



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Επιστήμη και Τεχνολογία της Πληροφορικής και των Υπολογιστών

Ειδίκευση Λογισμικού και Πληροφοριακών Συστημάτων,

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μοντελοποίηση και οπτικοποίηση τρισδιάστατου (3Δ)
αστικού περιβάλλοντος



Θεόδωρος Π. Λιάμης
Α.Μ. mcse19044

Εισηγητής: Γεώργιος Πρεζεράκος
Καθηγητής, Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής & Υπολογιστών

ΑΘΗΝΑ-ΑΙΓΑΛΕΩ, ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2020



UNIVERSITY OF WEST ATTICA
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL & ELECTRONICS EN-
GINEERING

POSTGRADUATE PROGRAMME
SCIENCE AND TECHNOLOGY OF INFORMAT-
ICS AND COMPUTERS

Diploma Thesis

Modeling and visualization of 3D urban environment



Liamis P. Theodoros
Registration Number: mcse19044

Supervisor: Georgios Prezerakos
Professor, Dept. of Informatics & Computer Engineering

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Μοντελοποίηση και οπτικοποίηση τρισδιάστατου (3Δ)
αστικού περιβάλλοντος**

**Θεόδωρος Π. Λιάμης
Α.Μ. mcse19044**

Εισηγητής:

**Γεώργιος Πρεζεράκος
Καθηγητής, Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής & Υπολογιστών**

Εξεταστική Επιτροπή:

Γεώργιος Πρεζεράκος

Αντώνης Μπόγρης

Νικόλαος Ζάχαρης

Ημερομηνία εξέτασης: 16/04/2021

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Λιάμης Θεόδωρος του Παύλου με αριθμό μητρώου mcse19044 φοιτητής του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών Επιστήμη και Τεχνολογία της Πληροφορικής και των Υπολογιστών της Σχολής Μηχανικών Πληροφορικής & Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

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

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

Ο Δηλών



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η τρισδιάστατη (3D) αναπαράσταση γίνεται όλο και περισσότερο αναγκαία. Η κατανόηση του κόσμου που μας περιβάλλει είναι ευκολότερη με την χρήση της τρίτης διάστασης. Η διαδικασία αναπαράστασης ενός τρισδιάστατου (3D) περιβάλλοντος είναι μία πολύπλοκη διαδικασία και χρονοβόρα διαδικασία. Περιλαμβάνει μία προσεγγιστική οπτικοποίηση ετερογενών δεδομένων που μπορούν να δημιουργηθούν με διάφορες τεχνικές και μεθοδολογίες αλλά ωστόσο είναι αναγκαίο να ακολουθούν μια αυστηρή τυποποίηση. Με την παρούσα εργασία γίνεται μια προσπάθεια διερεύνησης και καταγραφής της μεθοδολογίας μοντελοποίησης και οπτικοποίησης ενός τρισδιάστατου (3D) περιβάλλοντος το οποίο έχει σχεδιαστεί σύμφωνα με το πρότυπο CityGML. Εστιάζει κυρίως στον διαμοιρασμό και την Διαλειτουργικότητα των τρισδιάστατων (3D) δεδομένων μεταξύ λογισμικών, σε όλα τα επιμέρους στάδια της διασωλήνωσης (pipeline) των απαιτούμενων διεργασιών.

Λέξεις κλειδιά: 3D, CityGML, 3DCityDB, SketchUp, Google Earth Pro, Cesium

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα εργασία εμβαθύνει στη μεθοδολογία μοντελοποίησης και οπτικοποίησης ενός τρισδιάστατου (3D) αστικού περιβάλλοντος, το οποίο έχει σχεδιαστεί σύμφωνα με το πρότυπο CityGML. Εστιάζει κυρίως στον διαμοιρασμό και την Διαλειτουργικότητα των τρισδιάστατων (3D) δεδομένων, μεταξύ λογισμικών, σε όλα τα επιμέρους στάδια της διασωλήνωσης (pipeline) των απαιτούμενων διεργασιών. Η προτύπωση των δεδομένων είναι πολύ σημαντική προκειμένου να διασφαλιστούν οι προϋποθέσεις διαμοιρασμού και επαναχρησιμοποίησης τους. Τα οφέλη από την χρήση προτύπων μεταξύ άλλων είναι ¹ :

- Διαλειτουργικότητα μεταξύ υπηρεσιών, ανθρώπων, μηχανών.
- Επαναχρησιμοποίηση.
- Μειωμένο κόστος κτήσης (έως 25% του συνολικού κόστους).
- Μικρότερο κόστος συντήρησης και διαχείρισης.
- Μειωμένο ρίσκο (προσεγγίζει το 50%).

Οι εξελίξεις στο χώρο της τρισδιάστατης (3D) απεικόνισης είναι ραγδαίες. Οι τομείς της πλοήγησης και της εξερεύνηση ικανοτήτων γνωρίζουν ιδιαίτερη ανάπτυξη, ενώ παράλληλα, οι τεχνικοί περιορισμοί στην χρήση της τρισδιάστατης (3D) πληροφορίας έχουν μειωθεί.

Όσο αφορά στην παρούσα μελέτη, στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην τρισδιάστατη (3D) αναπαράσταση, το θεωρητικό της πλαίσιο και περιγράφονται οι βασικοί της ορισμοί. Επιπροσθέτως γίνεται καταγραφή των τεχνολογιών και των μεθοδολογιών κατασκευής τρισδιάστατων (3D) αναπαραστάσεων. Ακολούθως, στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ) και οι τύποι τους. Στο τρίτο κεφάλαιο της εργασίας παρουσιάζονται μερικά από τα πιο δημοφιλή λογισμικά τρισδιάστατης σχεδίασης.

Στο τέταρτο κεφάλαιο της εργασίας παρουσιάζεται το ανοιχτό πρότυπο CityGML και στο πέμπτο οι Χωρικές Βάσεις Δεδομένων (ΧΒΔ). Η μεθοδολογία μοντελοποίησης παρουσιάζεται στο έκτο κεφάλαιο και ολοκληρώνεται στο έβδομο με την εισαγωγή του κατασκευασθέντος τρισδιάστατου (3D) μοντέλου στην Βάση Δεδομένων. Τέλος, στο

¹ Geospatial Interoperability Return on Investment Study, NASA Geospatial Interoperability Office

όγδοο και τελευταίο κεφάλαιο της εργασίας παρουσιάζονται οι επιχειρούμενες οπτικοποιήσεις του κατασκευασθέντος μοντέλου.

Ένα βασικό στοιχείο της παρούσας μελέτης είναι η ολοκλήρωση του εγχειρήματος με την αυστηρή χρήση μόνο ανοιχτών ή ελεύθερων λογισμικών.

ΑΡΤΙΚΟΛΕΞΑ

ADE	Application Domain Extensions
AM/FM	Automated Mapping / Facilities Management
API	Application Programming Interface
BIM	Building Information Modeling
CAD	Computer-Aided Design
CGA	Computer Generated Architecture
CGIS	Canada Geographic Information System
CityGML	City Geography Markup Language
ADE	Application Domain Extension
AM/FM	Automated Mapping / Facilities Management
API	Application Programming Interface
BIM	Building Information Modeling
CAD	Computer-Aided Design
CGA	Computer Generated Architecture
CGIS	Canada Geographic Information System
CityGML	City Geography Markup Language
ADE	Application Domain Extension
AM/FM	Automated Mapping / Facilities Management
API	Application Programming Interface
BIM	Building Information Modeling
CAD	Computer-Aided Design
CGA	Computer Generated Architecture

CGIS	Canada Geographic Information System
CityGML	City Geography Markup Language
ADE	Application Domain Extension
AM/FM	Automated Mapping / Facilities Management
API	Application Programming Interface
BIM	Building Information Modeling
CAD	Computer-Aided Design
CGA	Computer Generated Architecture
CGIS	Canada Geographic Information System
CityGML	City Geography Markup Language
ADE	Application Domain Extension
AM/FM	Automated Mapping / Facilities Management
API	Application Programming Interface
BIM	Building Information Modeling
CAD	Computer-Aided Design
CGA	Computer Generated Architecture
CGIS	Canada Geographic Information System

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	9
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	10
ΑΡΤΙΚΟΛΕΞΑ.....	12
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	14
ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	18
ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	21
Α΄ ΜΕΡΟΣ – ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: 3D ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ	24
1.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ	24
1.2 Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ 3D ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ	25
1.2.1 Τεχνικές Μοντελοποίησης Τρισδιάστατων Αντικειμένων	27
1.2.1.1 Μοντελοποίηση με πολύγωνα (polygon modeling)	27
1.2.1.2 Μοντελοποίηση NURBS (Non- Uniform Rational B-Spline).	29
1.2.2 Συστήματα CAD (Computer Aided Design)	30
1.2.3 3D Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ) – Geographic Information Systems (GIS)	31
1.3 ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΙΣΜΟΙ 3D ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ ΑΣΤΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ	33
1.3.1 Χάρτες και εικόνες	33
1.3.2 Τοπικό και παγκόσμιο επίπεδο	33
1.3.3 Επιφάνειες.....	34
1.3.4 Πραγματικό και εικονικό μέγεθος	35
1.3.5 Μοντέλο δεδομένων	35
1.3.6 Συστατικά μέρη ενός μοντέλου	36
1.3.7.1 Δεδομένα LIDAR (Light Detection and Ranging)	37
1.3.7.2 Ολοκληρωμένα πλέγματα δεδομένων	38
1.3.7.3 Δεδομένα εικόνων από UAV	39
1.4 Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ 3D ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ.....	40
1.5 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ.....	41
1.5.1 Χρήση της Φωτογραμμετρίας και Τηλεπισκόπησης στην τρισδιάστατη Μοντελοποίηση	42
1.5.2 3D Μοντελοποίηση βάσει εικόνων (Image-based modeling)	43
1.5.3 Παραμετρική μοντελοποίηση	45
1.5.4 Κανονιστική μοντελοποίηση	46

1.6 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ 3D ΑΣΤΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ.....	47
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: 3D ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (ΣΓΠ)	
.....	50
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	50
2.2 ΤΥΠΟΙ 3D ΣΓΠ ΜΟΝΤΕΛΩΝ	53
2.2.1 3D Γεωμετρικά Μοντέλα	53
2.2.2 3D Τοπολογικά Μοντέλα.....	53
2.2.3 3D Σημαιολογικά Μοντέλα	54
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ	57
3.1 CITY ENGINE.....	57
3.1.1 Το Περιβάλλον εργασίας του City Engine.....	58
3.1.2 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα του City Engine.....	59
3.2 SKETCHUP	60
3.2.1 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα του SketchUp.....	62
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: CITYGML	64
3.1 ΣΗΜΑΣΙΟΛΟΓΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ.....	64
3.2 Η ΟΔΗΓΙΑ INSPIRE.....	64
3.3 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ CITYGML	66
3.3.1 Το ιστορικό υπόβαθρο	66
3.3.1 Επίπεδα λεπτομέρειας (LODs)	68
3.3.2 Οργάνωση και δομή του CityGML	70
3.3.3 Χωρικό Μοντέλο	72
3.3.3.1 Σημαιολογία.....	72
3.3.3.2 Γεωμετρία.....	73
3.3.3.3 Τοπολογία	75
3.3.3.4 Εμφάνιση.....	75
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΧΩΡΙΚΕΣ ΒΑΣΕΙΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (SPATIAL DATABASES)	
.....	77
5.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΧΩΡΙΚΩΝ ΒΑΣΕΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	77
5.2 ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΒΑΣΕΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ(ΣΔΒΔ-DBMS)....	77
5.3 ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ POSTGRESQL	79
5.4 POSTGIS ΧΩΡΙΚΗ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	79
5.5 ΓΕΩΜΕΤΡΙΕΣ WKT (WELL KNOWN TEXT) ΚΑΙ WKB (WELL KNOWN BINARY).....	79
5.5.1 Υποστήριξη συστημάτων αναφοράς	80

Β' ΜΕΡΟΣ – Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ	81
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: 3D ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕ ΤΟ CITYGML	82
6.1 ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	82
6.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	82
6.3 Ο ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ 3D ΜΕ ΤΟ SKETCHUP	83
6.3.1 Προετοιμασία.....	83
6.3.2 Γεωαναφορά.....	86
6.3.3 Φάσεις σχεδιασμού	87
6.3.4 Εισαγωγή υφής.....	90
6.3.5 Εξαγωγή μοντέλου από το SketchUp	92
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: 3DCITYDB - Η ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΟΥ CITYGML	95
7.1 POSTGRESQL	95
7.1.2 Η επέκταση PostGIS.....	96
7.2 3DCITYDB	96
7.2.1 3DCityDB-Importer-Exporter	97
7.2.2 pgAdmin 4.....	97
7.3 Η ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ 3DCITYDB	97
7.4 Η ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΗΝ 3DCITYDB	99
7.4.1 Η διασύνδεση PostgreSQL με 3DCityDB	100
7.4.2 Η εισαγωγή των δεδομένων στη 3DCityDB	100
7.5 Η ΕΞΑΓΩΓΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΑΠΟ ΤΗΝ 3DCITYDB	101
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΕΙΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ 3DCITYDB	104
8.1 ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕ ΤΟ GOOGLE EARTH PRO	105
8.2.1 Εξαγωγή αρχείων οπτικοποίησης.....	108
8.2.2 Δημιουργία περιεχομένου στο Cesium	109
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	112
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	115
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ	118
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	119
A. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ UML ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ CITYGML	119
B. 3DCITYDB	132
Γ. ΕΚΔΟΧΕΣ ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΤΟ GOOGLE EARTH PRO	135
Δ. ΕΚΔΟΧΕΣ ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΤΟ CESIUM	137

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

<i>Εικόνα 1: Σχηματική αναπαράσταση της σύνθετης κυβικής καμπύλης Bézier (The Mathematical Basis of the UNISURF CAD System)</i>	25
<i>Εικόνα 2: (α) Πολύγωνο αποτελούμενο από τέσσερα τρίγωνα, (β) Polygon mesh (Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Polygon_mesh)</i>	28
<i>Εικόνα 3: Δημιουργία σφαίρας χρησιμοποιώντας διαφορετικό αριθμό πολυγώνων (Πηγή: https://math.stackexchange.com/)</i>	29
<i>Εικόνα 4: NURBS (α) καμπύλη και (β) επιφάνεια (Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Non-uniform_rational_B-spline)</i>	29
<i>Εικόνα 5: Παραγωγή και την οπτικοποίηση των σχεδίων σε περιβάλλον λογισμικού CAD (Πηγή: Ιδία εργασία)</i>	30
<i>Εικόνα 6: Αναπαράσταση αεροπορικών διαδρομών (Πηγή: openflights.org)</i>	34
<i>Εικόνα 7: Σημεία ενδιαφέροντος από το κέντρο της Αθήνας (Πηγή: Google Earth)</i>	35
<i>Εικόνα 8: Point Cloud, (Πηγή: "Mairie de Montreuil station". Scene created by G2S GeoSystem Surveying, http://www.g2sfrance.com/geometre/#maps)</i>	37
<i>Εικόνα 9: Digital Terrain Model - DTM (Πηγή: https://gisgeography.com/free-global-dem-data-sources/)</i>	38
<i>Εικόνα 10: Ολοκληρωμένο πλέγμα τρισδιάστατων δεδομένων (Πηγή: https://medium.com/@Esri/introducing-arcgis-earth-3d-made-easy-3f9bda068bb7)</i>	39
<i>Εικόνα 11: Συλλογή φωτογραφιών από UAV (Πηγή: https://www.infotechenterprises.net)</i>	39
<i>Εικόνα 12: Ορθοφωτογραφία του ΠΑΔΑ (Πηγή: Ελληνικό Κτηματολόγιο)</i>	40
<i>Εικόνα 13: "Bird's eye view" από την Βαρκελώνη (Πηγή: http://home.bt.com)</i>	41
<i>Εικόνα 14: 3D Μοντελοποίηση (Πηγή: Ιδία εργασία)</i>	42
<i>Εικόνα 15: Χρήση φωτογραμμετρίας για την μοντελοποίηση κτίσματος</i>	43
<i>Εικόνα 16: Image-based modeling (Πηγή: https://www.agisoft.com)</i>	44
<i>Εικόνα 17: Σύννεφο σημείων (point cloud) κτίσματος από το λογισμικό 3DS Max της Autodesk (Πηγή: www.autodesk.com)</i>	45
<i>Εικόνα 18: Παραμετρική μοντελοποίηση</i>	46
<i>Εικόνα 19: Procedural Modeling (Πηγή: https://vcg.leeds.ac.uk/projects/procex/)</i>	47
<i>Εικόνα 20: Σταδιακή μοντελοποίηση πόλης (Πηγή: Biljecki et al. 2016)</i>	48
<i>Εικόνα 21: Η διαστρωμάτωση της πληροφορίας σε ένα ΣΓΠ (Πηγή: https://www.usgs.gov)</i>	51
<i>Εικόνα 22: α) 3D Formal Data Structure (3DFDS), (β Simplified Spatial Structure, γ) TEN model</i>	54
<i>Εικόνα 23: Έννοιες και περιγραφές με βάση το NAND και χρήση διαγράμματος UML (Πηγή: https://ngmdb.usgs.gov/www-nadm/)</i>	55
<i>Εικόνα 24: Τμήμα διαγραμματικής αναπαράστασης γεωλογικών παρατηρήσεων με χρήση UML κατά την GeoSciML τυποποίηση (Πηγή: GeoSciML)</i>	56
<i>Εικόνα 25: City Engine (Πηγή: https://esri.com)</i>	58
<i>Εικόνα 26: Περιβάλλον εργασίας City Engine (Πηγή: https://esri.com)</i>	59
<i>Εικόνα 27: Δημιουργία 3D μοντέλου πόλης με το SketchUp (Πηγή: sketchup.com)</i>	61
<i>Εικόνα 28: Ένα από τα menu εργασιών του SketchUp (Πηγή: Ιδία εργασία)</i>	61
<i>Εικόνα 29: Εργαλείο πλοήγησης στο SketchUp (Πηγή: sketchup.com)</i>	62
<i>Εικόνα 30: Το CityGML (Πηγή: Ιδία εργασία)</i>	66
<i>Εικόνα 31: Απόσπασμα κώδικα GML για την κωδικοποίηση σημείου, γραμμής και πολυγώνου (Πηγή: https://www.ogc.org/standards/gml)</i>	67

Εικόνα 32: Απόσπασμα κώδικα XML για το AbstractSiteType, _Site (Πηγή: https://www.ogc.org/standards/gml).....	68
Εικόνα 33: Τα πέντε επίπεδα λεπτομέρειας κατά το CityGML (Πηγή: Stoter et al. 2016)	68
Εικόνα 34: Μοντέλο κτιρίου από το LOD1 έως το LOD4 (Πηγή: Kolbe, Gröger, Plumer, 2005).....	70
Εικόνα 35: Σχηματική αναπαράσταση του προτύπου CityGML 2.0 (Πηγή: OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard).....	71
Εικόνα 36: Συνδυασμένες Γεωμετρίες (Πηγή: OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard).....	74
Εικόνα 37: Τοπολογική σχέση μεταξύ σπιτιού και γκαράζ σε επαφή (Πηγή: IGG Uni Bonn - Institut für Geodäsie und Geoinformation)	75
Εικόνα 38: Προσθήκη εμφάνισης σε μοντέλο LOD2 (Yao et al.2019).....	76
Εικόνα 39: Τύποι γεωμετριών σε WKT (Πηγή: Lovelace, 2019).	80
Εικόνα 40: Παράδειγμα Spatial Reference List (Πηγή: https://spatialreference.org/ref/epsg/).....	81
Εικόνα 41: Διασωλήνωση εργασιών με αξιοποίηση των λογισμικών (Πηγή: Ιδία εργασία)	82
Εικόνα 42: Τα ίχνη των κτιρίων του Campus1 του ΠΑΔΑ, μέσα από το περιβάλλον του ΣΓΠ (Qgis) (Πηγή: Ιδία εργασία).	84
Εικόνα 43: Οι επιφάνειες των κτιρίων και ο χαρακτηρισμός τους (Πηγή: Ιδία εργασία)	84
Εικόνα 44: Προσδιορισμός ύψος κτιρίου με απλή υπόδειξη των ακμών εδάφους και οροφής (Πηγή: Ιδία εργασία).	85
Εικόνα 45: Χρήση της επιλογής “Add location” του SketchUp για εισαγωγή γεωαναφερόμενου υπόβαθρου (Πηγή: Ιδία εργασία).....	86
Εικόνα 46: Εισαγωγή υπόβαθρου χάρτη από το OpenStreetMap στο SketchUp (Πηγή: Ιδία εργασία).....	87
Εικόνα 47: Ο σχεδιασμός της επιφάνειας επί του εδάφους του κτιρίου του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής και Υπολογιστών (Πηγή: Ιδία εργασία).	87
Εικόνα 48: Τα ίχνη των κτιρίων του Πανεπιστημίου (Πηγή: Ιδία εργασία).....	88
Εικόνα 49: Εξώθηση του κτιρίου του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής κατά 12 μέτρα με χρήση του εργαλείου “Push/Pull” (Πηγή: Ιδία εργασία).....	88
Εικόνα 50: Ο χαρακτηρισμός των επιφανειών και η ομαδοποίηση τους σε Tags (Πηγή: Ιδία εργασία).....	89
Εικόνα 51: Επιλογή επιφανειών για οπτικοποίηση μέσω χρήσης των Tags (Πηγή: Ιδία εργασία).....	90
Εικόνα 52: Προσαρμογή φωτογραφίας στην πρόσοψη του κτιρίου του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής, “kt_9” (Πηγή: Ιδία εργασία).	91
Εικόνα 53: Το κτήριο του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής, “kt_9” ολοκληρωμένο με υφές επιφανειών (Πηγή: Ιδία εργασία).....	91
Εικόνα 54: Το ολοκληρωμένο 3D μοντέλο της Πανεπιστημιούπολης άλσους Αιγάλεω με το Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής να έχει μοντελοποιηθεί με χρήση υφών από φωτογραφίες (Πηγή: Ιδία εργασία).....	92
Εικόνα 55: Δημιουργία Component ενιαίου κτιρίου (Πηγή: Ιδία εργασία).	92
Εικόνα 56: Παραδείγματα αντιστοιχίσεων επιφανειών οροφής (RoofSurface) και τοίχων (WallSurface) με τα αντίστοιχα Tags (SketchUp 2020, Πηγή: Ιδία εργασία).	93
Εικόνα 57: Export Dialog του plugin GEORES.....	93
Εικόνα 58: Απόσπασμα από το εξαγόμενο αρχείο του SketchUp σε XML μορφή (Πηγή: Ιδία εργασία).....	94

Εικόνα 59: Ο φάκελος με τις φωτογραφίες που χρησιμοποιήθηκαν για να προσδώσουν την εμφάνιση του kt_9" του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής (Πηγή: Ιδία εργασία).....	94
Εικόνα 60: Η δημιουργία της ΒΔ "Pada_all_DB", στην οποία εισήχθησαν τα δεδομένα. (Πηγή: Ιδία εργασία).....	97
Εικόνα 61: Δημιουργία του Server "SaamlpeHouseLod2" (Πηγή: Ιδία εργασία).....	97
Εικόνα 62: Τα αρχεία CONNECTION_DETAIL.bat και CREATE_DB.bat (Πηγή: Ιδία εργασία).....	98
Εικόνα 63: Η παραμετροποίηση του αρχείου CONNECTION_DETAIL.bat (Πηγή: Ιδία εργασία).....	98
Εικόνα 64: Η διεπαφή εισαγωγής των πληροφοριών της χωρικής ΒΔ(Πηγή: Ιδία εργασία).....	99
Εικόνα 65: Η οθόνη ολοκλήρωσης της διαδικασίας διαμόρφωσης της ΒΔ(Πηγή: Ιδία εργασία).....	99
Εικόνα 66: Η διασύνδεση της PostgreSQL με την 3DCityDB με την βοήθεια του 3DCityDB Importer/Exporter(Πηγή: Ιδία εργασία).....	100
Εικόνα 67: Η εισαγωγή του XML αρχείου στην ΒΔ(Πηγή: Ιδία εργασία).....	101
Εικόνα 68: Οι νέα διαμόρφωση της ΒΔ(Πηγή: Ιδία εργασία).....	101
Εικόνα 69: Η οριοθέτηση της περιοχής μελέτης του προς οπτικοποίηση εξαγόμενου 3D μοντέλου(Πηγή: Ιδία εργασία).....	102
Εικόνα 70: Επιλογές απεικόνισης του εξαγόμενου μοντέλου(Πηγή: Ιδία εργασία).....	103
Εικόνα 71: Οι τέσσερις διαθέσιμοι τύπου εξαγωγής του 3D μοντέλου(Πηγή: Ιδία εργασία).....	104
Εικόνα 72: Εξαγόμενοι τύποι αρχείων από το 3DCityDB Importer/Exporter(Πηγή: Ιδία εργασία).....	104
Εικόνα 73: Η επιλογή εισαγωγής (.kml αρχείου) στο Google Earth Pro(Πηγή: Ιδία εργασία).....	105
Εικόνα 74: 3D Οπτικοποίηση του ΠΑΔΑ μέσω του Google Earth (Πηγή: Ιδία εργασία).....	106
Εικόνα 75: Τμήμα της πόλης του Βερολίνου LOD2 με και χωρίς υφές επιφανειών μέσω του λογισμικού FZK (Πηγή: Ιδία εργασία).....	107
Εικόνα 76: Οπτικοποίηση του Βερολίνου με εξαγόμενο αρχείο .kml από την 3DCityDB, σε επίπεδο LOD2 με υφές (Στο Παράρτημα Γ παρουσιάζονται όλες οι εκδοχές οπτικοποίησης της ίδιας σκηνής, , Πηγή: Ιδία εργασία).....	107
Εικόνα 77: Η επιτυχής σύνδεση με την ΒΔ "CityModelX"(Πηγή: Ιδία εργασία).....	108
Εικόνα 78: Εισαγωγή στην ΒΔ (στον πίνακα building) 1908 κτιρίων(Πηγή: Ιδία εργασία).....	108
Εικόνα 79: Τα εξαγόμενα προς οπτικοποίηση αρχεία (Πηγή: Ιδία εργασία).....	109
Εικόνα 80: Εξαγωγή σε .xls από το Importer/Exporter (Πηγή: Ιδία εργασία).....	110
Εικόνα 81: Η αρχική οθόνη δημιουργίας περιεχομένου του Cesium (Πηγή: Ιδία εργασία).....	110
Εικόνα 82: Η δημιουργία ενός layer πληροφορίας στην πλατφόρμα Cesium (Πηγή: Ιδία εργασία).....	111
Εικόνα 83: Η περιοχή μελέτης μετά την επιλογή του αντίστοιχου layer (Πηγή: Ιδία εργασία).....	111
Εικόνα 84:Επιλογή θέασης χωρίς 3D αναπαράσταση κτιρίων.....	135
Εικόνα 85: Επιλογή θέασης με 3D αναπαράσταση κτιρίων χωρίς υφές.....	135
Εικόνα 86: Επιλογή θέασης με 3D αναπαράσταση κτιρίων χωρίς υφές.....	136
Εικόνα 87: Το περιβάλλον παραμετροποίησης του Cesium.....	137
Εικόνα 88: Η εισαγωγή layer εντός του Cesium.....	137

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

<i>Σχήμα 1: Τα βασικά τμήματα ενός πολυγώνου (Πηγή: Ιδία εργασία).....</i>	<i>27</i>
<i>Σχήμα 2: Η ιεραρχία των τάξεων στο CityGML – αντικειμενοστραφής σχεδιασμός μοντέλου (Πηγή: OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard).....</i>	<i>72</i>
<i>Σχήμα 3: Η μοντελοποίηση ενός κτιρίου (AbstractBuilding) μέσω του UML διαγράμματος (Πηγή: OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard).....</i>	<i>73</i>

Α' ΜΕΡΟΣ – ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: 3D ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ

1.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

Τα τρισδιάστατα (3D) μοντέλα στην εποχή μας αξιοποιούνται από πληθώρα ανθρώπων και σε εκτεταμένη κλίμακα εφαρμογών. Για παράδειγμα η βιομηχανία του κινηματογράφου χρησιμοποιεί τρισδιάστατα (3D) μοντέλα για την δημιουργία σκηνικών και αντικειμένων. Η βιομηχανία των βιντεοπαιχνιδιών αξιοποιεί την τρίτη διάσταση για την δημιουργία ρεαλιστικών ψηφιακών περιβαλλόντων στα παιχνίδια. Ακόμα και στην ιατρική αξιοποιείται για την παραγωγή τρισδιάστατων (3D) μοντέλων των οργάνων. Ο τομέας των κατασκευών και της αρχιτεκτονικής πρωτοστατεί στην αξιοποίηση της τρισδιάστατης (3D) μοντελοποίησης προκειμένου να δημιουργήσει και να αναπαραστήσει με ρεαλισμό αντικείμενα, μηχανήματα, εξαρτήματα και περιβάλλοντα. Στον χώρο της γεωλογίας δίνεται η δυνατότητα αναπαράστασης τρισδιάστατων (3D) γεωλογικών μοντέλων τα οποία βοηθούν στην έρευνα και την προσομοίωση (Τρανάκα, 2014).

