το CityEngine.

Στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο αυτής της εργασίας, περιγράφεται η μεθοδολογία μοντελοποίησης, τα δεδομένα εισόδου και η περιοχή μελέτης που είναι η Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου και μία μεγαλύτερη λεπτομέρεια στην Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων μηχανικών. Συγκεκριμένα αναφερόμαστε σε όλες αυτές τις προκλήσεις και τα προβλήματα που ανέκυψαν κατά την εφαρμογή και περιγράφουμε τις λύσεις στις οποίες καταφύγαμε. Επίσης δίνονται με λεπτομέρεια οι κανόνες με τους οποίους προέκυψε το τρισδιάστατο μοντέλο της Πολυτεχνειούπολης και εικόνες για να φανεί η σκοπιμότητα αυτής της εργασίας. Τέλος, ελέγχεται η διαλειτουργικότητα του προγράμματος εξάγοντας μια τρισδιάστατη σκηνή από το CityEngine στο ArcScene για έλεγχο της χωρικής ανάλυσης σε αυτό το στάδιο. Το κεφάλαιο κλείνει με συμπεράσματα και αναμενόμενες εξελίξεις στο άμεσο μέλλον, για την επίλυση βασικών ζητημάτων αυτής της μεθόδου μοντελοποίησης σε σχέση με το τρισδιάστατο κτηματολόγιο.

1. ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ

Κατά τη διάρκεια των δύο τελευταίων αιώνων η πυκνότητα του πληθυσμού έχει αυξηθεί σημαντικά, καθιστώντας τη χρήση της γης πιο εντατική. Η τάση αυτή έχει δημιουργήσει μια νέα σημασία για την ιδιοκτησία γης, που συνδέεται και με τον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι αναφέρονται πλέον στις χρήσεις γης. Αυτή η αλλαγή απαιτεί ένα σύστημα στο οποίο τα ιδιοκτησιακά δικαιώματα επί της γης είναι σαφώς ορισμένα και αδιαμφισβήτητα καταγεγραμμένα. Το σύστημα που εξασφαλίζει αυτά τα δικαιώματα είναι το Κτηματολόγιο ενταγμένο σε ένα γενικότερο σύστημα διαχείρισης γης.

Σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία, δεν υπάρχει μοναδική μορφή ή ορισμός της έννοιας του Κτηματολογίου. Η Διεθνής Ομοσπονδία Τοπογράφων (International Federation of Surveyors-FIG) ορίζει ότι:

« Το Κτηματολόγιο είναι ένα συνεχώς ενημερωμένο σύστημα πληροφοριών γης το οποίο έχει ως βάση αναφοράς το ακίνητο και περιέχει μητρώα με τα συμφέροντα στη γη (π.χ. τα δικαιώματα, τους περιορισμούς και τις ευθύνες). Συνήθως περιλαμβάνει μία γεωμετρική περιγραφή των ακινήτων συνοδευόμενα από άλλα αρχεία που περιγράφουν τη φύση των συμφερόντων αυτών, την κυριότητα ή τον έλεγχο των εν λόγω συμφερόντων, και συχνά την αξία του ακινήτου και τις βελτιώσεις του. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για φορολογικούς σκοπούς (π.χ. αποτίμηση και δίκαιη φορολόγηση), για νομικούς σκοπούς (μεταβιβάσεις), για να βοηθήσει στη διαχείριση της χρήσης γης (π.χ. για το σχεδιασμό και άλλους διοικητικούς σκοπούς), και επιτρέπει την αειφόρο ανάπτυξη και την προστασία του περιβάλλοντος».

Οι βασικές οντότητες του Κτηματολογίου είναι το «ακίνητο», η «ακίνητη περιουσία» ή «ιδιοκτησία» και το «υποκείμενο» ή «ιδιοκτήτης». Σε γενικές γραμμές η γη και τα λοιπά κτήρια επί της γης αναφέρονται ως ακίνητα, ενώ τα διάφορα δικαιώματα που σχετίζονται με τη γη αναφέρονται ως ακίνητη περιουσία (ή ιδιοκτησία). Τα υποκείμενα είναι ιδιώτες ή οργανώσεις που έχουν δικαιώματα επί της ακίνητης περιουσίας μέσω των ιδιοκτησιακών δικαιωμάτων.

Αρχικά, οι κτηματολογικές εγγραφές εισήχθησαν για να βελτιώσουν το σύστημα φορολόγησης της γης, ενώ τα τρέχοντα κτηματολογικά συστήματα διαθέτουν πρόσθετες πληροφορίες για τις συναλλαγές επί της γης και συμβάλλουν στη βελτίωση της αποτελεσματικότητας αυτών των συναλλαγών και γενικά στην ασφάλεια της γαιοκτησίας. Επιπλέον, παρέχουν στις κυβερνήσεις πληροφορίες για τη φορολόγηση και χρησιμοποιούνται πλέον από τον ιδιωτικό και δημόσιο τομέα για την ανάπτυξη της χρήσης γης, για τον αστικό και αγροτικό σχεδιασμό, τη διαχείριση της γης και την παρακολούθηση του περιβάλλοντος και δεν περιορίζονται πλέον στην κτηματογράφηση και την κτηματολογική αποτύπωση. Συνεπώς, για να καλύπτει ένα κτηματολογικό σύστημα επαρκώς όλες τις παραπάνω απαιτήσεις, οι κύριες λειτουργίες του πρέπει να περιλαμβάνουν:

- Την καταγραφή του νομικού καθεστώτος και των κυβερνητικών περιορισμών επί των ακινήτων: τα πρόσωπα που έχουν δικαιώματα στη γη, ποια είναι τα δικαιώματα (φύση και διάρκεια των περιορισμών, των δικαιωμάτων και των ευθυνών), σε ποια τμήματα γης έχουν αυτά καθοριστεί (πληροφορίες για γεωτεμάχια, όπως θέση, μέγεθος, αξία),
- την παροχή πληροφοριών σχετικά με το νομικό καθεστώς και τους κυβερνητικούς περιορισμούς στα ακίνητα

Προκειμένου να ικανοποιήσει τα καθήκοντα αυτά επαρκώς, ένα κτηματολογικό σύστημα πρέπει να τηρεί σωστή και ακριβή πληροφορία, η οποία να αποτελείται από το σύνολο των κτηματολογικών αντικειμένων αλλά και από αρχεία που περιέχουν τα συμφέροντα επί αυτών. Επιπλέον οι

κτηματολογικές εγγραφές πρέπει να οργανωθούν με τέτοιο τρόπο, ώστε το νομικό καθεστώς των ακινήτων να γίνεται σαφές όταν εξερευνά κανείς το σύστημα.

Η εξατομίκευση των ακινήτων ξεκίνησε αρχικά με την υποδιαίρεση της επιφάνειας σε περιουσιακές μονάδες που χρησιμοποιούσαν όρια στις δύο διαστάσεις. Για το λόγο αυτό, η βασική λειτουργική οντότητα των υφιστάμενων κτηματολογικών χαρτών είναι το «γεωτεμάχιο», γεγονός που καθιστά τον κτηματολογικό χάρτη έναν εξ' ορισμού δισδιάστατο χάρτη. Για να εξασφαλιστεί η πληρότητα και η συνέπεια, τα δισδιάστατα τεμάχια δεν πρέπει να επικαλύπτονται και ταυτόχρονα να μην υπάρχουν κενά μεταξύ αυτών. Παρόλο που τα τεμάχια (parcels) απεικονίζονται σε 2D, ο κάτοχος δικαιωμάτων επί του γεωτεμαχίου ουσιαστικά κατέχει έναν τρισδιάστατο χώρο, καθώς το δικαίωμα της κυριότητας ενός ακινήτου αναφέρεται σε ένα τρισδιάστατο χώρο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τον ιδιοκτήτη και δεν περιορίζεται μόνο στο επίπεδο τεμάχιο (που ορίζεται σε 2D). Είναι προφανές ότι αν το δικαίωμα της ιδιοκτησίας εφαρμόζεται ρητά μόνο επί της επιφάνειας, η χρήση του ακινήτου θα ήταν αδύνατη, συνεπώς οι κτηματολογικές εγγραφές από νομικής πλευράς αναφέρονται εκ προοιμίου πάντα στις τρεις διαστάσεις. Το ερώτημα τελικά που μπορεί να τεθεί είναι εάν το παραδοσιακό κτηματολόγιο, το οποίο βασίζεται στην έννοια του 2D τεμαχίου, είναι επαρκές για την καταγραφή όλων των σύνθετων καταστάσεων του σύγχρονου κόσμου ή μήπως οι κτηματολογικές εγγραφές πρέπει να εξελιχθούν σε μια 3D προσέγγιση.

Η Διακήρυξη Bathurst της FIG (www.fig.net) κατέληξε στο συμπέρασμα ότι «τα περισσότερα συστήματα διαχείρισης γης σήμερα δεν είναι επαρκή για την αντιμετώπιση του όλο και πιο περίπλοκου φάσματος δικαιωμάτων, περιορισμών και ευθυνών σε σχέση με την γη». Δεδομένου ότι πολλά από τα υπάρχοντα κτηματολόγια εξακολουθούν να βασίζονται σε ένα μοντέλο που έχει από αιώνες πριν την προέλευσή του, είναι σαφής η σημασία της επανεξέτασης και προσαρμογής του μοντέλου αυτού στις απαιτήσεις της σύγχρονης πραγματικότητας.

1.1 3D ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ

Η πίεση στη γη στις αστικές περιοχές και ιδιαίτερα στα επιχειρηματικά/εμπορικά τους κέντρα έχει οδηγήσει στην επικάλυψη και την πολυπλοκότητα των κατασκευών (εικόνα 1.1). Ακόμα και όταν η δημιουργία ιδιοκτησιακών δικαιωμάτων, κατάλληλων με τις εξελίξεις αυτές είναι διαθέσιμες στο πλαίσιο της υφιστάμενης νομοθεσίας, η περιγραφή τους και η αναπαράστασή τους μέσα στο κτηματολογικό μοντέλο αποτελεί σαφώς πρόκληση. Αυτό εντάσσεται στην επίσημη περιγραφή του Κτηματολογίου από την FIG, όπου το (γεω)τεμάχιο αποτελεί τη βασική οντότητα. Η πρόκληση συνεπώς είναι πώς να καταγραφούν επαρκώς οι επικαλυπτόμενες και περιπλοκές κατασκευές που προβάλλονται στην επιφάνεια του τεμαχίου, στο πλαίσιο κτηματολογικών μοντέλων τα οποία καταγράφουν πληροφορίες για 2D τεμάχια. Παρά το γεγονός ότι η ιδιοκτησία αποτελεί τη βασική συνιστώσα των κτηματολογικών συστημάτων για πολλά χρόνια, μόλις πριν δύο δεκαετίες τέθηκε το ζήτημα για το αν οι κτηματολογικές εγγραφές πρέπει να επεκταθούν στην τρίτη διάσταση.

Το αυξανόμενο αυτό ενδιαφέρον για 3D κτηματολογικές εγγραφές προκλήθηκε από ένα πλήθος παραγόντων:

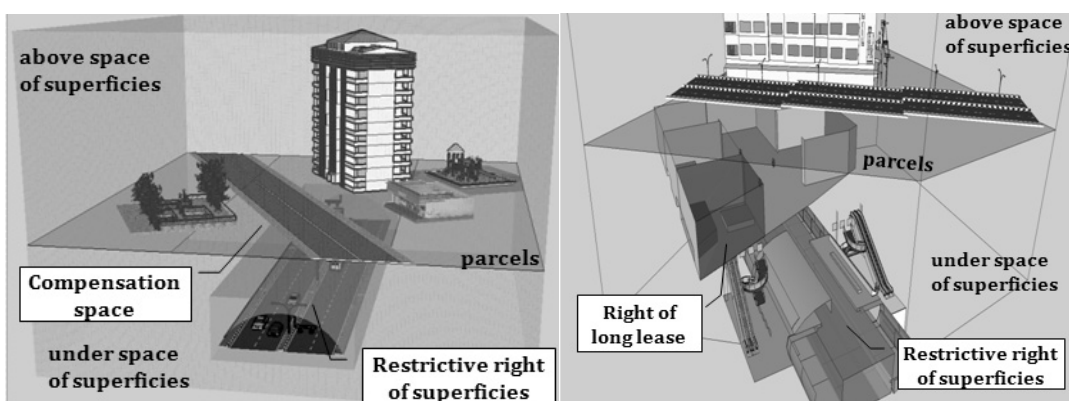
- τη σημαντική αύξηση των αξιών ακινήτων
- τον αυξανόμενο αριθμό των υποδομών καλωδίων σηράγγων και αγωγών (νερό, ηλεκτρικό ρεύμα, αποχέτευση, τηλέφωνο, καλώδια TV), των υπόγειων χώρων στάθμευσης, των εμπορικών κέντρων, των κτηρίων άνωθεν οδών / σιδηροδρόμων και άλλων πολλών περιπτώσεων πολυώροφων κτηρίων.
- την 3D προσέγγιση σε πολλούς άλλους τομείς (3D ΣΓΠ), που καθιστά εφικτή την 3D προσέγγιση των κτηματολογικών καταγραφών, τουλάχιστον τεχνολογικά.

Οι βασικοί όροι που ενυπάρχουν στην έννοια του 3D κτηματολογίου είναι η 3D ιδιοκτησιακή μονάδα και το 3D αντικείμενο (Stoter, 2001). Το 3D κτηματολόγιο είναι ένα κτηματολογικό σύστημα, το οποίο καταγράφει και δίνει την εικόνα των δικαιωμάτων και των περιορισμών όχι μόνο στις δύο διαστάσεις, αλλά σε τρισδιάστατες ιδιοκτησιακές μονάδες. Μία τρισδιάστατη μονάδα ιδιοκτησίας, ή αλλιώς 3D ιδιοκτησία, είναι ουσιαστικά η οριοθετημένη ποσότητα του χώρου μέσα στο οποίο το άτομο έχει εμπράγματα δικαιώματα. Οι 3D περιπτώσεις αναφέρονται επίσης ως διαστρωματωμένα ακίνητα (stratified properties).



Εικόνα 1.1 Πολυπλοκότητα των κατασκευών στο σύγχρονο δομημένο περιβάλλον

Στην πραγματικότητα, το παραδοσιακό γεωτεμάχιο αποτελεί επίσης μια 3D μονάδα ιδιοκτησίας (συχνά όχι σαφώς οριοθετημένη), κάτι το οποίο δεν έχει ποτέ προκαλέσει προβλήματα όσον αφορά στην τρίτη διάσταση, δεδομένου ότι η σημερινή κτηματολογική καταγραφή είναι επαρκής για να δώσει εικόνα σε αυτές τις παραδοσιακές ιδιοκτησιακές καταστάσεις. Σε καταστάσεις τρισδιάστατης ιδιοκτησίας ωστόσο, προκύπτουν προβλήματα, που αναφέρονται σε περιπτώσεις όπου διαφορετικές ιδιοκτησιακές μονάδες (με πιθανόν διαφορετικούς τύπους χρήσεων γης) επικαλύπτονται (εικόνα 1.2). Το παραδοσιακό γεωτεμάχιο όπως αναφέρθηκε είναι ένα ξεχωριστό τμήμα γης, στο οποίο ένα πρόσωπο (ή πρόσωπα) έχει εμπράγματα δικαιώματα, όπως το δικαίωμα της ιδιοκτησίας. Παρά το γεγονός ότι, το ιδιοκτησιακό καθεστώς της γης δεν ορίζεται ρητά στην τρίτη διάσταση, στις περισσότερες χώρες η ιδιοκτησία επεκτείνεται όπου ο ιδιοκτήτης έχει ενδεχομένως συμφέροντα, ενώ επιτρέπεται σε άλλα πρόσωπα να χρησιμοποιούν το χώρο πάνω και κάτω από την ιδιοκτησία αυτή για όσο διάστημα ο ιδιοκτήτης έχει συμφωνήσει ή δεν μπορεί ευλόγως να αντιταχθεί σε αυτή τη χρήση.



Εικόνα 1.2: Επικάλυψη διαφορετικών ιδιοκτησιακών μονάδων και δικαιωμάτων (πηγή: Park et al, 2009)

1.1.1 Πλαίσιο του 3D Κτηματολογίου

Το πεδίο της έρευνας στα 3D κτηματολογικά συστήματα οριοθετείται από τρία πλαίσια που καθορίζουν τις ανάγκες, τους περιορισμούς και τις δυνατότητες των 3D κτηματολογικών εγγραφών. Αυτά τα πλαίσια συνδέονται μεταξύ τους σε μια ιεραρχική σειρά:

- Νομικό πλαίσιο: πώς μπορεί να καθιερωθεί το νομικό καθεστώς των στρωματοποιημένων ακινήτων; Πώς προσδιορίζονται τα ιδιοκτησιακά όρια, πέρα από τα παραδοσιακά δισδιάστατα όρια; Ποια είναι τα δικαιώματα και πώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν;
- Κτηματολογικό πλαίσιο: αφού πρώτα καθοριστεί το νομικό καθεστώς της ιδιοκτησίας για τρισδιάστατες περιπτώσεις και περιγραφεί σαφώς με τίτλους και με εργασίες πεδίου που έχουν αρχειοθετηθεί στο κτηματολογικό σύστημα, τα επόμενα θέματα είναι: πώς θα καταγραφούν τα δικαιώματα και οι περιορισμοί στις ιδιοκτησίες (οριοθετημένα σε τρεις διαστάσεις) στο κτηματολογικό σύστημα και πώς θα παρέχουν πληροφορίες σχετικά με το νομικό καθεστώς των 3D περιπτώσεων ακινήτων
- Τεχνικό πλαίσιο: τι αρχιτεκτονική συστήματος (υλικά υπολογιστών, λογισμικό, δομές δεδομένων) είναι απαραίτητη για τη στήριξη κτηματολογικών εγγραφών σε 3D καταστάσεις; Ποια αρχιτεκτονική είναι τεχνολογικά δυνατή;

1.1.1 Δόμηση της 3D πληροφορίας

Τα τρέχοντα κτηματολογικά συστήματα εξυπηρετούν τους σκοπούς τους επαρκώς στις περισσότερες (2D) καταστάσεις, συνεπώς δεν είναι εφικτή η δημιουργία ενός 3D κτηματολογίου ανεξάρτητου από το σημερινό νομικό και κτηματολογικό πλαίσιο. Συνεπώς ένα τρισδιάστατο κτηματολογικό σύστημα θα πρέπει να ενταχτεί σε κάποιο βαθμό μέσα στο τρέχον νομικό, κτηματολογικό και τεχνικό πλαίσιο και να ικανοποιεί συγκεκριμένες απαιτήσεις που διέπουν τις εξελίξεις της σύγχρονης εποχής (Stoter, 2001), όπως:

- Η διάδοση πληροφοριών μέσω του Διαδικτύου είναι κριτικής σημασίας στη σημερινή κοινωνία. Επομένως, η κτηματολογική εγγραφή θα πρέπει να ενταχτεί σε μια Υποδομή Γεωχωρικών-Πληροφοριών (Geo-Information Infrastructure).
- Δεδομένου ότι ένα σύστημα διαχείρισης βάσεων δεδομένων (ΣΔΒΔ) είναι ουσιώδες μέρος της αρχιτεκτονικής για την τήρηση μεγάλων όγκων χωρικών δεδομένων όπως είναι τα κτηματολογικά συστήματα, ένα βασικό ζήτημα για την υλοποίηση ενός τρισδιάστατου κτηματολογικού συστήματος είναι η μοντελοποίηση των 3D γεω-αντικείμενων (τοπολογικά και γεωμετρικά) μέσα στο ΣΔΒΔ.
- Το κτηματολόγιο πρέπει να παρέχει πρόσβαση σε ένα ευρύ φάσμα χρηστών (πολίτες, κτηματομεσίτες, συμβολαιογράφους, GIS / CAD ειδικοί). Συνεπώς, ένα άλλο μείζον ζήτημα είναι πώς το κτηματολογικό ΣΔΒΔ μπορεί να γίνει εύκολα προσπελάσιμο από τους χρήστες.
- Όσον αφορά στα 3D ΣΓΠ (Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών), οι μέθοδοι για τη γεωμετρική κατασκευή, τη διάρθρωση των δεδομένων, την οργάνωση των 2D και 3D δεδομένων σε ένα ενιαίο περιβάλλον, τη δημιουργία βάσης δεδομένων και την ενημέρωσή της, εξελίσσονται συνεχώς.

1.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΓΙΑ 3D ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ

Την τελευταία δεκαετία οι τρισδιάστατες περιπτώσεις έχουν αυξηθεί αισθητά, εξαιτίας της έντονης τάσης αστικοποίησης, συνεπώς οι χρήστες θέλουν πλέον να έχουν το νομικό καθεστώς των περιουσιών τους πλήρως καθορισμένο μέσα στο κτηματολογικό σύστημα. Αυτό σημαίνει ότι το κτηματολόγιο πρέπει να παρέχει σαφώς την εικόνα της διανομής των ιδιοκτησιών και των ορίων τους σε όλες τις διαστάσεις.

Η τρισδιάστατη προσέγγιση στην κτηματολογική καταγραφή προσφέρει βελτιώσεις για τις κύριες λειτουργίες του κτηματολογίου για τους παρακάτω λόγους:

-- Η 3D καταγραφή παρέχει πληροφορίες στην κάθετη συνιστώσα των δικαιωμάτων, των περιορισμένων δικαιωμάτων και νομικές ειδοποιήσεις και επιτρέπει την ενσωμάτωση της τρισδιάστατης πληροφορίας στα υφιστάμενα κτηματολογικά γεωγραφικά δεδομένα. Στην περίπτωση της τρισδιάστατης καταγραφής, μια 3D ιδιοκτησιακή μονάδα μπορεί να αναζητηθεί σε ένα τρισδιάστατο περιβάλλον με τον ίδιο τρόπο που ένα γεωτεμάχιο μπορεί να αναζητηθεί αντιστοίχως στις τρέχουσες έγγραφες.

-- Το 3D κτηματολόγιο θα περιλαμβάνει ψηφιακή πληροφορία των τρισδιάστατων περιπτώσεων. Στα σύγχρονα συστήματα μπορούν να προστεθούν στους τίτλους, σχέδια προκειμένου να αποδώσουν με σαφήνεια την 3D πληροφορία. Η τρισδιάστατη ψηφιακή πληροφορία προσφέρει καλύτερες δυνατότητες για ποιοτικούς ελέγχους π.χ. για τον εντοπισμό και τη διόρθωση λαθών ή για την θέαση του νομικού καθεστώτος των τρισδιάστατων περιπτώσεων, και παράλληλα διευκολύνει την ανταλλαγή και την ενσωμάτωση της πληροφορίας μεταξύ και μέσα στα κτηματολογικά γραφεία, τους δήμους και τις επαρχίες.

1.3 3D ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΕΚΤΟΣ ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟΥ

Για την εξασφάλιση της νομικής ασφάλειας των δικαιωμάτων και την υποστήριξη της τοπικής διαχείρισης γενικότερα, η 3D γεωπληροφορία αποκτά μεγαλύτερη προσοχή στη σύγχρονη κοινωνία. Σε πολλούς τομείς και εφαρμογές εκτός του κτηματολογικού τίθεται ολοένα και περισσότερο το ζήτημα της τρισδιάστατης πληροφορίας σαν αναπόσπαστο κομμάτι πλέον της σύγχρονης πραγματικότητας. Αναμφισβήτητο ένα 3D κτηματολογικό σύστημα μπορεί να επωφεληθεί από άλλους τομείς που εξελίσσονται προς αυτήν την κατεύθυνση και αντιστρόφως, αφού ανταλλάσσονται η γνώση, οι εμπειρίες και τα δεδομένα. Υπάρχουν πολλά παραδείγματα εφαρμογών που αποκτούν αυξανόμενο ενδιαφέρον στην τρισδιάστατη πληροφορία, όπως:

-- Ο αστικός και πολεοδομικός σχεδιασμός είναι ένας από τους πιο απαιτητικούς τομείς που ωθούν τους 3D προμηθευτές να διαθέτουν νέες γρήγορες προσεγγίσεις μοντελοποίησης, εκτεταμένη απεικόνιση, εργαλεία αλληλεπίδρασης και χωρική λειτουργικότητα. Η επίδραση των νέων κτηρίων και των υποδομών στο υφιστάμενο περιβάλλον μπορεί να απεικονιστεί βέλτιστα σε τρισδιάστατο περιβάλλον. Επιπλέον, οι 3D απεικονίσεις των υποδομών και των κατασκευών στο υπέδαφος που είναι στα σχέδια ακόμα, παρέχει εποπτικότερη εικόνα στην κάθετη συνιστώσα των περιοχών.

-- Η 3D γεωπληροφορία μπορεί να υπηρετήσει σαν δεδομένο εισόδου για χωρική μοντελοποίηση, όπως λόγου χάρη την μοντελοποίηση των επιπέδων θορύβου και του κίνδυνου για τα κτήρια, όταν γίνονται γεωτρήσεις για την κατασκευή μίας σήραγγας.

-- Η πρόβλεψη των συνεπειών μιας διάρρηξης αναχωμάτων και πλημμύρων, χρειάζεται ένα καλό ψηφιακό μοντέλο εδάφους σε συνδυασμό με 3D λογισμικό.

-- Οι σωλήνες, οι σήραγγες και τα καλώδια προστατεύονται καλύτερα ενάντια στις ζημιές όταν μπορεί να απεικονιστεί στην πραγματικότητα η θέση τους στο χώρο.

-- Υπηρεσίες που παρέχουν πληροφορίες για καταστήματα, τουρισμό, διασωστικά συνεργεία κτλ, προϋποθέτουν την 3D απεικόνιση (και ειδικά 3D ΣΓΠ) .

1.4 ΕΙΔΗ 3D ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟΥ

Ο όρος 3D κτηματολόγιο μπορεί να ερμηνευθεί με πολλούς τρόπους, από ένα πλήρες 3D κτηματολόγιο το οποίο υποστηρίζει ογκομετρικά τεμάχια (volume parcels), μέχρι υφιστάμενα κτηματολογικά συστήματα που περιέχουν περιορισμένη πληροφορία για 3D καταστάσεις. Εδώ

διακρίνονται τρεις θεμελιώδεις έννοιες κατά το διαχωρισμό της Stoter (2002), οι οποίες αναλύονται παρακάτω:

• **Πλήρες 3D Κτηματολόγιο:**

- Εναλλακτική 1: περιλαμβάνει το συνδυασμό των απεριόριστων στηλών (με όρια το γεωτεμάχιο) και των ογκομετρικών τεμαχίων (πχ. συνδυασμός 2D/3D)
- Εναλλακτική 2: περιλαμβάνει και υποστηρίζει μόνο γεωτεμάχια, τα οποία περιορίζονται στις τρεις διαστάσεις (ογκομετρικά τεμάχια)

• **Υβριδικό 3D Κτηματολόγιο:**

- Εναλλακτική 1: περιλαμβάνει την καταγραφή των 2D τεμαχίων σε όλες τις περιπτώσεις καταγραφής εμπράγματης ιδιοκτησίας και περαιτέρω καταγραφή του 3D νομικού χώρου στην περίπτωση των τρισδιάστατων ιδιοκτησιακών μονάδων
- Εναλλακτική 2: περιλαμβάνει την καταγραφή των 2D τεμαχίων σε όλες τις περιπτώσεις καταγραφής εμπράγματης ιδιοκτησίας και περαιτέρω καταγραφή του 3D νομικού χώρου στην περίπτωση των «φυσικών» αντικειμένων (physical objects)

• **3D σύνδεσμοι στα ακίνητα στο πλαίσιο του υφιστάμενου κτηματολογικού συστήματος**

1.4.1 Πλήρες 3D Κτηματολόγιο

Ένα πλήρες 3D κτηματολογικό σύστημα σημαίνει εισαγωγή της έννοιας των ιδιοκτησιακών δικαιωμάτων στον τρισδιάστατο χώρο, ο οποίος υποδιαιρείται σε ογκομετρικά τεμάχια. Η νομική βάση δεδομένων, τα πρωτόκολλα συναλλαγής ακινήτων και οι κτηματολογικές εγγραφές θα πρέπει να υποστηρίζουν τη δημιουργία και τη μεταβίβαση των 3D δικαιωμάτων. Το πλήρες 3D κτηματολόγιο απαιτεί αλλαγή στο νομικό τρόπο σκέψης, καθώς και στο κτηματολογικό και τεχνικό πλαίσιο, αφού το ακίνητο μπορεί πλέον να οριστεί στις τρεις διαστάσεις. Η έννοια των 2D τεμαχίων θα πρέπει να επανεξεταστεί, καθώς και η αλλαγή του ρόλου των κτηματολογικών εγγραφών, προκειμένου να ανταποκριθούν στις κτηματολογικές ανάγκες σε ένα πιο θεμελιώδες επίπεδο. Σε αυτό το σύστημα, εγκαταλείπεται η έννοια των δισδιάστατων τεμαχίων ως μοναδική βάση αναφοράς για την καταγραφή των ιδιοκτησιακών αντικειμένων, καθώς τα δικαιώματα δεν εφαρμόζουν πλέον σε γεωτεμάχια, αλλά σε καλώς ορισμένους μετρημένους όγκους και αυτή είναι η βασική διαφορά με την υβριδική λύση, που ακόμα διατηρεί τις δισδιάστατες καταγραφές.

Διακρίνονται δύο εναλλακτικές λύσεις για το πλήρες 3D κτηματολόγιο:

Στην πρώτη εναλλακτική τα ογκομετρικά τεμάχια δημιουργούνται μόνο σε 3D καταστάσεις και ως εκ τούτου εξακολουθεί να είναι δυνατή η δημιουργία ακινήτων με όρια επί της επιφάνειας της γης. Η πρώτη εναλλακτική λύση ξεκινά με την μετατροπή της συμβατικής αναπαράστασης των ιδιοκτησιών από 2D στην τρίτη διάσταση: δηλαδή ένα γήπεδο που ορίζεται από το όριο επί της επιφάνειας μετατρέπεται σε μια άπειρη (ή πράγματι αορίστου) στήλη που τέμνεται με την επιφάνεια στη θέση των ορίων του γηπέδου. Σε αυτήν τη λύση, διακρίνονται δύο τύποι ακινήτων: στήλες άπειρων τεμαχίων (infinite parcel columns) που εξακολουθούν να ισχύουν και στις «κλασικές» 2D καταστάσεις και τεμάχια όγκων (volume parcels). Ο συνδυασμός 2D/3D ξεκινά με τα τρέχοντα εγγεγραμμένα γεωτεμάχια, τα οποία μετατρέπονται σε στήλες άπειρων τεμαχίων. Σε αυτήν την εναλλακτική, τα ιδιοκτησιακά αντικείμενα μπορεί να είναι:

- Γεωτεμάχια τα οποία σχετίζονται είτε με στήλες άπειρων τεμαχίων, ή χωρικές στήλες: αυτά τα γεωτεμάχια έχουν όντως καθοριστεί σε 3D (βασισμένοι στην 2.5D απεικόνιση της επιφάνειας),
- Τεμάχια όγκων,
- Επιφάνειες περιορισμών (μόνο καθορισμένες σε 2D),
- Όγκοι περιορισμών (μόνο καθορισμένες σε 3D).

Η δεύτερη εναλλακτική περιλαμβάνει την συνολική εφαρμογή ενός πλήρους 3D κτηματολογίου, όπου τα μοναδικά ακίνητα που αναγνωρίζονται είναι τα τεμάχια όγκων, τα οποία δημιουργούν μια συνολική κατάτμηση του χώρου. Η έννοια των 2D γεωτεμάχιων εγκαταλείπεται εντελώς, ενώ τα ιδιοκτησιακά δικαιώματα μπορούν πλέον να σχετίζονται μόνο με τεμάχια όγκου που είναι πλήρως ορισμένα και οριοθετημένα στις τρεις διαστάσεις. Τα τεμάχια αυτά είναι το βασικό στοιχείο καταγραφής, και σχηματίζουν ένα ολοκληρωμένο τμήμα τρισδιάστατου χώρου χωρίς κενά ή επικαλύψεις. Αυτό απαιτεί αλλαγές στο νομικό πλαίσιο, αφού η ιδιοκτησία πλέον δεν επεκτείνεται όσο ψηλά ή χαμηλά έχει ο ιδιοκτήτης δικαιώματα, αλλά πρέπει να είναι πάντα ρητά περιορισμένη σε ύψος και βάθος.

1.4.2 Υβριδικό Κτηματολόγιο

Η υβριδική λύση σημαίνει διατήρηση του δισδιάστατου κτηματολογίου και ενσωμάτωση της καταγραφής τρισδιάστατων περιπτώσεων σαν μέρος των 2D κτηματολογικών γεωγραφικών δεδομένων. Αυτό οδηγεί σε μια υβριδική λύση της νομικής καταγραφής των τρισδιάστατων περιπτώσεων. Στην υβριδική λύση δεν αλλάζει ο νομικός και κτηματολογικός χαρακτήρας της ιδιοκτησίας και του ακινήτου, όπως στην περίπτωση του πλήρους 3D κτηματολογίου. Τα δικαιώματα δημιουργούνται και καταγράφονται πάντα σε δισδιάστατα γεωτεμάχια, ενώ ο ιδιοκτήτης του γεωτεμαχίου μπορεί να περιοριστεί ως προς τη χρήση όλης της στήλης από περιορισμένα δικαιώματα και νομικούς κανονισμούς.

Η κτηματολογική καταγραφή της τρισδιάστατης περίπτωσης δίνει πλέον εικόνα, αλλά δεν είναι νομικά δεσμευτική: η ακριβής νομική κατάσταση πρέπει να προκύψει και πάλι από πρωτότυπα έγγραφα (τίτλους, τοπογραφικά σχέδια κτλ) που περιέχονται στο σύστημα. Η τρισδιάστατη απεικόνιση μπορεί να είναι είτε ο χώρος επί του οποίου ο ιδιοκτήτης έχει δικαίωμα ή ένα «φυσικό αντικείμενο» από μόνο του (δεύτερη εναλλακτική).

Η πρώτη εναλλακτική υποδεικνύει την καταγραφή των ήδη καταγεγραμμένων δικαιωμάτων σε τρισδιάστατες περιπτώσεις με τη χρήση 3D όγκων δικαιωμάτων (right-volumes), ενώ με αυτόν τον τρόπο αποσαφηνίζεται ο 3D χαρακτήρας των δικαιωμάτων. Η δεύτερη εναλλακτική είναι η καταγραφή των «φυσικών» αντικειμένων, όπου οι κατασκευές ενσωματώνονται στα γεωγραφικά δεδομένα όπως τα κτήρια στην υφιστάμενη κτηματολογική κατάσταση, πρόσθετα με τα γεωτεμάχια προκειμένου να διαφωτίσουν την πραγματική κατάσταση.

Στην περίπτωση των 3D όγκων δικαιωμάτων (πρώτη εναλλακτική), το γεωτεμάχιο είναι το βασικό συστατικό της κτηματολογικής καταγραφής, ενώ στη δεύτερη περίπτωση των 3D «φυσικών» αντικειμένων, το βασικό συστατικό είναι το αντικείμενο.

1.4.2.1 Καταγραφή των όγκων 3D δικαιωμάτων

Ένας όγκος τρισδιάστατου δικαιώματος είναι μια τρισδιάστατη απεικόνιση του νομικού χώρου που αναφέρεται σε ένα δικαίωμα που εφαρμόζεται σε ένα τεμάχιο και αφορά μια 3D κατάσταση, όπως για παράδειγμα δικαιώματα δουλείας που έχουν δημιουργηθεί σε μια σήραγγα. Δηλαδή για κάθε δικαίωμα που εφαρμόζεται σε ένα γεωτεμάχιο και που αφορά μια τρισδιάστατη ιδιοκτησιακή κατάσταση (πχ περισσότεροι χρήστες σε ένα γεωτεμάχιο) διατηρείται ένας όγκος. Τα δικαιώματα υλοποιούνται ακόμα στα γεωτεμάχια της επιφάνειας, ενώ το όριο της απεικόνισης ενός 3D όγκου ξεκινά με τα επιφανειακά όρια και επεκτείνεται σε 3D, καθορίζοντας τα ανώτερα και κατώτερα όρια του δικαιώματος.

Ο πρωταρχικός στόχος των όγκων 3D δικαιωμάτων είναι να ενημερώσουν τους χρηστές ότι βρίσκεται κάτι άνω ή κάτω από την επιφάνεια και να υποδείξουν ακριβώς τον χώρο όπου αυτό το κάτι βρίσκεται, συνεπώς αποτελεί έναν επαρκή τύπο καταγραφής μέσα σε αυτό το πλαίσιο. Όλοι οι

εμπλεκόμενοι πρέπει να είναι σύμφωνοι με τα όρια των όγκων, τα οποία σχετίζονται με ένα εγγεγραμμένο δικαίωμα, ενώ από τους αντίστοιχους τίτλους και τα τοπογραφικά διαγράμματα που βρίσκονται μέσα στο σύστημα, προκύπτει πιο λεπτομερής πληροφορία με νομική υπόσταση. Ένα βασικό μειονέκτημα της εναλλακτικής αυτής είναι ότι δεν μπορούν να απεικονίσουν επαρκώς όλες τις τρισδιάστατες καταστάσεις εξαιτίας της απλής παρουσίας των οριζοντίων ορίων.

1.4.2.2 Καταγραφή των 3D φυσικών αντικειμένων

Η εικόνα στις τρισδιάστατες περιπτώσεις, ειδικά σε περιπτώσεις κατασκευών που διαπερνούν ποικίλα γεωτεμάχια θα βελτιωνόταν σημαντικά, εάν ήταν διαθέσιμη η ακριβής θέση των φυσικών αντικειμένων στο σύστημα. Με αυτήν την πληροφορία μπορούν να αποφθεχθούν κενά, όπως στην περίπτωση των όγκων 3D δικαιωμάτων.

Τα «φυσικά» αντικείμενα προστίθενται για τον ίδιο σκοπό στα κτηματολογικά δεδομένα όπως τα κτήρια: για να συνδέσουν την κτηματολογική καταχώριση με απεικονίσεις της πραγματικότητας. Ένα φυσικό αντικείμενο είναι μια κατασκευή άνω ή κάτω από την επιφάνεια της γης που μπορεί να διαπερνά ένα ή περισσότερα όρια γεωτεμαχίων, ενώ ο κύριος σκοπός της εγγραφής του είναι η ανάδειξη της ίδιας της κατασκευής και εν συνεχεία αυτή η πληροφορία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εξεταστεί το νομικό καθεστώς της κατάστασης. Σε αυτήν την περίπτωση, καταγράφονται αυτά και όχι ο νομικός χώρος όπως στην πρώτη εναλλακτική. Ο νομικός χώρος είναι ο χώρος στον οποίο ο κάτοχος του αντικείμενου έχει ένα δικαίωμα που εξασφαλίζει την κυριότητα επί του αντικείμενου, που είναι συνήθως μεγαλύτερη από τη φυσική επέκταση του αντικείμενου.

Η 3D περιγραφή των φυσικών αντικειμένων μπορεί να χρησιμοποιηθεί εάν ο κτηματολογικός χάρτης είναι διαθέσιμος σε 2.5D και χρειάζεται να υλοποιηθεί ένα περιορισμένο δικαίωμα στα τεμνόμενα γεωτεμάχια, το οποίο αναφέρεται στο φυσικό αντικείμενο (το 2D γεωτεμάχιο είναι ακόμα το βασικό συστατικό για την εφαρμογή των εμπραγμάτων δικαιωμάτων και για την κτηματολογική καταγραφή). Επιπλέον η πληροφορία αυτών των αντικειμένων πρέπει να καταγραφεί στο σύστημα μια φορά και όχι σε κάθε τεμνόμενο γεωτεμάχιο.

1.4.3 3D σύνδεσμοι στο τρέχον κτηματολόγιο

Αυτό σημαίνει διατήρηση του 2D κτηματολογίου με εξωτερικές αναφορές σε ψηφιακές ή αναλογικές παρουσιάσεις των 3D καταστάσεων. Η διάφορα με το υβριδικό κτηματολόγιο είναι ότι οι 3D απεικονίσεις διατηρούνται ξεχωριστά, και όχι ενσωματωμένες με τα γεωγραφικά δεδομένα του κτηματολογίου. Σε αυτήν τη λύση, τα εμπράγματα δικαιώματα επί των ακίνητων εφαρμόζονται και καταγράφονται στα δισδιάστατα γεωτεμάχια. Παρόλα αυτά η ενημέρωση της ύπαρξης τρισδιάστατης κατάστασης μπορεί να προστεθεί στο σύστημα με την εγγραφή μιας 3D σημείωσης στο γεωτεμάχιο. Επιπλέον, μπορεί να προστεθεί μια αναφορά στο νομικό έγγραφο ή στο σχέδιο που αναδεικνύει την κατάσταση. Η αναφορά μπορεί να υλοποιηθεί με ποικίλους τρόπους. Η πιο απλή λύση είναι η επισήμανση 3D περιπτώσεων στις κτηματολογικές καταγραφές, όπου ο χρήστης πρέπει να συμβουλευτεί τα έγγραφα στα μητρώα για να βρει πιο λεπτομερείς πληροφορίες. Μια πιο εξελιγμένη λύση είναι η προσθήκη αναφοράς σε μια 3D ψηφιακή περιγραφή που διατηρείται μέσα στις κτηματολογικές εγγραφές. Η περιγραφή διατηρείται μέσα στο σύστημα σε αναλογική ή ψηφιακή μορφή (π.χ. CAD σχέδιο).

1.5 ΕΘΝΙΚΟ ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ

1.5.1 Βασική Νομοθεσία

Η νομοθεσία που ορίζει τη λειτουργία του Ελληνικού Κτηματολογίου είναι το Άρθρο 24§2 εδ. γ' του Συντάγματος σύμφωνα με το οποίο καθιερώνεται η υποχρέωση του Κράτους για τη σύνταξη του

Εθνικού Κτηματολογίου, ενώ το θεσμικό πλαίσιο για το Εθνικό Κτηματολόγιο αποτελείται από πολλούς νόμους, οι βασικότεροι των οποίων αναφέρονται παρακάτω:

- Στον Ν. 2308/1995(ΦΕΚ τ. Α΄, 114/15-6-1995) για τη σύνταξη του Εθνικού Κτηματολογίου
- Στον Ν. 2664/1998 για το Εθνικό Κτηματολόγιο (ΦΕΚ τ. Α΄, 275/3-12-1998) και
- Στους τροποποιητικούς νόμους: ν. 2508/1997 (ΦΕΚ τ.Α΄, 124/13-6-1997), 3127/2003(ΦΕΚ τ.Α΄, 67/19-3-2003), 3208/2003(ΦΕΚ τ. Α΄, 303/24-12-2003), 3212/2003 (ΦΕΚ τ. Α΄, 308/31-12-2003), 3481/2006(ΦΕΚ τ. Α΄, 162/2-8-2006), 3559/2007 (ΦΕΚ τ. Α΄102/ 14-5-2007) και 3728/2008

Το Εθνικό Κτηματολόγιο αποτέλεσε αναμφισβήτητα ένα από τα μεγαλύτερα προγράμματα υποδομών της σύγχρονης Ελλάδας. Συγκεκριμένα η Κτηματολόγιο Α.Ε. έχει αναλάβει την ανάπτυξη του Εθνικού Κτηματολογίου και είναι υπεύθυνη όχι μόνο για τον έλεγχο ανάθεσης, την εποπτεία και την ποιότητα των κτηματολογικών μελετών έρευνας, αλλά και για την ανάπτυξη των αναγκαίων υποδομών, το οποίο θα υποστηρίξει τη λειτουργία, τη συντήρηση και την ενημέρωση του Κτηματολογίου (Ρόκος, 2001). Σύμφωνα με το σχέδιο δράσης της, το κτηματολογικό σύστημα που εφαρμόζεται στην ελληνική επικράτεια είναι ένα δύο διαστάσεων σύστημα εγγραφών και καταγράφει πληθώρα δικαιωμάτων, ενώ το γεωτεμάχιο είναι ο πυρήνας της οργάνωσης και αναζήτησης της νομικής πληροφορίας. Το Εθνικό Κτηματολόγιο συγκεκριμένα καταγράφει (Ρόκος, 2001): α) Γεωτεμάχια, β) οριζόντια ιδιοκτησία, γ) κάθετη ιδιοκτησία, δ) σύνθετη καθετή ιδιοκτησία, ε) ειδικά ιδιοκτησιακά αντικείμενα και στ) ορυχεία.

Παρακάτω δίνονται αναλυτικά οι ορισμοί των διαφόρων ιδιοκτησιών για τον ελλαδικό χώρο, σύμφωνα με το πρόγραμμα του Εθνικού Κτηματολογίου:

Γεωτεμάχιο

Ένα γεωτεμάχιο ορίζεται ως μια ομοιόμορφη περιοχή που αποτελεί ένα ενιαίο, ανεξάρτητο χώρο της γης, η οποία μπορεί να ανήκει σε ένα ή περισσότερα πρόσωπα εξ αδιαίρετου. Το γεωτεμάχιο αποτελείται από τη μονάδα επιφάνειας που χρησιμοποιείται ως αναφορά για όλα τα κτηματολογικά δεδομένα. Όπως ορίζεται από το Νόμο, η ιδιοκτησία σε ένα γεωτεμάχιο εκτείνεται στη στήλη του υπερκείμενου αέρα και του υποκείμενου εδάφους, αλλά μπορεί να περιορίζεται σε ορισμένες περιπτώσεις (π.χ. ορυχεία).

Οριζόντιες ιδιοκτησίες

Μια οριζόντια ιδιοκτησία είναι η ανεξάρτητη ιδιοκτησία ορόφου ή διαμερίσματος ενός κτηρίου, με ταυτόχρονη συνιδιοκτησία στους κοινόχρηστους χώρους του κτηρίου και του οικοπέδου.

Κάθετες ιδιοκτησίες

Μια κάθετη ιδιοκτησία είναι η χωριστή κυριότητα σε ανεξάρτητο κτήριο, το οποίο κατασκευάζεται ή πρόκειται να κατασκευαστεί σε ένα γεωτεμάχιο, με ταυτόχρονη συνιδιοκτησία του οικοπέδου (εικόνα 1.3).

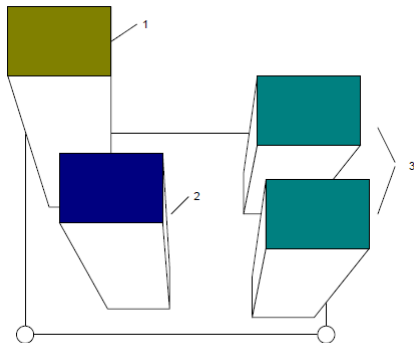
Σύνθετες κάθετες ιδιοκτησίες

Μια σύνθετη κάθετη ιδιοκτησία είναι η ιδιοκτησία ενός αυτοτελούς κατανεμημένου ακίνητου (δηλαδή οριζόντια ιδιοκτησία), σε ένα γεωτεμάχιο, όπου έχουν ήδη δημιουργηθεί κάθετες ιδιοκτησίες, με την ταυτόχρονη συνιδιοκτησία στο γεωτεμάχιο.

Ειδικά ιδιοκτησιακά αντικείμενα

Ο όρος ειδικό ιδιοκτησιακό αντικείμενο χρησιμοποιείται σε σχέση με τα δικαιώματα που προβλέπονται στα άρθρα 58 & 59 του Εισαγωγικού Νόμου του Αστικού Κώδικα που αναφέρεται στο

δικαίωμα των φυτών, εκμετάλλευσης της επιφάνειας και τη χωριστή κυριότητα των φυτειών ή δέντρων ή κτηρίων. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να κατέχει ένα κτήριο ή μια φυτεία, διαφορετικό πρόσωπο από το πρόσωπο που κατέχει το γεωτεμάχιο πάνω στο οποίο βρίσκονται. Ιδιοκτησία σε κτήριο με αυτή τη νομική κατάσταση δεν σημαίνει συνιδιοκτησία στο γεωτεμάχιο.



Εικόνα 1.3: Αναπτύσσοντας 3 καθές ιδιοκτησίες στο γεωτεμάχιο (πηγή: Ρόκος, 2001)

Ορυχεία

Ένα άλλο ιδιοκτησιακό αντικείμενο που εκτείνεται κάτω από την επιφάνεια της γης και είναι ανεξάρτητο από το υπερκείμενο γεωτεμάχιο είναι τα ορυχεία. Η κυριότητα σε ένα ορυχείο παρέχει το δικαίωμα αναζήτησης και εκμετάλλευσης εξόρυξης μεταλλείων. Πρέπει να γίνει σαφές ότι η κυριότητα σε ένα ορυχείο, δεν υπονοεί κυριότητα στα αντίστοιχα γεωτεμάχια στην επιφάνεια της γης. Ωστόσο, η χρήση αυτών των γεωτεμαχίων πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να μην παρεμποδίζει την εκμετάλλευση των μεταλλείων.

Με βάση τα παραπάνω είναι προφανές ότι όλες οι διηρημένες ιδιοκτησίες (οριζόντια, κάθετη και πολύπλοκες κάθετες ιδιοκτησίες) έχουν τρισδιάστατο χαρακτήρα και μπορούν να οριστούν σωστά μόνο μέσω της κάθετης συνιστώσας, καθώς η διαχείρισή τους έχει άμεσες επιπτώσεις στα δικαιώματα του υποκειμένου ή υπερκείμενου γεωτεμαχίου.

1.5.2 Μέθοδος αρχικής μοντελοποίησης

Βάσει των ανωτέρω ορισμών αλλά και της κοινής λογικής και της διεθνούς εμπειρίας ορίστηκαν κάποιες αρχικές προδιαγραφές για τη μοντελοποίηση των κτηματολογικών μονάδων, που χρησιμοποιήθηκαν για την κατανόηση των ακινήτων. Οι αρχικές αυτές προδιαγραφές αναφέρονται στις σχέσεις των ορισμών που εξετάστηκαν παραπάνω, όπως:

- α) Τα κτήρια ανήκουν σε γεωτεμάχια, ενώ κάθε κτηριακή μονάδα εντάσσεται πλήρως μέσα από ένα γεωτεμάχιο,
- β) Οι κάθετες ιδιοκτησίες ανήκουν στα γεωτεμάχια, ενώ τα κτήρια και οι σύνθετες κάθετες ιδιοκτησίες ανήκουν σε κάθετες ιδιοκτησίες,
- γ) Οι οριζόντιες και σύνθετες κάθετες ιδιοκτησίες ανήκουν σε κτήρια,
- δ) Ένα ορυχείο δεν ανήκει σε ένα γεωτεμάχιο, αλλά ενδέχεται να υπάρχει κάτω από αρκετά από αυτά και
- ε) Τα ειδικά ιδιοκτησιακά αντικείμενα δεν χρειάζεται να αποτελούν ένα ξεχωριστό πραγματικό αντικείμενο ιδιοκτησίας.

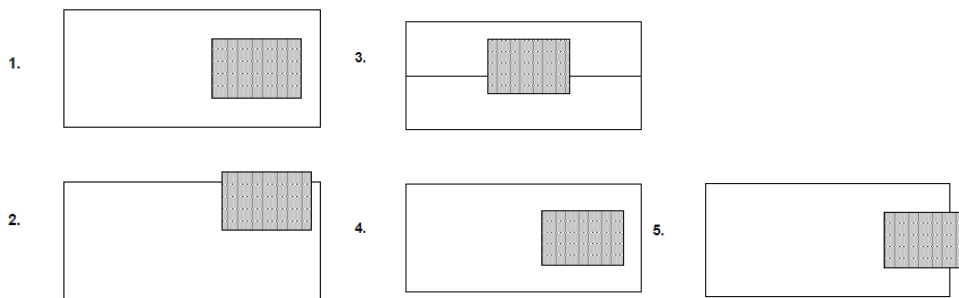
Οι προδιαγραφές αυτές ορίζουν τις τοπολογικές και άλλες σχέσεις των ακινήτων στην σύνθετη τρισδιάστατη πραγματικότητα, αλλά όπως θα δούμε παρακάτω η πραγματικότητα συνήθως αποκλίνει από τους κανόνες και δημιουργούνται πολλές προβληματικές 3D περιπτώσεις που είναι ιδιαίτερα δύσκολο να καταγραφούν σε ένα κτηματολογικό σύστημα.

1.5.3 Προβλήματα που σχετίζονται με την 2D και 3D απεικόνιση των ιδιοκτησιών στο Ε.Κ.

Με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν και τα δεδομένα που συλλεχθήκαν κατά τις πιλοτικές κτηματογραφήσεις, προέκυψαν πολλά θέματα και προβλήματα όσον αφορά την 2D και 3D φύση των ιδιοκτησιακών μονάδων (Ρόκος, 2001):

1.5.3.1 Κτήρια και γεωτεμάχια

Το πρώτο πρόβλημα που προέκυψε αφορά τη σχέση των κτηρίων και των υποκείμενων γεωτεμαχίων, όπου παρά την αρχική προσέγγιση μοντελοποίησης σύμφωνα με την οποία ένα κτήριο βρίσκεται ρητά μέσα σε ένα γεωτεμάχιο, στην πράξη, εντοπίστηκε μια ποικιλία από άλλες περιπτώσεις των σχέσεων ανάμεσα στα κτήρια και τα γεωτεμάχια (εικόνα 1.4):



Εικόνα 1.4: σχέσεις μεταξύ κτηρίων και γεωτεμαχίων (πηγή: Ρόκος, 2001)

- Η πιο συνηθισμένη περίπτωση και εναρμονισμένη με τις προδιαγραφές είναι αυτή κατά την οποία, ένα ή περισσότερα κτήρια μπορεί να βρίσκονται εξ ολοκλήρου μέσα σε ένα γεωτεμάχιο (περίπτωση 1) και ο ιδιοκτήτης του γεωτεμαχίου είναι επιπλέον κύριος επί των κτηρίων που βρίσκονται μέσα στο γεωτεμάχιο.

- Υπάρχει ωστόσο και η περίπτωση κατά την οποία ένα κτήριο εκτείνεται πέρα από τα όρια του υποκείμενου γεωτεμαχίου λόγω χρησικτησίας ιδιωτικής ή δημόσιας γης (περίπτωση 2). Σε αυτές τις περιπτώσεις, συνήθως ο ιδιοκτήτης ενός γεωτεμαχίου εκμεταλλεύεται την αδράνεια του ιδιοκτήτη του γειτονικού γεωτεμαχίου και χτίζει μια κατασκευή που εκτείνεται πέρα από τα όρια της ιδιοκτησίας του, ή εκμεταλλεύεται την έλλειψη επίσημης οριοθέτησης των δασών και των παράκτιων περιοχών και χτίζει μία κατασκευή πάνω σε δημόσιες δασικές ή παράκτιες εκτάσεις. Ο καταπατητής, από νομική άποψη, έχει μόνο την κυριότητα του τμήματος του κτηρίου που βρίσκεται εντός των ορίων του γεωτεμαχίου του.

- Ένα κτήριο μπορεί επίσης να έχει ανεγερθεί σε δύο ή περισσότερα γεωτεμάχια τα οποία δεν είχαν επισήμως συνενωθεί (περίπτωση 3), παρόλο που ανήκουν στον ίδιο ιδιοκτήτη, ο οποίος τελικά είναι και ο νόμιμος ιδιοκτήτης του κτηρίου τους. Ωστόσο, τα γεωτεμάχια επειδή δεν έχουν επίσημα συνενωθεί, μπορούν να διαχειρίζονται ξεχωριστά από τον ιδιοκτήτη (για παράδειγμα ένα από αυτά μπορεί να πωληθεί ή να υποθηκευτεί) και τέτοιες ενέργειες επηρεάζουν τα μέρη των κτηρίων που βρίσκονται σε κάθε ένα από αυτά.

- Προκύπτουν προβλήματα και συγκεκριμένα δύο περιπτώσεις, όταν υπάρχουν δικαιώματα για το διαχωρισμό ιδιοκτησίας επί μίας κατασκευής, τμήματος μίας κατασκευής ή σε μια φυτεία μέσα σε ένα γεωτεμάχιο (πχ ειδικά ιδιοκτησιακά αντικείμενα), τα οποία ίσχυαν ήδη πριν από την εμφάνιση του Αστικού Κώδικα:

-- Το αντικείμενο της χωριστής ιδιοκτησίας ανήκει σε διαφορετικό πρόσωπο από τον κύριο του οικοπέδου, χωρίς να έχει συσταθεί οποιαδήποτε οριζόντια ή κάθετη ιδιοκτησία (περίπτωση 4), ή

-- Ένα κτήριο μπορεί να εκτείνεται πέρα από τα όρια του γεωτεμαχίου, αλλά να ανήκει στο σύνολό του (περίπτωση 5), αρκετά σύνηθες σε πολλά νησιά του Αιγαίου, όπως θα δούμε αναλυτικότερα παρακάτω.

Είναι εμφανές με βάση τα παραπάνω ότι οι σχέσεις των κτηρίων και γεωτεμαχίων σχετίζονται έντονα με την τρίτη διάσταση, καθώς πολλά κτήρια μπορεί να βρίσκονται σε ένα γεωτεμάχιο, άλλα ένα κτήριο μπορεί επίσης να βρίσκεται σε παραπάνω από ένα γεωτεμάχιο.

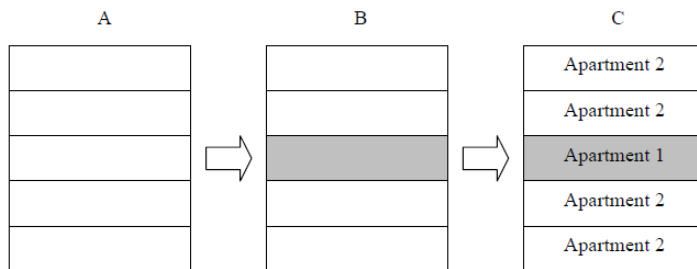
1.5.3.2 Διηρημένες ιδιοκτησίες και κτήρια

Με βάση την αρχική προσέγγιση μοντελοποίησης οι διηρημένες ιδιοκτησίες ή αλλιώς διαμερίσματα αποτελούν μέρη ορόφων που ανήκουν σε κτήρια, τα οποία περιέχονται εντός γεωτεμαχίων. Ωστόσο, η προσέγγιση αυτή είχε αρκετές ελλείψεις:

--Υπάρχουν ορισμένες περιπτώσεις κατά τις οποίες ένα διαμέρισμα μπορεί να επεκταθεί σε δύο παρακείμενους ορόφους. Στην περίπτωση αυτή, δεν μπορεί κανείς να συσχετίσει μόνο έναν όροφο στο συγκεκριμένο διαμέρισμα.

-- Δύο γειτονικά διαμερίσματα σε δύο γειτονικά κτήρια μπορούν να συγχωνευθούν με συμβολαιογραφική πράξη σε ένα. Το νέο διαμέρισμα στη συνέχεια θα ανήκει και στα δύο κτήρια.

-- Τέλος, αν ο ιδιοκτήτης ενός πολυώροφου κτηρίου, στο οποίο δεν έχουν δημιουργηθεί διηρημένες ιδιοκτησίες, αποφασίσει την πώληση ενός από τα πατώματα, τότε αυτόματα το υπόλοιπο των δαπέδων νόμιμα γίνεται ένα άλλο διαμέρισμα, ακόμη και αν τα πατώματα του εν λόγω διαμερίσματος δεν μπορεί να είναι συνεχή (εικόνα 1.5).



Εικόνα 1.5: Α) όλο το κτήριο ανήκει σε ένα άτομο. Β) Ο ιδιοκτήτης αποφασίζει την πώληση του τρίτου ορόφου σε ένα άλλο άτομο Γ) Με τη συμβολαιογραφική πράξη της πώλησης στον τρίτο όροφο, τα δύο διαμερίσματα δημιουργούνται νόμιμα (1 και 2). Το διαμέρισμα 2 τότε είναι ασυνεχές. (πηγή: Ρόκος, 2001)

Με βάση τα παραπάνω αλλά και σύμφωνα με τον Ζεντέλη (2011) το 2D κτηματολογικό μοντέλο δεν επαρκεί πλέον για την απεικόνιση και την περιγραφή της συνεχώς εξελισσόμενης και σύνθετης πραγματικότητα, όπου περιπτώσεις ανάπτυξης και της πολλαπλής χρήσης του χώρου όπως επίσης και η πολυστρωματική διανομή των εμπραγμάτων δικαιωμάτων είναι σύνηθες φαινόμενο. Συνεπώς, ο προσδιορισμός ενός πολυστρωματικού και τρισδιάστατου κτηματολογικού μοντέλου έχει γίνει άμεση ανάγκη προκειμένου να απεικονιστούν και να καταγράφουν οι ιδιοκτησίες με συνέπεια και βάσει της τρισδιάστατης πραγματικότητας.

1.5.4 Ανάγκες για 3D καταγραφές

Η εφαρμογή ενός 3D κτηματολογικού μοντέλου στην Ελλάδα είναι απαραίτητη ειδικά σε πυκνοδομημένα αστικά περιβάλλοντα, καθώς απεικονίζει την διανομή των ιδιοκτησιακών δικαιωμάτων στην κάθετη συνιστώσα (Τσιλιάκου και Δημοπούλου, 2011) εξαιτίας:

-- του έντονου ανάγλυφου του ελληνικού εδάφους, που οδηγεί σε σύνθετες κατασκευές, πολυεπίπεδα κτήρια και την διαπλοκή των ιδιοκτησιακών περιοχών για διαφορετικές και ανεξάρτητες ιδιοκτησίες (Παπαευθυμίου κ.ά., 2004),

- της ανεπαρκούς έκτασης της ελληνικής γης σε συνδυασμό με την αυξανόμενη αστικοποίηση, που έχει οδηγήσει στην εμφάνιση πολυεπίπεδων κατασκευών,
- της μεγάλης πολυεπίπεδης ιστορικής ελληνικής γης, όπου πολλές σύγχρονες κατασκευές είναι θεμελιωμένες στα ερείπια αρχαίων πόλεων,
- της καταγραφής των ειδικών ιδιοκτησιακών αντικειμένων,
- της καταγραφής των εθνικών ιδιοκτησιακών δικαιωμάτων,
- των αντιθέσεων στην ελληνική νομοθεσία που αφορούν στα 3D αντικείμενα, όπως στην οριζόντια ιδιοκτησία,
- σκοπιμοτήτων αστικού σχεδιασμού. Ένα 3D κτηματολογικό μοντέλο πρέπει να είναι επαρκές στην ανάδειξη/ τεκμηρίωση της νομικής κατάστασης στο εσωτερικό των κτηρίων και τον εντοπισμό παραβάσεων του Γενικού Οικοδομικού Κανόνα,
- δημοσιονομικών και μεσιτικών σκοπών, αφού η αξία της γης συνεχώς αυξάνεται ειδικά στις αστικές περιοχές.

1.5.5 Περιπτώσεις που χρήζουν 3D καταγραφής

Υπάρχουν πολλά παραδείγματα ιδιοκτησιών που απαιτούν 3D καταγραφή μέσα στον ελλαδικό χώρο. Αυτές οι χαρακτηριστικές περιπτώσεις παρουσιάζονται παρακάτω πιο αναλυτικά προκειμένου να γίνει κατανοητή η σύγχρονη πολυστρωματική πραγματικότητα:

1.5.5.1 Επικαλυπτόμενες Δημόσιες και Ιδιωτικές ιδιοκτησίες

- ✓ Δημόσιες ιδιοκτησίες άνω, κάτω ή επί ιδιωτικών περιοχών, όπως:
 - ο ορυχεία που δεν σχετίζονται με το υπερκείμενο εδαφοτεμάχιο,
 - ο δημόσιοι δρόμοι υποκείμενοι ή υπερκείμενοι σε ιδιωτικές ιδιοκτησίες ή κατασκευές,
 - ο κοινόχρηστα δίκτυα υποδομών, κοινής ωφέλειας υποκείμενα ιδιωτικών εκτάσεων.
- ✓ Ιδιωτικές ιδιοκτησίες άνω, κάτω ή επί δημοσίων περιοχών, όπως:
 - ο ιδιωτικοί υπόγειοι χώροι στάθμευσης κάτω από δημόσιους χώρους,
 - ο ανώγια σε νησιωτικές ή άλλες περιοχές πάνω από δημόσιες οδούς
 - ο δίκτυα υποδομών που διαπερνούν δημόσιο και ιδιόκτητο χώρο.



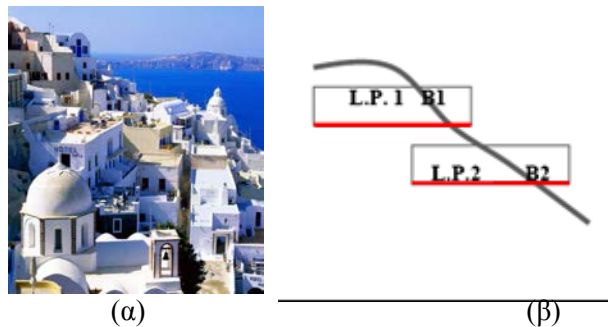
Εικόνα 1.6: (α) ιδιωτικός χώρος στάθμευσης κάτω από δημόσιο χώρο, (β) δημόσια κάμαρα κάτω από ιδιωτική περιουσία(ανώγειο), (γ) ιδιωτική κατασκευή πάνω από εθνικό αυτοκινητόδρομο.

1.5.5.2 Επικαλυπτόμενες ιδιωτικές ιδιοκτησίες

- Σε πολλές νησιωτικές περιοχές με έντονη κλίση του εδάφους (πχ Σαντορίνη, Σύρος), δημιουργούνται επικαλυπτόμενες ιδιοκτησίες οικοπέδων και κατασκευών, εξαιτίας του ανάγλυφου και της γεωλογίας του εδάφους, αλλά και λόγω της ισχύος κανόνων εθνικού δικαίου που αναφέρθηκε

προηγούμενα. Χαρακτηριστικές περιπτώσεις ιδιοκτησιακών πολλαπλών επιπέδων φαίνονται στην εικόνα 1.7.

- Σε έντονα αστικά περιβάλλοντα συναντάται η περίπτωση της πολυεπίπεδης ιδιοκτησίας που απορρέει από ένα κτήριο το οποίο είναι μερικώς κατασκευασμένο πάνω ή επί της γης άλλου δικαιούχου. Βάσει του κανόνα της «οριζόντιας πρόσβασης σε ακίνητο», το αποτέλεσμα μιας κατασκευής πάνω από τα όρια των γεωτεμαχίων είναι οριζόντια κατανομή της ιδιοκτησίας. Το δικαίωμα κτήσης αυτού του μέρους του κτηρίου άνω ή κάτω από άλλη ιδιοκτησία θα μπορούσε να είναι μία δουλεία κτλ.



Εικόνα 1.7:(α) επικαλυπτόμενες ιδιοκτησίες στην Σαντορίνη , (β) οι οριζόντιες προβολές στα γεωτεμάχια 1 και 2 και των κτηρίων 1 και 2 επικαλύπτονται (πηγή: Dimoroulou et al, 2006)

1.5.5.3 Ειδικά ιδιοκτησιακά αντικείμενα

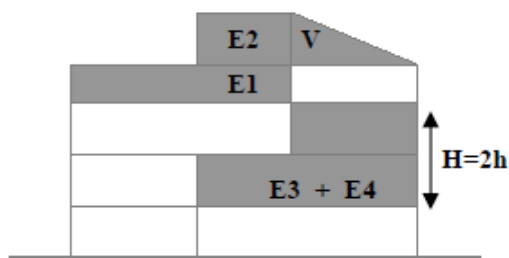
Τα ειδικά ιδιοκτησιακά αντικείμενα είναι οι εξ εθιμικού δικαίου δημιουργούμενες ιδιότυπες σχέσεις χωρικής ιδιοκτησίας, σύμφωνα με τις όποιες ο κύριος επί του εδάφους δεν είναι αναγκαία και κύριος των επί αυτού κτισμάτων, τα οποία συνιστούν αυτοτελή ιδιοκτησιακά αντικείμενα (Ζεντέλης, 2011). Σύμφωνα με τον Ζεντέλη και τις προδιαγραφές από την Κτηματολόγιο Α.Ε. προκειμένου να καταχωριστούν ορθά, κατά την παραλαβή δήλωσης ιδιοκτησίας ειδικού ιδιοκτησιακού αντικειμένου, εκτός από τα απαιτούμενα δικαιολογητικά, θα πρέπει να συλλεχθούν και στοιχεία τα οποία σχετίζονται με την περιγραφή των υποκειμένων ή υπερκειμένων γεωτεμαχίων, καθώς είναι σύνηθες η έκταση του ειδικού ιδιοκτησιακού αντικειμένου να μην ακολουθεί τα όρια του γεωτεμαχίου που είναι υλοποιημένα στην επιφάνεια της γης. Τα αντικείμενα αυτά μπορεί να είναι: α) *Ανώγεια* (κατασκευές πάνω από το επίπεδο του εδάφους που έχουν δικαίωμα ποσοστού επί του εδάφους, κάποιες γεφυρώνουν δρόμους ή μονοπάτια, πολύ σύνηθες στα Ελληνικά Νησιά και τα παραδοσιακά χωριά (εικόνα 1.8(α)), β) *Κατώγεια* (κατασκευές χτισμένες κάτω από το επίπεδο του εδάφους, με δικαίωμα 100% επί του εδάφους), γ) *Υπόσκαφα* (σπίτια με δικαίωμα ποσοστού επί του εδάφους, τα οποία έχουν σκαφτεί ή λαξευτεί μέσα στη γη, σύνηθες σε πολλά ελληνικά νησιά (εικόνα 1.8(β)), δ) *Σύρματα* (τυπικοί παράκτιοι χώροι με δικαίωμα ποσοστού επί του εδάφους, πολύ κοινοί σε νησιά των Κυκλάδων, τα οποία έχουν έναν ειδικό μηχανισμό για να τραβούν τις βάρκες μέσα κατά τη διάρκεια του χειμώνα (εικόνα 1.8(γ)), ε) *Μεταλλεία*, που επεκτείνονται κάτω από την επιφάνεια της γης ε) *Στόες, δεξαμενές, μύλοι, θόλοι*(βυζαντινές κατασκευές που λειτουργούσαν ως μεγάλες αποθήκες), ε) *Πηγάδια* (αποδίδονται σημειακά εντός του γεωτεμαχίου στο οποίο βρίσκονται στον κτηματολογικό χάρτη), στ) *Καμάρες* (κατασκευές που εκτείνονται πάνω από ένα χώρο και στηρίζουν το βάρος άνω της καμάρας).



Εικόνα 1.8: (α) ανώγειο, (β) υπόσκαφα, (γ) σύρματα, (δ) καμάρα

1.5.5.4 «Μη Συμβατική» Εσωτερική Αξιοποίηση Πολυεπίπεδων Κτηρίων

- Σύμφωνα με Δημόπουλου (2006) οι γνωστές «μεζονέτες» των πολυκατοικιών αποτελούν άλλο ένα παράδειγμα ασύμμετρης χρήσης του όγκου των κτηρίων, χωρίς να προβλέπεται αποτύπωση αυτής της διαφοράς. Η διαμόρφωση πολλών εσωτερικών χώρων συχνά υπερβαίνει τη συμβατική αντίληψη περί ορόφων, καταλαμβάνοντας επίπεδα σε περισσότερους ορόφους, δημιουργώντας αίθρια, πατάρια, ή σοφίτες ή όπως οι μονάδες διαμερισμάτων που εκτείνονται σε πολλά επίπεδα (π.χ. μονάδα διαμερίσματος με το κύριο μέρος στο δεύτερο όροφο, με ένα ατομικό χώρο στάθμευσης στο γκαράζ του υπογείου) και μεγάλες πολυκατοικίες (εικόνα 1.9). Όλες αυτές οι ιδιαιτερότητες δεν προβλέπεται να καταγράφονται από το κτηματολογικό μοντέλο, με αποτέλεσμα να χάνεται πολύτιμη πληροφορία, παρόλο που τα ιδιοκτησιακά δικαιώματα διαμερισμάτων απαιτούν πιο λεπτομερή περιγραφή σε 3D.



Εικόνα 1.9: Ασύμμετρη χρήση του όγκου των κτηρίων (πηγή: Dimopoulou et al, 2006)

1.5.6 Διαχείριση της 3D πραγματικότητας από το Ε.Κ.

Είναι φανερό ότι η εφαρμογή ενός τρισδιάστατου κτηματολογικού μοντέλου στην Ελλάδα απαιτεί την επίλυση ορισμένων θεμελιωδών ζητημάτων που διέπουν το λειτουργούν κτηματολογικό σύστημα, τα οποία ενισχύονται με το πέρασμα του χρόνου (Τσιλιάκου και Δημοπούλου, 2011). Ειδικότερα:

1.5.6.1 Κτήρια

- Η χωρική βάση δεδομένων περιέχει την πληροφορία για κτήρια, ωστόσο ούτε τα ίχνη ούτε τα περιγράμματα αυτών εμφανίζονται στον κτηματολογικό χάρτη. Το χωρικό μοντέλο περιλαμβάνει μια επιπλέον οντότητα που σχετίζεται με τα κτήρια, επομένως είναι δυνατή η απεικόνιση των κτηρίων αλλά αυτή η λειτουργία δεν έχει εφαρμοστεί μέχρι στιγμής. Το κύριο μειονέκτημα του ελληνικού κτηματολογικού μοντέλου είναι ότι περιλαμβάνει μόνο την νομική πληροφορία στις ιδιοκτησίες, αποκλείοντας την καθολική απεικόνιση της διανομής των δικαιωμάτων των κατασκευών σε δισδιάστατο επίπεδο. Οι κύριοι λόγοι για την αποφυγή της χωρικής απεικόνισης των κτηρίων είναι:

- ο για την αποφυγή της νομιμοποίησης των αυθαίρετων κατασκευών οποιασδήποτε χρήσης,
- ο η συλλογή της πληροφορίας που σχετίζεται με τα κτήρια είναι αρκετά ακριβή, καθώς πρέπει να γίνει με τοπογραφικές μεθόδους για την επιδιωκόμενη ακρίβεια. Είναι αξιοσημείωτο ότι κατά

την κτηματογράφηση του 2003, συλλέχθηκαν μόνο τα πρόσωπα των κτηρίων σε κάθε οικοδομικό τετράγωνο, ενώ τα όρια τους κλείστηκαν με νοητά πολύγωνα. Αργότερα εγκαταλείφθηκε και αυτή η πρακτική, αφού η πληροφορία που εγγραφόταν ήταν ανεπαρκής και αναληθής.

1.5.6.2 Ειδικά ιδιοκτησιακά αντικείμενα

Τα ειδικά ιδιοκτησιακά αντικείμενα που αναφέρθηκαν παραπάνω, αφορούν μια πληθώρα αντικειμένων τα οποία χαρακτηρίζονται από πολλαπλές και σύνθετες τοπολογικές σχέσεις που εφαρμόζονται ανάμεσα σε διάφορες ιδιοκτησίες και είναι μαζί με τα μεταλλεία, τα μόνα τρισδιάστατα αντικείμενα που διαχειρίζεται το λειτουργούν κτηματολόγιο. Σύμφωνα με το Ε.Κ., δεν αντιμετωπίζονται ως χωρική πληροφορία αλλά ως περιγραφική. Έτσι, κατά την κτηματογράφηση οι ανάδοχοι τοπογράφοι στους οποίους είχε ανατεθεί από το κτηματολόγιο η κτηματογράφηση και συλλογή αυτών των αντικειμένων έπρεπε να περιλάβουν ένα σχεσιακό/τοπολογικό πινάκα στα παραδοτέα της κτηματογράφησης, που θα περιλάμβανε την περιγραφή αυτών των αντικειμένων με λέξεις όπως ‘άνω’ ή ‘κάτω’. Επειδή δεν διατέθηκαν ρητές τεχνικές προδιαγραφές σχετικά με την καταγραφή τους από την Κτηματολόγιο ΑΕ., οι μηχανικοί διαχειρίστηκαν πολλές διαφορετικές μεθόδους για την απόκτηση της απαιτούμενης πληροφορίας που σχετίζεται με αυτά τα αντικείμενα:

- ο Οι περισσότεροι ανάδοχοι παρέδωσαν μονό τον τοπολογικό πίνακα, χωρίς να παραδώσουν χωρική απεικόνιση των αντικειμένων. Σε αυτήν την περίπτωση τα ειδικά ιδιοκτησιακά αντικείμενα περιγράφονται με ένα 12-ψήφιο κτηματολογικό αριθμό (ΚΑΕΚ) ορισμένο από το Ε.Κ, που συνοδεύεται από ένα ειδικό σχόλιο, το οποίο υποδεικνύει τους κτηματολογικούς αριθμούς των άλλων τεμαχίων με τα οποία σχετίζεται,
- ο Μερικοί ανάδοχοι παρέδωσαν τον τοπολογικό πίνακα μαζί με κάποια στοιχειώδη χωρική πληροφορία που σχετίζεται με τα ειδικά ιδιοκτησιακά αντικείμενα. Σε αυτές τις περιπτώσεις οι μηχανικοί συνέλλεξαν την πληροφορία των εισόδων στα αντικείμενα, οι οποίες τελικά αποδόθηκαν σημειακά στον κτηματολογικό χάρτη(μαζί με τον ΚΑΕΚ) σε διαφορετικό θεματικό επίπεδο από τα γεωτεμάχια και αντιστοιχούν σε δουλείες, εισόδους ή πρόσβαση σε ανώγειο, κατώγειο κτλ,
- ο Μερικοί μηχανικοί παρέδωσαν τοπολογικό πίνακα μαζί με χωρική αναπαράσταση, η οποία μπορεί να εντοπιστεί στον κτηματολογικό χάρτη με τη χρήση πολυγώνων (με αντιστοίχιση ΚΑΕΚ) σε διαφορετικό θεματικό επίπεδο από τα γεωτεμάχια. Σε κάποιες από αυτές τις περιπτώσεις ένα τοπογραφικό σχέδιο ή αυτοσχέδιο συνόδευε τα παραδοτέα,
- ο Μερικοί μηχανικοί παρέδωσαν χωρική απεικόνιση (με αντιστοίχιση ΚΑΕΚ) που δεν συνοδευόταν από τον τοπολογικό πίνακα,
- ο Τέλος, αρκετοί μηχανικοί εξήγαγαν την επιθυμητή πληροφορία από τίτλους ιδιοκτησίας και έγγραφα.

Προφανώς οι παραπάνω μέθοδοι είναι ανεπαρκείς για την παρουσίαση των δικαιωμάτων των ειδικών ιδιοκτησιακών αντικειμένων κατά την καθετή συνιστώσα, και μπορούν να προκαλέσουν περαιτέρω σύγχυση στην καταγραφή.

1.5.7 Θεσμικό πλαίσιο της τρίτης διάστασης

Οι νόμοι που περιγράφονται παρακάτω αφορούν την καταγραφή της ιδιωτικής ιδιοκτησίας και παρέχονται από την ελληνική νομοθεσία:

– “superficies solo credit” στο ρωμαϊκό νομό, ότι βρίσκεται πάνω ή κάτω από την επιφάνεια της γης (με την εξαίρεση κάποιων μεταλλείων), ανήκει στον κάτοχο του αντιστοίχου γεωτεμαχίου συνεπώς, η κυριότητα ενός τμήματος γης λογικά περιλαμβάνει όλες τις κατασκευές πάνω σε αυτό (άρθρο 954 C.C.).

Εξαιρέσεις στην αρχή “superficies solo credit” θεσπίζονται από τους παρακάτω νομούς:

– Το Άρθρο 1002 του Αστικού Κώδικα Νόμου 3741 / 1929 «περί ιδιοκτησίας κατ’ορόφους», σύμφωνα με το άρθρο 1 του οποίου, «αναγνωρίζεται η διηρημένη κατ’ορόφους ή μέρη αυτών ιδιοκτησία επί του αυτού οικοδομήματος» που είναι η βάση για την οριζόντια ιδιοκτησία και ο νόμος «περί μεταλλειοκτησίας»

– Το Άρθρο 1010 του Αστικού Κώδικα που αφορά ανοικοδόμηση κατά ένα μέρος σε γειτονικό ακίνητο

– Τα Άρθρα 1118-1141 του Αστικού Κώδικα. Συμφέροντα επί της γης, όπως δουλείες, παρέχουν το πλεονέκτημα της εκμετάλλευσης ενός ξένου τμήματος γης όπως (δικαίωμα διέλευσης, αποχετεύσεις κτλ)

– Το Εθνικό δίκαιο, το οποίο ισχύει σε πολλά νησιά του Αιγαίου, ελέγχει νομικές σχέσεις στα ιδιοκτησιακά αντικείμενα, όπως συνιδιοκτησίες, δικαιώματα φύτευσης, κατασκευών σε ξένο γεωτεμάχιο κτλ. Σε αυτήν την περίπτωση ανήκουν και τα ειδικά ιδιοκτησιακά δικαιώματα.

Κατά τους κανόνες του εθνικού δικαίου των Κυκλάδων ο θεσμός της οριζόντιας ιδιοκτησίας χαρακτηρίζεται από τα εξής στοιχεία(Δημοπούλου, 2010) :

- ο Κάθε ιδιοκτήτης ορόφου ή τμήματος ορόφου είναι αποκλειστικός κύριος του ορόφου του, δηλαδή των ανηγμένων σε αυτόν πρωτοτοιχών, του δαπέδου, της οροφής αυτού και των κοινόχρηστων χώρων του ορόφου του (με 0% ποσοστό κυριότητας επί του γεωτεμαχίου).
- ο Κύριος του ισογείου είναι αποκλειστικός κύριος του οικοπέδου και του υπεδάφους. (100% ποσοστό κυριότητας επί του γεωτεμαχίου).
- ο Κύριος του ανωγείου είναι αποκλειστικός κύριος του «αέρος», εκτός αν ο «αέρας» έχει μεταβιβαστεί σε τρίτον.

Είναι προφανές ότι η ελληνική νομοθεσία περιλαμβάνει αντιφατικούς νομούς για τα ιδιοκτησιακά δικαιώματα, κάτι το οποίο προκαλεί σύγχυση και συνεπώς υπάρχει ανάγκη υλοποίησης αλλαγών και προσαρμογών για την αντιμετώπιση αυτής της κατάστασης. Μια βασική ρύθμιση θα ήταν να καταργηθούν παλαιοί νόμοι όπως το Άρθρο 954(superficies solo credit) του Αστικού Κώδικα, ταυτόχρονα με την επανεξέταση και επαναπροσδιορισμό εκείνων που εφαρμόζονται για να περιλάβουν την περιγραφή τρισδιάστατων αντικειμένων και ιδιοκτησιακών περιπτώσεων. Άλλωστε μετά από μια συγκριτική μελέτη των ερωτηματολογίων άλλων χωρών, φαίνεται ότι οι κύριες ελλείψεις του θεσμικού πλαισίου σχετικά με τα 3D αντικείμενα είναι ότι:

- δεν υπάρχει γενική ή ειδική νομοθεσία (νόμοι ή κανονισμοί) που να ορίζει την 3D περιγραφή των αντικειμένων, έστω και με ένα 2D τρόπο.

- δεν υπάρχει ειδική νομοθεσία που να περιγράφει τις προδιαγραφές για τοπογραφικά σχέδια σε 3D , ειδικά στις περιπτώσεις των ειδικών ιδιοκτησιακών αντικειμένων. Στην περίπτωση του κτηματολογίου Δωδεκανήσου, παρέχονται σχέδια ορόφων ανά όροφο ιδιοκτησίας, πρόσθετα στα κτηματολογικά σχέδια των γεωτεμαχίων, και συνεπώς ξέρουμε σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει σύσταση οριζόντιας ιδιοκτησίας, ποιο τμήμα του 3D αντικείμενου ανήκει σε ποιον και έχουμε έτσι μια πιο σαφή εικόνα της διανομής των δικαιωμάτων στην καθετή συνιστώσα (Παπαευθυμίου, 2003).

2 ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΟ 3D ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ

Όπως αναφέραμε προηγουμένως, την τελευταία δεκαετία η στροφή προς την τρίτη διάσταση είναι εμφανής σε όλους τους τομείς και ιδιαίτερα στις επιστήμες που σχετίζονται με γεωγραφικές πληροφορίες και φυσικά φαινόμενα και έχει μελετηθεί εκτενώς η υλοποίηση ενός τρισδιάστατου κτηματολογικού συστήματος, προκειμένου να αποσαφηνιστούν περιπτώσεις πολύπλοκης αστικής δομής και επικαλυπτόμενων κατασκευών που αναμφισβήτητα χαρακτηρίζονται από τη σύσταση σύνθετων εμπράγματων δικαιωμάτων. Προκειμένου να μελετηθούν σε ένα συνολικό πλαίσιο οι εξελίξεις στο 3D Κτηματολόγιο ή έστω οι βασικές αναφορές στην τρίτη διάσταση των ιδιοκτησιών σε κάθε χώρα, συντάχθηκε ένα ερωτηματολόγιο (αναφορά) με μία λίστα ερωτήσεων που θίγει τεχνικά, νομικά, τοπογραφικά θέματα και όχι μόνο, που πρέπει να ληφθούν υπόψη για την αποδοτική δημιουργία ενός 3D κτηματολογικού συστήματος. Η προκαταρκτική ανάλυση που διεξήχθη από την ομάδα εργασίας για το 3D κτηματολόγιο της μεικτής επιτροπής 3 και 7 του FIG με βάση τα συμπληρωμένα ερωτηματολόγια από όλες τις χώρες, οδήγησε σε ποικίλα συμπεράσματα για την υφιστάμενη κατάσταση του τρισδιάστατου κτηματολογίου διεθνώς, αλλά και για τις μελλοντικές εξελίξεις με ορίζοντα το 2014.

Το πρώτο συμπέρασμα είναι ότι, παρόλη την έρευνα στα τελευταία χρόνια οι έννοιες 3D κτηματολόγιο και 3D τεμάχιο είναι ακόμα ασαφείς, καθώς τα συμπληρωμένα ερωτηματολόγια προσφέρουν εξ αρχής μια επισκόπηση των πολύ διαφορετικών τρόπων με τους οποίους τα συστήματα διαχείρισης γης αντιμετωπίζουν την τρίτη διάσταση των δικαιωμάτων ή περιορισμών και υποχρεώσεων. Παγκοσμίως υπάρχουν μεγάλες διαφορές σε αυτά τα συστήματα, κυρίως ως αποτέλεσμα πολιτισμικών και ιστορικών διαφορών στο υπόβαθρο και αυτές οι διαφορές επηρεάζουν τις οργανωτικές, τεχνικές και νομικές πτυχές του κτηματολογίου.

Παρόλα αυτά, στις περισσότερες δικαιοδοσίες με κάποιες εξαιρέσεις, είναι δυνατή η καταγραφή των τρισδιάστατων τεμαχίων, τα οποία συνήθως περιορίζονται σε μονάδες διαμερισμάτων και βρίσκονται εντός των κατακόρυφων ορίων των αντίστοιχων δισδιάστατων επιφανειακών γεωτεμαχίων, ενώ αντιθέτως η καταγραφή των δικτύων υποδομών δεν αποτελεί πραγματικότητα στις περισσότερες χώρες ή περιορίζεται σε δίκτυα καλωδίων και αγωγών σε ορισμένες περιπτώσεις (π.χ. Ολλανδία). Όσον αφορά στο ζήτημα της καταγραφής των 3D τεμαχίων στην κτηματολογική βάση, δεν υπάρχουν τρισδιάστατα τεμάχια σε καμία κτηματολογική εγγραφή και η περιγραφή του τρισδιάστατου χώρου εντοπίζεται μόνο σε τοπογραφικά σχέδια και κατόψεις (π.χ. σχέδια ορόφων) ή σε νομικά έγγραφα.

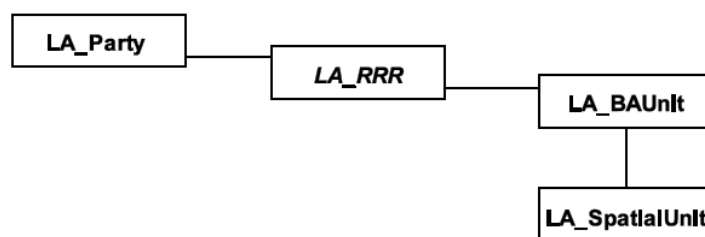
Τελικά, καμία χώρα δεν έχει αναπτύξει ένα ολοκληρωμένο σύστημα τρισδιάστατης καταγραφής και οι εξελίξεις στον τομέα αυτό για το 2014 φαίνεται να είναι πολύ περιορισμένες, ενώ όπως αποδείχτηκε, οι λύσεις για την καταγραφή και την τρισδιάστατη απεικόνιση των δικαιωμάτων ποικίλουν ανά χώρα (πιλοτικά προγράμματα) αλλά και στα διεθνή πρότυπα, όπως θα αναλύσουμε παρακάτω. Τεχνικές για συλλογή 3D δεδομένων, διαχείριση και διανομή θα είναι σύντομα απτές. Το επόμενο βήμα είναι να αξιοποιηθεί βέλτιστα αυτή η πληροφορία προκειμένου να ικανοποιήσει τις αυξανόμενες ανάγκες στον κτηματολογικό τομέα, συνδυάζοντας συγκεκριμένους οργανωτικούς και νομικούς τομείς.

2.1 Η ΤΡΙΤΗ ΔΙΑΣΤΑΣΗ ΣΕ ΔΙΕΘΝΗ ΠΡΟΤΥΠΑ

Τελικά δεν υπάρχει ένας μόνο τρόπος μεταμόρφωσης του 2D κτηματολογίου σε 3D, και οι διαφορετικές αυτές λύσεις που επιστρατεύουν οι διάφορες χώρες εμφανίζονται σε διεθνή πρότυπα και προδιαγραφές, τόσο σε αυτά που είναι σε ισχύ αλλά και σε αυτά που αναπτύσσονται. Από τα πιο σημαντικά είναι το Land Administration Domain Model (LADM), που είναι διεθνώς πιστοποιημένο (ISO 19152) και η Ευρωπαϊκή Οδηγία INSPIRE.

2. 1.1 LAND ADMINISTRATION DOMAIN MODEL

Το συγκεκριμένο μοντέλο γεωγραφικών πληροφοριών (Geographic Information - Land Administration Domain Model -LADM, 2012) αναπτύχθηκε από την Τεχνική Επιτροπή 211 του Διεθνούς Οργανισμού Προτυποποίησης και έγινε αποδεκτό ως πρότυπο ISO την 1^η Νοεμβρίου το 2012. Το LADM είναι ένα περιγραφικό πρότυπο και ο σκοπός του είναι να παρέχει επίσημη γλώσσα για την περιγραφή των συστημάτων διαχείρισης γης. Αναλυτικότερα, παρέχει ένα μοντέλο αναφοράς που εξυπηρετεί δύο σκοπούς. Παρέχει μια επεκτάσιμη βάση για την ανάπτυξη και βελτίωση επαρκών και αποτελεσματικών συστημάτων διαχείρισης γης, που βασίζεται σε Αρχιτεκτονική Βάσει Μοντέλου (Model Driven Architecture), και επιτρέπει στους εμπλεκόμενους φορείς, τόσο μέσα σε μια χώρα όσο και μεταξύ διαφορετικών χωρών, να επικοινωνούν, βάσει ενός κοινού λεξιλογίου που παρέχεται από το μοντέλο. Είναι ένα εννοιολογικό μοντέλο, γραμμένο με συμβολισμούς UML (Unified Modeling Language) και λειτουργεί με βάση τη μεθοδολογία της σειράς προτύπων ISO 1900. Το LADM είναι βασισμένο σε 4 βασικές οντότητες (εικόνα 2.1).



Εικόνα 2.1: Βασικές οντότητες του LADM (πηγή: LADM, 2012)

Είναι οι ακόλουθες:

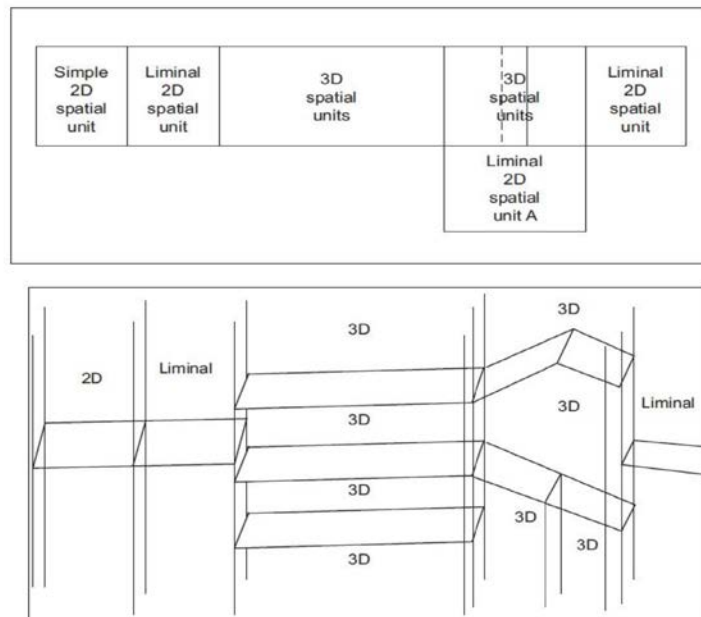
- Class LA_Party. Οι περιπτώσεις αυτής της κλάσης είναι τα συμβαλλόμενα μέρη.
- Class LA_RRR. Περιπτώσεις των LA_RRR υποκλάσεων είναι τα δικαιώματα, περιορισμοί και οι ευθύνες.
- Class LA_BAUnit, όπου οι περιπτώσεις είναι βασικές διοικητικές μονάδες.
- Class LA_SpatialUnit που έχει χωρικές μονάδες σαν περιπτώσεις.

Η πιο σημαντική οντότητα που αφορά 3D καταστάσεις η κλάση LA_SpatialUnit, όπου περιπτώσεις είναι οι χωρικές μονάδες. Η χωρική μονάδα είναι ένας μοναδικός χώρος ή πολλαπλοί χώροι γης ή και νερού, ή ένας μοναδικός όγκος ή πολλαπλοί όγκοι στο χώρο. Η χωρική μονάδα μπορεί να είναι δισδιάστατη (2D), τρισδιάστατη (3D), ή συνδυασμός (2D και 3D) και μπορεί να περιγράφεται με κείμενο (“από αυτό το δέντρο σε αυτό το ποτάμι”), ή να βασίζεται σε ένα μοναδικό σημείο, ή να απεικονίζεται ως ένα σύνολο από αδόμητες γραμμές, ή ως μία επιφάνεια, ή ως ένας 3D όγκος (εικόνα 2.2).

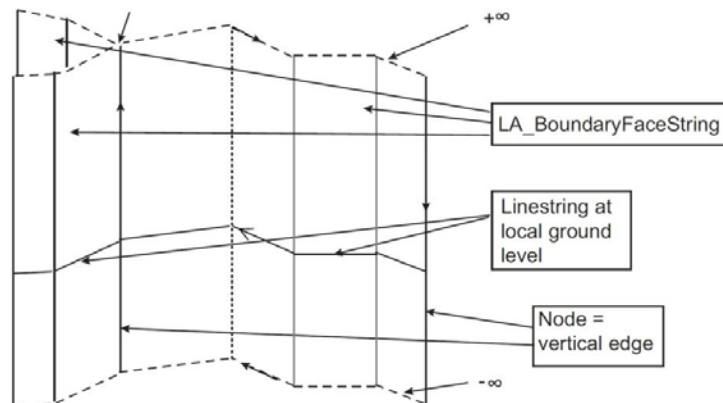
Μια άλλη οντότητα που αφορά το 3D κτηματολόγιο είναι η κλάση `LA_LegalSpaceBuildingUnit`, που προορίζεται για την απεικόνιση νομικών χώρων που αφορούν κτήρια, και είναι μια υποκατηγορία της κλάσης `LA_SpatialUnit`.

Όσον αφορά την απεικόνιση τα 3D τεμάχια μπορούν να παρασταθούν με όγκους χωρίς κάθετα όρια. Σε αυτές τις περιπτώσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι σειρές διαχωριστικής επιφανείας (*boundary face strings*) ως απεικονίσεις ορίων, με τις οποίες μπορούμε να περιγράψουμε πολλαπλά πραγματικά 3D αντικείμενα, όπως για παράδειγμα αντικείμενα με φαρδύτερο άνω μέρος από κάτω μέρος με αυτές τις γραμμές (εικόνα 2.3).

Το LADM περιλαμβάνει επίσης ρυθμίσεις μικτών χωρικών προφίλ (*mixed spatial profile configurations*), όπου μεταξύ αυτών υπάρχει και ένα προφίλ βασισμένο σε 3D τοπολογία. Αυτό το προφίλ περιλαμβάνει καθαρά 3D τοπολογική δομή, ενώ η περίπτωση της τρισδιάστατης χωρικής μονάδας δίνεται σε ενημερωτικό παράρτημα του LADM.



Εικόνα 2.2: Κάτοψη και τομές των συνδυασμένων 2D και 3D απεικονίσεων (πηγή: LADM, 2012)



Εικόνα 2.3: Έννοιες Boundary face string (πηγή: LADM, 2012)

2.1.2 Η οδηγία INSPIRE

Τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης υποχρεούνται να εφαρμόσουν την οδηγία αυτή για τη δημιουργία Υποδομής γεω-χωρικών πληροφοριών στην Ευρωπαϊκή Κοινότητα (INSPIRE, 2007). Σύμφωνα με το άρθρο 7 της οδηγίας, πρέπει να θεσπιστεί η εφαρμογή των κανόνων που διέπουν τις τεχνικές ρυθμίσεις για τη διαλειτουργικότητα και, εφόσον είναι εφικτό, την εναρμόνιση των συνόλων

και υπηρεσιών χωρικών δεδομένων, τα οποία έχουν ως αντικείμενο την τροποποίηση μη ουσιωδών στοιχείων της παρούσας οδηγίας με τη συμπλήρωσή της. Τα διεθνή πρότυπα, που είναι υπέρ της εναρμόνισης των συνόλων χωρικών δεδομένων, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την ανάπτυξη της εφαρμογής των κανόνων. Επιπλέον, σε οργανισμούς που έχουν συσταθεί βάσει του διεθνούς δικαίου και έχουν υιοθετήσει συναφή πρότυπα προκειμένου να εξασφαλίσουν διαλειτουργικότητα ή εναρμόνιση των συνόλων και υπηρεσιών χωρικών δεδομένων, πρέπει να ενσωματώνονται τα πρότυπα αυτά, και τα υφιστάμενα τεχνικά μέσα πρέπει να αναφέρονται, εάν είναι σκόπιμο, στις εκτελεστικές διατάξεις που αναφέρονται στην παρούσα παράγραφο.

Σύμφωνα με την οδηγία αυτή τα κράτη μέλη υποχρεούνται να προετοιμάζουν και να δημοσιεύουν Σύνολα Χωρικών Δεδομένων απαριθμημένα στα παραρτήματα της οδηγίας. Υπάρχουν έννοιες δεδομένων "γεωτεμαχίων" και "Κτηρίων", συν τις άλλους σε αυτά. Η INSPIRE Προδιαγραφή Δεδομένων για Κτηματολογικά Γεωτεμάχια (INSPIRE, 2009), έχει ήδη συνταχθεί και δημοσιευθεί.

Οι όροι που χρησιμοποιούνται έχουν ως εξής:

2D δεδομένα – η γεωμετρία των χαρακτηριστικών παριστάνεται σε ένα δισδιάστατο χώρο - (X, Y) συντεταγμένες.

2.5D δεδομένα -η γεωμετρία των χαρακτηριστικών παριστάνεται σε ένα τρισδιάστατο χώρο με τον περιορισμό ότι, για κάθε (X, Y) θέση, υπάρχει μόνο ένα Z.

3D δεδομένα – η γεωμετρία των χαρακτηριστικών παριστάνεται σε ένα τρισδιάστατο χώρο - η γεωμετρία των 2D δεδομένων δίνεται χρησιμοποιώντας (X, Y, Z) συντεταγμένες χωρίς περιορισμούς.

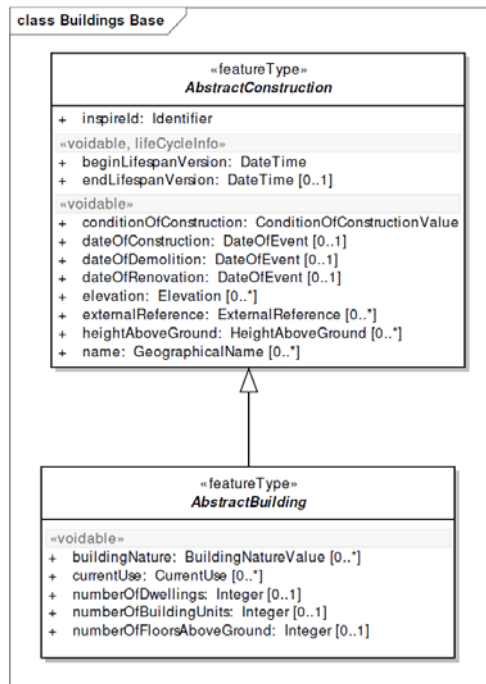
Η INSPIRE Προδιαγραφή Δεδομένων για Κτηματολογικά Γεωτεμάχια δεν έχει λάβει τις εναρμονισμένες λύσεις για 3D κτηματολογικά αντικείμενα, ωστόσο αναφέρονται ορισμένες περιπτώσεις χρήσης που αφορούν 2.5D ή 3D γεωτεμάχια στον ανακεφαλαιωτικό πίνακα ελέγχου των προδιαγραφών δεδομένων κτηματολογικών τεμαχίων.

Σύμφωνα με τον κατάλογο αυτό, υπάρχει ενδιαφέρον σε 2.5D κτηματολογικά τεμάχια και πιθανές απαιτήσεις για 3D γεωτεμάχια στο μέλλον. Επιπλέον, μερικοί χρήστες έχουν εκφράσει την ανάγκη (στο μέλλον) συνδυασμού κτηματολογικών τεμαχίων με τρισδιάστατα δεδομένα όπως Ψηφιακό μοντέλο Εδάφους (DTM) ή κτήρια.

Η Προδιαγραφή Δεδομένων Κτηματολογικών Γεωτεμαχίων δεν περιλαμβάνει την έννοια των 3D κτηματολογικών δεδομένων, τα οποία όμως σχετίζονται με κτήρια ή δίκτυα υποδομών, συνεπώς η οδηγία INSPIRE είναι απαραίτητο να λαμβάνει υπόψη υφιστάμενα πρότυπα (άρθρο 7 της οδηγίας). Επίσης οι εργασίες στην Προδιαγραφή Δεδομένων INSPIRE για τα Κτήρια είναι ακόμα υπό εξέλιξη σύμφωνα με την τελευταία δημοσίευση αυτής της προδιαγραφής. Τα μοντέλα δεδομένων που εφαρμόζονται σε αυτή την προδιαγραφή προσφέρουν μια ευέλικτη προσέγγιση που επιτρέπει πολλαπλές αναπαραστάσεις των κτηρίων και άλλων κατασκευών, από το σύνολο των τεσσάρων προφίλ με διαφορετικά επίπεδα λεπτομερειών στη γεωμετρία και τη σημασιολογία.

Τα βασικά προφίλ περιέχουν τους τύπους χαρακτηριστικών (feature types) "Building" και "Building part" και ένα περιορισμένο σύνολο χαρακτηριστικών, κυρίως σχετιζόμενο με τη χρονική διάσταση (ημερομηνία κατασκευής, ανακαίνισης και κατεδάφισης), με φυσικές πληροφορίες (ύψος, αριθμός οροφών, υψόμετρο) και την ταξινόμηση των κτηρίων ανάλογα με την φυσική τους όψη και την τρέχουσα χρήση. Η INSPIRE κλάση *Building Base* απεικονίζεται με την εφαρμογή του τύπου χαρακτηριστικών (feature types) *AbstractConstruction* και *AbstractBuilding* (εικόνα 2.4). Το *AbstractBuilding* είναι ένας αφηρημένος τύπος χαρακτηριστικού (abstract feature type) που ομαδοποιεί τις κοινές ιδιότητες των τύπων *Building* και *BuildingPart*, που είναι παρόντες και σε άλλα σχήματα εφαρμογής. Το *AbstractConstruction* είναι ένας άλλος αφηρημένος τύπος χαρακτηριστικού που ομαδοποιεί τις σημασιολογικές ιδιότητες των κτηρίων και των μερών των κτηρίων, των οποίων τα βασικά χαρακτηριστικά είναι άλλες κατασκευές, κτηριακές μονάδες, δώματα, εγκαταστάσεις, συνοριακές επιφάνειες και υφές.

Τελικά τα βασικά σημεία που αφορούν το 3D κτηματολόγιο στο πρότυπο Land Administration Domain Model και την οδηγία INSPIRE είναι δύο. Το πρώτο είναι ο σύνδεσμος μεταξύ LA_SpatialUnit (γνωστό και ως LA_Parcel) από το LADM και το CadastralParcel από το INSPIRE. Η ομάδα INSPIRE Cadastral Parcel και η ομάδα ανάπτυξης του LADM συνεργάστηκαν κατά τη διάρκεια των εργασιών του, προκειμένου το LA_Parcel να είναι βάση για το CadastralParcel, κάτι το οποίο δεν είναι ιδιαίτερα πολύπλοκο στις δύο διαστάσεις, ενώ σε 3D, δεν είναι πλήρως εφικτό αφού η οδηγία INSPIRE έχει σοβαρούς περιορισμούς στις τρεις διαστάσεις. Ωστόσο, στο μέλλον δεν αποκλείονται εντελώς από την οδηγία τα 2.5D ή 3D κτηματολογικά τεμάχια, καθώς αναφέρεται ότι μπορεί να είναι χρήσιμα με κάποιους τρόπους.



Εικόνα 2.4: **AbstractConstruction** και **AbstractBuilding** τύποι χαρακτηριστικών (πηγή: INSPIRE, 2012)

Το δεύτερο σημείο αφορά τα κτήρια. Τόσο το LADM όσο και η οδηγία INSPIRE αναφέρουν τα κτήρια ως 3D αντικείμενα. Το *LA_LegalSpaceBuildingUnit* είναι μια υποκλάση του *LA_SpatialUnit* στο LADM, ενώ η κλάση *Building Base* είναι μια ξεχωριστή κλάση στην προδιαγραφή δεδομένων INSPIRE για τα κτήρια. Αφού και οι δύο κλάσεις αφορούν κτήρια, τα περισσότερα από τα δεδομένα που συλλέγονται για κτήρια, μπορούν να καταγραφούν είτε μέσω LADM είτε μέσω INSPIRE. Επιπλέον, οι INSPIRE και LADM κλάσεις έχουν χρονική πληροφορία. Στο LADM γίνεται μέσω ιστορικού εκδόσεων, ενώ στην οδηγία INSPIRE μέσω χαρακτηριστικών όπως *dateOfConstruction* ή *dateOfDemolition* (ημερομηνία κατασκευής, κατεδάφισης). Άλλες ιδιότητες τόσο των INSPIRE όσο και των LADM κλάσεων στα κτήρια αφορούν στη φυσική περιγραφή του κτηρίου, επομένως είναι συχνά παρόμοιες ή οι ίδιες. Η βασική διάφορα μεταξύ LADM και INSPIRE κλάσεων είναι ότι το LADM περιγράφει τον νομικό χώρο του κτηρίου, ενώ το INSPIRE αφορά το καθαυτό φυσικό αντικείμενο. Αυτοί οι χώροι συχνά δεν είναι ταυτόσημοι.

Παρακάτω θα μελετήσουμε κάποια πιλοτικά προγράμματα και περιπτώσεις μελέτης από διάφορες χώρες που εστίασαν την προσοχή τους στην τρισδιάστατη απεικόνιση (συνήθως με τη χρήση προτύπων) και τη βέλτιστη αναπαράσταση των 3D αντικειμένων, προκειμένου να αποσαφηνιστεί η έκταση των δικαιωμάτων κατά την κάθετη συνιστώσα στο σύνθετο αστικό περιβάλλον.

2.2 ΠΡΩΤΟΤΥΠΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗ ΔΙΕΘΝΗ ΕΜΠΕΙΡΙΑ

2.2.1 Το Ισπανικό Κτηματολόγιο

Το ισπανικό κτηματολόγιο αποτελεί ίσως τον πρωτεργάτη στην τρισδιάστατη αναπαράσταση των δικαιωμάτων και έχει προσεγγίσει επαρκώς τον χαρακτήρα του 3D κτηματολογίου.

Στο ισπανικό κτηματολόγιο διακρίνονται δύο βασικά είδη ακινήτων, τα αστικά και τα αγροτικά ακίνητα και τα κτήρια οικοδομούνται από επιμέρους τεμάχια (sub parcels), ενώ ο δισδιάστατος κτηματολογικός χάρτης περιέχει την ογκομετρική πληροφορία των κτηρίων μέσω του αριθμού των εγκαταστάσεων με λατινικούς αριθμούς.

Το κτηματολογικό τεμάχιο αποτελεί το κύριο θεματικό επίπεδο του κτηματολογικού μοντέλου δεδομένων και περιέχει εγκαταστάσεις (“recintos”) με τοπολογία πολυγώνου και 2D γεωμετρία, ενώ υπάρχει και ένα ανεξάρτητο επίπεδο τοπολογίας που ονομάζεται “CONSTRU”, το οποίο υπηρετεί ως βάση για χρήση στην τρισδιάστατη απεικόνιση. Επιπλέον στην κτηματολογική υπηρεσία WMS έχουν οριστεί δύο νέα επίπεδα, παρέχοντας με αυτόν τον τρόπο δύο διαφορετικές λύσεις 3D μοντελοποίησης: η μία λύση κάνει χρήση της σκίασης για να τονίσει την όψη των κτηρίων, ενώ η άλλη είναι η απεικόνιση σε προοπτική Cavalier κάθε κατασκευαστικού στοιχείου των εγκαταστάσεων. Αυτές οι δύο λύσεις είναι αρκετά καινοτόμες συνεισφορές στις υπηρεσίες WMS και επιτρέπουν αποτελεσματικά την ενίσχυση των τρισδιάστατων συστατικών και την ενσωμάτωση τους στην υπόλοιπη πληροφορία που ήδη υποστηρίζει την υπηρεσία.

2.2.1.1 Επίπεδο CONSTRU3D

Αυτό το επίπεδο επιτρέπει την εναρμόνιση με τα υπόλοιπα επίπεδα της κτηματολογικής υπηρεσίας WMS. Η πληροφορία έναρξης είναι η γεωμετρία του επιπέδου “CONSTRU”. Αρχικά επιλέγονται τα επιμέρους τεμάχια που έχουν σαν ογκομετρικές ιδιότητες τον αριθμό των ορόφων πάνω από την επιφάνεια της γης, στα οποία αποδίδεται το εφέ σκίασης. Η σκίαση επιτυγχάνεται κάνοντας μια μετάβαση από τη γεωμετρία αυτών των τεμαχίων στη νοτιοανατολική διεύθυνση και συμβολίζονται με ημιδιαφανείς γκρι όγκους, για να μην κρύβουν την υπόλοιπη περιεχόμενη πληροφορία στον χάρτη. Στη συνέχεια σχεδιάζεται όλο το επίπεδο CONSTRU με το δικό του συμβολισμό και το τελικό αποτέλεσμα είναι μια εικόνα στην οποία όλες οι κατασκευές που είναι πάνω από το ισόγειο δίνουν μια σκιά, σαν να υπήρχε πηγή φωτός από τα βορειοδυτικά. Με αυτό το απλό οπτικό εφέ δημιουργείται η εντύπωση του ανάγλυφου (εικόνα 2.5)



Εικόνα 2.5: WMS υπηρεσία της SDGC με επίπεδα: κτηματολόγιο και κτηματολόγιο+constru3D (πηγή: García et al, 2011)

2.2.1.2 Επίπεδο κτηρίων “EDIFICIOS”

Το θεματικό επίπεδο των κτηρίων απεικονίζει μόνο τα στοιχεία του επιπέδου CONSTRU και με αυτά τα δεδομένα παράγεται μια εικόνα του επιπέδου CONSTRU σε προοπτική Cavalier, ανά τεμάχιο, λαμβάνοντας υπόψην κάθε φορά το ύψος στις εγκαταστάσεις. Ο αλγόριθμος απεικόνισης αυτή της

προοπτικής Cavalier σχεδιάζει κάθε τεμάχιο στην πραγματική του θέση, ορίζοντας τη βάση κατασκευής με ένα ημιδιαφανές γέμισμα σε κόκκινο χρώμα, ενώ το ύψος της κατασκευής προκύπτει από τον πίνακα ιδιοτήτων στο σύστημα, με μία λειτουργία μεταμόρφωσης του κειμένου από λατινικούς αριθμούς σε ακεραίους. Τα τρισδιάστατα παραλληλεπίπεδα που προκύπτουν στη διεύθυνση Βορρά- Νότου είναι ημιδιαφανή σε κόκκινο χρώμα και το γέμισμα στις επιμέρους εγκαταστάσεις σε πιο σκούρο κόκκινο, παράγοντας έτσι ένα αισθητικό εφέ με μεγαλύτερη αίσθηση βάθους. Η χρήση αυτού του επιπέδου στην υπηρεσία αυτή καθώς και η δημιουργία μιας νέας αισθητικής στον κτηματολογικό χάρτη, παρέχει μια καλύτερη κατανόηση του αστικού μοτίβου και τη διαμόρφωση των κτηρίων και των κατασκευών, διαφοροποιώντας τα σαφώς από τα ύψη τους.

2.2.1.3 Κτηματολογικός χάρτης

Μία άλλη λύση τρισδιάστατης απεικόνισης έχει αναπτυχθεί από την γενική διεύθυνση του ισπανικού Κτηματολογίου (SDGC), η οποία έχει υλοποιήσει 3D μοντελοποίηση ανά τεμάχιο σε KML, σε πραγματικό χρόνο βάσει της διανυσματικής πληροφορίας της γεωμετρίας των αντικειμένων.

Με βάση την παραπάνω διαδικασία προκύπτουν δύο μοντέλα: 1) το πρώτο προκύπτει με εξώθηση πάνω στον κτηματολογικό χάρτη, βάση της "z" συνιστώσας στον πίνακα ιδιοτήτων, 2) το δεύτερο βασίζεται στη δημιουργία μοντέλων ανεξάρτητων μονάδων με χρήση της διανυσματικής πληροφορίας των εγκαταστάσεων στο κτηματολογικό σχέδιο, που είναι σε μορφή FXCC. Το αρχείο FXCC είναι ουσιαστικά μια γραφική απεικόνιση των ιδιοκτησιών που συνιστούν ένα αστικό ακίνητο, στο οποίο απεικονίζονται οι διαφορετικοί όροφοι και οι εσωτερικοί χώροι, ενώ περιλαμβάνει επιπρόσθετα μια ψηφιακή φωτογραφία του κτηρίου.



Εικόνα 2.6: Κτήρια σε προοπτική Cavalier και Κτήρια + Κτηματολογικός χάρτης (πηγή: García et al, 2011)



Εικόνα 2.7: Υπέρθυση της WMS υπηρεσίας του κτηματολογίου με τον ορθοφωτοχάρτη (πηγή: García et al, 2011)

2.2.1.3.1 Γενικό 3D Μοντέλο Ορόφων

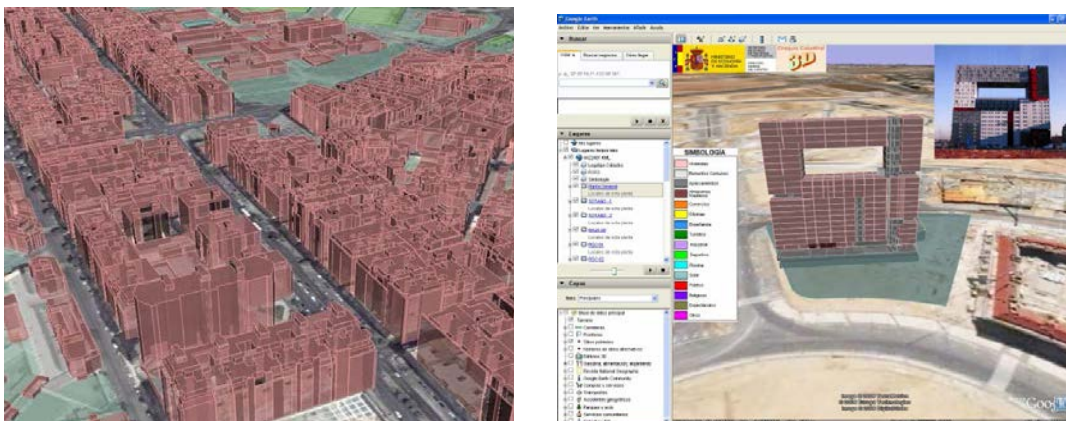
Για τη δημιουργία αυτού του μοντέλου χρησιμοποιείται ο κτηματολογικός χάρτης για κάθε τεμάχιο, καθώς και τα επίπεδα ‘CONSTRU και ‘PARCELA’. Η ογκομετρική ιδιότητα των κτηρίων μετατρέπεται στον αριθμό των ορόφων μέσω μιας μαθηματικής λειτουργίας και προκύπτει το τρισδιάστατο μοντέλο για κάθε επιμέρους τεμάχιο του βασικού τεμαχίου με εξώθηση από τον αριθμό των ορόφων πολλαπλασιασμένο επί 3 (το μέσο ύψος κάθε ορόφου). Το τελικό KML που προκύπτει καθώς και το 3D μοντέλο των κατασκευών, προσθέτει την γεωμετρία και το κείμενο για τη διεύθυνση, καθώς και ένα σύνδεσμο με μια κτηματολογική αναφορά που περιέχει όλα τα ελεύθερα δεδομένα του τεμαχίου μέσω της ηλεκτρονικής διεύθυνσης του Ισπανικού κτηματολογίου.

2.2.1.3.2 3D Μοντέλο Ορόφων

Για τη δημιουργία αυτού του τρισδιάστατου μοντέλου, χρησιμοποιείται η γεωμετρία σε διανυσματική μορφή από το κτηματολογικό σχέδιο σε FXCC, η οποία αποθηκεύεται στη βάση δεδομένων, ανά τεμάχιο, ξεχωριστά και έχει γεωαναφορά. Το FXCC αρχείο περιέχει πληροφορία σε DXF για κάθε όροφο του κτηρίου με την διανομή των εγκαταστάσεων, ενώ τα όρια των εγκαταστάσεων μπορούν να απεικονιστούν γεωμετρικά σε τρεις διαστάσεις μέσα στο κτήριο και τα 3D μοντέλα που προκύπτουν αποτελούνται από: το έδαφος (οριζόντια 2D γεωμετρία), τους τοίχους (ως ορθογώνια κάθετα επίπεδα των τριών μέτρων σε ύψος για κάθε ζεύγος συντεταγμένων) και την οροφή. Τελικά, η κατασκευή ενός κτηρίου ανά στοιχείο, μονάδα ανά μονάδα απεικονίζεται τρισδιάστατα, εφαρμόζοντας σε καθεμιά ένα χρώμα αναλόγως τη χρήση του. Έχει επιλεγεί KML για τη θέαση των κτηρίων στο κτηματολόγιο, που επιτρέπει τη θέαση κάθε εγκατάστασης ξεχωριστά, σε 3D πλοήγηση μέσω Google Earth.



Εικόνα 2.8: 3D μοντελοποίηση ενός τεμαχίου. Με εξώθηση γενικά ή για κάθε όροφο (πηγή: García et al, 2011)



Εικόνα 2.9: Αριστερά: 3D μοντέλο γενικών ορόφων, δεξιά: απεικόνιση του αρχείου KML σε Google Earth (πηγή: García et al, 2011)

2.2.2 Το Πολυστρωματικό 3D κτηματολόγιο στο Ισραήλ

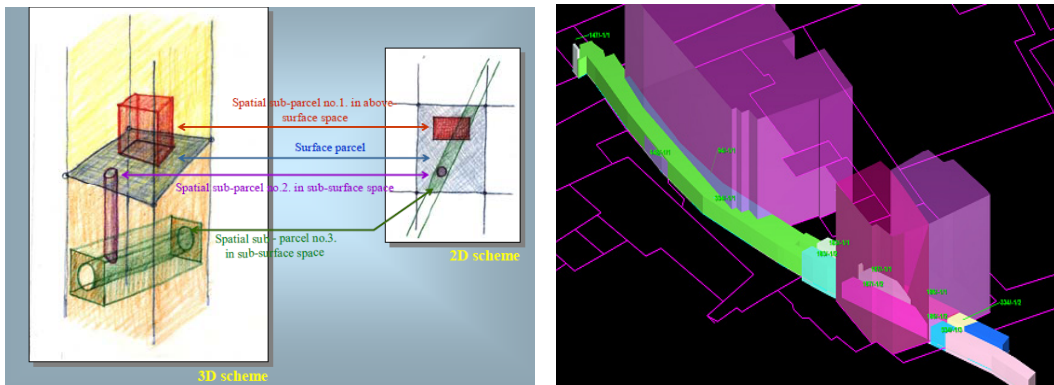
Η Ισραηλινή κυβέρνηση αποφάσισε το 2000 να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα των χρήσεων γης, συμπεριλαμβανομένων υπογείων χώρων και ενσωματώνοντας υποδομές και ποικίλες εφαρμογές σε ένα ενιαίο σύστημα, ενώ για την προώθηση της πολυστρωματικής χρήσης της γης και της κτηματολογικής καταγραφής στις τρεις διαστάσεις, ξεκίνησε μια εργασία R&D για την εφαρμογή ενός πολυστρωματικού 3D κτηματολογίου που υλοποιήθηκε από μια ομάδα έξι εμπειρογνομόνων από διάφορες ειδικότητες. Μία από τις εργασίες του έργου R&D για το 3D κτηματολόγιο ήταν η ανάπτυξη ενός ενεργού, ψηφιακού πρωτοτύπου για την καταγραφή των δικαιωμάτων στο χώρο σε ΣΓΠ περιβάλλον.

Το έργο ολοκληρώθηκε επιτυχώς τον Αύγουστο του 2004. Οι κύριοι στόχοι του έργου ήταν η εύρεση γεωδαιτικών, κτηματολογικών, σχεδιαστικών, μηχανικών και νομικών λύσεων για την χρήση των άνω και κάτω από την επιφάνεια της γης χώρων, προκειμένου να προσδιοριστούν επαρκώς τα χαρακτηριστικά του αναλυτικού, τρισδιάστατου και πολυστρωματικού κτηματολογίου που θα συμπλήρωνε το μέχρι τότε δισδιάστατο κτηματολόγιο.

Το τότε κτηματολόγιο και ο νομός περί γαιών (1969) δεν παρείχαν λύση για πολυστρωματικές δραστηριότητες που σχετίζονται με τα γεωτεμάχια (Benhamu και Doytsher, 2001). Το κτηματολογικό σύστημα βασιζόταν σε έγγραφες τίτλων σε 2D, που αναφέρονταν μόνο σε επιφανειακές ιδιοκτησίες. Στο νομικό καθεστώς, το δικαίωμα κτήσης σε ένα γεωτεμάχιο επεκτεινόταν από το κέντρο της γης στον ουρανό, εκτός από συγκεκριμένους νόμους (για υδάτινους πόρους, μεταλλεύματα κτλ). Όσον αφορά τις υπόγειες κατασκευές σε πολλές περιπτώσεις, η καταγραφή γινόταν με τη χρήση δουλείας προς όφελος του κράτους. Αυτή η διαδικασία συχνά περιλάμβανε νομικές πράξεις απαλλοτρίωσης και την καταβολή αποζημίωσης, ενώ η δουλεία καταχωρείτο μετά από τις νομικές διαδικασίες και πριν από την ολοκλήρωση της κατασκευής. Συνεπώς, δεν προσδιοριζόταν η 3D πληροφορία και σε πολλές περιπτώσεις εξείλειπαν οι πραγματικές λεπτομέρειες των τρισδιάστατων αντικειμένων.

Οι κυρίες εργασίες στη διαδικασία του ορισμού και της θέσπισης του 3D κτηματολογίου σύμφωνα με το σχεδιασμό του έργου ήταν: Η ανάπτυξη τρισδιάστατων μοντέλων της επιφάνειας και της πραγματικότητας του υπεδάφους όσον αφορά στο κτηματολόγιο, ο ορισμός των χωρικών υπογείων τεμαχίων που αφορούν τα φυσικά αντικείμενα στον υπόγειο χώρο, η συγχώνευση των χωρικών υπογείων τεμαχίων προκειμένου να παράγουν ένα χωρικό τεμάχιο και η παράγωγη ενός χωροταξικού σχεδίου καταγραφής.

Οι δραστηριότητες στον υπόγειο και στον υπέργειο χώρο έγιναν δυνατές μέσω μιας κατανομής ή απαλλοτρίωσης συγκεκριμένων τμημάτων στο χώρο που περιέχεται μεταξύ των κάθετων ορίων του γεωτεμαχίου επιφάνειας (Shoshani et al., 2004), ενώ η χωρική καταγραφή επιτεύχθηκε με την υποδιαίρεση του χώρου του επιφανειακού γεωτεμαχίου σε χωρικά υπό-τεμάχια (εικόνα 2.10). Οι εφαρμογές στο πρωτότυπο περιλάμβαναν συν τοις άλλοις: την παράγωγη αλφαριθμητικών πληροφοριών που αναφέρονται στο επιφανειακό τεμάχιο, στο χωρικό υπό-τεμάχιο και στο σύνολο εγγραφών αλλά και μια δισδιάστατη και τρισδιάστατη απεικόνιση όλων των χωρικών υποτεμαχίων που υπάρχουν μέσα στο χώρο αναφερόμενα σε ένα επιφανειακό γεωτεμάχιο, και μια γραφική απεικόνιση των αρχικών επιφανειακών γεωτεμαχίων όπως στις εικόνες 2.11, 2.12, όπου γίνεται φανερό ότι η ικανότητα απεικόνισης 3D χαρακτηριστικών των ιδιοκτησιών εξασφαλίζει έναν καλύτερο ορισμό της νομικής κατάστασης των ιδιοκτησιών μέσα στην πολυεπίπεδη πραγματικότητα.



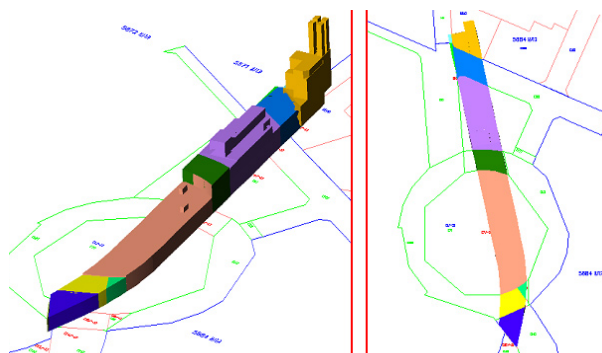
Εικόνα 2.10: Αριστερά: Διαίρεση του χώρου σε υπό-τεμάχια, Δεξιά: τα γεωτεμάχια που αφορούν το χώρο στάθμευσης και ένα 3D μοντέλο του κτηρίου και του υπογείου χώρου στάθμευσης (πηγή: Mr. Ronen Grinstein)

Ο ορισμός του γεωτεμαχίου επιφανείας παρέμεινε αμετάβλητος, αλλά κάθε έργο που εγκαθίσταται σε ένα από τα χωρικά υπό-τεμάχια (πάνω ή κάτω από την επιφάνεια της γης) οριοθετείται και προσδιορίζεται στερεομετρικά από ένα τελικό 3D περίγραμμα και τον όγκο του. Τα χωρικά υπό-τεμάχια περιλαμβάνονται μέσα σε σύνολο καταγραφών ως μέρος του αντίστοιχου επιφανειακού γεωτεμαχίου, ενώ σημειώνονται και στο Μητρώο Τίτλων, που περιλαμβάνει το σαφή 3D ορισμό τους. Στην περίπτωση της συγχώνευσης πολλών χωρικών υπό-τεμαχίων σε ένα, αυτό καταχωρείται ξεχωριστά στα Μητρώα και στους Κτηματολογικούς πίνακες.

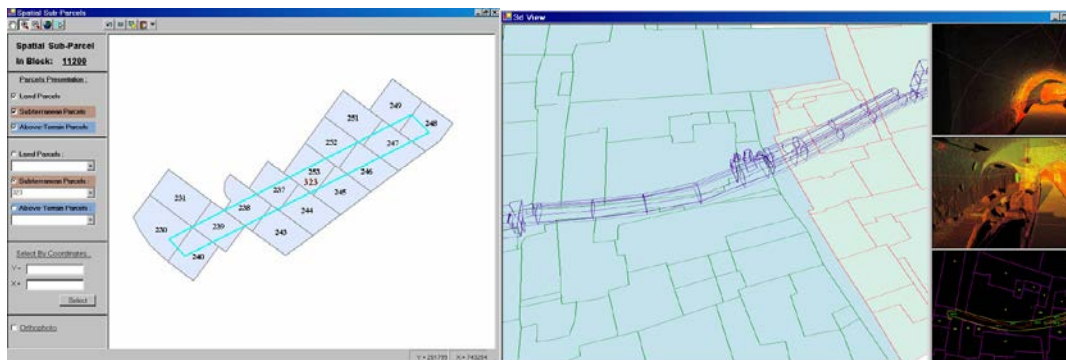
2.2.2.1 Διαχείριση χωρικής πληροφορίας

Η Ισραηλινή κυβέρνηση εξέτασε τέσσερα μοντέλα για τη διαχείριση και την οργάνωση 3D και πολυεπίπεδων πληροφοριών: α) το Μοντέλο δεδομένων θεματικών επιπέδων (Layer Data Model), β) το Μοντέλο πολυεπίπεδων δεδομένων (Multilayer Data Model), γ) την Αντικειμενοστραφή Βάση δεδομένων (Object Oriented Database) και δ) το Ενιαίο μοντέλο δεδομένων (Integrated Data Model) και τελικά επιλέχθηκε το τελευταίο, εφόσον επιτρέπει τη διατήρηση του κτηματολογικού επιπέδου επιφανείας και επίσης είναι κατάλληλο για την πολυεπίπεδη πραγματικότητα.

Συγκεκριμένα στο μοντέλο αυτό η βάση δεδομένων περιλαμβάνει μόνο ένα επιφανειακό κτηματολογικό επίπεδο (3D), με γεωχωρικά αντικείμενα που ορίζονται ως αντικείμενα που συνδέονται με το επίπεδο επιφάνειας, ενώ η πληροφορία της επιφάνειας οργανώνεται σε επίπεδα και η πολυεπίπεδη πληροφορία οργανώνεται σε επίπεδο αντικειμένου. Επιπλέον, υπάρχουν καθορισμένοι δείκτες για κάθε επιφανειακό γεωτεμάχιο, οι οποίοι υποδεικνύουν τα πολυεπίπεδα αντικείμενα που σχετίζονται ή συνδέονται με το γεωτεμάχιο επιφάνειας κάτι το οποίο αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα στη διαχείριση των 3D πληροφοριών.



Εικόνα 2.11: 3D και 2D απεικόνιση του χωρικού γεωτεμαχίου και των χωρικών υποτεμαχίων στο φόντο των υφιστάμενων γεωτεμαχίων του σιδηροδρομικού σταθμού στο κέντρο της πόλης Modi'in (πηγή: Mr. Ronen Grinstein)



Εικόνα 2.12: Τα αρχικά επιφανειακά γεωτεμάχια που σχετίζονται με το χωρικό τεμάχιο (πηγή: Benhamu, 2004)

2.2.3 Το Πιλοτικό 3D Κτηματολόγιο στη Ρωσική Ομοσπονδία

Το τρέχον κτηματολογικό σύστημα στη Ρωσική Ομοσπονδία βασίζεται σε δισδιάστατα πολύγωνα, σύμφωνα με την ορολογία του LADM, ενώ η βάση δεδομένων περιέχει το ιστορικό του γεωτεμαχίου από τη δημιουργία του. Το Ρωσικό Κτηματολόγιο καταγράφει περὶ των γεωτεμαχίων, κτήρια, μονάδες διαμερισμάτων, άλλες κατασκευές (γέφυρες, σωλήνες κτλ) και αντικείμενα υπό κατασκευή όπως κτήρια, γέφυρες κτλ. Η Ρωσική Ομοσπονδία έχει τα τελευταία χρόνια μια έντονη τάση προς το 3D κτηματολόγιο για καλύτερη καταγραφή των σύνθετων κατασκευών και των υπογείων υποδομών, ωστόσο ο κτηματολογικός νόμος είναι αρκετά γενικός όσον αφορά τις τρισδιάστατες ιδιοκτησίες, καθώς δεν αναφέρει ρητά 3D καταστάσεις ούτε απαγορεύει όμως ογκομετρικά τρισδιάστατα γεωτεμάχια για καταγραφή.

Μετά την ολοκλήρωση της σχεδίασης του τρισδιάστατου κτηματολογικού μοντέλου το 2011, το έργο είναι πλέον στη φάση έλεγχου του σχεδιασμού με έναν πιλότο που βασίζεται στο πρωτότυπο σύστημα. Το αρχικό πρωτότυπο δίνει έμφαση στην απεικόνιση της 3D πληροφορίας των κτηματολογικών αντικειμένων, ενώ έχει αναπτυχθεί μια λύση βασισμένη σε περιηγητή στο διαδίκτυο. Το πρωτότυπο σχεδιάστηκε για να βελτιώσει ουσιαστικά την εμπειρία του χρήστη μέσω απεικόνισης και διανομής και δεν υποστηρίζει άλλες λειτουργίες όπως εγγραφή, επικύρωση και διαχείριση δεδομένων. Η σχεδίαση του 3D κτηματολογικού μοντέλου βασίζεται στο LADM, ενώ η 3D καταγραφή βασίζεται σε δύο τύπους αντικειμένων: α) 3D πολυέδρο (επίπεδες επιφάνειες), β) 3D πολυκαμπύλη (multicurve) (καμπύλες επιφάνειες γύρω από σωλήνες). Τα τρισδιάστατα ογκομετρικά γεωτεμάχια έχουν τη δική τους γεωμετρία, όμοια με την υφιστάμενη 2D βάση δεδομένων (δηλαδή μέσω πολυγώνων). Οι εμπειρίες από τον πιλότο θα χρησιμοποιηθούν για να προετοιμάσουν τις οδηγίες για τη μελλοντική 3D καταγραφή τόσο των νομικών πτυχών όσο και των τεχνικών ροών.

2.2.3.1 Πρωτότυπο 3D Κτηματολογίου

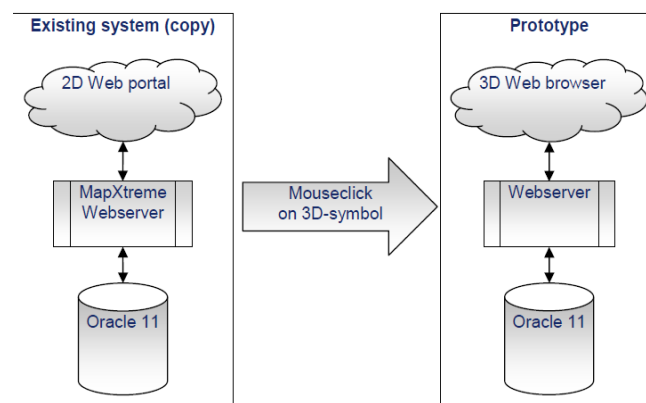
Τα δεδομένα ελέγχου περιλαμβάνουν τρεις περιπτώσεις μελέτης από την Nizhegorodskaya Oblast, που είναι η περιοχή πιλότος. Πέρα από τα 3D κτηματολογικά τεμάχια και την σχετιζόμενη διοικητική πληροφορία κάθε περίπτωση περιλαμβάνει το ανάγλυφο, 2D κτηματολογικά γεωτεμάχια, 2D τοπογραφικά δεδομένα αναφοράς, 3D μοντέλα αναφοράς (κτήρια) και ψηφιακές φωτογραφίες και έχουν υλοποιηθεί οι ακόλουθες περιπτώσεις: 1) Το Teledom κτήριο, το οποίο έχει ενδιαφέρουσες προεξοχές, 2) Ένα Συγκρότημα διαμερισμάτων και 3) Ένας υπόγειος αγωγός φυσικού αερίου που διασχίζει μια σειρά από γεωτεμάχια. Στο πρωτότυπο για κάθε περίπτωση δημιουργούνται δύο αρχεία XML: ένα με νομικά (διοικητικά) δεδομένα και ένα με τρισδιάστατα γεωμετρικά δεδομένα (σε X3D κωδικοποίηση ISO/IEC, 2008).

Τα δεδομένα, ετοιμάζονται σε διάφορους μορφότυπους και με τη χρήση διαφόρων εργαλείων: Google SketchUp, Microsoft Excel (διοικητικά δεδομένα), X3D-Edit, ένα εργαλείο επεξεργασίας XML,

ArcGIS/ArcScene από ESRI, FME από SAFESoftware και άλλα προγράμματα για την μετατροπή αρχείων XML. Για τον κάθε όροφο κτηρίου υπάρχει ένα στοιχειώδες αντικείμενο, που περιλαμβάνει: σχέδια ορόφου, 3D κτηματολογικά αντικείμενα με την ιδιότητα 'apartment_nr', και τοίχους. Τα 3D αντικείμενα δημιουργούνται με τη χρήση Google SketchUp και γεωαναφέρονται με τον τοπογραφικό χάρτη. Στη συνέχεια το αρχείο SketchUp μετατρέπεται σε X3D (με Collada και X3D-Edit) και τελικά το αρχείο X3D επεκτείνεται για χρήση στο πρωτότυπο με αισθητήρες αφής, προεπιλεγμένες οπτικές γωνίες, αναφορές σε άλλα σύνολα δεδομένων (ανάγλυφο, τεμάχια, τοπογραφικό χάρτη) και JavaScript.

2.2.3.1.1 Ανάπτυξη πρωτοτύπου

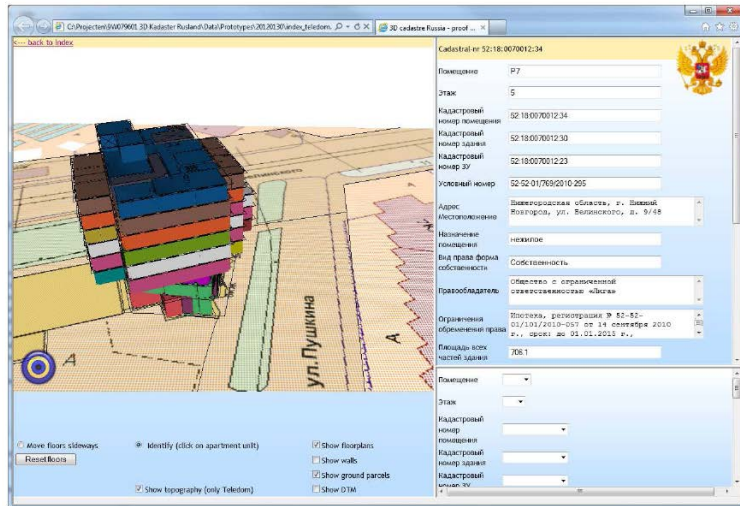
Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, σε αυτό το πρωτότυπο δίνεται έμφαση στην απεικόνιση και την αλληλεπίδραση του χρήστη μέσω μιας 3D προβολής(viewer). Το πρωτότυπο έχει αναπτυχθεί ως επέκταση της τρέχουσας 2D θύρας με ένα σύνδεσμο στη νέα 3D προβολή (εικόνα 2.13) και τα κύρια τεχνικά συστατικά είναι η βάση δεδομένων, ο διακομιστής και ο 3D περιηγητής διαδικτύου. Στο πρωτότυπο η τρισδιάστατη γεωμετρία προετοιμάζεται σε στατικά αρχεία X3D, ενώ η αντίστοιχη διοικητική πληροφορία σε πρόσθετα αρχεία XML. Σε κάθε θέση όπου είναι διαθέσιμη η τρισδιάστατη πληροφορία στο πρωτότυπο, προστίθεται ένα εικονίδιο στον 2D κτηματολογικό χάρτη και για να φανούν τα αντίστοιχα τρισδιάστατα αντικείμενα, ο χρήστης αρκεί να πατήσει το εικονίδιο.