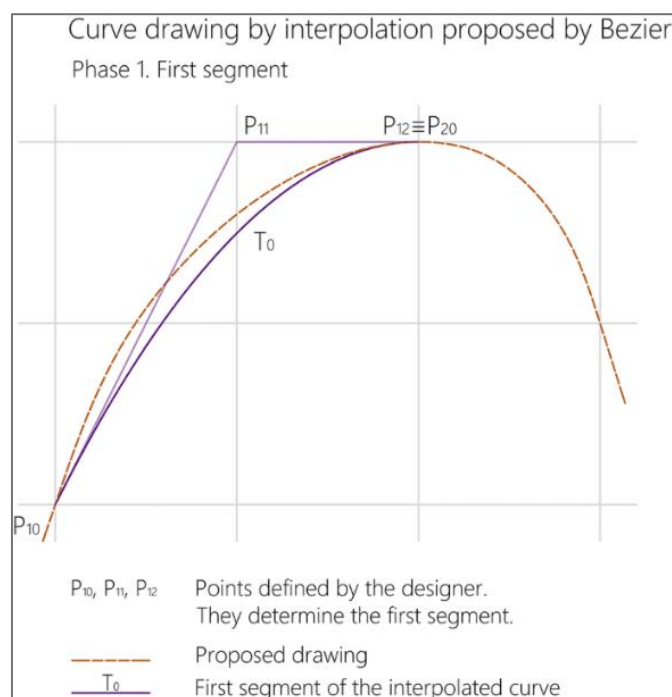
Η ένταξη της τρίτης διάστασης στον χώρο του σχεδιασμού και της αναπαράστασης αντικειμένων και περιβάλλοντος γεννήθηκε από την ανάγκη για άρση των περιορισμών που παρουσιάζει η 2D (δισδιάστατη) αναπαράσταση στην δημιουργία και την οπτικοποίηση. Προς αυτή την κατεύθυνση βοήθησε βέβαια και η ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας κατά τις τελευταίες δεκαετίες. Η τρισδιάστατη (3D) αναπαράσταση αναφέρεται στον τρόπο μοντελοποίησης και δόμησης των αντικειμένων που θέλουμε να αναπαραστήσουμε. Εξαιτίας του γεγονότος ότι δεν υπάρχουν ακόμη τρισδιάστατες (3D) οθόνες τα τρισδιάστατα (3D) αντικείμενα καλούνται να προβάλλονται σε πλεγματικές οθόνες με αποδοτικό τρόπο, να επιδέχονται μετασχηματισμούς και να παρουσιάζουν δυναμική προσαρμογή στις εκάστοτε απαιτήσεις. Είναι γεγονός ότι με την πάροδο του χρόνου και την άρση των τεχνικών περιορισμών έχουν προταθεί πληθώρα μοντέλα αναπαράστασης τρισδιάστατων (3D) αντικειμένων, αναλόγως με το είδος που αναπαρίσταται αλλά και τον τρόπο κατασκευής τους.

Αναφορικά με την μεθοδολογία δημιουργίας των μοντέλων του φυσικού κόσμου, αυτή καθορίζεται από το είδος της μοντελοποίησης που εξυπηρετεί. Εξειδικευμένα λογισμικά, τα οποία χρησιμοποιούν αυτοματοποιημένες μαθηματικές πράξεις, απεικονίζουν στις τρεις διαστάσεις οπτικές αναπαραστάσεις που προσομοιάζουν με ρεαλιστικό τρόπο μοντέλα αντικείμενα αλλά και σκηνές του κόσμου που μας περιβάλλει.

Η χρήση της τρίτης διάστασης παρουσιάζει μια σειρά από πλεονεκτήματα, όπως: η καλύτερη αναπαράσταση αντικειμένων και χώρου, ταχύτερη κατανόηση από τους ανθρώπους του περιγραφόμενου τρισδιάστατου (3D) θέματος, αποτελεσματικότερη εφαρμογή αποφάσεων με βάση το περιγραφόμενο τρισδιάστατο (3D) θέμα. Κατά συνέπεια με την αξιοποίηση της τρίτης διάστασης δύναται πλέον η ανάπτυξη των τρισδιάστατων (3D) αστικών μοντέλων και ρεαλιστικής αναπαράστασης της πραγματικότητας, βελτιώνοντας τον μελλοντικό σχεδιασμό του αστικού χώρου, που θα συμβάλλει και στην βελτίωση της ποιότητας ζωής εκατομμυρίων ανθρώπων.

1.2 Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ 3D ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ

Η τρισδιάστατη (3D) μοντελοποίηση έκανε την εμφάνιση της για πρώτη φορά στις αρχές της δεκαετίας του 1960 με εμπνευστή της τον Γάλλο μηχανικό Pierre Bezier². Ο Bezier προσεγγίζοντας με μαθηματικό τρόπο τις επιφάνειες (Pierre, 1986), κατάφερε να αναπτύξει ένα πρωτοποριακό σύστημα επιφάνειας CAD / CAM, το UNISURF, το οποίο σχεδιάστηκε για να βοηθήσει ως εργαλείο σχεδιασμού του αμαξώματος των αυτοκινήτων της εταιρίας.



Εικόνα 1: Σχηματική αναπαράσταση της σύνθετης κυβικής καμπύλης Bézier (The Mathematical Basis of the UNISURF CAD System)

² Ο Pierre Bezier (1910-1999) εργαζόταν στην αυτοκινητοβιομηχανία της Renault

Έως το 1975, το UNISURF αποτέλεσε την βάση εργασίας στον χώρο της αυτοκινητοβιομηχανίας και ουσιαστικά έθεσε τις βάσεις για την εξέλιξη και την ανάπτυξη του τρισδιάστατου (3D) σχεδιασμού.

Στα μέσα της ίδιας δεκαετίας ('60) δημιουργήθηκε ένα πρωτοποριακό πρόγραμμα σχεδιασμού που συνετέλεσε στην αναπαράσταση των πρώτων τρισδιάστατων (3D) αντικειμένων, το Sketchpad. Αρχικά, η τρισδιάστατη (3D) μοντελοποίηση χρησιμοποιήθηκε κυρίως στην τηλεόραση και στη διαφήμιση αλλά με την πάροδο του χρόνου η παρουσία της σε άλλους τομείς αυξήθηκε σημαντικά.

Μερικά χρόνια αργότερα (αρχές δεκαετίας του '70) η εταιρία MCS (Manufacturing and Consulting Services Inc)³ κατασκεύασε το λογισμικό τύπου CAD/CAM, γνωστό και ως ADAM (Automated Drafting And Machining), με κύριο χαρακτηριστικό την αξιοποίηση του από ποικίλες υπολογιστικές πλατφόρμες. Οι ερευνητές υποστηρίζουν ότι στον αρχικό πυρήνα του κώδικα αυτού του λογισμικού οφείλονται άνω του 70% των υλοποιήσεων των τρισδιάστατων (3D) μηχανικών CAD / CAM συστημάτων που υπάρχουν σήμερα.

Στα τέλη της δεκαετίας του '80 (1988) εμφανίστηκε το πρόγραμμα Pro Engineer (Pro E)⁴, το οποίο αποτέλεσε ένα από τα πρώτα καινοτόμα συστήματα CAD/CAM. Η βασική του καινοτομία οφείλονταν στην χρήση παραμετρικής μοντελοποίησης ενώ παράλληλα βασιζόταν σε μορφολογικά χαρακτηριστικά. Τέλος στην δεκαετία του '90 εμφανίστηκαν οι πρώτοι πυρήνες στερεάς μοντελοποίησης και έγινε εφικτή η δημιουργία mid-range συστημάτων όπως: Autodesk Inventor, SolidWorks, TopSolid, Solid-Edge, κ.α.

Στις μέρες μας η τεχνολογία έχει εξελιχθεί με ταχύτατους ρυθμούς, η τρισδιάστατη (3D) μοντελοποίησης έχει αναπτυχθεί και χρησιμοποιείται σε διάφορους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας. Παράλληλα και τα λογισμικά δημιουργίας τρισδιάστατων (3D) σχεδίων έχουν πολλαπλασιαστεί και αυτό φανερώνει την αναγκαιότητα μας να κατανοήσουμε καλύτερα τον κόσμο μας μέσω της μοντελοποίησης του τρισδιάστατου (3D) κόσμου μας με την βοήθεια των ηλεκτρονικών υπολογιστών (Αβραμούλη, Καραγεώργος, Ντιντάκης, & Ράπτη, 2015).

³ Με κύριο εμπνευστή και δημιουργό της τον Patrick J. Hanratty (). Ο οποίος θεωρείται “πατέρας” των συστημάτων CAM/CAD.

⁴ Πλέον ονομάζεται PTC Creo

1.2.1 Τεχνικές Μοντελοποίησης Τρισδιάστατων Αντικειμένων

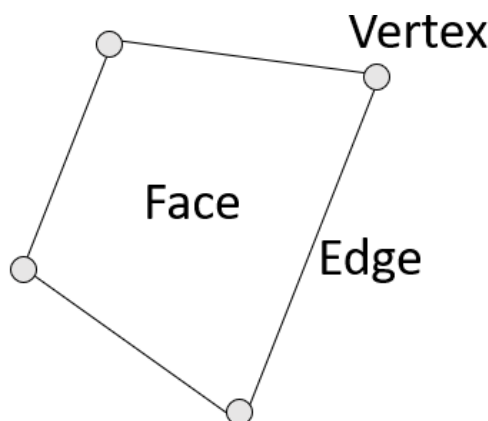
Οι τεχνικές που ξεχωρίζουν στην τρισδιάστατη μοντελοποίηση αντικειμένων είναι δύο: η μοντελοποίηση με πολύγωνα (polygon modeling) και η μοντελοποίηση που είναι γνωστή ως NURBS (Non- Uniform Rational B-Spline).

1.2.1.1 Μοντελοποίηση με πολύγωνα (polygon modeling)

Σε αυτού του είδους την μοντελοποίηση η «βάση» δημιουργίας είναι τα πολύγωνα τα οποία είναι τα σχήματα που περιέχουν ακμές και γωνίες. Αξίζει να σημειωθεί πως σε αυτήν την κατηγορία των πολυγώνων εντάσσονται και τα τρίγωνα. Ακόμα και τα πιο σύνθετα σχήματα δημιουργούνται από συνδυασμούς πολυγώνων. Όσα περισσότερα πολύγωνα τόσο πιο ρεαλιστικό το αποτέλεσμα.

Τα πολύγωνα περιέχουν ακμές και γωνίες. Δομικά στοιχεία των πολυγώνων είναι (Σχήμα 1):

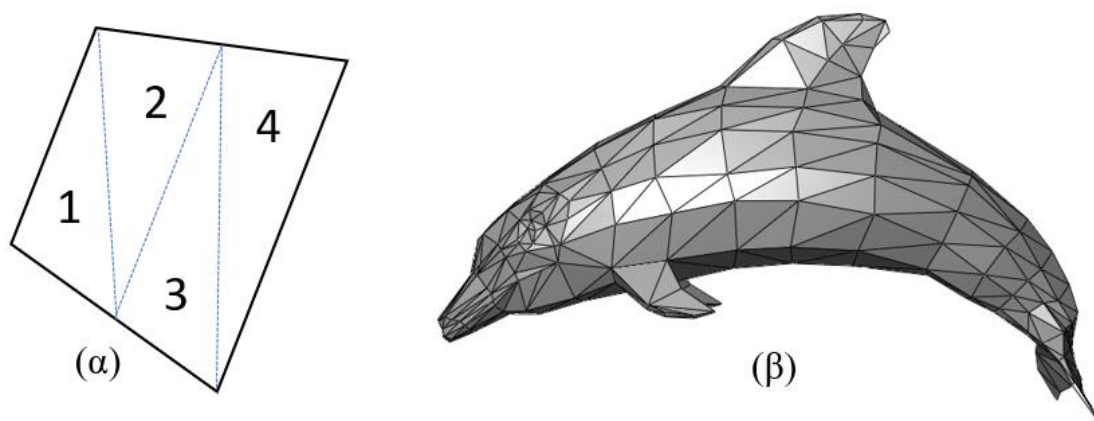
- Κορυφή (Vertex): Αποτελούν τα σημεία (κορυφές) ενός πολυγώνου, όπου μέσα σε αυτά περιλαμβάνονται οι συντεταγμένες του στο χώρο και με την σύνδεση αυτών δημιουργούνται γεωμετρικά σχήματα. Το τρίγωνο για παράδειγμα αποτελείται από τρεις κορυφές. Η ένωση τους δημιουργεί το τρίγωνο.
- Ακμή (Edge): Το ευθύγραμμο τμήμα που ενώνει τις δυο κορυφές. Για παράδειγμα στο τρίγωνο υπάρχουν τρεις ακμές ενώ στο τετράγωνο τέσσερις.
- Πρόσωπο (Face): Είναι η επιφάνεια που δημιουργείται ως αποτέλεσμα της ένωσης των κορυφών με τις ακμές.



Σχήμα 1: Τα βασικά τμήματα ενός πολυγώνου (Πηγή: Ιδία εργασία)

Για την δημιουργία σύνθετων σχημάτων απαιτείται η εργασία σε επίπεδο σημείων- κορυφών (vertex). Οποιαδήποτε αλλαγή στη μορφή, θέση και διάσταση ενός πολυγώνου μπορεί να πραγματοποιηθεί απλά με τη μετακίνηση των κορυφών. Για να είμαστε απόλυτα ειλικρινείς, η βάση της δημιουργίας όλων των τρισδιάστατων (3D)

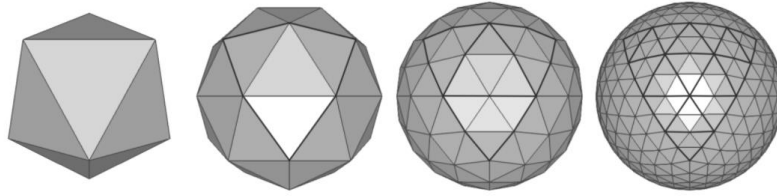
μοντέλων είναι τα τρίγωνα. Μιας και τα πολύγωνα αποτελούνται από τρίγωνα (Εικόνα 2α), ο συνδυασμός τους εξασφαλίζει την αναδημιουργία οποιοδήποτε αντικειμένου. Μία ομάδα πολυγώνων που απαρτίζουν ένα μοντέλο, ονομάζονται πλέγμα πολυγώνων (polygon mesh) (Εικόνα 2β). Οι εφαρμογές τρισδιάστατης (3D) σχεδίασης παρέχουν την δυνατότητα απευθείας σχεδίασης τρισδιάστατων αντικειμένων. Ο χρήστης δεν απαιτείται να σχεδιάσει τρίγωνα ή πολύγωνα. Υπάρχουν ειδικές εντολές που δίνουν τη δυνατότητα στον χρήστη να αλλάξει την κλίμακα, να περιστρέψει, να τροποποιήσει το σχήμα χρησιμοποιώντας εντολές (πχ. scale, rotate, translate κλπ.).



Εικόνα 2: (α) Πολύγωνο αποτελούμενο από τέσσερα τρίγωνα, (β) Polygon mesh (Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Polygon_mesh)

Ένας άλλος δημοφιλής τρόπος σχεδίασης είναι η «σημείο-προς-σημείο» (point-to-point) σχεδίαση. Η σχεδίαση ξεκινά με τον ορισμό των κορυφών (vertex), οι οποίες ενώνονται με ακμές (edges). Η δημιουργία τριών κορυφών κατασκευάζει ένα τρίγωνο. Με την δημιουργία περισσότερων τριγώνων, καταλήγουμε στο πλέγμα πολυγώνων, που εμφανίζει το επιθυμητό σχήμα. Προκειμένου να αποκτήσει το τρισδιάστατο (3D) μοντέλο τον απαραίτητα ρεαλισμό (Εικόνα 3) απαιτείτε περαιτέρω επεξεργασία και αξιοποίηση διαφόρων τεχνικών όπως:

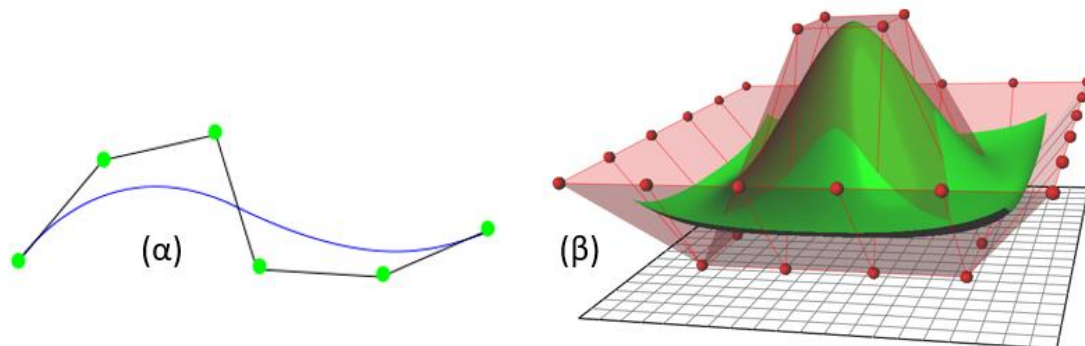
- Λάξευση κορυφών και ακμών (chamfer and bevel),
- Εξώθηση (extrude),
- Εξομάλυνση (smoothing)
- Διαίρεση πολυγώνων (polygon division), αύξηση προσόψεων (faces).



Εικόνα 3: Δημιουργία σφαίρας χρησιμοποιώντας διαφορετικό αριθμό πολυγώνων (Πηγή: <https://math.stackexchange.com/>)

1.2.1.2 Μοντελοποίηση NURBS (Non- Uniform Rational B-Spline).

Είναι μια μαθηματική παρουσίαση τρισδιάστατης γεωμετρίας που μπορεί ακριβώς να περιγράψει οποιαδήποτε μορφή από μια απλή 2D γραμμή, έναν κύκλο, ένα τόξο, ή μια καμπύλη μέχρι την πιο σύνθετη τρισδιάστατη λειτουργική επιφάνεια ή στερεό ελεύθερης μορφής (Εικόνα 4β). Λόγω της ευελιξίας και της ακρίβειάς τους τα μοντέλα NURBS μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε οποιαδήποτε διαδικασία από την απεικόνιση και κίνηση μέχρι την κατασκευή. Έχουν σημεία ελέγχου (control points) με σκοπό να βοηθήσουν στην ρύθμιση του σχήματος της καμπύλης. Το τρισδιάστατο σχήμα προκύπτει μέσα από την σχεδίαση και την τροποποίηση των καμπυλών.



Εικόνα 4: NURBS (α) καμπύλη και (β) επιφάνεια (Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Non-uniform_rational_B-spline).

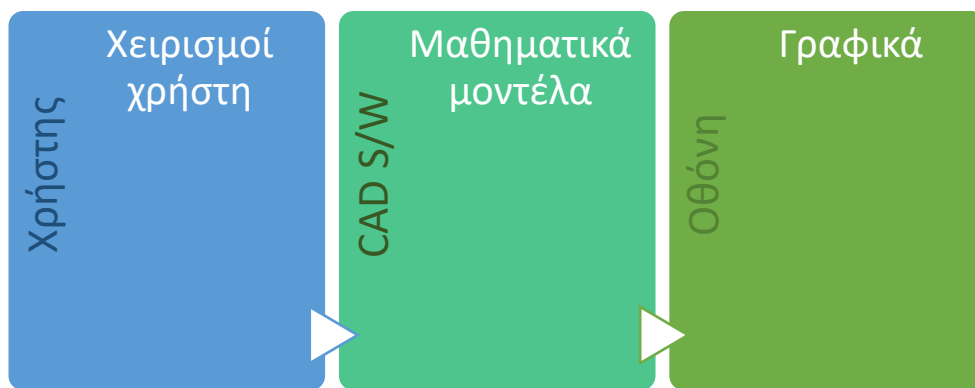
Για τον καλύτερο έλεγχο και διαχείριση των καμπυλών τα σημεία ελέγχου, που ονομάζονται και κορυφές ελέγχου (control vertices), εμφανίζονται και ως ευθείες. Έτσι γίνεται ευκολότερη διαχείριση των καμπυλών. Το τρισδιάστατο σχήμα προκύπτει από την ένωση των καμπυλών. (Εικόνα 4α).

Η τεχνική NURBS είναι πιο δύσκολα υλοποιήσιμη σε σχέση με την τεχνική των Πολυγώνων. Προσφέρεται για την δημιουργία στατικών τρισδιάστατων (3D) μοντέλων και δεν ενδείκνυται για την δημιουργία μοντέλων στα οποία θα προστεθεί κίνηση (Λαζαρίνης, 2015; Τσιλιάκου, 2013; Δεμερτζής, 2017).

1.2.2 Συστήματα CAD (Computer Aided Design)

Η διαδικασία σχεδιασμού σε ένα λογισμικό CAD, για την παραγωγή γεωμετρικών μοντέλων γίνεται με την αξιοποίηση ενός περιβάλλοντος εργασίας από τον χρήστη που του παρέχει μια σειρά από εργαλεία (πλήκτρα, μακροεντολές, εργαλειοθήκες) προκειμένου να διαχειριστεί τον χώρο σχεδίασης. Κατά την σχεδίαση και συνεπώς την χρήση των διαφόρων εργαλείων, πραγματοποιούνται μαθηματικά μοντέλα, τα οποία βασίζονται σε πίνακες μετασχηματισμών. Για την οπτικοποίηση των σχεδίων σε περιβάλλον λογισμικού CAD, ακολουθείται η εξής διαδικασία (Εικόνα 5):

1. Οι χειρισμοί του χρήστη μετατρέπονται σε μαθηματικά μοντέλα
2. Το λογισμικό CAD επεξεργάζεται τα μαθηματικά μοντέλα και ενεργεί με βάση αυτό που του υπαγορεύουν
3. Το αποτέλεσμα της επεξεργασίας των μαθηματικών μοντέλων από το CAD εμφανίζεται στην οθόνη του υπολογιστή με την μορφή γραφικών



Εικόνα 5: Παραγωγή και την οπτικοποίηση των σχεδίων σε περιβάλλον λογισμικού CAD (Πηγή: Ιδία εργασία)

Αν για παράδειγμα ο δημιουργός ενός αντικειμένου επιθυμεί την μετατόπιση του στο χώρο σχεδίασης της εφαρμογής CAD δεν έχει από το να επιλέξει το κατάλληλο εργαλείο από την εργαλειοθήκη της εφαρμογής (π.χ. Move) και στην συνέχεια να μετακινήσει το αντικείμενο. Το λογισμικό στην πραγματικότητα πραγματοποιεί μαθηματικούς μετασχηματισμούς προσπαθώντας να υπολογίσει τις τελικές συντεταγμένες του αντικειμένου και το εμφανίζει στην οθόνη στη επιλεγόμενη (νέα) θέση. Στα αρχικά στάδια εμφάνισης των συστημάτων σχεδίασης CAD ήταν δυνατή μόνο η απεικόνιση 2D αντικειμένων, αργότερα με την εξέλιξη της τεχνολογίας ήταν εφικτή και η ανάπτυξη τις τρισδιάστατης (3D) απεικόνισης (Αβραμίδου, 2013).

1.2.3 3D Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ) – Geographic Information Systems (GIS)

Στα μέσα του 1960 εμφανίστηκε το πρώτο Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών - ΣΓΠ (Geographic Information System - GIS), το οποίο ήταν η αφορμή για την εξέλιξη των 2D χαρτών και τη διαχείριση των γεωγραφικών πληροφοριών. Για πολλά χρόνια ο κόσμος πίστευε ότι η 2D αναπαράσταση επαρκούσε και την περιγραφή του πραγματικού κόσμου, παρότι ο πραγματικός κόσμος είναι τρισδιάστατος. Οι τεχνολογικές εξελίξεις έδωσαν τη δυνατότητα στην ανθρωπότητα να αξιοποιήσει την τρίτη διάσταση σε εφαρμογές και τεχνολογίας. Έτσι δεν άργησε και η στιγμή που τα ΣΓΠ υιοθέτησαν την νέα δυνατότητα αναπαράστασης του κόσμου. Στην αρχή η αποδοχή και αξιοποίηση της τρισδιάστατης (3D) διάστασης στις εφαρμογές ΣΓΠ ήταν περιορισμένη και οι τεχνικές δυσκολίες πολλές. Η πρόκληση για τα ΣΓΠ ήταν ότι έπρεπε να προσφέρουν την ίδια λειτουργικότητα με τα συστήματα 2D διαστάσεων ενσωματώνοντας την 2D διάσταση με σκοπό να περιγράψουν χωρικά φαινόμενα.

Η διαφορά ενός τρισδιάστατου (3D) ΣΓΠ σε σχέση με άλλα λογισμικά είναι, η δυνατότητα εκτέλεσης χωρικής ανάλυσης και απεικόνισής της. Τα τρισδιάστατα (3D) μοντέλα μπορούν να χαρτογραφηθούν σε δομές βάσεων δεδομένων ή μορφές αρχείων (π.χ. gml, kml, shape, dxf) και να χρησιμοποιηθούν για διαχείριση ή ανταλλαγή μέσω διαδικτύου και μεταξύ διαφορετικών εφαρμογών. Τα 2D ΣΓΠ δεν μπορούν να ανταπεξέλθουν στις απαιτήσεις των προηγμένων τρισδιάστατων (3D) εργασιών που απαιτούνται στην εποχή μας. Η αξιοποίηση των τρισδιάστατου (3D) ΣΓΠ είναι μονόδρομος για την παροχή πληροφοριών χωρικών δεδομένων και την εκτέλεση εργασιών τρισδιάστατης (3D) ανάλυσης.

Στο πέρασμα των χρόνων τα συστήματα CAD και ΣΓΠ τείνουν να συγκλίνουν όλο και περισσότερο. Τα συστήματα CAD σχεδιάστηκαν για τη μοντελοποίηση των ανθρώπινων κατασκευών σε ένα τοπικό σύστημα συντεταγμένων. Ενώ τα ΣΓΠ είχαν σαν σκοπό να απεικονίσουν την πραγματικότητα σε ένα σύστημα γεωγραφικών συντεταγμένων και να αντικαταστήσουν τους κλασικούς γεωγραφικούς χάρτες. Παράλληλα, τα συστήματα CAD υποστηρίζουν θεμελιώδη στερεά, όπως σφαίρα, κύλινδρος, κώνος κ.τ.λ., για τη δημιουργία πολύπλοκων κατασκευών ενώ τα ΣΓΠ βασίζονται απλά γεωμετρικά στοιχεία όπως σημεία, γραμμές και πολύγωνα με περιεχόμενες ιδιότητες. Πλέον στα συστήματα CAD είναι εφικτή η λειτουργία σε 2D προβολή, ορίζοντας σύνθετη ιεραρχία ιδιοτήτων και η εκτέλεση ανάλυσης όπως γίνεται στα ΣΓΠ (Zlatanova,

Rahman, & Pilouk, 2002). Από την άλλη τα ΣΓΠ έχουν προσθέσει στις δυνατότητές τους τρισδιάστατης (3D) ρεαλιστική απεικόνιση (η οποία σαφώς χρήζει βελτίωσης), δυνατότητες τρισδιάστατης (3D) επεξεργασίας και πλοήγησης στα αναπαριστώμενα τρισδιάστατα (3D) μοντέλα.

Ανασταλτικός παράγοντας για την ένωση των δύο συστημάτων είναι η υποστήριξη διαφορετικού τύπου δεδομένων, δυσκολεύοντας έτσι την εξαγωγή μοντέλων μεταξύ των δύο συστημάτων χωρίς απώλεια δεδομένων. Τα ΣΓΠ δεν υποστηρίζουν όλα τα βασικά σχήματα που υποστηρίζουν τα συστήματα CAD κατά συνέπεια να υπάρχουν απώλειες γεωμετρίας κατά την εξαγωγή των μοντέλων. Από την άλλη μεριά, ένα μοντέλο που μετατρέπεται από ΣΓΠ σε CAD μπορεί να απωλέσει σημασιολογική πληροφορία, γιατί τα συστήματα CAD παρουσιάζουν αδυναμίες στις σημασιολογικές πληροφορίες.

Βασική προϋπόθεση για ένα τρισδιάστατο (3D) ΣΓΠ είναι η δυνατότητα να εκτέλεσης χωρικών λειτουργιών όπως :

- Λειτουργίες ανάκτησης
- Λειτουργίες ερωτημάτων, που ικανοποιούν συγκεκριμένα κριτήρια
- Ενιαία ανάλυση χωρικών και σημασιολογικών δεδομένων (ταξινόμηση, μέτρηση κ.τ.λ.)
- Λειτουργίες γειννίασης
- Λειτουργίες συνδεσιμότητας
- Υπολογισμοί (αποστάσεις, εμβαδό, όγκος στην τρίτη διάσταση).

Σήμερα, οι περισσότερες από τις παραπάνω λειτουργίες είναι διαθέσιμες μόνο για τις δύο διαστάσεις. Πολλές εφαρμογές ΣΓΠ μπορούν να κατασκευάσουν 2D τοπολογικά μοντέλα, ενώ κάποια πακέτα CAD παρέχουν εργαλεία για τον έλεγχο της τοπολογικής συνέπειας. Για τη μετάβαση από δισδιάστατο (2D) σε τρισδιάστατο (3D), είναι απαραίτητο να καθοριστούν νέες προσεγγίσεις, κανόνες και οπτικοποιήσεις, αφού και η πολυπλοκότητα των σχέσεων θα αυξηθεί.

Θα πρέπει να σημειώσουμε ότι η επιτυχία των τρισδιάστατων (3D) ΣΓΠ εξαρτάται από την δημιουργία αποτελεσματικών τρισδιάστατων (3D) μοντέλων. Οι ειδικοί εξετάζουν συνεχώς την τρίτη διάσταση και διερευνούν την ανάπτυξη ενός διαλειτουργικού τρισδιάστατου (3D) μοντέλου. Παρόλα αυτά δεν είναι εφικτό επί του παρόντος να υπάρχει ένα τρισδιάστατο (3D) μοντέλο το οποίο να μπορεί να εξυπηρετεί όλους τους τομείς εφαρμογών. Θεωρείται ζήτημα χρόνου να ικανοποιηθούν όλες αυτές οι προϋποθέσεις που θα επιτρέψουν την δημιουργία ενός κοινού συστήματος

μοντελοποίησης, οπτικοποίησης και διαχείρισης τρισδιάστατων (3D) μοντέλων, ικανών να ανταποκριθούν στις νέες απαιτήσεις.

Στο Κεφάλαιο 2 θα μας απασχολήσει διεξοδικά η τεχνολογία και η φύση των τρισδιάστατων (3D) ΣΓΠ και θα μπορέσουμε να περιγράψουμε με μεγαλύτερη σαφήνεια το χώρο εφαρμογής τους.

1.3 ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΙΣΜΟΙ 3D ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ ΑΣΤΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ

1.3.1 Χάρτες και εικόνες

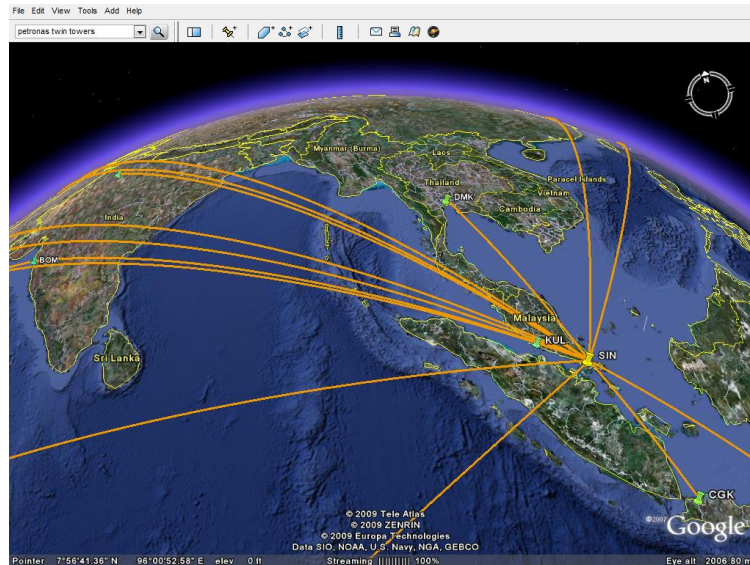
Στα σύγχρονα ΣΓΠ είναι δυνατή η οπτικοποίηση δεδομένων τόσο σε 2D όσο και σε 3D. Παρατηρούνται αρκετές ομοιότητες και στους δύο αυτούς τρόπους απεικόνισης.

- α. Διαθέτουν επίπεδα (layers),
- β. Έχουν χωρικές αναφορές (spatial references)
- γ. Υποστηρίζουν λειτουργίες ΣΓΠ (επιλογή-selection, ανάλυση-analysis και επεξεργασία-editing).

Παρόλα αυτά όσο αφορά την προβολή τους παρουσιάζουν και σημαντικές διαφοροποιήσεις. Στο θεματικό επίπεδο, επί παραδείγματι την 2D απεικόνιση ενός κτιρίου θα προβάλλεται ως ένα πολύγωνο σε 2D μορφή, ενώ στην 3D μορφή του θα αναπαριστάται ως ογκομετρικό μοντέλο, που έχει τοποθετηθεί και περιστραφεί αναλόγως στην ακριβή του θέση. Στο επίπεδο της εικόνας υπάρχουν ιδιότητες που είναι άνευ νοήματος για ένα δισδιάστατο (2D) χάρτη. Τέτοιο είναι η απαίτηση για επιφανειακό πλέγμα εδάφους, η ύπαρξη μιας πηγής φωτός και ατμοσφαιρικά φαινόμενα (Harder, 2015).

1.3.2 Τοπικό και παγκόσμιο επίπεδο

Η οπτικοποίηση του τρισδιάστατου (3D) περιεχόμενου υλοποιείται σε δύο διαφορετικά περιβάλλοντα σκηνικών, στο παγκόσμιο και στο τοπικό επίπεδο. Ο δημοφιλέστερος τρόπος προβολής, σε παγκόσμιο επίπεδο, για τις τρισδιάστατες (3D) αναπαραστάσεις, είναι απεικόνιση τους σε ένα παγκόσμιο προβολικό σύστημα με τη μορφή μιας υδρόγειου σφαίρας. Ο παγκόσμιος καμβάς επιτρέπει την αναπαράσταση δεδομένων που εκτείνονται σε μεγάλες αποστάσεις και όπου πρέπει να υπολογίζεται η καμπυλότητα της γης, όπως για παράδειγμα οι παγκόσμιες διαδρομές αεροπορικής κυκλοφορίας ή οι λωρίδες μεταφοράς (Εικόνα 6).



Εικόνα 6: Αναπαράσταση αεροπορικών διαδρομών (Πηγή: openflights.org).

Οι αναπαραστάσεις όταν προβάλλονται σε τοπικό επίπεδο, παρουσιάζουν αμετάβλητη την θέση τους σε μια οριοθετημένη περιοχή. Κατά συνέπεια η μέθοδος αυτή να ενδεικνύεται για μικρής έκτασης δεδομένα. Επιπροσθέτως απαιτείται η υποστήριξη της απεικόνισης σε προβολικά συστήματα που καθορίζονται σε επίπεδες 2D επιφάνειες. Η προβολή σε τοπικό επίπεδο ενδεικνύεται επίσης για επιστημονική προβολή δεδομένων, όπου το ζητούμενο είναι το σχετικό μέγεθος των χαρακτηριστικών και όχι η φυσική τοποθεσία των περιεχομένων ενός ελλειψοειδούς (Harder, 2015).

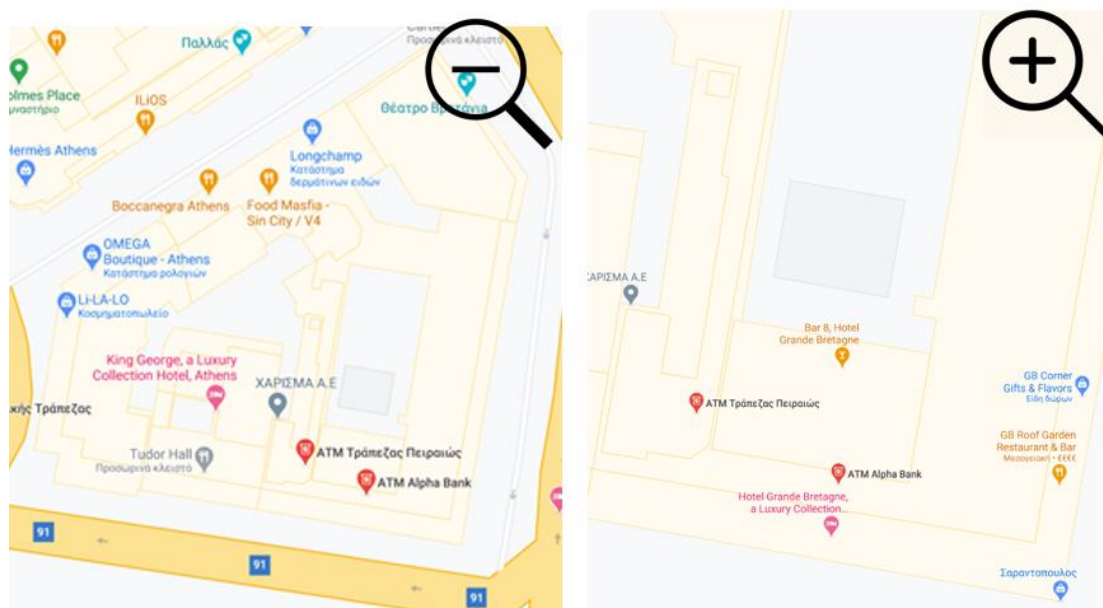
1.3.3 Επιφάνειες

Τα δεδομένα επιφανειών για οποιοδήποτε σημείο περιλαμβάνουν τιμές x , y , z . Η επιφάνεια μπορεί να αποτελεί μία φυσική οντότητα που υπάρχει πραγματικά, για παράδειγμα μια οροσειρά ή μια ιδεατή επιφάνεια, που μπορεί να υπάρχει στο μέλλον. Μπορεί ακόμη και να αναπαραστήσει ένα θέμα που υπάρχει μόνο σαν έννοια, π.χ. επιφάνεια πυκνότητας πληθυσμού. Η ακρίβεια των επιφανειών μπορεί να διακυμαίνεται από ακρίβεια ενός εκατοστού μέχρι μερικές δεκάδες μέτρα ή και περισσότερο, δηλαδή να είναι είτε υψηλής, είτε χαμηλής ανάλυσης. Η επιφάνεια είναι θεμελιώδεις δομική μονάδα για τις περισσότερες αναπαραστάσεις. Παρέχουν ένα υπόβαθρο στο οποίο μπορεί να εισαχθεί περιεχόμενο. Σε κάποιες περιπτώσεις η επιφάνεια είναι επίκεντρο, π.χ. μια αναπαράσταση ενός βουνού. Ωστόσο, σε κάποιες περιπτώσεις ο ρόλος της εξυπηρετεί την «φιλοξενία» άλλων πιο σημαντικών δεδομένων π.χ. τα όρια μιας διοικητικής περιοχής. Είναι δυνατόν οι επιφάνειες να παρέχουν πληροφορίες ύψους βάσης για τρισδιάστατα (3D) διανυσματικά σύμβολα όπως δέντρα, κτίρια κλπ., που σε διαφορετική

περίπτωση δεν θα ήταν εφικτός ο προσδιορισμός της κατακόρυφης θέσης τους μέσα στο απεικονιζόμενο περιβάλλον (Harder, 2015).

1.3.4 Πραγματικό και εικονικό μέγεθος

Ζητούμενο στα τρισδιάστατα (3D) μοντέλα είναι ο συμβολισμός χαρακτηριστικών στο αναλογικό μέγεθος που έχουν στον πραγματικό κόσμο. Ένα εικονικό περιβάλλον για παράδειγμα πρέπει να αναπαριστά για παράδειγμα τα αντικείμενα (δέντρα, σπίτια κλπ.) στο ίδιο σχετικό μέγεθος που υφίστανται στον πραγματικό κόσμο. Επιπροσθέτως είναι χρήσιμο να υπάρχει η δυνατότητα τα αντικείμενα στην απεικόνιση να έχουν το αντίστοιχο μέγεθος στην οθόνη, δηλαδή καθώς πραγματοποιείται μεγέθυνση και σμίκρυνση μέσα στο σκηνικό το αντικείμενο να παρουσιάζεται με τον ίδιο αριθμό εικονοστοιχείων στην οθόνη. Έτσι θα είναι σε αντιστοιχία με τον δισδιάστατο (2D) χάρτη, όπου το μέγεθος των συμβόλων δεν αλλάζουν καθώς μεταβάλλεται η κλίμακα (Εικόνα 7) (Harder, 2015).



Εικόνα 7: Σημεία ενδιαφέροντος από το κέντρο της Αθήνας (Πηγή: Google Earth)

1.3.5 Μοντέλο δεδομένων

Ως μοντέλο δεδομένων ορίζεται «ένα ολοκληρωμένο σύνολο λεπτομερειών της επιφάνειας της γης» (Καϊμάρης & Καρανικόλας, 2014). Επι παραδείγματι ένα ψηφιδωτό μοντέλο δεδομένων περιέχει τις ιδιότητες της επιφάνειας της γης, σε κελιά. Δηλαδή, το μοντέλο σε ψηφιακή μορφή είναι στην πραγματικότητα η ίδια η βάση δεδομένων (ΒΔ). Στη ΒΔ εμπεριέχονται κανόνες και λειτουργίες, που αλληλοεπιδρούν μεταξύ στοιχείων και δεδομένων για την αλλαγή της κατάστασης τους και ανεξάρτητα από τον τρόπο

αποθήκευσης τους. Τα στοιχεία που περιέχονται σε μία ΒΔ ανάλογα με το σύστημα που διαχειρίζεται το απεικονιζόμενο μοντέλο ή αλλιώς το σύστημα διαχείρισης βάσεων δεδομένων (ΣΔΒΔ), διατηρούνται σε σύνολα δεδομένων ή χωριστά. Σε κάποιες περιπτώσεις, εξαιτίας του μεγέθους και της πολυπλοκότητας του αναπαριστώμενου μοντέλου δεν είναι εφικτή η διατήρηση και διαχείριση του από μια ΒΔ. Συνεπώς είναι αδύνατη η αναπαράσταση όλων των πτυχών της πραγματικότητας ενός εκτεταμένου μοντέλου.

Εκ των πραγμάτων λοιπόν, η χρήση και ο σκοπός του μοντέλου είναι οι παράμετροι που κρίνουν την ποιότητα του. Ένα ολοκληρωμένο μοντέλο έχει σαν αποστολή την αντιπροσώπευση διαφόρων απόψεων της πραγματικότητας, γεγονός που του προσδίδει μεγαλύτερο ειδικό βάρος και αξία, διότι είναι σε θέση να εξυπηρετήσει περισσότερους και πιο σύνθετους σκοπούς (Pilouk, 1996).

1.3.6 Συστατικά μέρη ενός μοντέλου

Η ύπαρξη ενός απεικονιστικού μοντέλου με τη μορφή ΒΔ απαιτεί την κατηγοριοποίηση των πτυχών που αποτελούν τον πραγματικό κόσμο σε επιμέρους συστατικά μέρη τα οποία θα είναι διαχειρίσιμα από ένα ΣΔΒΔ (Pilouk, 1996). Τα συστατικά μέρη ενός μοντέλου είναι:

- α. Τύποι αντικειμένων, οι κλάσεις χωρικών οντοτήτων σε ένα γεωχωρικό μοντέλο (δρόμος, ποτάμι, πόλη, χρήση γης κλπ.).
- β. Χωρικές Σχέσεις, οι συσχετισμοί μεταξύ δύο ή περισσότερων χωρικών αντικειμένων.
- γ. Χαρακτηριστικά ή περιγραφές αντικειμένων (ένα χαρακτηριστικό ή μια περιγραφή πρέπει να συσχετίζεται με έναν τύπο αντικειμένου ή μια σχέση στο χώρο, ώστε να έχει νόημα).
- δ. Λειτουργίες, δύο τύποι λειτουργιών μπορούν να διακριθούν τυπικές και προσδιορισμένες από το χρήστη
 - Προσδιορισμένη λειτουργία, δημιουργείται συνδυάζοντας διαφορετικούς τύπους και ακολουθίες τυπικών λειτουργιών.
 - Τυπικές λειτουργίες, παρέχονται για εργασίες ρουτίνας (ανάκτηση, προσθήκη, διαγραφή κλπ.) (Pilouk, 1996).

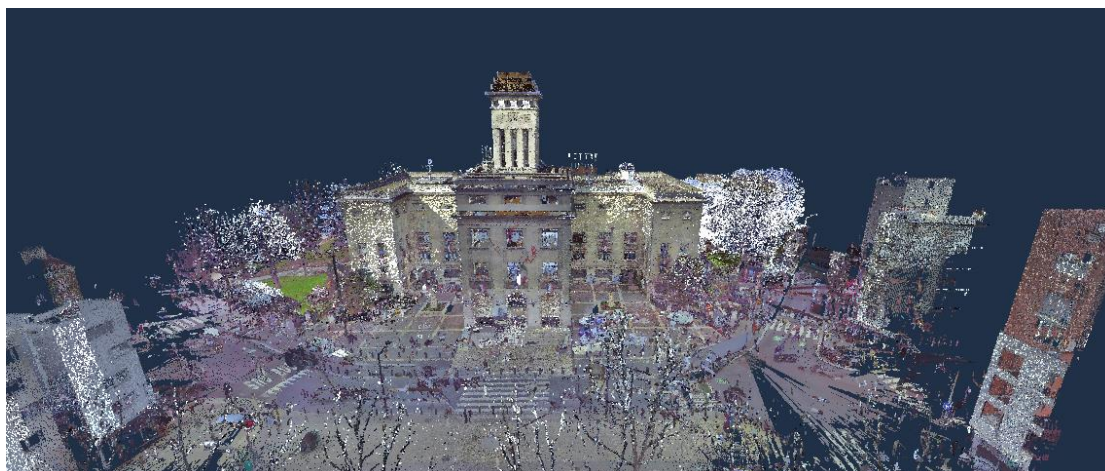
1.3.7 Τύποι 3D δεδομένων

Η συλλογή τρισδιάστατων (3D) δεδομένων είναι μία πολύπλοκη διαδικασία η οποία είναι χρονοβόρα και απαιτεί υψηλό κόστος. Ένας από τους λόγους για τους οποίους

είναι δυσεύρετα τα δεδομένα για τρισδιάστατη (3D) απεικόνιση είναι η δυσκολία απόκτησής τους. Μόνο με οργανωμένες προσπάθειες συλλογής είναι εφικτή η απόκτηση τους. Βασικοί πυλώνες ανάπτυξης της συλλογής των τρισδιάστατων (3D) δεδομένων είναι κρατικές υπηρεσίες, μεγάλοι οργανισμοί και επιχειρήσεις.

1.3.7.1 Δεδομένα LIDAR (Light Detection and Ranging)

Η τεχνολογία LiDAR αναπτύχθηκε μετά το 2000. Προέρχεται από τον όρο Light Detection and Ranging, ενώ είναι γνωστή και σαν Laser. Αποτελεί μια μέθοδο ενεργητικής τηλεπισκόπησης η οποία χρησιμοποιεί τεχνικές τρισδιάστατης σάρωσης με δέσμη Laser για τη συλλογή υψομετρικών δεδομένων μεγάλης πυκνότητας, ανά τετραγωνικό μέτρο και ακρίβειας. Σήμερα χρησιμοποιείται ευρέως για την ανάκτηση της τρισδιάστατης δομής της επιφάνειας του εδάφους και της βλάστησης κάτω από οποιοσδήποτε συνθήκες φωτισμού, παρουσιάζοντας σημαντική μείωση του κόστους και του χρόνου έναντι των παραδοσιακών μεθόδων με μετρήσεις πεδίου.

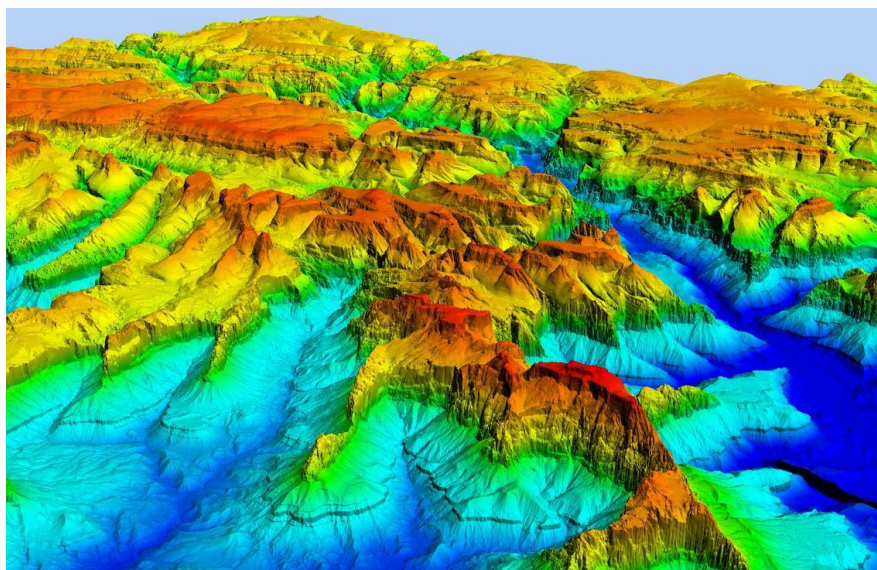


Εικόνα 8: Point Cloud, (Πηγή: "Mairie de Montreuil station". Scene created by G2S GeoSystem Surveying, <http://www.g2sfrance.com/geometre/#maps>)

Τα συστήματα LiDAR ακτινοβολούν προς έναν στόχο με μια ενεργειακή δέσμη ακτινοβολίας, ενώ καταγράφουν την ανακλώμενη από το στόχο ποσότητα της μαζί με τις μεταβολές που υφίσταται το αρχικό εκπεμπόμενο σήμα από την ανάκλαση. Με βάση τις διαφορές των χρόνων επιστροφής των παλμών καθώς και των μηκών κύματος, παράγεται η τρισδιάστατη αναπαράσταση του στόχου και η ακριβής απόσταση από το αντικείμενο. Γνωρίζοντας την ακριβή θέση και προσανατολισμό του αεροσκάφους είναι εφικτό να καθοριστούν οι χωρικές συντεταγμένες καθενός επιστρεφόμενου παλμού, παράγοντας ένα συνολικό γεωαναφερόμενο νέφος σημείων (Point cloud).

Τα παραγόμενα, με την παραπάνω διαδικασία προβάλλονται ως τρισδιάστατο (3D) μοντέλο, παρέχοντας λεπτομερείς πληροφορίες για την υπό εξέταση περιοχή

ακόμα και σε περιπτώσεις πυκνής βλάστησης. Τα υπολογισθέντα υψόμετρα, μπορούν να συνδυαστούν με τις ψηφιακές αεροφωτογραφίες για την παραγωγή των ψηφιακών μοντέλων εδάφους (Digital Terrain Model - DTM) (Εικόνα 8).



Εικόνα 9: Digital Terrain Model - DTM (Πηγή: <https://gisgeography.com/free-global-dem-data-sources/>)

Με την τεχνολογία LiDAR, είναι δυνατή η μαζική παραγωγή διαχειρίσιμων δεδομένων που μπορούν να οπτικοποιηθούν, να αναλυθούν και να διαμοιραστούν σε άλλους χρήστες. (1008). Τα δεδομένα αυτά, με την εισαγωγή τους σε κάποιο λογισμικό το οποίο μπορεί να τα «διαβάσει», εμφανίζονται με διαφορετικές τιμές χρωμάτων για τα διαφορετικά ύψη του εδάφους που προέρχονται. Η αίσθηση ενός τρισδιάστατου εδάφους δημιουργείται από τις ευδιάκριτες χρωματικές υφές που αντιστοιχούν στις διαφορετικές κλίμακες υψομέτρων. Η τεχνολογία LiDAR μάς δίνει την δυνατότητα για την ημιαυτόματη αναπαράσταση αστικού περιβάλλοντος ή τμημάτων αυτού αλλά και μεμονωμένων κτιρίων. Επιπλέον, έχουν την δυνατότητα παροχής τρισδιάστατων σημείων τα οποία μπορούν να προσφέρουν επιπλέον πληροφορίες σχετικά με την κτηριακή γεωμετρία (περίγραμμα ενός κτιρίου).

1.3.7.2 Ολοκληρωμένα πλέγματα δεδομένων

Τα ολοκληρωμένα πλέγματα δεδομένων παράγονται μέσω μιας αυτοματοποιημένης διαδικασίας που αξιοποιεί έναν ποικίλο αριθμό επικαλυπτόμενων εικόνων για την κατασκευή τρισδιάστατων (3D) αντικειμένων. Οι εικόνες εισάγονται και ενσωματώνονται σε ένα πλέγμα με υφή, χρησιμοποιώντας αλληλοσυνδεόμενες τριγωνικές δομές. Έτσι, τρισδιάστατα (3D) αντικείμενα όπως για παράδειγμα γέφυρες, κτίρια, βλάστηση

κλπ., μπορούν να αναπαρίστανται, με ρεαλιστικές υφές και συμπεριλαμβάνοντας τις πληροφορίες για τα υψόμετρα τους (Εικόνα 9).



Εικόνα 10: Ολοκληρωμένο πλέγμα τρισδιάστατων δεδομένων (Πηγή: <https://medium.com/@Esri/introducing-arcgis-earth-3d-made-easy-3f9bda068bb7>).

1.3.7.3 Δεδομένα εικόνων από UAV

Τις τελευταίες δεκαετίες, αυξάνεται όλο και περισσότερο η χρήση των UAV (Unmanned Aerial Vehicles) δηλαδή μη επανδρωμένων εναέριων πτητικών μέσων για την συλλογή φωτογραφιών υψηλής ανάλυσης (Εικόνα 10). Τα UAV είναι κατάλληλα σχεδιασμένα για να συλλέξουν δεδομένα σε δυσπρόσιτα σημεία. Βασική προϋπόθεση για να μπορέσουν τα συστήματα ΣΓΠ να αξιοποιήσουν τις φωτογραφίες αυτές είναι η επισύναψη γεωναφοράς εντός των φωτογραφιών προκειμένου να προσδιοριστεί η τοποθεσία σύλληψης των εικόνων.



Εικόνα 11: Συλλογή φωτογραφιών από UAV (Πηγή: <https://www.infotechenterprises.net>).

βοήθεια ενός υπομνήματος και την επιλογή διαφορετικών γωνιών θέασης. Έτσι διάφορα στοιχεία είναι άμεσα αναγνωρίσιμα.