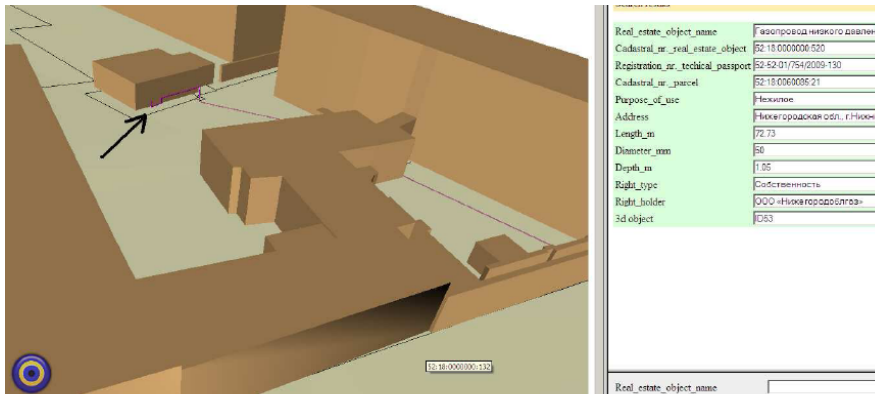
Εικόνα 2.13: Η 3D προβολή σαν επέκταση της τρέχουσας 2D θύρας (πηγή: Vandysheva et al., 2012)

2.2.3.1.2 Λειτουργικότητα

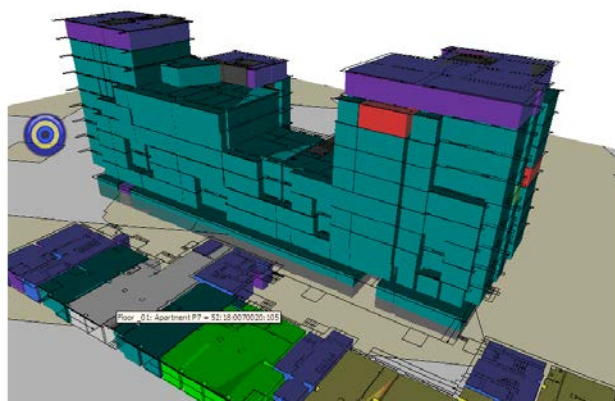
Στην εικόνα 2.14 φαίνεται η διεπιφάνεια του πρωτοτύπου που περιλαμβάνει τρία μέρη: 3D προβολή(αριστερά), επιλογή (κάτω δεξιά) και εμφάνιση αποτελεσμάτων(άνω δεξιά). Μέσα από την 3D προβολή, τα 3D αντικείμενα μπορούν να προσανατολιστούν, να επιθεωρηθούν κτλ., ενώ οι επιλογές κάτω από το παράθυρο προβολής αλλάζουν συγκεκριμένα επίπεδα όπως τοπογραφικό χάρτη, κατόψεις οροφών, τοίχους, επιφανειακά τεμάχια και ΨΜΕ. Όταν ο κέρσορας βρίσκεται πάνω από ένα 3D τεμάχιο, η tooltip δίνει κάποιες πληροφορίες σχετικά με το αντικείμενο, ενώ αν επιλέξουμε το 3D γεωτεμάχιο, οι λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με αυτό εμφανίζονται στην οθόνη αποτελέσματος στο άνω δεξιό μέρος του παραθύρου. Σε περιπτώσεις σωλήνων αυτή η πληροφορία είναι διαφορετική (Εικόνα 2.15) σε σχέση με τις κτηριακές μονάδες, καθώς το χαμηλότερο δεξί μέρος επεξηγεί διοικητικές επιλογές (π.χ. τύπος δικαιώματος, ιδιοκτήτης κτλ), τα αποτελέσματα φαίνονται στο άνω δεξί μέρος και επισημαίνονται στην 3D προβολή. Σε κατάσταση «μετακίνησης-ορόφου» (move-floor mode), το ποντίκι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να σύρει έξω οποιοδήποτε όροφο του κτηρίου, δείχνοντας έτσι τα τρισδιάστατα τεμάχια μέσα στο κτήριο (Εικόνα 2.16) αλληλεπιδραστικά και δίνοντας μια σαφή εικόνα των δικαιωμάτων μέσα στις διάφορες κατασκευές.



Εικόνα 2.14: Η επιφάνεια του πρωτοτύπου με τα δεδομένα της 1^{ης} περίπτωσης (πηγή: Vandysheva et al., 2012)



Εικόνα 2.15: Περίπτωση 3, σωλήνας (η μωβ γραμμή, ξεκινά πάνω από το έδαφος και είναι μερικώς υπογείως και ορατή σε κατάσταση αλληλεπίδρασης κοιτάζοντας άνω ή κάτω από την επιφάνεια) (πηγή: Vandysheva et al., 2012)



Εικόνα 2.16: Περίπτωση 2^η, ο όροφος_01 σύρεται έξω από το κτήριο. Η tooltip εμφανίζει το αναγνωριστικό του αντικείμενου κατά την μετακίνηση και επίσης το σχέδιο του ορόφου σύρεται ταυτόχρονα με το 3D τεμάχιο (πηγή: Vandysheva et al., 2012)

2.2.4 Το Πρωτότυπο Σύστημα Απεικόνισης στην Αυστραλία (Queensland)

Η Αυστραλία είναι μία από πρώτες χώρες που οραματίστηκαν την έννοια του 3D κτηματολογίου, καθώς έχει θεσπίσει νομικά τις τρισδιάστατες ιδιοκτησίες που δε σχετίζονται με την επιφάνεια ήδη από το 1997(Queensland). Παρά τις εξελίξεις όσον αφορά το νομικό μέρος, ο κτηματολογικός χάρτης της Αυστραλίας περιλαμβάνει μόνο τις δισδιάστατες απεικονίσεις των τρισδιάστατων ιδιοκτησιών, αλλά και των γεωτεμαχίων, υποδομών, υδάτινων ρευμάτων και λοιπών κατασκευών.

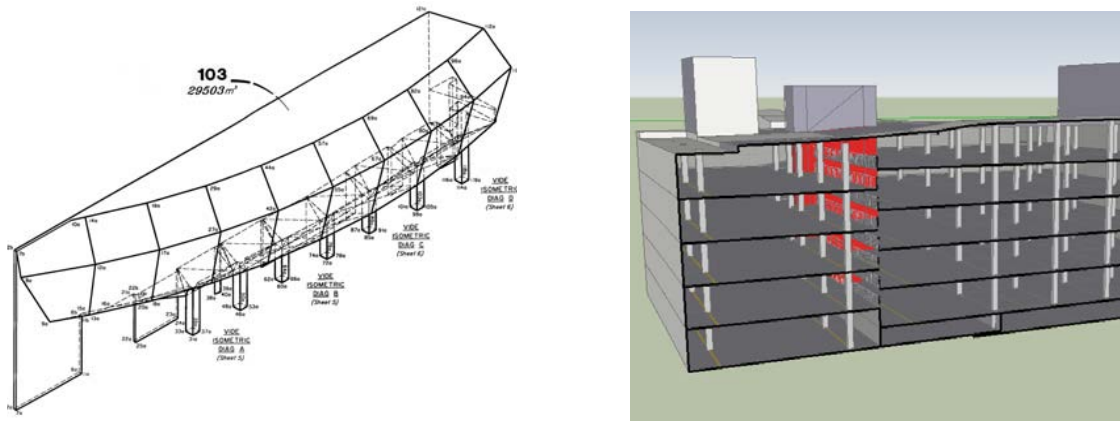
Το θεσμικό πλαίσιο στην Queensland, παρέχει μια καλή βάση για την υλοποίηση ενός πλήρους 3D κτηματολογίου. Μέσα σε αυτό το πλαίσιο είναι δυνατή η σύσταση ιδιοκτησιακών δικαιωμάτων σε 1) τυπικά άπειρα τεμάχια 2) ογκομετρικά τεμάχια που δε σχετίζονται με την επιφάνεια και 3) εναπομένοντα τεμάχια που μένουν αφού ένα ογκομετρικό τεμάχιο αφαιρεθεί από ένα τυπικό τεμάχιο.

Οι τρισδιάστατες πληροφορίες των ιδιοκτησιακών μονάδων περιλαμβάνονται στην περιγραφική βάση δεδομένων, χωρίς τη συνοδεία από τρισδιάστατη απεικόνιση, αλλά τα όρια των τρισδιάστατων ιδιοκτησιών απεικονίζονται με τις 2D προβολές τους πάνω στον κτηματολογικό χάρτη (εικόνα 2.17) και οι τίτλοι που θεσπίζουν τα 3D τεμάχια περιέχουν πολύ λεπτομερή τρισδιάστατη πληροφορία που υπαγορεύεται από κανονισμούς: στην περίπτωση των τίτλων στρωμάτων (strata title) περιλαμβάνονται τομές, ενώ στα ογκομετρικά τεμάχια περιλαμβάνονται 3D διαγράμματα (εικόνα 2.18). Όλες οι συντεταγμένες που χρειάζονται για να οριοθετήσουν την 3D ιδιοκτησία βρίσκονται στους τίτλους με αναφορές και αποστάσεις και προσδιορίζονται μόνο όταν η πληροφορία εισάγεται μέσα στην κτηματολογική βάση δεδομένων.



Εικόνα 2.17: (α) κτηματολογικός χάρτης της τοποθεσίας του Σταδίου Gabba στην Αυστραλία με τα όρια των 3D τεμαχίων (100, 101 και 103) (και δουλείες) (β) κτηματολογικός χάρτης χωρίς τα όρια των τεμαχίων 100, 101 και 103 (πηγή: Stoter, 2001)

Τα 3D διαγράμματα ή αλλιώς ισομετρικά διαγράμματα που περιγράφουν τις ογκομετρικές ιδιοκτησίες, περιλαμβάνουν τις τρισδιάστατες συντεταγμένες των σημείων που ορίζουν και οριοθετούν εξ'ολοκλήρου την ιδιοκτησία και αποτελούν ικανοποιητική τρισδιάστατη αναπαράσταση των ιδιοκτησιακών αντικειμένων. Τα Ισομετρικά διαγράμματα και οι τομές παρόλο που αποτελούν κοινές μεθόδους για την απεικόνιση της τρίτης διάστασης (εικόνα 2.18), κρίνονται πλέον ανεπαρκείς για την αποσαφήνιση των τρισδιάστατων ιδιοκτησιών, γι'αυτό σχεδιάστηκε ένα πρωτότυπο σύστημα για την Queensland για τη διαδραστική εξερεύνηση των ιδιοκτησιών σε περιβάλλον τρισδιάστατης απεικόνισης.



Εικόνα 2.18: Αριστερά: Παραδείγματα των 3D διαγραμμάτων που προστίθεται στους ογκομετρικούς τίτλους, Δεξιά: Άποψη τομής στο Google SketchUp (πηγή: Shojaei et al., 2013)

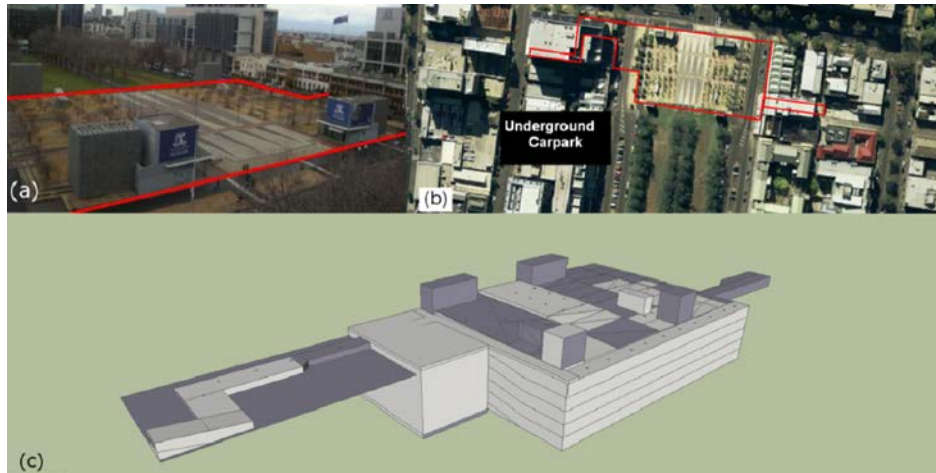
Ο δισδιάστατος χάρτης μετατράπηκε σε Shapefile και όλη η σχετική πληροφορία με τα ιδιοκτησιακά δικαιώματα (δουλείες, κοινές ιδιοκτησίες κτλ), αλλά και οι κτηματολογικές παρατηρήσεις από το τοπογραφικό σχέδιο προστέθηκαν στο Shapefile. Ακολουθώντας, το Shapefile εισήχθη στο πρωτότυπο και τα 2D πολύγωνα μετατράπηκαν σε τρισδιάστατα αντικείμενα με εξώθηση βάσει του μετρημένου ύψους και προστέθηκε κατάλληλος συμβολισμός. Το 3D μοντέλο του χώρου στάθμευσης δημιουργήθηκε με τη χρήση Google SketchUp (εικόνα 2.19γ).

Στη συνέχεια επιλέχθηκαν 4 συστήματα απεικόνισης και αξιολογήθηκαν, ως πιθανές πλατφόρμες ανάπτυξης, βάσει των απαιτήσεων για 3D κτηματολογική απεικόνιση. Η επιλογή της απεικόνισης έγινε με κριτήρια διαθεσιμότητας, εύκολης και φιλικής χρήσης και του περιβάλλοντος ανάπτυξης. Εξετάζοντας ένα πλήθος κριτηρίων διεξοδικά επιλέχθηκε το περιβάλλον ArcGlobe ως η βασική μηχανή ανάπτυξης του πρωτότυπου συστήματος, το οποίο εφαρμόστηκε σε τρία εννοιολογικά επίπεδα με χρήση ArcGlobe, Adobe συστατικών και VB.Net.

Το επίπεδο πρόσβασης των δεδομένων σχεδιάστηκε όχι μόνο για να εισάγει δεδομένα από μία ευρεία ποικιλία κοινών μορφοτύπων δεδομένων (ESRI Shapefile, Personal Geodatabase, KML, DWG, 3D PDF, και 3DD), αλλά και από κοινές χωρικές βάσεις δεδομένων όπως Oracle, SQLServer, και PostgreSQL / PostGIS, που μπορούν να επικοινωνήσουν με αυτό το πρωτότυπο. Επιπλέον το σύστημα έχει πρόσβαση σε διαδικτυακές υπηρεσίες OGC όπως Web Map Service (WMS) και Web Coverage Service (WCS).

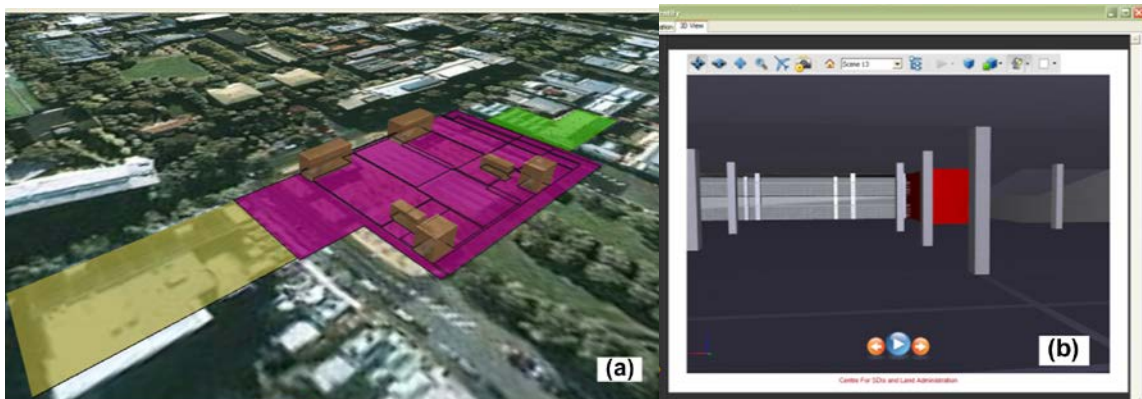
Στο επίπεδο επεξεργασίας, επιλέχθηκε VB.Net που παρέχει μία εγκατάσταση για την ανάπτυξη απαιτούμενων λειτουργιών και αναλύσεων για διαχείριση των 3D ιδιοκτησιών. Στο επίπεδο απεικόνισης, τα συστατικά του ArcGlobe διαδραματίζουν ένα σημαντικό ρόλο για την απεικόνιση των 3D κτηματολογικών δεδομένων, καθώς απεικονίζουν με επάρκεια δορυφορικές εικόνες από το διαδικτυακό κέντρο πληροφοριών του ArcGIS, παρέχουν τοπογραφικούς χάρτες εδάφους, 3D συμβολισμό, και υποστηρίζουν τη γεωμετρία MultiPatch (μία γεωμετρία της ESRI για απεικόνιση ορίων των 3D αντικειμένων).

Επιπλέον, το πρωτότυπο σύστημα μπορεί να απεικονίζει εξελίξεις στον υπόγειο χώρο, υποστηρίζει 3D λειτουργίες μετρήσεων και απεικονίζει τα δεδομένα σε 3D PDF, βάσει των Adobe συστατικών. Για τη δημιουργία των 3D PDF αρχείων βάσει του τοπογραφικού σχεδίου, χρησιμοποιήθηκαν Google SketchUp και Simlab Soft plugin.



Εικόνα 2.19: (α) Μία άποψη της τοποθεσίας του υπογείου χώρου στάθμευσης στη Μελβούρνη, Αυστραλία, β) Τοποθεσία του υπογείου χώρου στάθμευσης (Google Maps, 2012), (γ) 3D μοντέλο του χώρου στάθμευσης (πηγή: Shojaei et al., 2013)

Στην εικόνα 2.20, φαίνεται ένα στιγμιότυπο του πρωτοτύπου, όπου τα τεμάχια, οι δουλειές και οι κοινές ιδιοκτησίες απεικονίζονται με διαφορετικά χρώματα και διαφάνειες (εικόνα 2.20^α). Με το κλικάρισμα στις ακμές για κάθε αντικείμενο, εμφανίζεται πρόσθετη πληροφορία όπως απόσταση κτλ και έχει επισυναφθεί επίσης το αρχείο 3D PDF του τοπογραφικού σχεδίου μέσω του οποίου οι χρήστες μπορούν να εξερευνήσουν την εξέλιξη και να βλέπουν τομές (Εικόνα 2.20β).



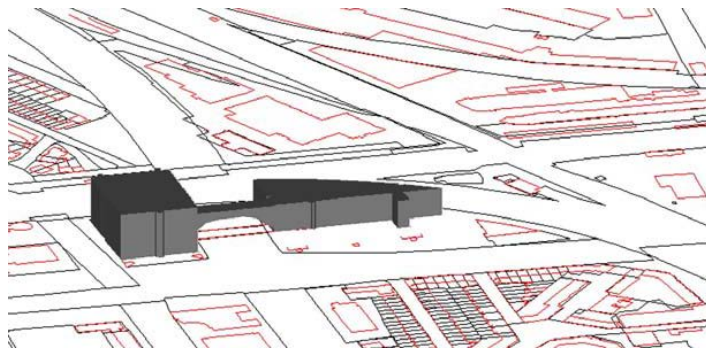
Εικόνα 2.20: (α) Ένα στιγμιότυπο του πρωτότυπου συστήματος, (β) 3D PDF του χώρου στάθμευσης(πηγή: Shojaei et al., 2013)

2.2.5 Η σταδιακή εφαρμογή 3D Κτηματολογίου στην Ολλανδία

Η βάση αναφοράς του κτηματολογικού συστήματος καταγραφής στην Ολλανδία είναι όπως και στις περισσότερες χώρες το δισδιάστατο γεωτεμάχιο, ενώ τρισδιάστατα αντικείμενα όπως κτήρια και υποδομές δεν καταγράφονται στο κτηματολογικό σύστημα και εξαρτώνται πάντοτε από το αντίστοιχο επιφανειακό γεωτεμάχιο (με εξαίρεση τις μονάδες διαμερισμάτων). Ο κτηματολογικός χάρτης περιλαμβάνει γεωτεμάχια με τους αντίστοιχους κτηματολογικούς αριθμούς, τα κτήρια αλλά και τα ονόματα των δρόμων. Τυχόν φυσικά αντικείμενα που έχουν τρισδιάστατο χαρακτήρα, όπως γέφυρες, σιδηροδρομικές γραμμές κτλ απεικονίζονται σε ξεχωριστά τοπογραφικά διαγράμματα. Επίσης η Ολλανδία χρησιμοποιεί από το 1998 έναν κωδικό εγγραφής με όνομα OB (*Ondergronds Bouwwerk*) ο οποίος αναφέρεται σε αντικείμενα που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια, και αποτελεί πληροφορία ένδειξης μιας τρισδιάστατης περίπτωσης στην περιγραφική βάση δεδομένων και όχι κάποιο δικαίωμα.

Η Ολλανδία αποτελεί μία από τις χώρες πρωτοπόρους πάνω στο ζήτημα του 3D κτηματολογίου και την τελευταία δεκαετία προσανατολίζεται σε μία υβριδική λύση, προκειμένου να είναι συνεπής με το τρέχον νομικό πλαίσιο της χώρας. Στο πλαίσιο εργασιών και διδακτορικών έχουν γίνει αρκετές μελέτες και εφαρμογές για την καταγραφή και την 3D απεικόνιση των ιδιοκτησιών με τους τρόπους που αναφέραμε στο προηγούμενο κεφάλαιο (3D αντικείμενα δικαιωμάτων και 3D φυσικά αντικείμενα). Ήδη από τις αρχές της περασμένης δεκαετίας πειραματίστηκαν με πρωτότυπα υβριδικών λύσεων, όπως το παράδειγμα του Κτηριακού Συγκροτήματος στη Χάγη, τον Κεντρικό Σταθμό της Χάγης, τα Συγκροτήματα Διαμερισμάτων και την υπόγεια σιδηροδρομική σήραγγα και ένα πρωτότυπο πλήρους 3D κτηματολογίου, όπως το παράδειγμα του Σταδίου Gabba στην Queensland.

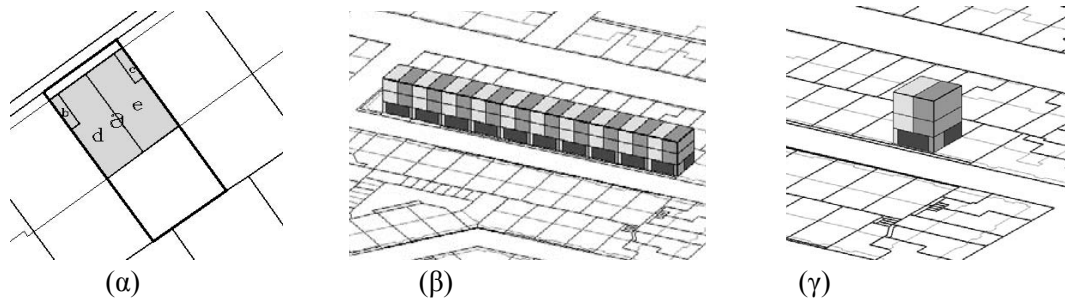
Αναλυτικότερα στην περίπτωση του Κτηριακού συγκροτήματος στη Χάγη εφαρμόστηκε η καταγραφή 3D φυσικών αντικειμένων, όπου παρόλο που το κτήριο διαπερνά όρια γεωτεμαχίων καταχωρήθηκε στο σύνολο ως μεμονωμένο αντικείμενο στην κτηματολογική βάση δεδομένων (σε έναν πίνακα που περιέχει το id και την 3D γεωμετρία του αντικειμένου). Το 3D αντικείμενο απεικονίστηκε με ένα περιβάλλον σε συνδυασμό με 2D(2.5D) κτηματολογικά δεδομένα (εικόνα 2.21), ενώ το νομικό καθεστώς του κτηρίου καταχωρήθηκε με σύσταση δικαιωμάτων μόνο στα επιφανειακά τεμάχια.



Εικόνα 2.21: Καταγραφή του 3D φυσικού αντικειμένου (πηγή: Stoter, 2001)

Η περίπτωση του συγκροτήματος διαμερισμάτων ήταν πιο σύνθετη, εφόσον στο ισόγειο υπήρχαν τρία διαμερίσματα ενώ στον πρώτο και δεύτερο όροφο υπήρχαν δύο μονάδες διαμερισμάτων, που είχαν συσταθεί σε ένα μόνο τεμάχιο. Επιπλέον το κτήριο δεν κάλυπτε όλο το τεμάχιο, κάτι εξαιρετικά σύνηθες σε συγκροτήματα διαμερισμάτων, συνεπώς τα όρια των μονάδων διαμερισμάτων σε κάθε όροφο δεν συνέπιπταν με το όριο του τεμαχίου. Προκειμένου να προστεθεί η z-λίστα με τα ανώτερα και κατώτερα όρια των δικαιωμάτων που έχουν συσταθεί σε ένα τεμάχιο, δημιουργήθηκαν τα 2D όρια των ατομικών μονάδων όπως φαίνεται στην εικόνα 2.22.

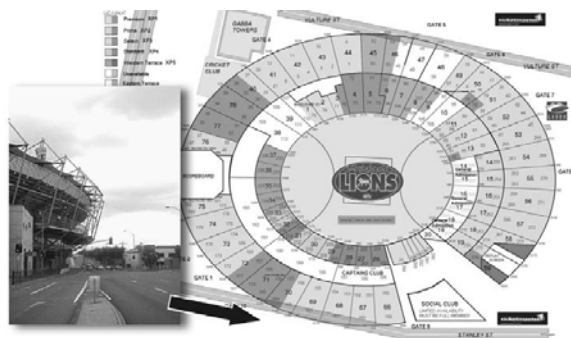
Η απεικόνιση των τελικών όγκων 3D δικαιωμάτων φαίνεται στην εικόνα 2.22, όπου φαίνονται όλα τα διαμερίσματα στην οδό και το συγκρότημα της περίπτωσης μελέτης. Αυτή η περίπτωση είναι σύνθετη, καθώς χρειάστηκε μια οριζόντια κατάτμηση της στήλης τεμαχίου για τον καθορισμό των 3D όγκων δικαιωμάτων, αλλά και μία κάθετη κατάτμηση της περιοχής του τεμαχίου. Η σύσταση ενός μόνο τρισδιάστατου όγκου δικαιώματος για όλο το τεμάχιο, δεν θα εκπροσωπούσε την πραγματική κατάσταση.



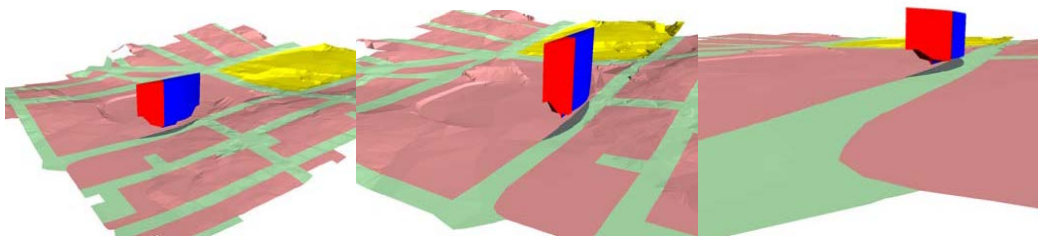
Εικόνα 2.22: (α) Τα 2D αντικείμενα: όρια των μεμονωμένων μονάδων διαμερισμάτων σε κάθε όροφο, (β) όλα τα διαμερίσματα στην οδό, (γ) το συγκρότημα της περίπτωσης μελέτης (πηγή: Stoter, 2001)

Η περίπτωση του Σταδίου Gabba στην Queensland ήταν μία άλλη ιδιαίζουσα περίπτωση καθώς αυτό επεκτείνεται σε δύο δρόμους, στην οποία μελετήθηκε η σύσταση των 3D ιδιοκτησιακών μονάδων. Στην περίπτωση αυτή είχαν συσταθεί τρεις τρισδιάστατες ιδιοκτησίες: για την τομή με την οδό Vulture ένα ογκομετρικό τεμάχιο με κωδικό 100 και ένα ογκομετρικό τεμάχιο με κωδικό 101, ενώ για την τομή με την οδό Stanley ένα ογκομετρικό τεμάχιο με κωδικό 103. Και τα τρία αυτά τεμάχια είναι μισθωμένα ακίνητα (leasehold estates), που σημαίνει ότι ο κάτοχος του ακινήτου έχει δικαίωμα χρήσης και αποκλειστική κτήση της ιδιοκτησίας για ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα.

Η απεικόνιση των 3D ιδιοκτησιακών μονάδων εντάχθηκε σε ένα σύνολο κτηματολογικών γεωγραφικών δεδομένων που περιείχαν επιφανειακά τεμάχια απεικονισμένα σε 2.5D και προσέδωσαν την 3D εικόνα της συνολικής κατάστασης. Για αυτόν τον σκοπό δημιουργήθηκε ένα TIN που προσαρμόζεται στον κτηματολογικό χάρτη εδάφους με τη χρήση λογισμικού ESRI (εικόνα 2.24).



Εικόνα 2.23: Επισκόπηση του Σταδίου Gabba που επεκτείνεται στην οδό Stanley στα νότια και την οδό Vulture στα βόρεια, Αυστραλία (πηγή: Stoter, 2001)



Εικόνα 2.24: Απεικόνιση των 3D γεωμετριών των ογκομετρικών τεμαχίων μαζί με τον 2.5D κτηματολογικό χάρτη εδάφους από διαφορετικές απόψεις (πηγή: Stoter, 2001)

Οι παραπάνω μελέτες εκπονήθηκαν στις αρχές της προηγούμενης δεκαετίας και αφορούσαν κάποιες ενδεικτικές 3D περιπτώσεις, ενώ τα δύο τελευταία χρόνια αναπτύσσεται και εφαρμόζεται ένα πρωτότυπο 3D Κτηματολογίου, του οποίου η υλοποίηση αποτελείται από δύο φάσεις. Η πρώτη φάση ταιριάζει με το υφιστάμενο εθνικό κτηματολογικό και νομικό πλαίσιο. Ο σκοπός της πρώτης φάσης είναι η απόκτηση εμπειριών και γνώσης με την εισαγωγή εξελισσόμενων τεχνολογιών στον νομικό

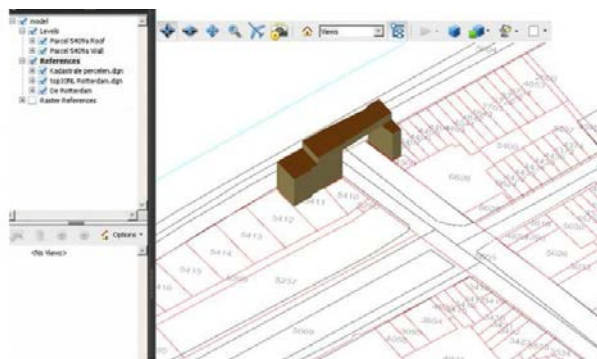
τομέα του 3D κτηματολογίου. Η δεύτερη φάση θα οικοδομηθεί πάνω σε αυτές τις εμπειρίες και θα υλοποιήσει μια μελλοντική και αειφόρα λύση, με την χρήση και πάλι τεχνολογιών αιχμής και επιτρέποντας μία πιο θεμελιώδη αλλαγή. Και οι δύο φάσεις είναι εναρμονισμένες με το πρότυπο ISO FDIS LADM με τα δύο αντίστοιχα LADM 3D προφίλ για την Ολλανδία.

2.2.5.1 Πρώτη Φάση της Υλοποίησης 3D Κτηματολογίου

Η λύση σε αυτή τη φάση βρίσκεται μέσα στο τρέχον νομικό πλαίσιο για την αποφυγή μιας μακράς διαδικασίας αλλαγής του νόμου, αλλά είναι κατά τα άλλα μια καινοτόμος λύση για την κτηματολογική καταγραφή στην Ολλανδία.

Η υλοποίηση λειτουργεί ως εξής. Στην περίπτωση 3D ιδιοκτησιακών δικαιωμάτων, δεν επιτρέπεται πλέον η κατάτμηση ενός 2D τεμαχίου μέσω της προβολής των τρισδιάστατων αντικειμένων στον κτηματολογικό χάρτη, καθώς αυτό οδηγεί σε ασαφή καταγραφή. Αντιθέτως το αρχικό τεμάχιο θα διατηρείται ως κτηματολογικό αντικείμενο και για πρόσθετα 3D κτηματολογικά αντικείμενα, το μητρώο καταχώρισης θα απαιτεί μια λεπτομερή 3D απεικόνιση που επιλύει τις ασάφειες στις ιδιοκτησιακές καταστάσεις (είτε δικαίωμα διαμερίσματος, δικαίωμα μίσθωσης, δουλεία κτλ). Μία τέτοια τρισδιάστατη απεικόνιση μπορεί να καταχωρηθεί μέσω ενός 3D σχεδίου (σε pdf) μέσα στο σύστημα ELAN(Kadaster, 2007). Για τα δικαιώματα σε διαμερίσματα αυτό σημαίνει επέκταση των οδηγιών για αυτά, με τρόπο που η προϋπόθεση καταχώρισης σχεδίων ορόφων μπορεί επίσης να καλυφθεί από την καταχώριση 3D απεικονίσεων.

Το 3D pdf, το οποίο θα αναλύσουμε παρακάτω παρέχει αλληλεπίδραση και δυνατότητες αναζήτησης και είναι πολύ βοηθητικό για την κατανόηση τρισδιάστατων καταστάσεων. Επειδή η λύση της πρώτης φάσης βασίζεται σε υφιστάμενους κανονισμούς, δεν είναι υποχρεωτική η υποβολή ενός 3D pdf με την αυστηρή έννοια αλλά πρακτικά μπορεί να ζητηθεί η υποβολή του για λόγους σαφήνειας, προκειμένου να αποφευχθεί το μοτίβο των αποσπασματικών τεμαχίων που προκαλείται από την προβολή των 3D αντικειμένων πάνω στον κτηματολογικό χάρτη.



Εικόνα 2.25: Πρωτότυπο καταχώρισης της 3D απεικόνισης της πολυεπίπεδης ιδιοκτησίας στα μητρώα μέσω 3D PDF (με λογισμικό Bentley) (πηγή: Stoter et al, 2011)

Τα υπεύθυνα συμβολαιογραφεία θα ορίζουν πότε είναι απαραίτητη η υποβολή αυτού του σχεδίου κατά την εγγραφή ενός δικαιώματος, ενώ οι ενδιαφερόμενοι θα πρέπει να ενθαρρύνονται να υποστηρίξουν την 3D απεικόνιση ως νομικά δεσμευτική. Αυτό είναι απαραίτητο και ωφέλιμο για όλους τους ενδιαφερομένους, καθώς η υφιστάμενη νομική και κτηματολογική κατάσταση δεν δέχεται ακόμα 3D δεδομένα, ούτε ακριβή οριοθέτηση των νομικών χωρών εκτός των μονάδων διαμερισμάτων.

Η κοινοποίηση αυτή χορηγείται στο τεμάχιο στο οποίο καταχωρείται η 3D απεικόνιση, ενώ η δισδιάστατη προβολή της 3D απεικόνισης θα προστεθεί για αναφορά στον κτηματολογικό χάρτη με ένα επιπλέον γραφικό επίπεδο, όπως γίνεται στην Αυστραλία (Queensland) και στη Νορβηγία. Το περιεχόμενο αυτού του γραφικού επιπέδου θα φαίνεται στον κτηματολογικό χάρτη με συμβολισμό

διαφορετικό από τα τυπικά γεωτεμάχια (όρια περιγραμμάτων) και κτήρια (όπως παραδοσιακά εμφανίζονται στον ολλανδικό κτηματολογικό χάρτη για σκοπούς αναφοράς). Συνεπώς η ύπαρξη του τρισδιάστατου νομικού χώρου στα κτηματολογικά τεμάχια θα είναι πλέον εμφανής.

Οι ελάχιστες πληροφορίες που απαιτούνται στην 3D απεικόνιση για την κατανόηση της ιδιοκτησιακής κατάστασης είναι οι παρακάτω:

- 2D επιφανειακά τεμάχια που επικαλύπτονται (σε προβολή) με τους 3D νομικούς όγκους, εφαρμοσμένα πάνω από ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους (για να τοποθετούνται τα τεμάχια στο χώρο και όχι στο επίπεδο). Η επικάλυψη του τρισδιάστατου χώρου με τα επιφανειακά γεωτεμάχια πρέπει να αναγνωρίζεται (π.χ. με την απόδοση χρώματος στην συγκεκριμένη περιοχή του επιφανειακού τεμαχίου).

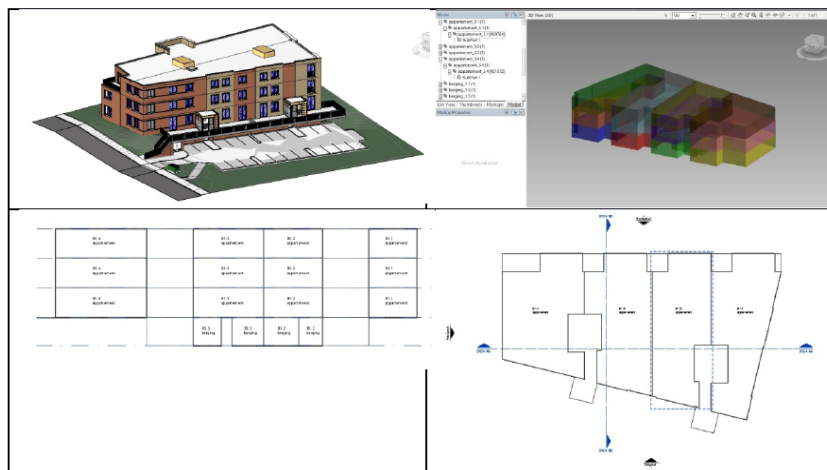
- 3D γραφική περιγραφή του νομικού χώρου.

- Νομικά απαιτούμενες 2D τομές με συνοδευτικά σχόλια (π.χ. αριθμός αναγνώρισης, βορράς κ.α.) για να είναι σε συγχρονισμό με τις οδηγίες για τα σχέδια που απαιτούνται για μονάδες διαμερισμάτων. Αυτές οι τομές-διατομές μπορεί να είναι μια άλλη όψη των ίδιων δεδομένων όπως φαίνεται στην εικόνα 2.26.

- Αντικείμενα που χρειάζονται για αναφορά και προσανατολισμό στο 3D περιβάλλον. Η πηγή αυτών μπορεί να είναι η τοπογραφική βάση δεδομένων, που είναι υπό κατασκευή στο ολλανδικό κτηματολόγιο.

- Το 3D σχέδιο πρέπει να τοποθετεί στο χώρο το 3D νομικό όγκο τόσο σε τοπικό σύστημα συντεταγμένων όσο και στο εθνικό υψομετρικό σύστημα αναφοράς.

Με το υφιστάμενο πλαίσιο δεν μπορούν να υποβληθούν για καταγραφή τρισδιάστατα δεδομένα (σε αντίθεση με 3D γραφικά σχέδια). Συνεπώς όσο ο 3D χώρος μπορεί να απεικονιστεί καλά στις τρεις διαστάσεις, η απεικόνιση γίνεται τελικά δεκτή (δηλαδή δεν είναι δυνατόν να επικυρωθούν αλλιώς τα δεδομένα, αλλά ούτε το κτηματολόγιο θα ελέγξει τα δεδομένα στο πεδίο). Άλλωστε σκοπός των 3D σχεδίων είναι η επαρκής εξήγηση των συμφερόντων των εμπλεκόμενων μερών. Η εικόνα 2.26 είναι το αποτέλεσμα της αναμενόμενης ροής εργασιών για την παραγωγή σχεδίων 3D ιδιοκτησιών για ένα συγκρότημα διαμερισμάτων, όπου φαίνονται πολλές όψεις (σχετικές με το κτηματολόγιο) με την ίδια πηγή δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή του κτηρίου.



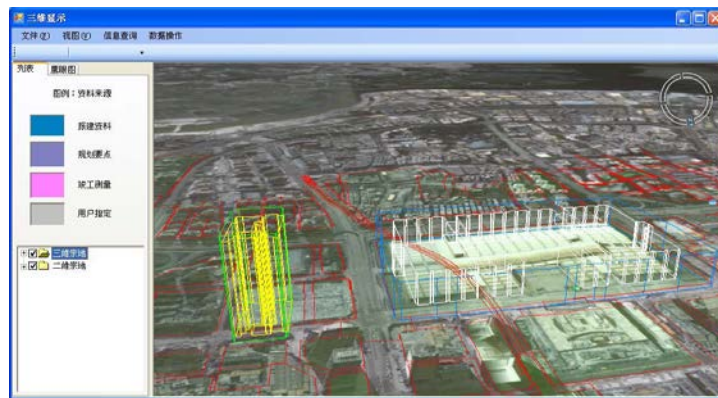
Εικόνα 2.26: Καταγραφή της 3D απεικόνισης των 3D ιδιοκτησιακών δικαιωμάτων με διαφορετικές απόψεις των ίδιων 3D σχεδίων. Πάνω αριστερά: αρχιτεκτονική άποψη, πάνω δεξιά: προοπτική άποψη των 3D ιδιοκτησιακών χώρων, κάτω αριστερά: τομή, κάτω δεξιά: κάτοψη του 1^{ου} ορόφου (πηγή: Stoter et al, 2012)

2.2.6 Περίπτωση μελέτης στην πόλη Shenzhen της Κίνας

Στην Κίνα, το σύνολο των διαφόρων τύπων νομικών αντικειμένων είναι εξ' ορισμού δισδιάστατα και όλα τα σχετιζόμενα δικαιώματα στα ακίνητα βασίζονται σε αυτά τα αντικείμενα. Συγκεκριμένα πριν από το 2007 που εκδόθηκε και τέθηκε σε ισχύ ο νόμος περί εμπραγμάτων δικαιωμάτων, δεν υπήρχε σχετικός νόμος που να αναφέρει ότι το δικαίωμα χρήσης μιας κατασκευής επί της γης μπορεί να είναι ανεξάρτητο από το επιφανειακό γεωτεμάχιο ή όχι. Ο νόμος του 2007 είναι ο πρώτος νόμος που αναφέρει ρητά ότι το δικαίωμα χρήσης χώρου κάτω ή πάνω από το έδαφος μπορεί να είναι ανεξάρτητο από την κατασκευή πάνω στην επιφάνεια, αλλά η απεικόνιση των ιδιοκτησιών και λοιπών αντικειμένων στον κτηματολογικό χάρτη περιορίζεται ακόμα στις δύο διαστάσεις. Για αυτόν το λόγο, δημιουργήθηκε ένα πρωτότυπο σύστημα τρισδιάστατης καταγραφής, στο οποίο θα περιγράφεται και θα απεικονίζεται πλέον η χωρική έκταση της 3D ιδιοκτησίας αλλά και των κατασκευών, προκειμένου να αποκτηθούν εμπειρίες για την προσαρμογή του κτηματολογίου στην κάθετη και πολυεπίπεδη χρήση της γης. Η εφαρμογή του συστήματος υλοποιήθηκε σε χαρακτηριστικό παράδειγμα τρισδιάστατης περίπτωσης στην πόλη Shenzhen.

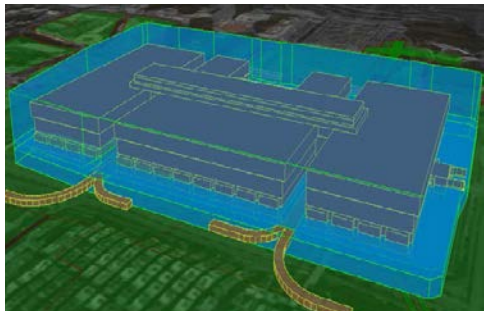
2.2.6.1 Ανάπτυξη του συστήματος

Οι λειτουργίες του 3D κτηματολογικού συστήματος εφαρμόζονται με συνδυασμό ArcGIS Server, Skyline TerraGate και Sketchup. Τα 3D δεδομένα αποθηκεύονται σε Oracle μαζί με τα δεδομένα από το 2D κτηματολόγιο. Η πρόσβαση τόσο των τρισδιάστατων δεδομένων όσο και των δισδιάστατων κτηματολογικών δεδομένων γίνεται μέσω του 3D κτηματολογικού συστήματος που περιλαμβάνει λειτουργίες όπως χτίσιμο 3D μοντέλου και επεξεργασία, χτίσιμο τοπολογίας, διαχείριση δεδομένων και ανάκτηση, απεικόνιση και παραγωγή σχεδίων τρισδιάστατης ιδιοκτησίας. Η εικόνα 2.27 δείχνει μία από τις επιφάνειες του συστήματος.

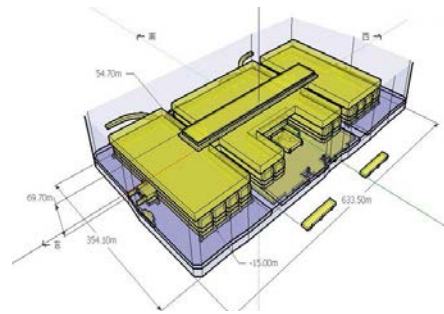


Εικόνα 2.27: Απεικόνιση της 3D χωρικής έκτασης των κατασκευών (πηγή: Guo et al, 2011)

Το σύστημα των 3D καταγραφών θα λειτουργεί ως εξής: Μετά το πέρας μιας κατασκευής, θα δομείται το 3D μοντέλο του και θα αποθηκεύεται στο σύστημα και θα απεικονίζεται με την καθετή συνιστώσα του γεωτεμαχίου, ώστε να φαίνεται η χωρική σχέση μεταξύ κατασκευής και γεωτεμαχίου (εικόνα 2.28α). Επίσης, όταν εκδίδεται πιστοποιητικό εγγεγραμμένης ιδιοκτησίας, η τρισδιάστατη απεικόνιση μπορεί να περιληφθεί στο φάκελο εγγραφής (εικόνα 2.28β).



(α)



(β)

Εικόνα 2.28: α) Χωρική σχέση μεταξύ κατασκευής και γεωτεμαχίου, β) 3D απεικόνιση στο αρχείο εγγραφής (πηγή: Guo et al, 2011)

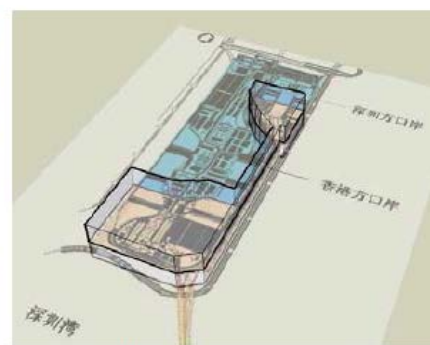
Στα πλαίσια της μελέτης αυτής ορίστηκαν δύο τύποι 3D κτηματολογικών αντικειμένων. Τα φυσικά αντικείμενα που αναφέραμε προηγουμένως και τα μη κατασκευαστικά κτηματολογικά αντικείμενα.

Η μελέτη αφορά το παράδειγμα του λιμανιού Shenzhen που αποτελεί μη κατασκευαστικό αντικείμενο. Αναλυτικά, η περιοχή του λιμανιού Hong Kong στο λιμάνι του Shenzhen αποτελεί έναν ιδιαίτερο χωρικό όγκο, που η κυβέρνηση του Shenzhen μισθώνει στην κυβέρνηση του Hong Kong, ενώ τα δύο τελωνεία βρίσκονται μέσα στο ίδιο κτήριο το οποίο είναι 30 μέτρα ψηλό (εικόνα 2.29α), αλλά ο 3D κτηματολογικός χώρος για την περιοχή του λιμανιού Hong Kong εκτείνεται από -60 μέτρα έως +60 μέτρα και περιλαμβάνει πολύ περισσότερο εναέριο χώρο και μέρη από το κτήριο (εικόνα 2.29β).

Για την απεικόνιση της τρισδιάστατης κατάστασης σχεδιάστηκαν δύο τύποι κτηματολογικού γεωχώρου βάσει του παραδοσιακού 2D κτηματολογίου και της διαίρεσης της γης και της στέγασης σε ένα δήμο: ο τρισδιάστατος χώρος γης (3D land space) και ο 3D χώρος κατασκευών/ κατοικίας. Ο 3D χώρος γης είναι μια συγκεκριμένη καθετή έκταση του δισδιάστατου γεωτεμαχίου σύμφωνα με τα σχέδια, ενώ ο 3D χώρος κατασκευών/κατοικιών είναι ο φυσικός χώρος/επέκταση της κατασκευής ή έστω η προσέγγιση της. Λογικά, ο 3D χώρος γης περιλαμβάνει τον αντίστοιχο 3D χώρο κατοικίας. Ωστόσο για ένα ανεξάρτητο 3D κτηματολογικό μοντέλο, ο 3D χώρος μπορεί να μην έχει σχέση με το αντίστοιχο επιφανειακό τεμάχιο. Η εικόνα 12 περιγράφει την οργάνωση των πρόσωπων του 3D χώρου γης και του 3D χώρου κτηρίου, και παρουσιάζει την αντίστοιχη συνολική απεικόνιση.



A

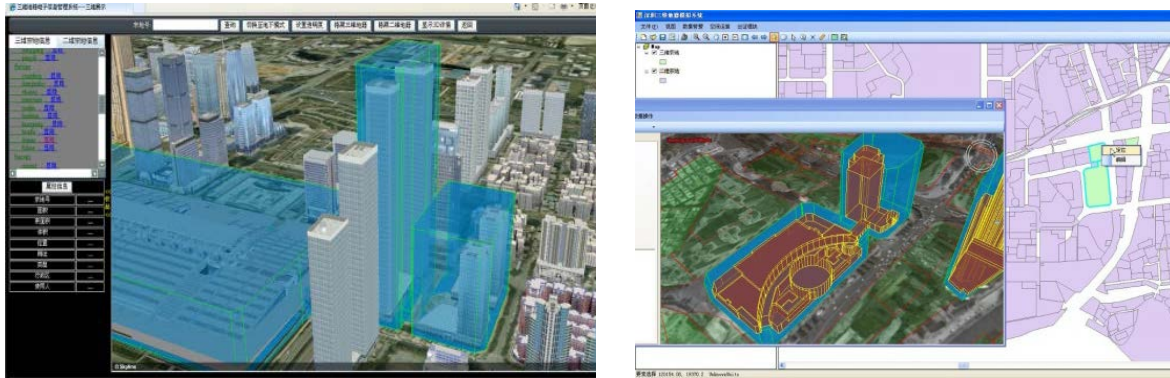


B

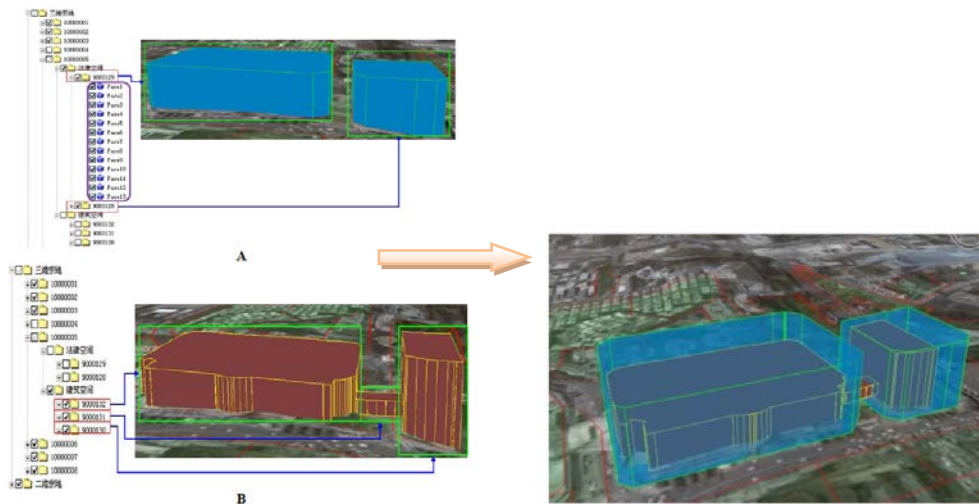
Εικόνα 2.29: Μη κατασκευαστικό 3D κτηματολογικό αντικείμενο α) Κτήριο, β) 3D χώρος του κτηματολογικού αντικειμένου (πηγή: Ying et al, 2012)

Για την απεικόνιση των δύο διαφορετικών κτηματολογικών χώρων ταυτόχρονα, χρησιμοποιήθηκαν κάποιες τεχνικές για τη βέλτιστη παράσταση της γεωγραφικής σχέσης μεταξύ τους, όπως απεικόνιση στη σειρά 2D και 3D (Εικόνα 2.30β), όπου τα όρια του τρισδιάστατου γεωχώρου είναι επιλεγμένα στο 2D χάρτη, ενώ ο 3D γεωχώρος και ο 3D χώρος κτηρίων αναπαριστώνται την ίδια στιγμή με ένα αναδύομενο παράθυρο. Όπως φαίνεται ο 3D γεωχώρος και τα 3D κτήρια παριστάνονται με

φωτογραφικές υφές (Εικόνα 2.30α), ενώ προκειμένου να φανεί η διαφορά και η ένθετη σχέση μεταξύ του 3D χώρου της γης και των 3D κτηρίων, χρησιμοποιείται διαφάνεια. Μέσα από αυτές τις τεχνικές απεικόνισης οι χωρικές διαιρέσεις και τα ποικίλα 3D κτηματολογικά αντικείμενα μπορούν να ερμηνευθούν από τους χρήστες κατά σαφή και κατανοητό τρόπο.



Εικόνα 2.30: α) Απεικονίσεις του 3D γεωχώρου και των 3D κτηρίων, β) Στη σειρά απεικόνιση 2D και 3D (πηγή: Ying et al, 2012)



Εικόνα 2.31: Οργάνωση των γεωμετρικών δεδομένων και απεικόνιση για 3D γεωχώρο και 3D χώρο κτηρίων, α) 3D γεωχώρος, β) 3D χώρος κατασκευών, γ) συνολική απεικόνιση (πηγή: Ying et al, 2012)

3 Η ΤΡΙΤΗ ΔΙΑΣΤΑΣΗ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (GIS)

Το πρώτο Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (Geographic Information System) εμφανίστηκε στα μέσα του 1960 και αποτέλεσε την αφορμή για την εξέλιξη των δισδιάστατων χαρτών και την διαχείριση της γεωγραφικής πληροφορίας. Από τότε στο πεδίο του ΣΓΠ έχει υπάρξει μια αυξανόμενη αγορά για ποικίλες εφαρμογές και έχει αποδειχθεί με το πέρασμα των χρόνων ότι είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για τη διαχείριση και ανάλυση 2D κτηματολογικών δεδομένων. Για πολύ καιρό η κοινότητα ΣΓΠ υπέθετε ότι η δισδιάστατη εμφάνιση των γεωγραφικών πληροφοριών ήταν κατανοητή, παρόλο που ο κόσμος γύρω μας είναι τρισδιάστατος. Δεν ήταν πάρα πριν από περίπου μια δεκαετία που άρχισε η χρήση της τρίτης διάστασης στα ΣΓΠ, αλλά η αποδοχή της από το μεγαλύτερο μέρος της κοινότητας ήταν περιορισμένη.

Ο ορισμός του τρισδιάστατου ΣΓΠ είναι συναφής με το δισδιάστατο, με τη διαφορά ότι η πληροφορία σχετίζεται με τρισδιάστατα χωρικά φαινόμενα. Συνεπώς τα 3D ΣΓΠ πρέπει να μπορούν να προσφέρουν την ίδια λειτουργικότητα με το παραδοσιακό 2D. Η πιο κρίσιμη διαφορά του ΣΓΠ με άλλα λογισμικά ήταν πάντοτε η δυνατότητα εκτέλεσης χωρικής ανάλυσης και της απεικόνισης της. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι τα μοντέλα (τοπολογία, γεωμετρία, δίκτυο, κτλ.) πρέπει να συμφωνηθούν εκ των προτέρων. Όταν τα μοντέλα είναι διαθέσιμα, μπορούν να χαρτογραφηθούν σε δομές βάσεων δεδομένων ή μορφές αρχείων (πχ gml, kml, shape, dxf) και να χρησιμοποιηθούν για διαχείριση ή ανταλλαγή μέσω διαδικτύου και μεταξύ διαφορετικών εφαρμογών. Επί του παρόντος, μπορούν να εκτελεστούν αποτελεσματικά και με ακρίβεια πολλές ΣΓΠ εργασίες στα περισσότερα 2D ΣΓΠ λογισμικά που είναι διαθέσιμα στην αγορά, αλλά αυτά τα συστήματα δεν ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις, όταν πρέπει να εκτελέσουν προηγμένες 3D εργασίες. Ένα 3D ΣΓΠ πρέπει να μπορεί να παρέχει πληροφορία για χωρικά φαινόμενα με την εκτέλεση εργασιών που το 2D παρέχει ήδη, όπως την καταγραφή χωρικών δεδομένων στο σύστημα, τη δόμηση χωρικών δεδομένων σε μια γεωβάση, αλλά και ανάλυση και απεικόνιση / οπτικοποίηση του αποτελέσματος. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι περισσότερες από τις πρόσφατες διαθέσιμες διαδικτυακές εφαρμογές στοχεύουν στην απεικόνιση τρισδιάστατων δεδομένων και σπανίως εστιάζουν στην επεξεργασία και ανάλυσή τους (Zlatanova, 2013).

Έχουν υπάρξει πράγματι ραγδαίες εξελίξεις στο πεδίο της τρισδιάστατης απεικόνισης, ειδικά στην πλοήγηση. Πρόσφατα, οι τεχνικοί περιορισμοί στην χρήση της τρισδιάστατης πληροφορίας (όπως υπολογιστική ισχύς και εργαλεία για 3D απεικόνιση) έχουν σχεδόν ξεπεραστεί και στις περισσότερες περιπτώσεις (ειδικά σε αστικό περιβάλλον), η εξέλιξη στα 3D αντικείμενα προχωρά δυναμικά. Μεγάλη συνεισφορά σε αυτήν τη διαδικασία έχουν νέα απεικονιστικά περιβάλλοντα που βασίζονται στο διαδίκτυο όπως η Google Earth και η Microsoft Virtual Earth, που έχουν καταστήσει την πρόσβαση και την απεικόνιση των 3D δεδομένων φυσική και κατανοητή για ευρύ κοινό (εικόνα 3.1). Αντιθέτως, η επεξεργασία και απεικόνιση της 3D πληροφορίας δεν είναι κάτι καινούριο στην Ηλεκτρονική Σχεδίαση (*Computer Aided Design* -CAD), καθώς τα συστήματα Ηλεκτρονικής Σχεδίασης έχουν μακρά ιστορία στη διαχείριση πληροφορίας στις τρεις διαστάσεις, αλλά έχουν σχεδιαστεί για διαφορετικές εφαρμογές σε σχέση με τα ΣΓΠ, κάτι που έχει οδηγήσει σε ένα κενό μεταξύ τους. Ο σχεδιασμός των συστημάτων Ηλεκτρονικής Σχεδίασης έχει εστιάσει μερικώς στην ανάπτυξη ισχυρών 3D εργαλείων επεξεργασίας και αποτελεσματικής 3D απεικόνισης, κάτι που δεν ήταν προτεραιότητα μέσα στην ανάπτυξη του ΣΓΠ. Μία ένωση των συστημάτων ηλεκτρονικής σχεδίασης και των ΣΓΠ θα είναι ωφέλιμη και για τα δύο πεδία, ενώ υπάρχει μια ισχυρή τάση από τους προμηθευτές τα τελευταία χρόνια για τη μείωση αυτού του κενού μεταξύ των δύο συστημάτων.



Εικόνα 3.1: Απεικόνιση των εγκαταστάσεων του TU Delft σε Google Earth

Η κύρια διαφορά μεταξύ τους είναι ότι τα συστήματα Ηλεκτρονικής Σχεδίασης σχεδιάστηκαν αρχικά για την μοντελοποίηση των ανθρωπίνων κατασκευών σε ένα τοπικό σύστημα συντεταγμένων, π.χ. κτήρια, βιομηχανικές εγκαταστάσεις κτλ, ενώ το ΣΓΠ σχεδιάστηκε για να απεικονίσει την πραγματικότητα σε ένα σύστημα γεωγραφικών συντεταγμένων σαν αντικατάσταση των κλασικών γεωγραφικών αναλογικών χαρτών.

Η ανάπτυξη έχει οδηγήσει στην υποστήριξη μιας ποικιλίας θεμελιωδών στοιχείων (primitives), π.χ. κώνος, σφαίρα, κύλινδρος, και άλλων σχημάτων από τα συστήματα Ηλεκτρονικής Σχεδίασης για τη διαχείριση συνθετών κατασκευών, ενώ το ΣΓΠ υποστηρίζει σημεία, γραμμές και πολύγωνα με περιεχόμενες ιδιότητες. Η εξέλιξη και των δύο συστημάτων πλέον τα φέρνει πιο κοντά. Για παράδειγμα η Ηλεκτρονική Σχεδίαση έχει επεκταθεί στη δυνατότητα να δουλεύει με δισδιάστατες προβολές, ορίζοντας σύνθετη ιεραρχία ιδιοτήτων και να εκτελεί ανάλυση σαν τα ΣΓΠ (Pu και Zlatanova, 2006), ενώ η ΣΓΠ κοινότητα απαιτεί περισσότερο ρεαλιστική απεικόνιση, δυνατότητες 3D επεξεργασίας και βέλτιστες δυνατότητες πλοήγησης.

Το ερώτημα όμως παραμένει: Γιατί είναι τελικά τόσο δύσκολο να συγχωνεύσουμε τα συστήματα Ηλεκτρονικής Σχεδίασης και των Γεωγραφικών Πληροφοριών; Τελικά, η κύρια δυσκολία είναι η ύπαρξη μεγάλων διαφορών μεταξύ των τύπων δεδομένων και των μορφοτύπων που υποστηρίζονται από τα συστήματα, και αυτό κάνει δύσκολη την εξαγωγή μοντέλων μεταξύ των συστημάτων χωρίς την απώλεια δεδομένων. Για παράδειγμα αφού το ΣΓΠ δεν υποστηρίζει όλα τα βασικά σχήματα που υποστηρίζει το CAD, είναι δυνατές οι απώλειες γεωμετρίας κατά την εξαγωγή από CAD σε GIS. Ένα αντικείμενο που απεικονίζεται με ελεύθερης μορφής σχήματα για παράδειγμα στην Ηλεκτρονική Σχεδίαση, λογικά θα απεικονίζεται με γραμμές και πολύγωνα στο ΣΓΠ. Από την άλλη ένα μοντέλο που μετατρέπεται από ΣΓΠ σε Ηλεκτρονική Σχεδίαση μπορεί να χάσει σημασιολογική πληροφορία, αφού το CAD έχει μικρότερη «εμπειρία» όσον αφορά στις σημασιολογικές πληροφορίες.

Η ουσία του ΣΓΠ είναι η αποθήκευση γεωγραφικής και σημασιολογικής πληροφορίας σε ένα σύστημα και η υποστήριξη ανάλυσης και στα δύο πεδία. Στη σημασιολογική μοντελοποίηση, τόσο τα σταθερά όσο και τα μη σταθερά αντικείμενα έχουν γεωμετρία και έχουν πολλά χαρακτηριστικά όπως ιδιότητες (πχ. Όνομα, λειτουργία κτλ.), σχέσεις και συνθήκες μέσα σε ένα αντικείμενο και μεταξύ αντικειμένων. Οι γεωμετρικές και θεματικές ιδιότητες μαζί αποτελούν τη σημασιολογία για ένα αντικείμενο. Το ΣΓΠ έχει μακρά ιστορία για τη διαχείριση θεματικών πληροφοριών που σχετίζονται με λειτουργικά αντικείμενα όπως κτήρια και δρόμοι. Μέσα στο CAD το ενδιαφέρον στις θεματικές πληροφορίες έχει αυξηθεί μόλις τα τελευταία χρόνια. Ακόμα μια μεγάλη δυσκολία και στα δύο συστήματα είναι η διατήρηση συνέπειας στη γεωμετρία π.χ. κατά τη σύνθετη μοντελοποίηση η γεωμετρία είναι κλειστή. Ένα ανώτερο επίπεδο σημασιολογίας κατά την ανταλλαγή δεδομένων θα μπορούσε να αποτρέψει την απώλεια πληροφορίας, όπως της τοπολογίας.

Ενώ η γεωμετρία καθορίζει που βρίσκεται το 3D αντικείμενο στο χώρο, η τοπολογία περιγράφει τις σχέσεις των αντικειμένων. Μερικά παραδείγματα των σχέσεων είναι η γειτνίαση, έγκληση, επικάλυψη κ.α., συνεπώς η τοπολογία μπορεί να είναι συμπλήρωμα της γεωμετρίας και συχνά το θεμέλιο για τις περισσότερες χωρικές λειτουργίες. Η τοπολογική ιδιότητα ενός αντικείμενου αποφασίζεται από τη γεωμετρία των αντικειμένων. Για παράδειγμα, για να βρεθεί η γειτνίαση των αντικειμένων πρέπει η γεωμετρία να μελετηθεί για ανεύρεση κοινών σημείων, γραμμών και πολυγώνων που είναι παρακείμενα, κάτι το οποίο απαιτεί πολύ διερεύνηση, υπολογισμό και σύγκριση μεταξύ της γεωμετρίας των αντικειμένων. Επειδή η τρισδιάστατη πληροφορία είναι πολύ πιο σύνθετη και έχει υψηλότερη ποιότητα, αυτοί οι υπολογισμοί είναι μακράν πιο ακριβοί σε 3D παρά σε 2D πληροφορία.

Τελικά ένα τρισδιάστατο ΣΓΠ πρέπει να μπορεί να εκτελεί χωρικές λειτουργίες, όπως:

- λειτουργίες ανάκτησης, π.χ. ποια είναι η τρέχουσα πληροφορία για ένα συγκεκριμένο αντικείμενο
- λειτουργίες ερωτημάτων όπως ανάκτηση δεδομένων που ικανοποιούν συγκεκριμένες συνθήκες
- ενιαία ανάλυση χωρικών και σημασιολογικών δεδομένων π.χ. ταξινόμηση, μέτρηση, κτλ.
- λειτουργίες γειτνίασης, π.χ. αναζήτηση, τοπογραφικές λειτουργίες.
- λειτουργίες συνδεσιμότητας, ζωνών επιρροής (buffering), κτλ.
- υπολογισμό αποστάσεων, εμβαδού και όγκου (3D μόνο)

Δυστυχώς οι περισσότερες από τις λειτουργίες είναι διαθέσιμες σήμερα μόνο στις δύο διαστάσεις. Το ίδιο ισχύει και στην τοπολογία. Πολλά ΣΓΠ πακέτα μπορούν να κατασκευάσουν 2D τοπολογικά μοντέλα, ενώ μερικά πακέτα Ηλεκτρονικής Σχεδίασης παρέχουν εργαλεία για τον έλεγχο της τοπολογικής συνέπειας π.χ. MicroStation. Είναι λογικό ότι αν μετακινηθούμε από 2D σε 3D, η πολυπλοκότητα των σχέσεων θα αυξηθεί και πρέπει να οριστούν νέες προσεγγίσεις, κανόνες και απεικονίσεις.

Η επιτυχία των 3D ΣΓΠ εξαρτάται από την ανάπτυξη αποτελεσματικών τρισδιάστατων μοντέλων. Καθώς ένας μεγάλος αριθμός ειδικών, προμηθευτών και ερευνητών συνεχώς εξετάζουν την τρίτη διάσταση, η ανάπτυξη ενός διαλειτουργικού 3D μοντέλου είναι απαραίτητη για την επιτυχία του 3D ΣΓΠ. Η διαχείριση και ανταλλαγή πληροφορίας θα είναι επίσης σχετικά εύκολη και απλή. Πράγματι, δεν είναι δυνατόν να υπάρχει ένα τρισδιάστατο μοντέλο που θα μπορεί να εξυπηρετήσει όλους τους τομείς εφαρμογών. Ωστόσο, δεν πρέπει να είναι τόσο δύσκολο να συμφωνηθεί ένα βασικό 3D ενιαίο μοντέλο (3DIM), το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αναφορά για πολλές εφαρμογές. Πρακτικά, οι τοπογραφικοί χάρτες έχουν διαδραματίσει τον ρόλο ενός τέτοιου βασικού μοντέλου για πολλές δεκαετίες στις δύο διαστάσεις. Είναι καιρός λοιπόν να σκεφτούμε σοβαρά ένα μοντέλο που αντιμετωπίζει τις ανάγκες των αγορών και της έρευνας και εμποδίζει την εμφάνιση χιλιάδων διαφορετικών μοντέλων τα επόμενα χρόνια.