Η οπτικοποίηση του πραγματικού κόσμου ως στατικές τρισδιάστατες προβολές εναέριας άποψης (bird's eye view) είναι μια επιτυχημένη προσπάθεια κατανόησης ενός ευρύτερου σκηνικού. Όλο και περισσότερος κόσμος, με την «εισβολή» των ψηφιακών συσκευών έχει εξοικειωθεί με την προβολή του αστικού περιβάλλοντος με τον τρόπο αυτό και αξιοποιεί τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η τεχνολογία. Η ταχύτητα προσανατολισμού και η κατανόηση χώρου έχει αυξηθεί κατακόρυφα.



Εικόνα 13: "Bird's eye view" από την Βαρκελώνη (Πηγή: <http://home.bt.com>).

Τέλος η πλοήγηση έχει γίνει φιλικότερη για τον χρήστη. Η τρίτη διάσταση βοηθά στην αναπαραγωγή του υπαρκτού κόσμου, καθώς τα δεδομένα που απεικονίζονται στο πραγματικό τους μέγεθος και την σωστή τους θέση. Είναι δυνατή η κατανόηση του περιβάλλοντος διαισθητικά από τον χρήστη που περιηγείται στο αναπαραριστώμενο σκηνικό (Harder, 2015).

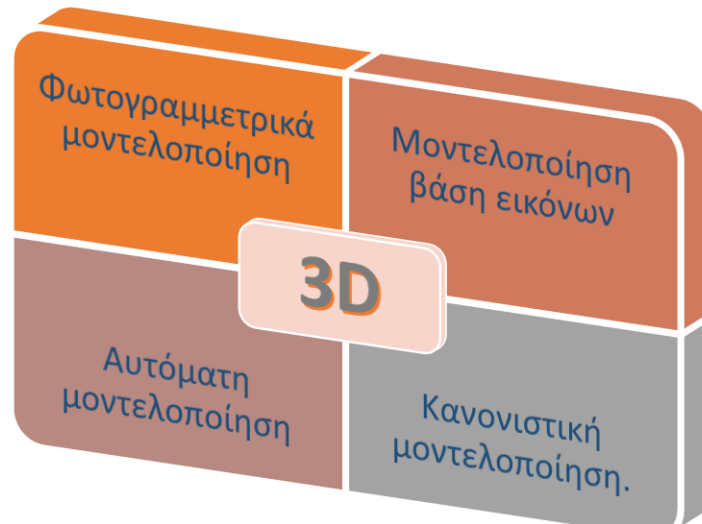
1.5 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ

Στα τρισδιάστατα (3D) γραφικά υπολογιστών, η τρισδιάστατη (3D) μοντελοποίηση αφορά την διαδικασία ανάπτυξης μιας μαθηματικής αναπαράστασης κάθε τρισδιάστατης (3D) επιφάνειας ενός αντικειμένου μέσω εξειδικευμένου λογισμικού. Το αναπαραριστώμενο αντικείμενο ονομάζεται τρισδιάστατο (3D) μοντέλο και μπορεί να δημιουργηθεί είτε αυτοματοποιημένα, είτε χειροκίνητα. Αν θέλαμε να καταγράψουμε τις σημαντικότερες τεχνικές για την δημιουργία τρισδιάστατων (3D) μοντέλων θα σταθούμε στις εξής:

- Φωτογραμμετρικά μοντελοποίηση
- Μοντελοποίηση βάσει εικόνων

- Αυτόματη μοντελοποίηση
- Κανονιστική μοντελοποίηση.

Η επιλογή της τεχνικής θα καθορίζονταν από την απαιτούμενη χρήση του τελικού τρισδιάστατου (3D) μοντέλου. Γεγονός είναι ότι κάθε μια από τις παραπάνω τεχνικές, επεξεργάζεται την εικόνα δημιουργώντας γεωμετρία στις τρεις διαστάσεις.



Εικόνα 14: 3D Μοντελοποίηση(Πηγή: Ιδία εργασία).

1.5.1 Χρήση της Φωτογραμμετρίας και Τηλεπισκόπησης στην τρισδιάστατης Μοντελοποίηση

Η φωτογραμμετρία αποτελεί μια μετρητική τεχνολογία με την οποία έχουμε την δυνατότητα να δημιουργήσουμε τρισδιάστατες (3D) αναπαραστάσεις από εικόνες. Είναι γεγονός ότι οι έρευνες πεδίου αποτελούν μια πιο αξιόπιστη διαδικασία σε σχέση με τις φωτογραμμετρικές μετρήσεις. Όμως οι απαιτήσεις σε προσωπικό και χρόνο τις καθιστούν ιδιαίτερα κοστοβόρες. Μέσω της φωτογραμμετρίας και της τηλεπισκόπησης είναι δυνατή η μέτρηση στοιχείων μέσω εικόνων. Ένα ολοκληρωμένο σύστημα φωτογραμμετρίας και τηλεπισκόπησης αποτελείται από το Υλικό και το Λογισμικό (Hardware, Software) που εξάγει φωτογραμμετρικά και τηλεπισκοπικά προϊόντα μέσα από ψηφιακές εικόνες. Οι τεχνικές που ακολουθούνται μπορεί να είναι χειροκίνητες ή αυτόματες. Ουσιαστικά πραγματοποιείται οπτικοποίηση τρισδιάστατων (3D) μοντέλων με μεγάλη ακρίβεια μέσω δηλαδή της εξαγωγής τρισδιάστατων (3D) σημείων από εικόνες. Η φωτογραμμετρία στις μέρες μας είναι μια διαδεδομένη μέθοδος και μια εναλλακτική λύση για την πραγματοποίηση μετρήσεων σε πολλούς τομείς ακόμη και σε δυσπρόσιτα σημεία.



Εικόνα 15: Χρήση φωτογραμμετρίας για την μοντελοποίηση κτίσματος.

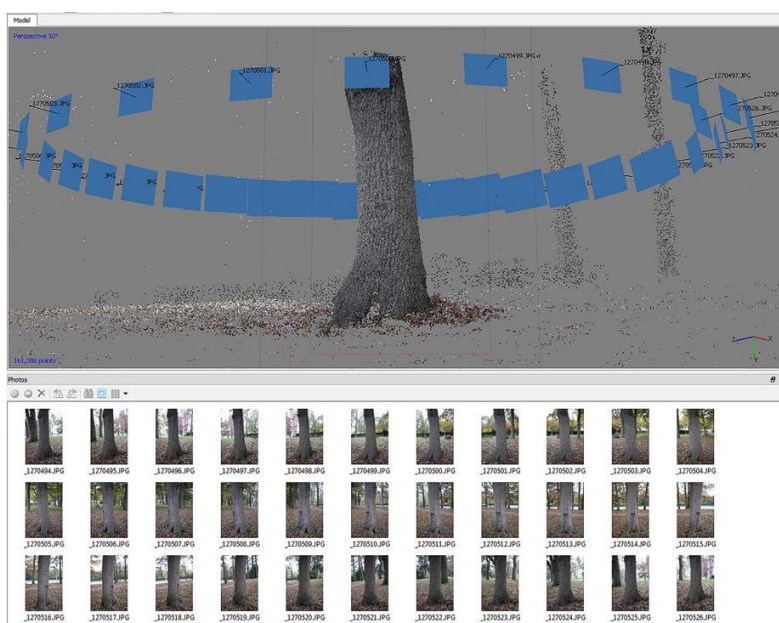
Η «πρώτη ύλη» της φωτογραμμετρικής μεθόδου (τα δεδομένα) είναι εικόνες οι οποίες μπορεί να είναι αναλογικές ή ψηφιακές. Στην περίπτωση που είναι αναλογικές θα πρέπει να γίνει σάρωση προκειμένου να ψηφιοποιηθούν. Στην συνέχεια, οι εικόνες εισάγονται σε λογισμικό φωτογραμμετρικής μοντελοποίησης για να γίνει η επεξεργασία. Για την αναπαράσταση ενός κτιρίου, για παράδειγμα, επιλέγονται οι γωνίες του (σημεία αναφοράς), τα οποία είναι εύκολο να αναγνωριστούν και να διαχωριστούν. Κάθε βασικό σημείο αναγνωρίζεται στο σύνολο των εικόνων που περιέχεται. Η δημιουργία του τρισδιάστατου (3D) μοντέλου γίνεται διαδραστικά με την τμηματοποίηση των σημείων σε ξεχωριστά αντικείμενα και με την επεξεργασία του παραγόμενου αποτελέσματος.

Ένα τρισδιάστατο (3D) μοντέλο, π.χ. ένα κτίριο, στο οποίο παρουσιάζεται μόνο ο σκελετός έχοντας δηλαδή μόνο τις κορυφές και τις ακμές του απεικονίζει την γενική μορφή του κτιρίου. Με την προσθήκη των υφών και των επιφανειών το κτίριο γίνεται πιο ρεαλιστικό με το τελικό τρισδιάστατο (3D) μοντέλο να προσεγγίζει το πραγματικό αντικείμενο. Στην πραγματικότητα τόσο η φωτογραμμετρία όσο και η τηλεπισκόπηση αποτελούν μια εναλλακτική αλλά αποτελεσματική λύση για την δημιουργία και οπτικοποίηση τρισδιάστατων (3D) αντικειμένων. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι φωτογραμμετρικές και τηλεπισκοπικές τεχνικές εξάγουν τόσο γεωμετρική όσο και σημασιολογική πληροφορία από εικόνες ακόμα και με χρήση υπέρυθρων ακτινών (Τρανάκα, 2014; Shashi & Kamal, 2017).

1.5.2 3D Μοντελοποίηση βάσει εικόνων (Image-based modeling)

Η μοντελοποίηση βάσει εικόνων (Image-based modeling) στην πραγματικότητα είναι μία καινούργια τεχνική με την οποία χρησιμοποιούνται εικόνες για την ανασύσταση φυσικών μοντέλων που συναντάμε σε ένα περιβάλλον. Πραγματοποιείται μέσω

ηλεκτρονικών υπολογιστών για δημιουργία τρισδιάστατων (3D) μοντέλων και βασίζεται σε πραγματικές γεωμετρίες. Βρίσκει εφαρμογή σε διάφορους κλάδους εξαιτίας της ρεαλιστικής απεικόνισης των μοντέλων και έχει υψηλή αποδοχή στον τομέα των γραφικών υπολογιστών. Η περιγραφείσα μοντελοποίηση βασίζεται σε ένα σύνολο 2D εικόνων μιας σκηνής, έχοντας ως σκοπό την οπτικοποίηση ενός τρισδιάστατου (3D) αντικειμένου και τη δυνατότητα θέασης αυτής της σκηνής από διαφορετικές προοπτικές (Εικόνα 15).



Εικόνα 16: Image-based modeling (Πηγή: <https://www.agisoft.com>).

Για την παραγωγή της τρισδιάστατης (3D) γεωμετρίας και την απόδοση υφών σε ένα αντικείμενο αξιοποιούνται πολλές εικόνες. Αποτελεί μία πολλά υποσχόμενη λύση για την αστική ανοικοδόμηση αλλά απαιτείται ακόμα περισσότερη εξέλιξη στους μηχανισμούς επεξεργασίας και εξαγωγής. Σταθμίζοντας τα οφέλη θα σημειώναμε την ικανότητα εντοπισμού λεπτομερειών και τις επιδράσεις του πραγματικού κόσμου που σχετίζονται με ατέλειες της πραγματικότητας, κάτι που αγνοούνταν έως τώρα. Δύο σημαντικά και μακροχρόνια προβλήματα στα γραφικά υπολογιστών μπορούν να αντιμετωπιστούν με την χρήση των εικόνων από την συγκεκριμένη μέθοδο:

- α) Η ανάγκη για απλές τεχνικές τρισδιάστατης (3D) μοντελοποίησης, κατάλληλες για την αναπαράσταση πολύπλοκων σκηνών.
- β) Η ανάγκη για επιτάχυνση της απόδοσης.

Τέλος, αξιοσημείωτη εξέλιξη στα λογισμικά της παρούσας μοντελοποίησης είναι η δυνατότητα παραγωγής νεφών σημείων (point cloud) από ένα σύνολο εικόνων με

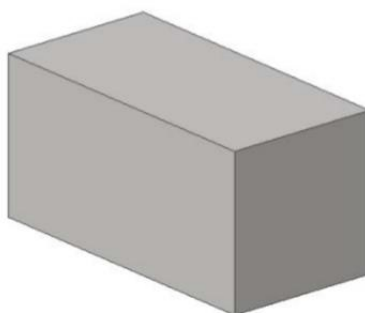
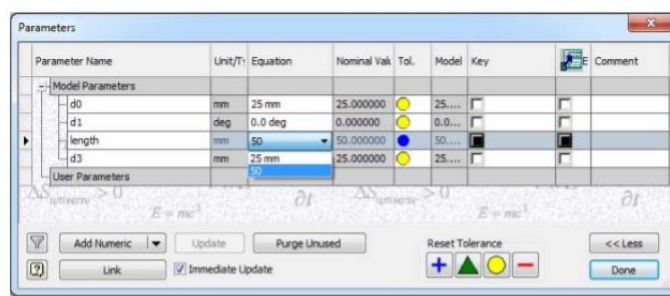
αποτέλεσμα της δημιουργία τρισδιάστατων (3D) μοντέλων υψηλής ακρίβειας (Τρανάκα, 2014).



Εικόνα 17: Σύννεφο σημείων (point cloud) κτίσματος από το λογισμικό 3DS Max της Autodesk (Πηγή: www.autodesk.com).

1.5.3 Παραμετρική μοντελοποίηση

Η παραμετρική μοντελοποίηση θέτει στο επίκεντρο ένα σύνολο κανόνων βάση των οποίων κατασκευάζονται όλα τα αντικείμενα. Είναι μια διαδικασία που βασίζεται σε ένα ολοκληρωμένο δίκτυο σχέσεων μεταξύ μεμονωμένων αντικειμένων και όχι στη σταθερή μέτρηση των ποσοτήτων όπως γίνεται στον παραδοσιακό σχεδιασμό. Συνεπώς είναι εφικτές αλλαγές σε ένα μόνο στοιχείο, ενώ συνδέεται με άλλα στοιχεία μέσα σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα. Η μοντελοποίηση δεν είναι χρονοβόρα ούτε κοστοβόρα. Αποτελεί μια πολύ καλή λύση για εφαρμογή στον τομέα της πολεοδομίας, τη δημιουργία προσομοιώσεων, για εκπαιδευτικούς σκοπούς αλλά και στον τομέα της ψυχαγωγίας (κινηματογράφος, videogames κλπ.). Επιπλέον υπάρχει η δυνατότητα να πρόβλεψης μελλοντικών τιμών δεδομένων με την βοήθεια των πληροφοριών που συλλέγονται σχετικά με τα παραμετρικά δεδομένα (Εικόνα 17).



Εικόνα 18: Παραμετρική μοντελοποίηση.

Επιπλέον, κατά τη διαδικασία κατασκευής ενός κτιρίου η μέθοδος αυτή συνίσταται για την τροποποίηση του επιπέδου λεπτομέρειας LOD με παρόμοιες μεθόδους με αυτές της μοντελοποίησης βάσει εικόνων (Muller, Wonka, Haegler, & Ulmer, 2006).

1.5.4 Κανονιστική μοντελοποίηση

Κανονιστική μοντελοποίηση (Procedural Modeling) περιλαμβάνει μια σειρά τεχνικών στα γραφικά υπολογιστών για τη δημιουργία τρισδιάστατων (3D) μοντέλων και υφών από σύνολα κανόνων. Εφαρμόζονται αλγόριθμοι για την παραγωγή σκηνών και το σύνολο των κανόνων μπορεί είτε να ενσωματωθεί στον αλγόριθμο, είτε να είναι ξεχωριστό από τη μηχανή αξιολόγησης.

Αν και όλες οι τεχνικές μοντελοποίησης σε έναν υπολογιστή απαιτούν αλγόριθμους για τη διαχείριση και την αποθήκευση δεδομένων σε κάποιο σημείο, η διαδικαστική μοντελοποίηση επικεντρώνεται στη δημιουργία ενός μοντέλου από ένα σύνολο κανόνων ή στην αυτοβελτίωση των μοντέλων. Η διαδικαστική μοντελοποίηση εφαρμόζεται συχνά όταν θα ήταν υπερβολικά δύσκολο να δημιουργηθεί ένα μοντέλο τρισδιάστατο (3D) χρησιμοποιώντας γενικά μοντέλα τέτοιου είδους ή όταν απαιτούνται πιο εξειδικευμένα εργαλεία. Αυτό συμβαίνει συχνά για αντικείμενα όπως φυτά, την αρχιτεκτονική ή τα τοπία.

Σε αυτού του είδους μοντελοποίησης ο περιορισμένος αριθμός δεδομένων εισόδου παράγει έναν πλουραλισμό δεδομένων εξόδου χωρίς να είναι απαραίτητο αυτή η διαδικασία να σχεδιαστεί ή να αποθηκευτεί και να διαβιβαστεί (Εικόνα18).



Εικόνα 19: Procedural Modeling (Πηγή: <https://vcg.leeds.ac.uk/projects/procex/>).

Είναι ιδιαίτερα δυναμική διαδικασία και αποδεικνύεται πως με την χρήση λειτουργιών και κανόνων είναι δυνατή η δημιουργία ιδιαίτερα πολύπλοκων σχημάτων π.χ. ανακατασκευή τρισδιάστατων (3D) κτιρίων με σύνθετη γεωμετρία (Τρανάκα, 2014).

Ο δυναμισμός της παρούσας τεχνικής μοντελοποίησης πηγάζει από το γεγονός ότι με τη σύνθεση απλών κανόνων πραγματοποιείται η κωδικοποίηση σημασιολογικών και γεωμετρικών σχέσεων. Ένα σημαντικό στοιχείο της διαδικασίας αυτής είναι και η χρήση της γραμματικής σχήματος (Computer Grammar Architecture Shape Grammar-CGA) η οποία είναι μια γλώσσα προγραμματισμού για τη δημιουργία αρχιτεκτονικού περιεχομένου (Χναράκης, 2009). Η ιδέα της μοντελοποίησης αυτής βασίζεται στον καθορισμό κανόνων οι οποίοι αυξάνουν τα επίπεδα λεπτομέρειας του μοντέλου και εφαρμόζεται σε εφαρμογές τρισδιάστατης (3D) μοντελοποίησης (π.χ. City Engine, SketchUp κ.α.)

1.6 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ 3D ΑΣΤΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ

Όταν αναφερόμαστε σε τρισδιάστατα (3D) μοντέλα αστικού χώρου περιγράφουμε την γραφική αναπαράσταση των αντικειμένων που περιέχονται σε μία πόλη 2.5D ή 3D. Τα αντικείμενα αυτά περιλαμβάνονται σε ψηφιακά μοντέλα και για την δημιουργία τους χρησιμοποιούνται τρεις βασικές γεωχωρικές προσεγγίσεις:

1. Αξιοποίηση συμβατικών τεχνικών π.χ. δεδομένα από Διανυσματικούς Χάρτες (Vector Map data), Ψηφιακά Μοντέλα Υψομέτρων (DEM), Αεροφωτογραφίες
2. Υψηλής ανάλυσης δορυφορικές φωτογραφίες από LASER scanning
3. Επίγειες εικόνες Φωτογραμμετρίας (Close Range φωτογραμμετρίας) με Ψηφιακά Μοντέλα Επιφανείας (DSM) και χαρτογράφηση υφής.

Αξιοποιώντας τις παραπάνω προσεγγίσεις τα τρισδιάστατα (3D) μοντέλα εφαρμόζονται πάνω σε διάφορους τομείς διαχείρισης δραστηριοτήτων μια πόλης (Singh, Jain, & Mandla, 2013):

- Οι μεταφορές και πλοήγηση.
- Η περιβαλλοντική διαχείριση.
- Ο αστικός σχεδιασμός.
- Η εμπορική δραστηριότητα της πόλης.
- Η προμήθεια ενέργειας και ο ενεργειακός σχεδιασμός.
- Η δημόσια τάξη και ασφάλεια.
- Η αγορά ακινήτων.
- Η διαχείριση της κυκλοφορίας.
- Η διαχείριση εκδηλώσεων.
- Ο εικονικός τουρισμός.
- Η αντιμετώπιση καταστροφών.

Η επικρατούσα μεθοδολογία κατασκευής αστικού περιβάλλοντος περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

- α. Κατασκευή ενός περιορισμένου μοντέλου με σχετικά χαμηλό επίπεδο λεπτομέρειας, με σκοπό την γενικότερη αναπαράσταση του αστικού χώρου.
- β. Αναβάθμιση συγκεκριμένων τμημάτων του αστικού ιστού εισάγοντας περισσότερη λεπτομέρεια, κυρίως σε περιοχές αυξημένου ενδιαφέροντος.



Εικόνα 20: Σταδιακή μοντελοποίηση πόλης (Πηγή: Biljecki et al. 2016)

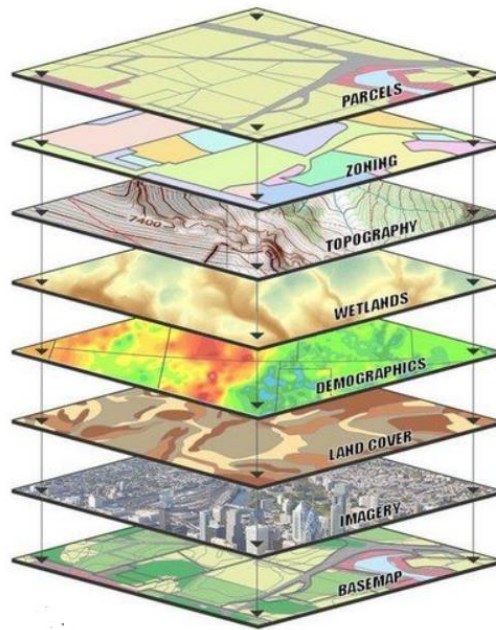
Ιδιαίτερα σημαντικός είναι ο παράγοντας βιωσιμότητας του μοντέλου που θα κατασκευαστεί. Αυτό μπορεί να διασφαλιστεί μόνο εάν τηρούνται οι απαραίτητες

προϋποθέσεις ανάπτυξης, διαχείρισης, αναβάθμισης και διαμοιρασμού του μοντέλου. Με λίγα λόγια πρέπει να είναι αξιοποιήσιμο, με δυνατότητες συμπλήρωσης και επέκτασης. Να δημιουργούνται δηλαδή οι προϋποθέσεις σε οργανισμούς, ιδρύματα και εταιρίες όχι μόνο να το χρησιμοποιήσουν σε εφαρμογές και έρευνες αλλά να δίνονται και κίνητρα για να την αναβάθμισή του. Για να είναι εφικτή μια τέτοιου είδους μοντελοποίηση πρέπει να επιλεγούν κατά τον σχεδιασμό πρότυπα που βασίζονται σε αντίστοιχες χωρικές βάσεις δεδομένων και σε ανοικτές δομές προτυποποίησης (π.χ. CityGML) (de Vries & Zlatanova, 2011).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: 3D ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (ΣΓΠ)

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο χώρος των τρισδιάστατων (3D) ΣΓΠ είναι ένα πεδίο στο οποίο λαμβάνουν χώρα εντατικές έρευνες. Τα πραγματικά γεωγραφικά αντικείμενα ενσωματώνουν χωρικές και θεματικές ιδιότητες που πρέπει να διατηρούνται και να αναλύονται με τρισδιάστατο τρόπο. Εκτός από το σύνολο των στοιχείων που πρέπει να περιέχει ένα ΣΓΠ οφείλει να διασφαλίζει την αποτελεσματική διαχείριση και αξιοποίηση ενός τρισδιάστατου (3D) μοντέλου. Αποτέλεσμα αυτών των λειτουργιών είναι η ανασύσταση μια απεικόνιση του περιβάλλοντος με υψηλή ποιότητα και μεγάλη ακρίβεια, ώστε να αναπαρίστανται με ρεαλισμό όλες οι πτυχές της πραγματικότητας. Καθοριστικής σημασίας αποτελεί η λειτουργικότητα του χωρικού μοντέλου, η οποία είναι σε άμεση συνάρτηση με την πολυπλοκότητα του (Pilouk, 1996). Η ενσωμάτωση χωρικών και θεματικών δεδομένων τρισδιάστατης (3D) μορφής σε συνδυασμό με τις διαμορφωθείσες συσχετίσεις τους αποτελούν καθοριστικό παράγοντα για την πολυπλοκότητα του συστήματος. Αναμφίβολα τα τρισδιάστατα (3D) ΣΓΠ είναι τα ενδεδειγμένα συστήματα για τη διατήρηση της χωρικής και θεματικής πληροφορίας καθώς και της τρισδιάστατης (3D) τοπολογίας. Παραδοσιακά συστήματα τρισδιάστατης (3D) μοντελοποίησης δεν μπορούν να διαχειριστούν την τρισδιάστατη (3D) γεωμετρία ή υπολείπονται εκτεταμένης χωρικής και θεματικής ανάλυσης (Zlatanova, Rahman, & Pilouk, 2002). Καταγραφή, δόμηση χωρικών δεδομένων σε γεωβάση αλλά και ανάλυση/απεικόνιση του αποτελέσματος είναι μερικές από τις εργασίες οι οποίες απαιτούνται από ένα σύγχρονο σύστημα. Όσον αφορά τον τομέα της τρισδιάστατης (3D) απεικόνισης οι εξελίξεις είναι ραγδαίες. Οι τεχνικοί περιορισμοί στη χρήση της τρισδιάστατης (3D) πληροφορίας (επεξεργαστική ισχύ, εργαλεία τρισδιάστατης (3D) απεικόνισης) έχουν περιοριστεί. Καθοριστικό ρόλο σε αυτές τις εξελίξεις παίζουν τα νέα διαδικτυακά απεικονιστικά περιβάλλοντα, όπως Google Earth, Bing και OpenStreetMap. Τα οποία δίνουν τη δυνατότητα πρόσβασης και απεικόνισης τρισδιάστατης (3D) πληροφορίας με απλό και κατανοητό τρόπο σε ειδικούς και μη.



Εικόνα 21: Η διαστρωμάτωση της πληροφορίας σε ένα ΣΓΠ (Πηγή: <https://www.usgs.gov>)

Επί της ουσίας ένα τρισδιάστατο (3D) ΣΓΠ, κατά κάποιο τρόπο είναι μια εξελιγμένη μορφή ενός σκίτσου ή σχεδιαγράμματος της τρισδιάστατης (3D) πραγματικότητας. Οι 2D παραδοσιακοί χάρτες δεν μπορούν να αντιπαρέλθουν της εγγενούς τους αδυναμίας αξιοποίησης ορθογώνιων προβολών της γης. Συνέπεια αυτού είναι να δημιουργείται μια περιορισμένη αίσθηση για τον τρισδιάστατο (3D) κόσμο. Εν αντιθέσει με τα τρισδιάστατα (3D) ΣΓΠ που δεν υφίσταται κάτι τέτοιο (Pilouk, 1996).

Επιπροσθέτως είναι εφικτό στα τρισδιάστατα (3D) ΣΓΠ η γνώση για τον πραγματικό κόσμο να μεταφερθεί αυτοματοποιημένα σε ένα τρισδιάστατο (3D) ψηφιακό μοντέλο, μέσω της διαδικασίας της μοντελοποίησης και τη χρήση υπολογιστή.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να γίνει κατανοητή η διάκριση της πραγματικότητας από την θέαση αυτής. Μόνο με αυτό τον τρόπο μπορεί να γίνει ακριβής και επαρκής απεικόνιση του πραγματικού κόσμου. Επιστήμες και κλάδοι όπως η γεωλογία, γεωγραφία, αρχιτεκτονική, κατασκευές και μηχανολογία εξαρτώνται άμεσα από τις τρισδιάστατες (3D) αναπαραστάσεις. Η περαιτέρω ανάπτυξη τον ΣΓΠ στην τρίτη διάσταση αποτελεί μία αναγκαιότητα.

Για παράδειγμα:

- Κυβερνητικές υπηρεσίες και οργανισμοί χρειάζονται εργαλεία και μέσα για τον σχεδιασμό και διαχείριση τομέων όπως η κυκλοφορία και η αποφυγή καταστροφών.

- Ερευνητές και ιδρύματα αξιοποιούν τα συστήματα αυτά για τη μελέτη προσομοιώσεις φαινομένων όπως η αύξηση της θερμότητας, η ρύπανση και η διαχείριση εκτάκτων φαινομένων σε αστικούς ιστούς.
- Τηλεπικοινωνιακές εταιρείες “απαιτούν” δεδομένα σε τρισδιάστατη (3D) μορφή για τη μελέτη και υπολογισμό φαινομένων που άπτονται τη διάδοση των κυμάτων σε αστικά περιβάλλοντα.
- Ο χώρος των κατασκευών χρειάζεται τα τρισδιάστατα (3D) ΣΓΠ συστήματα για τη δημιουργία φωτορεαλιστικών μοντέλων. Τα συστήματα αυτά αποτελούν ένα σημαντικότατο εργαλείο για την απεικόνιση και σχεδιασμό αστικού χώρου.
- Η ακρίβεια και η ευκολία χρήσης συστημάτων πλοήγησης εξαρτάται άμεσα από τα διαθέσιμα τρισδιάστατα (3D) δεδομένα.
- Τα τρισδιάστατα (3D) ΣΓΠ συμβάλλουν στην βελτίωση των συμμετοχικών διαδικασιών λήψης αποφάσεων των πολιτών.

Αν θα έπρεπε να κατηγοριοποιήσουμε τις εφαρμογές των τρισδιάστατων (3D) ΣΓΠ θα της εντάσσαμε στις παρακάτω κατηγορίες:

1. Διαχείριση και προσομοίωση.

Με τη χρήση των τρισδιάστατων (3D) ΣΓΠ, έχουμε τη δυνατότητα να υλοποιήσουμε εναλλακτικά μοντέλα πριν καταλήξουμε σε οριστικές αλλαγές. Μπορούμε να προβλέψουμε επιπτώσεις πιθανών αλλαγών και να αποφασίσουμε με σχετική ασφάλεια για τον αστικό σχεδιασμό.

2. Διαμοιρασμός

Τα τρισδιάστατα (3D) μοντέλα βοηθούν στην κατανόηση σημαντικών λεπτομερειών της δομής του αναπαραχθέντος περιβάλλοντος με σαφέστατα ευκολότερο τρόπο ακόμα και από μη ειδικούς. Ο διαμοιρασμός και η επαναχρησιμοποίηση των μοντέλων και των πληροφοριών που εμπεριέχουν προσδίδει προστιθέμενη αξία σε αυτά και τα καθιστά επαναχρησιμοποιήσιμο σε μεγαλύτερο φάσμα εργασιών και τομέων της παραγωγικής ζωής.

3. Ψυχαγωγία

Εκτός της επίλυσης προβλημάτων, η τεχνολογία αυτή έχει εφαρμογές και σε τομείς όπως η διασκέδαση και η ψυχαγωγία. Τα τρισδιάστατα (3D) ΣΓΠ μπορούν να αξιοποιηθούν για την δημιουργία αστικού περιβάλλοντος ο οποίος θα βασίζεται στον

φυσικό κόσμο αλλά και στον εικονικό για εφαρμογές Virtual Reality (VR), Video Games και ταινίες.

Δομικό στοιχείο ενός τρισδιάστατου (3D) ΣΓΠ είναι το τρισδιάστατου (3D) μοντέλο, το οποίο παρέχει τη απαραίτητη λειτουργικότητα για μία σειρά εφαρμογών που αξιοποιούνται στους διάφορους τομείς, την επίτευξη των διαφόρων λειτουργιών των κλάδων αυτών. Αυτού του είδους οι λειτουργίες αναμένονται από τη τρισδιάστατη (3D) μοντελοποίηση, όπως είναι: η παροχή των μέσων για την κατασκευή ενός τρισδιάστατου (3D) μοντέλου από διαφορετικά δεδομένα εισόδου, η συντήρηση και διατήρηση των υφιστάμενων μοντέλων, η διευκόλυνση της αποτελεσματικής οπτικοποίησης σε τρισδιάστατη μορφή, για παράδειγμα με ορθογραφική προοπτική ή στερεοσκοπική απεικόνιση, με αφαίρεση γραμμών/επιφανειών, φωτισμό επιφάνειας, χαρτογράφηση υφής και χωρικές αναλύσεις που επιτρέπουν τον υπολογισμό του όγκου, της επιφάνειας, του κέντρου μάζας, της βέλτιστης διαδρομής και στο να παρέχει τα μέσα για την υλοποίηση χωρικής και μη-χωρικής έρευνας (Pillouk, 1996).

2.2 ΤΥΠΟΙ 3D ΣΓΠ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

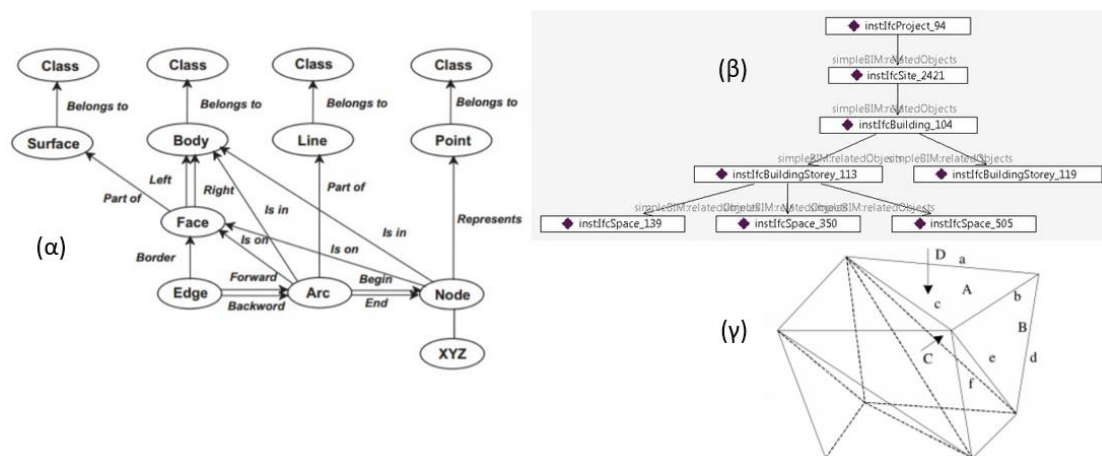
2.2.1 3D Γεωμετρικά Μοντέλα

Πρόκειται για τα πιο απλά τρισδιάστατα (3D) μοντέλα τα οποία διατηρούν τις συντεταγμένες μαζί με τα αντικείμενα. Είναι ευρέως διαθέσιμα και χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα. Τα τρισδιάστατα (3D) μοντέλα αυτά χαρακτηρίζονται από την απλότητα και την ταχύτατη δημιουργία τους απαιτώντας ευελιξία από τα υφιστάμενα ΣΔΒΔ για τη διαχείριση των χωρικών δεδομένων. Χαρακτηριστικό τους είναι ο αξιοπρόσεκτος όγκος δεδομένων που δημιουργούν, μιας και ένα μόνο ζεύγος συντεταγμένων μπορεί να επαναληφθεί πάρα πολλές φορές στην περιγραφή ενός από τα χαρακτηριστικά που εμπεριέχονται στο αναδημιουργούμενο σκηνικό. Αναμφίβολα για τα ΣΔΒΔ, τα οποία διαχειρίζονται χωρικά δεδομένα, η τρίτη διάσταση αποτελεί μια πρόκληση. Τα δημοφιλέστερα ΣΔΒΔ διατηρούν τρισδιάστατα (3D) δεδομένα με ένα σχετικά τυποποιημένο τρόπο (Δημοπούλου, 2015).

2.2.2 3D Τοπολογικά Μοντέλα

Για τα τρισδιάστατα (3D) τοπολογικά μοντέλα έχουν γίνει πολλές έρευνες από πολλούς ερευνητές, αλλά δεν υπάρχει προς το παρόν διαθέσιμη εφαρμογή για την τρισδιάστατη (3D) τοπολογία.

Τα τοπολογικά μοντέλα απαιτούν αναγνωριστικές ιδιότητες για όλα τα επιμέρους στοιχεία, με σκοπό να αξιοποιηθούν για τον ορισμό των χαρακτηριστικών και των σχέσεων που δημιουργούνται μεταξύ τους. Η χρησιμότητα τους είναι δεδομένη γιατί επιτρέπουν συμπαγή αποθήκευση, διατηρώντας για τα δεδομένα τη συνέπεια, αποφυγή πλεονασμού κατά την αποθήκευση, και τέλος υλοποιούν χωρικές αναλύσεις οι οποίες είναι εύκολο να εκτελεστούν. Χαρακτηρίζονται από μεγάλη πολυπλοκότητα και έχουν προταθεί μια σειρά από τρισδιάστατα (3D) μοντέλα, όπως το 3D Formal Data Structure (3DFDS), το Simplified Spatial Structure (SSS) και το Tetrahedral Network (TEN). Το τελευταίο (TEN) αποτελεί το πιο απλό και καλώς ορισμένο μοντέλο που μπορεί να αξιοποιηθεί για την μοντελοποίηση σχεδόν όλων των φυσικών και ανθρωπογενών φαινομένων με την παραδοχή πως τα πραγματικά τρισδιάστατα (3D) αντικείμενα είναι ογκομετρικά (Δημοπούλου, 2015).

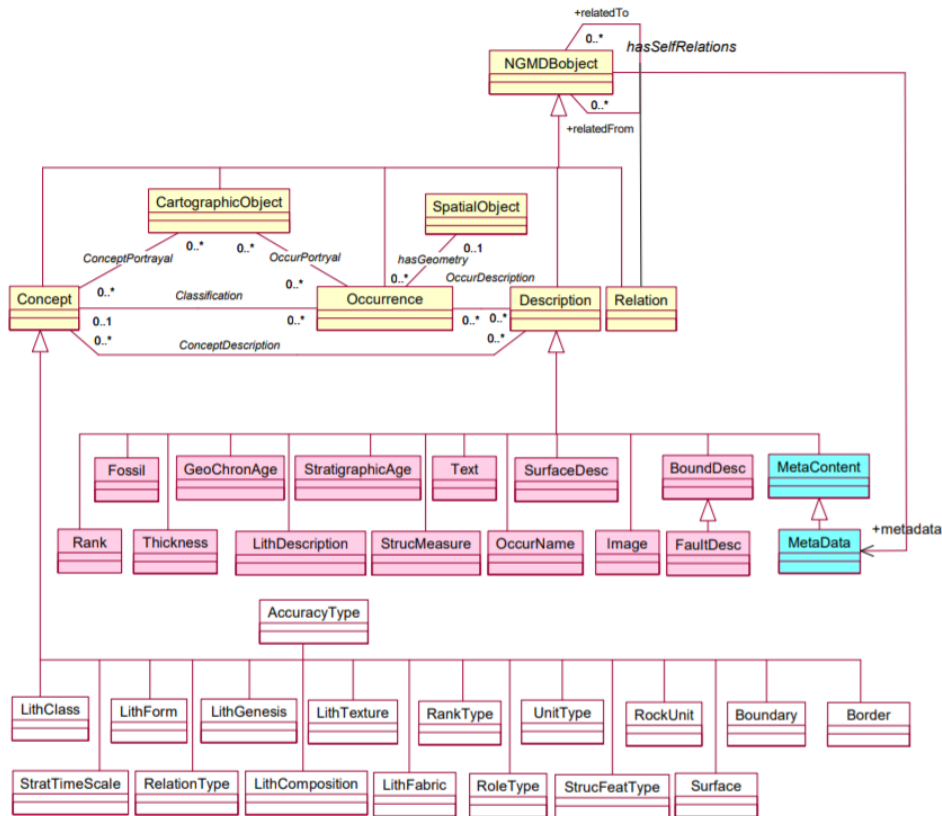


Εικόνα 22: α) 3D Formal Data Structure (3DFDS), β) Simplified Spatial Structure, γ) TEN model

2.2.3 3D Σημαιολογικά Μοντέλα

Εκτός της γεωμετρίας και της τοπολογίας είναι απαραίτητη και η σημασιολογία για την δημιουργία των τρισδιάστατων (3D) αντικειμένων. Όσον αφορά την τρισδιάστατη (3D) μοντελοποίηση του αστικού χώρου υπάρχουν ελάχιστα θεματικά σημασιολογικά μοντέλα. Προκειμένου να μπορέσει να κατασκευαστεί ένα τρισδιάστατο (3D) μοντέλο πόλης είναι πολύ σημαντικά στοιχεία τα κτίρια και τα στοιχεία του εδάφους που το αποτελούν. Το πρότυπο CityGML είναι το μοναδικό που περιλαμβάνει θεματική σημασιολογία αλλά και τρισδιάστατη (3D) γεωμετρία και τοπολογία. Το CityGML

αποτελεί το μόνο τρισδιάστατο (3D) πρότυπο που παρουσιάζει γεωμετρία, τοπολογία και σημασιολογία στα εικονικά τρισδιάστατα (3D) μοντέλα των πόλεων. Επιπλέον

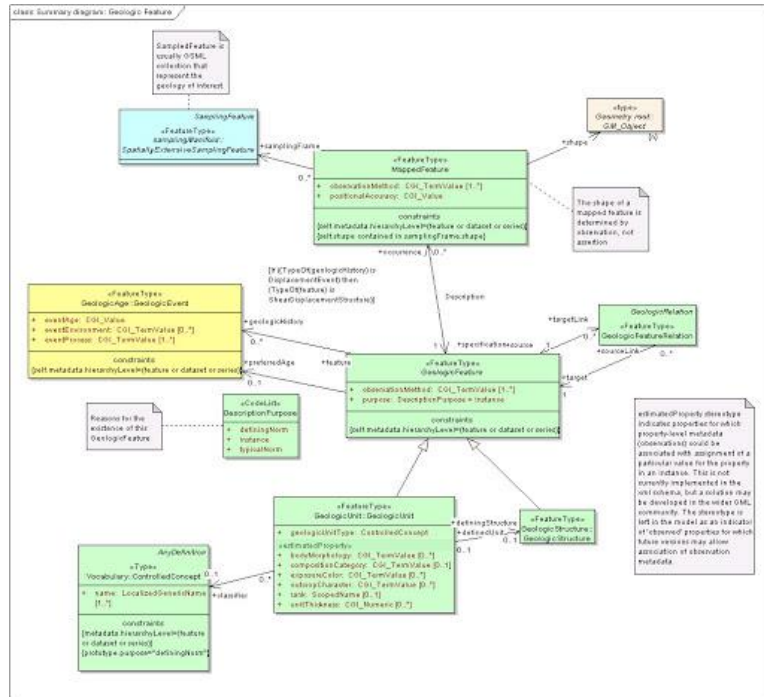


Εικόνα 23: Έννοιες και περιγραφές με βάση το NAND και χρήση διαγράμματος UML (Πηγή: <https://ngmdb.usgs.gov/www-nadm/>)

τρις-
διά-

στατα (3D) σημασιολογικά μοντέλα που έχουν δημιουργηθεί και έχουν γίνει αποδεκτά ως πρότυπα χωρίς την καθολική αποδοχή του CityGML είναι:

- North American Data Model (Εικόνα 23), μοντέλο δεδομένων της βορείου Αμερικής (Δημοπούλου, 2015).
- Η Geology Science Markup Language (GeoSciML) για την απεικόνιση γεωλογικών παρατηρήσεων (Εικόνα 24). Πολλές από αυτές τις απεικονίσεις είναι παραδείγματα κατακερματισμού του αστικού περιβάλλοντος, χωρίς όμως τη χαρτογράφηση των τρισδιάστατων (3D) γεωμετρικών απεικονίσεων (Δημοπούλου, 2015).



Εικόνα 24: Τμήμα διαγραμματικής αναπαράστασης γεωλογικών παρατηρήσεων με χρήση UML κατά την GeoSciML τοποίηση (Πηγή: GeoSciML)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιαστούν δύο εκπρόσωποι των λογισμικών τρισδιάστατης (3D) σχεδίασης που είναι κατάλληλα για την αναπαράσταση αστικού περιβάλλοντος. Συγκεκριμένα θα παρουσιαστούν οι δυνατότητες και τα χαρακτηριστικά των λογισμικών City Engine και SketchUp. Το μεν πρώτο είναι ένα αμιγώς εμπορικό λογισμικό και το δεύτερο ξεκίνησε σαν ένα δωρεάν λογισμικό τρισδιάστατης (3D) μοντελοποίησης και σήμερα προσφέρεται σαν freemium⁵. Είναι δύο από τα πιο δημοφιλή λογισμικά με παρουσία πολλών χρόνων στην τρισδιάστατης (3D) μοντελοποίηση αστικού χώρου⁶. Μέσω των εφαρμογών αυτών, δίνονται δυνατότητες δημιουργίας απολύτως ρεαλιστικών περιβαλλόντων τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν σε διάφορες εφαρμογές. Σημαντικό ζήτημα αποτελεί η επιλογή του κατάλληλου λογισμικού- εργαλείου, ανάλογα με τον σκοπό και το παραγόμενο αποτέλεσμα που επιθυμεί ο χρήστης.

3.1 CITY ENGINE

Το City Engine είναι ο χαρακτηριστικότερος εκπρόσωπος της κανονιστικής μοντελοποίησης. Παρέχει την δυνατότητα κατασκευής μεγάλης κλίμακας λεπτομερών τρισδιάστατων (3D) αστικών χώρων και λειτουργεί με την αρχιτεκτονική τοποθέτηση και διάταξη των αντικειμένων. Οι εφαρμογές του ποικίλουν αλλά αυτό που του έδωσε τα χαρακτηριστικά που το ανέδειξαν ήταν η δυνατότητα αλληλεπίδρασης με σύνθετα δομούμενα τρισδιάστατα (3D) μοντέλα μέσω μιας συγκεκριμένης ροής εργασιών.

Είναι φιλικό προς τον χρήστη και θεωρείται ιδανικό για προσομοιώσεις σε αστικό ιστό. Η υποστήριξη του σε τρισδιάστατη (3D) απεικόνιση υιοθετήθηκε και αναπτύχθηκε μετά το 2011 που εξαγοράστηκε από την ESRI (Environmental Systems Research Institut).⁷

Στο πέρασμα των χρόνων και με την εξέλιξη της τεχνολογίας, παρατηρείται μεγάλη ανάγκη για τρισδιάστατες (3D) αναπαραστάσεις. Όμως τα διαθέσιμα δεδομένα είναι κυρίως 2D. Το City Engine μέσω της δυνατότητας ενσωμάτωσης του στο ΣΓΠ λογισμικό της ίδιας εταιρίας (Arcgis) επιτρέπει στο χρήστη να εξάγει τρισδιάστατα (3D) δεδομένα από υπάρχοντα 2D δεδομένα εφαρμόζοντας απλούς διαδικαστικούς κανόνες

⁵ Συνδυασμός των λέξεων "Free" και "Premium". Περιγράφει την κατηγορία λογισμικών που παρέχονται δωρεάν στην βασική τους έκδοση, αλλά χρεώνονται επιπρόσθετες λειτουργίες και υπηρεσίες που επεκτείνουν τη λειτουργικότητα της δωρεάν έκδοσης.

⁶ Το SketchUp έχει δυνατότητες μοντελοποίησης 3d αντικειμένων σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, <https://www.sketchup.com/#industries>.

⁷ Η εταιρεία ιδρύθηκε ως Ινστιτούτο Έρευνας Περιβαλλοντικών Συστημάτων το 1969 με εξειδίκευση την παροχή γεωχωρικό υπηρεσιών. Αυτή την στιγμή θεωρείται ο μεγαλύτερος κατασκευαστής εφαρμογών ΓΣΠ ελέγχοντας περίπου το 40% της αγοράς λογισμικών ΓΣΠ (Arcgis), <https://www.esri.com>.

για την αυτόματη δημιουργία τρισδιάστατου (3D) περιεχομένου. Αναγνωρίζει τις γεωμετρικές και τα χαρακτηριστικά από τα υπάρχοντα χωρικά δεδομένα (που υφίστανται στο ΣΓΠ) για παράδειγμα οικόπεδα και δρόμους χρησιμοποιώντας τα για να εφαρμόσει παραμετρικούς κανόνες για αυτόματη κατασκευή 3D αστικών αντικειμένων π.χ. γήπεδα, γέφυρες, κτίρια.

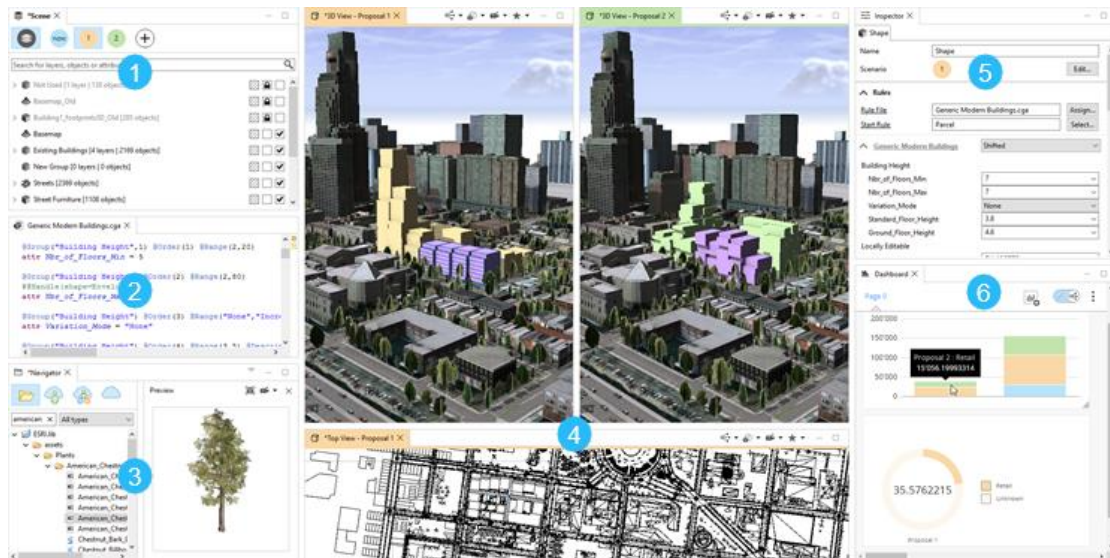


Εικόνα 25: City Engine (Πηγή: <https://esri.com>)

Επιπλέον επιτρέπει την εισαγωγή τρισδιάστατων (3D) αντικειμένων από άλλες μορφές δεδομένων (π.χ. COLLADA). Το εξαχθέν τρισδιάστατο (3D) σκηνικό είναι ρεαλιστικό σε σύντομο χρονικό διάστημα και πολύ μικρή προσπάθεια από τον χρήστη.

3.1.1 Το Περιβάλλον εργασίας του City Engine

Το περιβάλλον εργασίας είναι ευκολόχρηστο και με πολλές δυνατότητες παραμετροποίησης (Εικόνα 23). Υπάρχει μια πληθώρα προηγμένων λειτουργιών στην υπηρεσία του χρήστη με ιδιαίτερη έμφαση στην φιλικότητα.



Εικόνα 26: Περιβάλλον εργασίας City Engine (Πηγή: <https://esri.com>)

Όσο αναφορά τα μοτίβα ανάπτυξης μια πόλης, διατίθενται τρία πρότυπα:

- i. Το οργανικό (organic): Η οργανική μέθοδος δημιουργεί δρόμους που έχουν το χαρακτηριστικό της παλιάς μεσαιωνικής πόλης και μοιάζουν με μικρές ομάδες που εξελίσσονται σε μια μεγαλύτερη πόλη.
- ii. Το ακτινικό (radial): Η ακτινική μέθοδος στηρίζεται σε πόλεις όπως το Παρίσι, όπου η πόλη εξελίχθηκε γύρω από ένα κεντρικό σημείο. Αυτό είναι πολύ συνηθισμένο σε πόλεις που εξελίχθηκαν ως φρούριο, το οποίο περιβάλλεται από τείχος.
- iii. Και το ψηφιακό (raster): Η ψηφιακή μέθοδος δημιουργεί μια πόλη από την αρχή, όπου παράλληλοι δρόμοι τη διασχίζουν και τέμνονται με γωνία περίπου 90°. Η Νέα Υόρκη είναι ένα αντιπροσωπευτικό παράδειγμα μιας τέτοιας πόλης.

3.1.2 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα του City Engine

Τα πλεονεκτήματα που προσφέρει το λογισμικό City Engine είναι τα εξής:

- Παραγωγή ρεαλιστικών τρισδιάστατων (3D) φωτορεαλιστικών αστικών μοντέλων και τοπίων με την χρήση 2D δεδομένων ΣΓΠ⁸.
- Ταχύτητα μοντελοποίησης.
- Δεν απαιτούνται γνώσεις προγραμματισμού.
- Άμεση θέαση του παραγόμενου προϊόντος μέσω καθορισμού των όρων δόμησης.
- Φιλικό περιβάλλον εργασίας.

⁸ shapefiles και Γεωβάσεις.

- Δυνατότητα επεξεργασίας της υφής, χωρίς χρήση άλλου λογισμικού επεξεργασίας εικόνων.
- Αυξημένη διαλειτουργικότητα (κυρίως ως προς εξαγόμενο αποτέλεσμα).

Στην αντίπερα όχθη υπάρχουν μια σειρά από μειονεκτήματα:

- Η κανονιστική μοντελοποίηση απαιτεί γνώσεις προγραμματισμού.
- Δεν είναι εφικτή η μέτρηση των πραγματικών διαστάσεων των σχεδίων.
- Χρονοβόρα διαδικασία αναπαράστασης και φόρτωση των αντικειμένων σε ένα σκηνικό.
- Πολύπλοκη διαχείριση και δημιουργία τόξων και κύκλων. Προβληματική υπέρθεση θεματικών επιπέδων.
- Δεν υποστηρίζει όλα τα γεωγραφικά συστήματα. Ασυνέπεια στην τοπολογική αναφορά (όταν πρέπει να γίνει πρόβλεψη λόγω απουσίας επαρκούς πληροφορίας).
- Έλλειψη έτοιμων βιβλιοθηκών χαρτών και αντικειμένων.
- Περιορισμένη υποστήριξη εισαγόμενων μορφών αρχείων.