3.1 3D ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ

Τα 3D μοντέλα δημιουργήθηκαν μέσα στο πέρασμα των χρόνων σε διαφορετικούς τομείς και για διαφορετικές σκοπιμότητες, όπως αναλύεται παρακάτω:

- Κάποια από τα πρώτα 3D μοντέλα έχουν αναπτυχθεί για γεωμετρική μοντελοποίηση. Ο στόχος αυτών των πρώτων μοντέλων ήταν η τήρηση τοπολογικά σωστών γεωμετρικών μοντέλων προκειμένου να εξασφαλιστεί η συνεπής επεξεργασία και απεικόνιση. Βασίζονται σε καλώς ορισμένες επιφάνειες, που σημαίνει ότι έχουν τις ακόλουθες ιδιότητες: είναι κλειστά, προσανατολισμένα, μη αυτό-τεμνόμενα, οριοθετημένα και συνδεδεμένα.
- Μια άλλη ομάδα μοντέλων που έχουν αναπτυχθεί για διαχείριση δεδομένων, επικεντρώνεται σε επαρκή αποθήκευση και δημιουργία ερωτημάτων σε μεγάλα σύνολα δεδομένων, και διατήρηση ποικίλων ιδιοτήτων (Breuning και Zlatanova, 2011). Τα σύνολα δεδομένων που είναι τοπολογικά σωστά δεν είναι η προτεραιότητα, παρόλο που η επικύρωση του αντικείμενου μπορεί να ελεγχθεί.

- Η τρίτη ομάδα μοντέλων έχει δημιουργηθεί συγκεκριμένα για γρήγορη και ρεαλιστική απεικόνιση. Τέτοια μοντέλα παρέχουν εκτεταμένα εργαλεία για τη δημιουργία μια γραφικής σκηνής (διατηρώντας υφές, φωτισμό και κινούμενες εικόνες) και δεν λαμβάνουν υπόψη έγκυρα αντικείμενα ή ζητήματα δομών.

Η εξέλιξη στην 3D μοντελοποίηση είναι προφανής ειδικά στον διανυσματικό τομέα για την παράσταση ευκρινών αντικειμένων: τα γεωμετρικά μοντέλα είναι ευρέως διαθέσιμα και χρησιμοποιούμενα, τα τοπολογικά μοντέλα ερευνώνται και ελέγχονται με επιτυχία μερικά καλά πρωτότυπα (1Spatial, CC-modeller κτλ), ενώ τα μοντέλα δικτύων είναι πολλά υποσχόμενα για απεικονίσεις εσωτερικών χώρων. Η αξία των σημασιολογικών πληροφοριών αναγνωρίζεται συνεχώς, ενώ το 2008 έγινε πρότυπο ένα 3D σημασιολογικό μοντέλο.

3.1.1 3D Γεωμετρικά μοντέλα

Τα γεωμετρικά μοντέλα είναι τα πιο απλά 3D μοντέλα, τα οποία διατηρούν τις συντεταγμένες μαζί με τα αντικείμενα. Παρόλο που οδηγούν σε μεγάλους όγκους δεδομένων (ένα ζεύγος συντεταγμένων μπορεί να επαναληφθεί πολλές φορές στην περιγραφή ενός από τα χαρακτηριστικά), τα μοντέλα αυτά είναι απλά και γρήγορα και απαιτούν από τα υφιστάμενα ΣΔΒΔ (Συστήματα Διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων) να είναι συμβατά για τη διαχείριση χωρικών δεδομένων. Ωστόσο, η τρίτη διάσταση έχει γίνει μια σοβαρή πρόκληση για τους προμηθευτές των ΣΔΒΔ που διαχειρίζονται τα χωρικά δεδομένα. Έχει πραγματοποιηθεί ένας μεγάλος αριθμός πειραμάτων από ερευνητές για να διερευνήσουν δυνατότητες αποθήκευσης, χωρικών ερωτημάτων και απεικόνισης χαρακτηριστικών με τις τρισδιάστατες συντεταγμένες τους. Τα γνωστά ΣΔΒΔ μπορούν να διατηρούν 3D δεδομένα με ένα σχετικά τυποποιημένο τρόπο, ενώ τα δεδομένα μπορούν να είναι προσπελάσιμα και να απεικονίζονται με έναν μεγάλο αριθμό από εφαρμογές περιβάλλοντος. Η Oracle spatial 11g έχει εφαρμόσει τον πρώτο 3D τύπο δεδομένων (πολύεδρο) και αναμένεται να ακολουθήσουν και άλλα ΣΔΒΔ. Μεγάλος αριθμός γνωστών χωρικών λειτουργιών υποστηρίζουν μόνο δισδιάστατα δεδομένα και επιπλέον έχει αποδειχθεί ότι η διαχείριση ποικίλων τύπων χωρικών δεδομένων και λειτουργιών είναι πολύ δύσκολη, καθώς ποικίλουν σε κάθε ΣΔΒΔ.

3.1.2 3D Τοπολογικά μοντέλα

Πολλοί ερευνητές έχουν αναφερθεί στα 3D τοπολογικά μοντέλα, ωστόσο δεν υπάρχει επί του παρόντος διαθέσιμη εμπορική εφαρμογή 3D τοπολογίας. Τα τοπολογικά μοντέλα προϋποθέτουν μοναδικά αναγνωριστικά για όλα τα θεμελιώδη στοιχεία, που χρησιμοποιούνται για τον ορισμό των χαρακτηριστικών και των σχέσεων μεταξύ τους. Οι συντεταγμένες αποθηκεύονται αποκλειστικά στις κορυφές (κόμβους). Τα τοπολογικά μοντέλα πάντοτε θεωρούνταν ωφέλιμα γιατί επιτρέπουν συμπαγή αποθήκευση (αποφεύγουν τον πλεονασμό), διατηρούν συνέπεια των δεδομένων μετά την επεξεργασία, χωρικές αναλύσεις που είναι εύκολο να εκτελεστούν κτλ. Από την άλλη, η πολυπλοκότητα είναι πιο υψηλή. Έχει γίνει εκτεταμένη έρευνα σε έναν αριθμό θεμελιακών στοιχείων και σχέσεων και προτάθηκαν ποικίλα 3D μοντέλα όπως το 3D Formal Data Structure (3DFDS), Urban Data Model (UDM), Simplified Spatial Structure (SSS) και το Tetrahedral Network (TEN). Ωστόσο, πρέπει να σχεδιαστεί ένα τοπολογικό μοντέλο που συγχωνεύει όλα αυτά τα 3D μοντέλα. Πρόσφατη έρευνα, επικεντρώθηκε ξανά στο TEN μοντέλο, το οποίο είναι ένα πολύ απλό καλώς ορισμένο μοντέλο, που εξασφαλίζει ότι τα επίπεδα πρόσωπα και τα κυρτά σχήματα επιτρέπουν ισχυρή συνεπή διαχείριση. Το TEN μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μοντελοποίηση σχεδόν όλων των φυσικών και ανθρώπινων φαινομένων, εάν αποδεχτούμε ότι τα πραγματικά τρισδιάστατα αντικείμενα είναι πάντοτε ογκομετρικά. Μια άλλη ενδιαφέρουσα πτυχή της 3D μοντελοποίησης είναι ότι επεκτείνεται πέραν των παραδοσιακών απλών χαρακτηριστικών- σημείο, γραμμές, πολύγωνα και στερεά. Η προδιαγραφή OGC Abstract προτείνει ένα εύρος από παραμετρικά και ελεύθερης μορφής σχήματα για

να εφαρμοστούν στον τομέα των ΣΓΠ, αλλά επί του παρόντος κανένα πακέτο ΣΓΠ ή ΣΔΒΔ δεν μπορεί να τα διαχειριστεί. Η μονή επιλογή που είναι τώρα διαθέσιμη για συγχώνευση είναι η εισαγωγή του 3D ΣΓΠ μοντέλου στο πακέτο AEC. Ωστόσο, τέτοιες λύσεις μπορούν να διατηρηθούν μόνο μέσω των βιομηχανικών εμπορικών αρχείων.

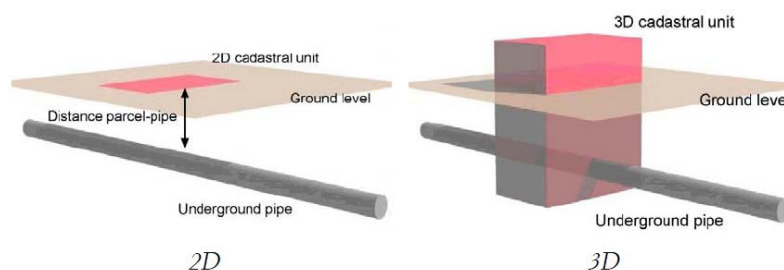
3.1.2.1 Εφαρμογή στο 3D κτηματολόγιο

Τα 3D μοντέλα συχνά σχετίζονται μόνο με τρισδιάστατη απεικόνιση, ενώ τα τρισδιάστατα χωρικά ερωτήματα, π.χ. ένα από τα βασικά ζητήματα ενός λειτουργικού 3D ΣΓΠ, είναι συχνά υποβαθμισμένα. Παρακάτω παρουσιάζονται μερικά από τα τρισδιάστατα ερωτήματα και έννοιες με βάση το 3D κτηματολογικό μοντέλο (Billen and Zlatanova, 2003).

3.1.2.1.1 Επίδραση της αναπαράστασης του αντικειμένου (2D/3D) στο χωρικό ερώτημα

Ένα κοινό χωρικό ερώτημα στον αστικό σχεδιασμό είναι ο καθορισμός όλων των ιδιοκτητών που επηρεάζονται από γεωγραφικά φαινόμενα (π.χ. σωλήνες, δρόμοι, ηχορύπανση κτλ). Η 2D λύση είναι η επιλογή όλων των κτηματολογικών τεμαχίων που τέμνονται ή εφάπτονται από αυτά τα φαινόμενα. Η απεικόνιση των φαινομένων στις δύο διαστάσεις (π.χ. δρόμος) γίνεται με υπέρθεση στο κτηματολογικό αντικείμενο και το ερώτημα δομείται ως εξής « επέλεξε όλα τα αντικείμενα που έχουν κοινά μέρη». Πρακτικά, αυτή είναι μια επιλογή τεμαχίων βασισμένη σε τοπολογικά κριτήρια. Ποια όμως είναι η εξέλιξη ενός τέτοιου ερωτήματος σε ένα 3D μοντέλο; Μια λύση για να επεκταθεί η ιδέα στις τρεις διαστάσεις είναι να διατηρηθεί ο τύπος του ορισμού π.χ. το δισδιάστατο κτηματολογικό τεμάχιο κάτι το οποίο είναι δυνατόν, γιατί το 3D μοντέλο δεν συνεπάγεται διατήρηση μόνο τρισδιάστατων χωρικών αντικειμένων, αλλά έχει ακόμα 2D διαστάσεις.

Στην περίπτωση όμως που κάποιος θα ήθελε να εκφράσει τις σχέσεις σε άλλα αντικείμενα κάτω ή άνω από το έδαφος, θα ήταν απαραίτητο είτε 1) να συνδεθεί στην κτηματολογική μονάδα ως ιδιότητα η απόσταση του άλλου αντικειμένου ή 2) να υπολογιστεί η απόσταση μεταξύ των δύο αντικειμένων. Ας σημειωθεί ότι πρέπει να οριστεί σαφώς ο προσανατολισμός της απόστασης. Στην πρώτη περίπτωση αποθηκεύεται πρόσθετη πληροφορία ιδιοτήτων, ενώ στη δεύτερη περίπτωση τα χωρικά ερωτήματα απαιτούν μετρικούς υπολογισμούς (π.χ. δεν είναι τοπολογικά ερωτήματα). Στην εικόνα 3.2 φαίνεται ένα παράδειγμα μιας δισδιάστατης κτηματολογικής μονάδας και ενός υπογείου σωλήνα. Το ερώτημα μπορεί να τεθεί ως εξής: « είναι ο σωλήνας σε μια ορισμένη απόσταση από την 2D κτηματολογική μονάδα;». Μια άλλη λύση είναι η δημιουργία ενός νέου 3D αντικειμένου, π.χ. μια τρισδιάστατη κτηματολογική μονάδα που μπορεί να απεικονιστεί από ένα πολύεδρο. Σε αυτήν την περίπτωση, το ερώτημα τίθεται ως εξής: «ο σωλήνας τέμνεται ή περιλαμβάνεται στην 3D κτηματολογική μονάδα;» (εικόνα 3.2, 3D). Το χωρικό ερώτημα έχει τότε την ίδια φύση με την αρχική εγγραφή στις δύο διαστάσεις, δηλαδή είναι τοπολογικό.



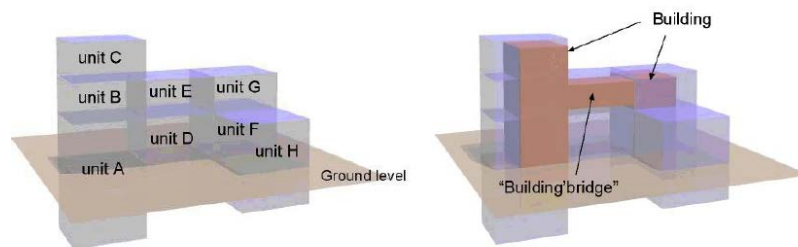
Εικόνα 3.2: « περνά ο σωλήνας διαμέσου της κτηματολογικής μονάδας;» (πηγή: Billen and Zlatanova, 2003)

Το συμπέρασμα είναι ότι τα τρισδιάστατα χωρικά ερωτήματα είναι μεγάλης σημασίας για την τρίτη διάσταση. Αυτό είναι αληθές ανεξαρτήτως της επιλογής μεταξύ 2D ή 3D κτηματολογικών μονάδων. Ωστόσο, αν η κτηματολογική μονάδα ορίζεται ως τρισδιάστατο αντικείμενο, πρέπει να

υποστηρίζονται και οι αντίστοιχες τοπολογικές σχέσεις, συνεπώς πρέπει να εξεταστεί ως επιλογή μια δομή 3D τοπολογικών δεδομένων. Παρακάτω παρουσιάζονται κάποια παραδείγματα προς αυτήν την κατεύθυνση.

3.1.2.1.2 Τρισδιάστατη κατάτμηση του χώρου

Η χρήση της 3D κτηματολογικής μονάδας μπορεί να οδηγήσει σε μια νέα προσέγγιση και μια νέα διαίρεση του ιδιοκτησιακού χώρου. Η εικόνα 3.3 δείχνει ένα τμήμα κτηματολογικού χώρου. Μπορούμε να φανταστούμε ότι το κτήριο στην εικόνα 3.3 χτίζεται πάνω ή σε μια κτηματολογική ιδιοκτησία που αποτελείται από τις κτηματολογικές μονάδες A, B, C, E, F και G, όταν η μονάδα D αντιστοιχεί σε οδικό τμήμα (ιδιοκτησία του δήμου). Αυτό το είδος του τμήματος μπορεί να είναι πολύ ενδιαφέρον για τεχνικές κατασκευές όπως σωλήνες αποχέτευσης κτλ. Προφανώς, αυτή η προσέγγιση προϋποθέτει πλήρη υποστήριξη των 3D χωρικών σχέσεων και αντικειμένων.

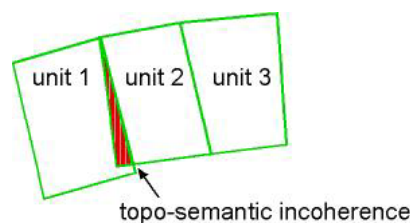


Εικόνα 3.3: α) κτηματολογική διαίρεση χώρου β) Κτήριο (πηγή: Billen and Zlatanova, 2003)

3.1.2.1.3 Συνέπεια των δεδομένων

Μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις της κτηματολογικής διαχείρισης υπήρξε ανέκαθεν η ποιότητα και συνέπεια των δεδομένων. Η συνέπεια των τοπολογικών σχέσεων μεταξύ αντικειμένων συχνά θεωρείται το κύριο κριτήριο για ποιότητα στο μοντέλο. Τα παραπάνω παραδείγματα αναφέρονται στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ κτηματολογικών και άλλων αντικειμένων (τοπογραφικών ή περιγραφικών), αλλά οι χωρικές σχέσεις υπάρχουν και μεταξύ κτηματολογικών αντικειμένων. Για παράδειγμα, ένα σημαντικό έργο του κτηματολογίου είναι να ομαδοποιεί τη γη σύμφωνα με ένα ιδιοκτησιακό κριτήριο. Εξ ορισμού, ένα κομμάτι γης μπορεί να μην ανήκει σε παραπάνω από μια κτηματολογική μονάδα. Αυτό μπορεί να ελέγχεται με τοπολογικές σχέσεις μεταξύ των κτηματολογικών μονάδων, π.χ. μια κτηματολογική μονάδα μπορεί να μην τέμνει κάποια άλλη.

Είναι φανερό ότι αν μπορούμε να οραματιστούμε 3D κτηματολογικά μοντέλα, πρέπει να υιοθετήσουμε 3D τοπολογικές δομές. Επιπλέον, υπάρχουν διαφορετικοί τύποι ασυνεπειών στα χωρικά δεδομένα. Η εικόνα 3.4 απεικονίζει παραδείγματα 2D και 3D τόπο-σημασιολογικής ασυνέπειας.



Εικόνα 3.4: Τόπο-σημασιολογική ασυνέπεια. (πηγή: Billen and Zlatanova, 2003)

3.1.3 3D Σημαιολογικά μοντέλα

Πέρα από την τοπολογία και την γεωμετρία, πρέπει να συσταθεί η θεματική σημασιολογία των 3D αντικειμένων. Για 3D αστικά μοντέλα υπάρχουν λίγα μόνο θεματικά σημασιολογικά μοντέλα. Μια κοινή κατανόηση είναι ότι τα κτήρια και τα αντικείμενα εδάφους είναι τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά για την περιγραφή ενός τρισδιάστατου μοντέλου πόλης. Με βάση αυτό, η τρέχουσα έκδοση του CityGML (το μόνο 3D πρότυπο που περιλαμβάνει θεματική σημασιολογία αλλά και 3D γεωμετρία/ τοπολογία) έχει επίσης περιλάβει μόνο επιφάνεια και χαρακτηριστικά άνω του εδάφους. Έχουν δημιουργηθεί πολλά σημασιολογικά μοντέλα και έχουν γίνει αποδεκτά ως πρότυπα, όπως το Μοντέλο Δεδομένων Βορείου Αμερικής (North American Data Model) και η Geology Science Markup Language, (GeoSciML) για την απεικόνιση γεωλογικών παρατηρήσεων και μάλιστα πολλές από αυτές τις απεικονίσεις είναι παραδείγματα του καταμερισμού του αστικού χώρου σε χαρακτηριστικά, αλλά δεν περιέχουν χαρτογράφηση των 3D γεωμετρικών απεικονίσεων. Σε αυτό το πλαίσιο, το CityGML έχει κάνει την πρώτη κίνηση για την έρευνα και τις εξελίξεις προς τη συγχώνευση μοντελοποίησης 3D σημασιολογίας/ γεωμετρίας/τοπολογίας. Επιπλέον, επεκτάσεις σε CityGML ή παρόμοια μοντέλα θα χρειαζόταν να επιτρέπουν άψογη συγχώνευση των αντικειμένων άνω, κάτω ή επί του εδάφους.

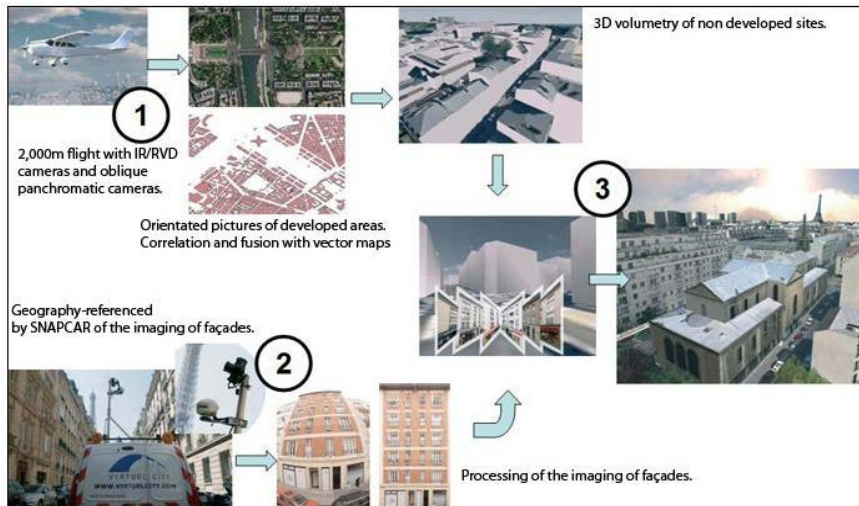
3.2 ΤΕΧΝΙΚΕΣ 3D ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ

Οι τεχνικές για μοντελοποίηση τρισδιάστατων αστικών δομών ή εικονικών πόλεων (Virtual city) χρησιμοποιούν διαδικασίες για την επεξεργασία εικόνας αλλά και τη δημιουργία γεωμετρίας στις τρεις διαστάσεις και ποικίλουν αναλόγως της σκοπιμότητας της μελέτης και του αντικειμένου του τρισδιάστατου μοντέλου. Παρακάτω αναλύονται μερικές τεχνικές τρισδιάστατης μοντελοποίησης ενώ στην εικόνα 3.5, φαίνεται μια διαδικασία μοντελοποίησης πόλης που χρησιμοποιεί αεροφωτογραφίες, χαρτογραφία και εικόνες εδάφους.

3.2.1 Φωτογραμμετρία

Η αναδόμηση τρισδιάστατων αντικειμένων με τη χρήση αεροφωτογραφιών είναι μια κοινή μέθοδος για πολλές διαδικασίες μοντελοποίησης πόλεων, λόγω της σχετικής ταχύτητας και της οικονομικής απόδοσης.

Συγκεκριμένα, εντοπίζονται τα γεωμετρικά αντικείμενα στις αεροφωτογραφίες και μπορούν να υλοποιηθούν ακριβείς απεικονίσεις, αν οι κλίμακες είναι γνωστές. Η στερεοφωτογραμμετρία απαιτεί επικαλυπτόμενα ζεύγη αεροφωτογραφιών που έχουν ληφθεί ταυτόχρονα για τη δημιουργία ενός στερεοζεύγους εικόνων, το οποίο επιτρέπει στον χρήστη να εντοπίσει τα περιγράμματα των κτηρίων αλλά και το υψόμετρο τους.



Εικόνα 3.5: Παράδειγμα της διαδικασίας μοντελοποίησης μιας εικονικής πόλης (Virtuel, 2009)

Αυτή η βασική γεωμετρία ομαδοποιείται για να σχηματίσει απεικονίσεις αστικών αντικειμένων- π.χ. κτήρια, γη, δρόμους ή δέντρα κτλ. Η διαδικασία διευκολύνεται με αυτόματα σημεία (automatic point) ή εξαγωγή αντικειμένων (object extraction), ή σε μικρότερο βαθμό, με την χρησιμοποίηση ανοιχτών βιβλιοθηκών (Remondino, 2008). Συνεπώς, οι φωτογραμμετρικές τεχνικές περιλαμβάνουν την εξαγωγή τόσο γεωμετρικής όσο και σημασιολογικής πληροφορίας από εικόνες. Με άλλα λόγια, αρχιτεκτονικά και χαρακτηριστικά τοπίου όπως κτήρια, γέφυρες, σιδηροδρομικοί σταθμοί και δενδροστοιχίες μπορούν να διακριθούν και να μοντελοποιηθούν αναλόγως, ενώ προσωρινά χαρακτηριστικά, όπως αμάξια και άνθρωποι μπορούν να αποκλειστούν. Η συγκέντρωση συγκεκριμένων σημασιολογικών πληροφοριών πραγματοποιείται με τη συλλογή πληροφορίας από αεροφωτογραφίες, όπως υπέρυθρες.

3.2.2 Μοντελοποίηση βάση εικόνων

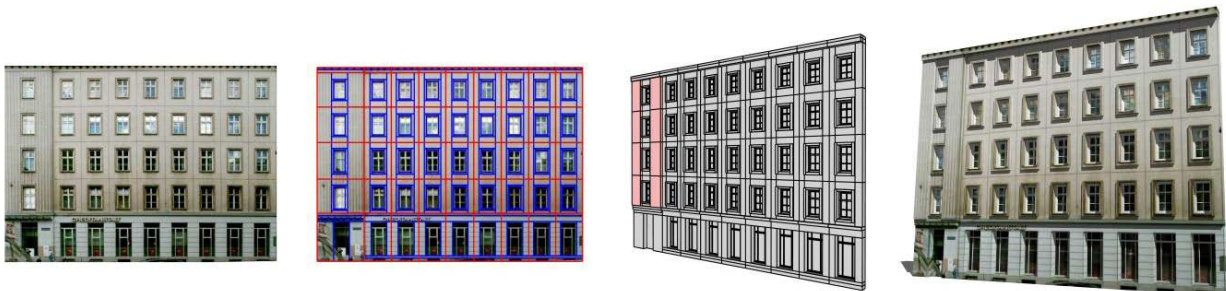
Η μοντελοποίηση βάση εικόνων (Image-based modeling, IBM) ή αλλιώς φωτο-μοντελοποίηση (photo-modeling) διαφέρει από άλλες διαδικασίες, καθώς βασίζεται σε τυπικές φωτογραφίες στο επίπεδο του εδάφους για την αναδόμηση των τρισδιάστατων κτηρίων. Για τη δημιουργία 3D γεωμετρίας τα λογισμικά IBM απαιτούν πολλαπλές εικόνες για τη δημιουργία του πλέγματος του τρισδιάστατου κτηρίου (3D building wireframe), ενώ χρησιμοποιούν τις εικόνες για να εφαρμόσουν τις υφές του κτηρίου στο τελικό μοντέλο. Τα IBM πακέτα έχουν δημιουργηθεί για τη δημιουργία μοντέλων, τα οποία έχουν βελτιστοποιηθεί σε όρους μεγέθους αρχείων αλλά παρόλα αυτά διατηρούν υψηλό βαθμό ρεαλισμού, κάτι το οποίο αρμόζει σε αστικά μοντέλα που διανέμονται στο διαδίκτυο.

Ωστόσο, αρχικά παραδείγματα τέτοιου λογισμικού υστερούσαν σε ταχύτητα, αξιοπιστία και ακρίβεια. Ο Wonka (2003) εξηγεί ότι το IBM ήταν μια υποσχόμενη οδός για αστική ανοικοδόμηση στις αρχές του 2000, με αρχικά εργαλεία που παρήγαγαν εξαιρετικά μοντέλα υψηλής ακρίβειας, παρόλη τη διαδικασία εντατικής εργασίας. Παρόλο που έχει σημειωθεί πρόοδος, οι διαδικασίες μοντελοποίησης είναι ακόμα σχετικά επίπονες και απλά αποτελούν μόνο ένα χαρακτηριστικό πολλών καθιερωμένων πακέτων 3D μοντελοποίησης όπως του Blender, 3DS max, ZBrush και SketchUp.

Η τελευταία εξέλιξη σε IBM παράγει όμοια αποτελέσματα με σκανάρισμα (scanning), όπου παράγονται νέφη σημείων (point clouds) από ένα σύνολο εικόνων. Έχοντας βαθμονομήσει το λογισμικό προκειμένου να αντισταθμίσει την παραμόρφωση από τον φακό, μπορούν να παραχθούν τρισδιάστατα αντικείμενα υψηλής ακρίβειας.

3.2.3 Παραμετρική Μοντελοποίηση

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί την παραδοχή ότι όλα τα αντικείμενα και ειδικά τα κτήρια ακολουθούν ένα σύνολο κανόνων στην κατασκευή τους, που επιτρέπουν τελικά στο χρήστη να προγραμματίσει αποτελεσματικώς ένα 3D κτηριακό μοντέλο. Τα λογισμικά παραμετρικής ή αλλιώς κανονιστικής μοντελοποίησης χρησιμοποιούν γραμματικές αντικειμένων (object grammars) για την κατασκευή των τρισδιάστατων μοντέλων. Αυτά τα προϊόντα έχουν σχεδιαστεί κυρίως για χρήση στην πολεοδομία (Wonka et al., 2003), για προσομοιώσεις αλλά και για εκπαιδευτικούς σκοπούς, αλλά υπάρχει μια αυξημένη ζήτηση σε κινηματογραφικές ταινίες και τη βιομηχανία των παιχνιδιών, εξαιτίας του χαμηλού κόστους και της ταχείας μεθόδου για τη δημιουργία ρεαλιστικών και πολύπλοκων αστικών περιβαλλόντων. Τέτοια εκτεταμένα μοντέλα ή πακέτα δεδομένων μπορούν να δημιουργηθούν αυτόματα, μιμούμενα ένα συγκεκριμένο αρχιτεκτονικό στυλ ή περίοδο.



Εικόνα 3.6: Παραμετρική μοντελοποίηση: η ορθοανηγμένη εικόνα πρόσοψης σαν δεδομένο εισόδου. Η πρόσοψη διαιρείται αυτόματα και κωδικοποιείται, το τελικό μοντέλο του πολυγώνου, ένα rendering της τελικής γεωμετρίας (πηγή: Muller et al., 2007)

Ένα επιπλέον πλεονέκτημα των τεχνικών παραμετροποίησης είναι η ικανότητα μεταβολής του επιπέδου λεπτομέρειας (LOD) του κτηρίου ή του αστικού μοντέλου, κάτι το οποίο είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για αστικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται σε ποικίλες εφαρμογές. Συνεπώς η παραμετρική μοντελοποίηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση ενός κτηρίου και όμοια με την IBM, η διαδικασία συνήθως ξεκινά με ορθοανηγμένη εικόνα (orthorectified) που χρησιμοποιείται για να ανοικοδομήσει τη γεωμετρία του κτηρίου (εικόνα 3.7). Περισσότερες λεπτομέρειες θα δοθούν στο 4^ο κεφάλαιο.

3.2.4 Τεχνικές Αυτόματης μοντελοποίησης

Ο Dollner et al. (2006) διευκρινίζει ότι οι εικονικές πόλεις που έχουν προκύψει με ημιαυτόματες τεχνικές ή αυτόματες είναι χρήσιμες, αν η σκοπιμότητα της χρήσης τους προβλέπεται μακροπρόθεσμα. Αυτοματισμοί μεγάλης κλίμακας απαιτούν μεγάλα σύνολα αεροφωτογραφιών συμπεριλαμβανομένων πλάγιων εικόνων (oblique imagery) ή LiDAR νέφη σημείων προκειμένου να ανακατασκευάσουν τη γεωμετρία. Οι διαδικασίες στο έδαφος με laser scanning εξελίσσονται συνεχώς, προκειμένου να βοηθήσουν στο ραφινάρισμα των δεδομένων από νέφη σημείων και στη δημιουργία της γεωμετρίας των κτηρίων. Σε μερικές περιπτώσεις εφαρμόζονται και παραμετρικές τεχνικές για την ολοκλήρωση της διαδικασίας της μοντελοποίησης. Πραγματικά, οι ψηφιακές κάμερες έχουν εξελιχθεί σημαντικά την τελευταία δεκαετία ως προς το μέγεθος του καρέ, την ανάλυση και την επεξεργασία. Παρόλο που οι τεχνικές αυτόματης μοντελοποίησης κτηρίου υλοποιούνται μετά την διαδικασία της συλλογής των δεδομένων, η ποσότητα και ποιότητα των δεδομένων είναι ο ευνοϊκός παράγοντας για την αυτοματοποίηση. Ένα παράδειγμα των πιο πρόσφατων εξελίξεων σε πλήρες αυτοματισμό χρησιμοποιούν λογισμικό Ultracam και εφαρμόζουν Πολυακτινική Φωτογραμμετρία (Multi-Ray Photogrammetry) (Wiechert και Gruber, 2011), που βασίζονται σε μεγάλο πλήθος

επικαλυπτόμενων εικόνων για την «πυκνή συνταύτιση εικόνων» των τρισδιάστατων αντικειμένων (π.χ. κτηρίων) και του ανάγλυφου.



Εικόνα 3.7: Πυκνή συνταύτιση επικαλυπτόμενων εικόνων για τη δημιουργία 3D γεωμετρίας (Wiechert and Gruber, 2011)

Τέτοιου είδους τεχνικές επιτρέπουν την μοντελοποίηση των πόλεων πολύ γρηγορότερα από χειροκίνητες διαδικασίες, αλλά περιορίζονται ακόμα από προβλήματα της αερομεταφερόμενης συλλογής δεδομένων. Ένας αριθμός διαδικτυακών χαρτογραφικών υπηρεσιών, όπως η Nokia Maps, χρησιμοποιούν τεχνικές αυτόματης μοντελοποίησης και έχουν υιοθετήσει μία μέθοδο τακτικής εκ νέου καταγραφής- συλλογής των δεδομένων παρά μια σταδιακή διαδικασία ενημέρωσης.

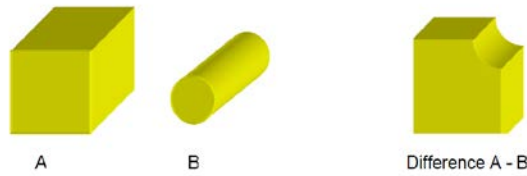
3.3 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΤΕΡΕΩΝ

Στα γραφικά υπολογιστών και στην ηλεκτρονική σχεδίαση, υπάρχουν πολλοί τύποι μοντελοποίησης αντικειμένων, όπως μοντελοποίηση επιφανείας (surface modeling), μοντελοποίηση στέρεων (solid modeling), πλεγματική μοντελοποίηση (wireframe modeling) και μοντελοποίηση βάσει χαρακτηριστικών (feature based modeling). Θα γίνει μια επισκόπηση της μοντελοποίησης στέρεων, που είναι μια τεχνική για μοντελοποίηση στερεών αντικειμένων και ειδικότερα για την απεικόνιση τρισδιάστατων γεωτεμαχίων, έχει εξεταστεί το πεδίο των Στερεών Μοντέλων (Solid Models). Τα στερεά αντικείμενα είναι κλειστοί όγκοι, σε αντίθεση με τις 3D επιφάνειες, ενώ μπορούν να βρεθούν έξι διαφορετικά Μοντέλα Στέρεων: η Κατασκευαστική Στερεή Γεωμετρία, η Αναπαράσταση Ορίων, το μοντέλο Primitive Instancing, οι Αναπαραστάσεις Χωρικών-Καταμήσεων (Spatial-Partitioning Representations), οι Αναπαραστάσεις Σάρωσης (Sweep Representations), και τα σχήματα ελεύθερης μορφής. Μετά από την περιγραφή του κάθε μοντέλου, δίνεται μια επισκόπηση των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων.

3.3.1 Constructive Solid Geometry

Η Κατασκευαστική Στερεή Γεωμετρία (CSG) είναι μια προσέγγιση που χρησιμοποιεί τα απλά θεμελιώδη στοιχεία των σφαιρών, κύβων και κυλίνδρων για τρισδιάστατη απεικόνιση. Η προσέγγιση αυτή προέκυψε από τη διαπίστωση ότι πολλά εμπορικά στοιχεία προέκυψαν από συνδυασμούς των διαφόρων απλών βασικών στοιχείων. Ο συνδυασμός αυτός για τη δόμηση ενός νέου στερεού γίνεται με ένα σύνολο από λογικούς τελεστές π.χ. ένωση, τομή και διαφορά (Foley et al., 1990).

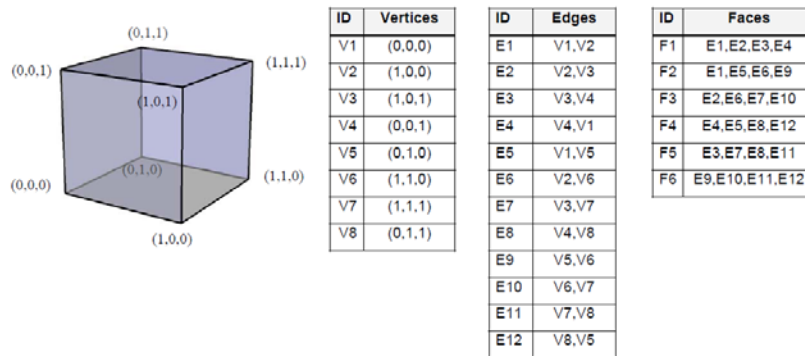
Οι Jarroush και Even-Tzur (2004) προτείνουν μια μέθοδο που χρησιμοποιεί CSG για 3D κτηματολογική απεικόνιση, με την οποία εισαγάγουν ένα ειδικό μορφότυπο κειμένου δεδομένων (3DSRV) για την διευθέτηση της κτηματογράφησης των δεδομένων. Η μέθοδος βασίζεται σε μια μακροεντολή, γραμμένη σε AutoCAD Visual Basic για περιβάλλον ανάπτυξης εφαρμογών, η οποία ορίζει τα 3D γεωτεμάχια αυτομάτως. Με τη χρήση του λογισμικού AutoCAD2002, εφαρμόστηκαν λογικοί τελεστές στα απλά θεμελιώδη στοιχεία. Οι συγγραφείς τονίζουν ότι ένα σημαντικό πλεονέκτημα της 3DSRV μορφής τους, είναι η δυνατότητα μετατροπής σε άλλους μορφότυπους γραφικών ηλεκτρονικών μοντέλων, όπως την απεικόνιση Αναπαράστασης Ορίων.



Εικόνα 3.8: Λογική πράξη σε 3D θεμελιώδη αντικείμενα για τη μέθοδο CSG

3.3.2 Boundary representation (b-rep)

Η Αναπαράσταση Ορίων είναι επίσης γνωστή ως b-rep και αντιπροσωπεύει ένα στερεό από τα όρια της επιφάνειας: κορυφές, ακμές και πρόσωπα. Ένα αντικείμενο που περιγράφεται από b-rep (όπως φαίνεται στο σχήμα 3.9) μοιάζει με τη δομή του πολυέδρου και τετραέδρου που συζητήθηκε ανωτέρω. Η B-rep μπορεί να είναι είτε απλή, όπως επίπεδες επιφάνειες και ευθείες ακμές, ή σύνθετη, όπως καμπύλες επιφάνειες και ακμές (Foley et al., 1990).



Εικόνα 3.9: Ένα αντικείμενο ορισμένο με b-rep

Η b-rep είναι μία χρήσιμη προσέγγιση για τη διατήρηση της τοπολογικής συνοχής μέσω του τύπου του Euler. Το B-rep είναι το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο στερεό μοντέλο για την παρουσίαση 3D αντικειμένων σε ΣΓΠ. Αυτή η προσέγγιση είναι η πιο δημοφιλής για εφαρμογές 3D κτηματολογίου και έχει προταθεί από αρκετούς ερευνητές (Arens, 2005). Επί του παρόντος, εφαρμογές στις τρεις διαστάσεις επικεντρώνονται σε b-rep, αν και η μέθοδος CSG μπορεί να φαίνεται κατάλληλη για πραγματικά αντικείμενα, όπως τα δέντρα, οικοδομικά στοιχεία και αγάλματα, και η voxel εκπροσώπηση για συνεχή φαινόμενα (Stoter, 2004).

3.3.3 Primitive Instancing

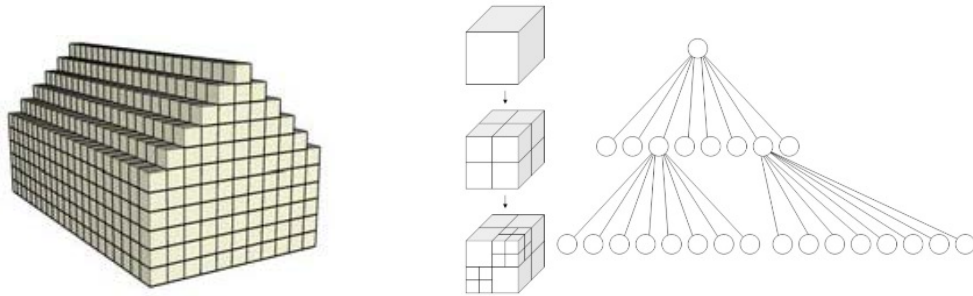
Στην μέθοδο αυτή τα συστήματα μοντελοποίησης ορίζουν μια σειρά από θεμελιώδη στερεά σχήματα. Αυτά τα θεμελιώδη σχήματα ορίζονται σύμφωνα με την συνάφεια της περιοχής εφαρμογής και εκπροσωπούνται μέσω παραμέτρων σε όρους μετασχηματισμού και σε άλλες ιδιότητες (Foley et al., 1990). Αυτή η προσέγγιση μπορεί να δημιουργήσει ουσιαστικά προβλήματα για την υποστήριξη της βάσης δεδομένων, επειδή απαιτεί μια μεγάλη ποσότητα των διαφορετικών τύπων εγγραφής. Επιπλέον, η προσέγγιση δεν εγγυάται μοναδικότητα σε γενικές γραμμές, π.χ. μια σφαίρα μπορεί να εκπροσωπείται και από σφαιρικά και από ελλειπτικά θεμελιώδη στοιχεία. Για να εξασφαλιστεί η μοναδικότητα, το σύνολο των θεμελιωδών στοιχείων πρέπει να επιλέγονται προσεκτικά.

3.3.4 Spatial-Partitioning Representations

Στις Αναπαραστάσεις Χωρικών Καταμήσεων, ένα στερεό διασπάται σε μικρά θεμελιώδη στερεά, που είναι σαν δομικά στοιχεία. Αυτά τα δομικά στοιχεία μπορεί να διαφέρουν ως προς το είδος, το

μέγεθος, τη θέση, την παραμετροποίηση και τον προσανατολισμό. Συναντώνται διάφορες μορφές αυτών των αναπαραστάσεων: Αποσύνθεση κελιών (cell decomposition), Αρίθμηση χωρικής-πληρότητας (spatial-occupancy enumeration), octrees και Κατάτμηση δυαδικού χώρου (binary space-partitioning).

Στην ουσία, αυτές οι μέθοδοι βασίζονται σε ψηφιακές προσεγγίσεις. Αυτό δίνει ένα πλεονέκτημα στην εκπροσώπηση των επιφανειών και του εσωτερικού σώματος, π.χ. το έδαφος, τη θάλασσα ή αέρα. Ένα μειονέκτημα από την άλλη πλευρά είναι η έλλειψη περιγραφής μεμονωμένων αντικειμένων και των τοπολογικών σχέσεων.

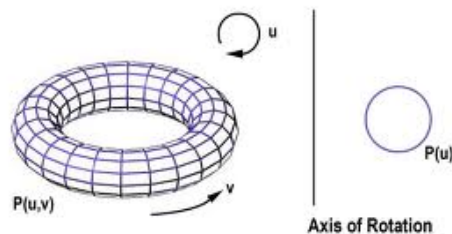


Εικόνα 3.11: Αριστερά: Ένα κτήριο απεικονισμένο με αρίθμηση χωρικής-πληρότητας, δεξιά: η δομή δεδομένων Octree (2 επίπεδα).

Μια ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος είναι τα Τετραεδρικά δίκτυα (Tetrahedral Networks -TEN), τα οποία αποτελούν μια κατάλληλη μέθοδο για πολύπλοκα φαινόμενα και μειώνουν την υπολογιστική πολυπλοκότητα λόγω της σύνθεσης των απλών σχημάτων, όπως κορυφές, ακμές, πρόσωπα και τετράεδρα, ενώ οι προσεγγίσεις Octree και spatial-occupancy enumeration εγγυώνται την μοναδικότητα των απεικονίσεων. Αυτές οι δύο προσεγγίσεις είναι επίσης πολύ εύχρηστες ως προς την επικύρωση. Ένα μειονέκτημα είναι ότι και οι δύο παρέχουν μόνο προσεγγίσεις για τα περισσότερα αντικείμενα.

3.3.5 Sweep Representations

Εάν ένα αντικείμενο επεκτείνεται κατά μήκος μιας τροχιάς θα οδηγήσει στη δημιουργία ενός νέου αντικειμένου. Η προσέγγιση αυτή καλείται αναπαράσταση σάρωσης. Η απλούστερη μορφή της προσέγγισης αυτής είναι η λήψη μιας γραμμής ή μιας επιφάνειας και η εξώθηση της να σχηματίσει έναν όγκο. Αυτό είναι γνωστό ως μεταφραστική σάρωση (translational sweep). Η περιστροφική σάρωση (Rotational sweep) από την άλλη πλευρά ορίζεται λαμβάνοντας μία επιφάνεια που περιστρέφεται γύρω από έναν άξονα (εικόνα 3.12).



Εικόνα 3.12: Περιστροφική σάρωση

Οι μέθοδοι αυτοί έχουν αποδειχθεί πολύ χρήσιμες σε εφαρμογές της μηχανικής και της παραγωγής και είναι μαθηματικά περιεκτικές και σχετικά εύκολες στην κατανόηση και χρήση. Βασικά μειονεκτήματα είναι ότι τα στερεά σχήματα περιορίζονται σε αντικείμενα με μεταφραστική ή

περιστροφική συμμετρία, και ότι οι γενικές σαρώσεις είναι ιδιαίτερα δύσκολο να μοντελοποιηθούν αποτελεσματικά.

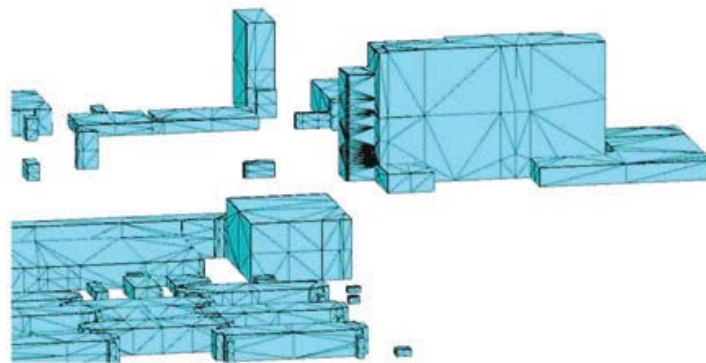
3.3.6 Τύποι δεδομένων ελεύθερης μορφής

Τα ελεύθερης μορφής σχήματα είναι μια μέθοδος περιγραφής γραμμών και επιφανειών, η οποία εφαρμόζεται συχνά μέσα στο σχεδιασμό μηχανών, αλλά και μέσα στη γεωλογική μοντελοποίηση για την απεικόνιση υποεπιφανειών και σωμάτων και γίνονται ολοένα και πιο σημαντικές για σχεδιασμό κτηρίων, πύργους, σήραγγες κτλ. Αυτά τα μοντέλα πολύ συχνά χρειάζεται να συγχωνευθούν με 3D ΣΓΠ για μελέτες και προσαρμογές στην κατασκευή (π.χ. για αντίσταση ανέμου). Οι τύποι δεδομένων ελεύθερης μορφής Non-Uniform Rational B-Spline (NURBS), B-Spline και Bezier είναι μαθηματικές απεικονίσεις του τρισδιάστατου χώρου.

3.3.6.1 NURBS

Αυτός ο τύπος αποτελεί μια πιο πολύπλοκη δομή από την B-Spline και Bezier, συνεπώς απαιτεί περισσότερες παραμέτρους για ρύθμιση (πέντε παράμετροι). Τα πλεονεκτήματα από τη χρήση NURBS είναι πολλά, ενώ έχει γίνει μία έρευνα που στοχεύει στην ανάπτυξη τύπων δεδομένων για ΣΔΒΔ με ιδιαίτερη προσοχή στους NURBS. Το μόνο μειονέκτημα των NURBS είναι η επιπλέον αποθήκευση που χρειάζεται για να ορίσει κλασικά σχήματα (πχ κύκλους). Με τη χρήση τύπων δεδομένων NURBS, ένας κύκλος μπορεί να απεικονιστεί με διαφορετικούς τρόπους αλλά η πολυπλοκότητα είναι πολύ υψηλότερη σε σχέση με τον μαθηματικό ορισμό του (πχ ακτίνα και κέντρο κύκλου).

Οι B-Spline και Bezier είναι απλούστερες σε σύγκριση με την NURBS, ωστόσο είναι ευρέως διαδεδομένες στην 3D μοντελοποίηση. Σε σύγκριση με την NURBS, η B-Splines δεν χρησιμοποιεί βάρη για τα σημεία ελέγχου, ενώ η Bezier χρησιμοποιεί μόνο σημεία ελέγχου και βαθμό, καθιστώντας την πιο απλή μέθοδο από τις τρεις. (εικόνα 3.13)



Εικόνα 3.13: Οι τύποι δεδομένων ελεύθερης μορφής NURBS (πηγή: Zlatanova, 2013)

3.3.6.2 MultiPatch στο ArcGIS

Στη σημερινή εποχή τα περισσότερα 3D ΣΓΠ μοντέλα υστερούν λειτουργιών όπως της δημιουργίας χωρικών ερωτημάτων για 3D αντικείμενα, και 3D αναλύσεων όπως αναζήτηση επικαλύψεων, 3D buffering και αναζητήσεων της τρισδιάστατης συντομότερης/βέλτιστης διαδρομής. Αυτό οφείλεται στον τρόπο δημιουργίας των τρισδιάστατων αντικειμένων με την τεχνική πολυγωνικής μοντελοποίησης (polygonal modeling technique). Ο συνήθης τρόπος είναι η κατασκευή 3D αντικειμένων από γεωμετρικά αντικείμενα και η σύνδεση τους σε ένα τοπικό σύστημα συντεταγμένων, και σαν αποτέλεσμα ένας απλός κύβος για παράδειγμα, αποτελείται από 12 πολύγωνα.

Είναι φανερό ότι η δημιουργία χωρικών ερωτημάτων σε ένα σπίτι το οποίο αποτελείται από 12 ή περισσότερα πολύγωνα, είναι μία πρόκληση. Αυτό το ζήτημα γίνεται προφανές όταν κανείς σκεφτεί το σύνολο των τοπολογικών σχέσεων ενός τέτοιου αντικείμενου, πχ το ένα πολύγωνο του σπιτιού μπορεί να είναι τοποθετημένο μέσα σε άλλο κτλ. Οι κατασκευαστές των ΣΓΠ λογισμικών έχουν έρθει αντιμέτωποι με αυτό το πρόβλημα αρκετό καιρό τώρα και ένας από τους βασικούς προμηθευτές ΣΓΠ, η εταιρεία ESRI σκέφτηκε μια πολλά υποσχόμενη λύση σε αυτό το ζήτημα, το Multipatch. Η MultiPatch γεωμετρία είναι ένας ειδικός τύπος shapfile που διευκολύνει την απεικόνιση ενός 3D αντικείμενου με μία προσέγγιση πολυέδρου. Αυτός ο τύπος shapfile κτίζεται πάνω στα OpenGL 3D θεμελιώδη στοιχεία των τριγώνων και αποθηκεύει χαρακτηριστικά σαν πραγματική 3D γεωμετρία σε μια προσωπική γεωβάση (ESRI, 1998). Γνωρίζοντας τις X, Y και Z συντεταγμένες του χώρου του πραγματικού κόσμου, το MultiPatch μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να απεικονίσει οτιδήποτε από απλά σε σύνθετα αντικείμενα συμπεριλαμβανόμενων σφαιρών, κύβων, κτηρίων κτλ (ESRI, 1998). Ουσιαστικά είναι ένα παραδοσιακό 3D αντικείμενο κατασκευασμένο από τρίγωνα, κύκλους και τόξα, τα οποία είναι συνδεδεμένα μέσα στην γεωβάση, συνεπώς το 3D αντικείμενο εμφανίζεται σαν μεμονωμένο αντικείμενο στον πίνακα ιδιοτήτων. Θεωρητικά, αυτό είναι ένα στερεό τρισδιάστατο αντικείμενο, αλλά δυστυχώς δεν έχει αναπτυχθεί τοπολογία ακόμα για αυτό στην τωρινή έκδοση του ArcGIS.

Μια εγγραφή σε MultiPatch κλάση χαρακτηριστικών σε μια γεωβάση δεν διαφέρει από μία εγγραφή σε ένα κλασικό shapfile. Δηλαδή, για ένα 3D χαρακτηριστικό θα υπάρξει ένα μόνο πεδίο γεωμετρίας στον πίνακα. Αυτό καθιστά δυνατή την αποθήκευση πολύπλοκων 3D χαρακτηριστικών που αποτελούνται από πολλαπλά πεδία γεωμετρίας ως ενιαία εγγραφή.

Από τα παραπάνω είναι φανερό ότι έχουν επινοηθεί πολλά διαφορετικά 3D μοντέλα, που εκπληρώνουν διαφορετικούς σκοπούς. Εφόσον τα μοντέλα έχουν αναπτυχθεί με διαφορετικό στόχο, η πληροφορία (όπως ο τύπος γεωμετρίας, υφές κτλ) ποικίλει σημαντικά. Σε πολλές περιπτώσεις, η συγχώνευση των δεδομένων σε ένα 3D περιβάλλον είναι σχεδόν μια αδύνατη εργασία και μπορούν να προκύψουν πολλά προβλήματα, όπως απώλεια δεδομένων, γι' αυτό προτεραιότητα των προμηθευτών και των δημιουργών των διαφόρων λογισμικών είναι η εξασφάλιση της διαλειτουργικότητας. Παρακάτω φαίνονται οι 3D τύποι αρχείων που είναι διαθέσιμοι και η μεταξύ τους διαλειτουργικότητα.

3.4 3D ΤΥΠΟΙ ΑΡΧΕΙΩΝ

Υπάρχει ένα τεράστιο εύρος από τύπους αρχείων για την ανταλλαγή των 3D δεδομένων. Μερικά από αυτά έχουν αναπτυχθεί ως πρότυπα από διεθνείς οργανισμούς (VRML, X3D, IFC, CityGML), άλλα έχουν αναπτυχθεί από προμηθευτές, όμως εξαιτίας της ευρείας χρήσης τους είναι πλέον αποδεκτά ως πρότυπα (KML), και ένα τρίτο σύνολο προτύπων έχουν γίνει πρότυπα εξαιτίας της ευρείας αποδοχής τους από χρήστες και προμηθευτές λογισμικού (SHP, DXF, COLLADA, 3D PDF). Παρακάτω εξετάζονται αναλυτικότερα οι πιο ευρέως διαδεδομένοι τύποι αρχείων σε εφαρμογές 3D κτηματολογίου.

3.4.1 COLLADA

Η COLLADA είναι ένα ανοιχτό πρότυπο για την περιγραφή 3D δεδομένων. Πρωταρχικά, το πρότυπο αυτό προήλθε από την Sony (χρησιμοποιείτο στο Playstation). Η Google χρησιμοποιεί αυτό το πρότυπο συχνά (είναι ο πυρήνας όλων των 3D αντικείμενων στο Google Earth και ένα βασικό μέρος του Google SketchUp) κάτι το οποίο έχει αυξήσει σημαντικά τη χρήση του. Το πρότυπο COLLADA (COLLABorative Design Activity) ως μορφή ανταλλαγής των τρισδιάστατων αλληλεπιδράσεων, επικεντρώνεται αποκλειστικά σε 3D δεδομένα, ανεξάρτητα από το αρχιτεκτονικό πλαίσιο. Προσφέρει

δυνατότητες για την περιγραφή γεωμετρίας, τοπολογίας και υψής, αλλά δεν διαθέτει σημασιολογική πληροφορία. Τα πρότυπα KML και COLLADA συχνά αναφέρονται μαζί, γιατί και τα δύο χρησιμοποιούνται συγχωνευμένα στο Google SketchUp και Google Earth. Τα KML αρχεία συχνά ομαδοποιούνται σε ένα συμπιεσμένο KMZ αρχείο, το οποίο μπορεί πρόσθετα να περιέχει 3D μοντέλα COLLADA, επικαλύψεις υψών, και άλλα γραφικά και εικονίδια.

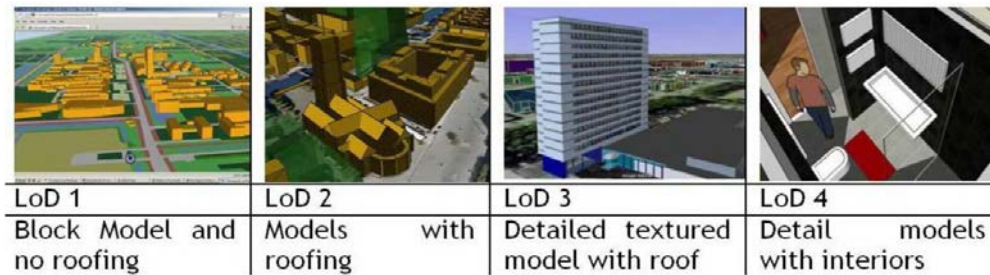
3.4.2 GML (Geography Markup Language)

Το GML, που είναι επίσης γνωστό ως ISO 19136, δημιουργήθηκε από την Ανοιχτή Γεωχωρική Κοινοπραξία (Open Geospatial Consortium -OGC) και είναι μια XML δομή για την απεικόνιση γεωγραφικής (χωρικής και τοπικής) πληροφορίας. Είναι ένα τυπικό παράδειγμα προτύπου που δημιουργήθηκε για την ανταλλαγή δεδομένων. Η GML3 διαθέτει μια σπονδυλωτή δομή, που επιτρέπει την επιλογή των συνιστωσών σχημάτων ή σχήματος, τα οποία χρειάζονται σε μία δεδομένη εφαρμογή. Το γεωμετρικό μοντέλο του GML ακολουθεί το πρότυπο ISO 19107 και συνεπώς το GML παρέχει κλάσεις για 0D σε 3D γεωμετρικά θεμελιώδη στοιχεία, 1D-3D σύνθετες γεωμετρίες (π.χ. CompositeSurface), και 0D-3D συσώματα γεωμετριών (π.χ. MultiSurface ή MultiSolid), τα οποία αποτελούνται από γεωμετρίες που δεν συνδέονται με κοινά όρια. Το GML 3 περιλαμβάνει την υποστήριξη για χωρικά και χρονικά συστήματα αναφοράς, τοπολογία, δυναμικά χαρακτηριστικά, μονάδες μέτρησης, μεταδεδομένα, πλεγματικά δεδομένα, και είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να μπορεί να επεκταθεί σημασιολογικά.

3.4.3 CityGML

Το CityGML είναι το νεότερο πρότυπο (OGC, 2008) για την απεικόνιση πραγματικής 3D πληροφορίας και αποτελεί ένα αντικειμενοστραφές μοντέλο, το οποίο επιτρέπει την αποθήκευση σημασιολογικών, τοπολογικών, γεωμετρικών και χαρακτηριστικών απεικόνισης σε κάθε αντικείμενο. Η δεύτερη έκδοση κυκλοφόρησε τον Απρίλιο του 2012 (OGC, 2012). Η σημασιολογία εκφράζεται μέσω κλάσεων, οι οποίες αποσκοπούν στην κάλυψη μιας μεγάλης ομάδας ευρέως χρησιμοποιούμενων πραγματικών αντικειμένων. Υπάρχουν 11 κλάσεις (CityGML 2.0.0), ενώ πρόσθετα σε αυτές τις βασικές κλάσεις, υπάρχουν κλάσεις για απεικόνιση και πληροφορίες γενικού χαρακτήρα.

Οι κλάσεις για πληροφορίες γενικού χαρακτήρα (Generics class) χρησιμοποιούνται για να επεκτείνουν το μοντέλο με νέα αντικείμενα (που δεν προσδιορίζονται από τις βασικές κλάσεις) και ιδιότητες. Ένας άλλος μηχανισμός για την περιγραφή νέων δεδομένων είναι με τη δημιουργία μιας Εφαρμογής Επέκτασης Τομέα-EET (Application Domain Extension-ADE). Αυτός ο μηχανισμός είναι πιο ισχυρός, καθώς επιτρέπει τον προσδιορισμό των νέων δεδομένων με τις σημασιολογικές, γεωμετρικές, απεικονιστικές και τοπολογικές ιδιότητες που τα συνοδεύουν. Παρέχονται ήδη πολλαπλές επεκτάσεις όπως: Noise (για ανάλυση θορύβου), GeoBIM (συμπληρώνεται με λεπτομερή πληροφορία από BIM/IFC), Facility management (Διαχείριση Εγκαταστάσεων-CAFM), Hydro (για ανάλυση πλημμύρων) και Utility Networks (δίκτυα υποδομών). Επίσης γίνονται συζητήσεις για επεκτάσεις στη γεωλογία και στη γεωτεχνολογία, ενώ είναι υπό ανάπτυξη μία EET για πλοήγηση σε εσωτερικό χώρο, όπως λόγου χάρη αντικείμενα και τις ιδιότητές τους. Το μοντέλο βασίζεται σε GML3 και όλη η γεωμετρία του GML κληρονομείται από τη σημασιολογική επέκταση. Το GML υποστηρίζει 0D σε 3D θεμελιώδη στοιχεία (σημείο, καμπύλη, επιφάνεια και στερεό), και υποστηρίζει και σύνθετα αντικείμενα (composition objects). Μία πολύ χρήσιμη γεωμετρία σε αυτή τη βάση είναι η Composite Surface, η οποία είναι ένα σύνολο από συνδεδεμένες επιφάνειες. Σχεδόν όλα τα 3D αντικείμενα (κτίρια, αστικά έπιπλα, υδάτινες μάζες) απεικονίζονται με τη γεωμετρία CompositeSurface, η οποία μπορεί να σχεδιαστεί με υφές (φωτορεαλιστικές ή τεχνητές).



Εικόνα 3.14: Επίπεδα λεπτομέρειας για κτήρια στο CityGML (πηγή: Kibria et al, 2009)

Προαιρετικά τα 3D αντικείμενα μπορούν να απεικονιστούν ως Στερεά (Solid). Τα στερεά πρέπει να είναι στεγανά και το λογισμικό που δημιουργεί το CityGML μοντέλο πρέπει να εξασφαλίζει αυτήν την ιδιότητα. Το CityGML υποστηρίζει 5 διαφορετικά επίπεδα λεπτομέρειας. Τα πιο προεξέχοντα είναι τα επίπεδα λεπτομέρειας στα κτήρια (LOD) όπως φαίνεται στην εικόνα 3.14. Τα κτήρια έχουν πέντε επίπεδα λεπτομέρειας ξεκινώντας από LOD0 σε LOD4 (εσωτερικοί χώροι). Η ιδέα του LOD στο CityGML διαφέρει σημαντικά από τα γνωστά LODs των γραφικών ηλεκτρονικών υπολογιστών. Τα επίπεδα στο CityGML παρουσιάζουν μια συγκεκριμένη ανάλυση των πραγματικών αντικειμένων που μπορεί να αφορούν μία δεδομένη εφαρμογή. Για παράδειγμα, μια εφαρμογή για τον καθορισμό της κάλυψης των κεραιών τηλεπικοινωνίας, χρειάζεται απλή εξώθηση όγκων (π.χ. LOD1), ενώ μια πολεοδομική εφαρμογή απαιτεί μοντέλα με λεπτομερή πρόσωπα, στέγες κτλ. Τα LOD δεν προορίζονται για γρήγορη απεικόνιση (όπως στην περίπτωση των γραφικών Y/H), παρόλο που έχουν γίνει πρόσφατες προσπάθειες για την επιτάχυνση της απεικόνισης μοντέλων μεγάλων πόλεων. Ο σκοπός τους είναι η ακρίβεια των αντικειμένων, π.χ. το LOD0 έχει τη χαμηλότερη ανάλυση (λίγα μέτρα) και το LOD4 την υψηλότερη (λίγα χιλιοστά). Το LOD0 είναι ένα 2,5D μοντέλο και απεικονίζει μόνο επιφανειακά αντικείμενα. Το LOD4 για τα κτήρια είναι η πρώτη καλά δομημένη ΣΓΠ απεικόνιση εσωτερικού περιβάλλοντος.

Το εννοιολογικό μοντέλο του CityGML υπάρχει σε δύο εφαρμογές, ως αρχείο GML και ως χωρικό σχήμα για ΣΔΒΔ. Υποστηρίζεται ή πρόκειται να υποστηριχθεί η εξαγωγή σε αρχεία CityGML από πολλούς προμηθευτές όπως Safe software, Autodesk, ESRI, Bentley Systems. Ήδη μερικές εταιρίες (π.χ. Bentley Systems, Autodesk) και πανεπιστήμια (π.χ. TUBerlin, TUDelft) πειραματίζονται με εφαρμογές βάσεων δεδομένων σε CityGML και ειδικότερα για κτηματολογικές εφαρμογές. Το TU Berlin έχει ήδη αναπτύξει 3DCityDB για Oracle Spatial.

3.4.4 Building Information Model (BIM)

Το Μοντέλο Κτηριακών Πληροφοριών (BIM) μπορεί να οριστεί ως μια ψηφιακή απεικόνιση των φυσικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών ενός μεμονωμένου κτηρίου. Γι' αυτό το λόγο λειτουργεί ως πηγή κοινών γνώσεων για πληροφορίες σε κτήρια, συγκροτώντας μια έγκυρη βάση για αποφάσεις, ήδη από την αρχή του κύκλου ζωής του κτηρίου (NBIMS, 2007). Ένα από τα πιο αποδεκτά BIM είναι το πρότυπο μοντέλο Industry Foundation Classes (IFC, ISO16739). Το IFC είναι η προσπάθεια της IAI/buildingSMART (Διεθνής Συμμαχία για τη διαλειτουργικότητα), της οποίας ο στόχος είναι ο ορισμός μιας κοινής τεχνολογικής γλώσσας για τη βελτίωση της επικοινωνίας, παραγωγικότητας, του χρόνου παράδοσης, του κόστους, και της ποιότητας κατά το σχεδιασμό, την κατασκευή και τη συντήρηση του κύκλου ζωής των κτηρίων. Στο IFC, ένα κτήριο μοντελοποιείται ως μια συλλογή αντικειμένων (με ιδιότητες και σχέσεις) που απεικονίζουν μέρη του κτηρίου. Η 3D γεωμετρία είναι μία από τις ιδιότητες, στο ίδιο επίπεδο με το όνομα του ιδιώτη, το κόστος κτλ. Τα IFC αντικείμενα μπορεί να απεικονίζουν οποιοδήποτε κτηριακό στοιχείο όπως τοίχους, πόρτες, και παράθυρα αλλά ακόμα και το γυαλί στα παράθυρα, τις κορνίζες των παραθύρων, τα υλικά των τοίχων κτλ. Το BIM

χρησιμοποιείται κυρίως στις κατασκευές και είναι κατάλληλο για 3D μοντελοποίηση με ένα πολύ ακριβές και λεπτομερές τρόπο.

Χρησιμοποιείται κυρίως για την μοντελοποίηση μιας περιορισμένης εγκατάστασης πχ κτήριο και όχι για μεγάλες εκτάσεις, όπως στις περισσότερες εφαρμογές ΣΓΠ. Η άμεση γειτνίαση του αντικειμένου ενδιαφέροντος μπορεί να μοντελοποιηθεί σε BIM για πληροφοριακούς σκοπούς (συχνά σε χαμηλότερο επίπεδο λεπτομέρειας). Το BIM παρέχει επίσης γεωαναφερόμενα μοντέλα (π.χ. την ενσωμάτωση των συντεταγμένων στην επιφάνεια του μοντελοποιημένου αντικειμένου).

3.4.5 3D PDF

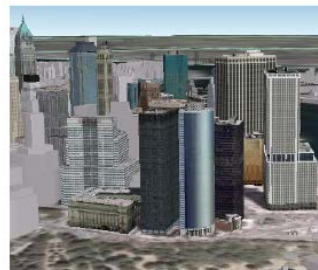
Μια πολύ ενδιαφέρουσα νέα εφαρμογή είναι το 3D PDF. Ο σκοπός αυτού του τύπου αρχείου είναι η δημοσίευση και η κοινοποίηση 3D σχεδιαστικής πληροφορίας μέσω ενός κανονικού PDF αρχείου. Πολλές μεγάλες CAD εταιρείες (Bentley Systems, Autodesk) επιτρέπουν την εξαγωγή δεδομένων σε αυτού του τύπου το αρχείο. Η 3D γεωμετρία εξάγεται σε PDF και μπορεί να συγχωνευθεί με ένα αρχείο κειμένου χρησιμοποιώντας λογισμικό Adobe. Το 3D μοντέλο μπορεί να εξερευνηθεί με μια ξεχωριστή εργαλειοθήκη για αλληλεπίδραση (που έχει αναπτυχθεί από Bentley Systems), ενώ υπάρχει η δυνατότητα κινούμενης εικόνας, προσθήκης σχολίων, κτλ. Αν δεν εμφανίζεται ψηφιακά, το αρχείο μπορεί να εκτυπωθεί και το 3D μοντέλο εμφανίζεται ως εικόνα.

Από τους παραπάνω τύπους το CityGML αποδίδει βέλτιστα σε εφαρμογές 3D κτηματολογίου, εξαιτίας της υποστήριξης της σημασιολογίας, των αντικειμένων, των ιδιοτήτων, της γεωαναφοράς και της διαδικτυακής χρήσης. Η επιλογή του CityGML ως γενικού προτύπου στο κτηματολόγιο δικαιολογείται και όχι μόνο, καθώς έχει σχεδόν την ίδια δυνατότητα περιγραφής πραγματικών αντικειμένων με τα Shapefiles και ταυτόχρονα επιτρέπει καλύτερη απεικόνιση και διαδικτυακή χρήση.

3.5 3D ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ

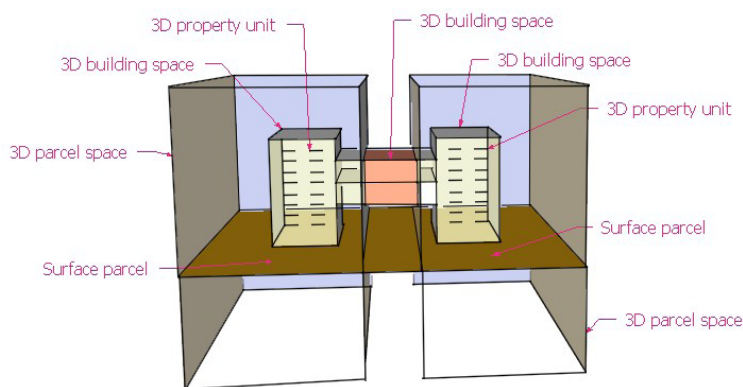
Η χρήση κλασικών τεχνολογιών απεικόνισης των 2D χαρτών, όπως διαγράμματα, δεν είναι επαρκής για τη σχεδίαση ή την απεικόνιση των 3D κτηματολογικών αντικειμένων. Χωρίς την απεικόνιση των τρισδιάστατων αντικειμένων, η ιδιοκτησία δεν μπορεί να απεικονιστεί βέλτιστα στον 3D κτηματολογικό χάρτη, ο οποίος δείχνει τη θέση των αντικειμένων και τις ιδιοκτησίες στο χώρο. Τα οπτικά εμπόδια των φυσικών οντοτήτων ή των ένθετων σχέσεων (nested relations) μεταξύ των διαφορετικών γεωχώρων, οδηγούν σε δυσκολίες κατά την οπτικοποίηση. Ο σκοπός της οπτικοποίησης είναι να δείξει και να τονίσει την θέση, και το περιεχόμενο των τρισδιάστατων κτηματολογικών αντικειμένων.