3.2 SKETCHUP

Το SketchUp ξεκίνησε σαν λογισμικό τρισδιάστατης (3D) σχεδίασης στις αρχές του 2000. Βασικός στόχος των δημιουργών του ήταν η ανάπτυξη ενός εύχρηστου εργαλείου για την δημιουργία οποιουδήποτε τρισδιάστατου (3D) αντικειμένου για αξιοποίηση σε διάφορους τομείς. Βασική τους αρχή ήταν ότι οι χρήστες πρέπει να μιμούνται την αίσθηση και την ελευθερία εργασίας με το μολύβι και το χαρτί. Δεν άργησε να τραβήξει την προσοχή της Google και τελικά να εξαγοραστεί από αυτή. Το 2013 η εταιρεία Trimble Navigation⁹ απέκτησε με την σειρά της το SketchUp από την Google. Το SketchUp σήμερα, είναι ένα από τα πιο γνωστά λογισμικά τρισδιάστατου (3D) σχεδιασμού. Η μεγάλη του επιτυχία οφείλεται στην φιλικότητα του¹⁰ και στις δυνατότητες του που του επιτρέπουν να μοντελοποιήσει οτιδήποτε σε τρισδιάστατη (3D) μορφή. Δεν έχει μεγάλες απαιτήσεις σε υπολογιστικούς πόρους και διατίθεται σε δύο βασικές εκδόσεις: την απλή (δωρεάν) και την pro (Premium¹¹). Μεγάλο πλεονέκτημα της

⁹ Trimble Navigation, εξειδικεύεται στην ανάπτυξη εφαρμογών χαρτογράφησης, τοπογραφικών δεδομένων και προώθησης εξοπλισμού πλοήγησης GPS, <https://www.trimble.com/>

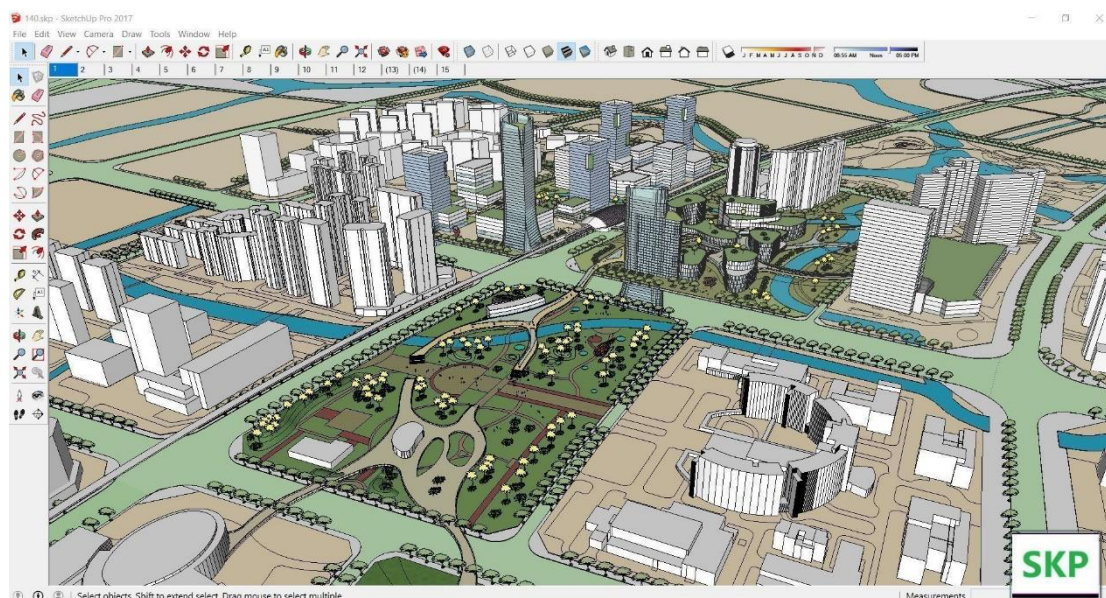
¹⁰ Οι προηγμένες του δυνατότητες όπως δημιουργία ανάγλυφου, μοντελοποίηση από νέφος σημείων (point cloud κλπ.) απαιτούν αρκετή εξειδίκευση.

¹¹ Η σημαντικότερη τους διαφορά είναι τα δυναμικά αντικείμενα, στην δωρεάν έκδοση δεν υπάρχει η δυνατότητα κατασκευής τους.

εφαρμογής είναι η δυνατότητα αξιοποίησης του “ψηφιακού αποθετηρίου”, του 3D Warehouse, δηλαδή μια βάση τρισδιάστατων (3D) μοντέλων με δυνατότητες αναζήτησης, και πρόσβασης σε μια πλειάδα έτοιμων τρισδιάστατων (3D) μοντέλων , έτοιμων για εισαγωγή σε οποιοδήποτε σκηνικό.

3.2.1 Το Περιβάλλον εργασίας του SketchUp

Εκ πρώτης όψεως το SketchUp παρουσιάζει πολλές ομοιότητες με αντίστοιχες εφαρμογές τρισδιάστατου (3D) σχεδιασμού, ειδικά το μενού και η περιοχή εργασίας είναι πανομοιότυπες με πολλές από αυτές (Εικόνα 28). Το SketchUp διαθέτει εργαλεία αλληλεπίδρασης με το Google Earth, δίνοντας στον χρήστη την δυνατότητα να δημιουργήσει «γεωναφερόμενα» μοντέλα έτοιμα να εξαχθούν σε διαδραστικούς διαδικτυακού χάρτες όπως το Google Earth, Bing, OpenStreetMap κλπ. .



Εικόνα 27: Δημιουργία 3D μοντέλου πόλης με το SketchUp (Πηγή: sketchup.com)

Επιπροσθέτως στην εργαλειοθήκη του SketchUp υπάρχουν μια σειρά από εντολές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την δημιουργία ανάγλυφου, προσθήκη φωτισμού και σκίασης. Δίνοντας μια ρεαλιστικότερη οπτικοποίηση του μοντέλου, ειδικά αυτών αναπαριστούν τμήματα πόλεων.



Εικόνα 28: Ένα από τα menu εργασιών του SketchUp (Πηγή: Ιδία εργασία).

Μία ξεχωριστή προσθήκη στο SketchUp παρέχει στον χρήστη ένα εργαλείο πλοήγησης εντός του μοντελοποιημένου τρισδιάστατου (3D) σκηνικού (Εικόνα 25). Δίνοντας την επιλογή θέασης και κίνησης, αναπαρίσταται το περπάτημα ή η αιώρηση. Ταυτόχρονα το εξαγόμενο υλικό με την «ψευδοπλοήγηση» είναι δυνατόν να εξαχθεί με την μορφή στιγμιότυπων-βίντεο έτσι ώστε με την κατάλληλη επεξεργασία να δημιουργηθεί ένα άκρος ρεαλιστικό περιεχόμενο για αναπαραγωγή σε διάφορα μέσα και εφαρμογές. Αξίζει να σημειωθεί ότι αυτή η «περιήγηση» σε μια σειρά από εμπορικές εφαρμογές ήταν προνόμιο μόνο των Premium εκδόσεων.



Εικόνα 29: Εργαλείο πλοήγησης στο SketchUp (Πηγή: sketchup.com)

3.2.1 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα του SketchUp

Μερικά από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα που προσφέρει το SketchUp στην τρισδιάστατη (3D) μοντελοποίηση είναι:

- Άκρως φιλική διεπαφή χρήστη
- Λυτό περιβάλλον σχεδίασης
- Δεν απαιτεί εμπειρία και γνώση σχεδιαστικών πακέτων.
- Επιλογή σχεδιαστικού περιβάλλοντος (Template).
- Ποικιλία και δυνατότητα εγκατάστασης σχεδιαστικών επεκτάσεων (plugins).
- Δεν απαιτεί δυσανάλογη επεξεργαστική ισχύ
- Ποικιλία τύπων αρχείων εισαγωγής (π.χ. pdf, jpg, 3ds, dwg).

- Βάση δεδομένων (3D Warehouse) όπου είναι δυνατή η δημοσίευση και ο διαμοιρασμός αντικειμένων που έχουν δημιουργηθεί μέσω του SketchUp.

Συνοπτικά μπορούμε να καταγράψουμε ως μειονεκτήματα:

- την αδυναμία του διαχείρισης πολύπλοκης μοντελοποίησης.
- Κατάρρευση της εφαρμογής σε μία σειρά από περιπτώσεις:
 - Δημιουργίας αντικειμένων με υψηλή ανάλυση.
 - Εισαγωγή πολύπλοκων υφών και σκιάσεων.
 - Εισαγωγή αντικειμένων με πολλές επιφάνειες από άλλα σχεδιαστικά προγράμματα.
- Μη σύγχρονα εργαλεία σε σχέση με άλλα σχεδιαστικά εργαλεία του ανταγωνισμού.
- Μια σειρά από εξειδικευμένα εργαλεία απαιτούν πληρωμή για την χρήση τους

Το SketchUp θα είναι η εφαρμογή που θα χρησιμοποιήσουμε για την τρισδιάστατη (3D) μοντελοποίηση που θα επιχειρήσουμε. Στο *Κεφάλαιο 5* θα αναφερθούμε πιο αναλυτικά στην λειτουργία και τις δυνατότητες του.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: CITYGML

3.1 ΣΗΜΑΣΙΟΛΟΓΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ

Τις τελευταίες δεκαετίες, στον τομέα ειδικά των κατασκευών, η κοινή χρήση και ανταλλαγή πληροφοριών υπήρξε κινητήριος δύναμη στην ανάπτυξη της τεχνολογίας και εφαρμογών, με αποτέλεσμα να αναπτυχθούν τα κτιριακά πληροφοριακά μοντέλα BIM (Building Information Modeling) και τα τρισδιάστατα (3D) μοντέλα γεωχωρικών πληροφοριών. Τα μοντέλα αυτά καθορίζουν χωρικά αντικείμενα με γεωμετρικές και σημασιολογικές εκπροσωπήσεις. Το IFC (Industry Foundation Classes) και το CityGML (City Geography Markup Language) είναι τα πιο γνωστά σημασιολογικά πρότυπα που χρησιμοποιούν τα παραπάνω τρισδιάστατα (3D) χωρικά μοντέλα του πραγματικού κόσμου.

Δεν υπάρχει μια καθολική αυτόματη προσέγγιση ανακατασκευής τρισδιάστατων (3D) δεδομένων. Προς το παρόν, η χειροκίνητη προσέγγιση εξακολουθεί να είναι απαραίτητη για την ανοικοδόμηση μεγάλης κλίμακας, λεπτομερών τρισδιάστατων (3D) μοντέλων, γεγονός που αποτελεί εμπόδιο για την μοντελοποίηση αστικών τρισδιάστατων (3D) περιοχών.

Οι δυνατότητες των σύγχρονων συστημάτων διαχείρισης βάσεων δεδομένων και συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών επιτρέπουν την καλύτερη διαχείριση και διάχυση των πληροφοριών. Ωστόσο για να καταστούν οι πληροφορίες αυτές αξιοποιήσιμες είναι απαραίτητη η θέσπιση διεθνών προτύπων. Στόχος των προτύπων αυτών είναι η δημιουργία μιας κοινής γλώσσας επικοινωνίας μεταξύ των χωρών, η οποία θα βασίζεται σε τυποποιημένες υπηρεσίες πληροφοριών σε διεθνές ή εθνικό πλαίσιο και θα σχετίζεται με την διαχείριση της γης και της ακίνητης ιδιοκτησίας.

Η ανάγκη δημιουργίας αυτών των προτύπων ξεκίνησε από την ανάγκη επίλυσης προβλημάτων που αποδίδονται στις ελλείψεις δεδομένων, στην έλλειψη τεκμηρίωσης και στην ασυμβατότητα μεταξύ συνόλων δεδομένων και υπηρεσιών, οι οποίες οφείλονται στην ύπαρξη διαφορετικών προτύπων και στους φραγμούς στους οποίους προσκρούει η ανταλλαγή και η επαναχρησιμοποίηση χωρικών δεδομένων.

3.2 Η ΟΔΗΓΙΑ INSPIRE

Για τη διαμόρφωση και παρακολούθηση πολιτικών σε ευρωπαϊκό επίπεδο, η κοινότητα διαπίστωσε, ότι η ευρεία πρόσβαση στις χωρικές πληροφορίες και χρήση τους είναι

προβληματική στην Ευρώπη¹². Τα κυριότερα προβλήματα αποδίδονται στις ελλείψεις δεδομένων, στην έλλειψη τεκμηρίωσης και στην ασυμβατότητα μεταξύ συνόλων χωρικών δεδομένων και υπηρεσιών, οι οποίες οφείλονται για παράδειγμα, στην ύπαρξη διαφορετικών προτύπων και στους φραγμούς, στους οποίους προσκρούει η ανταλλαγή και η επαναχρησιμοποίηση χωρικών δεδομένων. Πράγματι, η διαθεσιμότητα και η υπερσυνοριακή τεκμηρίωση - χρήση των χωρικών δεδομένων σε ευρωπαϊκό επίπεδο είναι πρακτικά αδύνατη, επειδή οι εθνικές πρωτοβουλίες όταν υπάρχουν, δεν είναι διαλειτουργικές.

Ο καθορισμός γενικών κανόνων αποσκοπεί στη δημιουργία της υποδομής χωρικών πληροφοριών στην Ευρωπαϊκή Κοινότητα, για τους σκοπούς των περιβαλλοντικών πολιτικών της Κοινότητας και της άσκησης πολιτικών ή δραστηριοτήτων που ενδέχεται να έχουν αντίκτυπο στο περιβάλλον¹³.

Η πρωτοβουλία INSPIRE θέτει γενικούς κανόνες για την καθιέρωση υποδομής χωρικής πληροφορίας, που στηρίζεται σε υποδομές χωρικών δεδομένων που έχουν εγκαθιδρυθεί και λειτουργούν σε χώρες- μέλη και χρειάζεται ταυτόχρονα και συγκεκριμένους κανόνες εφαρμογής, οι οποίοι θα υιοθετηθούν από την κοινότητα.

Βασικές αρχές της οδηγίας είναι :

- Τα χωρικά δεδομένα πρέπει να συλλέγονται μόνο μία φορά, να αποθηκεύονται εκεί που μπορούν να διαχειριστούν καλύτερα και να ενημερώνονται με κατάλληλο τρόπο και από συγκεκριμένο φορέα
- Πρέπει να διευκολύνεται ο συνδυασμός ενιαίων χωρικών πληροφοριών από διάφορες πηγές στην Ευρώπη και οι πληροφορίες αυτές να μπορούν να μοιραστούν σε πολλούς χρήστες και για πολλές εφαρμογές
- Η χωρική πληροφορία πρέπει να είναι συνεχής, διαθέσιμη και προσπελάσιμη
- Οι πληροφορίες που συλλέγονται σε ένα επίπεδο και μια κλίμακα, πρέπει να μπορούν να χρησιμοποιηθούν από κοινού σε όλα τα επίπεδα και τις κλίμακες
- Η πληροφορία πρέπει να παρουσιάζεται με κατανοητό τρόπο στους χρήστες, με δυνατότητα ενοποίησής τους από διαφορετικές πηγές

¹² Αυτό οδήγησε στην υιοθέτηση της οδηγίας 2007/2/E.C. του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του συμβουλίου της 14ης Μαρτίου 2007 ή διαφορετικά στην οδηγία INSPIRE, η οποία δημιουργεί το θεσμικό πλαίσιο για την ίδρυση και λειτουργία της υποδομής χωρικών πληροφοριών στην Ευρώπη με σκοπό, όχι μόνο την παροχή πληροφοριών προς δημόσιες υπηρεσίες και πολίτες, αλλά και την υλοποίηση, συντονισμό και αξιολόγηση των πολιτικών της Ευρωπαϊκής Ένωσης, που εφαρμόζονται στις χώρες- μέλη σε όλα τα επίπεδα της διοίκησης (T.E.E., ομάδα εργασίας για την κοινοτική οδηγία INSPIRE–Τελική Έκθεση, 2008).

¹³ Οδηγία, Κεφάλαιο I, Γενικές διατάξεις, άρθρο 1 §1

- Εύκολη εύρεση των διαθέσιμων δεδομένων και άμεση εκτίμηση από κάθε χρήστη για την καταλληλότητα τους σε συγκεκριμένες εφαρμογές.

3.3 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ CITYGML

Το CityGML αποτελεί το πιο σύγχρονο ανοιχτό μοντέλο κοινού ορισμού βασικών οντοτήτων και ιδιοτήτων ενός τρισδιάστατου (3D) μοντέλου πόλης και δίνει τη δυνατότητα αποθήκευσης και ανταλλαγής τρισδιάστατων (3D) μοντέλων πόλεων. Βασικό χαρακτηριστικό του CityGML είναι η τρισδιάστατη (3D) απεικόνιση της γεωμετρίας και των τοπολογικών σχέσεων των χωρικών αντικειμένων με ταυτόχρονη εκπροσώπηση διαφόρων θεματικών και σημασιολογικών ιδιοτήτων, ταξινόμησεων και ομαδοποιήσεων.



Εικόνα 30: Το CityGML (Πηγή: Ιδία εργασία)

3.3.1 Το ιστορικό υπόβαθρο

Το CityGML είναι ένα διεθνές πρότυπο για την αναπαράσταση και ανταλλαγή τρισδιάστατων (3D) σημασιολογικών μοντέλων πόλης και τοπίων. Υιοθετήθηκε από την OGC (Open Geospatial Consortium- Ανοιχτή Γεωχωρικό Κοινοπραξία)¹⁴ το 2008

¹⁴Το Open Geospatial Consortium (OGC) ιδρύθηκε το 1994 με στόχο να κάνει τη γεωγραφική πληροφορία ένα βασικό στοιχείο της παγκόσμιας υποδομής πληροφοριών. Τα μέλη του OGC – πάροχοι και χρήστες της τεχνολογίας – αναπτύσσουν μέσα από συνεργασία ανοιχτά πρότυπα διεπαφής και κωδικοποίησης, καθώς επίσης και βελτιστές τεχνικές, που επιτρέπουν στους προγραμματιστές να δημιουργούν πληροφοριακά συστήματα τα οποία μπορούν εύκολα να ανταλλάσσουν χωρική πληροφορία και να αλληλοεπιδρούν με άλλα πληροφοριακά συστήματα, <https://www.ogc.org/>.

(Έκδοση CityGML 1.0). Το μοντέλο δεδομένων του CityGML είναι βασισμένο στο I.S.O. 19100 και έχει υλοποιηθεί σε γλώσσα GML¹⁵ 3.1.1 της OGC.

Η GML, (ISO 19136), είναι μια XML¹⁶ δομή για την απεικόνιση γεωγραφικής πληροφορίας. Είναι ένα τυπικό παράδειγμα προτύπου, που δημιουργήθηκε για την ανταλλαγή δεδομένων (Εικόνα 31). Η GML3 υποστηρίζει χωρικά και χρονικά συστήματα αναφοράς, τοπολογία, δυναμικά χαρακτηριστικά, μονάδες μέτρησης, μεταδεδομένα, πλεγματικά δεδομένα, και είναι σχεδιασμένη έτσι, ώστε να μπορεί να επεκταθεί σημασιολογικά.

```
<gml:Polygon>
  <gml:outerBoundaryIs>
    <gml:LinearRing>
      <gml:coordinates>0,0 100,0 100,100 0,100 0,0</gml:coordinates>
    </gml:LinearRing>
  </gml:outerBoundaryIs>
</gml:Polygon>
<gml:Point>
  <gml:coordinates>100,200</gml:coordinates>
</gml:Point>
<gml:LineString>
  <gml:coordinates>100,200 150,300</gml:coordinates>
</gml:LineString>
```

Εικόνα 31: Απόσπασμα κώδικα GML για την κωδικοποίηση σημείου, γραμμής και πολυγώνου (Πηγή: <https://www.ogc.org/standards/gml>)

Από το 2012 έχουμε περάσει στην δεύτερη έκδοση του προτύπου (CityGML 2.0), η οποία επέφερε σημαντικές αλλαγές στην δομή και την λειτουργικότητα του. Ήδη προετοιμάζεται και η τρίτη του αναβάθμιση (CityGML 3.0), για τρέχον έτος, ευελπιστώντας ότι η αλλαγές θα επιλύσουν μια σειρά από θέματα και θα καταστήσουν το πρότυπο πιο σύγχρονο και προσαρμόσιμο.

¹⁵ GML (Geography Markup Language) είναι μια «γραμματική» της γλώσσας XML που έχει οριστεί για να εκφράζει και να μεταφέρει γεωγραφικά χαρακτηριστικά. Η GML είναι μια γλώσσα μοντελοποίηση για γεωγραφικά συστήματα καθώς και ένα διαλειτουργικό πρότυπο ψηφιακής γεωγραφικής πληροφορίας για συναλλαγές μέσω διαδικτύου. Η δυνατότητα ενσωμάτωσης όλων των ειδών δεδομένων στη GML είναι κλειδί για τη χρηστικότητα της, <http://www.opengeospatial.org/standards/gml>.

¹⁶ XML (eXtensible Markup Language) είναι μία γλώσσα σήμανσης, που περιέχει ένα σύνολο κανόνων για την ηλεκτρονική κωδικοποίηση κειμένων. Ορίζεται, κυρίως, στην προδιαγραφή XML 1.0 (XML 1.0 Specification), που δημιούργησε ο διεθνής οργανισμός προτύπων W3C (World Wide Web Consortium), αλλά και σε διάφορες άλλες σχετικές προδιαγραφές ανοιχτών προτύπων, <https://www.w3.org/TR/REC-xml/>.

```

<xs:complexType name="AbstractSiteType" abstract="true">
  <xs:complexContent>
    <xs:extension base="AbstractCityObjectType">
      <xs:sequence>
        <xs:element ref="_GenericApplicationPropertyOfSite" minOccurs="0" maxOccurs="unbounded"/>
      </xs:sequence>
    </xs:extension>
  </xs:complexContent>
</xs:complexType>
<!-- ===== -->
<xs:element name="Site" type="AbstractSiteType" abstract="true" substitutionGroup="_CityObject"/>
<!-- ===== -->
<xs:element name="_GenericApplicationPropertyOfSite" type="xs:anyType" abstract="true"/>

```

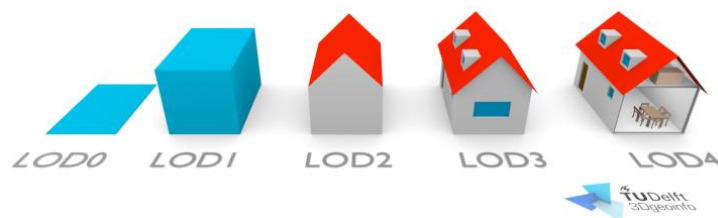
Εικόνα 32: Απόσπασμα κώδικα XML για το *AbstractSiteType*, *_Site* (Πηγή: <https://www.ogc.org/standards/gml>)

3.3.1 Επίπεδα λεπτομέρειας (LODs)

Τα αντικείμενα στο CityGML μπορούν να απεικονιστούν σε πέντε επίπεδα λεπτομέρειας LOD (Level of Detail) :

- LOD0
- LOD1
- LOD2
- LOD3
- LOD4

Η ακρίβεια και η δομική πολυπλοκότητα είναι αυξανόμενη από επίπεδο σε επίπεδο, LOD0 η χαμηλότερη λεπτομέρεια, LOD4 η μεγαλύτερη δυνατή (Εικόνα 31). Για κάθε διαφορετικό επίπεδο λεπτομέρειας υπάρχει διαφορετική γεωμετρία. Το επίπεδο λεπτομέρειας που επιλέγει κάθε χρήστης εξαρτάται από το τι θέλει τελικά να δημιουργήσει. Εν ολίγοις, το ίδιο αντικείμενο μπορεί να αναπαρασταθεί σε διαφορετικά επίπεδα λεπτομέρειας ταυτόχρονα, επιτρέποντας την αναδημιουργία του σε διαφορετικά LOD (Kolbe, Yao, Herreruella, & Nagel, 2013).



Εικόνα 33: Τα πέντε επίπεδα λεπτομέρειας κατά το CityGML (Πηγή: Stoter et al. 2016)

Στο επίπεδο λεπτομέρειας LOD0 τα κτίρια παρουσιάζονται σαν ίχνη (footprints) πάνω στην επιφάνεια και είναι ουσιαστικά 2,5D DTM (Digital Terrain Model). Στο LOD1 τα αντικείμενα παρουσιάζονται σαν όγκοι που δεν αναπαρίστανται οι οροφές τους. Αντιθέτως στο LOD2, κάθε κτίριο έχει διακριτή οροφή και

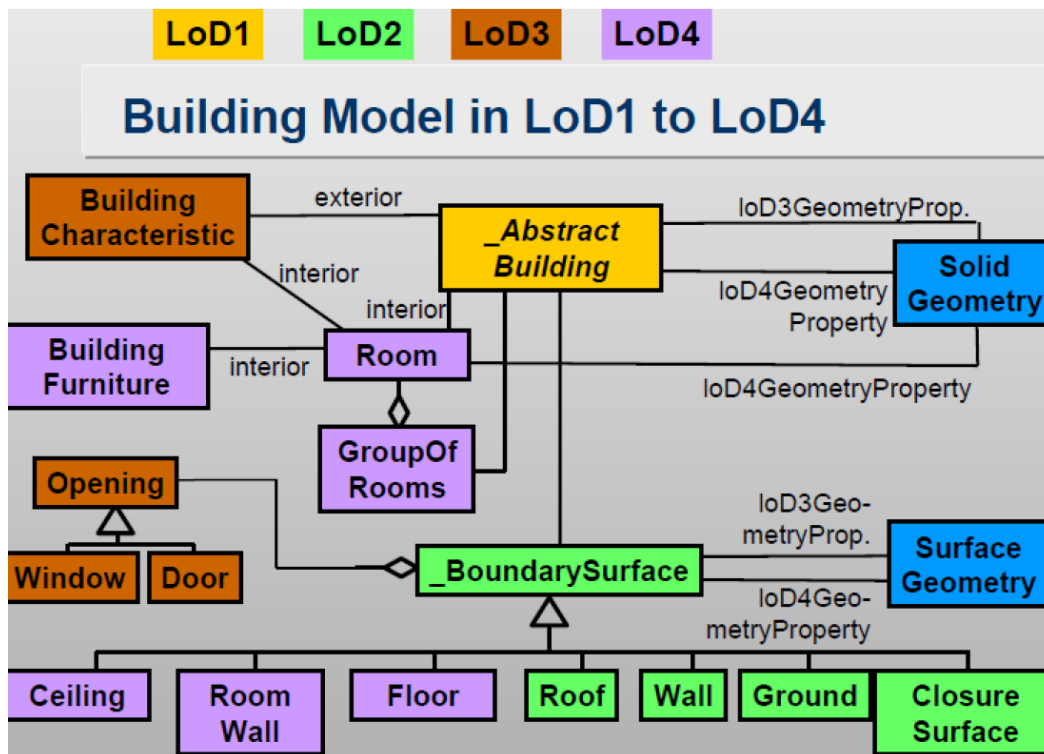
περισσότερες κτιριακές εγκαταστάσεις, π.χ. μπαλκόνι, σκάλες. Σε αυτό το επίπεδο, τα όρια των επιφανειών (τοίχοι, στέγη, έδαφος) διαφοροποιούνται. Το LOD3 αναπαριστά αρχιτεκτονικό μοντέλο με πληροφορίες για τοίχους, πόρτες, παράθυρα και οροφές. Τέλος στο LOD4 ολοκληρώνεται ουσιαστικά το LOD3, προστίθενται εσωτερικά στοιχεία, όπως δωμάτια, σκάλες, ταβάνι και έπιπλα.

Πίνακας 1: Η ακρίβεια των μοντέλων LOD0-LOD4 στο CityGML 2.0 (Πηγή: OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard).

	LOD0	LOD1	LOD2	LOD3	LOD4
Model scale description	regional, landscape	city, region	city, city districts, projects	city districts, architectural models (exterior), landmark	architectural models (interior), landmark
Class of accuracy	lowest	low	middle	high	very high
Absolute 3D point accuracy (position / height)	lower than LOD1	5/5m	2/2m	0.5/0.5m	0.2/0.2m
Generalisation	maximal generalisation	object blocks as generalised features; > 6*6m/3m	objects as generalised features; > 4*4m/2m	object as real features; > 2*2m/1m	constructive elements and openings are represented
Building installations	no	no	yes	representative exterior features	real object form
Roof structure/representation	yes	flat	differentiated roof structures	real object form	real object form
Roof overhanging parts	yes	no	yes, if known	yes	yes
CityFurniture	no	important objects	prototypes, generalised objects	real object form	real object form
SolitaryVegetationObject	no	important objects	prototypes, higher 6m	prototypes, higher 2m	prototypes, real object form
PlantCover	no	>50*50m	>5*5m	< LOD2	<LOD2
... to be continued for the other feature themes					

Τα επίπεδα λεπτομέρειας εφαρμόζονται, εκτός των κτιρίων, για όλες τις θεματικές ενότητες (ανάγλυφο, χρήσεις γης, βλάστηση κλπ.). Στον Πίνακας 1 παρουσιάζονται τα επίπεδα λεπτομέρειας του CityGML (Kolbe, König, Nagel, & Stadler, 2009).

Στην εικόνα (Εικόνα 32), παρουσιάζεται ένα μοντέλο κτιρίου σε μορφή διαγράμματος από το επίπεδο λεπτομέρειας LOD1 ως το LOD4. Το διαφορετικό χρώμα παρουσιάζονται οι λεπτομέρειες που φαίνονται σε κάθε LOD. Το κίτρινο χρώμα παρουσιάζει μόνο το κτίριο, το πράσινο χρώμα (LOD2) τα όρια των κλειστών επιφανειών (τοίχος, οροφή, έδαφος κλπ.). Το καφέ χρώμα (LOD3) περιγράφει αρχιτεκτονικές λεπτομέρειες (παράθυρα, πόρτες κλπ.) και το μώβ (LOD4) αντικείμενα εντός του εσωτερικού χώρου (πάτωμα, εσωτερικοί τοίχοι, έπιπλα κλπ.)