Σε όρους οπτικοποίησης, υπάρχουν πολλές διαφορές μεταξύ τρισδιάστατου κτηματολογίου και εικονικής πόλης, και η έμφαση μεταφέρεται από την αστική προσομοίωση στην κατανομή του 3D γεωχώρου, των τρισδιάστατων ιδιοκτησιακών μονάδων και άλλων κτηματολογικών αντικειμένων. Η οπτικοποίηση για αρχιτεκτονική εστιάζει είτε στην ολιστική άποψη και αρμονική μίξη των αρχιτεκτονικών στοιχείων και του περιβάλλοντος χώρου (εικόνα 3.15), ή στη λειτουργική διαμόρφωση του εσωτερικού των αρχιτεκτονικών κατασκευών, δηλαδή εστιάζει στην πραγματικότητα των αρχιτεκτονικών οντοτήτων και των λειτουργιών τους, και τονίζει τα οπτικά εφέ της εξωτερικής επιφανείας ή του εσωτερικού της κατασκευής. Άλλες οπτικοποιήσεις, όπως αστικές προσομοιώσεις και εικονικές πόλεις, εστιάζουν στην εικονική προσομοίωση της εξωτερικής «υφής» της πόλης, δηλαδή εστιάζουν περισσότερο στις επιφάνειες των προσώπων των μοντέλων και στην απόδοση υφών με εικόνες, χωρίς να αναφέρονται στις εσωτερικές μονάδες πίσω από το εξωτερικό περίβλημα (3.15).



Εικόνα 3.15: Σχέδιο πόλεως και αστική προσομοίωση (πηγή: Guo and Ying, 2010)

Ωστόσο για το κτηματολόγιο, το βασικό σημείο είναι η περιγραφή των ακριβών ορίων των ιδιοκτησιακών μονάδων (εικόνα 3.16), και τα κτηματολογικά αντικείμενα εστιάζουν στο γεωχώρο κάτω από τα κτηματολογικά δικαιώματα, παρά το γεγονός ότι αυτός ο γεωχώρος μπορεί να περιορίζεται από φυσικούς τοίχους ή αρχιτεκτονικά στοιχεία.



Εικόνα 3.16: Διαφορετικοί 3D χώροι στο 3D κτηματολόγιο (πηγή: Guo and Ying, 2010)

Οι απεικονίσεις 3D κτηματολογίου τελικά παρουσιάζουν την κατανομή της κατοχής και τον καταμερισμό του γεωχώρου και του αστικού χώρου σε όρους δικαιωμάτων.

Αναλυτικότερα, τα γεωμετρικά όρια των τρισδιάστατων κτηματολογικών αντικειμένων είναι οι νομικές γεωγραφικές επιφάνειες, οι οποίες μπορούν να είναι μέρος ρεαλιστικών/ φυσικών οντοτήτων ή μπορούν να είναι νομικά κενές ή εικονικές επιφάνειες. Τελικά όμως οι ακριβείς τρισδιάστατες περιγραφές του κτηματολογίου και της ιδιοκτησίας έχουν γίνει επιτακτική ανάγκη για τη βέλτιστη διαχείριση των δικαιωμάτων των πολιτών επί της γης, από την κυβέρνηση. Από την άλλη, οι χρήστες απαιτούν πλέον ακριβή τρισδιάστατα μοντέλα της πραγματικότητας και έστω μία στοιχειώδη απόδοση υψών στα κτήρια, καθώς οι τεχνολογικές εξελίξεις επιτρέπουν πλέον ένα υψηλότερο επίπεδο ακρίβειας και ποιότητας.

3.5.1 Τρισδιάστατη απεικόνιση στον κτηματολογικό τομέα

Η απεικόνιση με βάση τα ανωτέρω είναι πλέον από τα πιο σημαντικά συστατικά ενός κτηματολογικού συστήματος. Στην τελευταία δεκαετία έχει εντοπιστεί ένας αριθμός ερευνητικών εργασιών στο αντικείμενο της 3D κτηματολογικής απεικόνισης και έχουν αναπτυχθεί πολλά πρωτότυπα συστήματα όπως αναλύσαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο.

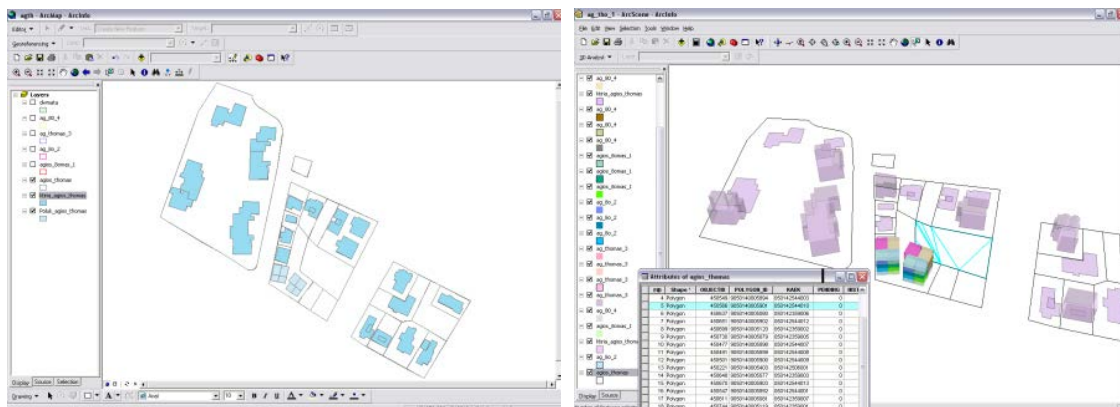
Η τρέχουσα κατάσταση της τρισδιάστατης απεικόνισης στο κτηματολόγιο έχει μελετηθεί εκτενώς και έχουν συζητηθεί σημαντικά ζητήματα και προβλήματα όπως προϋποθέσεις για απεικόνιση δεδομένων, νέες πραγματικότητες που την επηρεάζουν, σκοπιμότητες της απεικόνισης, χρήστες, και τεχνικά προβλήματα. Επιπλέον, πολλές μελέτες έχουν εντοπίσει έναν αριθμό απαιτήσεων για 3D

απεικόνιση και σε άλλους τομείς, πχ στην παροχή υπηρεσιών όπως υποστήριξη για αλληλεπίδραση, πολλαπλές προβολές, κτλ. Ωστόσο παρά την έρευνα και την πρόοδο, δεν υπάρχει κανένα ψηφιακό 3D κτηματολόγιο που είναι πλήρως εν λειτουργία στον κόσμο και η τρέχουσα λειτουργικότητα είναι περιορισμένη σε βασικές εφαρμογές όπως την καταγραφή ογκομετρικών τεμαχίων (van Oosterom, Stoter, Ploeger, Thompson, & Karki, 2011). Ένα ψηφιακό 3D κτηματολόγιο πρέπει τελικά να περιλαμβάνει τρισδιάστατα κτηματολογικά δεδομένα, εφαρμογές και συστήματα απεικόνισης στις τρεις διαστάσεις.

3.5.1.1 Απεικόνιση σε 2.5D

Τις δύο προηγούμενες δεκαετίες τρισδιάστατη πραγματικότητα περιγράφεται μέσω μοντέλων σε 2.5D ψηφιακό περιβάλλον, κάτι το οποίο έχει λειτουργήσει ικανοποιητικά, αλλά όσον αφορά τον κτηματολογικό τομέα αποκλείεται εκ προοιμίου η περιγραφή των υπογείων νομικών αντικειμένων. Με βάση αυτό το μοντέλο κάθε αντικείμενο καταλαμβάνει έναν υποχώρο και έχει τη δική του διάσταση αναλόγως ποιο θεμελιώδες στοιχείο απεικονίζει. Αυτό μπορεί να θεωρηθεί ως η εσωτερική διάσταση του αντικείμενου. Ο χώρος που περιβάλλει το αντικείμενο μπορεί να θεωρηθεί ως η εξωτερική γεωμετρία (R^n) (Pailouk, 1996). Η εξωτερική γεωμετρία μπορεί να είναι R^2 και απεικονίζει την πραγματικότητα προβάλλοντας την σε ένα επίπεδο. Μπορεί επίσης να είναι R^3 ή R^4 και πάει λέγοντας, π.χ. ένα 3D μοντέλο, ή ένα 3D μοντέλο που αλλάζει στο πέρασμα του χρόνου. Συνεπώς, ο όρος διάσταση μπορεί να φανερώνει τόσο την εσωτερική όσο και την εξωτερική διάσταση, οι οποίες δε συμπίπτουν πάντα. Για παράδειγμα, 2.5D μπορεί να απεικονίζει 2D αντικείμενα σε R^3 χώρο.

Τα περισσότερα εμπορικά ΣΓΠ έχουν 2.5D συνένωση όπου οι τιμές z εμφανίζονται ως ιδιότητες σε έναν πίνακα (εικόνα 3.17). Η 2.5D προσέγγιση είναι ένας κομμής τρόπος προσομοίωσης ενός 3D περιβάλλοντος, αλλά έχει πολλούς περιορισμούς. Η απόδοση μόνο μιας τιμής z για κάθε ζεύγος xy καθίσα δύσκολη την περιγραφή σύνθετων αντικειμένων, όπως κτηρίων.



Εικόνα 3.17: Η αριστερή εικόνα απεικονίζει ίχνη κτηρίων ως δισδιάστατα χαρακτηριστικά. Η δεξιά εικόνα απεικονίζει τα ίδια ίχνη κτηρίων με εξώθηση ανάλογα με τις τιμές στον πίνακα ιδιοτήτων.

3.5.1.2 Πραγματική 3D απεικόνιση

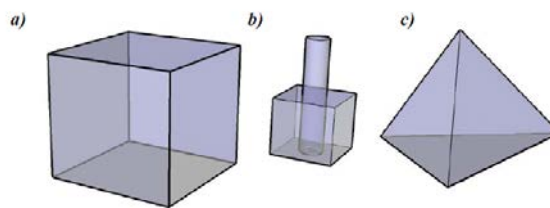
Σε αντίθεση με τα 2.5D χαρακτηριστικά, τα 3D χαρακτηριστικά περιγράφονται γεωμετρικά με συντεταγμένες xyz . Τα 3D χαρακτηριστικά δεν χρησιμοποιούν την τιμή z συναρτήσεως των συντεταγμένων xy και μπορούν συνεπώς, να έχουν πολλές τιμές z που έχουν τις ίδιες xy συντεταγμένες. Τα χαρακτηριστικά που περιγράφονται από τις συντεταγμένες τους, xyz αναφέρονται ως πραγματικά τρισδιάστατα χαρακτηριστικά.

Τα τρισδιάστατα χαρακτηριστικά επιτρέπουν σε σύνθετα αντικείμενα να αποθηκεύονται σε βάση δεδομένων ΣΓΠ. Για παράδειγμα, ένα Triangulated Irregular Network (TIN) περιγράφεται ως

πραγματικό 3D, καθώς στο TIN η γεωμετρία της επιφανείας αποθηκεύεται με τρίγωνα, τα όποια ορίζονται από xyz-συντεταγμένες για κάθε κορυφή του τριγώνου, ενώ και γεωμετρικά περιγράφεται ως πραγματικό 3D. Τα στερεά επίσης περιγράφονται ως πραγματικά τρισδιάστατα χαρακτηριστικά. Ένα στερεό(solid) αποτελείται από ένα σύνολο πολυγωνικών προσώπων που δημιουργούν έναν κλειστό όγκο.

Οι Stoter και van Oosterom (2001) προτείνουν 4 κατηγορίες 3D θεμελιακών στοιχείων για την μοντελοποίηση 3D χωρικών αντικειμένων: το πολύεδρο, το πολύεδρο συνδυασμένο με σφαιρικά και κυλινδρικά μέρη (patches), το τετράεδρο και τέλος CAD αντικείμενα.

Ένα πολύεδρο είναι μια συλλογή από επίπεδα πολυγωνικά πρόσωπα που ενώνονται στις κοινές κορυφές, και έχουν οριστεί από κοινές κορυφές, δημιουργώντας έναν κλειστό όγκο (εικόνα 3.18a)(Foley et al., 1990). Το πολύεδρο συνδυασμένο με σφαιρικά και κυλινδρικά μέρη καθιστά την μοντελοποίηση πολύπλοκη εξαιτίας της επιλογής δημιουργίας ενός αντικείμενου, είτε με πολυεδρικά είτε με καμπυλωτά στοιχεία (εικόνα 3.18β). Ένα τετράεδρο είναι μια ειδική περίπτωση πολυέδρου και αποτελείται από τέσσερα τρίγωνα που συγκροτούν έναν κλειστό όγκο(εικόνα 3.18γ). Αντιθέτως με το πολύεδρο το τετράεδρο είναι ένα καλώς ορισμένο αντικείμενο, εφόσον οι τρεις κορυφές του κάθε τριγώνου τοποθετούνται στο ίδιο επίπεδο. Η τελική κατηγορία, δηλαδή τα αντικείμενα CAD αποτελούνται από πολλαπλές δυνατότητες π.χ. Constructive Solid Geometry (CSG) και Primitive Instancing.

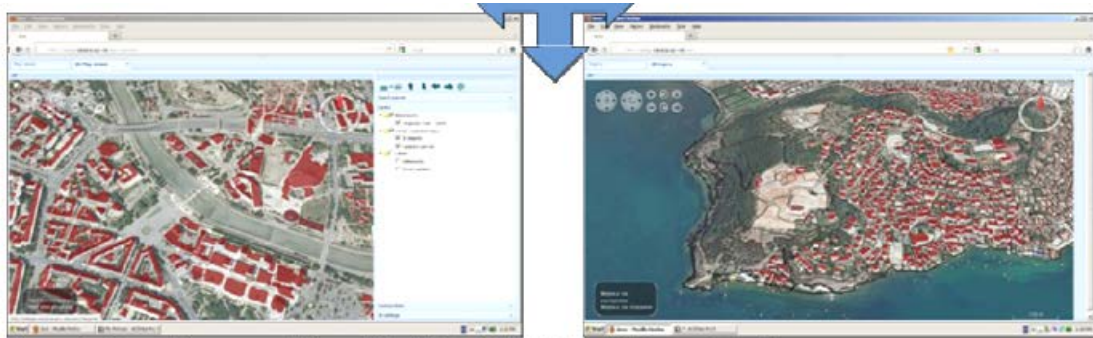


Εικόνα 3.18: α) πολύεδρο, β) πολύεδρο με έναν κύλινδρο, γ) τετράεδρο (πηγή: Google)

3.5.2 Συστήματα 3D απεικόνισης

Έχουν αναπτυχθεί πολλά πρωτότυπα της τρισδιάστατης απεικόνισης των RRRs με τη χρήση ποικίλων τεχνολογιών όπως χωρικές βάσεις δεδομένων, με Ηλεκτρονική Σχεδίαση και ΣΓΠ front-ends. Πρόσφατα, οι διαδικτυακές τεχνολογίες έχουν εξελιχθεί σημαντικά και έχουν αναπτυχθεί πολλά συστήματα για την απεικόνιση χωρικών δεδομένων μέσω του διαδικτύου. Στο πεδίο του 3D κτηματολογίου, οι Dimovski, Bundaleska-Pecalevska, Cubrinovski, and Lazoroska (2011) στα Σκόπια, ανέπτυξαν μια προσανατολισμένη προς το διαδίκτυο λύση για τρισδιάστατο κτηματολόγιο (εικόνα 3.19). Η αρχιτεκτονική των τριών επιπέδων που ανέπτυξαν, χρησιμοποιεί Oracle βάση δεδομένων, GeoServer, προγραμματισμό με Java και NASA World Wind για την απεικόνιση των τρισδιάστατων αντικειμένων. Παρόλο που αυτό το σύστημα έχει την ικανότητα να απεικονίζει κτήρια μέσω ενός περιηγητή, υπάρχουν περιορισμοί. Για παράδειγμα στο NASA World Wind, η 3D απεικόνιση περιορίζεται στα κτήρια άνω της επιφάνειας της γης. Οι Trias, Febri, Wirawan, και Laksono (2011) συζήτησαν ζητήματα σχετικά με τα παραπάνω και εφήρμοσαν διαδικτυακό σύστημα απεικόνισης στις τρεις διαστάσεις των κτηματολογικών δεδομένων με τη χρήση AutoCAD Map 3D, PostgreSQL/PostGIS και ενός Google Earth plug-in. Το ArcGIS Server, Skyline (TerraExplorer), SketchUp και Oracle συνδυάστηκαν σε ένα άλλο 3D κτηματολογικό πρωτότυπο από τους Guo et al. (2011). Το Skyline υποστηρίζει την απεικόνιση υπογείων αντικειμένων, ενώ το Google Earth και το NASA World Wind δεν έχουν προς το παρόν αυτή τη δυνατότητα. Όπως συζητήθηκε παραπάνω, υπάρχουν πολλά συστήματα 3D απεικόνισης για την εκπροσώπηση δεδομένων στον τρισδιάστατο χώρο, ωστόσο μερικοί ερευνητές προτείνουν τη χρήση CAD συστημάτων, ενώ άλλοι προτείνουν τη χρήση των ΣΓΠ ενσωματωμένων σε βάσεις δεδομένων. Ωστόσο, αυτά τα συστήματα είναι ακόμα σε

επίπεδο πρωτοτύπων και απαιτούν επικύρωση από τους χρήστες πριν ουσιαστικά χρησιμοποιηθούν σε πραγματικές εφαρμογές(Pouliot, 2011).



Εικόνα 3.19: Διαφορετικές απόψεις της διαδικτυακής θύρας των Σκοπίων (πηγή: Dimovski et al, 2011)

3.5.3 Δεδομένα

Τι τύπους δεδομένων πρέπει να απεικονίσουμε σε ένα 3D κτηματολογικό σύστημα απεικόνισης; Τα κτηματολογικά δεδομένα περιλαμβάνουν νομικά και φυσικά δεδομένα και η απεικόνιση των διαφορετικών τύπων οντοτήτων εισαγάγει διαφορετικές ανάγκες.

Οι φυσικές οντότητες περιλαμβάνουν τοίχους, οροφές, πόρτες, παράθυρα, κτλ και είναι ορατά, ενώ τα νομικά όρια και οντότητες είναι εννοιολογικά και δεν είναι απτά. Ωστόσο σε ορισμένες περιπτώσεις ένα φυσικό αντικείμενο μπορεί να είναι αντιπροσωπευτικό του νομικού αντικειμένου. Για παράδειγμα, ένας τοίχος είναι ένα φυσικό αντικείμενο αλλά επίσης μπορεί να απεικονίζει την ακμή ή το όριο μιας ιδιοκτησίας. Σε αυτήν την περίπτωση, οι φυσικές και οι νομικές οντότητες συμπίπτουν και τα ίδια δεδομένα μπορούν να απεικονίσουν και τα δύο. Ωστόσο, τα δεδομένα μπορεί να είναι ασαφή καθώς τα ιδιοκτησιακά όρια μπορεί να είναι τοποθετημένα στο εξωτερικό ή εσωτερικό πρόσωπο, ή ακόμα και στο μέσο του τοίχου. Συχνά τέτοιες ασάφειες επιλύονται με τη συμπλήρωση περιγραφικής πληροφορίας (π.χ. «το εσωτερικό ενός κτηρίου») στο σχέδιο. Συνεπώς, τα κτηματολογικά συστήματα πρέπει να απεικονίζουν και τα φυσικά και τα νομικά δεδομένα ανεξάρτητα, για να μην αφήνουν περιθώρια για ασάφειες. Επίσης, η ασάφεια στα ιδιοκτησιακά δικαιώματα μειώνεται με την έννοια του 3D Διαμερίσματος του χώρου (partition of space), όπου ο χώρος χωρίζεται σε 3D νομικά αντικείμενα.

3.5.4 Τεχνικές 3D απεικόνισης

Τα δεδομένα, οι χρήστες και οι χρήσεις είναι σημαντικοί παράγοντες για την επιλογή τεχνικών απεικόνισης για έναν τομέα, ενώ οι τύποι δεδομένων, η λειτουργία απεικόνισης, το στυλ αλληλεπίδρασης, η αναλυτική εργασία και το μοντέλο δεδομένων αποτελούν σημαντικούς παράγοντες για την ταξινόμηση των τεχνικών απεικόνισης. Στον κτηματολογικό τομέα, πρόσθετα με τους κτηματολογικούς χάρτες, χρησιμοποιούνται πολλές τεχνικές και συστήματα απεικόνισης για τη διευκόλυνση των κτηματολογικών εργασιών. Επιπλέον, προτάθηκαν άλλες τεχνικές απεικόνισης και τεχνολογίες, όπως η Επαυξημένη πραγματικότητα (Augmented Reality), το Συνεργατικό Περιβάλλον Απεικόνισης (Collaborative Visualization Environment), και οι Game μηχανές (Pouliot, 2011) για την βελτίωση της επικοινωνίας. Παρόλο που αυτές οι τεχνολογίες είναι πολλά υποσχόμενες, δεν είναι αρκετά διαδεδομένες και ισχυρές για λειτουργικά συστήματα με μεγάλους όγκους δεδομένων και εντατική χρήση, όπως είναι τα υφιστάμενα κτηματολογικά συστήματα.

Όπως συζητήθηκε παραπάνω, ένα σύστημα απεικόνισης για κτηματολογικές εφαρμογές είναι απαραίτητο να μπορεί να απεικονίσει φυσικά και νομικά αντικείμενα. Η απεικόνιση των φυσικών και νομικών αντικειμένων για όλα τα κτήρια σε μια πόλη περιλαμβάνει τεράστιες ποσότητες δεδομένων.

Συνεπώς, είναι απαραίτητη μια επαρκής μηχανή παροχής πληροφοριών με τις κατάλληλες τεχνικές επιτάχυνσης των δεδομένων. Οι Posada-Velásquez (2006) ταξινομήσαν τις τεχνικές επιτάχυνσης ως εξής:

• Culling (απόκρυψη/ορατότητα):

Όλα τα συστήματα οπτικής απόδοσης χρησιμοποιούν τεχνικές για τον αποκλεισμό των αποκρυμμένων (occluded) γεωμετριών. Αυτά είναι πιο αποτελεσματικά όταν γίνονται στο υλικό των ηλεκτρονικών υπολογιστών (όπως μέσω μιας μονάδας επεξεργασίας γραφικών).

• Γεωμετρική απλοποίηση:

Οι τεχνικές γεωμετρικής απλοποίησης, όπως τα επίπεδα των λεπτομερειών (LoD) χρησιμοποιούνται ευρέως για την απλοποίηση των γεωμετριών σε συστήματα απεικόνισης. Το CityGML χρησιμοποιεί αυτήν την τεχνική για απεικόνιση γεωμετριών σε διαφορετικές αφαιρέσεις.

• Αναπαράσταση βάσει εικόνας:

Σε αυτήν την τεχνική, χρησιμοποιείται η υφή του αντικειμένου για να απεικονίσει την πολυπλοκότητα των γεωμετριών.

Τελικά, ενώ μπορεί να είναι σημαντικό να απεικονίζονται όλα τα ορατά φυσικά αντικείμενα κάθε φορά προκειμένου να κατανοήσουμε τη δομή μιας πόλης, είναι συνηθέστερο να κοιτάμε στην ιδιοκτησιακή πληροφορία περισσότερο τοπικά προκειμένου να κατανοήσουμε συγκεκριμένες λεπτομέρειες των RRRs. Συνεπώς, κάθε κτήριο μπορεί να απεικονιστεί ατομικά και τελικά η ανάγκη ενός συστήματος με υψηλή απόδοση και προχωρημένες τεχνικές οπτικής απόδοσης (rendering) είναι μικρότερη. Στις έρευνες που έχουν γίνει για την υποστήριξη επιλογών ή κατάλληλων τεχνικών απεικόνισης για κτηματολογικές εφαρμογές, εντοπίζονται οι ακόλουθες ελλείψεις, οι οποίες επηρεάζουν την 3D κτηματολογική απεικόνιση όπως:

- Η έλλειψη ενός πλήρως υποστηριζόμενου συστήματος απεικόνισης για 3D κτηματολόγιο,
- Η έλλειψη σαφών και συμφωνημένων απαιτήσεων για συστήματα 3D κτηματολογικής απεικόνισης, και
- Η έλλειψη ελεγμένης τεχνικής για την απεικόνιση κτηματολογικών δεδομένων.

3.5.5 Παράμετροι στην 3D απεικόνιση

Για την απεικόνιση ενός αντικειμένου σε ένα σύστημα, κάποιες παράμετροι, όπως το χρώμα, το πάχος και η διαφάνεια, πρέπει είτε να τυποποιηθούν για γρήγορη αναγνώριση ή να οριστούν από τον χρήστη για την βελτίωση της χρησιμότητας της απεικόνισης. Αυτές οι παράμετροι περιγράφονται παρακάτω (πηγή: Shojaei et al., 2013):

• *Επίπεδα λεπτομερειών (Levels of detail)*

Είναι μια τεχνική απεικόνισης για την επιτάχυνση της διαδικασίας οπτικής απόδοσης. Σε αυτήν την τεχνική, τα κτήρια παρουσιάζονται σε διάφορες λεπτομέρειες όπως χρησιμοποιείται ευρέως στα 3D μοντέλα πόλεων. Οι Kolbe, Gröger και Plümer (2005) για παράδειγμα, εφήρμοσαν 5 επίπεδα λεπτομερειών για την βελτίωση της απόδοσης του CityGML για απεικόνιση. Στην πραγματικότητα, οι λεπτομέρειες που χρειάζονται για ρεαλισμό έχουν μια άμεση επίπτωση στον χρόνο και την προσπάθεια της απεικόνισης. Γενικώς, προκειμένου να μειωθούν οι περιττές δαπάνες και οι προσδοκίες των χρηστών απαιτείται ένα έγκυρο και αποδεκτό επίπεδο αφαίρεσης. Σε κτηματολογικές εφαρμογές, που συνήθως εκπροσωπούν νομικά αντικείμενα σε αντίθεση με τα φυσικά αντικείμενα, δεν είναι λογικό να απλοποιηθεί η γεωμετρία. Για παράδειγμα, σε ένα επίπεδο προβολής της πόλης, θα ήταν παραπλανητικό για τα νομικά αντικείμενα να συγχωνευθούν και να εκπροσωπούνται από έναν κύβο για κάθε κτήριο. Κάθε νομικό αντικείμενο πρέπει να απεικονίζεται πάντοτε μοναδιαία, αλλά από την άλλη τα νομικά αντικείμενα ενδέχεται να χρειαστεί να παρασταθούν σε μονάδες όχι

μεγαλύτερες από ένα οικοδομικό τετράγωνο (ένα σύνολο κτηρίων περιβάλλεται από δρόμους), είτε ως μεμονωμένα κτήρια και όχι σε όλη τη θέα της πόλης. Η απεικόνιση όλων των νομικών αντικειμένων σε μια προβολή της πόλης θα μπορούσε να επηρεάσει σοβαρά την αλληλεπίδραση του συστήματος απεικόνισης και επίσης θα είναι δύσκολο να ερμηνευτεί οπτικά. Ως εκ τούτου, η παραδοσιακή έννοια LoD δεν ισχύει στα νομικά δεδομένα.

~ Τα σύμβολα (Symbols)

Αποτελούν χαρτογραφικά στοιχεία για τη δημιουργία περισσότερο πληροφοριακών χαρτών. Για κτηματολογικές εφαρμογές, τα σύμβολα χρησιμοποιούνται ευρέως για να δώσουν μια καλύτερη ερμηνεία. Παραδείγματα σύμβολων είναι τα σημεία ελέγχου, τα ονόματα δρόμων και φυσικά χαρακτηριστικά, όπως τα όρια ιδιοκτησιών.

~ Χρώμα, το πάχος και το στυλ γραμμής

Αποτελούν ιδιότητες για την απεικόνιση των δεδομένων, οι οποίες βελτιώνουν τα οπτικά εφέ για την απεικόνιση των κτηματολογικών και φυσικών αντικειμένων.

~ Σήμανση (Labeling)

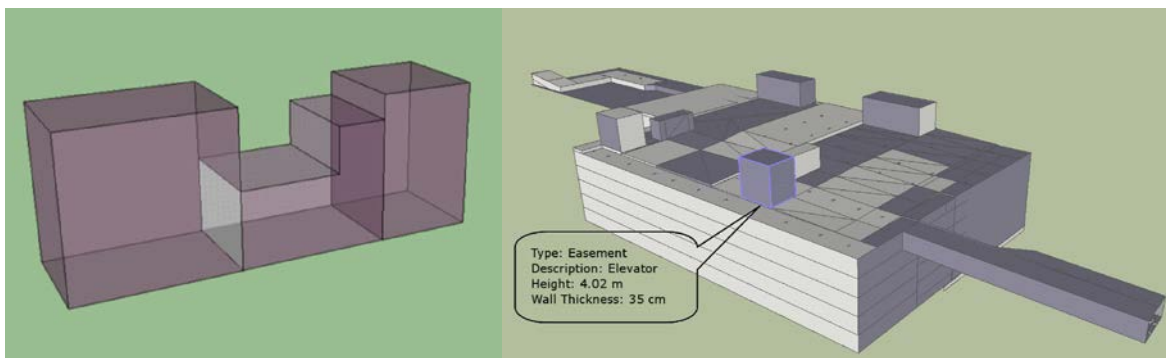
Η σήμανση των αντικειμένων όπως κτήρια, δρόμοι και ποταμοί μπορεί να είναι στατική ή δυναμική. Η στατική σήμανση είναι κατάλληλη για πάγιες προοπτικές, ενώ η δυναμική σήμανση ενδείκνυται για δυναμικούς χάρτες που υποστηρίζουν ποίκιλα επίπεδα zoom, pan και περιστροφές. Μια άλλη διαφορά είναι μεταξύ 2D και 3D σήμανσης. Στο δισδιάστατο χώρο, οι ετικέτες προβάλλονται πάνω στα στοιχεία του χάρτη ενώ στην 3D σήμανση, οι ετικέτες προβάλλονται και περιστρέφονται βάσει της προοπτικής σκοπιάς του χρήστη. Είναι αυτονόητο ότι οι δυναμικές και 3D σήμανσεις είναι πιο κατάλληλες για απεικόνιση στις τρεις διαστάσεις σε κτηματολογικές εφαρμογές.

~ Διαφάνεια του αντικειμένου (Object transparency)

Είναι πολύ χρήσιμη για απεικόνιση πολύπλοκων νομικών αντικειμένων (εικόνα 3.20). Το επίπεδο της διαφάνειας ορίζεται πάντοτε από τον χρήστη.

~ Tooltip

Αποτελεί ένα κοινό εργαλείο σε ΣΓΠ προϊόντα λογισμικού, το οποίο αναφέρεται σαν ένας μηχανισμός αναγνώρισης και παρουσιάζει τις ιδιότητες των δεδομένων που συνδέονται με ένα αντικείμενο. Αυτό μπορεί να είναι πολύ χρήσιμο σε κτηματολογικές εφαρμογές για την παροχή πληροφοριών για τα φυσικά αλλά και τα νομικά αντικείμενα στην σκηνή (εικόνα 3.20).



Εικόνα 3.20: Αριστερά: Το εφέ της διαφάνειας για 3D κτηματολογική απεικόνιση, δεξιά: Tooltip για την απεικόνιση των ιδιοτήτων του αντικειμένου (πηγή: Shojaei et al., 2013)

Η κανονιστική μοντελοποίηση είναι ένας γενικός όρος για ένα σύνολο τεχνικών στον τομέα των γραφικών υπολογιστών για τη δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων και υφών από σύνολα κανόνων. Τα L-συστήματα και η γενεσιουργός μοντελοποίηση (generative modeling) είναι τεχνικές κανονιστικής μοντελοποίησης αφού εφαρμόζουν αλγορίθμους για την παραγωγή σκηνών. Το σύνολο των κανόνων μπορεί να είναι ενσωματωμένο μέσα στον αλγόριθμο, διαμορφώσιμο από παραμέτρους, ή ξεχωριστό από τη βασική μηχανή. Το εξαγόμενο αποτέλεσμα καλείται κανονιστικό περιεχόμενο, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ηλεκτρονικά παιχνίδια, ταινίες, να «φορτωθεί» στο διαδίκτυο, ή ακόμα οι χρήστες μπορούν να επεξεργαστούν το περιεχόμενο χειρωνακτικά. Τα κανονιστικά μοντέλα εμφανίζουν συχνά ενίσχυση των βάσεων δεδομένων, κάτι το οποίο σημαίνει ότι μπορούν να παραχθούν μεγάλες σκηνές από ένα πολύ μικρότερο σύνολο κανόνων. Παρόλο που όλες οι τεχνικές μοντελοποίησης απαιτούν αλγορίθμους για τη διαχείριση και την αποθήκευση δεδομένων σε κάποιο στάδιο της διαδικασίας, η κανονιστική μοντελοποίηση εστιάζει στη δημιουργία μοντέλου από ένα σύνολο κανόνων, πάρα την επεξεργασία του μοντέλου με σύμπραξη του χρήστη χειρωνακτικά. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται ιδιαίτερα όταν είναι πολύ επίπονο και χρονοβόρο να δημιουργήσει κανείς ένα τρισδιάστατο μοντέλο χρησιμοποιώντας γενικές τεχνικές 3D μοντελοποίησης, ή όταν απαιτούνται πιο εξειδικευμένα εργαλεία. Συνεπώς είναι ένας δυναμικός τρόπος περιγραφής σύνθετων αλλά δομημένων γεωμετριών. Μερικά σχήματα μπορεί να είναι πολύ σύνθετα σε περιγραφική αναπαράσταση, αλλά αποδεικνύεται ότι είναι πολύ απλούστερα σε μια δυναμική που κτίζει βαθμιαία το σχήμα μέσω βασικών λειτουργιών και κανόνων. Τα κτήρια είναι ένα καλό παράδειγμα αυτών των γεωμετριών: μπορούν να θεωρηθούν ως το αποτέλεσμα μιας επαναληπτικής διαδικασίας που αντικαθιστά διαδοχικά κάποια απλά μέρη με αλλά απλά μέρη. Κατά την διάρκεια της διαδικασίας, η συνολική πολυπλοκότητα του παραγόμενου σχήματος καθώς και ο αριθμός των πράξεων συνεχίζουν να αυξάνονται, αλλά κάθε πράξη συνεχίζει να περιλαμβάνει μόνο βασική γεωμετρία. Η ισχύς της κανονιστικής μοντελοποίησης έγκειται στη σύνθεση των απλών κανόνων που κωδικοποιούν τις σημασιολογικές-γεωμετρικές σχέσεις, και όχι στην εγγενή πολυπλοκότητα των εμπλεκόμενων στοιχείων.

4.1 STATE OF THE ART

Μετά την έλευση των ηλεκτρονικών υπολογιστών την δεκαετία του 1950, η έννοια της γεωμετρίας πέρα από την κλασική της έννοια στο Πεδίο των Μαθηματικών και των Φυσικών Επιστημών διεισδύει επίσης στη σφαίρα της επιστήμης των Υπολογιστών. Εδώ και πάλι επιμένει η διάκριση μεταξύ στατικών και δυναμικών αναπαραστάσεων, ή ισοδύναμα μεταξύ περιγραφικών και κανονιστικών γεωμετριών. Τελικά ο συνδυασμός Υπολογιστικής Γεωμετρίας (Computational Geometry) με τις ιδέες των Τυπικών Γραμματικών (Formal Grammars) όπως ορίστηκαν το 1956 από τον Νόαμ Τσόμσκι, οδήγησε στην εμφάνιση της κανονιστικής γεωμετρίας με τον ορισμό των L-συστημάτων (L-systems) και μετά με τις γραμματικές σχήματος (shape grammars). Άλλωστε, η άνοδος της ισχύος των υπολογιστών καθώς και της GPU επιτρέπει στην κοινότητα των γραφικών υπολογιστών να υιοθετήσει το πεδίο της κανονιστικής μοντελοποίησης, με αποτέλεσμα την δημιουργία πολύ εντυπωσιακών γεωμετριών.

4.1.1 Οι Τυπικές Γραμματικές του Τσόμσκι

Ο γλωσσολόγος Νόαμ Τσόμσκι είναι διάσημος για την εργασία του σχετικά με επίσημες γραμματικές (Formal Grammars) το 1956, που αρχικά εφευρέθηκαν ως μοντέλο για την αγγλική γλώσσα, αλλά τελικά βρήκαν εφαρμογή σε μια ευρεία ποικιλία τομέων όπως ο προγραμματισμός ηλεκτρονικών υπολογιστών και οι μεταγλωττιστές.

Σε γενικές γραμμές, μια τυπική (string) γραμματική G ορίζεται από μια τετράδα (N, T, R, ω) όπου:

- N είναι ένα σύνολο μη τερματικών συμβόλων.
- T είναι ένα σύνολο από τερματικά σύμβολα ώστε $N \cap T = \emptyset$.
- R είναι ένα σύνολο κανόνων αντικατάστασης, έτσι ώστε ο κανόνας είναι μια συνάρτηση της μορφής:

$$(N \cup T)^* N (N \cup T)^* \rightarrow (N \cup T)^*$$

όπου το $*$ αναφέρεται στον Kleene τελεστή.

- $\omega \in N$ είναι ένα σύμβολο εκκίνησης ή αλλιώς αξίωμα.

Ξεκινώντας από το αξίωμα ω , οι κανόνες εφαρμόζονται διαδοχικά (ένας κάθε φορά) για την τρέχουσα συμβολοσειρά, αντικαθιστώντας το μοτίβο που βρίσκεται στην αριστερή πλευρά (LHS) του κανόνα από το σχέδιο που βρίσκεται στην δεξιά πλευρά (RHS) του κανόνα μέχρι η συμβολοσειρά να αποτελείται μόνο από τερματικά σύμβολα, και ως εκ τούτου κανένας κανόνας δεν μπορεί να εφαρμοστεί πλέον. Αυτή η διαδοχική διαδικασία αντικατάστασης καλείται διαδικασία παραγωγής. Η γλώσσα $L(G)$ μιας γραμματικής G είναι το σύνολο όλων των προτάσεων που μπορούν να ληφθούν με την εξαγωγή της G γραμματικής σε ένα πεπερασμένο αριθμό βημάτων. Διακρίνουμε συνήθως τρεις κατηγορίες ή τυπικές γραμματικές, αυτές χωρίς συμφραζόμενα (context-free), με συμφραζόμενα (context-sensitive), και κανονικές γραμματικές (regular grammars).

4.1.2 L-Συστήματα

Ένα L-σύστημα είναι ένα παράλληλο σύστημα επανεγγραφής κοντά στην Τυπική γραμματική, που ορίστηκε από τον Ούγγρο βιολόγο Aristid Lindenmayer το 1968 για την κυτταρική εξέλιξη και μοντελοποίηση της ανάπτυξης των φυτών.

Ένα L-σύστημα ορίζεται από μια τετράδα (N, T, R, ω) όπως μια τυπική γραμματική. Η μόνη διαφορά έγκειται στη διαδικασία παραγωγής. Παρά την εφαρμογή ενός κανόνα κάθε φορά ανά στάδιο, οι κανόνες εφαρμόζονται ταυτόχρονα σε όλα τα μη-τερματικά σύμβολα της τρέχουσας συμβολοσειράς. Έτσι, αυτή η παράλληλη διαδικασία αντικατάστασης είναι πράγματι σημαντική για την μοντελοποίηση μιας διαδικασίας ανάπτυξης: για παράδειγμα, η ανάπτυξη των οργάνων ενός φυτού ή ενός βιολογικού συστήματος είναι γνησίως παράλληλες.

4.1.2.1 Αστική Μοντελοποίηση

Χρησιμοποιώντας αυτά τα ισχυρά εργαλεία, που αρχικά εφευρέθηκαν για την μοντελοποίηση φυτών, είναι δυνατή η απεικόνιση και άλλων σχημάτων της πραγματικότητας ειδικά σε αστικό περιβάλλον. Η πρώτη φυσική επέκταση είναι τα οδικά δίκτυα. Οι Parish και Müller (2001) προτείνουν ένα εκτεταμένο L-σύστημα στο λογισμικό CityEngine που επιτρέπει την ανάπτυξη οδών και οδικών αρτηριών, με παρόμοιο τρόπο που αναπτύσσονται τα κλαδιά σε ένα δέντρο. Αυτά τα συστήματα λαμβάνουν υπόψη εξωτερικούς περιορισμούς όπως πυκνότητες πληθυσμών και πιθανά αστικά μοτίβα, όπως την σκακιέρα στην Νέα Υόρκη ή την ακτινική οργάνωση γύρω από πλατείες, όπως στο Παρίσι. Ενσωματώνουν δηλαδή γεωχωρικά δεδομένα μέσα στην αναπτυξιακή διαδικασία των L-συστημάτων για την ίδια εφαρμογή. Τα συστήματα αυτά δεν έχουν προταθεί μόνο για τη δημιουργία οδικών αρτηριών, αλλά κυρίως για αυτό που ενδιαφέρει και αυτήν την διπλωματική εργασία, δηλαδή έχουν χρησιμοποιηθεί για την μοντελοποίηση κτηρίων. Στον Parish (2001), ένα παραμετρικό στοχαστικό L-

σύστημα ελέγχει το μοντέλο μάζας (mass model) του κτηρίου. Μια παρόμοια ιδέα χρησιμοποιήθηκε στην Γραμματική Κτηρίου του Μανχάταν (Manhattan Building Grammar), που χρησιμοποιήθηκε στην αναδόμηση της υφής των μοντέλων των κτηρίων με βάση εικόνες.

Είναι εμφανές ότι η φύση των κτηρίων αναγκάζει τους συγγραφείς να επεκτείνουν τα L-συστήματα με διαφορετικούς τρόπους: μετατρέπουν τα τερματικά σύμβολα σε λειτουργίες και επαναπροσδιορίζουν την ερμηνεία των συμβολών. Συμφώνα με τη λογοτεχνία, τα L-συστήματα είναι πολύ αποτελεσματικά και ακριβή στην μοντελοποίηση αυξανόμενων δομών όπως τα φυτά, και παρόλο που μπορούν να μετασχηματιστούν προκειμένου να απεικονίζουν κτήρια, τέτοιες γεωμετρίες δεν προσαρμόζονται πάντοτε καλά στο πλαίσιο του L-συστήματος. Τα κτήρια δεν αυξάνονται από τη φύση τους, αλλά είναι ένα καλό παράδειγμα ανάδειξης των ποικίλων επιπέδων των κατατμήσεων των ανθρώπινων κατασκευών (μία πρόσοψη αποτελείται από ορόφους, που αποτελούνται από παράθυρα, που έχουν μπαλκόνια κτλ). Συνεπώς, άλλα πλαίσια γραμματικών, όπως οι γραμματικές σχήματος είναι καταλληλότερα για την αναπαράστασή τους.

4.1.3 Γραμματικές Σχήματος (Shape Grammars)

Οι γραμματικές σχήματος στην πληροφορική είναι μια ειδική κατηγορία συστημάτων παραγωγής (production systems) που δημιουργούν γεωμετρικά σχήματα. Τυπικά, τα σχήματα είναι δισδιάστατα ή τρισδιάστατα, συνεπώς οι γραμματικές δημιουργίας σχημάτων είναι ένας τρόπος μελέτης γλωσσών δύο ή τριών διαστάσεων.

Οι γραμματικές σχήματος ουσιαστικά είναι ένας φορμαλισμός για την απεικόνιση κανονιστικής γεωμετρίας που προτάθηκε πρώτα από τους George Stiny και James Gips το 1972 και αργότερα επισημοποιήθηκε το 1980 από τον George Stiny. Μια γραμματική σχήματος ορίζεται από μια τετράδα όπου:

- V: είναι ένα (πεπερασμένο) σύνολο σχημάτων (καλείται λεξιλόγιο)
- L: είναι ένα (πεπερασμένο) σύνολο συμβόλων (που ονομάζονται ετικέτες)
- R: είναι ένα (πεπερασμένο) σύνολο κανόνων σχήματος (shape rules) στη μορφή $\alpha \rightarrow \beta$, όπου α και β είναι σχήματα που έχουν επισημανθεί (με ετικέτες).
- ω : το αξίωμα του επισημασμένου σχήματος.

Ένας κανόνας $\alpha \rightarrow \beta$ εφαρμόζεται σε ένα σχήμα γ εάν υπάρχει μια μεταμόρφωση τ όπως αυτή $\tau(\alpha)$ που περιέχεται στο γ .

Μια γραμματική σχήματος περιλαμβάνει κανόνες σχημάτων (shape rules) και μια μηχανή παραγωγής (generation engine) που επιλέγει και επεξεργάζεται τους κανόνες. Ένας κανόνας σχήματος ορίζει με ποιον τρόπο μπορεί να μετασχηματιστεί ένα υπαρκτό σχήμα ή μέρος του σχήματος. Αυτός ο κανόνας αποτελείται από δύο μέρη που διαχωρίζονται από ένα βέλος που δείχνει από τα αριστερά προς τα δεξιά. Το αριστερό μέρος του βέλους ορίζεται ως πλευρά αριστερού χεριού (*Left-Hand Side-LHS*) και απεικονίζει μια κατάσταση σε ορούς σχήματος και ένα δείκτη, ενώ το μέρος δεξιά από το βέλος ορίζεται ως πλευρά δεξιού χεριού (*Right-Hand Side-RHS*) και απεικονίζει πώς το LHS σχήμα πρέπει να μετασχηματιστεί και που τοποθετείται ο δείκτης. Ο δείκτης βοηθά στην απόδοση του σχήματος και του προσανατολισμού του νέου σχήματος.

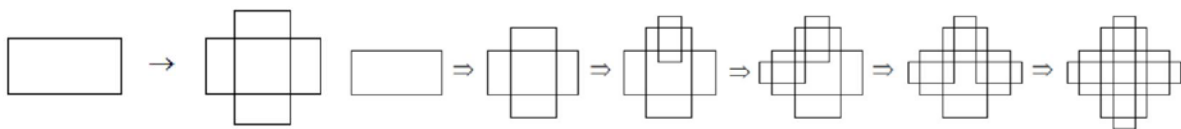
Μία γραμματική σχήματος αποτελείται στο ελάχιστο από τρεις κανόνες σχήματος: έναν κανόνα εκκίνησης, τουλάχιστον από έναν κανόνα μετασχηματισμού και έναν κανόνα τερματισμού. Ο κανόνας εκκίνησης είναι απαραίτητος για την έναρξη της διαδικασίας δημιουργίας σχημάτων, ενώ ο κανόνας τερματισμού είναι απαραίτητος για τον τερματισμό της όλης διαδικασίας. Ο πιο απλός τρόπος τερματισμού της διαδικασίας είναι με έναν κανόνα σχήματος που αφαιρεί τον δείκτη. Οι γραμματικές αυτές διαφέρουν από τις γραμματικές του Τσόμσκι σε ένα σημαντικό σημείο: οι κανόνες παραγωγής μπορούν να εφαρμοστούν σειριακά (όπως στις γραμματικές Τσόμσκι) ή παράλληλα (που

δεν επιτρέπεται στις γραμματικές του Τσόμσκι), παρόμοια με τον τρόπο που γίνεται η παραγωγή στα L-συστήματα.

Επιπλέον, αυτές οι γραμματικές έχουν μια επιφάνεια εργασίας στην οποία εμφανίζεται η δημιουργούμενη γεωμετρία. Η μηχανή δημιουργίας ελέγχει την γεωμετρία αυτήν, συχνά αναφερόμενη ως *Current Working Shape* (CWS), για κριτήρια που ταιριάζουν το LHS των κανόνων σχήματος και εν συνεχεία οι κανόνες που έχουν ταιριαστό LHS είναι έτοιμοι για χρήση. Εάν εφαρμόζονται παραπάνω από ένας κανόνες, η μηχανή παραγωγής πρέπει να επιλέξει ποιον κανόνα θα εφαρμόσει.

Ωστόσο, οι γραμματικές αυτές είναι περισσότερο χρήσιμες όταν περιορίζονται σε ένα μικρό, καλώς ορισμένο πρόβλημα παραγωγής όπως τα σχεδιαγράμματα κατοικιών και τη βελτίωση κατασκευών. Επειδή οι κανόνες σχήματος τυπικά ορίζονται σε μικρά σχήματα, μια τέτοια γραμματική μπορεί να περιέχει γρήγορα πολλούς κανόνες. Για παράδειγμα οι γραμματικές σχήματος για επαύλεις τύπου παλάτια (Palladian villas) που πρότεινε ο William Mitchell περιέχουν 69 κανόνες, που εφαρμόζονται μέσα από 8 στάδια.

Οι **παραμετρικές γραμματικές** σχήματος είναι μια επέκταση των γραμματικών σχήματος. Ακριβώς όπως στο φορμαλισμό των L-συστημάτων, η επέκταση των παραμετρικών γραμματικών σχήματος είναι απλή. Το νέο σχήμα στο RHS του κανόνα σχήματος ορίζεται από παραμέτρους προκειμένου να ληφθεί περισσότερο υπόψη το πλαίσιο των ήδη υφισταμένων σχημάτων. Αυτό τυπικά επηρεάζει τις εσωτερικές διαστάσεις του νέου σχήματος, έτσι ώστε να μπορεί να δημιουργηθεί μια μεγαλύτερη ποικιλία μορφών. Με αυτόν τον τρόπο, γίνονται προσπάθειες για να κάνουν τις γραμματικές αυτές να ανταποκρίνονται σε κατασκευαστικές συνθήκες, όπως για παράδειγμα το πλάτος των δοκών σε οροφές που εξαρτάται από το διάστημα.



rule

Εικόνα 4.1: Παραδείγματα σχημάτων που δημιουργούνται με την εφαρμογή γραμματικών σχήματος

4.1.3.1 Εφαρμογές

Οι γραμματικές σχήματος αρχικά χρησιμοποιήθηκαν για ζωγραφική και γλυπτική αλλά έχουν χρησιμοποιηθεί ιδιαίτερα στην αρχιτεκτονική (computer-aided architectural design), καθώς παρέχουν ένα φορμαλισμό για τη δημιουργία νέων σχεδίων. Άλλα σημαντικά πεδία όπου αυτές οι γραμματικές έχουν εφαρμοστεί είναι στις τέχνες διακόσμησης, στο βιομηχανικό σχεδιασμό και στη μηχανική. Οι Pascal Muller και Yoan I. H. Parish πειραματίστηκαν με την ιδέα της απόδοσης γραμματικών σε δισδιάστατα πολύγωνα για να εξαχθούν στον τρισδιάστατο χώρο, αλλά και την απόδοση υφών σε αυτά. Αυτή η προσέγγιση έδειξε πως μπορεί μια ολόκληρη πόλη να μοντελοποιηθεί σε λίγα λεπτά χωρίς την ανάγκη ξεχωριστής μοντελοποίησης του κάθε κτηρίου (Parish et al., 2001). Η πραγματική ανακάλυψη έγινε το 2003, όταν οι Wonka και άλλοι εισήγαγαν την έννοια των γραμματικών διάσπασης, οι οποίες κόβουν ένα τρισδιάστατο αντικείμενο στα συστατικά του όπως πρόσωπα, ακμές και κορυφές. Τελικά ο συνδυασμός των γραμματικών διάσπασης και των γραμματικών σχήματος, οδήγησε σε μια νέα μέθοδο στην μοντελοποίηση κτηρίων (Wonka et al., 2003). Το έργο αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία του ιδιόκτητου λογισμικού CityEngine που κυκλοφόρησε το 2008, το οποίο αξιοποιεί τις γραμματικές αυτές για κανονιστική μοντελοποίηση τρισδιάστατης αρχιτεκτονικής από 2D πολύγωνα.

4.1.3.2 Γραμματικές σχήματος για σχεδιασμό

Η κοινότητα γραμματικής σχήματος έχει κυρίως επιδείξει την ισχύ των γραμματικών αυτών με την παρουσίαση παραδειγμάτων κανόνων που παράγουν συγκεκριμένες κλάσεις σχημάτων: σχέδια ορόφων για επαύλεις (Stiny, 1978), τουρκικά παραδοσιακά σπίτια (Cagdas, 1996), σπίτια σε ύψος βασιλίσσης Άννας (Flemming, 1987), Ιαπωνικά τείλοποιεία (Knight, 1981) και πολλά άλλα. Ωστόσο αυτές οι γραμματικές έχουν αποδείξει την αποτελεσματικότητά τους και στο βιομηχανικό σχεδιασμό. Πέρα από τα παραδείγματα από τη βιομηχανία αυτοκινήτων με τις μηχανές Harley-Davidson (Pugliese, 2002) και τα αυτοκίνητα Buick (McCormack 2004), η γνώστη γραμματική Καφετιέρα (Agarwal, 1998) έχει αποδείξει τις δυνατότητες χρήσης των γραμματικών σχήματος σε βιομηχανική κλίμακα.

4.1.4 Γραμματική διάσπασης (Split Grammar)

Το 2003, ο Peter Wonka αποφασίζει να επανεξετάσει τις γραμματικές σχήματος και μελετά την εργασία του Stiny από το 1982 και την έννοια των Set Grammars. Οι τελευταίες θεωρούν τα σχήματα ως σύνολα χαρακτηρισμένων βασικών σχημάτων που λειτουργούν ως σύμβολα. Αυτό το κόλπο μας απαλλάσσει από την διαδικασία αντιστοίχισης σχήματος κατά την παραγωγή στις γραμματικές σχήματος. Έτσι, ένας κανόνας μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα βασικό σύμβολο, απλά εάν το σύμβολο του ταιριάζει με το σύμβολο στην αριστερή πλευρά του κανόνα.

Οι γραμματικές ρύθμισης (Set Grammars) σίγουρα είναι πιο κατάλληλες για αποτελεσματικές εφαρμογές σε υπολογιστές από τις γραμματικές σχήματος, και μπορούν να θεωρηθούν ως συμβιβασμός μεταξύ των Τυπικών Γραμματικών και των Γραμματικών Σχήματος. Γι' αυτό ο Wonka (2003) προτείνει μια συγκεκριμένη set γραμματική που αποκαλούν Γραμματική Διάσπασης (Split Grammar). Σε μια τέτοια γραμματική, η διαχείριση των σχημάτων γίνεται με το σκάλισμά τους κατά μήκος ενός άξονα σε διάφορα σχήματα. Η στοχαστική προϋπόθεση αυξάνει την πολυπλοκότητα της δημιουργίας του κτηρίου. Όντως, θα μπορούσε κάποιος να φανταστεί ότι με το να έχει πολλούς κανόνες διάσπασης για να μετατρέψει ένα βασικό σχήμα ορόφου σε μια ακολουθία από βασικά σχήματα τοίχου και παραθύρου θα πρόεκυπτε ένας όροφος ολοκληρωμένος, αλλά το πιθανότερο είναι να δημιουργηθούν ασυνεπή κτήρια. Η αρχιτεκτονική που προτείνεται από τον Wonka δεν είναι γραφικά τέλεια ακόμα, αλλά οι γραμματικές σχήματος από την άλλη μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά για τη δημιουργία τυχαίων 3D κτηρίων. Η εργασία αυτή από τον Wonka πραγματικά ξεκίνησε ένα κύμα κανονιστικής μοντελοποίησης, καθώς τέτοιες μηχανές μοντελοποίησης και συγκεκριμένα παραδείγματα γραμματικών για οποιοδήποτε αρχιτεκτονικό στυλ έχουν πρόσφατα πολλαπλασιαστεί.

4.2 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕ CGA ΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ

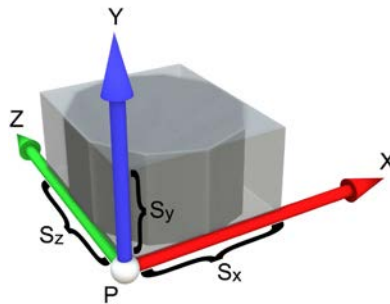
Ο Pascal Müller επεκτείνει τις γραμματικές διάσπασης με την επαναληπτική διάσπαση (repeat split) και ορίζει ένα σύνολο γραμματικών με συμφραζόμενα που ονομάζεται CGA (που χαρακτηρίζεται ως γραμματική σχήματος). Ο συμβολισμός της γραμματικής και οι γενικοί κανόνες για την προσθήκη, κλίμακα, μετάφραση και προσανατολισμό των σχημάτων είναι εμπνευσμένα από τα L-συστήματα, αλλά επεκτείνονται και για την μοντελοποίηση αρχιτεκτονικής.

Το σχήμα CGA (CGA shape) είναι μια καινοτόμος γραμματική σχήματος για την κανονιστική μοντελοποίηση CG αρχιτεκτονικής, το οποίο παράγει κτηριακές επιφάνειες με υψηλή οπτική ποιότητα και γεωμετρική λεπτομέρεια, αλλά και εκτεταμένα αρχιτεκτονικά μοντέλα για παιχνίδια στον Η/Υ και ταινίες σε χαμηλό κόστος. Οι κανόνες που περιέχει επιτρέπουν στο χρηστή να καθορίσει τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των οντοτήτων των ιεραρχικών περιγραφών των σχημάτων. Οι κανόνες παραγωγής εξελίσσουν επαναληπτικά ένα σχέδιο, παράγοντας όλο και περισσότερες

λεπτομέρειες. Ενώ οι παράλληλες γραμματικές όπως τα L-συστήματα είναι κατάλληλα για την σύλληψη της ανάπτυξης με την πάροδο του χρόνου, μια διαδοχική εφαρμογή των κανόνων επιτρέπει τον χαρακτηρισμό της κατασκευής π.χ. την χωρική κατανομή των στοιχείων και συστατικών. Συνεπώς το CGA σχήμα είναι μια διαδοχική γραμματική (sequential grammar) παρόμοια με τις γραμματικές του Τσόμσκι. Στο πλαίσιο των κτηρίων, οι κανόνες παραγωγής πρώτα παράγουν ένα ακατέργαστο ογκομετρικό μοντέλο ενός κτηρίου, που καλείται το μοντέλο μάζας, και στη συνέχεια δομούν την πρόσοψη και τελικά προσθέτουν λεπτομέρειες για παράθυρα, πόρτες και διακοσμητικά στοιχεία. Το κύριο πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι η δημιουργία της ιεραρχικής κατασκευής καθορίζεται κατά την μοντελοποίηση. Αυτή η σημασιολογική πληροφορία είναι σημαντική για την επαναχρησιμοποίηση των κανόνων σχεδίασης για κανονιστικές διαφοροποιήσεις(εικόνα 4.2), και συνεπώς για τη δημιουργία μιας μεγάλης αρχιτεκτονικής ποικιλίας που χαρακτηρίζει μια ολόκληρη πόλη.



Εικόνα 4.2: Εφαρμογή του σχήματος CGA, μιας πρωτότυπης γραμματικής σχήματος για την κανονιστική μοντελοποίηση της αρχιτεκτονικής γραφικών υπολογιστών (πηγή: Muller et al, 2006)



Εικόνα 4.3: Το πεδίο του σχήματος. Το σημείο P , μαζί με τους τρεις άξονες X , Y , και Z και ένα μέγεθος S ορίζουν ένα κουτί μέσα σε ένα χώρο που κατέχει το σχήμα (πηγή: Muller et al, 2006)

Σχήμα: Η γραμματική λειτουργεί με διαμόρφωση σχημάτων: ένα σχήμα αποτελείται από ένα σύμβολο (string), γεωμετρία (γεωμετρικά χαρακτηριστικά) και αριθμητικά χαρακτηριστικά. Τα σχήματα αναγνωρίζονται από τα σύμβολά τους, τα οποία είναι είτε ένα τερματικό σύμβολο $\in S$, ή ένα μη-τερματικό σύμβολο $\in V$. Τα αντίστοιχα σχήματα ονομάζονται τερματικά σχήματα και μη τερματικά σχήματα. Τα πιο σημαντικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά είναι η θέση P , τρία ορθογώνια διανύσματα X , Y , και Z , που περιγράφουν ένα σύστημα συντεταγμένων, και ένα μέγεθος διανύσματος S . Αυτά τα χαρακτηριστικά ορίζουν ένα προσανατολισμένο πλαίσιο οριοθέτησης στο διάστημα που ονομάζεται πεδίο (εικόνα 4.3).

Διαδικασία παραγωγής: Μια διάταξη είναι ένα πεπερασμένο σύνολο βασικών σχημάτων. Η διαδικασία παραγωγής μπορεί να ξεκινήσει με μια αυθαίρετη διάταξη των σχημάτων A , που ονομάζεται το αξίωμα (ομοίως με τις απλές γραμματικές σχήματος), και προχωρά ως ακολούθως:

- (1) Επιλέξτε ένα ενεργό σχήμα με το σύμβολο B στο σύνολο
- (2) επιλέξτε έναν κανόνα παραγωγής με το B στην αριστερή πλευρά για να υπολογίσει αντικαταστάτη για το B , το οποίο είναι ένα νέο σύνολο σχημάτων B_{NEW}

(3) σημειώσε το σχήμα B ως ανενεργό και πρόσθεσε τα σχήματα $BNEW$ στη διάταξη και προχώρα με το βήμα (1).

Η διαδικασία παραγωγής τερματίζει όταν η διάταξη δεν περιέχει μη-τερματικά σύμβολα. Επίσης, αναθέτουμε προτεραιότητα σε όλους τους κανόνες ανάλογα με την λεπτομέρεια που απεικονίζεται από το σχήμα για να αποκτήσουμε μια παραγωγή κατά εύρος πρώτα: απλά επιλεγούμε το σχήμα με τον κανόνα υψηλότερης προτεραιότητας στο βήμα 1. Αυτή η στρατηγική εγγυάται ότι η παραγωγή προχωρά από χαμηλή λεπτομέρεια σε υψηλή λεπτομέρεια με έναν ελεγχόμενο τρόπο. Αξίζει να σημειωθεί ότι δεν αφαιρούμε σχήματα, απλά τα σημειώνουμε ως ανενεργά, αφού έχουν αντικατασταθεί από τη νέα γεωμετρία.

Συμβολισμός: οι κανόνες παραγωγής ορίζονται στην παρακάτω φόρμα
id: predecessor : cond~>successor : prob

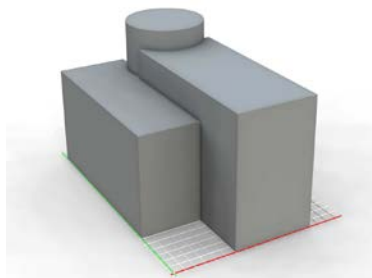
όπου id είναι ένα μοναδικό αναγνωριστικό για τον κανόνα, predecessor (προκάτοχος) $\in V$ είναι ένα σύμβολο που προσδιορίζει ένα σχήμα το οποίο πρόκειται να αντικατασταθεί με τον αντικαταστατή (successor), και **cond** είναι μία λογική έκφραση που πρέπει να αξιολογήσει την αλήθεια στον κανόνα για να εφαρμοστεί τελικά ο κανόνας. Αυτός ο κανόνας επιλέγεται με πιθανότητα **prob**. Για παράδειγμα, ο κανόνας

1: fac(h) : h > 9~>floor(h/3) floor(h/3) floor(h/3)

αντικαθιστά το σχήμα fac (πρόσοψη) με τρία σχήματα floor(ορόφους), εάν η παράμετρος h είναι μεγαλύτερη από 9.

Κανόνες πεδίου εφαρμογής: όμοια με τα L-συστήματα χρησιμοποιούμε γενικούς κανόνες για να τροποποιήσουμε τα σχήματα: $T(tx, ty, tz)$ είναι ένα διάνυσμα μετάφρασης που προστίθεται στη θέση του πεδίου εφαρμογής P , $Rx(\gamma\omega\nu\iota\alpha)$, $Ry(\gamma\omega\nu\iota\alpha)$, και $Rz(\gamma\omega\nu\iota\alpha)$ που περιστρέφει τον αντίστοιχο άξονα του συστήματος συντεταγμένων, και $S(sx, sy, sz)$ που ρυθμίζει το μέγεθος του πεδίου. Χρησιμοποιούμε [and] για την εξώθηση του τρέχοντος πεδίου σε μια στοιβάδα. Ομοίως, η εντολή $I(ob jld)$ προσθέτει ένα παράδειγμα ενός γεωμετρικού θεμελιώδους στοιχείου με αναγνωριστικό $ob jld$. Τυπικά αντικείμενα περιλαμβάνουν κύβο, ένα τετράεδρο, και κύλινδρο, αλλά τελικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιοδήποτε τρισδιάστατο μοντέλο. Το παράδειγμα κάτω δείχνει το σχέδιο ενός μοντέλου μάζας που φαίνεται στην εικόνα 4.4:

**1: A~>[T(0,0,6) S(8,10,18) I("cube")]
T(6,0,0) S(7,13,18) I("cube") T(0,0,16) S(8,15,8) I("cylinder")**



Εικόνα 4.4 : ένα απλό μοντέλο μάζας κτηρίου, που συνιστάται από τρία θεμελιώδη σχήματα (πηγή: Muller et al, 2006)

Βασικός κανόνας διάσπασης: ο βασικός κανόνας διάσπασης διασπά το τρέχον πεδίο κατά μήκος ενός άξονα. Για παράδειγμα, θεωρείστε τον κανόνα για τη διάσπαση της πρόσοψης της εικόνας 4.4 αριστερά σε 4 ορόφους και ένα περβάζι:

1: fac~>Subdiv("Y",3.5,0.3,3,3,3){ floor | ledge | floor | floor | floor }

Η πρώτη παράμετρος περιγράφει τη διάσπαση του άξονα ("X", "Y", ή "Z") και οι απομείναντες παράμετροι περιγράφουν τα μεγέθη των διασπάσεων. Μεταξύ της οριοθέτησης { and } δίνεται μια λίστα από σχήματα, που χωρίζονται με |. Επίσης χρησιμοποιούμε παρόμοιους κανόνες διάσπασης για να διασπάσουμε κατά μήκος πολλαπλών αξόνων ("XY", "XZ", "YZ", ή "XYZ"), οι οποίες ορίζονται ως ένθετες διασπάσεις (nested splits), ή συνδυασμός διασπάσεων και κανόνων των L-συστημάτων.

Κλιμάκωση των κανόνων: Ήδη από το προηγούμενο παράδειγμα μπορούμε να εντοπίσουμε την πρώτη πρόκληση. Η διάσπαση έχει τέτοιες διαστάσεις ώστε να λειτουργεί καλά με ένα πεδίο μεγέθους $y = 12.8$, αλλά για άλλα πεδία ο κανόνας πρέπει να κλιμακωθεί και προσαρμοστεί. Από την εμπειρία δεν αλλάζουν κλίμακα το ίδιο καλά όλα τα αρχιτεκτονικά μέρη, και είναι σημαντικό να έχουμε τη δυνατότητα να διακρίνουμε μεταξύ απόλυτων τιμών(που δεν αλλάζουν) και σχετικών τιμών(που αλλάζουν). Οι τιμές θεωρούνται απόλυτες από προεπιλογή και θα χρησιμοποιήσουμε το γράμμα r για να χαρακτηρίσουμε τις σχετικές τιμές, π.χ.

1: floor~>Subdiv("X",2,1r,1r,2){ B | A | A | B }

Η εικόνα 4.5 στα δεξιά δείχνει την εφαρμογή του παραπάνω κανόνα σε δύο διαφορετικού μεγέθους ορόφους (με x-μήκος 12 και 10).

Επανάληψη: για να επιτρέψουμε αλλαγές μεγαλύτερης κλίμακας στους κανόνες διασπάσεις, συχνά θέλουμε να θέσουμε ως αντικείμενο επανάληψης ένα συγκεκριμένο στοιχείο. Για παράδειγμα:

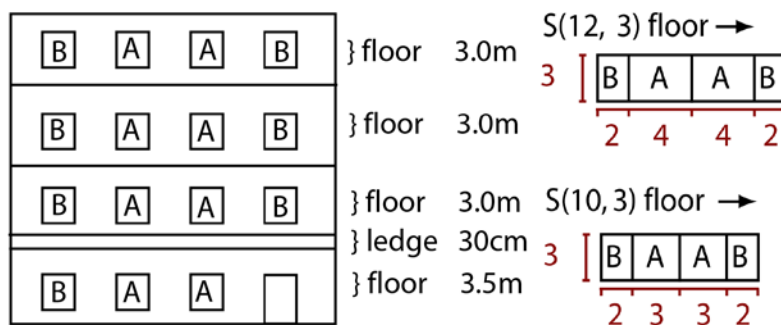
1: floor~>Repeat("X",2){ B }

Με βάση τον παραπάνω κανόνα ο όροφος θα πρέπει να 'επενδυθεί' με τόσα στοιχεία του τύπου B κατά μήκος του άξονα x του πεδίου για όσα υπάρχει χώρος.

Component split-συνιστώσα διάσπασης: μέχρι αυτό το σημείο όλα τα σχήματα (πεδία) είναι τρισδιάστατα. Η ακόλουθη εντολή επιτρέπει να διασπώνται σε σχήματα μικρότερων διαστάσεων:

1: a~>Comp(type, param){ A | B | ... | Z }

Όπου ο $type$ αναγνωρίζει τον τύπο της συνιστώσας διάσπασης που σχετίζεται με παραμέτρους $param$ (εάν υπάρχουν). Για παράδειγμα γράφουμε $Comp("faces")\{A\}$ για να δημιουργήσουμε ένα σχήμα με σύμβολο A για κάθε πρόσωπο του 3D σχήματος. Όμοια χρησιμοποιούμε $Comp("edges")\{B\}$ και $Comp("vertices")\{C\}$ για τη διάσπαση σε ακμές και κορυφές αντίστοιχα.



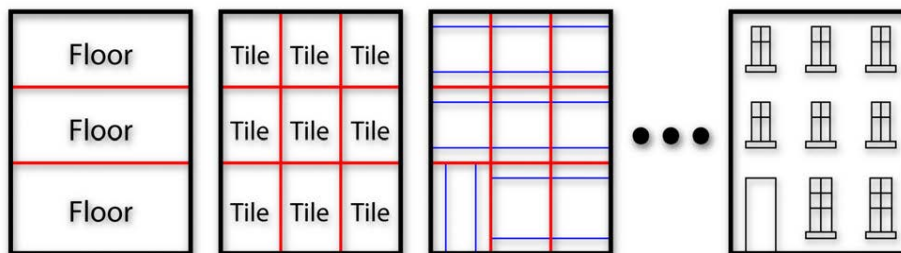
Εικόνα 4.5: αριστερά: ένα βασικό σχέδιο πρόσοψης. δεξιά: μια απλή διάσπαση που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τα τρία πάνω πατώματα (πηγή: Muller et al, 2006)

4.3 Η ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΣΩΠΕΩΝ ΒΑΣΕΙ ΕΙΚΟΝΩΝ (FAÇADE WIZARD)

Σε αυτήν την προσέγγιση οι Muller et al. μιμούνται την κανονιστική μοντελοποίηση από τα γραφικά υπολογιστών προκειμένου να διαιρέσουν μια υφή προσώπου με έναν top-down χαρακτήρα σε στοιχεία όπως ορόφους, πλάκες, παράθυρα και πόρτες. Η μοντελοποίηση υλοποιείται με αντίστροφη διαδικασία σε σχέση με την προηγούμενη, δηλαδή εφαρμόζονται «κοψίματα» σε μία εικόνα πρόσοψης η οποία είναι ορθοαναγμένη, τα οποία μεταφράζονται μέσα στο πρόγραμμα σε CGA κανόνες αυτόματα. Χρησιμοποιείται ανάλυση εικόνας για την εξασφάλιση μιας ουσιαστικής κατάτμησης στην εικόνα εισόδου. Οι σημαντικότερες συνεισφορές αυτής της μεθόδου είναι: 1) Η εισαγωγή της χρήσης κοινής πληροφορίας για την εξαγωγή υψηλού επίπεδου δομής προσώπων με την ανίχνευση επαναλήψεων στο μοτίβο (2) Η πρόταση μιας καινοτόμου μεθόδου για την εξαγωγή ενός top-down σχεδίου υποδιαιρέσεων με το συνδυασμό τεχνικών όρασης υπολογιστών και μεθόδων κανονιστικής μοντελοποίησης που βασίζονται σε αρχιτεκτονική γνώση 3) Τα σύνολα κανόνων γραμματικής σχήματος προκύπτουν σχεδόν αυτόματα από περίπλοκα σχήματα.

4.3.1 Επισκόπηση

Η προτεινόμενη λύση αποτελείται από τέσσερα στάδια που μεταμορφώνουν μια απλή εικόνα σε ένα 3D μοντέλο με υφές. Κατά την κανονιστική μοντελοποίηση της προσόψεως χρησιμοποιείται top-down ιεραρχική κατάτμηση ανάλογα με τους κανόνες διάσπασης (Muller et al, 2006) (εικόνα 4.6).

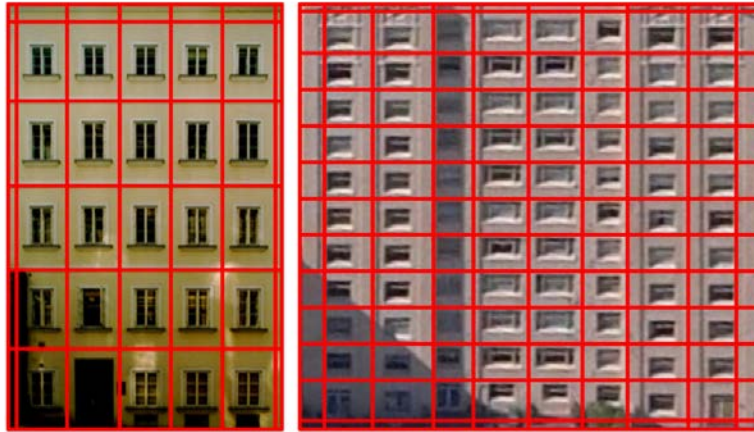


Εικόνα 4.6: Η ιεραρχική κατάτμηση των προσώπων (πηγή: Muller et al, 2007)

Οι εικόνες εισόδου μπορεί να προέρχονται από επίγειες εικόνες ή αεροφωτογραφίες, οι οποίες πρέπει να διορθωθούν για να χρησιμοποιηθούν βέλτιστα στην απόδοση στο 3D μοντέλο. Οι διορθωμένες υφές των προσώπων περιλαμβάνοντας τα αντίστοιχα πραγματικά μεγέθη(από την ανακατασκευή του μοντέλου) μπορούν εύκολα να προκύψουν από φωτογραμμετρικά αστικά μοντέλα. Ωστόσο, υπάρχουν πολλά εργαλεία για διορθώσεις (rectification) σε περιπτώσεις όπου ενδείκνυται περαιτέρω διόρθωση, γι' αυτό το πρόγραμμα διαθέτει δικό του εργαλείο αυτόματης διόρθωσης για να μην απευθυνόμαστε σε μοντέλα εκτός προγράμματος. Ακολούθως δίνεται η περιγραφή των ξεχωριστών σταδίων.

4.3.2 Ανίχνευση της δομής της πρόσοψης

Ο στόχος αυτού του σταδίου είναι η ανίχνευση της γενικής δομής σε μια πρόσοψη και η ανάλογη κατάτμησης της. Το στοιχείο εισόδου είναι μια εικόνα και το προϊόν είναι μια διαίρεση σε ορόφους και πλάκες. Επιπλέον, υπολογίζεται η πληροφορία της συμμετρίας προκειμένου να ξέρουμε για κάθε εικονοστοιχείο την θέση των αντιστοίχων εικονοστοιχείων σε συμμετρικές πλάκες. Η εικόνα 4.7 δείχνει ένα παράδειγμα κατάτμησης που υπολογίζεται με αυτόν τον αλγόριθμο. Είναι αξιοσημείωτο ότι παρόλο που αυτό το παράδειγμα είναι αρκετά συμμετρικό είναι ήδη αρκετά δύσκολο εξαιτίας της σκίασης και των διαφορετικών παρουσιάσεων των παραθύρων.



Εικόνα 4.7: Η πρόσοψη υποδιαιρείται αυτόματα σε πλάκες (κόκκινες γραμμές) (πηγή: Muller et al, 2007)

Ο αλγόριθμος έχει τρία βήματα. Πρώτα εντοπίζονται, παρόμοιες περιοχές στην εικόνα με τη χρήση κοινής πληροφορίας (mutual information-MI). Δεύτερον, δημιουργείται μια δομή δεδομένων που καλείται μη ελαττωμένη πρόσοψη (*Irreducible Facade-IF*) που επιτρέπει την κωδικοποίηση πληροφορίας για τις συμμετρίες που διέπουν τα πατώματα και τις πλάκες. Τρίτον, αναλύεται η IF για να βρούμε τη βέλτιστη, περαιτέρω κατάτμηση των πλακών. Το βασικό στοιχείο στον αλγόριθμο είναι ο εντοπισμός της μεταφραστικής συμμετρίας στο βήμα 2 πριν υπολογιστούν οι γραμμές διάσπασης στο βήμα 3, το οποίο βελτιώνει την αξιοπιστία του αλγορίθμου.

4.3.3 Εντοπισμός συμμετρίας

Σε αυτό το βήμα χρησιμοποιείται ΚΠ για την ανίχνευση παρόμοιων πατωμάτων και πλακών στην εικόνα. Στην κάθετη διεύθυνση, αναμένεται μεταφραστική συμμετρία στους ορόφους, παρόλο που το ισόγειο και οι άνω όροφοι συχνά διαφέρουν. Στην οριζόντια διεύθυνση, οι όροφοι παρουσιάζουν συχνά μια διατεταγμένη ακολουθία επαναλαμβανόμενων μοτίβων ή πλακών. Ο αλγόριθμος ψάχνει πρώτα για συμμετρία στην κάθετη και μετά στην οριζόντια διεύθυνση. Για την ανίχνευση επανάληψης στις δύο διευθύνσεις αναλύεται η ομοιότητα μεταξύ όμορων περιοχών της εικόνας, η οποία είναι πρακτική εφόσον η συντριπτική πλειονότητα των περιπτώσεων αντιστοιχούν σε τέτοια γειτονική, περιοδική πλακόστρωση.

Χρησιμοποιείται μια εξαντλητική στρατηγική αναζήτησης για τον υπολογισμό της ομοιότητας για όλες τις x και y θέσεις, και τελικά η έρευνα αποδίδει την καλύτερη τιμή συμμετρίας για κάθε οριζόντια γραμμή στην εικόνα και την αντίστοιχη τιμή h , η οποία φανερώνει το ύψος που κατέχει την καλύτερη τιμή συμμετρίας.

4.3.4 Καταμήσεις των πλακών της πρόσοψης

Σε αυτό το στάδιο υλοποιείται η κατάτμηση των ανιχνευμένων πλακών σε μικρότερες περιοχές. Αυτό γίνεται με έναν αλγόριθμο που επιλέγει αναδρομικά την καλύτερη γραμμή διάσπασης στην υπό εξέταση περιοχή (εικόνα 4.8) για παράδειγμα. Αυτή η δομή κατατμήσεων είναι μια έννοια που χρησιμοποιείται στην κανονιστική μοντελοποίηση και δημιουργεί αυτόματα μια ιεραρχία στοιχείων, η οποία είναι απαραίτητη για περαιτέρω ανάλυση, όπως την δημιουργία κανόνων για μια γραμματική σχήματος.



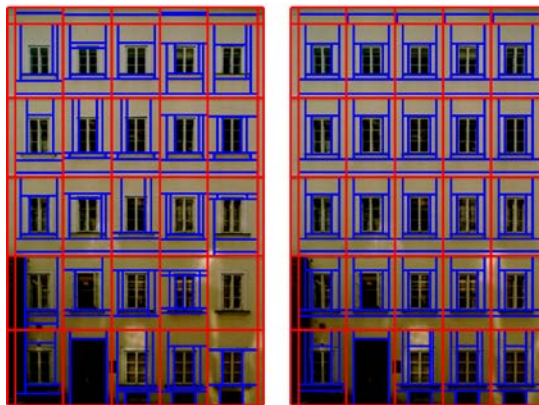
Εικόνα 4.8: Οι πλάκες υποδιαιρούνται ιεραρχικά (όπως φαίνεται με τις μπλε γραμμές). Κάθε εικόνα αντιπροσωπεύει ένα βήμα της υποδιαίρεσης (πηγή: Muller et al, 2006)

Επειδή οι μεμονωμένες πλάκες περιέχουν θόρυβο, οι αλγόριθμοι διάσπασης αξιοποιούν τη γνώση για τις επαναλήψεις που είναι ενσωματωμένη στην IF. Η εικόνα 4.9 αριστερά δείχνει πως ο θόρυβος κάνει την υποδιαίρεση των μεμονωμένων πλακών πολύ αναξιόπιστη. Συνεπώς, ο αλγόριθμος αναλύει παρόμοιες δομές σε άλλες πλάκες για να συγχρονίσει την παραγωγή και με αυτόν τον τρόπο, βελτιώνει σημαντικά το αποτέλεσμα (εικόνα 4.9 δεξιά). Η διαδικασία διάσπασης αποτελείται από δύο κύρια στοιχεία: την επιλογή μιας βέλτιστης τοπικής διάσπασης, και το συγχρονισμό της συνολικής διάσπασης.

4.3.4.1 Εντοπισμός τοπικής διάσπασης

Ο αλγόριθμος εντοπισμού διάσπασης εστιάζει στην εύρεση σχετικών ακμών πλησιέστερα στο όριο. Ο αλγόριθμος αξιολογεί όλες τις γραμμές διάσπασης (splitting lines) ξεκινώντας από το όριο για να βρει την πρώτη κατάλληλη υποψήφια γραμμή με κίνηση προς τα μέσα από την αριστερή πλευρά, δεξιά πλευρά, άνω πλευρά, και την κάτω πλευρά.

Προκειμένου να εκτιμηθεί η συνάφεια μιας ακμής, η ισχύς του θα πρέπει να συγκρίνεται με ένα κατώφλι το οποίο λαμβάνει υπόψη το τοπικό επίπεδο θορύβου. Η πρώτη σχετική ακμή που συναντάται λαμβάνεται σαν υποψήφια, που οδηγεί στο μέγιστο των 4 υποψηφίων (για κάθε πλευρά). Μεταξύ των υπόλοιπων τμημάτων ακμών επιλέγεται η μακρύτερη υποψηφία.



Εικόνα 4.9: Αριστερά: κατατετημημένες πλάκες με βάση εντοπισμό τοπικής διάσπασης ανά πλάκα. Δεξιά: αποτέλεσμα με την προσθήκη του συγχρονισμού συνολικής διάσπασης (πηγή: Muller et al, 2006)

4.3.4.2 Συγχρονισμός συνολικής διάσπασης

Όπως είναι αναμενόμενο η ανίχνευση τοπικής διάσπασης εξακολουθεί να πλήττεται από το θόρυβο της εικόνας. Υιοθετείται μία λύση για την αξιοποίηση των προκύπτων ατελών συμμετριών με βάση τις ακόλουθες ιδέες: (1) με σύγκριση τοπικών λύσεων ανάμεσα σε ένα κατώφλι παρόμοιων πλακών και (2) με σύγκριση τοπικών λύσεων μεταξύ όλων των πλακών.

Για να συγχρονιστούν οι λύσεις των διασπάσεων μέσα σε ένα κατώφλι επιλέγεται ο πιο κοινός τύπος διάσπασης και στη συνέχεια επιβάλλεται αυτός ο τύπος σε όλα τα μέλη της ομάδας. Εξαιτίας ατελειών στην ομαδοποίηση (clustering), οι θέσεις διάσπασης πρέπει να ευθυγραμμιστούν

προσεκτικά. Προφανώς, μπορούμε να ευθυγραμμίσουμε μόνο κάθετες διασπάσεις μέσα σε στήλες πλακών και οριζόντιες διασπάσεις μέσα σε σειρές πλακών, κάτι το οποίο ενδέχεται να δώσει ατελείς συμμετρίες ανάμεσα στις στήλες και τις γραμμές. Το τελικό βήμα είναι ο έλεγχος αυτών των ατελών συμμετριών. Η εικόνα 4.10 δείχνει την επίδραση του συγχρονισμού συνολικής διάσπασης.



Εικόνα 4.10: αριστερά: ο αλγόριθμος χωρίς συγχρονισμό, δεξιά: ο συγχρονισμός μπορεί να εξαλείψει σχεδόν όλα τα σφάλματα (πηγή: Muller et al, 2007)

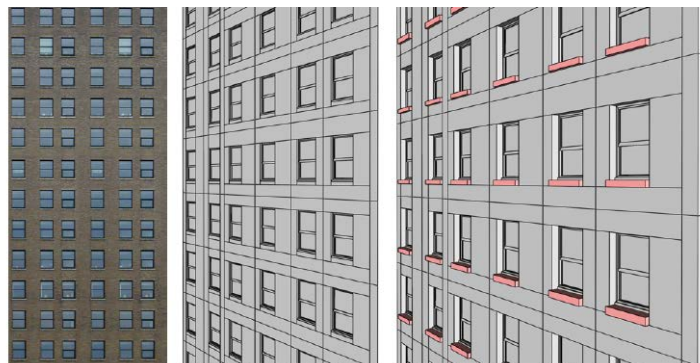
4.3.5 Επεξεργασία και εξαγωγή κανόνα

Σε αυτό το στάδιο, η ερμηνεία της πρόσοψης που προκύπτει περιλαμβάνει στοιχεία, αλλά δεν περιέχει πληροφορία βάθους. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει ομάδες στοιχείων και να προσαρμόσει διαδραστικά το βάθος. Η εικόνα 4.11 δείχνει αυτή τη διαδικασία επεξεργασίας.

Στο επόμενο βήμα, η υπολογισμένη κατάτμηση κωδικοποιείται με κανόνες γραμματικής σχήματος. Οι παραγόμενοι κανόνες περιέχουν την ιεραρχική πληροφορία και τις σωστές διαστάσεις. Επιπλέον, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την πληροφορία ομοιότητας για την κωδικοποίηση της επανάληψης των πλακών. Για παράδειγμα, παρουσιάζεται το σύνολο των κανόνων για την πρόσοψη στο παράθυρο κωδικοποιημένο ως CGA σχήμα (Muller et al. 2006). Οι κανόνες για τη δομή της πρόσοψης (πχ όροφοι και πλάκες) κωδικοποιούνται ως συνδυασμός κατατμήσεων και επαναληπτικών διασπάσεων (repeat split):

```
1: facade~>
Subdiv(Y, 5.4, 1r, 3.9, 0.6) { floor1 | Repeat(Y,4){floor2} | floor3 | top }

2: floor1~>Subdiv(X, 5.3, 1r){ tile1 | Repeat(X,3.1){ tile2 } }
3: floor2~>Subdiv(X, 5.3, 1r){ tile3 | Repeat(X,3.1){ tile4 } }
```



Εικόνα 4.11: Προσαρμογή του βάθους. Αριστερά: εικόνα εισόδου. Μέση: αυτόματη εξαγωγή κατάτμησης με ταίριασμα των στοιχείων. Δεξιά: ο χρήστης μπορεί να προσαρμόσει χειρωνακτικά το βάθος για επιλεγμένες ομάδες περιοχών (πηγή: Muller et al, 2006)

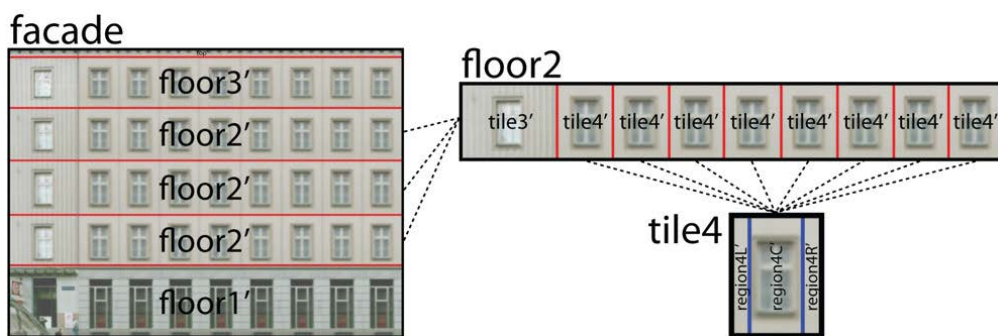
Ο πρώτος κανόνας διασπά την πρόσοψη σε ορόφους και οι άλλοι κανόνες διασπούν κάθε όροφο σε πλάκες. Οι κανόνες 1 και 3 φαίνονται στην εικόνα 4.12. Οι διαστάσεις των λειτουργιών διάσπασης Subdiv για μη επαναλαμβανόμενα σχήματα είναι απόλυτες τιμές, ενώ για επαναλαμβανόμενα σχήματα είναι σχετικές τιμές σύμφωνα με το σχετικό τους μέγεθος. Εξαιτίας της φύσης του CGA σχήματος, αυτό εγγυάται ότι το σύνολο των κανόνων που προκύπτει είναι εξαρτώμενο από το μέγεθος και μπορεί αργότερα να χρησιμοποιηθεί με έναν ευέλικτο τρόπο. Εάν δεν υπάρχουν επαναλαμβανόμενα στοιχεία (είτε οριζοντίως είτε σε κάθετη διεύθυνση), οι διαστάσεις του πρώτου και του τελευταίου σχήματος της διάσπασης είναι σε απόλυτες τιμές, ενώ οι άλλες σε σχετικές τιμές. Οι ακόλουθοι κανόνες κωδικοποιούν τις πλάκες:

```
6: tile1~>Subdiv(X,1r,0.3){ region1B | region1T }
...
9: tile4~>Subdiv(X,1r,1.9,1r){ region4L | region4C | region4R }
```

Στον κανόνα 6, η διάσπαση χωρίζει την πλάκα σε δύο σχήματα. Είναι αξιοσημείωτο ότι το μικρότερο σχήμα κωδικοποιείται ως απόλυτη τιμή ενώ το μεγαλύτερο σχήμα έχει κυμαινόμενες τιμές π.χ. του δίνεται σχετική τιμή. Για διπλές διασπάσεις όπως στον κανόνα 9, ορίζουμε τις εξωτερικές περιοχές σημαίνουσες και την κεντρική απολύτου μεγέθους και οι διαστάσεις των διασπάσεων πολλών ορισμένων σχημάτων μπορούν να υπολογιστούν από το μέσο όρο των θέσεων των διασπάσεων (που φαίνονται με διακεκομμένες γραμμές στην εικόνα 4.12). Τα επόμενα επίπεδα διάσπασης κωδικοποιούνται με έναν παρόμοιο τρόπο:

```
14: region1B~>Subdiv(X,1r,0.3){ region1BB | region1BT }
15: region1T~>S(1r,1r,0.2) T(0,0,-0.2) I(wall)
...
```

Εάν φτάσουμε στο σχήμα ‘ φύλλου’ όπως στον κανόνα 4.12, έχουμε πλέον ένα πλήρες σύνολο με κανόνες που περιγράφει την κατακερματισμένη πρόσοψη και μπορεί να εφαρμοστεί σε διαφορετικών διαστάσεων προσόψεις όπως φαίνεται στην εικόνα 4.13. Επίσης ορισμένα τμήματα του συνόλου κανόνων μπορούν να περιληφθούν και σε άλλα σχέδια κτηρίων με αντιγραφή και επικόλληση, όπου χρειάζεται.



Εικόνα 4.12: Το εξαγόμενο ‘σχήμα δέντρου’ μπορεί αυτόματα να μετατραπεί σε σύνολο κανόνων σχήματος CGA. Η εικόνα απεικονίζει τον κανόνα 1 (διαίρεση σε ορόφους), κανόνα 3 (υποδιαίρεση σε πλάκες στους ορόφους), και τον κανόνα 9 (υποδιαίρεση της αντίστοιχης πλάκας)(πηγή: Muller et al, 2007)



Εικόνα 4.13: Το εξαγόμενο σύνολο κανόνων είναι ανεξάρτητο διαστάσεων και μπορεί να εφαρμοστεί με αντιγραφή-επικόλληση στο σχεδιασμό ποικίλων 3D μοντέλων(πηγή: Muller et al, 2007)

4.3.6 Συμπεράσματα

Τελικά και με τις δύο μεθόδους ο σχεδιασμός με τη γραμματική αυτή είναι σταθερός και αποδοτικός στις περισσότερες περιπτώσεις, εφόσον δεν εκτελούνται σύνθετοι και επιρρεπείς σε σφάλματα γεωμετρικοί υπολογισμοί (όπως αλγόριθμοι λογικών τελεστών, που είναι πολύ δύσκολο να εφαρμοστούν αξιόπιστα). Επίσης έχει επιτευχθεί πολύ καλή εξισορρόπηση ανάμεσα στην ποιότητα και την ταχύτητα καθώς η παραγωγή με γραμματικές σχήματος είναι εύλογα γρήγορη, ώστε να μπορούν να δημιουργηθούν ένα δισεκατομμύριο μοντέλα μαζών σε λιγότερο από μια μέρα. Η σημαντική πτυχή της εφαρμογής είναι ότι βοηθά το χρήστη με το πιο δύσκολο μέρος της μοντελοποίησης της πρόσοψης: μπορούμε να αντλήσουμε τις ακριβείς διαστάσεις, αναλογίες και την απόσταση των αρχιτεκτονικών στοιχείων αυτόματα.

4.4 CITYENGINE

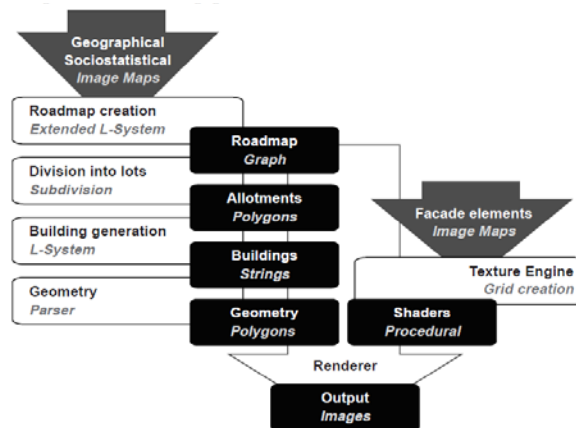
Το CityEngine είναι ευρέως γνωστό λογισμικό κανονιστικής μοντελοποίησης μέσω CGA γραμματικών και έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλές εφαρμογές στην βιομηχανία παιχνιδιών ήδη από την κυκλοφορία του το 2008, καθώς αποτελεί ένα φιλικό προς το χρήστη πρόγραμμα που επιτρέπει τη δημιουργία και αλληλεπίδραση με σύνθετα τρισδιάστατα μοντέλα από το μηδέν, μέσω μιας συγκεκριμένης ροής εργασιών.

Το λογισμικό χρησιμοποιείται στην δημιουργία υψηλά λεπτομερών τρισδιάστατων μοντέλων φανταστικών πόλεων και αστικών τοπίων και έχει τη δυνατότητα εισαγωγής διαφόρων τύπων γεωγραφικών και αρχιτεκτονικών δεδομένων όπως GIS και CAD δεδομένα, καθώς οι δυνατότητες του για μοντελοποίηση πραγματικών ανάγλυφων και τοπίων είναι πολλά υποσχόμενες. Παρόλα αυτά ο πιο αποδοτικός τρόπος για να χρησιμοποιήσει κανείς το λογισμικό είναι να ξεκινήσει με μια κενή σκηνή και να αφήσει το λογισμικό να δημιουργήσει το τοπίο με ελάχιστη παρέμβαση του χρήστη. Η κατασκευή του μοντέλου συνήθως ξεκινά με τη δημιουργία οδικών δικτύων με το εργαλείο «grow streets» ή μέσω χαρτών και έτοιμων δεδομένων που εισάγονται είτε από το openstreetmaps.org ή από γεωβάσεις. Με την ολοκλήρωση των οδικών δικτύων, δημιουργούνται οικοδομικά τετράγωνα, που στη συνέχεια υποδιαιρούνται σε τεμάχια και ακολούθως υλοποιούνται τα ίχνη των κτηρίων. Αυτό μπορεί να γίνει με την εισαγωγή αρχείων shapefiles, ή CAD σχεδίων ή δεδομένων από openstreetmaps που σηματοδοτούν αυτά τα ίχνη που συνοδεύονται από τιμές με τα ύψη των κτηρίων. Με την ολοκλήρωση της παραπάνω διαδικασίας, θα έχει δημιουργηθεί μια νέα πόλη ή οποιοδήποτε τυπικό αστικό περιβάλλον που περιλαμβάνει βασικά στοιχεία, όπως δρόμους, οικοδομικά τετράγωνα κτλ, παρόλο που μέχρι αυτό το σημείο αυτό αποτελεί απλή γεωγραφική πληροφορία σε δύο διαστάσεις. Προκειμένου να αξιοποιηθεί η τρίτη διάσταση με τη δημιουργία του όγκου των κτηρίων,

πρέπει να εφαρμοστεί ένας κανόνας εξώθησης. Η γραμματική σχήματος που περιγράψαμε προηγουμένως είναι πρακτικά ο ορισμός κάθε κτηρίου και μπορεί να τροποποιηθεί αναλόγως τις απαιτήσεις και ανάγκες του χρήστη ή είναι δυνατή η χειρωνακτική προσαρμογή των παραμέτρων, οδηγώντας με αυτόν τον τρόπο στον επανασχεδιασμό και τη βελτίωση του αρχικού μοντέλου.

Μία από τις πιο ενδιαφέρουσες προσαρμογές που υλοποιούνται είναι όπως έχουμε αναφέρει σε προηγούμενα κεφάλαια η εφαρμογή επιπέδων λεπτομερειών (LOD), τα οποία διευκολύνουν την απεικόνιση των κτηρίων μικρότερης σημασίας σε χαμηλότερο επίπεδο λεπτομερειών, διαχωρίζοντας τα από κτήρια υψηλής σημασίας για το σκοπό του εκάστοτε μοντέλου. Το μεγάλο πλεονέκτημα του CityEngine είναι η επιλογή της διακοπής της διαδικασίας οποιαδήποτε στιγμή και η δυνατότητα χειροκίνητης διόρθωσης εκτός του λογισμικού (Schirmer and Kawagishi, 2009).

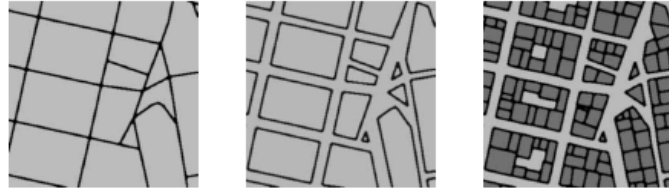
Υπάρχουν τρεις τύποι μοτίβων που μπορεί να χρησιμοποιήσει ο χρήστης όταν δημιουργεί την πόλη του με αυτόν τον τρόπο για γρήγορο σχεδιασμό και κατασκευή αστικών σχεδίων: Οργανικό (Organic), Ψηφιακό (raster) και Ακτινικό (Radial) (εικόνα 4.17). Η Οργανική μέθοδος δημιουργεί δρόμους που έχουν το χαρακτηριστικό παλιάς μεσαιωνικής πόλης και μοιάζουν με μικρά συγκροτήματα που επεκτείνονται σε μια μεγαλύτερη πόλη.



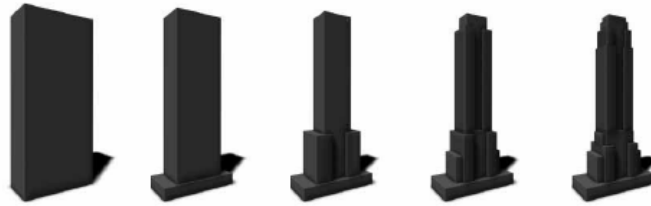
Εικόνα 4.14: Η ροή εργασιών στο πρόγραμμα. Τα μαύρα κουτιά δίνουν τα αποτελέσματα και τις δομές δεδομένων των μεμονωμένων εργαλείων στα λευκά ορθογώνια. (πηγή: Parish and Muller, 2001)

Η Ακτινική μέθοδος βασίζεται σε πόλεις όπως το Παρίσι, όπου η πόλη εξελίσσεται γύρω από ένα κεντρικό σημείο, το οποίο είναι σύνηθες σε πόλεις που εξελίχθηκαν γύρω από ένα κάστρο και περικλείονταν από τείχος. Η τελευταία μέθοδος δημιουργεί μια πόλη που μοιάζει να έχει σχεδιαστεί από την αρχή, όπου παράλληλοι δρόμοι τέμνονται περίπου στις 90 μοίρες, και έχει χρησιμοποιηθεί η Νέα Υόρκη ως βάση αναφοράς.




Ο χρήστης επίσης επιλέγει από αυτά τα μοτίβα ένα μοτίβο για δευτερεύοντες δρόμους που περικλείουν τα οικοδομικά τετράγωνα όπου θα δημιουργηθούν τα κτήρια. Τα τετράγωνα μπορούν τότε να έχουν αναδρομική υποδιαίρεση (recursive subdivision), σκελετική υποδιαίρεση (skeletal subdivision), offset υποδιαίρεση ή καμία υποδιαίρεση (no subdivision) αναλόγως το στυλ που θέλει να αποδώσει ο χρήστης. Ο χρήστης μπορεί επίσης να χρησιμοποιήσει υψομετρικούς χάρτες και χάρτες με εμπόδια (obstacle maps) για να περιορίσει την πόλη, ενώ είναι επίσης αποδεκτή η χρήση πληθυσμιακών δεδομένων για να επηρεάσει τα μοντέλα ανάπτυξης των δρόμων (εικόνα 4.18).



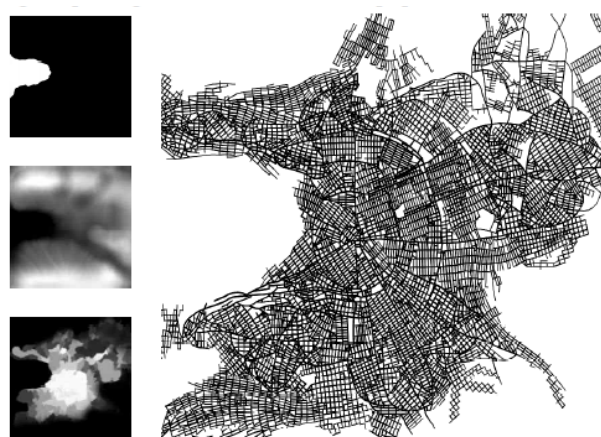
Εικόνα 4.15: Ροή δημιουργίας των οδικών δικτύων, οικοδομικών τετραγώνων και των τεμαχίων (πηγή: Parish and Muller, 2001)



Εικόνα 4.16: Βήματα εξαγωγής κτηρίων στο CityEngine (πηγή: Parish and Muller, 2001)

Pattern name	Pattern	Example
Basic	No superimposed pattern.	
New York	Rectangular Raster	
Paris	Radial to center	

Εικόνα 4.17: Επισκόπηση των μοτίβων δρόμων που χρησιμοποιούνται στο CityEngine (πηγή: Parish and Muller, 2001)

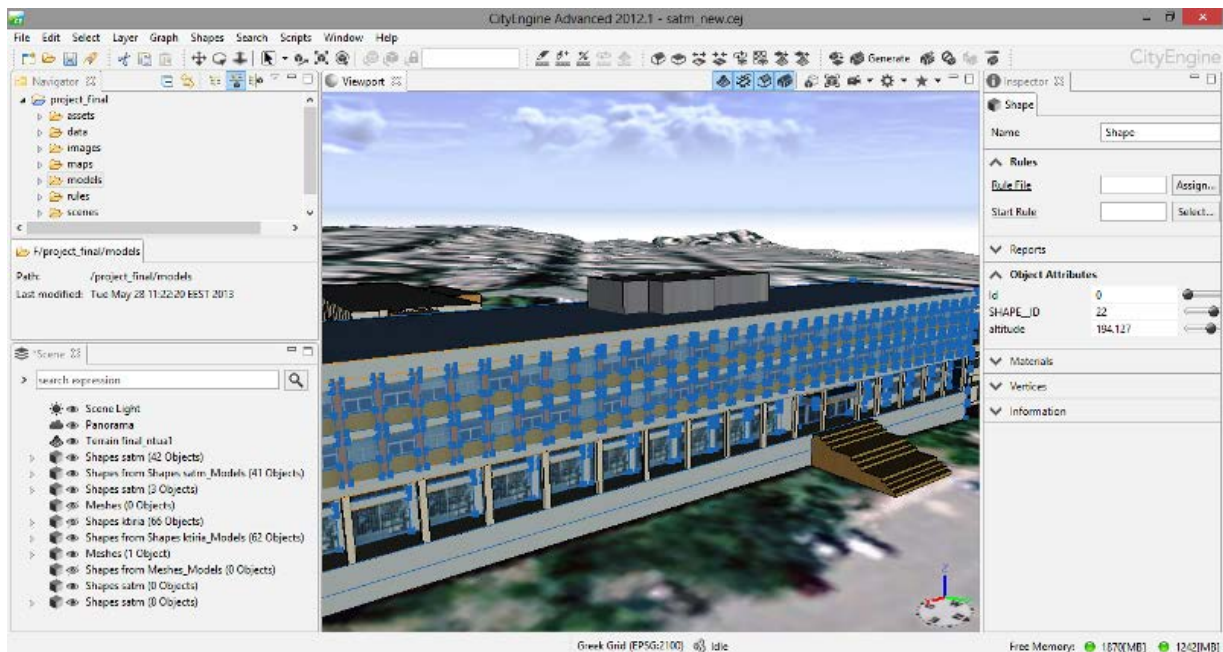


Εικόνα 4.18: Αριστερά: χάρτες νερού, υψομέτρου και πυκνότητα πληθυσμού μιας φανταστικής ψηφιακής πόλης. δεξιά: ένα πιθανός χάρτης δρόμων που προκύπτει από τα δεδομένα εισόδου (πηγή: Parish and Muller, 2001)

4.4.1 Επιφάνεια του χρήστη

Η επιφάνεια του χρήστη στο CityEngine (εικόνα 4.19) είναι καλά οργανωμένη και σχεδιασμένη για χρήση σε μεγάλες και πολλαπλές οθόνες. Το λογισμικό έχει πολλές προηγμένες λειτουργίες που τρέχουν, ενώ η επιφάνεια του χρήστη είναι σχετικά φιλική για χρήση.

Αυτό το κεφάλαιο παρέχει μια σύντομη περιγραφή της οργάνωσης του λογισμικού και των πιο βασικών στοιχείων που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία του μοντέλου. Η παρακάτω εικόνα δείχνει ένα στιγμιότυπο της βασικής επιφάνειας και πως είναι τοποθετημένα και χρησιμοποιούνται τα διάφορα στοιχεία.



Εικόνα 4.19: Το περιβάλλον εργασίας του CityEngine

4.4.2 Πλοηγός (navigator)

Στην άνω αριστερή γωνία της διεπιφάνειας είναι ο πλοηγός, που είναι ο διαχειριστής των αρχείων του προγράμματος. Η ρίζα του διαχειριστή των αρχείων είναι ο φάκελος εργασίας (workspace folder) και όταν δημιουργείται μια νέα εργασία στο CityEngine, τότε δημιουργείται και ένας φάκελος στον χώρο εργασίας με μια συγκεκριμένη δομή φακέλων που ορίζεται από το πρόγραμμα. Συγκεκριμένα κάθε εργασία αποτελείται από 8 φακέλους που περιέχουν assets, data, images, maps, models, rules, scenes και scripts. Οι πιο σημαντικοί και χρήσιμοι φάκελοι είναι ο φάκελος assets και οι φάκελοι rules και scenes. Ο πρώτος φάκελος μπορεί να περιέχει όλα τα απαραίτητα δεδομένα για την «επένδυση» του αστικού περιβάλλοντος, όπως υφές (τοιχούς, παράθυρα κτλ) αλλά και έτοιμα 3D μοντέλα, όπως δέντρα και αντικείμενα (άνθρωποι, αμάξια κτλ). Ο φάκελος με τους κανόνες περιέχει όλους εκείνους τους CGA κανόνες που χρειάζονται για την κατασκευή του αστικού περιβάλλοντος, είναι ουσιαστικά ο αρχιτέκτονας της όλης διαδικασίας, ενώ ο φάκελος με τις σκηνές περιέχει το συνολικό τρισδιάστατο περιβάλλον που έχουμε χτίσει σε κάθε σκηνή.

4.4.3 Παράθυρο προεπισκόπησης (preview window)

Κάτω από τον πλοηγό είναι το παράθυρο προεπισκόπησης, όπου ο χρήστης μπορεί να δει όλους τους τύπους δεδομένων που το CityEngine μπορεί να διαβάσει και υποστηρίζει. Παραδείγματα είναι 3D μοντέλα .obj αρχεία, οι περισσότεροι τύποι αρχείων συμπεριλαμβανόμενων .jpeg, .tiff, .png και πολλά

άλλα όπως shapefiles, αρχεία ESRI γεωβάσεων, Collada, Autodesk FBX, 3DS, RenderMan RIB, mental ray MI και e-on software's Vue, για την άψογη ανταλλαγή των 3D δεδομένων.

4.4.4 Επεξεργαστής της σκηνής (scene editor)

Κάτω από το παράθυρο προεπισκόπησης είναι ένα παράθυρο που περιέχει τον επεξεργαστή της σκηνής, μεταξύ των άλλων. Όταν ο χρήστης ανοίγει μια σκηνή εμφανίζονται τα διαφορετικά επίπεδα της τρισδιάστατης σκηνής στο παράθυρο του επεξεργαστή. Ο χρήστης μπορεί να πατήσει πάνω σε κάθε επίπεδο προκειμένου να αναδιπλωθούν και να εμφανιστούν όλα τα σχήματα και τα δίκτυα, αλλά και τα στατικά μοντέλα που αυτό εμπεριέχει.

4.4.5 Επεξεργαστής κανόνων (rule editor)

Ο επεξεργαστής κανόνων εμφανίζεται σε διαφορετικό παράθυρο στο ίδιο παράθυρο με τον επεξεργαστή της σκηνής. Είναι ένας απλός επεξεργαστής κείμενου για τη δημιουργία και τροποποίηση CGA κανόνων αλλά μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την επεξεργασία αρχείων κείμενου όπως txt.

4.4.6 Παράθυρο προβολής (viewport)

Ένα από τα πιο σημαντικά μέρη της διεπιφάνειας του χρήστη είναι το παράθυρο προβολής που είναι τοποθετημένο στο μέσο της οθόνης. Αυτό είναι το παράθυρο όπου ο χρήστης μπορεί να απεικονίσει και να επεξεργαστεί μέσω κανόνων αλλά και χειρωνακτικά τα μοντέλα, κάτι το οποίο για παράδειγμα στο ArcScene είναι αδύνατον. Στο παράθυρο προβολής μπορούν να επιλεγούν σχήματα προς επεξεργασία και απόδοση CGA κανόνων. Σε αυτό δημιουργούνται νέα σχήματα, ενώ εισαγόμενα σχήματα μπορούν να μετατραπούν σε στατικά μοντέλα για χειρωνακτική επεξεργασία. Το παράθυρο αυτό έχει ποικίλες προοπτικές θέασης και οι χρηστές μπορούν να καθορίσουν οπτικά εφέ, αλλά όσο αυξάνονται τα γραφικά η ταχύτητα απόδοσης μειώνεται.

4.4.7 Παράθυρο επιθεώρησης

Αυτό είναι ένα άλλο παράθυρο στο άνω δεξί άκρο στην διεπιφάνεια του χρήστη που επιτρέπει στο χρήστη να συλλέξει πληροφορία σε επιλεγμένα σχήματα όπως κορυφές, υλικά και άλλα, αλλά κυρίως τις ιδιότητες του αντικείμενου και όλες τις ιδιότητες των κανόνων που έχουν αποδοθεί επί αυτού. Επίσης χρησιμοποιείται για να αποδοθούν οι CGA κανόνες στα σχήματα. Επίσης διαθέτει μια βολική διεπιφάνεια για να ελέγχει διαδραστικά συγκεκριμένους δρόμους ή παραμέτρους κτηρίων όπως το ύψος ή την ηλικία (που καθορίζονται από CGA κανόνες).

4.4.8 Συμπεράσματα

Το CityEngine είναι τελικά ένα ισχυρό πακέτο λογισμικού για τη δημιουργία ρεαλιστικών 3D μοντέλων. Το πρόγραμμα είναι κατάλληλο για την δημιουργία τρισδιάστατου περιεχομένου από παραδοσιακούς δισδιάστατους ΣΓΠ τύπους δεδομένων όπως ESRI shapefiles και γεωβάσεις. Οι ακόλουθες παράγραφοι αναλύουν ξεχωριστά τα δυνατά και αδύνατα σημεία του λογισμικού από την οπτική χρηστών ΣΓΠ:

4.4.8.1 Δυνατά σημεία του προγράμματος

Ένα από τα δυνατά συστατικά του CityEngine είναι η ικανότητα δημιουργίας μεγάλων τρισδιάστατων μοντέλων πόλεων ταχύτατα. Εάν ο χρήστης εργάζεται με περιγράμματα κτηρίων που περιέχουν τα ύψη των κτηρίων σε έναν πίνακα ιδιοτήτων, μπορεί να δημιουργηθεί ένα χαμηλής λεπτομέρειας μοντέλο της μεγαλούπολης μέσα σε λίγα λεπτά. Ο χρήστης μπορεί ακόμα να έχει πλήρη έλεγχο πάνω σε ποια τμήματα της πόλης επιθυμεί να προσθέσει πληροφορίες είτε χρησιμοποιώντας τα χειρωνακτικά εργαλεία επεξεργασίας, είτε μετατρέποντας τον CGA κανόνα.

Η κανονιστική μοντελοποίηση με CGA γραμματικές σχήματος και κανόνες χρειάζεται ελάχιστη γνώση προγραμματισμού και είναι ένα καλό σημείο εκκίνησης για ΣΓΠI χρηστές που πρέπει να χρησιμοποιούν στις εργασίες τους γλώσσες προγραμματισμού. Η επιλογή του καθορισμού των παραμέτρων του κτηρίου μέσω ιδιοτήτων και της τροποποίησης τους στον πλοηγό, οδηγεί στην αυτόματη θέαση με έναν έξυπνο τρόπο.

Η διεπιφάνεια του χρήστη είναι πλούσια και έχει πολλούς επεξεργαστές μεταξύ των οποίων είναι ο facade wizard που επιτρέπει την οπτική επεξεργασία μιας πρόσοψης, και τη δημιουργία απο αυτήν την επεξεργασία ενός κανόνα που θα αποδοθεί τελικά στις προσόψεις.

Υπάρχει επίσης ένα χαρακτηριστικό του CityEngine που ονομάζεται εργαλείο crop image, παρόλο που δεν χρησιμοποιείται στη δημιουργία των δρόμων, είναι ένα βολικό εργαλείο για την επεξεργασία υφών προσώπων, χωρίς να πρέπει να καταφύγουμε σε ένα λογισμικό επεξεργασίας εικόνας έκτος προγράμματος.

4.4.8.2 Αδυναμίες του προγράμματος

Το CityEngine έχει πολλές λειτουργίες που πρέπει να επεκταθούν περισσότερο προκειμένου το λογισμικό να κάνει πλήρη χρήση των δυνατοτήτων του. Η ιδέα πίσω από το πρόγραμμα αυτό είναι ότι ο χρήστης μπορεί να εισάγει υπάρχοντα 2D δεδομένα σε αυτό και να δημιουργεί πόλεις. Ένα μεγάλο ζήτημα με το πρόγραμμα είναι πως διαχειρίζεται τα τόξα και τους κύκλους καθώς δεν είναι συμβατά με τον τρόπο που τα διαχειρίζονται οι γεωβάσεις. Ο τρόπος επίλυσης αυτού του προβλήματος είναι η προσθήκη πολλαπλών σημείων στην καμπύλη με μικρές αποστάσεις μεταξύ τους ώστε να μοιάζουν με καμπύλη κάτι το οποίο είναι εξαιρετικά χρονοβόρο. Ένα άλλο ζήτημα σχετικά με τα σχήματα, είναι ότι δεν υπάρχει εργαλείο για τη δημιουργία κυκλικών σχημάτων στον επεξεργαστή.

Όσον αφορά τα τόξα εάν θέλει κανείς να προσθέσει για παράδειγμα ένα περίγραμμα κολώνας για εξώθηση, αυτό πρέπει να γίνει με ευθείες γραμμές σε αυστηρή διάταξη όπως να μοιάζουν με κύκλο. Η χειρωνακτική επεξεργασία επίσης υπολείπεται κάποια βασικά συστατικά όπως ένα εργαλείο μέτρησης για να επικυρώσει τις διαστάσεις των σχεδίων. Το Snapping είναι αυτόματο κατά την χειρωνακτική επεξεργασία, αλλά θα έπρεπε να είναι επιλογή όπως στην περίπτωση του ArcGIS, ειδικά όταν δεν είναι ακόμα δυνατή η δημιουργία τόξων και είναι απαραίτητη η τοποθέτηση σημείων σε αυστηρά κεντρική διάταξη. Επίσης λείπει η πλήρης υποστήριξη σε όλα τα γεωγραφικά και προβολικά συστήματα, αν και δεν αντιμετωπίσαμε πρόβλημα πάνω σε αυτό.

Το CityEngine επίσης έχει ένα μειονέκτημα όσον αφορά την τοπολογία του, όταν εισάγονται πολύγωνα που περιέχουν τρύπες, το πρόγραμμα «γεμίζει» αυτόματα τις τρύπες. Αυτό είναι ένα σοβαρό πρόβλημα κατά την χρήση του CityEngine, ειδικά στον προσδιορισμό των υφών του εδάφους σε αντικείμενα όπως δρόμοι και πεζοδρόμια, καθώς το λογισμικό δεν υποστηρίζει την υπέρθεση επιπέδων. Η λύση σε αυτό το πρόβλημα είναι η κοπή όλων των πολυγώνων που περιέχουν τρύπες σε ένα ή δύο τμήματα, το οποίο μπορεί να είναι πολύ χρονοβόρο και υπάρχει πάντα ο κίνδυνος καταστροφής των δεδομένων.

Το CityEngine επίσης θα έπρεπε να έχει σωστή δομή θεματικών επιπέδων, όπως στα λογισμικά ΣΓΠ. Εάν ένα επίπεδο τοποθετείται πάνω από ένα άλλο αρχίζουν και ανακατεύονται μαζί και το αποτέλεσμα είναι θολές διπλές υφές.

Ένα από τα κριτικά ζητήματα που αφορά το CityEngine είναι η τεχνολογία αιχμής 3D GIS και αυτό είναι ο τρόπος που το πρόγραμμα εξάγει τα δεδομένα σε ένα αρχείο Γεωβάσης (File Geodatabase). Δεν υπάρχουν προφανείς λύσεις σε αυτό αλλά το πρόβλημα είναι ότι τα δεδομένα εξάγονται σε μια νέα γεωβάση και δεν μπορούν να προστεθούν σε μια υπάρχουσα εκτός μέσω ArcCatalog σε επόμενο βήμα. Υπάρχουν κάποια ενδιαφέροντα ζητήματα που αφορούν τις ιδιότητες, μετά την εξαγωγή των μοντέλων. Πρώτον το CityEngine εξάγει τα δεδομένα ως επίπεδα που μπορούν να θεαθούν σε πρόγραμμα ArcGIS αλλά δεν υπάρχει δυνατότητα περαιτέρω επεξεργασίας, που εισάγει το ερώτημα πως θα υλοποιηθεί ο σκοπός του CityEngine μέσα σε ΣΓΠ λογισμικό. Δηλαδή θα συνεχίσει να είναι ένα πρόγραμμα αυτοτελές ή θα συγχωνευτούν οι ιδιότητες του με ένα πρόγραμμα όπως το ArcScene; Τα μοντέλα εξάγονται ως τύπος Multipatch και τα αποτελέσματα είναι σχετικά καλά στο ArcScene, αλλά τα επίπεδα δεν είναι πλέον επεξεργάσιμα, κάτι το οποίο είναι κατανοητό αν λάβουμε υπόψη ότι το μοντέλο δεδομένων δεν είναι ολοκληρωμένο. Ωστόσο θα είναι ενδιαφέρον να δούμε που οδηγεί αυτή η εξέλιξη μελλοντικά.

5 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥΠΟΛΗΣ ΖΩΓΡΑΦΟΥ

Η μέθοδος της κανονιστικής μοντελοποίησης ως μία τεχνική γρήγορης μοντελοποίησης τρισδιάστατου περιεχομένου και ως εργαλείο 3D απεικόνισης για ένα τρισδιάστατο κτηματολογικό σύστημα θα αξιολογηθεί με τη δημιουργία του μοντέλου της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου. Το τρισδιάστατο μοντέλο θα περιλαμβάνει απεικόνιση στις τρεις διαστάσεις, δηλαδή το πραγματικό ανάγλυφο της Πολυτεχνειούπολης που προκύπτει με τη χρήση του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους, και το σύνολο των κτηρίων και εγκαταστάσεων της Πολυτεχνειούπολης, δηλαδή τις σχολές, τη Βιβλιοθήκη, το Κτήριο Διοίκησης, τις Εστίες κτλ. Ειδικότερα στο τρισδιάστατο μοντέλο της σχολής μας, δηλαδή στη Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων μηχανικών θα δοθεί ένα υψηλότερο επίπεδο λεπτομέρειας, όπως θα φανεί παρακάτω, αφού η δημιουργία των κτηρίων Βέη και Λαμπαδάριο με τις επεκτάσεις τους, θα υλοποιηθεί αποκλειστικά μέσω των CGA κανόνων που περιγράψαμε αναλυτικά στο προηγούμενο κεφάλαιο. Θα εξεταστεί με αυτόν τον τρόπο η αποδοτικότητα και η ακρίβεια αυτών των κανόνων ως προς την παραγωγή τρισδιάστατων μοντέλων, καθώς ο κύριος σκοπός της διπλωματικής αυτής εργασίας δεν είναι η δημιουργία ενός πλήρους 3D κτηματολογικού μοντέλου, αλλά η διερεύνηση της απεικόνισης στις τρεις διαστάσεις και πως θα μπορούσε αυτή η νέα έννοια της κανονιστικής μοντελοποίησης και κατ'επέκταση του λογισμικού CityEngine να εξυπηρετήσει την 3D οπτικοποίηση, που αποτελεί ίσως το βασικότερο ζητούμενο ενός λεπτομερούς 3D κτηματολογικού μοντέλου.

5.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ ΚΑΙ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ

Για την υλοποίηση της εργασίας χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό CityEngine και το ArcGIS της ESRI, ειδικά το ArcScene (που υποστηρίζουν τρισδιάστατα μοντέλα). Το μεγαλύτερο μέρος των δεδομένων εισόδου διατέθηκαν από την Τεχνική Υπηρεσία του Πολυτεχνείου και τον Οργανισμό Κτηματογραφήσεων και Χαρτογραφήσεων Ελλάδας (Ο.Κ.Χ.Ε.) και φαίνονται αναλυτικά παρακάτω :

Για την Πολυτεχνειούπολη διατέθηκε:

- 1) Τοπογραφικό σχέδιο της Πολυτεχνειούπολης με γεωαναφορά στο AutoCAD
- 2) Τοπογραφικό σχέδιο της Πολυτεχνειούπολης με τις νέες κατασκευές, χωρίς γεωαναφορά στο Autocad
- 3) Σχέδιο των δικτύων υποδομών της Πολυτεχνειούπολης με γεωαναφορά στο Autocad
- 4) Το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας, που μας το διέθεσε ο Οργανισμός Κτηματογραφήσεων και Χαρτογραφήσεων Ελλάδας (Ο.Κ.Χ.Ε.)
- 5) Ορθοφωτοχάρτες για την περιοχή ενδιαφέροντος, που μας διέθεσε ο Οργανισμός Κτηματογραφήσεων και Χαρτογραφήσεων Ελλάδας (Ο.Κ.Χ.Ε.)
- 6) Excel Αρχείο για τα Κτήρια της Πολυτεχνειούπολης με σχετικές πληροφορίες για τον αριθμό των ορόφων κάθε κτηρίου, για τα υλικά κατασκευής κ.ά.

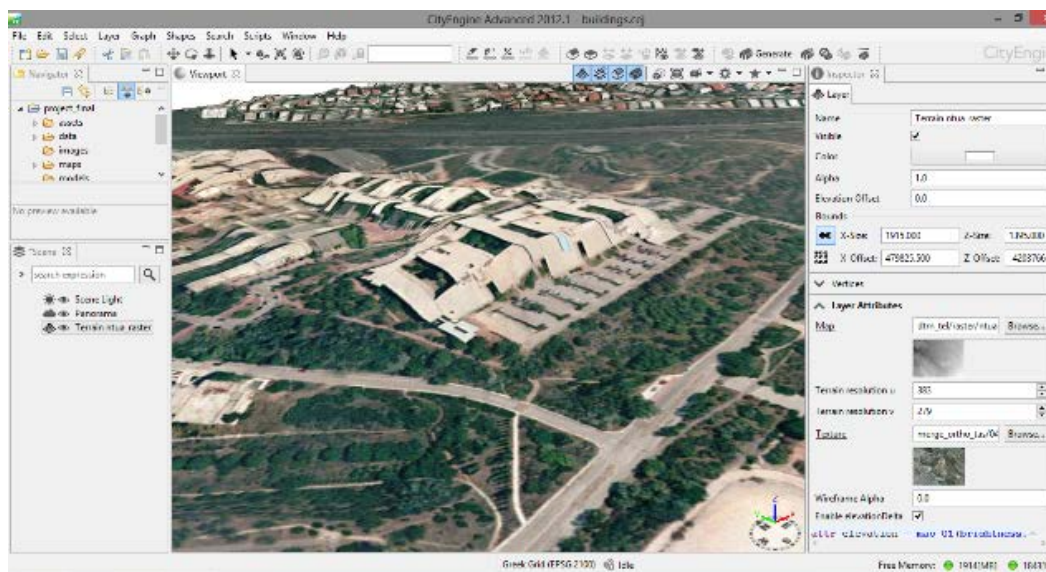
Ειδικά για τη Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών διατέθηκε:

- 1) Αρχιτεκτονικό Σχέδιο για όλους τους ορόφους του κτηρίου Βέη και οι τομές τους
- 2) Αρχιτεκτονικό Σχέδιο για όλους τους ορόφους του κτηρίου Λαμπαδαρίου και οι τομές τους
- 3) Αρχιτεκτονικό Σχέδιο των επεκτάσεων – νέων γραφείων στο κτήριο Λαμπαδάριο.

5.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

Οι εργασίες ξεκινούν με τη δημιουργία του εδάφους στο CityEngine. Το λογισμικό αυτό όπως φαίνεται και στην εικόνα, παρέχει ένα πολύ απλό εργαλείο για τη δημιουργία του εδάφους, με δεδομένα το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους και μία ψηφιακή εικόνα «υφή» που εφαρμόζει στη σωστή θέση, εφόσον έχει γίνει γεωαναφορά και στα δύο. Μέσω της λειτουργίας αυτής, εισάγονται τα δεδομένα στο λογισμικό και προκύπτει το έδαφος, όπως φαίνεται παρακάτω.

Στην περίπτωση μας δεν ήταν διαθέσιμο το Ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DTM), αλλά το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM). Αυτό αποτελεί ένα σοβαρό πρόβλημα καθώς το καθώς το DSM έχει προκύψει από σκανάρισμα της επιφανείας της γης και όχι του εδάφους, και διαθέτει υψομετρική πληροφορία σε κτήρια, δέντρα, και γενικώς ό,τι βρίσκεται πάνω από την επιφάνεια της γης. Κατά συνέπεια το παραγόμενο τρισδιάστατο μοντέλο του εδάφους περιελάμβανε και τους όγκους των κτηρίων (εικόνα 5.1) και θα ήταν αδύνατο στη συνέχεια, να προσθέσουμε σε αυτές τις θέσεις τα μοντέλα των κτηρίων, που είναι το ζητούμενο αυτής της εργασίας.



Εικόνα 5.1: Οι όγκοι των κτηρίων στο ανάγλυφο εξαιτίας του ΨΜΕ

Η λύση σε αυτό το πρόβλημα ήταν η αφαίρεση της περιττής και προβληματικής υψομετρικής πληροφορίας στο αρχικό DSM, που ήταν σε μορφή Greek grid. Για την αφαίρεση της σωστής υψομετρικής πληροφορίας, το Greek grid αρχείο εξήχθη σε ράστερ αρχείο μέσω του ArcMap και στη συνέχεια το αρχείο αυτό μετατράπηκε σε σημειακό αρχείο με τη λειτουργία Raster→ Points στο ArcMap. Ο λόγος της μετατροπής του αρχικού αρχείου σε σημειακό αρχείο είναι για την ακριβή διαχείριση και αφαίρεση της υψομετρικής πληροφορίας, δηλαδή για την αφαίρεση των σημείων που αφορούν κατασκευές και δέντρα. Στη συνέχεια, έγινε υπέρθεση του σημειακού αρχείου DSM στο ArcMap με τους αντίστοιχους ορθοφωτοχάρτες, και με επιλεγμένη μεγέθυνση κάθε φορά, έγινε σαφές ποια σημεία ακριβώς έπρεπε να αφαιρεθούν. Αρχικά αφαιρέθηκαν τα σημεία στα περιγράμματα και

το εσωτερικό των κτηρίων και άλλη μία σειρά σημείων γύρω από τα κτήρια, αλλά τελικά έγινε σαφές με δοκιμές ότι η σωστή μέθοδος ήταν η αφαίρεση των υψομετρικών σημείων σε τουλάχιστον άλλες 4 με 5 σειρές σημείων γύρω από τα κτήρια, προκειμένου να προκύψει πιο ομαλό και ρεαλιστικό το έδαφος, αφού με τη μία σειρά σημείων δεν εξαλειφόταν τον πρόβλημα ούτε η εμφάνιση εξογκωμάτων στο ανάγλυφο. Πέρα από αυτά, αφαιρέθηκε η υψομετρική πληροφορία από δέντρα γιατί παραμόρφωναν περαιτέρω το ανάγλυφο.

Στη συνέχεια το διορθωμένο σημειακό αρχείο που προέκυψε από την παραπάνω διαδικασία μετατράπηκε σε TIN, προκειμένου να «κλείσουν» τα κενά υψομετρικής πληροφορίας και να δημιουργηθεί το πλέγμα του εδάφους με το εργαλείο του ArcMap, Create TIN.

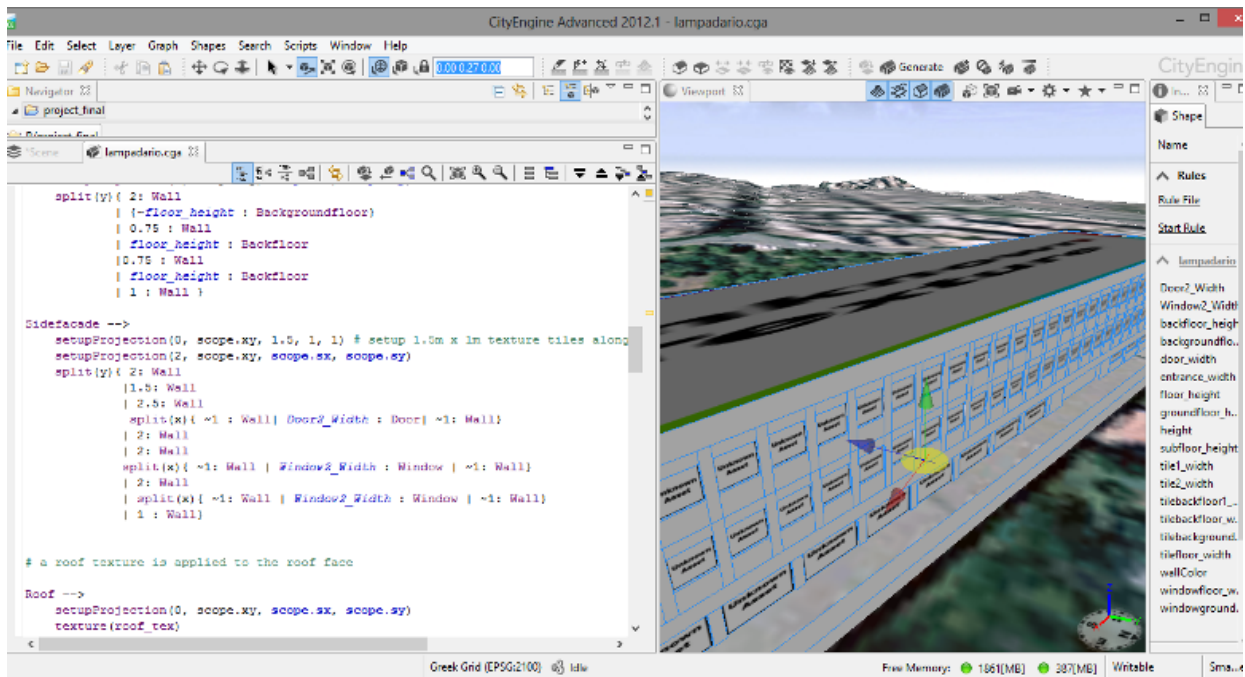
Τέλος, το TIN μετατράπηκε σε Raster αρχείο με το εργαλείο του ArcMap, TIN→ Raster και εξήχθη σε εικόνα μορφής tiff για βέλτιστη ανάλυση. Αυτό το αρχείο στην συνέχεια το εισαγάγαμε στο CityEngine με τη διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω και προέκυψε το ανάγλυφο του εδάφους της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου (εικόνα 5.2).



Εικόνα 5.2: Το διορθωμένο ανάγλυφο στο CityEngine

5.2.1 Κτήρια

Το λογισμικό CityEngine δέχεται ως δεδομένα εισόδου αυτά που δέχεται και το ArcScene, δηλαδή τα περιγράμματα των κατασκευών στις δύο διαστάσεις. Διαφέρουν ωστόσο πολύ στην κατασκευή των τελικών τρισδιάστατων μοντέλων, καθώς το ArcScene χρησιμοποιεί μία εντολή εξώθησης (extrusion) του κτηρίου και προκύπτει το τρισδιάστατο μοντέλο ανάλογα με την τιμή του προκαθορισμένου ύψους στον πίνακα ιδιοτήτων, ενώ στο CityEngine πέρα από αυτήν τη λειτουργία είναι πρόσθετα δυνατή η εξώθηση της λεπτομερούς γεωμετρίας ενός κτηρίου. Όταν αναφερόμαστε στην λεπτομερή γεωμετρία του τρισδιάστατου μοντέλου, εννοούμε ότι θα δημιουργηθεί μέσα σε δευτερόλεπτα το κτηριακό μοντέλο περιλαμβάνοντας τις πόρτες, τα παράθυρα, μπαλκόνια, υφές τοίχου κ.ά., δηλαδή όλα τα απαραίτητα στοιχεία που το καθορίζουν αρχιτεκτονικά. Το πιο εντυπωσιακό είναι ότι όλα τα παραπάνω πραγματοποιούνται μέσω CGA κανόνων, δηλαδή ο χρήστης δομεί τον κανόνα, ο οποίος στη συνέχεια θα «χτίσει» το λεπτομερές τρισδιάστατο μοντέλο (εικόνα 5.3).



Εικόνα 5.3: Δημιουργία της 3D γεωμετρίας με CGA κανόνες

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, το CityEngine δέχεται ως δεδομένα εισόδου αρχεία Shapefile, αρχεία DXF αλλά και δεδομένα από openstreetmaps.org. Στη διάθεσή μας είχαμε αρχεία DXF και κατεβάσαμε από τον ιστότοπο του openstreetmaps και το αντίστοιχο αρχείο και τον χάρτη της Πολυτεχνειούπολης για ερευνητικούς σκοπούς και για τον έλεγχο της προσαρμογής των δεδομένων στο ανάγλυφο που δημιουργήθηκε στο CityEngine.

Στην περίπτωση που λειτουργούσαν και προσαρμόζονταν το ίδιο καλά τα περιγράμματα των κτηρίων στο ανάγλυφο και από τις δύο μεθόδους, σαφώς θα επιλέγαμε την εργασία με τα DXF αρχεία, καθώς προέκυψαν από ψηφιοποίηση ορθοφωτοχαρτών με υψηλότερη ακρίβεια από τα δεδομένα από openstreetmaps. Τελικά όμως δεν χρειάστηκε να επιλέξουμε, καθώς κατά την εισαγωγή των δεδομένων από openstreetmaps και συγκεκριμένα τα περιγράμματα των κτηρίων, παρατηρήθηκε πέραν της μετατόπισης ως προς την σωστή θέση των κτηρίων και αλλαγή ως προς την κλίμακα. Συγκεκριμένα τα κτήρια, έπρεπε να μετατοπιστούν προς τη βορειοανατολική κατεύθυνση για να εφαρμόσουν στη σωστή θέση αλλά το πρόβλημα συνέχιζε να επιμένει καθώς τα περιγράμματα των κτηρίων από openstreetmaps ήταν σημαντικά μεγαλύτερα σε σχέση με τα αντίστοιχα στο ανάγλυφο. Συνεπώς έπρεπε να γίνει αλλαγή ως προς την κλίμακα και σε μερικές εξαιρετικές περιπτώσεις μια ελαφρά αλλαγή του σχήματος του περιγράμματος, συνεπώς αυτή η μεθοδολογία απορρίφθηκε λόγω ασυμβατότητας με τα διαθέσιμα δεδομένα.

Η βέλτιστη επιλογή ήταν η εισαγωγή των περιγραμμάτων των κτηρίων ως αρχεία DXF, αλλά και σε αυτήν την περίπτωση εμφανίστηκαν πολλές προκλήσεις. Πρώτον, τα σχέδια από την Τεχνική Υπηρεσία του Πολυτεχνείου περιείχαν περιττή πληροφορία (οδικά τμήματα, φρεάτια, κράσπεδα κ.ά.), από την οποία διατηρήθηκε η ζητούμενη, δηλαδή η πληροφορία για τα κτήρια. Η πληροφορία αυτή όμως ήταν αρκετά λεπτομερής, καθώς είχαν ψηφιοποιηθεί όλες οι λεπτομέρειες στις οροφές ή τις ταράτσες και πολλές φορές δεν ήταν σαφής η διάκριση των στοιχείων, γι' αυτό αποφασίστηκε η αφαίρεση των εσωτερικών στοιχείων των κτηρίων και η διατήρηση μόνο των περιγραμμάτων. Ωστόσο και σε αυτήν την περίπτωση εμφανίστηκαν σοβαρά προβλήματα για δύο κυρίως λόγους. Πρώτον, όπως αναφέραμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, το λογισμικό όταν εντοπίζει οπές τις κλείνει κατά την εισαγωγή των δεδομένων σε αυτό, και η μόνη λύση είναι τελικά να «σπάσουμε» τη γεωμετρία του περιγράμματος σε δύο μέρη, προκειμένου να αποφύγουμε το κλείσιμο των οπών, αλλά

με αυτόν τον τρόπο υπάρχει ο κίνδυνος απώλειας σημαντικής πληροφορίας. Στην περίπτωση της Πολυτεχνειούπολης υπάρχουν αρκετές κατασκευές και κτήρια που εμφανίζονται οπές, όπως στη Σχολή των Ηλεκτρολόγων Μηχανικών.