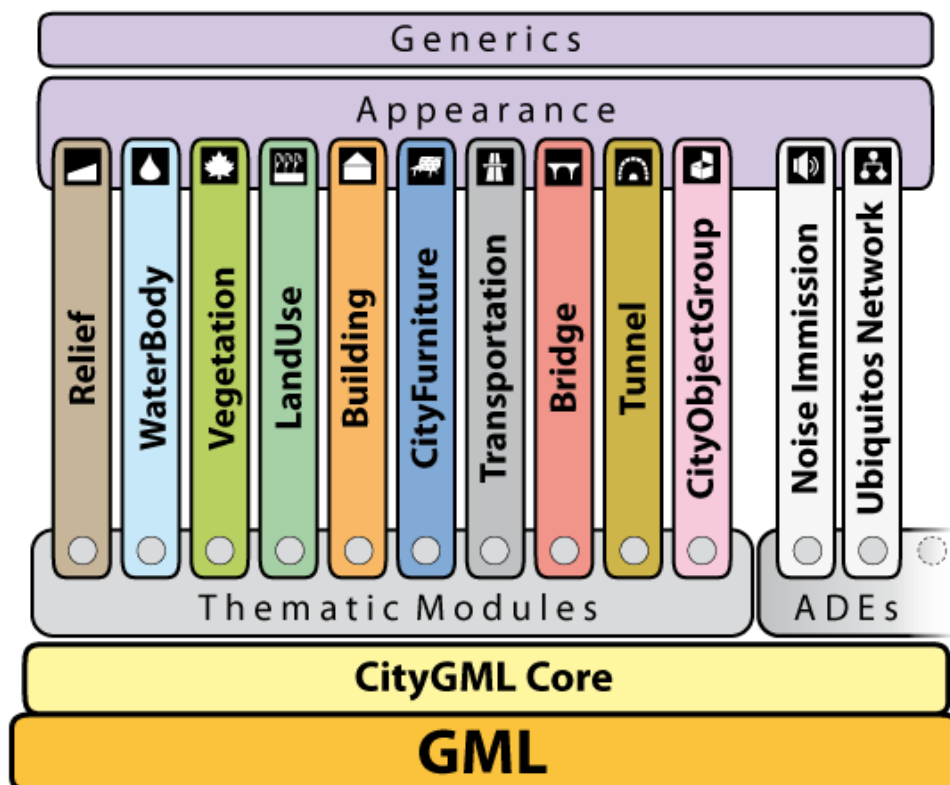
Εικόνα 34: Μοντέλο κτιρίου από το LOD1 έως το LOD4 (Πηγή: Kolbe, Gröger, Plumer, 2005)

3.3.2 Οργάνωση και δομή του CityGML

Το CityGML στην πραγματικότητα είναι δομημένο σε ξεχωριστές λειτουργικές ενότητες (Εικόνα 32). Οι κάθετες ενότητες αντιστοιχούν στις διαφορετικές θεματικές (κτίρια, αντικείμενα της πόλης, χρήσεις γης, ανάγλυφο, μεταφορά, βλάστηση, υδάτινες μάζες). Οι οριζόντιες ενότητες (CityGML Core, Appearance, Generics), αντίστοιχα, αφορούν δομές που είναι συναφείς ή που μπορούν να εφαρμοστούν σε όλες τις κάθετες θεματικές ενότητες.

3.3.4 Προσθήκες στο CityGML

Ιδιαίτερης σημασίας για το πρότυπο είναι η δυνατότητα επέκτασης του. Αυτό σημαίνει με λίγα λόγια ότι είναι εφικτή η προσθήκη χαρακτηριστικών που δεν προβλέπονται από τους δημιουργούς του. Βέβαια στην έκδοση 2.0 υπάρχουν, σαν «οδηγός», δύο μοντέλα επέκτασης που αφορούν την ενσωμάτωση ενεργειακών δεδομένων και στοιχεία θορύβου με βάση το πρότυπο CityGML αλλά δεν υπάρχουν σαφείς οδηγίες και αυστηρή προτύπωση για την γενικότερη επέκταση του μοντέλου.



Εικόνα 35: Σχηματική αναπαράσταση του προτύπου CityGML 2.0 (Πηγή: OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard).

Όσο αναφορά τους τρόπους επέκτασης στις προδιαγραφές του συστήματος περιγράφονται δύο μεθοδολογίες:

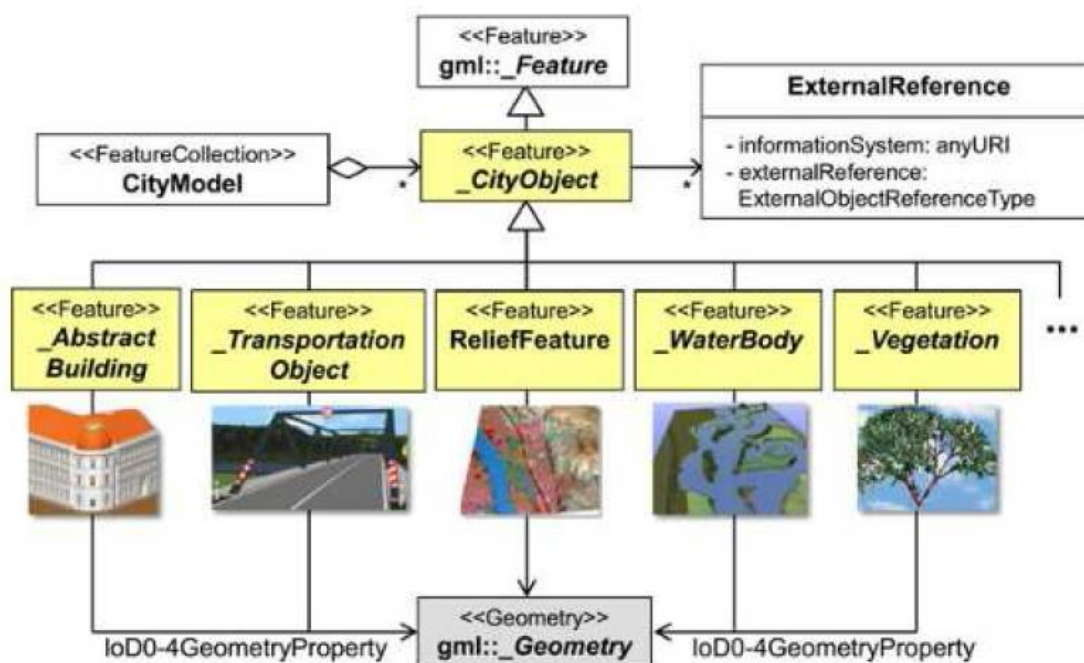
α) Η πρώτη αφορά στη χρήση των γενικών αντικειμένων πόλης (GenericCityObjects) και των γενικών χαρακτηριστικών (GenericAttributes) τα οποία εμπεριέχονται στην ενότητα «generics».

β) Μέσω του Τομέα Εφαρμογής Επεκτάσεων (Application Domain Extensions- ADE), δηλαδή μέσω ενός μηχανισμού βάσει του οποίου εισάγονται νέες ιδιότητες σε υφιστάμενες κατηγορίες του μοντέλου δεδομένων σε μορφή XML σχήματος. Κατ' αυτόν τον τρόπο δύναται να επεκταθεί το πρότυπο ώστε να αξιοποιηθεί σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών.

3.3.3 Χωρικό Μοντέλο

3.3.3.1 Σημασιολογία

Η σημασιολογία για τη μοντελοποίηση των αντικειμένων εκφράζεται μέσω κλάσεων (classes) οι οποίες ορίζονται μέσω UML¹⁷.

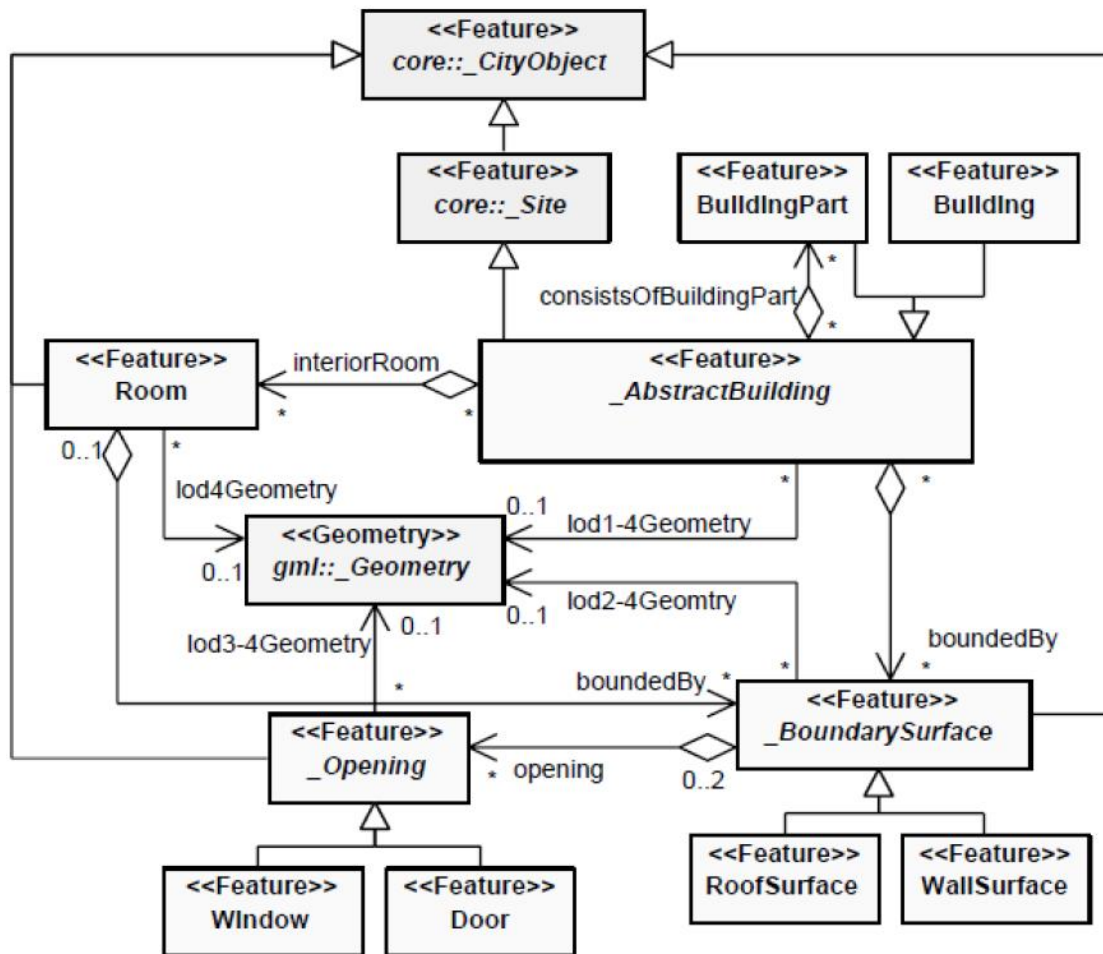


Σχήμα 2: Η ιεραρχία των τάξεων στο CityGML – αντικειμενοστραφής σχεδιασμός μοντέλου (Πηγή: OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard)

Η κλάση *CityObject* είναι η κεντρική, η οποία κληρονομεί τις ιδιότητες της από την υπερκλάση *Feature* και μπορεί να συνδέεται μέσω εξωτερικών αναφορών *ExternalReferences* με αντικείμενα άλλων συνόλων ή εξωτερικών βάσεων δεδομένων. Η δυνατότητα σύνδεσης σε εξωτερικά σύνολα δεδομένων είναι πολύ σημαντική γιατί διατηρούνται οι συνδέσεις με τα πραγματικά αντικείμενα από τα οποία μπορούν να προέλθουν τα τρισδιάστατα (3D) μοντέλα. Η ομαδοποίηση των *CityObjects* μπορεί να δομήσει μία υποκλάση *CityModel* της υπερκλάσης *FeatureCollection*. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 1, οι υποκλάσεις του *CityObject* μπορούν να ανήκουν σε διαφορετικές θεματικές ενότητες. Αν εμβαθύνουμε στην μοντελοποίηση του CityGML και ανατρέξουμε στην διαγραμματική αναπαράσταση μέσω UML της ενότητας *Building* (Σχήμα 3), θα δούμε ότι από την υποκλάση *AbstractBuilding* που σχετίζεται με το κτιριακό μοντέλο προέρχονται οι δύο μη αφηρημένες κλάσεις *Building* και *BuildingPart*. Αυτές οι τρεις

¹⁷ Unified Modeling Language (UML), είναι μία πρότυπη γλώσσα σχεδίασης και αποτύπωσης προτύπων στη μηχανική λογισμικού. Χρησιμοποιείται για τη γραφική απεικόνιση, τον προσδιορισμό, την κατασκευή και την τεκμηρίωση των στοιχείων ενός συστήματος λογισμικού. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορες φάσεις ανάπτυξης, από την ανάλυση απαιτήσεων ως τον έλεγχο ενός ολοκληρωμένου συστήματος.

κλάσεις ακολουθούν το γενικό πρότυπο σχεδιασμού. Έτσι, ένα *Building* ή ένα *BuildingPart* περιγράφονται από επιπλέον ιδιότητες (π.χ. χρήση, έτος κατασκευής κτλ) οι οποίες κληρονομούνται από την βασική Θεματική κλάση *AbstractBuilding*¹⁸.



Σχήμα 3: Η μοντελοποίηση ενός κτιρίου (*AbstractBuilding*) μέσω του UML διαγράμματος (Πηγή: OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard).

Θα πρέπει να σημειώσουμε ότι οι σημασιολογικές κλάσεις *FeatureClasse* εκτός από τις συνδέσεις συσχέτισης και γενίκευσης, συνδέονται και με γεωμετρικές κλάσεις (LOD1 Geometry, LOD2 Geometry κτλ)

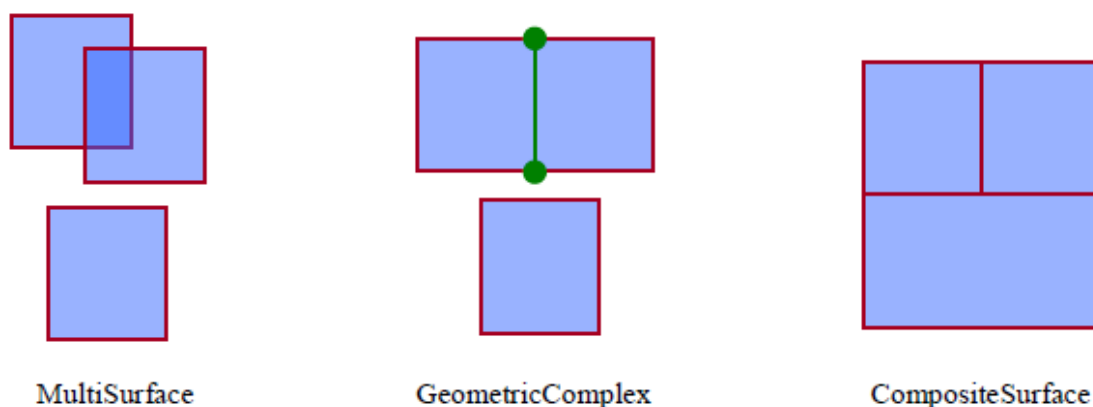
3.3.3.2 Γεωμετρία

Το CityGML έχει ενσωματωμένο ένα γεωμετρικό πρότυπο που χρησιμοποιεί ουσιαστικά ένα υποσύνολο του γεωμετρικού μοντέλου της γλώσσας GML3 (Geography Markup Language). Στη GML3 είναι δυνατή η απόδοση απλών και σύνθετων γεωμετριών από 0D ως 3D. Ουσιαστικά το 0D εμφανίζεται ως σημείο (point), το 1D

¹⁸ Στο Παράρτημα Γ παρατίθενται τα διαγράμματα UML και για τις υπόλοιπες ενότητες του CityGML 2.0.

αποδίδεται με γραμμή (curve), το 2D σαν επιφάνεια (surface) ενώ το 3D αναπαρίσταται με γεωμετρία όγκου (solid).

Ένα solid αντικείμενο οριοθετείται από επιφάνειες (surfaces) ενώ μια επιφάνεια από γραμμές (curves). Στο CityGML οι επιφάνειες παρουσιάζονται με πολύγωνα (Polygons), τα οποία με την σειρά τους ορίζουν επίπεδα. Έτσι, τα όρια και τα εσωτερικά σημεία μιας επιφάνειας να βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο. Συνεπώς, για την κάθε διάσταση αντιστοιχεί μία γεωμετρική κλάση, και από το συνδυασμό τους δημιουργούνται σύνθετα γεωμετρικά σχήματα (composites of primitives), σύμπλοκα (complexes) και συναθροίσεις (aggregates) (Εικόνα 25).



Εικόνα 36: Συνδυασμένες Γεωμετρίες (Πηγή: OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard)

Η γλώσσα GML3 στις συναθροίσεις - aggregates (MultiPoint, MultiCurve, Multisource, MultiSolid), αποφεύγει του τοπολογικούς περιορισμούς, κατά συνέπεια σε αυτές τις περιπτώσεις οι γεωμετρίες είναι δυνατόν να εφάπτονται, να τέμνονται ή να δημιουργούν μη έγκυρες γεωμετρίες. Ουσιαστικά σαν περιορισμός υπάρχει, η κοινή γεωμετρία (π.χ. μόνο πολύγωνα ή μόνο σημεία κτλ) των μερών που σχηματίζουν τη σύνθετη επιφάνεια.

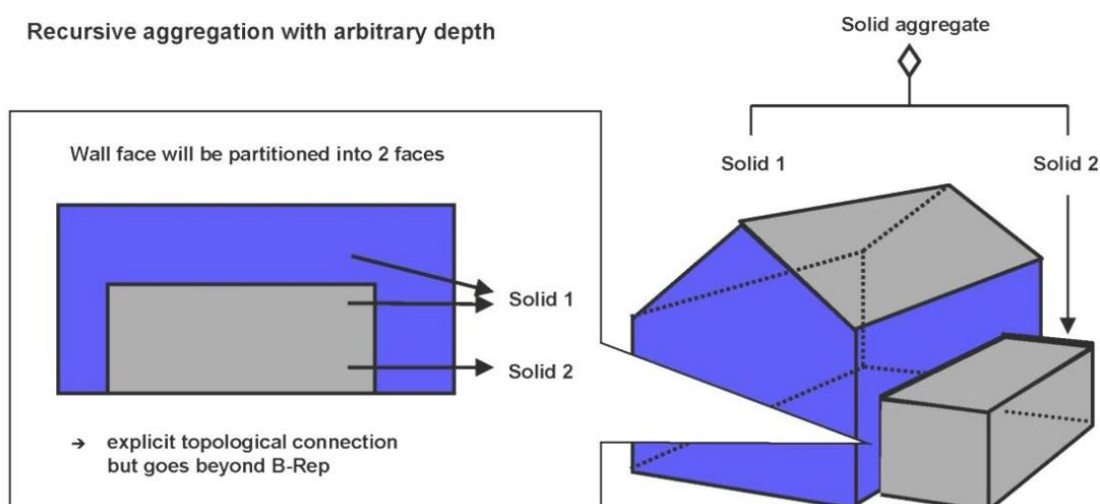
Αντιθέτως, αυτό δε υφίσταται στα σύμπλοκα (complexes) που είναι δομημένα τοπολογικά ώστε τα μέρη τους να μην αλληλοκαλύπτονται, να μην είναι ενοποιημένα (disjoined) αλλά να επιτρέπονται επαφές στα όριά τους ή να μοιράζονται εν μέρει ή καθ' λα τα όριά τους με αλλά αντικείμενα.

Τέλος, ειδική κατηγορία complexes θεωρούνται τα σύνθετα γεωμετρικά σχήματα – composites (CompositeSolid, CompositeSurface, CompositeCurve), μια που παρέχεται από τη GML3. Τα τμήματα τους πρέπει να ανήκουν στην ίδια γεωμετρία (π.χ. μόνο πολύγωνα ή μόνο γραμμές) και η τοπολογία σε αυτά, πρέπει επίσης να ακολουθεί τους κανόνες των complexes.

3.3.3.3 Τοπολογία

Η σημαντικότερη παράμετρος όσον αφορά ένα μοντέλο, είναι η σωστή τοπολογία. Αν επιθυμούμε για παράδειγμα να υπολογιστεί ο όγκος θα πρέπει οι επιφάνειες να είναι κλειστές. Η επικρατούσα προσέγγιση για την αναπαράσταση της τρισδιάστατης (3D) τοπολογίας ενός μοντέλου είναι ότι οι συντεταγμένες πρέπει να αποθηκεύονται εντός των κόμβων ή των σημείων σύνδεσης με αυτούς.

Στο παράδειγμα της *Εικόνας 6* απεικονίζονται δυο στερεά, ένα σπίτι και το γκαράζ, η εκπροσώπηση της κοινής τους επιφάνειας, γίνεται μόνο μια φορά αλλά αναφέρονται σε αυτήν και τα δυο στερεά, κατ' επέκταση δημιουργείται η σύνδεση μεταξύ τους. Με τον τρόπο αυτό δεν υφίσταται πλεονασμός και διατηρούνται με σαφήνεια οι τοπολογικές συσχετίσεις μεταξύ των αντικειμένων και των τμημάτων τους.



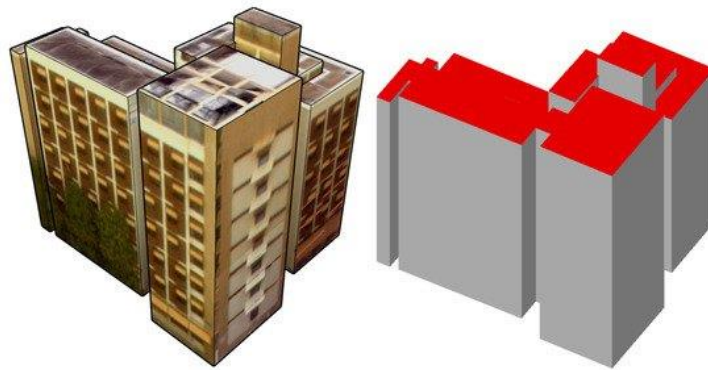
Εικόνα 37: Τοπολογική σχέση μεταξύ σπιτιού και γκαράζ σε επαφή (Πηγή: IGG Uni Bonn - Institut für Geodäsie und Geoinformation).

Εξαιτίας του γεγονότος ότι το CityGML θα πρέπει να αναπαριστά και να αντιπροσωπεύει γεωμετρικά και τοπολογικά μοντέλα, η χρήση του τοπολογικού μοντέλου του ISO 19107 και της γλώσσας GML3 θα είχε σαν αποτέλεσμα την σημαντική επιβάρυνση της πολυπλοκότητας στην τοπολογία, καθώς το κάθε μοντέλο θα έπρεπε να αποδομηθεί στα συστατικά του γεωμετρικά στοιχεία, δηλαδή σε σημεία (point). Μελετώντας την *Εικόνα 6* και τα σχήματα συμπεραίνουμε ότι δεν απαιτείται η αποδόμηση του τρισδιάστατου (3D) μοντέλου για να καθοριστεί η τοπολογική σχέση μεταξύ του σπιτιού και του γκαράζ.

3.3.3.4 Εμφάνιση

Η αποτύπωση των πληροφοριών εμφάνισης (*Appearance*) μιας επιφάνειας θεωρείται αναπόσπαστο κομμάτι ενός εικονικού τρισδιάστατου (3D) μοντέλου πόλης,

συνδυαζόμενο με χωρικές και σημασιολογικές ιδιότητες. Η εμφάνιση σχετίζεται με τα χαρακτηριστικά των επιφανειών για παράδειγμα παλαιότητα. Κατά συνέπεια, δεδομένα που προέρχονται από την εμφάνιση μιας επιφάνειας, είναι δυνατόν να αξιοποιηθούν για την οπτικοποίηση και ανάλυση των τρισδιάστατων (3D) μοντέλων πόλεων. Στο πρότυπο CityGML υπάρχει η δυνατότητα υποστήριξης της εμφάνισης σε όλες τις θεματικές ενότητες των μοντέλων. Είναι εφικτή η αντιστοίχιση κάθε επιπέδου πληροφορίας των χαρακτηριστικών με μία μοναδική εμφάνιση. Τα δεδομένα της εμφάνισης (υφές, χρώματα, σκιές κλπ.) αποθηκεύονται ξεχωριστά από τις επιφάνειες, ασχέτως της στενής τους σχέσης. Με τον τρόπο αυτό διασφαλίζεται η διατήρηση της αρχικής γεωμετρίας του μοντέλου.



Εικόνα 38: Προσθήκη εμφάνισης σε μοντέλο LOD2 (Yao et al.2019)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΧΩΡΙΚΕΣ ΒΑΣΕΙΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (SPATIAL DATABASES)

Η ανάγκη για αποθήκευση και ανάκτηση δεδομένων επιβάλλει την χρήση Βάσεων Δεδομένων (ΒΔ). Είναι κατάλληλες για διαχείριση μεγάλου όγκου δεδομένων και προσφέρουν λειτουργίες ανάκτησης, ενημέρωσης, οργανωμένης αποθήκευσης αλλά και ανάλυσης δεδομένων.

5.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΧΩΡΙΚΩΝ ΒΑΣΕΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Οι Χωρικές Βάσεις Δεδομένων - ΧΒΔ (Spatial Databases), δίνουν την δυνατότητα διαχείρισης γεωγραφικών δεδομένων που ενσωματώνουν συντεταγμένες. Η πρόσβαση στα δεδομένα είναι εφικτή ταυτόχρονα σε πολλούς χρήστες και παρέχεται η δυνατότητα εκτέλεσης SQL (Structured Query Language) ερωτημάτων (queries). Μια σημαντική λεπτομέρεια για τις ΧΒΔ είναι το γεγονός ότι αποτελούνται από διαφορετικά λογισμικά:

- Βάση Δεδομένων (ΒΔ).
- Επέκταση χωρικών λειτουργιών για αποθήκευση γεωμετρικών πληροφοριών αλλά και εκτέλεση ερωτημάτων.
- Ένα λογισμικό οπτικοποίησης.

Η ύπαρξη γεωγραφικών δεδομένων σε μια βάση δεδομένων είναι πολλά:

- Αποφυγή επαναλήψεων με την συγκέντρωση τους σε ένα μέρος.
- Δεν απαιτούνται εξειδικευμένες γνώσεις σε ΣΓΠ για την διαχείριση των πληροφοριών.
- Άμεση και εύκολη ανταπόκριση σε ερωτήματα αναζήτησης - ανάκτησης χωρικών πληροφοριών.
- Χαμηλό κόστος συντήρησης των δεδομένων.
- Εύκολη εκπαίδευση χρηστών πάνω στη βάση δεδομένων,
- Ασφάλεια δεδομένων.
- Διαμοιρασμός δεδομένων σε πλήθος εφαρμογών και χρηστών.

5.2 ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΒΑΣΕΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ(ΣΔΒΔ-DBMS)

Τα Συστήματα Διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων (ΣΔΒΜ) είναι μια συλλογή από εφαρμογές που καθιστούν εφικτή την δημιουργία, οργάνωση και συντήρηση μιας βάσης δεδομένων καθώς και την ανάκτηση δεδομένων από αυτή. Η πλειοψηφία των εφαρμογών στο χώρο των χωρικών πληροφοριών απαιτούν την αποθήκευση μεγάλου όγκου δεδομένων. Η ανάπτυξη των ΣΔΧΒΔ συνέβαλε ανέδειξε τη χρήση των χωρικών

πληροφοριών και παρέχουν μια σειρά από ευκολίες - δυνατότητες στους διαχειριστές και χρήστες τους:

- Αναπαράσταση αντικειμένων με χρήση μοντέλων δεδομένων.
- Ταχύτατη αναζήτηση με την χρήση ευρετηρίων (index).
- Δυνατότητα μεταφόρτωσης δεδομένων, σε ένα ΣΔΒΔ.
- Χρήση ερωτημάτων SQL για αναζήτηση δεδομένων.
- Διασφάλιση ασφάλειας δεδομένων.
- Αποφυγή πλεοναζόντων δεδομένων
- Δυνατότητα ταυτόχρονης πρόσβασης σε κοινά δεδομένα από χρήστες.