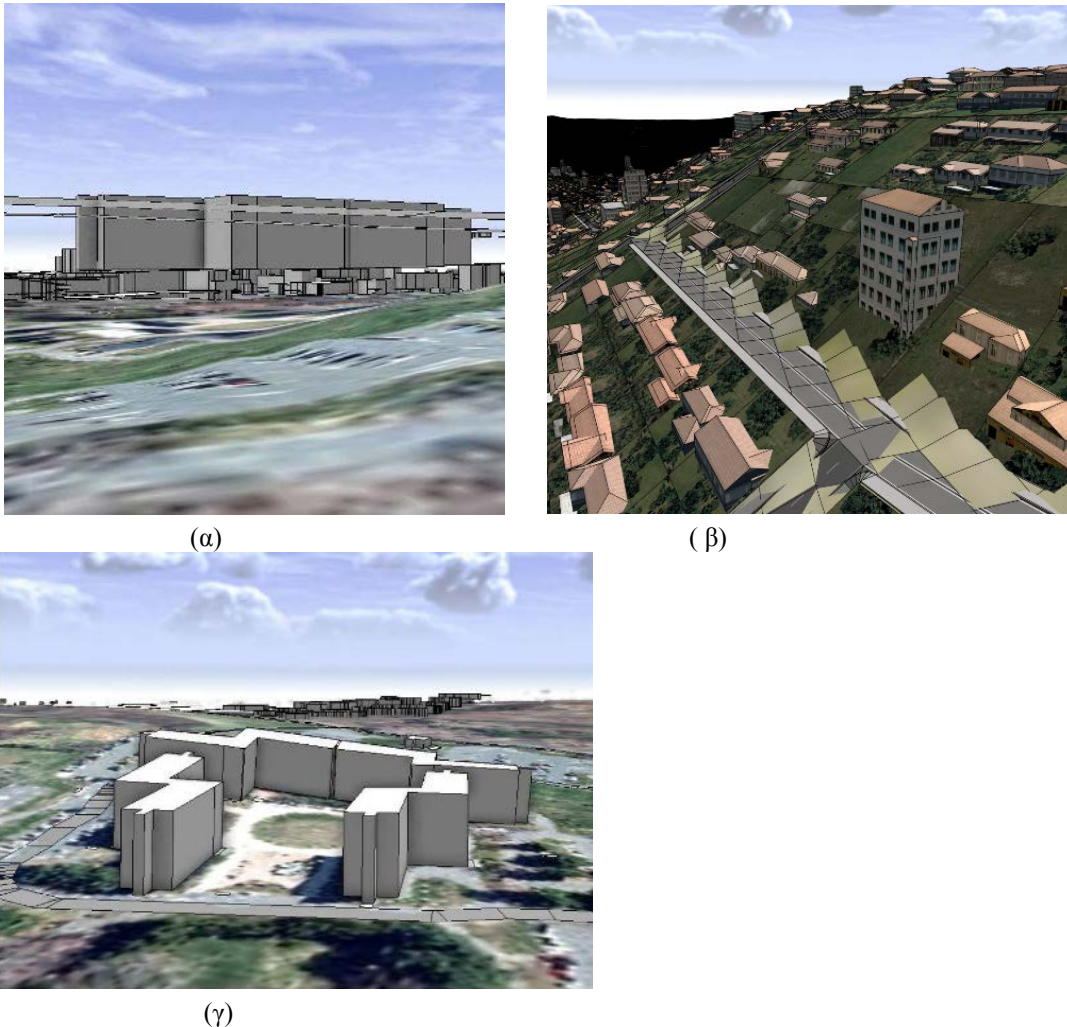
Το δεύτερο και σημαντικότερο πρόβλημα είναι μία ιδιαιτερότητα του λογισμικού κατά την κατασκευή του λεπτομερούς τρισδιάστατου μοντέλου και έχει να κάνει με την πρόσοψη του μοντέλου. Συγκεκριμένα, κατά τη δημιουργία των CGA κανόνων όπως θα δούμε αναλυτικά στη συνέχεια, καθορίζεται η γεωμετρία της πρόσοψης ενός κτηρίου, των πλαϊνών όψεων, της οροφής και της πίσω όψης. Ωστόσο δεν υπάρχει δυνατότητα καθορισμού για το ποια είναι ουσιαστικά η πρόσοψη, για παράδειγμα σε ένα 2D περίγραμμα κτηρίου δεν υπάρχει δυνατότητα ορισμού σε ποιο ευθύγραμμο τμήμα αντιστοιχεί η πρόσοψη, ούτε κατά την προετοιμασία των δεδομένων στο ArcGIS, ούτε στον κανόνα στο CityEngine. Επίσης, αν δύο κτήρια εφάπτονται και συνεπώς έχουν κοινή μία ακμή και δύο ή και παραπάνω κορυφές (vertex) κοινές, τότε το λογισμικό αναγνωρίζει αυτό το ευθύγραμμο τμήμα ως πρόσοψη και για τα δύο κτήρια. Μετά από μελέτη και αρκετές δοκιμές, παρατηρήθηκε ότι το πρόγραμμα αναγνωρίζει ως πρόσοψη το ευθύγραμμο τμήμα μεταξύ δύο κορυφών ενός σχήματος, το οποίο έχει σχεδιαστεί πρώτο από όλα τα ευθύγραμμο τμήματα του περιγράμματος και κατά την δεξιόστροφη φορά. Αν σχεδιαστεί με τον παραπάνω τρόπο, η αναγνώριση της πρόσοψης δεν επηρεάζεται από την ύπαρξη κοινών κορυφών και κοινών ακμών μεταξύ δύο ή περισσότερων σχημάτων. Έγινε σαφές ότι τα περιγράμματα των κτηρίων στο διαθέσιμο σχέδιο AutoCAD δεν είχαν σχεδιαστεί με αυτήν την λογική, συνεπώς θεωρήθηκε σωστή μεθοδολογικά η εισαγωγή του DXF αρχείου στο ArcMap και με βάση αυτό η δημιουργία ενός νέου Shapefile αρχείου, ψηφιοποιώντας πάνω από το υφιστάμενο αρχείο τα περιγράμματα των κτηρίων με την παραπάνω λογική. Κατά τη σχεδίαση των περιγραμμάτων επιδιώχθηκε μεγαλύτερο επίπεδο λεπτομέρεια στις εγκαταστάσεις της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, συνεπώς δεν έγινε γενίκευση και δεν αφαιρέθηκαν λεπτομέρειες όπως μπαλκόνια, δώματα κ.ά.

5.2.2 Τρισδιάστατο μοντέλο των κτηρίων

Για τη δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου των κτηρίων ορίστηκε κατά τη δημιουργία των κανόνων το ύψος του κτηρίου. Επίσης επειδή η μοντελοποίηση της Πολυτεχνειούπολης περιλαμβάνει και την μοντελοποίηση του εδάφους, και στην περιοχή του Ζωγράφου και μέσα στην Πολυτεχνειούπολη παρατηρείται έντονο ανάγλυφο με μεγάλες υψομετρικές διαφορές, τίθεται το ζήτημα της προσαρμογής των κτηρίων στο ανάγλυφο. Εδώ προκύπτει ένα νέο πρόβλημα, καθώς στο CityEngine τα κτήρια δεν προσαρμόζονται βέλτιστα στο ανάγλυφο. Στο προηγούμενο στάδιο δημιουργήθηκε ένα Shapefile αρχείο για τα κτήρια της Πολυτεχνειούπολης, στο οποίο προστέθηκε ο αριθμός των ορόφων αντλώντας την πληροφορία από το Excel, αλλά και το υψόμετρο στο οποίο βρίσκεται προσεγγιστικά το κάθε κτήριο.

Η πληροφορία για το υψόμετρο στο οποίο βρίσκεται κάθε κτήριο αντλήθηκε από το DSM αρχείο, όπου χρησιμοποιήθηκε το υψόμετρο της μιας κορυφής για κάθε κτήριο, καθώς δεν υπάρχει δυνατότητα εισαγωγής υψομετρικής πληροφορίας στο ArcGIS ξεχωριστά για κάθε κορυφή ενός πολυγώνου. Ωστόσο, αυτή η υψομετρική πληροφορία που προστέθηκε στον πίνακα ιδιοτήτων είναι πρακτικά άχρηστη στο CityEngine γιατί διαφέρει σε αυτήν την λειτουργία σε σχέση με το ArcScene. Στο ArcScene είναι δυνατή η προσαρμογή των κτηρίων σε μία επιφάνεια ανάλογα με το υψόμετρό τους (use elevation values in the layer's features), ενώ στο CityEngine ο μόνος τρόπος προσαρμογής των τρισδιάστατων μοντέλων στο ανάγλυφο είναι μέσω του εργαλείου «align shapes to terrain», το οποίο αναγνωρίζει το έδαφος και προσαρμόζει πάνω σε αυτό τα κτήρια με την επιλογή προσαρμογής όλων των κατασκευών σε κάποιο συγκεκριμένο υψόμετρο ή στο ανάγλυφο κτλ. Αυτές είναι ωστόσο τεχνικές που ενέχουν κινδύνους όσον αφορά το τρισδιάστατο μοντέλο καθώς, κατά την προσαρμογή

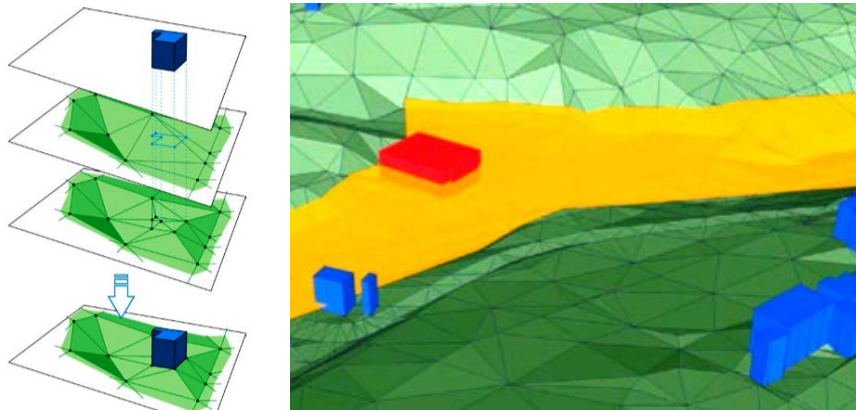
παρατηρούνται αλλαγές στον προσανατολισμό των κτηρίων κατά την κάθετη συνιστώσα και «βυθίσεις», «αιωρήσεις» ή ακόμα και παράλλαξη των κτηρίων, όπως φαίνεται παρακάτω (εικόνα 5.4α, 5.4β, 5.4γ). Μελετώντας περαιτέρω το ζήτημα αυτό, ανακαλύψαμε ότι πολλοί χρήστες αντιμετώπισαν την ίδια δυσχέρεια και η απάντηση από το κέντρο πόρων του CityEngine ήταν η χρήση του παραπάνω εργαλείου ή η δημιουργία ενός script, που βοηθά ελάχιστα μόνο σε γραμμικά στοιχεία και σε περιπτώσεις που το ανάγλυφο δεν είναι τόσο έντονο όσο στην Πολυτεχνειούπολη.



Εικόνα 5.4: Αδυναμίες προσαρμογής κτηρίων στο CityEngine, α) Αιώρηση, β) Βύθιση, γ) Παράλλαξη του σχήματος του μοντέλου μετά την προσαρμογή στο ανάγλυφο

Επίσης από το εκπαιδευτικό υλικό και τα διάφορα παραδείγματα που είναι διαθέσιμα στο κέντρο πόρων του CityEngine, έγινε αντιληπτό ότι εξαιτίας αυτής της αδυναμίας του λογισμικού οι περισσότερες εργασίες έχουν γίνει σε 2.5D απεικόνιση, δηλαδή απεικόνιση 3D κτηρίων σε επίπεδο χάρτη, ενώ όσες εργασίες έχουν γίνει σε ανάγλυφο αυτό είναι αρκετά ήπιο, ή έχει «ισοπεδωθεί» στις θέσεις δημιουργίας των αστικών μοντέλων για προφανείς λόγους, ενώ οι υψομετρικές διαφορές διατηρούνται στα εδαφικά τμήματα στα οποία δεν υπάρχουν κατασκευές.

Επιπλέον μελετήθηκαν και άλλες εργασίες σχετικές με το CityEngine, και κανείς δεν έχει βρει ικανοποιητική λύση στο πρόβλημα αυτό. Σε άρθρο από την Κροατία σχετικό με το 3D Κτηματολόγιο (Tomice et al, 2012), δίνεται ως λύση η τοποθέτηση split σημείων διάσπασης στις τομές των κτηρίων και του ανάγλυφου για τη διατήρηση της τοπολογικής συνέπειας (εικόνα 5.5), κάτι το οποίο δεν επιτρέπουν οι λειτουργίες του προγράμματος που χρησιμοποιούμε.



Εικόνα 5.5: split σημεία για τοπολογική συνέπεια σύμφωνα το μοντέλο στην Κροατία (πηγή: Tomić et al, 2012)

Μία άλλη λύση θα ήταν ίσως η κατασκευή του μοντέλου σε 2.5D απεικόνιση, δηλαδή το έδαφος να είναι ο ορθοφωτοχάρτης στις δύο διαστάσεις. Ωστόσο και αυτή η λύση ενέχει τον κίνδυνο απώλειας πληροφορίας και συγκεκριμένα κτηριακής πληροφορίας. Αναλυτικότερα, έγιναν δοκιμές με όλες τις μεθόδους και καταλήξαμε ότι η βέλτιστη ειδικά σε μία περιοχή με έντονο ανάγλυφο, είναι η 3D απεικόνιση συνοδευόμενη από το ανάγλυφο, γιατί αλλιώς χάνεται πληροφορία όπως στην περίπτωση του κτηρίου του Βέη, όπου το κτήριο στην πρόσοψη έχει ένα ισόγειο και δύο ορόφους, ενώ στο πίσω μέρος προστίθεται ένας όροφος επιπλέον εξαιτίας της έντονης υψομετρικής διαφοράς (εικόνα 5.6). Επομένως, εάν αποφασίζαμε να απεικονίσουμε το κτήριο Βέη σε έναν επίπεδο χάρτη θα χανόταν αυτή η πολύτιμη πληροφορία.

Η καλύτερη λύση στην περίπτωσή μας είναι αυτή που θα αναφέρουμε παρακάτω και βασίζεται σε ιδέες που μελετήσαμε από αρχιτεκτονικού περιεχομένου εργασίες. Σε αυτές τις εργασίες αναφέρθηκε η σταδιακή κατασκευή του μοντέλου του κτηρίου όπως γίνεται στην πραγματικότητα, δηλαδή με την προσθήκη των θεμελίων και μετά του υπολοίπου σκελετού του κτηρίου. Επηρεασμένοι από αυτήν την τεχνική, προσθέσαμε κατά τη δημιουργία των κανόνων, όπως θα δούμε παρακάτω 2-3 μέτρα τοίχου που λειτουργούν σαν θεμέλια. Αυτή η πρακτική ίσως να μην φαίνεται η πιο σωστή, αλλά είναι τελικά η βέλτιστη γιατί τα μοντέλα θα έχουν περιθώριο τοίχου για προσαρμογή στο έδαφος και ίσως δεν χρειαστεί καν η μετακίνηση κτηρίων κατά την κάθετη συνιστώσα.



Εικόνα 5.6: Προσθήκη ορόφου στο πίσω μέρος του κτηρίου Βέη (πηγή: Bing Maps)

5.2.3 Κατασκευή των κτηριακών γεωμετριών με CGA κανόνες

Σε αυτό το στάδιο δομούνται οι κανόνες που κατασκευάζουν την επιθυμητή γεωμετρία. Αυτό το στάδιο αφορά μόνο τη Σχολή των Αγρονόμων και Τοπογράφων μηχανικών, καθώς μας ενδιαφέρει μόνο σε αυτά τα κτήρια η απόδοση των λεπτομερειών αλλά και γιατί διαθέτουμε τα αρχιτεκτονικά σχέδια γι' αυτά, συνεπώς διαθέτουμε πληροφορίες για τα μήκη των θυρών, παραθύρων, τοίχων κ.ά., τα βάθη των εσοχών ενώ από τις τομές διαθέτουμε τις πληροφορίες για τα ύψη των κτηρίων, των παραθύρων και των θυρών. Ένα αρνητικό στα διατιθέμενα στοιχεία είναι ότι οι τομές δεν είναι σε ψηφιακή μορφή, αλλά είναι σκαναρισμένες εικόνες και συνεπώς δεν είναι ιδιαίτερα ευανάγνωστες, αλλά το θετικό αυτού του λογισμικού είναι ότι αποδίδει και με προσεγγίσεις ένα κατανοητό τρισδιάστατο μοντέλο επομένως δεν υπήρξε πρόβλημα στη χρήση προσεγγιστικών υψών για την δημιουργία του μοντέλου(στις περιπτώσεις που δεν ήταν σαφή από τις τομές). Στις περιπτώσεις που κάποιες διαστάσεις θεωρήθηκαν μεγαλύτερης βαρύτητας για το μοντέλο και δεν ήταν διαθέσιμες, μετρήθηκαν με μετροταινία.

Η πηγή για τη δημιουργία των μοντέλων ήταν φωτογραφίες εδάφους, αλλά και εικόνες σε BirdEye από Bing Maps όπως την εικόνα 5.6α και 5.6β, αλλά και τη θέαση ορθοφωτοχαρτών της Κτηματολόγιο Α.Ε. Τα στοιχεία αυτά είναι απαραίτητα για την αποσαφήνιση των μοτίβων και των διατμήσεων που πρέπει να γίνουν στο μοντέλο, αλλά και για τη συλλογή των υψών σε κάθε πρόσοψη. Συγκεκριμένα, τα κτήρια της Σχολής των Τοπογράφων χαρακτηρίζονται από πολλές διαφορετικές υφές και σύνθεση των δομών, συνεπώς συλλέχθηκαν πολλές φωτογραφίες και υφές γι' αυτόν τον σκοπό. Επίσης, ο λόγος που χρησιμοποιήθηκε το BirdEye από Bing Maps είναι γιατί η βλάστηση στη σχολή των Τοπογράφων είναι ιδιαίτερα πυκνή και τα δέντρα σχεδόν εφάπτονται των ορίων των κτηρίων ενώ πάντα υπάρχουν σταθμευμένα αυτοκίνητα περιμετρικά των κτηρίων, συνεπώς οι περισσότερες φωτογραφίες εδάφους είχαν πολύ θόρυβο όπως φαίνεται στις εικόνες 5.7α και 5.7β και μόνο οι λήψεις στο ισόγειο ήταν ικανοποιητικές ή σε ορόφους που δεν καλύπτονταν από βλάστηση, όπως στην περίπτωση των επεκτάσεων στο χώρο στάθμευσης, πίσω από το Λαμπαδάριο. Προφανώς μέρος του θορύβου μπορεί να εξαλειφθεί με ειδικούς αλγορίθμους, κάτι το οποίο δεν είναι στη σκοπιμότητα αυτής της διπλωματικής εργασίας.



(α)



(β)

Εικόνα 5.7: Θόρυβος στις εικόνες εδάφους εξαιτίας α) βλάστησης, β) σταθμευμένων αυτοκινήτων

Επίσης ο θόρυβος κατέστησε αδύνατη τη δημιουργία προσόψεων με χρήση του Façade Wizard, που όπως περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο δημιουργεί αναλυτικό 3D μοντέλο με την αναγνώριση μοτίβων και κοινών περιοχών στην εικόνα. Σε αυτή τη μέθοδο φυσικά επεμβαίνει και ο χρήστης, αλλά αν η εικόνα εμπεριέχει πολύ θόρυβο δεν υπάρχει λόγος προσφυγής σε αυτήν. Προφανώς, αυτή η

μέθοδος ενδείκνυται για καθαρά αστικά περιβάλλοντα, όπου τα μοτίβα είναι αυστηρά επαναλαμβανόμενα και δεν αλλοιώνεται η πληροφορία, από δέντρα ή συσκευές εξαερισμού κ.ά.

Η μέθοδος που προσεγγίστηκε στη συγκεκριμένη εργασία είναι η δημιουργία της τρισδιάστατης γεωμετρίας μέσω βασικών αλλά και ανεπτυγμένων γραμματικών σχήματος και γραμματικών διάσπασης, που θα μελετηθούν αναλυτικά παρακάτω. Ένα άλλο ζήτημα είναι αυτό που αναφέρθηκε προηγουμένως, δηλαδή τα κτήρια της Σχολής των Τοπογράφων χαρακτηρίζονται από πολλές διαφορετικές υφές και σύνθεση των δομών, συνεπώς είναι δυσχερής η δημιουργία τους από ένα μεμονωμένο αρχείο με CGA κανόνες. Οι δημιουργοί του λογισμικού (Muller et al., 2007) εξηγούν ότι το πρόγραμμα δε λειτουργεί επαρκώς σε μη αστικά και μη επαναλαμβανόμενα μοτίβα, καθώς αυτό συνεπάγεται τη σύνταξη σύνθετων CGA κανόνων που μπορεί να δημιουργήσουν ασυνεπείς γεωμετρίες, οι οποίες να μην εξωθούνται σε 3D και παροτρύνουν τη δημιουργία εύκολων και ευέλικτων κανόνων που μπορούν να προσαρμοστούν σε πολλές διαφορετικές κλίμακες. Έχοντας υπόψη τα παραπάνω και επειδή στα κτήρια Βέη και Λαμπαδάριο συναντάμε τουλάχιστον πέντε διαφορετικές υφές και μοτίβα στο καθένα, θα χωρίσουμε καθένα από αυτά σε επιμέρους κτήρια και σε αυτά θα αποδοθούν τα αρχεία με τους κανόνες που δημιουργήσαμε.

Τα υπόλοιπα κτήρια της Πολυτεχνειούπολης δημιουργήθηκαν με τον παρακάτω απλό κανόνα εξώθησης:

```
/**  
 * File:      extrude.cga  
 * Created:   15 Aug 2013 10:56:54 GMT  
 * Author:    EvaTsil  
 */
```

```
version "2012.1"
```

```
attr height = 10
```

```
@StartRule
```

```
Lot --> extrude(height)
```

Οι υφές αποδόθηκαν από τις εικόνες από το BirdEye των Bing Maps (εικόνες 5.8 και 5.9), απλά με το εργαλείο apply texture, γιατί δεν μας ενδιέφερε το λεπτομερές μοντέλο τους όπως στην περίπτωση της Σχολής των Τοπογράφων Μηχανικών. Παρακάτω δίνεται για τα επιμέρους τμήματα των κτηρίων η γραμματική σχήματος και το τρισδιάστατο μοντέλο τους με τον σκελετό (wireframe) που δείχνει ποιο μέρος της σχολής είναι, ενώ τα συμφραζόμενα που συνοδεύουν τους κανόνες στα CGA αρχεία, περιγράφουν την λειτουργία και την εργασία που εκτελεί ο κάθε κανόνας. Επίσης οι υφές αποδόθηκαν από τις εικόνες εδάφους, οι οποίες προστέθηκαν στα δεδομένα εισόδου στο λογισμικό και τροποποιήθηκαν μέσα σε αυτό με το εργαλείο crop image, το οποίο όχι μόνο κόβει λόγω χάρη την υφή από ένα τοίχο ή παράθυρο ή πόρτα με την επέμβαση του χρήστη βεβαίως, αλλά επιπλέον ορθοανάγει την εικόνα. Συνεπώς με αυτόν τον τρόπο καθίσταται εύκολη η συλλογή υφών ακόμα και από τα περιφερειακά μέρη της εικόνας, που πιθανότατα έχουν υποστεί παραλλάξεις και δεν είναι πολύ καθαρά. Ύστερα από δοκιμές καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι τα αποτελέσματα είναι παραπάνω από ικανοποιητικά. Επίσης μόλις δημιουργηθούν οι γεωμετρίες μπορούμε να τα μετατρέψουμε σε στατικά αντικείμενα, πάνω στα οποία μπορούμε πλέον να επέμβουμε και χειρωνακτικά. Ωστόσο αυτή η διαδικασία θέλει ιδιαίτερη προσοχή καθώς μπορεί να αλλοιώσει σοβαρά τη γεωμετρία που έχει ήδη δημιουργηθεί μέσω κανόνων.



Εικόνα 5.8: Το τρισδιάστατο μοντέλο της Πολυτεχνειούπολης



Εικόνα 5.9: Άποψη των τρισδιάστατων μοντέλων εγκαταστάσεων της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου



Εικόνα 5.10: Το κτήριο Λαμπαδάριο και το αντίστοιχο αρχείο CGA (lampadario)

```
/**
 * File:    lampadario.cga
 * Created: 9 Sept 2013 10:45:30 GMT
 * Author:  EvaTsil
 */
```

```
version "2012.1"
```

~ Στην αρχή του αρχείου που περιλαμβάνει τους CGA κανόνες, καθορίζονται οι ιδιότητες των στοιχείων των τρισδιάστατων κτηρίων, όπως λόγου χάρη ύψος ορόφου κτλ, και δημιουργούνται σύνδεσμοι με τις αντίστοιχες υφές στον φάκελο assets.

```
/* Attributes *****/

attr subfloor_height      = 1.5
attr groundfloor_height  = 4
attr backfloor_height    = 3.5
attr backgroundfloor_height = 4
attr floor_height        = 3.5
attr tile1_width         = 4.2
attr tile2_width         = 4.2
attr tilefloor_width     = 2.05
attr tilebackfloor_width = 4.4
attr tilebackfloor1_width = 4.4
attr tilebackgroundfloor_width = 4.4
attr entrance_width      = 15.50
attr windowfloor_width   = 1.60
attr windowgroundfloor_width = 3.50
attr door_width          = 7.76
attr Door2_Width         = 2
attr Window2_Width       = 2
attr height              = 15

/* Assets *****/

// textures
frontdoor_tex      = "textures/Doors/door1.JPG"
wall_tex           = "textures/Walls/wall_1a1.JPG"
roof_tex           = "textures/Walls/roof_1_cropped.bmp"
```

~ Αυτή η λειτουργία επιλέγει τυχαία μία από τις 5 υφές για παράθυρα στον φάκελο assets.

```
# this function will get one of the 5 window textures in the assets folder
randomWindowfloorTexture = fileRandom("textures/para8ura/window.*.JPG")
```

↪ Σε αυτήν την φάση ξεκινά η δημιουργία της 3D γεωμετρίας:

```
/* Initial Shape starting rule *****/
```

↪ Ο παρακάτω κανόνας (**Lot**) εξωθεί τον όγκο από το 2D περίγραμμα σύμφωνα με το ύψος του κτηρίου, που έχει ήδη καθοριστεί στις ιδιότητες του αρχείου.

```
# scale the lot to leave a small border and extrude the lot to building height
Lot -->
    extrude(height) Building
# inner lots are dropped
LotInner --> NIL
```

↪ Ο κανόνας **Building** διασπά την γεωμετρία του κτηρίου στις πλευρές του, πρόσοψη, πλάγια όψη κτλ.

```
# split the building geometry into its facade components
Building -->
    comp(f) { front : Frontfacade | left : Sidefacade | back : Backfacade |
              right: Sidefacade | top: Roof }
```

↪ Ο κανόνας **Frontfacade** διασπά την πρόσοψη του κτηρίου σε 2 μέτρα τοίχο, υπόγειο, ισόγειο, 75 εκατοστά τοίχο και τους υπόλοιπους ορόφους. Με τον ίδιο τρόπο υλοποιούνται οι διασπάσεις και στους υπόλοιπους κανόνες.

```
# the front facade is subdivided into subfloor, groundfloor
# and upper floors
Frontfacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1) # setup 1.5m x 1m texture tiles
    along scopes xy plane (and distortion in z)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    split(y){ 2: Wall
              | subfloor_height : Subfloor
              | groundfloor_height : Groundfloor
              | 0.75 : Wall
              | {~floor_height : Floor}*
              | ~1 : Wall }
```

```
Backfacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    split(y){ 2: Wall
              | {~floor_height : Backgroundfloor}
              | 0.75 : Wall
              | floor_height : Backfloor
              | 0.75 : Wall
              | floor_height : Backfloor
              | 1 : Wall }
```

```
Sidefacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    split(y){ 2: Wall
              | 1.5: Wall
              | 2.5: split(x){ ~1 : Wall | Door2_Width : Door | ~1: Wall }
              | 2: Wall
              | 2: split(x){ ~1: Wall | Window2_Width : Window | ~1: Wall }
```

```

| 2: Wall
| 2: split(x){ ~1: Wall | Window2_Width : Window | ~1: Wall}
| 1 : Wall}

```

↪ Ο κανόνας **Roof** εφαρμόζει την αντίστοιχη υφή στην οροφή του κτηρίου.

```
# a roof texture is applied to the roof face
```

```
Roof -->
  setupProjection(0, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
  texture(roof_tex)
  projectUV(0)
```

↪ Ο κανόνας **Floor** διασπά οριζοντίως κάθε όροφο σε δύο γωνιακά τμήματα μήκους 50 εκατοστών και ανάμεσα σε ένα σύνολο πλακών.

```
# each floor is horizontally split into two narrow corner areas on
# each side of the floor, and into a set of window tiles in between
```

```
Floor -->
  split(x){ 0.5 : Wall
            | { ~tilefloor_width : Tilefloor }*
            | 0.5 : Wall }
```

↪ Ο κανόνας **Groundfloor** διασπά το ισόγειο σε δύο γωνιακά τμήματα μήκους 50 εκατοστών και ανάμεσα σε ένα σύνολο πλακών. Στον συγκεκριμένο κανόνα παρουσιάζονται δύο ειδών πλάκες και μία πλάκα που περιέχει την είσοδο προς το κτήριο. Επίσης στην αρχή θέτουμε και το βάθος του πεδίου στο $t(0,0,-2.0)$ όπου το ισόγειο σε σχέση με τους υπόλοιπους ορόφους έχει βάθος 2 μέτρα.

```
# similarly, the front groundfloor is horizontally split into
# two narrow corner areas on each side of the floor,
# a special entrance tile in the middle
# and into a set of window tiles on the right and on the left
```

```
Groundfloor -->
  s('1','1',0.4)
  t(0,0,-2.0)
  split(x){ 0.5: Wall
            | {tile2_width : Tile2 }
            | {tile2_width : Tile2 }
            | {tile2_width : Tile2 }
            | {tile2_width : Tile2 }
            | {tile2_width : Tile2 }
            | {tile2_width : Tile2 }
            | {tile2_width : Tile2 }
            | {tile2_width : Tile2 }
            | {tile2_width : Tile2 }
            | 2.28 : Wall
            | door_width : EntranceTile
            | 2.28 : Wall
            | { tile1_width : Tile1 }
            | { tile1_width : Tile1 }
            | { tile1_width : Tile1 }
            | 0.5 : Wall }
```

```
Backfloor -->
  split(x){ 0.5 : Wall
            | { tilebackfloor_width : Tilebackfloor }
            | { tilebackfloor_width : Tilebackfloor }
            | { tilebackfloor_width : Tilebackfloor }
            | { tilebackfloor_width : Tilebackfloor }
            | { tilebackfloor_width : Tilebackfloor }
```

```

| { tilebackfloor_width : Tilebackfloor }
| { tilebackfloor_width : Tilebackfloor }
| { tilebackfloor_width : Tilebackfloor }
| { tilebackfloor_width : Tilebackfloor }
| { tilebackfloor_width : Tilebackfloor }
| { tilebackfloor_width : Tilebackfloor }
| { tilebackfloor_width : Tilebackfloor }
| { tilebackfloor_width : Tilebackfloor }
| { tilebackfloor_width : Tilebackfloor }
| { tilebackfloor_width : Tilebackfloor }
| { tilebackfloor_width : Tilebackfloor }
| { tilebackfloor_width : Tilebackfloor }
| 0.5 : Wall }

Backgroundfloor -->
split(x){ 0.5 : Wall
| { tilebackgroundfloor_width : Tilebackgroundfloor }
| { tilebackgroundfloor_width : Tilebackgroundfloor }
| { tilebackgroundfloor_width : Tilebackgroundfloor }
| { tilebackgroundfloor_width : Tilebackgroundfloor }
| { tilebackgroundfloor_width : Tilebackgroundfloor }
| { tilebackgroundfloor_width : Tilebackgroundfloor }
| { tilebackfloor1_width : Tilebackfloor1 }
| { tilebackfloor1_width : Tilebackfloor1 }
| { tilebackfloor1_width : Tilebackfloor1 }
| { tilebackfloor1_width : Tilebackfloor1 }
| { tilebackgroundfloor_width : Tilebackgroundfloor }
| { tilebackgroundfloor_width : Tilebackgroundfloor }
| { tilebackgroundfloor_width : Tilebackgroundfloor }
| { tilebackgroundfloor_width : Tilebackgroundfloor }
| { tilebackgroundfloor_width : Tilebackgroundfloor }
| { tilebackgroundfloor_width : Tilebackgroundfloor }
| 0.5 : Wall }

```

• Ο κανόνας **Tilefloor** διασπά τις πλάκες των ορόφων σε ένα κεντραρισμένο παράθυρο, το οποίο περιβάλλεται από τοίχο.

```

# a tile consists of a centered window element and
# wall elements above, below, left and right
Tilefloor -->
split(x){ windowfloor_width : split(y){ 1 : Wall | 1.4 : Window
| ~1: Wall }
| ~1 : Wall }

Tile1 -->
split(x){ windowgroundfloor_width : split(y){1 : Wall | 1.3 : Window
| 0.5: Wall | 0.6: Window | ~1: Wall }
| ~1 : Wall }

Tile2 -->
split(x){ windowgroundfloor_width : split(y){2.3 : Window | 0.5: Wall
| 0.6: Window | ~1: Wall }
| ~1 : Wall }

Tilebackfloor -->
split(x){ 3.50 : split(y){0.75 : Wall | 1.8 : split(x){1.80: Wall
| 1.80: Window}| ~0.75: Wall }
| ~1 : Wall }

Tilebackfloor1 -->
split(x){ 3.50 : Wall | ~1 : Wall }

```

```
Tilebackgroundfloor -->
    split(x){ 3.50 : split(y){0.75 : Wall | 1.8 : split(x){1.80: Window
        | 1.80: Wall }| ~0.20: Wall }
        | ~1 : Wall }
```

• Ο κανόνας **EntranceTile** διασπά την είσοδο σε μία κεντραρισμένη πόρτα που περιβάλλεται από τοίχο.

```
# similarly, the EntranceTile contains a centered Door element
EntranceTile -->
    split(x){ ~ 0.5: Wall
        | door_width : split(y){ 2.5 : Door | 0.60:Wall
        | ~2: Wall }
        | ~ 0.5 : Wall }
```

• Ο κανόνας **Window** καθορίζει τη θέση του παραθύρου και το βάθος, που ενισχύει τον τρισδιάστατο χαρακτήρα του.

```
# firstly, the depth and the depth position of the future window is set.
Window -->
    s('1','1',0.2)
    t(0,0,-0.3)
```

• Ο κανόνας **Door** καθορίζει τη θέση του παραθύρου και το βάθος, που ενισχύει τον τρισδιάστατο χαρακτήρα του.

```
# same for the door asset. Scaling, positioning, texture selection
Door -->
    s('1','1',0.1)
    t(0,0,-0.5)
```

• Ο κανόνας **Wall** προσθέτει την υφή του τοίχου στο σύνολο του κτηρίου και την εφαρμόζει στο διδιάστατο επίπεδο της κάθε όψης.

```
Wall --> texture(wall_tex) projectUV(0) projectUV(2)
```



Εικόνα 5.11: Προέκταση του κτηρίου Λαμπαδαρίου με τα 2 αρχεία κανόνων που τη δημιουργούν (lampadario_02, lampadario_03)

```

/**
 * File:      lampadario_02.cga
 * Created:   10 Sept 2013 16:20:27 GMT
 * Author:    EvaTsil
 */

version "2012.1"

attr groundfloor_height = 3.5
attr floor_height       = 3.5
attr tile_width         = 4
attr backfloor_height   = 4
attr tilegroundfloor_width = 4
attr tilegroundfloor_1_width = 4
attr tile2_width        = 4
attr height              = 9.50
attr sidedoor_width     = 1.85
attr door_width         = 3.60

door_tex = "assets/Doors/door_1_cropped.JPG"
wall_tex = "assets/Walls/P1030649_cropped.JPG"
roof_tex = "assets/Walls/roof_2_cropped.bmp"
randomWindowfloorTexture = fileRandom("*/assets/Windows/Wind_la.*.JPG")

Lot -->
    extrude(height) Building

LotInner --> NIL

Building -->
    comp(f) { front : Frontfacade | left : Sidefacade | back : Backfacade
            | right: Sidefacade | top: Roof}

Frontfacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    split(y){ 2: Wall
            | groundfloor_height : Groundfloor
            | {~floor_height : Floor}* }

Backfacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    split(y){ 2.7 : Wall
            | 4: Backfloor
            | ~1: Wall }

Roof -->
    setupProjection(0, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    texture(roof_tex)
    projectUV(0)

Floor -->
    split(x){ 0.30 : Wall
            | { ~tile_width : Tile }*
            | 0.30 : Wall }

Backfloor -->
    split(x){ 8.80 : Wall
            | {{ tile_width : Tile}*2}
            | { tile2_width : Tile2}
            | { tile_width : Tile}
            | ~0.30 : Wall }

Groundfloor -->
    split(x){ 0.30: Wall
            | { ~tilegroundfloor_width : Tilegroundfloor }*

```

```

    | tilegroundfloor_1_width : Tilegroundfloor_1
    | tilegroundfloor_width : EntranceTile
    | 0.30 : Wall }

Tilegroundfloor -->
    split(x){ {sidedoor_width: split(y){0.10 : Wall | 2 : Door
    | 0.50 : Window | ~1: Wall }
    | 1.85 : split(y){2.10: Wall | 0.50 : Window | ~1: Wall}
    | ~0.40 : Wall}}

Tile2 -->
    split(x) {{1.80: split(y){0.20 : Wall | 1.80 : Door | 0.40: Wall
    | 0.50 : Window | ~1: Wall }
    | 1.80 : split(y){1: Wall | 1 : Window | 0.40 : Wall
    | 0.50 : Window | ~1: Wall}
    | ~0.40 : Wall}}

Tile -->
    split(x){3.70 : split(y){ 1: Wall | 1: Window | 0.40 : Wall
    | 0.50 : Window | ~1 : Wall }
    | ~0.40 : Wall }

Tilegroundfloor_1 -->
    split(x){ 3.60 : split(y){ 2.10: Wall | 0.50: Window | ~1: Wall}
    | ~0.40: Wall}

EntranceTile -->
    split(x){ 3.70 : split(y){ 0.20: Wall | 2.40 : Door | ~1 :Wall }
    | ~0.10 : Wall}

Window -->
    s('1','1,0.4)
    t(0,0,-0.50)

Door -->
    s('1','1,0.1)
    t(0,0,-0.20)

Wall --> texture(wall_tex) projectUV(0) projectUV(2)

**
* File: lampadario_03.cga
* Created: 11 Sept 2013 11:12:50 GMT
* Author: EvaTsil
*/

version "2012.1"

attr groundfloor_height = 3.5
attr floor_height = 3.5
attr tile_width = 4
attr tile1_width = 4
attr height = 9.5

wall_tex = "assets/Walls/P1030649_cropped.JPG"
roof_tex = "assets/Walls/roof_2_cropped.bmp"
randomWindowfloorTexture = fileRandom("assets/Windows/Wind_la.*.JPG")

Lot -->
    extrude(height) Building
LotInner --> NIL

Building -->
    comp(f) { front : Frontfacade | left : Sidefacade | back : Backfacade
    | right: Sidefacade | top: Roof}

Frontfacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)

```



```

split(y){ 2: Wall
          | groundfloor_height : Groundfloor
          | {~floor_height : Floor}* }

Roof -->
  setupProjection(0, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
  texture(roof_tex)
  projectUV(0)

Floor -->
  split(x){ 0.30 : Wall
            | { tile_width : Tile }
            | { tile_width : Tile }
            | {tile1_width : Tile1}
            | { tile_width : Tile }
            | { tile_width : Tile }
            | {tile_width : Tile }
            | 0.30 : Wall }

Tile -->
  split(x){3.60 : split(y){ 1: Wall | 1: Window | 0.40 : Wall
                          | 0.50 : Window | ~1 : Wall }
          | ~0.40 : Wall }

Tile1 --> split(x){4: Wall}

Window -->
  s('1','1',0.4)
  t(0,0,-0.50)

Wall --> texture(wall_tex) projectUV(0) projectUV(2)

```



Εικόνα 5.12: Το κτήριο του κυλικείου με το κέντρο Γεωπληροφορικής στον 1^ο όροφο (lampadario_4)

```

/**
 * File:    lampadario_4.cga
 * Created: 15 Sept 2013 17:41:27 GMT
 * Author:  EvaTsil
 */

```

version "2012.1"

```

attr groundfloor_height = 3.5
attr groundfloor1_height = 3.5
attr floor_height       = 3.5

```

```

attr tile_width           = 4
attr backfloor_height     = 3.5
attr tile1_width          = 4
attr tile2_width          = 4
attr height               = 10

door_tex                  = "assets/Doors/door_3.JPG"
wall_tex                  = "assets/Walls/P1030649_cropped.JPG"
roof_tex                  = "assets/Walls/roof_2_cropped.bmp"
randomWindowfloorTexture = fileRandom("*.assets/Windows/Wind_La.*.JPG")

Lot -->
    extrude(height) Building
LotInner --> NIL
Building -->
    comp(f) { front : Frontfacade | left : Sidefacade | back : Backfacade
            | right: Sidefacade | top: Roof }
Frontfacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    split(y){ 1.5 : Wall
            | 3.5: Groundfloor
            | 1 : Wall
            | 3.5 : Floor
            | ~0.50: Wall }

Backfacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    split(y){ 1.50 : Wall
            | 3.5 : Groundfloor1
            | 1: Wall
            | 3.5 : Backfloor
            | ~0.50: Wall }

Sidefacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    split(y){ 2.20 : Wall | 3.5 : Sidefloor | ~ 3.5: Wall }

Roof -->
    setupProjection(0, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    texture(roof_tex)
    projectUV(0)

Floor -->
    split(x){ 0.30 : Wall | { ~tile_width : Tile } * | 0.30 : Wall }
Backfloor -->
    split(x){ 0.30 : Wall | { ~tile_width : Tile } * | 0.30 : Wall }
Groundfloor -->
    split(x){ 0.30 : Wall | { ~tile_width : Tile } * | 0.30 : Wall } Groundfloor1 -
->
    split(x){ { tile1_width : Tile1 }
            | { tile1_width : Tile1 }
            | { tile1_width : Tile1 }
            | tile2_width : Tile2
            | { tile1_width : Tile1 }
            | { tile1_width : Tile1 } }

Sidefloor -->
    split(y){ 0.10 : Wall | 2.30 : split(x){ 0.70: Wall | ~3: Window
            | 0.80 : Wall } | ~0.25: Wall }

Tile -->
    split(x){ 3.60 : split(y){ 0.90: Wall | 1: Window | 0.40 : Wall
            | 0.50 : Window | ~1 : Wall }
            | ~0.40 : Wall }

Tile1 -->
    split(x){ 0.30 : split(y){ 0.75: Wall | 1.50 : Window | 0.20: Wall

```

```

    | 0.40: Window | ~0.10: Wall}
    | 3.70 : split(y){2.45: Wall|0.40: Window| ~0.10: Wall}
    }

Tile2 -->
    split(x){ 0.30 : split(y){0.75: Wall| 1.50 : Window | 0.20: Wall
    | 0.40: Window | ~0.10: Wall}
    | 0.20: split(y){2.45 : Wall | 0.40 : Window| ~0.10: Wall}
    | 0.80: split(y){0.75 : Wall | 1.50 : Window|0.20: Wall
    | 0.40: Window| ~0.10 : Wall}
    | 0.30 : split(y){ 2.25: Wall | 0.20 : Wall |0.40 : Window
    | ~1 :Wall }
    |2.10 : split(y){ 2.25 : Door | 0.20 : Wall | 0.40 : Window
    |~1 : Wall}
    |0.30 : split(y){ 2.25: Wall | 0.20 : Wall |0.40 : Window
    | ~1 :Wall }
    }

Window -->
    s('1','1,0.4)
    t(0,0,-0.50)

Door -->
    s('1','1,0.1)
    t(0,0,0)

Wall --> texture(wall_tex) projectUV(0) projectUV(2)

```



Εικόνα 5.13: Χώρος συγκέντρωσης φοιτητών (lampadario_5)

```

/**
 * File:    lampadario_5.cga
 * Created: 11 Sept 2013 12:35:27 GMT
 * Author:  EvaTsil
 */

version "2012.1"

attr floor_height      = 4
attr tile_width        = 4
attr tile1_width       = 4
attr tile2_width       = 4
attr height            = 6

door_tex               = "assets/Doors/door_4.JPG"
wall_tex               = "assets/Walls/P1030649_cropped.JPG"
roof_tex               = "assets/Walls/roof_2_cropped.bmp"
randomWindowfloorTexture = fileRandom("*.assets/Windows/Wind_LA5.*.JPG")

```

```

Lot -->
    extrude(height) Building

LotInner --> NIL

Building -->
    comp(f) { front : Frontfacade | left : Sidefacade | back : Backfacade | right :
Sidefacade | top: Roof}

Frontfacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    split(y){ 2: Wall
              |{~floor_height : Floor}* }

Floor -->
    split(x){ 0.30 : Wall
              | { tile_width : Tile }
              | { tile_width : Tile }
              | { tile_width : Tile }
              | { tile1_width : Tile1 }
              | 4: Wall
              | { tile2_width : Tile2 }
              | { tile2_width : Tile2 }
              | { tile2_width : Tile2 }
              | 0.30 : Wall }

Tile -->
    split(x){0.10: Wall
            | 3.80: split(y){ 0.40: Wall | 0.45: Window | 2 : Wall
            | 0.25 : Window | ~1 : Wall }
            | ~0.10 : Wall }

Tile2 -->
    split(x) {0.20: Wall
            | 3.60: split(y){1.80: Wall| 0.80: split(x){0.70: Wall
            | 0.80: Window| ~0.50: Wall}| 0.20: Wall|0.30: Window
            | ~0.10: Wall}
            |~0.10: Wall}

Tile1 -->
    split(x){0.10: Wall
            | 3.80: split(y){ 0.80: Wall | 2.25: Door| ~1 : Wall }
            | ~0.10 : Wall }

Window -->
    s('1','1,0.4)
    t(0,0,-0.5)
    i(window_asset)

Door -->
    s('1','1,0.1)
    t(0,0,0)

Wall --> texture(wall_tex) projectUV(0) projectUV(2)

```



Εικόνα 5.14: Το μεγάλο αμφιθέατρο στο κτήριο Λαμπαδάριο(lampadario_6)

```

/**
 * File:    lampadario_6.cga
 * Created: 11 Sept 2013 12:35:30 GMT
 * Author:  EvaTsil
 */

version "2012.1"

attr floor_height      = 4
attr tile_width       = 4
attr tile2_width      = 4
attr tile1_width      = 4
attr tile3_width      = 4
attr height           = 6.5

door_tex              = "assets/Doors/door_5.JPG"
wall_tex              = "assets/Walls/P1030649_cropped.JPG"
roof_tex              = "assets/Walls/roof_2_cropped.bmp"
randomWindowfloorTexture = fileRandom( "*assets/Windows/Wind_La6.*.JPG" )

Lot -->
    extrude(height) Building
LotInner --> NIL
Building -->
    comp(f) { front : Frontfacade | left : Sidefacade | back : Backfacade
            | right: Sidefacade | top: Roof }
Frontfacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    split(y){ 2.5: Wall
              | {~floor_height : Floor}* }
Floor -->
    split(x){ 1.50 : Wall
              | { tile_width : Tile }
              | 0.40: Wall
              | { tile_width : Tile }
              | 0.40: Wall
              | { tile_width : Tile }
              | 0.40: Wall
              | { tile_width : Tile }
              | 0.40: Wall
              | { tile1_width : Tile1 }
              | 0.40: Wall
              | {tile2_width : Tile2}
              | 0.40: Wall
              | {tile3_width : Tile3}
    
```

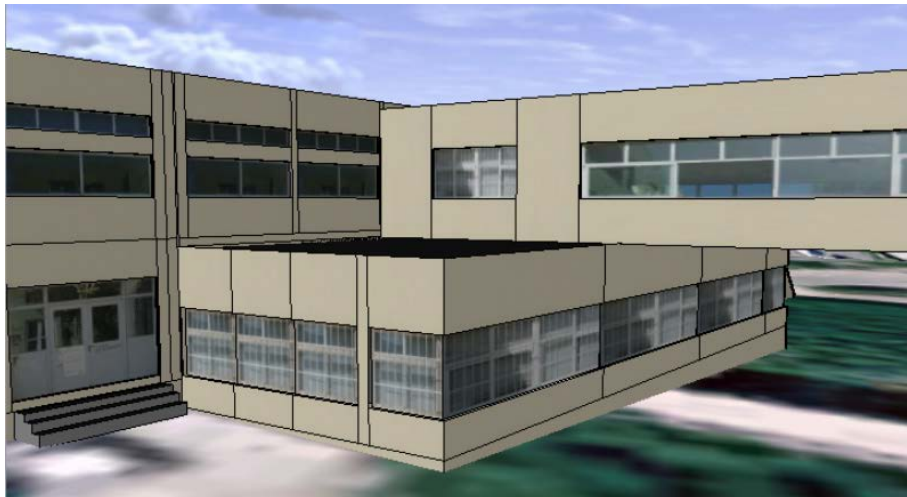
```

        |0.40: Wall
        |4:Wall
        |~ 1.50 : Wall }
Tile -->
    split(x){3.70: split(y){ 2.45 : Wall | 0.60 : Window | ~1 : Wall } }

Tile1 -->
    split(x){3.70: split(y){ 0.40 : Wall | 2.60 : split(x){2.80: Wall
        | 0.90:Window}| ~1 : Wall }}
Tile2 -->
    split(x) { 3.70: split(y){0.40: Wall| 2: Door| 0.30: Wall|0.30: Window
        | ~0.10: Wall}}
Tile3 -->
    split(x){3.70: split(y){ 0.40 : Wall | 2.60 : split(x){0.90:Window
        |2.80: Wall }| ~1 : Wall } }
Window -->
    s('1','1,0.4)
    t(0,0,-0.50)
Door -->
    s('1','1,0.1)
    t(0,0,0)

Wall --> texture(wall_tex) projectUV(0) projectUV(2)

```



Εικόνα 5.15: Το κτήριο απέναντι από την είσοδο στο Βέη (lampadario_7)

```

/**
 * File:    lampadario_7.cga
 * Created: 11 Sept 2013 12:35:35 GMT
 * Author:  EvaTsil
 */

version "2012.1"
attr floor_height      = 4
attr sidefloor_height = 4
attr tile_width       = 7
attr tile1_width      = 2
attr height           = 5.5

wall_tex      = "assets/Walls/P1030649_cropped.JPG"
roof_tex      = "assets/Walls/roof_2_cropped.bmp"
randomWindowfloorTexture = fileRandom( "*assets/Windows/Wind_La7.*.JPG" )

Lot -->
    extrude(height) Building
LotInner --> NIL
Building -->
    comp(f) { front : Frontfacade | left : Sidefacade | back : Backfacade

```

```

        | right: Sidefacade | top: Roof}
Frontfacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    split(y){ 1.5: Wall
              |{~floor_height : Floor}* }

Sidefacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    split(y){ 1.5: Wall
              |{~sidefloor_height : Sidefloor}* }

Floor -->
    split(x){ { tile_width : Tile }*}

Sidefloor -->
    split(x){ {tile1_width: Tile1}
              |{tile1_width: Tile1}
              |{tile1_width: Tile1}
              |0.30: Wall
              | {tile1_width: Tile1}}

Tile -->
    split(y){0.8: Wall| 1.70: Window| ~1: Wall }

Tile1 -->
    split(y){0.80 : Wall | 1.70: Window| ~1 : Wall }

Window -->
    s('1','1,0.4)
    t(0,0,-0.5)

Wall -->
    texture(wall_tex) projectUV(0) projectUV(2)

```



Εικόνα 5.16: Η είσοδος στο μεγάλο αμφιθέατρο (lampadario_8)

```

/**
 * File:    lampadario_8.cga
 * Created: 11 Sept 2013 12:35:40 GMT
 * Author:  EvaTsil
 */

version "2012.1"

attr groundfloor_height = 4.80

```

```

attr height = 5.80

wall_tex = "assets/Walls/P1030649_cropped.JPG"
roof_tex = "assets/Walls/roof_2_cropped.bmp"
randomWindowfloorTexture = fileRandom("assets/Windows/Wind_la8.*.JPG")

Lot -->
    extrude(height) Building
LotInner --> NIL

Building -->
    comp(f) { front : Frontfacade | left : Sidefacade1 | back : Backfacade
              | right: Sidefacade | top: Roof}
Frontfacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    split(y){ 1: Wall
              | groundfloor_height : Groundfloor}

Backfacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)

Groundfloor-->
    split(x){0.70: Wall
            | 3.70 : split(y){ 1.10: Wall | 1: Window | 0.40 : Wall
            | 0.50 : Window | ~1 : Wall }
            | 0.30 : Wall
            | 3.70 : split(y){ 1.10: Wall | 1: Window | 0.40 : Wall
            | 0.50 : Window | ~1 : Wall }
            |~1: Wall }

Window -->
    s('1','1,0.4)
    t(0,0,-0.40)

Wall -->
    texture(wall_tex) projectUV(0) projectUV(2)

```



Εικόνα 5.17:Ο διάδρομος για τις επεκτάσεις πίσω από το κτήριο Λαμπαδάριο (diabash)

```

/**
 * File:    diabash.cga
 * Created: 11 Sept 2013 12:35:42 GMT
 * Author:  EvaTsil
 */

```



```

version "2012.1"

attr groundfloor_height = 5
attr floor_height       = 4
attr tile_width         = 5
attr tile1_width        = 8
attr backfloor_height   = 4
attr height              = 14

door_tex                 = "assets/Doors/door_7.JPG"
wall_tex                 = "assets/Walls/diavasiwall.JPG"
roof_tex                 = "assets/Walls/roof_2_cropped.bmp"
Wind_tex                 = "assets/Windows/window_diavasi.JPG"

Lot -->
    extrude(height) Building

LotInner --> NIL

Building -->
    comp(f) { front : Frontfacade | left : Sidefacade | back : Backfacade
            | right: Sidefacade | top: Roof}

Frontfacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    split(y){ 1: Wall
            |groundfloor_height : Groundfloor
            | {~floor_height : Floor}* }

Backfacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    split(y){ 1: Wall
            |groundfloor_height : Groundfloor
            | {~floor_height : Backfloor}* }

Floor -->
    split(x){ { ~tile1_width : Tile1 }* }

Backfloor -->
    split(x){ { ~tile1_width : Tile1 }* }

Groundfloor -->
    split(x){ { ~tile_width : Tile}* }

Tile -->
    split(x){ 0.30: Wall
            | 4.90: split(y){ 0.10: Wall | 2.60: Door| ~1: Wall}
            | ~0.50: Wall }

Tile1 -->
    split(x){ 0.70: Wall
            | 4: split(y){ 0.50: Wall | 1.70: Window |~1: Wall}
            | ~0.50: Wall }

Window -->
    s('1','1,0.4)
    t(0,0,-0.5)

Door -->
    s('1','1,0.1)
    t(0,0,0)

Wall -->
    texture(wall_tex) projectUV(0) projectUV(2)

```



Εικόνα 5.18: Οι αίθουσες Α και τα νέα γραφεία καθηγητών των επεκτάσεων με τα αρχεία κανόνων που τα δημιουργούν (epektasi_1, epektasi_2)

```

/**
 * File:    epektasi_1.cga
 * Created: 12 Sept 2013 16:11:40 GMT
 * Author:  EvaTsil
 */

version "2012.1"
attr floor_height      = 4
attr sidefloor_height = 4
attr sidefloor1_height = 4
attr height            = 6

door_tex      = "assets/Doors/door_8.JPG"
wall_tex      = "assets/Walls/P1030649_cropped.JPG"
roof_tex      = "assets/Walls/roof_2_cropped.bmp"
randomWindowfloorTexture = fileRandom("*.assets/Windows/Wind_ep1.*.JPG")

Lot -->
    extrude(height) Building

LotInner --> NIL

Building -->
    comp(f) { front : Frontfacade | left : Sidefacadel | back : Backfacade
              | right: Sidefacade | top: Roof}
Frontfacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    split(y){ 2: Wall
              |{~floor_height : Floor}* }
Sidefacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    split(y){ 2: Wall
              |{~sidefloor_height : Sidefloor}* }

Sidefacadel -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    split(y){ 2: Wall
              |{~sidefloor1_height : Sidefloor1}* }

```

```

Roof -->
    setupProjection(0, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    texture(roof_tex)
    projectUV(0)

Floor -->
    split(x){ 2 : Wall
        | 1.20: split(y){2.30: Door| ~1 : Wall}
        | 0.50: Wall
        | 2.40: split(y){0.90: Wall| 1.40: Window| ~1: Wall}
        | 0.50: Wall
        | 2.40: split(y){0.90: Wall| 1.40: Window| ~1: Wall}
        | 0.50: Wall
        | 2.40: split(y){0.90: Wall| 1.40: Window| ~1: Wall}
        | 2: Wall
        | 1.20: split(y){2.30: Door| ~1 : Wall}
        | 0.50: Wall
        | 1.20: split(y){2.30: Door| ~1 : Wall}
        | 2 : Wall
        | 2.40: split(y){0.90: Wall| 1.40: Window| ~1: Wall}
        | 0.50: Wall
        | 2.20: split(y){0.90: Wall| 1.40: Window| ~1: Wall}
        | 0.50: Wall
        | 2.40: split(y){0.90: Wall| 1.40: Window| ~1: Wall}
        | 0.50: Wall
        | 1.20: split(y){2.30: Door| ~1 : Wall}
        | ~ 1.50 : Wall }

Sidefloor -->
    split(x){ 1.50: Wall
        | 1.50: split(y){0.90: Wall| 1.40: Window| ~1: Wall}
        | 0.50: Wall
        | 2.60: split(y){0.90: Wall| 1.40: Window| ~1: Wall}
        | 0.50: Wall
        | 2.60: split(y){0.90: Wall| 1.40: Window| ~1: Wall}
        | ~1: Wall}

Sidefloor1 -->
    split(x){ 1.50: Wall
        | 2.60: split(y){0.90: Wall| 1.40: Window| ~1: Wall}
        | 0.50: Wall
        | 2.60: split(y){0.90: Wall| 1.40: Window| ~1: Wall}
        | 0.50: Wall
        | 1.50: split(y){0.90: Wall| 1.40: Window| ~1: Wall}
        | ~1: Wall}

Window -->
    s('1','1,0.4)
    t(0,0,-0.40)

Door -->
    s('1','1,0.1)
    t(0,0,0)

Wall -->
    texture(wall_tex) projectUV(0) projectUV(2)

/**
 * File: epektasi_2.cga
 * Created: 12 Sept 2013 16:11:45 GMT
 * Author: EvaTsil
 */

version "2012.1"

attr groundfloor_height = 4
attr sidefloor_height = 4
attr floor_height = 4
attr floor1_height = 4
attr floor2_height = 4

```

```

attr tile_width      = 3
attr height          = 14

door_tex             = "assets/Doors/door_8.JPG"
wall_tex             = "assets/Walls/P1030649_cropped.JPG"
roof_tex            = "assets/Walls/roof_2_cropped.bmp"
randomWindowfloorTexture = fileRandom("assets/Windows/Wind_ep2.*.JPG")

Lot -->
    extrude(height) Building

LotInner --> NIL

Building -->
    comp(f) { front : Frontfacade | left : Sidefacade | back : Backfacade
            | right: Sidefacadel | top: Roof}

Frontfacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    split(y){ 2: Wall
              |groundfloor_height : Groundfloor
              |{~floor_height : Floor}* }

Backfacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    split(y){ 2: Wall
              |groundfloor_height : Groundfloor
              | {~floor_height : Floor}* }

Sidefacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    split(y){ 2: Wall
              |sidefloor_height : Sidefloor
              | floor1_height : Floor1
              | floor2_height: Floor2}

Sidefacadel -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)

Roof -->
    setupProjection(0, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    texture(roof_tex)
    projectUV(0)

Floor -->
    split(x){ 0.30 : Wall
              | { tile_width : Tile }*
              | 0.30 : Wall }

Sidefloor-->
    split(x){ 2: Wall
              |2.40:split(y){0.80: Wall| 1.60: Window| ~1: Wall}
              |0.50 : Wall
              |2.40:split(y){0.80: Wall| 1.60: Window| ~1: Wall}
              |0.50: Wall
              | 1.40: split(y){0.10: Wall| 2.30: Door|~1: Wall}
              |~1: Wall}

Floor1-->
    split(x){ 2: Wall
              |2.40:split(y){0.80: Wall| 1.10: Window|0.20: Wall| 0.40:Window
              |~1: Wall}
              |0.50 : Wall
              |2.40:split(y){0.80: Wall| 1.10: Window|0.20: Wall
              |0.40: Window|~1: Wall}
              |~1: Wall}

```

```

Floor2-->
    split(x){ 4.90: Wall | 2.40:split(y){0.80: Wall| 1.10: Window
              | 0.20: Wall| 0.40: Window| ~1: Wall}
              |~1: Wall}
Tile -->
    split(x){1.30 : Wall
              | 1.20: split(y){ 0.50: Wall | 2: Window | ~1 : Wall }
              | ~0.2: Wall}
Window -->
    s('1','1,0.4)
    t(0,0,-0.50)
Door -->
    s('1','1,0.1)
    t(0,0,0)
Wall -->
    texture(wall_tex) projectUV(0) projectUV(2)

```



Εικόνα 5.19: Οι επεκτάσεις που δημιουργούνται από τα 4 αρχεία κανόνων που φαίνονται παρακάτω (epektasi_3, epektasi_4, epektasi_5, epektasi_6)

```

/**
 * File:    epektasi_3.cga
 * Created: 12 Sept 2013 16:11:50 GMT
 * Author:  EvaTsil
 */

version "2012.1"
attr floor_height           = 4
attr groundfloor_height    =4
attr sidefloor1_height     = 4
attr sidefloor2_height     =4
attr height                 = 9

door_tex                    = "assets/Doors/door_8.JPG"
wall_tex                    = "assets/Walls/P1030649_cropped.JPG"
roof_tex                    = "assets/Walls/roof_2_cropped.bmp"
randomWindowfloorTexture   = fileRandom("*assets/Windows/Wind_ep3.*.JPG")

Lot -->
    extrude(height) Building

LotInner --> NIL

Building -->
    comp(f) { front : Frontfacade | left : Sidefacade1 | back : Backfacade
              | right: Sidefacade | top: Roof}

```

```

Frontfacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    split(y){ 1: Wall
        | groundfloor_height : Groundfloor
        | floor_height: Floor}

Sidefacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    split(y){ 1: Wall
        | sidefloor1_height : Sidefloor1
        | sidefloor2_height: Sidefloor2 }

Sidefacadel -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)

Floor -->
    split(x){ 1.50: Wall
        | 1.40: split(y){0.90: Wall| 0.80: Window| 0.20: Wall
        | 0.40: Window|~1: Wall}
        | 0.50: Wall
        | 2.40 : split(y){0.90: Wall| 0.80: Window| 0.20: Wall
        | 0.40: Window|~1: Wall}
        | 0.50: Wall
        | 1.40 : split(y){0.90: Wall| 0.80: Window| 0.20: Wall
        | 0.40: Window|~1: Wall}
        |~1: Wall}

Groundfloor-->
    split(x){ 1.50: Wall
        | 1.40: split(y){0.10: Wall| 2.30: Door|~1: Wall}
        | 0.50: Wall
        | 2.40 : split(y){0.90: Wall| 1.40: Window| ~1: Wall}
        | 0.50: Wall
        | 1.40 : split(y){0.90: Wall| 1.40: Window| ~1: Wall}
        |~1: Wall }

Sidefloor1 -->
    split(x){ 2: Wall| 4.50: split(y){0.90: Wall| 1.40: Window| ~1: Wall}
        |~1: Wall}

Sidefloor2 -->
    split(x){ 2: Wall| 4.50 : split(y){0.90: Wall|0.80:Window|0.20:Wall
        | 0.40:Window| ~1: Wall}
        |~1: Wall}

Window -->
    s('1','1,0.4)
    t(0,0,-0.40)

Door -->
    s('1','1,0.1)
    t(0,0,0)

Wall -->
    texture(wall_tex) projectUV(0) projectUV(2)

/**
 * File: epektasi_4.cga
 * Created: 12 Sept 2013 16:12:05 GMT
 * Author: EvaTsil
 */

version "2012.1"
attr floor_height =4
attr groundfloor_height =4
attr sidefloor1_height =4
attr sidefloor2_height =4

```

```

attr height                = 10

wall_tex                    = "assets/Walls/P1030649_cropped.JPG"
roof_tex                   = "assets/Walls/roof_2_cropped.bmp"
randomWindowfloorTexture = fileRandom("*assets/Windows/Wind_ep3.*.JPG")

Lot -->
    extrude(height) Building

LotInner --> NIL

Building -->
    comp(f) { front : Frontfacade | left : Sidfacade1 | back : Backfacade | right:
Sidfacade | top: Roof}

Frontfacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    split(y){ 2: Wall
        | groundfloor_height : Groundfloor
        | floor_height: Floor }

Sidfacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)

Floor -->
    split(x){ 1.50: Wall
        | 1.40: split(y){0.90: Wall| 0.80: Window| 0.20: Wall
        | 0.40: Window|~1: Wall}
        | 0.50: Wall
        | 2.40: split(y){0.90: Wall| 0.80: Window| 0.20: Wall
        | 0.40: Window|~1: Wall}
        | 0.50: Wall
        | 1.40: split(y){0.90: Wall| 0.80: Window| 0.20: Wall
        | 0.40: Window|~1: Wall}
        |~1: Wall
        }

Window -->
    s('1','1,0.4)
    t(0,0,-0.50)

Wall -->
    texture(wall_tex) projectUV(0) projectUV(2)

/**
 * File:    epektasi_5.cga
 * Created: 12 Sept 2013 16:12:10 GMT
 * Author:  EvaTsil
 */

version "2012.1"
attr groundfloor_height =4.80
attr height             = 6

door_tex                    = "assets/Doors/door_8.JPG"
wall_tex                    = "assets/Walls/P1030649_cropped.JPG"
roof_tex                   = "assets/Walls/roof_2_cropped.bmp"
randomWindowfloorTexture = fileRandom("*assets/Windows/Wind_ep5.*.JPG")

Lot -->
    extrude(height) Building

LotInner --> NIL

Building -->
    comp(f) { front : Frontfacade | left : Sidfacade1 | back : Backfacade
        | right: Sidfacade | top: Roof}

```

```

Frontfacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    split(y){ 1.20: Wall
        | groundfloor_height : Groundfloor}
Sidefacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)

Groundfloor-->
    split(x){ 1.50: Wall
        | 1.40: split(y){0.10: Wall| 2.30: Door|~1: Wall}
        | 0.50: Wall
        | 2.40 : split(y){0.90: Wall| 1.40: Window| ~1: Wall}
        | 0.50: Wall
        | 1.40 : split(y){0.90: Wall| 1.40: Window| ~1: Wall}
        | ~1: Wall
        }
Window -->
    s('1','1,0.4)
    t(0,0,-0.40)

Door -->
    s('1','1,0.1)
    t(0,0,0)
Wall -->
    texture(wall_tex) projectUV(0) projectUV(2)

/**
 * File:      epektasi_6.cga
 * Created:   12 Sept 2013 16:12:08 GMT
 * Author:    EvaTsil
 */

version "2012.1"
attr groundfloor_height = 4
attr floor_height      = 4
attr floor1_height     =4
attr height           = 14

door_tex           = "assets/Doors/door_9.JPG"
wall_tex           = "assets/Walls/ep6wall.JPG"
roof_tex          = "assets/Walls/roof_2_cropped.bmp"
randomWindowfloorTexture = fileRandom("*assets/Windows/Wind_ep6.*.JPG")

Lot -->
    extrude(height) Building

LotInner --> NIL

Building -->
    comp(f) { front : Frontfacade | left : Sidefacade | back : Backfacade
        | right: Sidefacade | top: Roof}
Frontfacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    split(y){ 2: Wall
        | groundfloor_height : Groundfloor
        | floor_height : Floor
        | floor1_height: Floor1}
Sidefacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)

Floor -->
    split(x){0.50:Wall
        |2.40:split(y){1.90 : Wall| 0.60: Window| ~0.50: Wall}
    }

```



```

    |0.20: Wall
    |2.60:split(y){1.90 : Wall| 0.60: Window| ~0.50: Wall}
    |0.40: Wall
    |2.60: split(y){2.50:Door |~1: Wall}
    |0.40: Wall
    |2.60: split(y){3.70:Door |~1: Wall}
    |~1: Wall}

Groundfloor -->
    split(x){0.50:Wall
        |2.40:split(y){1.90 : Wall| 0.90: Window| ~0.50: Wall}
        |0.20: Wall
        |2.60:split(y){1.90 : Wall| 0.90: Window| ~0.50: Wall}
        |0.40: Wall
        |2.60: split(y){2.80:Door |~1: Wall}
        |0.40: Wall
        |2.60: split(y){2.80:Door |~1: Wall}
        |~1: Wall }

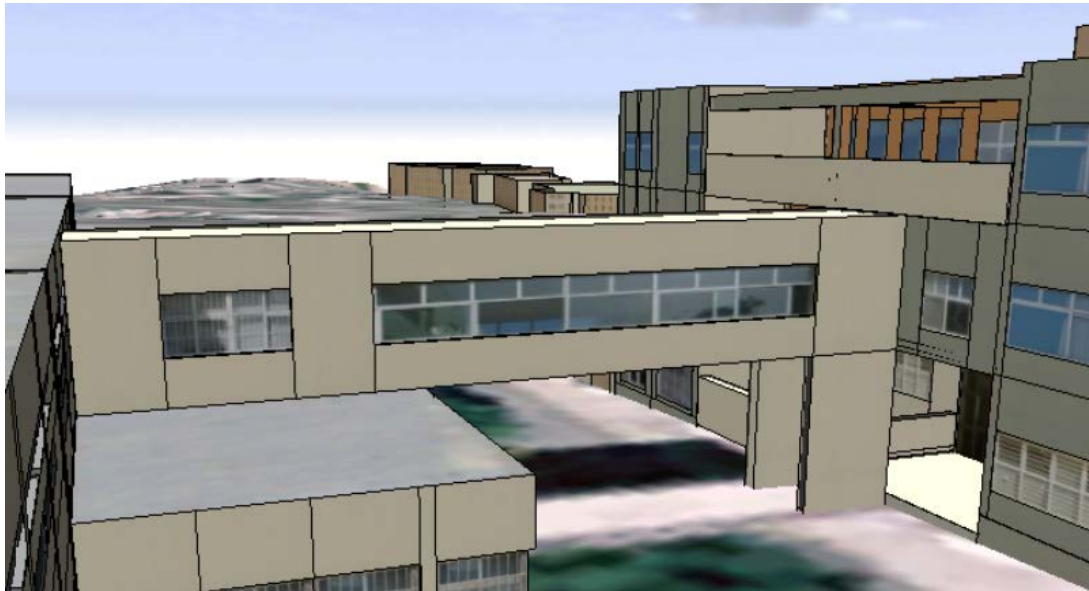
Floor1-->
    split(x){0.50:Wall
        |2.40:split(y){1.90 : Wall| 0.60: Window| ~0.50: Wall}
        |0.20: Wall
        |2.60:split(y){1.90 : Wall| 0.60: Window| ~0.50: Wall}
        |0.40: Wall
        |2.60: split(y){2.50:Door |~1: Wall}
        |0.40: Wall
        |2.60: split(y){1:Wall| 2.70:Door |~1: Wall}
        |~1: Wall}

Window -->
    s('1','1,0.4)
    t(0,0,-0.40)

Door -->
    s('1','1,0.1)
    t(0,0,0)

Wall -->
    texture(wall_tex)  projectUV(0) projectUV(2)

```



Εικόνα 5.20: Η πεζογέφυρα που ενώνει τα κτήρια Βέη και Λαμπαδάριο (gefyr_1)

```

/**
 * File:    gefura_1.cga
 * Created: 12 Sept 2013 16:12:10 GMT
 * Author:  EvaTsil
 */

version "2012.1"
attr groundfloor_height = 5
attr floor_height       = 3.5
attr backfloor_height   = 3.5
attr tile_width         = 3
attr tile2_width        = 13
attr height              = 9

wall_tex                 = "assets/Walls/P1030649_cropped.JPG"
roof_tex                 = "assets/Walls/roof_2_cropped.bmp"
randomWindowfloorTexture = fileRandom( "*assets/Windows/Wind_gef.*.JPG" )

Lot -->
    extrude(height) Building

LotInner --> NIL

Building -->
    comp(f) { front : Frontfacade | left : Sidefacade | back : Backfacade
            | right: Sidefacade | top: Roof}

Frontfacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    split(y){ groundfloor_height : Groundfloor
              | {~floor_height : Floor}* }

Backfacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    split(y){ groundfloor_height : Groundfloor
              | {~backfloor_height : Backfloor}* }

Sidefacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    split(y){ groundfloor_height : Groundfloor
              | {~floor_height : Floor}* }

Roof -->
    setupProjection(0, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    texture(roof_tex)
    projectUV(0)

Floor -->
    split(x){ 2 : Wall |tile_width : Tile |2: Wall|tile2_width : Tile2
            | ~2: Wall }

Backfloor-->
    split(x){ ~2 : Wall |tile2_width : Tile2 |2: Wall|tile_width : Tile
            | 2: Wall }

Groundfloor--> s(0,0,0) t(0,0,0)

Tile -->
    split(y){ 1.20: Wall| 1.50: Window | ~1.50: Wall}

Tile2 -->
    split(y){1.20: Wall| 1.50: Window | ~1.50: Wall}

Window -->
    s('1','1,0.4)

```

```

t(0,0,-0.5)
Wall -->
texture(wall_tex) projectUV(0) projectUV(2)

```



Εικόνα 5.21: Μέρος του κτηρίου Βέη με τα 2 αρχεία κανόνων που το δημιουργούν παρακάτω(vei_2, vei_4, vei_5)

```

/**
 * File:    vei_2.cga
 * Created: 15 Sept 2013 13:23:05 GMT
 * Author:  EvaTsil
 */

version "2012.1"
attr groundfloor_height = 4
attr sidefloor_height   = 4
attr floor_height       = 4
attr floor1_height      = 4
attr height              = 14

door_tex                = "assets/Doors/door_10.JPG"
wall_tex                 = "assets/Walls/wallvei.JPG"
roof_tex                = "assets/Walls/roof_2_cropped.bmp"
randomWindowfloorTexture = fileRandom("assets/Windows/Wind_vei.*.JPG")

Lot -->
    extrude(height) Building

LotInner --> NIL

Building -->
    comp(f) { front : Frontfacade | left : Sidefacade | back : Backfacade
            | right: Sidefacade1 | top: Roof}
Frontfacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    split(y){ 2: Wall
              |groundfloor_height : Groundfloor
              | {~floor_height : Floor}* }
Backfacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)

```

```

Sidefacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    split(y){ 2: Wall
        | sidefloor_height : Sidefloor
        | {floor1_height : Floor1}* }

Sidefacade1 -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
Roof -->
    setupProjection(0, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    texture(roof_tex)
    projectUV(0)

Groundfloor -->
    s('1','1',0.4)
    t(0,0,-1)
    split(x){ 0.80: Wall
        | 4.35: split(y){0.80: Wall| 1.60: Window| ~1: Wall}
        | 0.70 : Wall
        | 4.45:split(y){0.80: Wall| 1.60: Window| ~1: Wall}
        | 0.70: Wall
        | 4.50: split(y){0.80: Wall| 1.60: Window| ~1: Wall}
        | 0.70 : Wall
        | 4.60:split(y){0.80: Wall| 1.60: Window| ~1: Wall}
        | ~0.50: Wall}

Floor -->
    split(x){ 3: Wall
        | 2.20: split(y){0.80: Wall| 1.60: Window| ~1: Wall}
        | 0.40 : Wall
        | 2.20:split(y){0.80: Wall| 1.60: Window| ~1: Wall}
        | 0.40: Wall
        | 2.20: split(y){0.80: Wall| 1.60: Window| ~1: Wall}
        | 0.40 : Wall
        | 2.20:split(y){0.80: Wall| 1.60: Window| ~1: Wall}
        | 0.40: Wall
        | 2.20: split(y){0.80: Wall| 1.60: Window| ~1: Wall}
        | 0.40 : Wall
        | 2.20:split(y){0.80: Wall| 1.60: Window| ~1: Wall}
        | 0.40: Wall
        | 2.20: split(y){0.80: Wall| 1.60: Window| ~1: Wall}
        | ~0.50: Wall}

Sidefloor-->
    split(x){ 0.30: Wall
        | 4:split(y){0.80: Wall| 1.70: Window| ~1: Wall}
        | 0.80 : Wall
        | 4:split(y){0.80: Wall| 1.70: Window| ~1: Wall}
        | 0.50: Wall
        | 2: split(y){0.20: Wall| 2.30: Door|~1: Wall}
        | 6.20: Wall
        | 1.90:split(y){0.80: Wall| 1.70: Window| ~1: Wall}
        | 0.30 : Wall
        | 1.90:split(y){0.80: Wall| 1.70: Window| ~1: Wall}
        | ~1: Wall}

Floor1-->
    split(x){ 0.30: Wall
        | 4:split(y){0.80: Wall| 1.70: Window| ~1: Wall}
        | 0.80 : Wall
        | 4:split(y){0.80: Wall| 1.70: Window| ~1: Wall}
        | 0.50: Wall
        | 2: split(y){0.40: Wall|1.70: Window|~1: Wall}
        | 6.20: Wall
        | 1.90:split(y){0.80: Wall| 1.70: Window| ~1: Wall}
        | 0.30 : Wall
        | 1.90:split(y){0.80: Wall| 1.70: Window| ~1: Wall}
        | ~1: Wall}

```

```

Tile -->
    split(x){1.30 : Wall
        | 1.20: split(y){ 0.50: Wall | 2: Window | ~1 : Wall }
        | ~0.2: Wall}
Window -->
    s('1','1,0.4)
    t(0,0,-0.40)

Door -->
    s('1','1,0.1)
    t(0,0,0)
Wall -->
    texture(wall_tex) projectUV(0) projectUV(2)

/**
 * File: vei_4.cga
 * Created: 15 Sept 2013 13:23:06 GMT
 * Author: EvaTsil
 */

version "2012.1"

attr groundfloor_height = 4
attr floor_height       = 4
attr height              = 10

wall_tex                 = "assets/Walls/wallvei.JPG"
roof_tex                 = "assets/Walls/roof_2_cropped.bmp"
randomWindowfloorTexture = fileRandom("*/assets/Windows/Wind_veia*.JPG")

Lot -->
    extrude(height) Building

LotInner --> NIL

Building -->
    comp(f) { front : Frontfacade | left : Sidefacade | back : Backfacade
        | right: Sidefacade1 | top: Roof}

Frontfacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    split(y){ 2: Wall
        | groundfloor_height : Groundfloor
        | {~floor_height : Floor}* }

Backfacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)

Sidefacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)

Groundfloor -->
    s('1','1,0.4)
    t(0,0,-1)
    split(x){ 4.35: split(y){0.80: Wall| 1.60: Window| ~1: Wall}
        | ~0.70 : Wall}

Floor -->
    split(x){ 1.20:Wall
        | 1.10: split(y){0.80: Wall| 1.60: Window| ~1: Wall}
        | 0.20 : Wall
        | 1.10:split(y){0.80: Wall| 1.60: Window| ~1: Wall}
        | ~0.50: Wall}

Tile -->
    split(x){1.30 : Wall

```

```

        |1.20: split(y){ 0.50: Wall | 2: Window | ~1 : Wall }
        | ~0.2: Wall}
Window -->
    s('1','1,0.4)
    t(0,0,-0.40)

Wall -->
    texture(wall_tex) projectUV(0) projectUV(2)

/**
 * File:    vei_5.cga
 * Created: 15 Sept 2013 13:23:20 GMT
 * Author:  EvaTsil
 */

version "2012.1"

attr groundfloor_height = 3
attr floor_height      = 4
attr height            = 11

wall_tex                = "assets/Walls/wallveil.JPG"
roof_tex                = "assets/Walls/roof_2_cropped.bmp"
wind_tex                = "assets/Windows/windowveil.JPG"

Lot -->
    extrude(height) Building

LotInner --> NIL

Building -->
    comp(f) { front : Frontfacade | left : Sidefacade | back : Backfacade
             | right: Sidefacadel | top: Roof}

Frontfacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    split(y){ groundfloor_height : Groundfloor
             | {~floor_height : Floor}* }

Backfacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)

Sidefacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)

Groundfloor -->
    s('1','1,0.4)
    t(0,0,0)
    split(x){ 4.35: split(y){0.80: Wall| 1.60: Window| ~1: Wall}
             | ~0.70 : Wall
             }

Floor -->
    split(x){ 1.20:Wall
             | 1.10: split(y){0.80: Wall| 1.60: Window| ~1: Wall}
             | 0.20 : Wall
             | 1.10:split(y){0.80: Wall| 1.60: Window| ~1: Wall}
             | ~0.50: Wall}

Tile -->
    split(x){1.30 : Wall
             |1.20: split(y){ 0.50: Wall | 2: Window | ~1 : Wall }
             | ~0.2: Wall}

Window -->
    s('1','1,0.4)
    t(0,0,-0.40)

```

```
Wall -->
    texture(wall_tex) projectUV(0) projectUV(2)
```



Εικόνα 5.22: Μέρος του κτηρίου Βέη με τα 3 αρχεία κανόνων που το δημιουργούν παρακάτω (vei_6, vei_7, vei_8)

```
/**
 * File:    vei_6.cga
 * Created: 15 Sept 2013 13:24:15 GMT
 * Author:  EvaTsil
 */

version "2012.1"
attr groundfloor_height = 4
attr floor_height       = 4
attr height              = 16

wall_tex                 = "assets/Walls/P1030649_cropped.JPG"
roof_tex                 = "assets/Walls/roof_2_cropped.bmp"
wind_tex                  = "assets/Windows/windowvei2.JPG"

Lot -->
    extrude(height) Building

LotInner --> NIL

Building -->
    comp(f) { front : Frontfacade | left : Sidefacade | back : Backfacade
            | right: Sidefacade | top: Roof}

Frontfacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    split(y){ groundfloor_height : Groundfloor
            | {~floor_height : Floor}* }

Sidefacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)

Groundfloor -->
    split(x){ ~2:Wall}
```

```

Floor -->
    split(x){ 5:Wall
              | 2: split(y){0.80: Wall| 1.80: Window| ~1: Wall}
              |~0.50: Wall}

Window -->
    s('1','1,0.4)
    t(0,0,-0.40)

Wall -->
    texture(wall_tex) projectUV(0) projectUV(2)

/**
 * File:    vei_7.cga
 * Created: 15 Sept 2013 13:25:45 GMT
 * Author:  EvaTsil
 */

version "2012.1"
attr groundfloor_height = 4
attr floor_height       = 3
attr height             = 18

wall_tex                 = "assets/Walls/vei2wall.JPG"
roof_tex                 = "assets/Walls/roof_2_cropped.bmp"
wind_tex                 = "assets/Windows/windowvei3.JPG"

Lot -->
    extrude(height) Building

LotInner --> NIL

Building -->
    comp(f) { front : Frontfacade | left : Sidefacade | back : Backfacade
             | right: Sidefacade | top: Roof}

Frontfacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    split(y){ 2: Wall
              | groundfloor_height : Groundfloor
              | {~floor_height : Floor}* }

Sidefacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)

Groundfloor -->
    split(x){ 1: Wall
              | 0.80:split(y){0.70:Wall| 1.60:Window| ~1: Wall}
              |~1: Wall }

Floor -->
    split(x){ 1: Wall
              | 0.80:split(y){1.60:Window| ~1: Wall}
              |~1: Wall }

Window -->
    s('1','1,0.4)
    t(0,0,-0.40)

Wall -->
    texture(wall_tex) projectUV(0) projectUV(2)

```



```

/**
 * File:    vei_8.cga
 * Created: 15 Sept 2013 15:33:07 GMT
 * Author:  EvaTsil
 */

version "2012.1"

attr groundfloor_height = 3.5
attr groundfloor1_height = 3.5
attr floor1_height      = 4
attr floor_height       = 4
attr height             = 14

door_tex                = "assets/Doors/door_10.JPG"
wall_tex                = "assets/Walls/wallvei.JPG"
roof_tex                = "assets/Walls/roof_2_cropped.bmp"
randomWindowfloorTexture = fileRandom("assets/Windows/Wind_veic.*.JPG")

Lot -->
    extrude(height) Building

LotInner --> NIL

Building -->
    comp(f) { front : Frontfacade | left : Sidefacade | back : Backfacade
            | right: Sidefacade | top: Roof}

Frontfacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    split(y){ 2.5 : Wall
            | groundfloor_height : Groundfloor
            | {~floor_height : Floor}* }

Sidefacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    split(y){ 2.5: Wall
            | groundfloor1_height : Groundfloor1
            | {~floor1_height : Floor1}* }

Roof -->
    setupProjection(0, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    texture(roof_tex)
    projectUV(0)

Groundfloor -->
    s('1','1',0.4)
    t(0,0,-2)
    split(x){ 1: Wall
            | 2.60: split(y){0.70: Wall| 1.60: Window|~1:Wall}
            | 0.50:Wall
            | 2.60: split(y){0.70: Wall| 1.60: Window|~1:Wall}
            | 1:Wall
            | 2.10 :split(y){0.10: Wall |2.30: Window|~1: Wall}
            | ~1 : Wall
            }

Floor -->
    split(x){ 1: Wall
            | 2.60: split(y){0.70: Wall| 1.60: Window|~1:Wall}
            | 0.50:Wall
            | 2.60: split(y){0.70: Wall| 1.60: Window|~1:Wall}
            | 1:Wall
            | 2.60: split(y){0.70: Wall| 1.60: Window|~1:Wall}
            | 0.50:Wall
            | 2.60: split(y){0.70: Wall| 1.60: Window|~1:Wall}
    }

```

```

    |~1: Wall
    }
Groundfloor1 -->
    split(x){ 3.50: Wall
    | 2.60: split(y){0.70: Wall| 1.10: Window|~1:Wall}
    | 1:Wall
    | 2.60: split(y){0.70: Wall| 1.10: Window|~1:Wall}
    |~2:Wall
    }

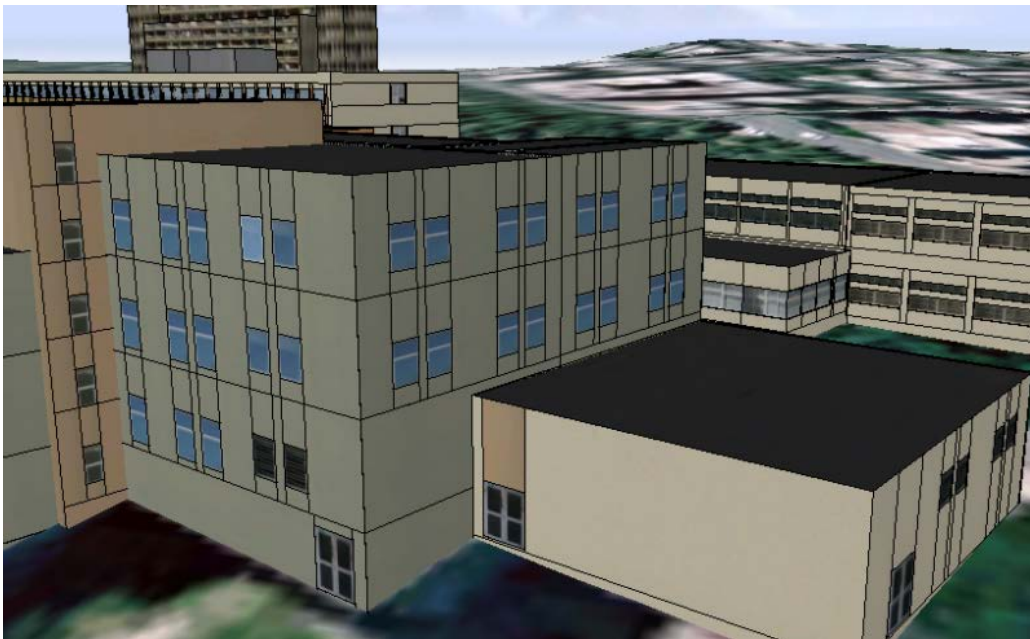
Floor1 -->
    split(x){ 3: Wall
    | 2.60: split(y){0.70: Wall| 1.60: Window|~1:Wall}
    | 1:Wall
    | 2.60: split(y){0.70: Wall| 1.60: Window|~1:Wall}
    |~2:Wall
    }

Window -->
    s('1','1,0.4)
    t(0,0,-0.40)
    texture(randomWindowTexture)

Door -->
    s('1','1,0.1)
    t(0,0,0)
    texture(door_tex)

Wall -->
    texture(wall_tex) projectUV(0) projectUV(2)

```



Εικόνα 5.23: Μέρος του κτηρίου Βέη(αμφιθέατρα B1 και B2 και γραφεία καθηγητών) με τα 2 αρχεία κανόνων που το δημιουργούν παρακάτω (vei_9, vei_12)

```

/**
 * File:    vei_9.cga
 * Created: 16 Sept 2013 09:05:12 GMT
 * Author:  EvaTsil
 */

version "2012.1"
attr groundfloor_height = 3
attr groundfloor1_height=3
attr floor1_height      =4
attr floor2_height      =4
attr floor_height       = 4
attr height              = 16

door_tex                = "assets/Doors/door_10.JPG"
wall_tex                = "assets/Walls/wallvei.JPG"
roof_tex                = "assets/Walls/roof_2_cropped.bmp"
randomWindowfloorTexture = fileRandom("assets/Windows/Wind_veid.*.JPG")

Lot -->
    extrude(height) Building

LotInner --> NIL

Building -->
    comp(f) { front : Frontfacade | left : Sidefacade | back : Backfacade
              | right: Sidefacade | top: Roof}

Frontfacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    split(y){ 1: Wall
              | groundfloor_height : Groundfloor
              | {~floor_height : Floor}* }

Backfacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)

Sidefacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    split(y){ 1: Wall
              | groundfloor1_height : Groundfloor1
              | floor2_height : Floor2
              | {~floor1_height : Floor1}* }

Roof -->
    setupProjection(0, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    texture(roof_tex)
    projectUV(0)

Groundfloor -->
    split(x){ 13:Wall
              | 2: split(y){0.20: Wall| 2.40: Door| ~1: Wall}
              | ~1: Wall}

Floor -->
    split(x){ 1.50: Wall
              | 1.25: split(y){0.30: Wall| 2: Window|~1:Wall}
              | 2:Wall
              | 1.25: split(y){0.30: Wall| 2: Window|~1:Wall}
              | 0.50:Wall
              | 1.25: split(y){0.30: Wall| 2: Window|~1:Wall}
              | 2:Wall
              | 1.25: split(y){0.70: Wall|1.60: Window|~1:Wall}
              | 0.50:Wall
    
```

```

        | 1.25: split(y){0.70: Wall| 1.60: Window|~1:Wall}
        |~1: Wall
        }

Groundfloor1 -->
    split(x){ ~2:Wall}

Floor1 -->
    split(x){ 1.50: Wall
        | 1.25: split(y){0.70: Wall| 1.60: Window|~1:Wall}
        | 0.4:Wall
        | 1.25: split(y){0.70: Wall| 1.60: Window|~1:Wall}
        | 2.5:Wall
        | 1.25: split(y){0.70: Wall| 1.60: Window|~1:Wall}
        | 0.4:Wall
        | 1.25: split(y){0.70: Wall| 1.60: Window|~1:Wall}
        |~1: Wall
        }

Floor2 -->
    split(x){ ~2:Wall}

Window -->
    s('1','1,0.4)
    t(0,0,-0.40)

Door -->
    s('1','1,0.1)
    t(0,0,0)
    texture(door_tex)

Wall -->
    texture(wall_tex) projectUV(0) projectUV(2)

/**
 * File:    vei_12.cga
 * Created: 16 Sept 2013 19:22:34 GMT
 * Author:  EvaTsil
 */

version "2012.1"

attr backfloor_height =5.5
attr floor_height     = 5.5
attr sidefloor_height =5.5
attr height           = 7.5

door_tex              = "assets/Doors/door_10.JPG"
wall_tex              = "assets/Walls/P1030649_cropped.JPG"
roof_tex              = "assets/Walls/roof_2_cropped.bmp"
wind_tex              = "assets/Windows/windowvei12.JPG"

Lot -->
    extrude(height) Building

LotInner --> NIL

Building -->
    comp(f) { front : Frontfacade | left : Sidefacade | back : Backfacade
        | right: Sidefacade1 | top: Roof}

Frontfacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    split(y){ 2: Wall
        |floor_height : Floor }

Backfacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)

```

```

    split(y){ 2: Wall
              | backfloor_height      : Backfloor }
Sidefacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    split(y){ 2: Wall
              | sidefloor_height     : Sidefloor}

Sidefacade1-->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)

Floor -->
    split(x){ 2: Wall
              | 1.20: split(y){2.5: Wall| 1.20: Window|~1:Wall}
              | 0.40: Wall
              | 1.20: split(y){2.5: Wall| 1.20: Window|~1:Wall}
              | 3: Wall
              | 1.20: split(y){2.5: Wall| 1.20: Window|~1:Wall}
              | 0.40: Wall
              | 1.20: split(y){2.5: Wall| 1.20: Window|~1:Wall}
              | 2: Wall
              | 2:split(y){ 1.50: Wall|1.80: Window| ~1: Wall}
              | ~1: Wall
              }

Backfloor -->
    split(x){ 0.50: Wall
              | 2:split(y){ 0.10: Wall|2.20: Door| ~1: Wall}
              | ~1: Wall
              }

Sidefloor -->
    split(x){ 2: Wall
              | 2: split(y){ 0.10: Wall|2.20: Door| ~1: Wall}
              | 2: Wall
              | 1.20: split(y){3: Wall| 1.20: Window|~1:Wall}
              | 0.40: Wall
              | 1.20: split(y){3: Wall| 1.20: Window|~1:Wall}
              | 3: Wall
              | 1.20: split(y){3: Wall| 1.20: Window|~1:Wall}
              | 0.40: Wall
              | 1.20: split(y){3: Wall| 1.20: Window|~1:Wall}
              | ~1: Wall
              }

Window -->
    s('1','1,0.4)
    t(0,0,-0.40)
    texture(wind_tex)
    i(window_asset)

Door -->
    s('1','1,0.1)
    t(0,0,0)
    texture(door_tex)

Wall -->
    texture(wall_tex) projectUV(0) projectUV(2)

```



Εικόνα 5.24: Είσοδος του κτηρίου Βέη και γραφεία καθηγητών με τα 5 αρχεία κανόνων που το δημιουργούν παρακάτω (vei_10, vei_11, vei_13, vei_14, vei_15)

```

/**
 * File:   vei_10.cga
 * Created: 16 Sept 2013 09:05:12 GMT
 * Author: EvaTsil
 */

version "2012.1"
attr groundfloor_height = 5
attr groundfloor1_height =5
attr floor1_height      =4
attr floor_height       = 4
attr height              = 15

door_tex                = "assets/Doors/door_11.JPG"
wall_tex                 = "assets/Walls/wallvei.JPG"
roof_tex                 = "assets/Walls/roof_2_cropped.bmp"
wind_tex                 = "assets/Windows/windowvei2.JPG"

Lot -->
    extrude(height) Building

LotInner --> NIL

Building -->
    comp(f) { front : Frontfacade | left : Sidefacade | back : Backfacade
              | right: Sidefacade1 | top: Roof}

Frontfacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    split(y){ 2: Wall
              | groundfloor_height : Groundfloor
              | {~floor_height : Floor}* }

Backfacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)

Sidefacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)

```

```

    split(y){ 2: Wall
              | groundfloor1_height : Groundfloor1
              | {~floor1_height : Floor1}* }

Sidefacade1-->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)

Groundfloor -->
    split(x){ 0.50:Wall
              | 2.40: split(y){0.20: Wall| 2.90: Door| ~1: Wall}
              | ~1: Wall
              }

Floor -->
    split(x){ 0.50: Wall
              | 1.10: split(y){0.70: Wall| 1.60: Window|~1:Wall}
              | 0.20:Wall
              | 1.10: split(y){0.70: Wall| 1.60: Window|~1:Wall}
              | ~1: Wall
              }

Groundfloor1 -->
    split(x){ ~2:Wall}

Floor1 -->
    split(x){ 1: Wall
              | 1.25: split(y){0.70: Wall| 1.60: Window|~1:Wall}
              | 0.4:Wall
              | 1.25: split(y){0.70: Wall| 1.60: Window|~1:Wall}
              | 2.5:Wall
              | 1.25: split(y){0.70: Wall| 1.60: Window|~1:Wall}
              | 0.4:Wall
              | 1.25: split(y){0.70: Wall| 1.60: Window|~1:Wall}
              | ~1: Wall
              }

Floor2 -->
    split(x){ ~2:Wall}

Window -->
    s('1','1,0.4)
    t(0,0,-0.40)
    texture(wind_tex)

Door -->
    s('1','1,0.1)
    t(0,0,0)
    texture(door_tex)

Wall -->texture(wall_tex) projectUV(0) projectUV(2)

/**
 * File:    vei_11.cga
 * Created: 16 Sept 2013 09:10:12 GMT
 * Author:  EvaTsil
 */

version "2012.1"

attr groundfloor_height = 5
attr floor_height      = 4
attr height           = 14

door_tex      = "assets/Doors/door_12.JPG"
wall_tex      = "assets/Walls/wallvei.JPG"
roof_tex      = "assets/Walls/roof_2_cropped.bmp"
wind_tex      = "assets/Windows/windowvei2.JPG"

```

```

Lot -->
    extrude(height) Building

LotInner --> NIL

Building -->
    comp(f) { front : Frontfacade | left : Sidefacade | back : Backfacade
              | right: Sidefacade1 | top: Roof}

Frontfacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    split(y){ 1: Wall
              | groundfloor_height : Groundfloor
              | {~floor_height : Floor}* }

Backfacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)

Sidefacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    split(y){ groundfloor1_height : Groundfloor1
              | {~floor1_height : Floor1}* }

Groundfloor -->
    split(x){ 0.50:Wall
              | 3: split(y){0.20: Wall| 2.90: Door| ~1: Wall}
              | ~1: Wall
              }

Floor -->
    split(x){ 2.50: Wall
              | 1.10: split(y){0.70: Wall| 1.60: Window|~1:Wall}
              | ~1: Wall
              }

Window -->
    s('1','1,0.4)
    t(0,0,-0.40)
    texture(wind_tex)

Door -->
    s('1','1,0.1)
    t(0,0,0)
    texture(door_tex)

Wall -->
    texture(wall_tex) projectUV(0) projectUV(2)

/**
 * File:    vei_13.cga
 * Created: 10 Oct 2013 14:25:08 GMT
 * Author:  EvaTsil
 */

version "2012.1"

attr groundfloor_height = 5
attr floor_height      = 4
attr height            = 14

door_tex      = "assets/Doors/door_central.JPG"
wall_tex      = "assets/Walls/wallvei3.JPG"
roof_tex      = "assets/Walls/roof_2_cropped.bmp"
randomWindowfloorTexture = fileRandom("*assets/Windows/Wind_veie.*.JPG")

Lot -->
    extrude(height) Building

```



```

LotInner --> NIL

Building -->
    comp(f) { front : Frontfacade | left : Sidefacade | back : Backfacade
              | right: Sidefacade1 | top: Roof}

Frontfacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    split(y){ 1: Wall
              | groundfloor_height : Groundfloor
              | 0.20: Wall
              | {~floor_height : Floor}
              | 0.20: Wall
              | {~floor_height : Floor} }

Backfacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)

Groundfloor -->
    split(x){ 0.50:Wall
              | 3: split(y){1.80: Wall| 1.90: Window| ~1: Wall}
              | 0.70: Wall
              | 3: split(y){1.80: Wall| 1.90: Window| ~1: Wall}
              | 1.50: Wall
              | 6.70 : split(y){0.10: Wall|3.70: Door| ~1: Wall}
              | ~1: Wall}

Floor -->
    split(x){ 0.80:Wall
              | 1.10: split(y){0.70: Wall| 1.80: Window| ~1: Wall}
              | 0.80: Wall
              | 1.10: split(y){0.70: Wall| 1.80: Window| ~1: Wall}
              | 0.80: Wall
              | 1.10: split(y){0.70: Wall| 1.80: Window| ~1: Wall}
              | 0.80: Wall
              | 1.10: split(y){0.70: Wall| 1.80: Window| ~1: Wall}
              | 0.80: Wall
              | 3: split(y){0.10: Wall| 2.30: Window| ~1: Wall}
              | 0.50: Wall
              | 3: split(y){0.10: Wall| 2.30: Window| ~1: Wall}
              | ~1: Wall}

Window -->
    s('1','1,0.4)
    t(0,0,-0.40)
    texture(randomWindowTexture)

Door -->
    s('1','1,0.1)
    t(0,0,0)
    texture(door_tex)

Wall -->
    texture(wall_tex) projectUV(0) projectUV(2)

/**
 * File:    vei_14.cga
 * Created: 10 Oct 2013 14:30:43 GMT
 * Author:  EvaTsil
 */

version "2012.1"

attr groundfloor_height = 4.5
attr groundfloor1_height=4.5
attr floor1_height      =4
attr floor_height      = 4

```

```

attr height                = 9.5

wall_tex                    = "assets/Walls/wallvei.JPG"
roof_tex                    = "assets/Walls/roof_2_cropped.bmp"
wind_tex                    = "assets/Windows/windowvei13.JPG"

Lot -->
    extrude(height) Building

LotInner --> NIL

Building -->
    comp(f) { front : Frontfacade | left : Sidefacade | back : Backfacade
            | right: Sidefacadel | top: Roof}
Frontfacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    split(y){ 1: Wall
            | groundfloor_height : Groundfloor
            | {~floor_height : Floor}* }

Backfacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    s('0','0',0)
    t(0,0,0)

Sidefacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    split(y){ 1: Wall
            | groundfloor1_height : Groundfloor1
            | {~floor1_height : Floor1}* }

Groundfloor -->
    s('0','0',0)
    t(0,0,0)

Floor -->
    split(x){ 4: Wall
            | 2: split(y){0.80: Wall| 1.70: Window|~1:Wall}
            |~1: Wall }

Groundfloor1 -->
    s('0','0',0)
    t(0,0,0)

Floor1 -->
    split(x){ 2.5: Wall
            | 1.50: split(y){0.20: Wall| 2.20: Window|~1:Wall}
            |~1: Wall}

Window -->
    s('1','1',0.4)
    t(0,0,-0.40)
    texture(wind_text)

Wall --> texture(wall_tex) projectUV(0) projectUV(2)

/**
 * File:    vei_15.cga
 * Created: 10 Oct 2013 15:47:01 GMT
 * Author:  EvaTsil
 */

version "2012.1"
attr groundfloor_height = 4.5
attr groundfloor1_height=4.5
attr floor1_height      =4

```

```

attr floor_height = 4
attr height       = 8.5

wall_tex          = "assets/Walls/vei2wall.JPG"
roof_tex          = "assets/Walls/roof_2_cropped.bmp"
wind_tex          = "assets/Windows/windowvei13.JPG"

Lot -->
    extrude(height) Building

LotInner --> NIL

Building -->
    comp(f) { front : Frontfacade | left : Sidefacade | back : Backfacade
            | right: Sidefacade1 | top: Roof}

Frontfacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    split(y){ groundfloor_height : Groundfloor
            | {~floor_height : Floor}* }

Backfacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    s('0','0,0)
    t(0,0,0)

Sidefacade -->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    s('0','0,0)
    t(0,0,0)

Sidefacade1-->
    setupProjection(0, scope.xy, 1.5, 1, 1)
    setupProjection(2, scope.xy, scope.sx, scope.sy)
    s('0','0,0)
    t(0,0,0)

Groundfloor -->
    s('0','0,0)
    t(0,0,0)

Floor -->
    split(x){ 0.50:Wall
            | 3: split(y){0.80: Wall| 1.70: Window| ~1: Wall}
            | 0.70: Wall
            | 3: split(y){0.80: Wall| 1.70: Window| ~1: Wall}
            | ~1.50: Wall

Window -->
    s('1','1,0.4)
    t(0,0,-0.40)
    texture(wind_text)

Wall -->
    texture(wall_tex) projectUV(0) projectUV(2)

```

Στις παρακάτω εικόνες φαίνεται το τελικό μοντέλο ολόκληρης της σχολής χωρίς τον σκελετό των κοψιμάτων (wireframe) που φανερώνει τη ροή της σχεδίασης και των μηχανισμών των CGA κανόνων. Παρατηρείται ότι είναι ένα λεπτομερές μοντέλο της σχολής και ότι περιλαμβάνει όλες τις υφές στα σωστά ύψη και τα σωστά μεγέθη.



Εικόνα 5.25: Άποψη των κτηρίων της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών



Εικόνα 5.26: Άποψη των κτηρίων της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών

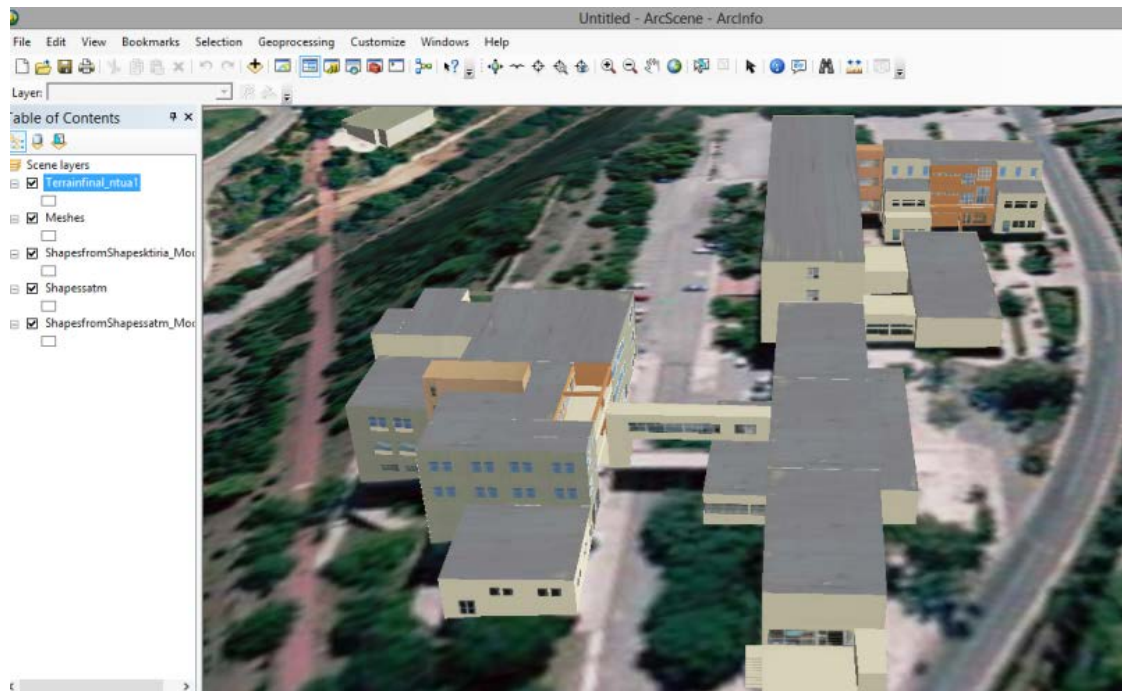


Εικόνα 5.27: Είσοδος του κτηρίου Λαμπαδαρίου

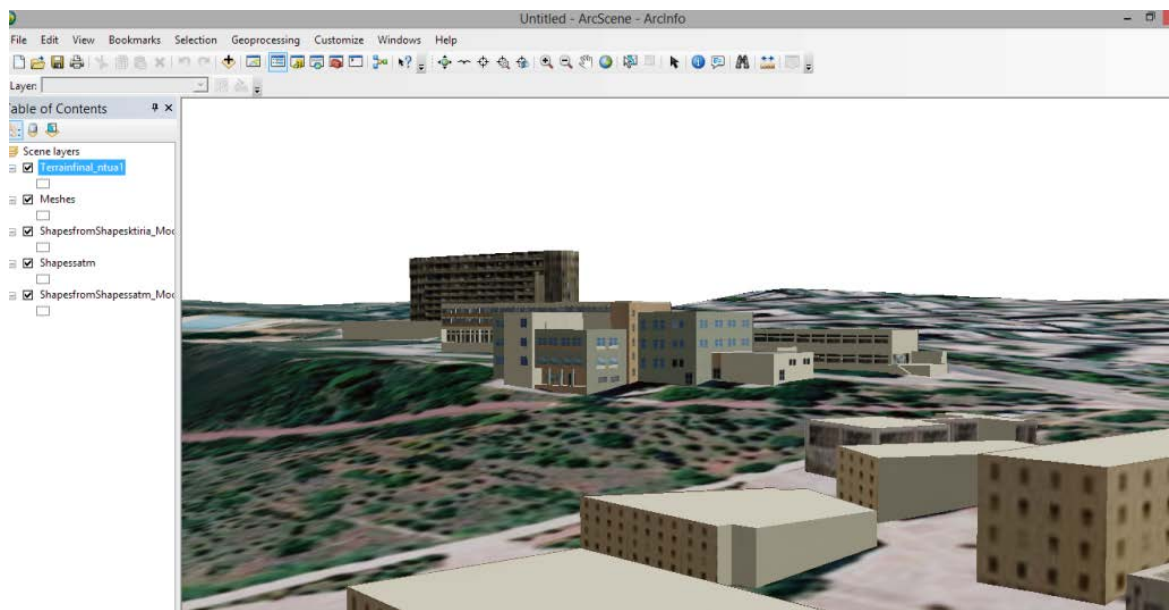


Εικόνα 5.28: Λεπτομέρεια στο κτήριο Βέη

Επειδή το μοντέλο μελετάται στα πλαίσια του 3D κτηματολογίου, πέρα από την τρισδιάστατη απεικόνιση μας ενδιαφέρει η διαχείριση του μοντέλου και για σκοπιμότητες χωρικής ανάλυσης, γι αυτό το λόγο η σκηνή εξάγεται σαν αρχείο γεωβάσης και εν συνεχεία εισάγεται στο ArcScene (εικόνες 5.29 και 5.30). Συγκεκριμένα η σκηνή εξάγεται μαζί με τα 3D αντικείμενα και το ανάγλυφο σαν αρχείο γεωβάσης. Αν εξάγουμε μόνο τα 3D αντικείμενα, με ένα απλό Add data το εισάγουμε σαν γεωβάση στο ArcScene και εμφανίζονται στη σωστή γεωγραφική θέση. Ακόμα μπορούμε ήδη να έχουμε δημιουργήσει το ανάγλυφο στο ArcScene και με την εντολή «floating on a custom surface» (στην ταμπέλα baseheights των ιδιοτήτων του επιπέδου) να προσαρμοστούν σε αυτό. Τέλος, υπάρχει η επιλογή εισαγωγής και προσαρμογής τους σε ένα επίπεδο ορθοφωτοχάρτη, αλλά αναλύθηκε παραπάνω γιατί δεν επιλέγεται αυτή η λύση.



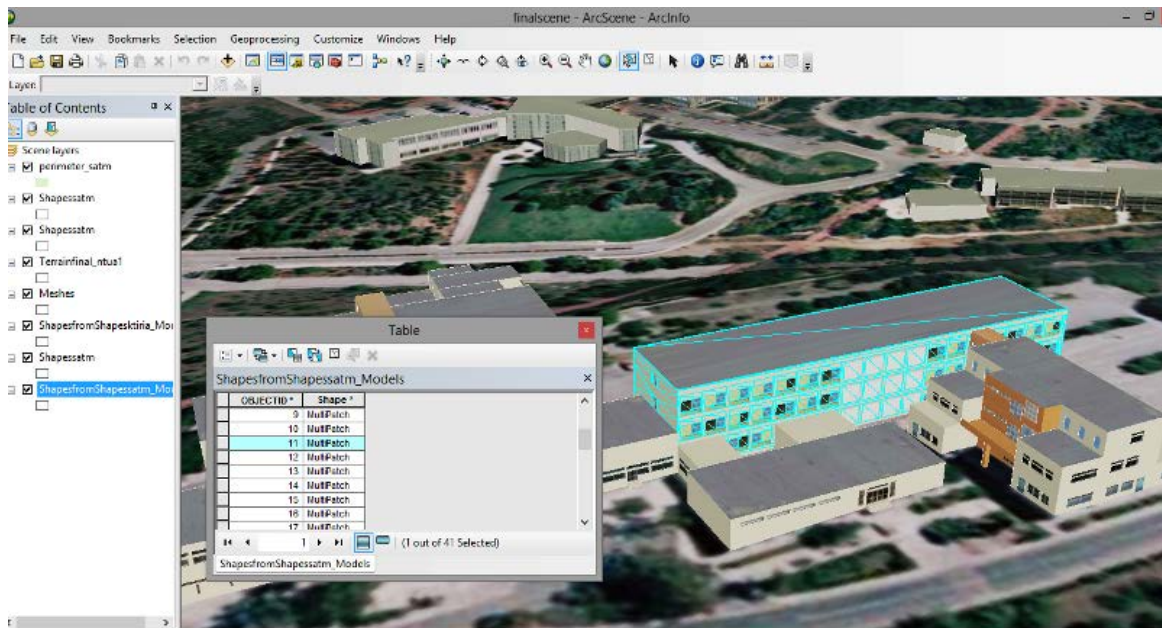
Εικόνα 5.29: Το τρισδιάστατο μοντέλο της σχολής των Τοπογράφων Μηχανικών μετά την εισαγωγή στο ArcScene



Εικόνα 5.30: Άποψη του τρισδιάστατου μοντέλου της Πολυτεχνειούπολης στο ArcScene

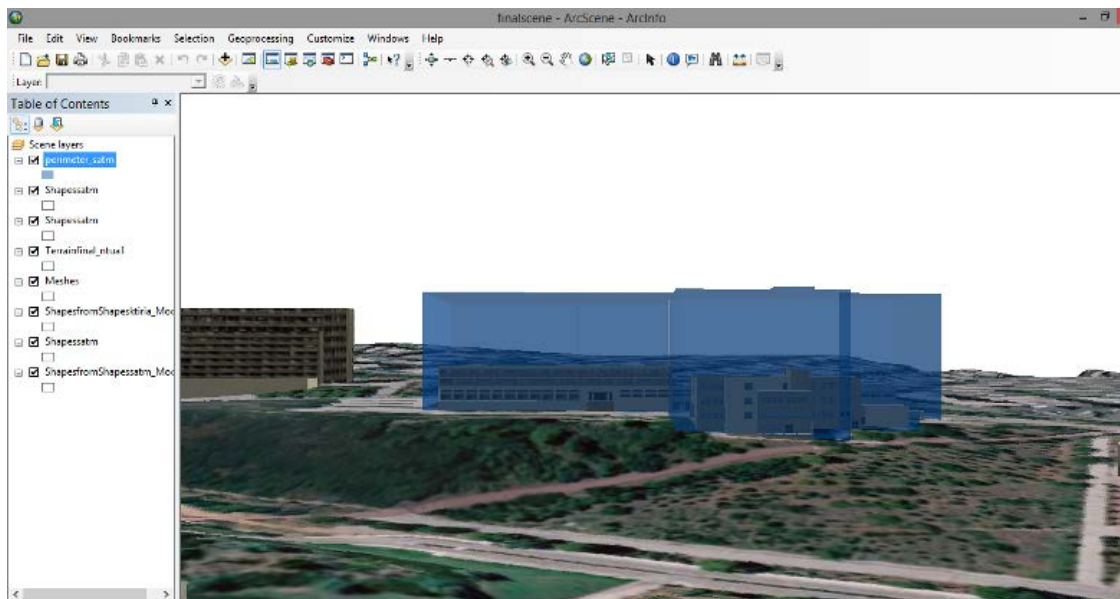
Με την προσθήκη των αντικειμένων στο ArcScene μπορούν να γίνουν αρκετές παρατηρήσεις. Πρώτον, τα αποτελέσματα είναι ικανοποιητικά αλλά μέρος των γεωμετριών και των υφών μπορεί να χαθούν. Αυτό εξαρτάται άμεσα και από το γεγονός ότι όταν εξάγεται η σκηνή από το CityEngine υπάρχει η επιλογή εξαγωγής στη μέγιστη ποιότητα, σε μεσαία και σε χαμηλή ποιότητα. Στη δεδομένη περίπτωση επιλέχθηκε η μεσαία ποιότητα, γιατί απλούστατα η εξαγωγή σε υψηλή ποιότητα δεν ήταν δυνατή, συνεπώς εξηγούνται με αυτόν τον τρόπο μερικές μικρές απώλειες σε γεωμετρική πληροφορία. Επίσης αν εξετάσουμε τον πίνακα ιδιοτήτων, παρατηρούμε ότι οι γεωμετρίες που δημιουργήθηκαν είναι πλέον της μορφής multipatch (εικόνα 5.31) που περιγράφηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο και αν θέλουμε να προσθέσουμε περισσότερες πληροφορίες, αυτό μπορεί πλέον να γίνει

μόνο μέσω ArcCatalog. Επίσης δεν είναι πλέον δυνατή η περαιτέρω επεξεργασία των αντικείμενων στο ArcScene, αν και αυτό που μας ενδιαφέρει είναι αν γίνεται χωρική ανάλυση για σκοπιμότητες 3D κτηματολογίου, καθώς το CityEngine δε διαθέτει αυτές τις δυνατότητες πέρα από την αναφορά σε πληροφορίες κτηρίων όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο (Reporting).

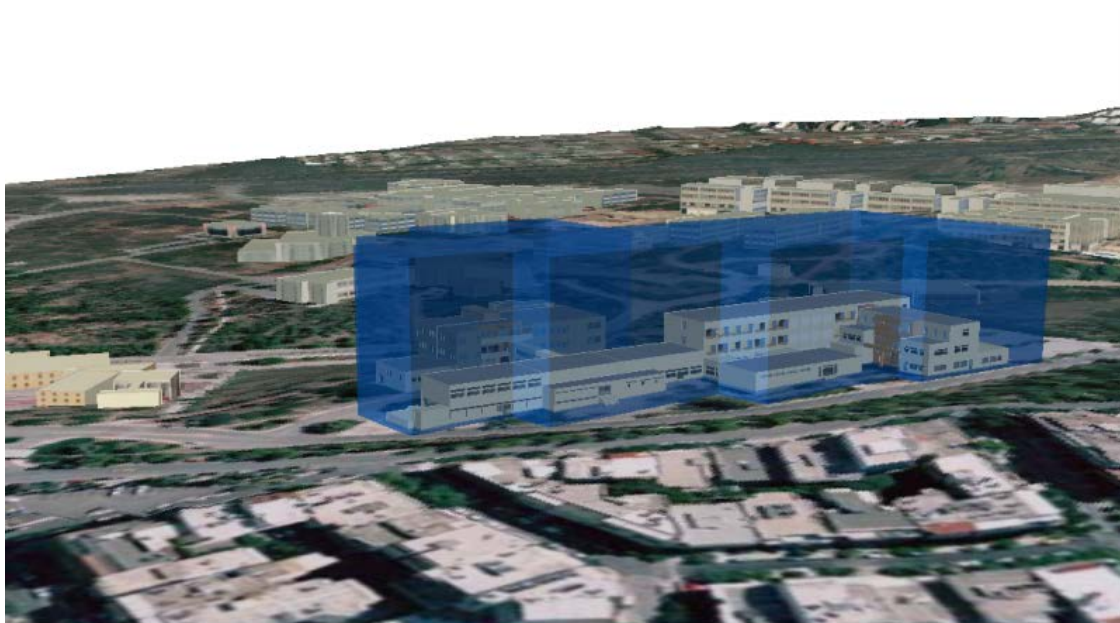


Εικόνα 5.31: Οι γεωμετρίες που δημιουργήθηκαν στο CityEngine, εισάγονται ως multipatch στο ArcScene

Μια ενδιαφέρουσα εφαρμογή που μελετήθηκε αφορά τον έλεγχο παραβάσεων του Αστικού Κώδικα ως προς τον συντελεστή δόμησης για παράδειγμα. Συγκεκριμένα, ο μέγιστος επιτρεπόμενος αριθμός ορόφων για την Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου είναι οι 12 όροφοι ενώ το μέγιστο επιτρεπόμενο ύψος για κάθε εγκατάσταση έχει οριστεί στα 40 μέτρα, συνεπώς μπορούμε να εξετάσουμε αν παραβιάζονται αυτοί οι κανόνες εξωθώντας έναν όγκο των 40 μέτρων στο ArcScene (εικόνες 5.32 και 5.33). Η παραπάνω πρακτική συνάδει με την πρακτική του πρωτοτύπου της Κίνας, που απεικονίζουν σε 3D τόσο τον τρισδιάστατο θεσμικά επιτρεπόμενο χώρο όσο και το φυσικό/υλοποιημένο αντικείμενο, τα οποία χαρακτηρίζονται από ένθετη σχέση καθώς ο νομικός ιδιοκτησιακός χώρος είναι συνήθως μεγαλύτερος ή έστω διαφορετικός από το φυσικό αντικείμενο (κατασκευή). Ο νομικός χώρος απεικονίζεται με επίπεδο διαφάνειας για να είναι ορατό το φυσικό αντικείμενο που εσωκλείει. Στην εργασία αυτή εξετάστηκαν οι κανόνες για τη Σχολή των Τοπογράφων Μηχανικών, όπου είναι διαθέσιμο πλέον το λεπτομερές μοντέλο της Σχολής.



Εικόνα 5.32: Οι ένθετες σχέσεις νομικού χώρου και φυσικού αντικειμένου στο ArcScene



Εικόνα 5.33: Έλεγχος των παραβάσεων των όρων δόμησης στο ArcScene

5.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με βάση όλα τα παραπάνω καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι υπάρχουν πλέον πολλές διαθέσιμες τεχνολογίες για επαρκή 3D απεικόνιση και τη δημιουργία λεπτομερών 3D μοντέλων, όπως το CityEngine, Trimble SketchUp κ.ά. και είναι πλέον εξαιτίας της διαλειτουργικότητας δυνατός ο συνδυασμός διαφορετικών λογισμικών και τεχνολογιών για τον ίδιο σκοπό.

Όσον αφορά στο 3D κτηματολόγιο, παρατηρούμε ότι οι εξελίξεις στην 3D απεικόνιση των αντικειμένων είναι θετικές και ραγδαίες, ωστόσο πρέπει να συνοδευτούν από αντίστοιχες εξελίξεις στη διαχείριση των βάσεων δεδομένων, στην υποστήριξη των αντικειμένων μέσα στη βάση και στη διαχείριση συνεπούς τρισδιάστατης γεωμετρίας και τοπολογίας.

Το Cityengine, ικανοποιεί τις απαιτήσεις του 3D κτηματολογίου για γρήγορη και ρεαλιστική μοντελοποίηση και έχει υψηλό επίπεδο διαλειτουργικότητας. Ωστόσο, τα τρισδιάστατα μοντέλα που δημιουργούνται με αυτό το λογισμικό, εξάγονται στη συνέχεια όπως αναφέραμε παραπάνω, σε γεωμετρία Multipatch μέσα σε μία νέα γεωβάση, και δεν είναι δυνατή η περαιτέρω επεξεργασία τους σε περιβάλλον ΣΓΠ. Συνεπώς ο ρόλος των μοντέλων που προκύπτουν από το CityEngine πρέπει να εισχωρήσει περισσότερο στις λειτουργίες του ArcScene και να γίνει κοινός της χωρικής ανάλυσης και όχι να περιορίζεται μόνο σε αναφορά για κτηριακά μοντέλα (BIM).

Επιπλέον, παρά τα ικανοποιητικά αποτελέσματα της εργασίας αυτής, όσον αφορά στην τρισδιάστατη μοντελοποίηση και απεικόνιση, η κανονιστική/ παραμετρική μοντελοποίηση εφαρμόζει καλύτερα σε αστικά περιβάλλοντα όπου παρατηρείται επαναληπτικότητα των δομών και των μοτίβων στα κτήρια μεταξύ των όψεών τους, αλλά ακόμα και μεταξύ διαφορετικών κτηρίων. Στην περιπτώσή μας, οι εγκαταστάσεις και τα κτήρια των σχολών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου, δεν χαρακτηρίζονται από επαναληπτικότητα στις όψεις, ενώ οι προσθήκες νέων κτηρίων και επεκτάσεων καθιστούν πιο σύνθετη τη δημιουργία των μοντέλων με κανονιστική μοντελοποίηση. Συγκεκριμένα, στη σχολή των Αγρονόμων και τοπογράφων μηχανικών, υπάρχουν πολλά διαφορετικά μοτίβα σε κάθε κτήριο, ιδιαίτερα στο Λαμπαδάριο και χρειάστηκε να δημιουργηθούν 27 διαφορετικά αρχεία με κανόνες για την επίτευξη της απαιτούμενης λεπτομέρειας του τρισδιάστατου μοντέλου. Αντιθέτως, σε κτήρια που χαρακτηρίζονται έντονα από επαναληπτικές δομές και ομοιότητα υφών μπορεί να επαρκούσε η δημιουργία 5 αρχείων με CGA κανόνες.

Μελλοντικά θα υπάρξουν εξελίξεις και στη σύνδεση με βάσεις δεδομένων και θέασης μέσω ενός ηλεκτρονικού ιστότοπου (viewer) ή εξαγωγή της συνολικής σκηνής σε 3D PDF για αλληλεπιδραστική θέαση κάτι το οποίο δεν είναι ακόμα δυνατό παρά την αυξανόμενη ζήτηση από τους 3D GIS χρήστες τα τελευταία δύο χρόνια.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Aien, A., Rajabifard, A., Kalantari, M., Williamson, I., (2011). *Aspects of 3D Cadastre- A Case Study in Victoria*. Proceedings of the FIG Working Week 2011, Marrakech, Morocco.
- Arens, C., Stoter, J., & Van Oosterom, P., (2005). *Modelling 3D spatial objects in a geo-DBMS using a 3D primitive*. Computers & Geosciences, 31(2), pp 165-177.
- Benhamu, M., & Doytsher, Y., (2003). *Toward a spatial 3D cadastre in Israel*. Computers, Environment and Urban Systems, 27(4), pp 359-374.
- Bennett, R., Rajabifard, A., Kalantari, M., Wallace, J., & Williamson, I., (2010). *Cadastral futures: building a new vision for the nature and role of cadastres*. Proceedings of XXIV FIG International congress 2010, Sydney, Australia
- Billen, R., & Zlatanova, S. (2003). *3D spatial relationships model: a useful concept for 3D cadastre?* Computers, Environment and Urban Systems, 27(4), pp 411-425.
- Breunig, M., & Zlatanova, S., (2011). *3D geo-database research: Retrospective and future directions*. Computers & Geosciences, 37(7), pp 791-803.
- Clemen, C., Gielsdorf, F., & Grundig, L., (2005). *Reverse Engineering for generation of 3D-Building-Information-Models applying random variables in computer aided design*. Proceedings of FIG 2005, Cairo
- Dimopoulou, E., Gavanas, I., & Zentelis, P., (2006). *3D Registrations in the Hellenic Cadastre*. Proceedings of XXIII FIG Congress Munich, Germany.
- Dimopoulou, E. and Elia, E., (2012). *Towards a Common Basis for 3D Cadastres from a Legal Perspective*. *Joint FIG / UNECE Workshop "Spatial Information, Informal Development, Property and Housing"* Athens, Greece.
- Dimovski, V., Bundaleska-Pecalevska, M., Cubrinovski, A., & Lazoroska, T., (2011). *WEB portal for dissemination of spatial data and services for the needs of the agency for real estate cadastre of the Republic of Macedonia (AREC)*. Proceedings 2nd International Workshop on 3D Cadastres, Delft, The Netherlands.
- Döllner, J., Baumann, K., & Buchholz, H., (2006). *Virtual 3D city models as foundation of complex urban information spaces*. In: Schrenk, M. (Ed.), CORP, Vienna, Austria.
- Dore, C., & Murphy B., (2013). *Semi-Automatic Modeling of Building Facades with Shape Grammars using Historic Building Information Modeling*. 3DARCH13, pp 57-64.
- Ekbäck, P., (2011). *Towards a Theory of 3D Property Rights - With an Application to Nordic Legislation*. Nordic Journal of Surveying and Real Estate Research, 8 (1), pp. 65-80.
- Emgard, K. L., & Zlatanova, S., (2007). *Design of an integrated 3D information model*. Urban and regional data management: UDMS annual, Taylor&Francis Group, London, pp. 143-156
- Foley, J. D. (Ed.), (1996). *Computer graphics: Principles and practice*. Second Edition in C, Addison-Wesley.

- García, J. M. O., Soriano, L. I. V., & M-Varés, A. V.,(2011). *3D Modeling and Representation of the Spanish Cadastral Cartography*. Proceedings 2nd International Workshop on 3D Cadastres, Delft, The Netherlands.
- Goswell, P., & Jo, J., (2012). *Real-Time 3D City Generation using Shape Grammars with LOD Variations*. Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology (No. 61). World Academy of Science, Engineering and Technology.
- Guo, R., Li, L., He, B., Luo, P., Ying, S., Zhao, Z., & Jiang, R., (2011). *3D Cadastre in China-a Case Study in Shenzhen City*. In Proceedings 2nd International Workshop on 3D Cadastres, Delft, The Netherlands, pp. 291-309.
- Guo, R., Ying, S., Li, L., Luo, P., & Van Oosterom, P., (2011). *A multi-jurisdiction case study of 3D cadastre in Shenzhen, China as experiment using the LADM*. Proceedings 2nd International Workshop on 3D Cadastres, Delft, The Netherlands, pp. 31-50.
- Ho, S., & Rajabifard, A., (2012). *Delivering 3D land and property management: a consideration of institutional challenges in an Australian context*. Proceedings of Third International FIG Workshop on 3D Cadastres, Shenzhen, China, pp. 219-242
- Jarroush, J., & Even-Tzur, G., (2004). *Constructive solid geometry as the basis of 3D future cadastre*. Proceedings of FIG working Athens, Greece.
- Karki, S., Thompson, R., & McDougall, K., (2010). *Data validation in 3D cadastre*. Developments in 3D Geo-Information Sciences, Springer Berlin Heidelberg (pp. 92-122)
- Kibria, M. S., Zlatanova, S., Itard, L., & van Dorst, M., (2009). *GeoVEs as tools to communicate in Urban Projects: requirements for functionality and visualization*. 3D Geo-Information Sciences, LNG&C, Springer Verlag, (pp. 379-395)
- Kolbe, T. H., (2009). *Representing and exchanging 3D city models with CityGML*. 3D Geo-Information Sciences, LNG&C, Springer Verlag, (pp. 15-31).
- Lee, J., & Koh, J., (2007). *A conceptual Data Model for a 3D Cadastre in Korea*. The Journal of Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography, 25(6-1), pp 565-574.
- Lee, J. & Zlatanova, S., (2008). *A 3D data model and topological analyses for emergency response in urban areas*. Zlatanova & Li (eds.), Geospatial information technology for emergency response, London, Taylor & Francis Group. pp. 143–168.
- Lemmen, C., van Oosterom, P., Thompson, R., Hespanha, J. P., & Uitermark, H., (2010). *The modelling of spatial units (parcels) in the Land Administration Domain Model (LADM)*. XXIV FIG International Congress 2010, Sydney, Australia.
- Muller, P., Wonka, P., Haegler, S., Ulmer, A. , & Gool, L.V., (2006). *Procedural Modeling of Buildings*. ACM Transactions on Graphics, 25(3), pp. 614-23.
- Müller, P., Zeng, G., Wonka, P., & Gool, L.V., (2007). *Image-based procedural modeling of facades*. ACM Transactions on Graphics, 26(3), 85.
- Papaefthymiou, M., Labropoulos, T., & Zentelis, P., (2004). *3-D Cadastre in Greece. Legal, Physical and Practical Issues. Application on Santorini Island*. Proceedings of the FIG Working Week, Athens.
- Parish, Y. I., & Müller, P., (2001). *Procedural modeling of cities*. Proceedings of the 28th annual conference on Computer graphics and interactive techniques (pp. 301-308).

- Paulsson, J., (2011). *Private and Common Responsibilities for the Management of Condominiums*. Core-Themes of Land Use Politics: Sustainability and Balance of Interest, European Faculty of Land Use and Development ETH Zürich, 2010, pp 217-230
- Pilouk, M., (1996). *Integrated modelling for 3D GIS*. PhD Thesis. ITC Publication No.40, 200p.
- Rahman, A. A., Hua, T. C., & Van Oosterom, P. (2011, May). *Embedding 3D into multipurpose cadastre*. Proceedings FIG working week, Marrakech, 20 p.
- Rokos, D., (2001). *Conceptual Modelling of Real Property Objects for the Hellenic Cadastre*. Proceedings of the International Workshop on “3D Cadastres”, Registration of properties in strata, Delft, The Netherlands.
- Remondino, F., El-Hakim, S. F., Gruen, A., & Zhang, L., (2008). *Turning images into 3-D models*. IEEE Signal Processing Magazine, IEEE, 25(4), pp 55-65.
- Stoter, J.E. and Ploeger, H.D., (2002), *Multiple use of space: current practice of registration and development of a 3D cadastre*. Proceedings UDMS, Prague, Czech Republic.
- Stoter, J. E., & Ploeger, H. D. (2003). *Property in 3D—registration of multiple use of space: current practice in Holland and the need for a 3D cadastre*. Computers, Environment and Urban Systems, 27(6), pp 553-570.
- Stoter, J.E. and H.D. Ploeger, (2003), *Property in 3D-registration of multiple use of space: current practice in Holland and the need for a 3D cadastre*. Computers, Environment and Urban Systems, 27(7), pp. 553-570
- Stoter, J., & Salzmann, M. (2003). *Towards a 3D cadastre: where do cadastral needs and technical possibilities meet?* Computers, environment and urban systems, 27(4), pp 395-410.
- Stoter, J., Hendrik, P., Louwman, W., van Oosterom, P., & Wünsch, B., (2011). *Registration of 3D situations in land administration in the Netherlands*. Proceedings 2nd International Workshop on 3D Cadastres, Delft, The Netherlands (pp. 27-290).
- Stoter, J.,(2004). 3D Cadastre. Netherlands Geodetic Commission (NCG): Publications on Geodesy 57. PhD thesis, Delft University of Technology, the Netherlands.
- Schirmer, P. and N. Kawagishi,(2011). *Using shape grammars as a rule based approach in urban planning – a report on practice*. Proceedings of 29th eCAADe Conference, Ljubljana, Slovenia, 116-124.
- Shojaei, D., Kalantari, M., Bishop, I. D., Rajabifard, A., & Aien, A. (2013). *Visualization requirements for 3D cadastral systems*. Computers, Environment and Urban Systems, 41, pp 39-54.
- Shoshani, U., Benhamu, M., Goshen, E., Denekamp, S., & Bar, R. (2004). *Registration of cadastral spatial rights in israel—a research and development project*. Proceedings of FIG working Week 2004, Shoshani, U., Benhamu, M., Goshen, E., Denekamp., S., Bar., R., (2005). *A Multi layers 3D Cadastre In Israel: A Research and Development Project Recommendations*. Proceedings of the FIG Working
- Smelik, R. M., de Kraker, K. J., Groenewegen, S. A., Tutenel, T., and Bidarra, R. (2009). *A Survey of Procedural Methods for Terrain Modelling*. Proceedings of CASA Workshop on 3D Advanced Media In Gaming And Simulation (3AMIGAS), Amsterdam, The Netherlands.
- Stiny, G., Gips, J. (1972). *Shape Grammars and the Generative Specification of Painting and Sculpture*. Information Processing 71, 1460-1465.

Tsiliakou, E., & Dimopoulou, E. (2011). *Adjusting the 2D Hellenic Cadastre to the Complex 3D World—Possibilities and Constraints*. Proceedings 2nd International Workshop on 3D Cadastres, Delft, The Netherlands(pp. 115-136).

Tsiliakou E., Labropoulos T., Dimopoulou E., (2013).*Transforming 2d cadastral data into a dynamic smart 3d model*. Proceedings of the ISPRS 8th 3DGeoInfo Conference & WG II/2 Workshop, Istanbul, Turkey.

Tuan, A. N. G. (2013). *Overview of Three-Dimensional GIS Data Models*. International Journal of Future Computer and Communication, 2 (3), 270-274.

Van Oosterom, P., Stoter, J., Ploeger, H., Thompson, R., & Karki, S. (2011). *World-wide Inventory of the Status of 3D Cadastres in 2010 and Expectations for 2014*. Proceedings FIG Working Week, Marrakech, Morocco.

Vandysheva, N., Ivanov, A., Pakhomov, S., Spiering, B., Stoter, J., Zlatanova, S., & Van Oosterom, P. (2011). *Design of the 3D Cadastre Model and Development of the Prototype in the Russian Federation*. Proceedings 2nd International Workshop on 3D Cadastres, Delft, The Netherlands (pp. 355-375).

Wiechert, A., Gruber, M., & Ponticelli, M. (2011). *UltraCam: the new super-large format digital aerial camera*. Proceedings of the ASPRS 2011 Annual Conference, Milwaukee, Wisconsin, Washington, DC.

Wonka, P., Wimmer, M., Sillion, F., & Ribarsky, W. (2003). *Instant architecture*. ACM Transactions on Graphics, 22(3), pp. 669-677.

Zlatanova, S., Stoter, J., & Isikdag, U. (2012). *Standards for exchange and storage of 3D information: Challenges and opportunities for emergency response*. Proceedings of the Fourth International Conference on Cartography and GIS, Albena, Bulgaria (pp. 17-28).

Γαβανάς, Η., (2005). *3D ΓΣΠ Μοντέλα Κτηματολογικής Καταγραφής- Διεθνής εμπειρία και Δυνατότητα εφαρμογής στο Εθνικό Κτηματολόγιο*. Διπλωματική εργασία, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.

Δημοπούλου, Ε., (2010). *3D Καταγραφές στο Εθνικό Κτηματολόγιο*. Σημειώσεις από τις παραδόσεις του Μαθήματος Θέματος «Ανάπτυξη & Διαχείριση Συστημάτων Κτηματολογίου», Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Αθήνα.

Ζεντέλης, Π., 2009. *Σημειώσεις Κτηματολογίου*. Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.

Ζεντέλης Π. (2011), «Περί Κτημάτων Λόγος και Κτηματολόγιο», Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 2011

Παπαευθυμίου, Μ., (2003). *Προοπτικές Μετάβασης σε Μοντέλο Τρισδιάστατης Κτηματολογικής Καταγραφής*. Διπλωματική εργασία, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.

Διαδίκτυο

www.esri.com/software/cityengine

www.esri.com

www.gdmc.nl/3DCadastres/literature

www.fig.net

www.ktimatologio.gr

www.okxe.gr/el