Είναι γεγονός ότι παρά τις διαφορές χαρακτηριστικών των ΣΓΠ και των ΧΒΔ ότι υπάρχει σύγχυση όσο αναφορά τον διαχωρισμό τους κυρίως στο επίπεδο λειτουργίας. Γινόμαστε μάρτυρες της αυξανόμενης σύγκλισης των λογισμικών ΣΓΠ και ΧΒΔ. Επεκτείνονται διαρκώς οι συμβατότητες μεταξύ τους και πολλές φορές το ένα επιτελεί εργασίες που ήταν συνυφασμένες με την ύπαρξη του άλλου. Δεν είναι λίγες οι φορές που ΣΓΠ αξιοποιούνται σαν εφαρμογές οπτικοποίησης σε μία ΧΒΔ και κάποιες άλλες επιτρέπουν επεξεργασία περιεχομένου ΧΒΔ μέσα από το δικό τους περιβάλλον. Στην αντίπερα όχθη οι ΧΒΔ επιτελούν εργασίες διαχείρισης δεδομένων ή δεδομένων που πρέπει να είναι προσβάσιμα για πολλαπλούς χρήστες κατ' απαίτηση μίας εφαρμογής ΣΓΠ.

Οι γεωγραφικές ΒΔ προϋποθέτουν την ύπαρξη ενός ΣΔΒΔ που θα επιτελεί εργασίες υποστήριξης χωρικών τύπων (γεωμετριών) π.χ. σημεία, γραμμές και επιφάνειες. Για την υποστήριξη χωρικών δεδομένων ένα ΣΔΒΔ είναι δυνατό να βασίζεται σε μία χωρική επέκταση ή να την επιτελεί αυτόνομα. Οι γεωγραφικές ΒΔ μπορεί να περιέχουν τόσο διανυσματικά (vector) δεδομένα όσο και ψηφιδωτά (raster). Η επικρατούσα τακτική είναι να εισάγονται στο ΣΔΒΔ τα διανυσματικά δεδομένα, ενώ τα raster να αποθηκεύονται στο σύστημα αρχείων (file system) του ηλεκτρονικού υπολογιστή. Η υποστήριξη χωρικών δεδομένων από ΒΔ βασίζεται στην ύπαρξη του τύπου δεδομένων geometry, ο οποίος αξιοποιείται για την αναπαράσταση μια σειράς χωρικών δεδομένων. Το ΣΔΒΔ θα πρέπει να υποστηρίζει μια σειρά από συστήματα προβολής και μετασχηματισμού, χωρικούς τελεστές, συναρτήσεις και χωρικά ευρετήρια.

5.3 ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ POSTGRESQL

Μία από τις δημοφιλέστερες ΒΔ είναι η PostgreSQL¹⁹. Είναι μία open source ΒΔ, με πολύ ισχυρή υποστήριξη τύπων γεωγραφικών δεδομένων. Επιπλέον υποστηρίζεται από πλήθος εφαρμογών και συστημάτων αλλά και κοινότητες χρηστών. και μεγάλης κλίμακας εφαρμογές και κοινότητες. Η διαχείριση γίνεται κυρίως μέσω του PgAdmin²⁰, αλλά και μία σειρά άλλων εφαρμογών (PgAccess, PhpPgAdmin, WinSQL). Η PostgreSQL μπορεί να διαχειριστεί με χαρακτηριστική ευκολία πολλαπλούς χρήστες ταυτόχρονα καθώς και μεγάλο όγκο δεδομένων.

5.4 POSTGIS ΧΩΡΙΚΗ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Για να μπορέσει να υποστηρίξει χωρικά δεδομένα, σύμφωνα με το πρότυπο του OGC, η PostgreSQL απαιτεί την εγκατάσταση μίας χωρικής επέκτασης, της PostGIS²¹. Το PostGIS παρέχει λειτουργίες:

- Σύνταξης ερωτημάτων
- Λειτουργίες συνάθροισης σε χωρικά δεδομένα
- Χωρικές συναρτήσεις.

Δίνει την δυνατότητα ανάθεσης προβολικών συστημάτων στα χωρικά δεδομένα και μπορεί βοηθήσει την οπτικοποίηση δεδομένων μέσω εφαρμογών όπως το Quantum GIS και ο GeoServer. Επιπλέον σαν extension ανοικτού κώδικα, αποτελεί μια ανέξοδη λύση για την διαχείριση χωρικών δεδομένων. Στις μέρες χρησιμοποιείται και αξιοποιείται από πλήθος εταιριών και σε πληθώρα εφαρμογών.

5.5 ΓΕΩΜΕΤΡΙΕΣ WKT (WELL KNOWN TEXT) ΚΑΙ WKB (WELL KNOWN BINARY)

Ο OGC περιγράφει δύο μεθόδους (μορφές) αναπαράστασης και αποθήκευσης γεωμετριών:

- α. Well-Known Text (WKT) και
- β. Well-Known Binary (WKB).

Και οι δυο τους παρέχουν πληροφορίες για τον τύπο του αντικειμένου και τις συντεταγμένες που το αποτελούν (Εικόνα 25). Η WKT, αξιοποιείται για την εισαγωγή των γεωμετριών στην ΒΔ βάση δεδομένων και την ανταλλαγή γεωμετρικών

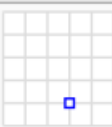
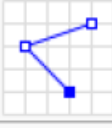
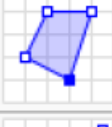
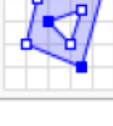
¹⁹ <http://www.postgresql.org/>

²⁰ <https://www.pgadmin.org/>

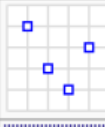
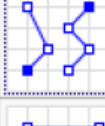
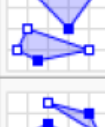
²¹ <http://postgis.refractory.net/>

δεδομένων. Ενώ η WKB χρησιμοποιείται για την διαχείριση των παραμέτρων αποθήκευσης λόγω της αποδοτικότητας της σε σύνθετες γεωμετρίες.

Geometry primitives (2D)

Type	Examples	
Point	POINT (30 10)	
LineString	LINESTRING (30 10, 10 30, 40 40)	
Polygon	POLYGON ((30 10, 10 20, 20 40, 40 40, 30 10))	
	POLYGON ((35 10, 10 20, 15 40, 45 45, 35 10), (20 30, 35 35, 30 20, 20 30))	

Multipart geometries (2D)

Type	Examples	
MultiPoint	MULTIPOINT ((10 40), (40 30), (20 20), (30 10))	
	MULTIPOINT (10 40, 40 30, 20 20, 30 10)	
MultiLineString	MULTILINESTRING ((10 10, 20 20, 10 40), (40 40, 30 30, 40 20, 30 10))	
MultiPolygon	MULTIPOLYGON (((30 20, 10 40, 45 40, 30 20)), ((15 5, 40 10, 10 20, 5 10, 15 5)))	
	MULTIPOLYGON (((40 40, 20 45, 45 30, 40 40)), ((20 35, 45 20, 30 5, 10 10, 10 30, 20 35), (30 20, 20 25, 20 15, 30 20)))	

Εικόνα 39: Τύποι γεωμετριών σε WKT (Πηγή: Lovelace, 2019).

5.5.1 Υποστήριξη συστημάτων αναφοράς

Το PostGIS υποστηρίζει πληθώρα Γεωγραφικών και Προβολικών συστημάτων συντεταγμένων κάθε ένα από τα οποία αντιστοιχεί σε SRID (*Spatial Reference Identifier*). Το SRID αντιστοιχεί στο σύστημα συντεταγμένων στο οποίο δίνονται οι συντεταγμένες του εκάστοτε αντικειμένου. Γενικότερα, τα συστήματα συντεταγμένων που υποστηρίζονται από το PostGIS, μπορούν να αναζητηθούν στον πίνακα *spatial_ref_sys* μίας ΒΔ του PostGIS.

Search References:

[Next Page](#)

- [EPSG:2000](#): Anguilla 1957 / British West Indies Grid
- [EPSG:2001](#): Antigua 1943 / British West Indies Grid
- [EPSG:2002](#): Dominica 1945 / British West Indies Grid
- [EPSG:2003](#): Grenada 1953 / British West Indies Grid
- [EPSG:2004](#): Montserrat 1958 / British West Indies Grid
- [EPSG:2005](#): St. Kitts 1955 / British West Indies Grid
- [EPSG:2006](#): St. Lucia 1955 / British West Indies Grid
- [EPSG:2007](#): St. Vincent 45 / British West Indies Grid
- [EPSG:2008](#): NAD27(CGQ77) / SCoPQ zone 2
- [EPSG:2009](#): NAD27(CGQ77) / SCoPQ zone 3
- [EPSG:2010](#): NAD27(CGQ77) / SCoPQ zone 4
- [EPSG:2011](#): NAD27(CGQ77) / SCoPQ zone 5
- [EPSG:2012](#): NAD27(CGQ77) / SCoPQ zone 6
- [EPSG:2013](#): NAD27(CGQ77) / SCoPQ zone 7
- [EPSG:2014](#): NAD27(CGQ77) / SCoPQ zone 8
- [EPSG:2015](#): NAD27(CGQ77) / SCoPQ zone 9
- [EPSG:2016](#): NAD27(CGQ77) / SCoPQ zone 10
- [EPSG:2017](#): NAD27(76) / MTM zone 8
- [EPSG:2018](#): NAD27(76) / MTM zone 9
- [EPSG:2019](#): NAD27(76) / MTM zone 10
- [EPSG:2020](#): NAD27(76) / MTM zone 11
- [EPSG:2021](#): NAD27(76) / MTM zone 12
- [EPSG:2022](#): NAD27(76) / MTM zone 13
- [EPSG:2023](#): NAD27(76) / MTM zone 14
- [EPSG:2024](#): NAD27(76) / MTM zone 15
- [EPSG:2025](#): NAD27(76) / MTM zone 16
- [EPSG:2026](#): NAD27(76) / MTM zone 17
- [EPSG:2027](#): NAD27(76) / UTM zone 15N
- [EPSG:2028](#): NAD27(76) / UTM zone 16N
- [EPSG:2029](#): NAD27(76) / UTM zone 17N
- [EPSG:2030](#): NAD27(76) / UTM zone 18N
- [EPSG:2031](#): NAD27(CGQ77) / UTM zone 17N
- [EPSG:2032](#): NAD27(CGQ77) / UTM zone 18N
- [EPSG:2033](#): NAD27(CGQ77) / UTM zone 19N
- [EPSG:2034](#): NAD27(CGQ77) / UTM zone 20N
- [EPSG:2035](#): NAD27(CGQ77) / UTM zone 21N
- [EPSG:2036](#): NAD83(CSRS98) / New Brunswick Stereo
- [EPSG:2037](#): NAD83(CSRS98) / UTM zone 19N
- [EPSG:2038](#): NAD83(CSRS98) / UTM zone 20N
- [EPSG:2039](#): Israel / Israeli TM Grid
- [EPSG:2040](#): Locodjo 1965 / UTM zone 30N
- [EPSG:2041](#): Abidjan 1987 / UTM zone 30N
- [EPSG:2042](#): Locodjo 1965 / UTM zone 29N
- [EPSG:2043](#): Abidjan 1987 / UTM zone 29N
- [EPSG:2044](#): Hanoi 1972 / Gauss-Kruger zone 18
- [EPSG:2045](#): Hanoi 1972 / Gauss-Kruger zone 19
- [EPSG:2046](#): Hartebeesthoek94 / Lo15
- [EPSG:2047](#): Hartebeesthoek94 / Lo17
- [EPSG:2048](#): Hartebeesthoek94 / Lo19
- [EPSG:2049](#): Hartebeesthoek94 / Lo21

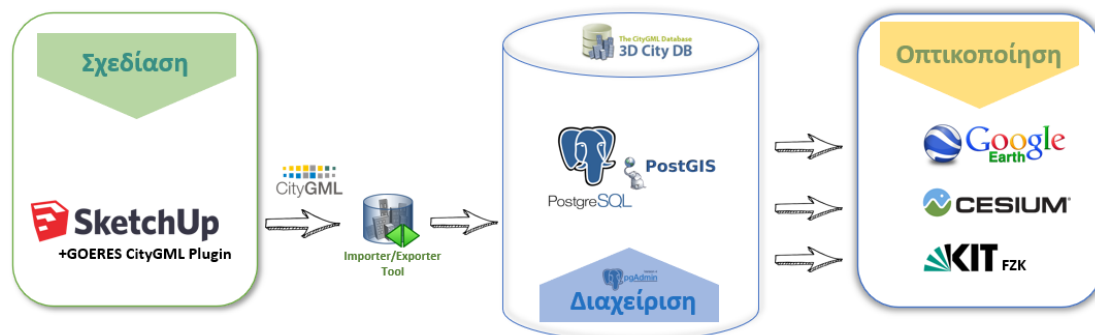
Εικόνα 40: Παράδειγμα Spatial Reference List (Πηγή: <https://spatialreference.org/ref/epsg/>)

Β' ΜΕΡΟΣ – Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: 3D ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕ ΤΟ CITYGML

6.1 ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Η υλοποίηση του όλου εγχειρήματος έγινε αποκλειστικά με λογισμικά που διατίθενται δωρεάν στο ευρύ κοινό. Πιο συγκεκριμένα, προκειμένου να υλοποιηθεί η εφαρμογή, χρησιμοποιήθηκαν τα λογισμικά, Google SketchUp 2020²², PostgreSQL10.4²³, pgAdmin 4²⁴, 3D City Database (3DCityDB)²⁵, Google Earth Pro²⁶, Cesium Platform²⁷, FZK²⁸.



Εικόνα 41: Διασωλήνωση εργασιών με αξιοποίηση των λογισμικών (Πηγή: Ιδία εργασία)

6.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Αντικείμενο της εφαρμογής της παρούσας εργασίας ήταν διττό:

α) η δημιουργία και η οπτικοποίηση ενός τρισδιάστατου (3D) μοντέλου κτιρίου σύμφωνα με το πρότυπο CityGML. Το μοντέλο θα κατασκευάστηκε με το σχεδιαστικό πρόγραμμα SketchUp 2020 ακολουθώντας την προτύπωση που επιβάλλει το CityGML 2.0. Έγινε εξαγωγή του τρισδιάστατου (3D) κτιριακού μοντέλου από το σχεδιαστικό πρόγραμμα σαν αρχείου τύπου .xml προκειμένου να εισαχθεί στην ΒΔ επόμενη φάση. Σαν ΒΔ Χρησιμοποιήθηκε η 3DcCityDB με PostgreSQL. Η διαχείριση της ΒΔ έγινε μέσα από το γραφικό περιβάλλον του pgAdmin 4 και αφού είχε παραμετροποιηθεί με την επέκταση PostGIS για να μπορεί να δεχθεί και διαχειρισθεί χωρικά δεδομένα. Όταν προετοιμάστηκε το schema της ΒΔ έγινε χρήση του μηχανισμού Importer / Exporter της 3DCityDB για να εισαχθεί το αρχείο .xml (που περιείχε το κτίριο) στους πίνακες της ΒΔ. Αφού έγινε έλεγχος ορθότητας επιχειρήθηκε η εξαγωγή του από την ΒΔ προκειμένου να γίνει οπτικοποίηση του

²² <https://www.sketchup.com/download/all>

²³ <https://www.postgresql.org/download/>

²⁴ <https://www.pgadmin.org/>

²⁵ <https://www.3dcitydb.org/3dcitydb/downloads/>

²⁶ <https://www.google.gr/intl/el/earth/download/gep/agree.html>

²⁷ <https://cesium.com/>

²⁸ <https://www.iai.kit.edu/1648.php>

κατασκευασθέντος τρισδιάστατου (3D) κτιρίου στο Google Earth, πλατφόρμα Java-based Cesium και στο ελεύθερο λογισμικό θέασης τρισδιάστατων (3D) αντικειμένων FZK Viewer.

β) Επιπροσθέτως επιχειρήθηκε η αντίστοιχη μοντελοποίηση ενός εκτεταμένου τρισδιάστατου (3D) μοντέλου πόλης με χρήση ανοιχτών δεδομένων που έχει διαθέσει στο κοινό η Δημοτική αρχή της πρωτεύουσας της Γερμανίας το Βερολίνο.

6.3 Ο ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ 3D ΜΕ ΤΟ SKETCHUP

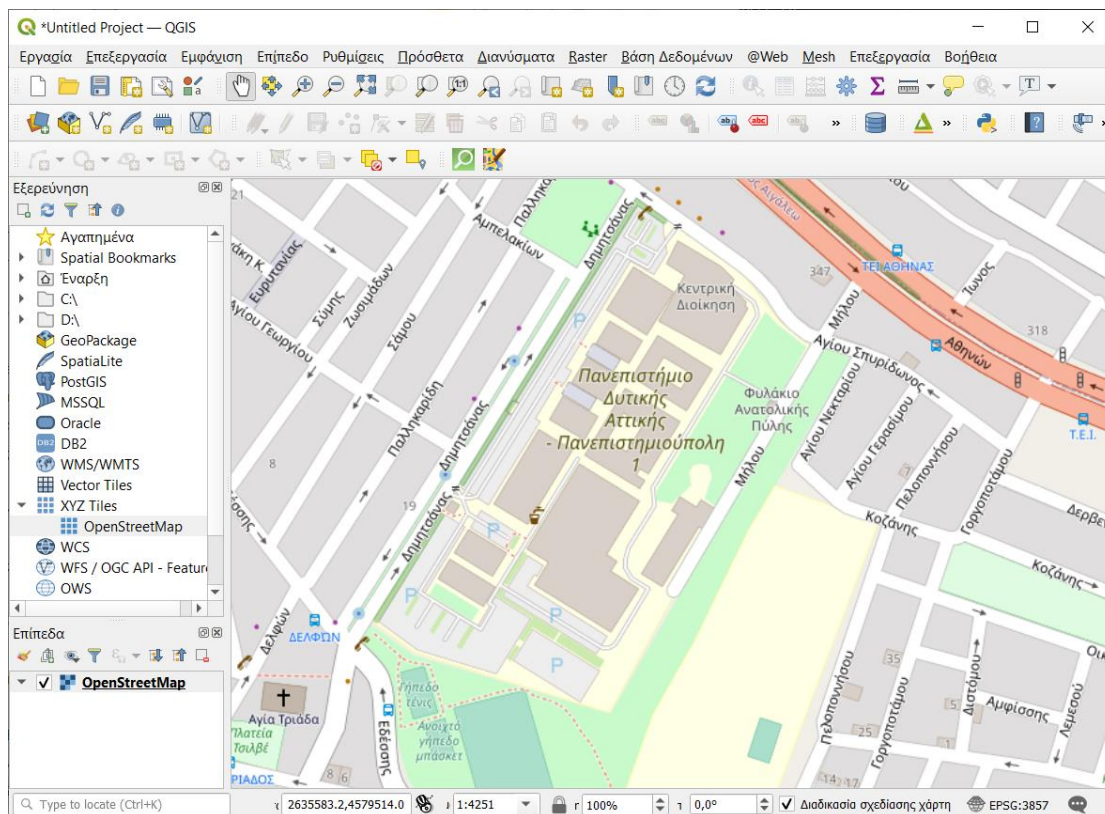
Στο πρώτο στάδιο της όλης εφαρμογής έγινε ο σχεδιασμός ενός απλού τρισδιάστατου (3D) μοντέλου Campus1 του ΠΑΔΑ. Στόχος της παρούσης μελέτης δεν είναι η πιστή αναπαράσταση των τρισδιάστατων (3D) κτιριακών μοντέλων αλλά η μελέτη της μοντελοποίησης με ένα αυστηρό πλαίσιο τυποποίησης (πρότυπο CityGML) προκειμένου να διασφαλιστεί ο διαμοιρασμός και η επαναχρησιμοποίηση των δεδομένων της τρισδιάστατης (3D) κατασκευής. Κατά συνέπεια αυτό που χρειαζόμαστε για την μελέτη είναι η ογκομετρική κατασκευή των κτιρίων χωρίς περαιτέρω πληροφορίες.

6.3.1 Προετοιμασία

Με βάση το μοντέλο CityGML, το επίπεδο λεπτομέρειας το οποίο μπορεί να ικανοποιήσει τις ανάγκες που προαναφέρθηκαν είναι το LOD1. Σ' αυτό το επίπεδο λεπτομέρειας αποτυπώνονται ογκομετρικά τα κτίρια στις πραγματικές τους διαστάσεις χωρίς πληροφορίες που έχουν να κάνουν με τις πόρτες παράθυρα εξώστες ή τους εξωτερικούς και εσωτερικούς χώρους κλπ. .

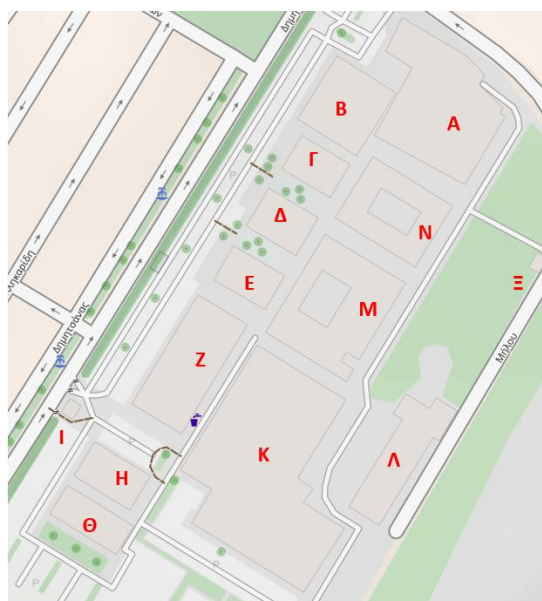
Η σχεδίαση των 14 κτιρίων της περιοχής μελέτης, δηλαδή της «Πανεπιστημιούπολης Άλσους Αιγάλεω» (Campus 1, ΠΑΔΑ), για το επίπεδο λεπτομέρειας το οποίο μας ενδιαφέρει θα μπορούσε να γίνει με πολλούς τρόπους. Η πρώτη επιλογή θα μπορούσε να είναι ένα πρόγραμμα ΣΓΠ (Εικόνα 42), όπου αφού θα εισάγαμε ένα γεωαναφερόμενο χάρτη θα μπορούσαμε να εντοπίσουμε τα ίχνη των κτιρίων και αφού τα ψηφιοποιήσουμε να τα εξωθήσουμε στο πραγματικό τους ύψος (δύο δημοφιλή προγράμματα τα οποία θα μπορούσαν να ικανοποιήσουν αυτού του είδους την ανάγκη είναι το Qgis και το Arcgis). Η δεύτερη επιλογή είναι η χρήση ενός σχεδιαστικού προγράμματος (πχ. City Engine, SketchUp κλπ.). Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι το σχεδιαστικό πρόγραμμα μπορεί να μας δώσει περισσότερες επιλογές σχεδίασης στην περίπτωση που επιθυμούμε μεγαλύτερο επίπεδο λεπτομέρειας (LOD2-LOD4) κάτι που δεν μπορούμε να έχουμε σαν επιλογή από ένα ΣΓΠ πρόγραμμα μιας και δεν είναι αυτός

ο προορισμός του οπότε δεν καλύπτει αυτή την ανάγκη. Έτσι επιλέχτηκε η δεύτερη λύση προκειμένου να σχεδιαστούν τα 14 κτίρια του Campus 1 του ΠΑΔΑ.



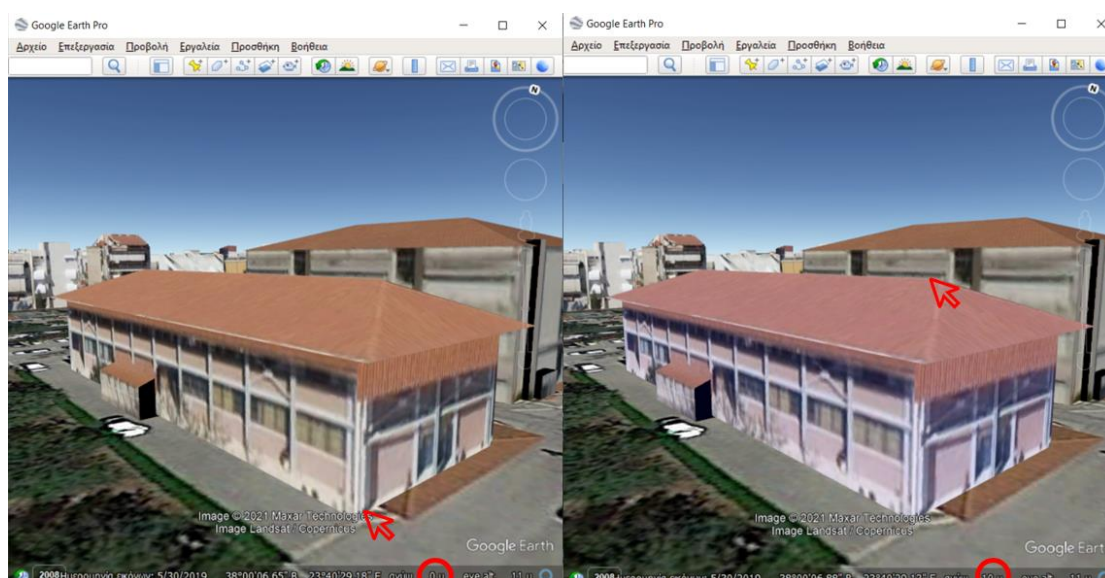
Εικόνα 42: Τα ίχνη των κτιρίων του Campus1 του ΠΑΔΑ, μέσα από το περιβάλλον του ΣΓΠ (Qgis) (Πηγή: Ιδία εργασία).

Πριν ξεκινήσει η σχεδίαση έγινε καταγραφή των κτιρίων και δόθηκε το χαρακτηριστικό id του καθενός. Στην Εικόνα 43 βλέπουμε τα ίχνη των δεκατεσσάρων κτιρίων μαζί με τα δύο φυλάκια (I, Ξ).



Εικόνα 43: Οι επιφάνειες των κτιρίων και ο χαρακτηρισμός τους (Πηγή: Ιδία εργασία)

Προκειμένου να αναδειχθεί η ογκομετρική μορφή των κτισμάτων απαιτείται το ύψος των κτιρίων. Στην περίπτωση της παρούσας μελέτης δεν ήταν διαθέσιμα και προσβάσιμα τα κτίρια προκειμένου να γίνει με κάποιο πρόσφορο μέσο η μέτρηση. Στην διεθνή βιβλιογραφία (Biljecki, Ledoux, & Stoter, 2016) υπάρχουν διάφοροι μέθοδοι υπολογισμού του ύψους κτιρίων χωρίς μέτρηση στο πεδίο με επαρκή ακρίβεια για το πρότυπο CityGML. Για λόγους ευκολίας και λόγω των περιορισμών που υπάρχουν εξαιτίας της πανδημίας προτιμήθηκε μια νέα δυνατότητα που δίνεται εδώ και μερικούς μήνες από του διαδικτυακούς χάρτες της Google. Στην πραγματικότητα η εταιρία επιτρέπει στους χρήστες με χρήση του ποντικιού τους να επιλέγουν την βάση του κτιρίου και την οροφή και να εμφανίζει την υψομετρική διαφορά (Εικόνα 44).



Εικόνα 44: Προσδιορισμός ύψους κτιρίου με απλή υπόδειξη των ακμών εδάφους και οροφής (Πηγή: Ιδία εργασία).

Έχοντας και την πληροφορία του ύψους του κτιρίου έχουμε τα δεδομένα κατασκευής του αρχικού μας τρισδιάστατου (3D) μοντέλου που αποτυπώνονται στον Πίνακα 2.

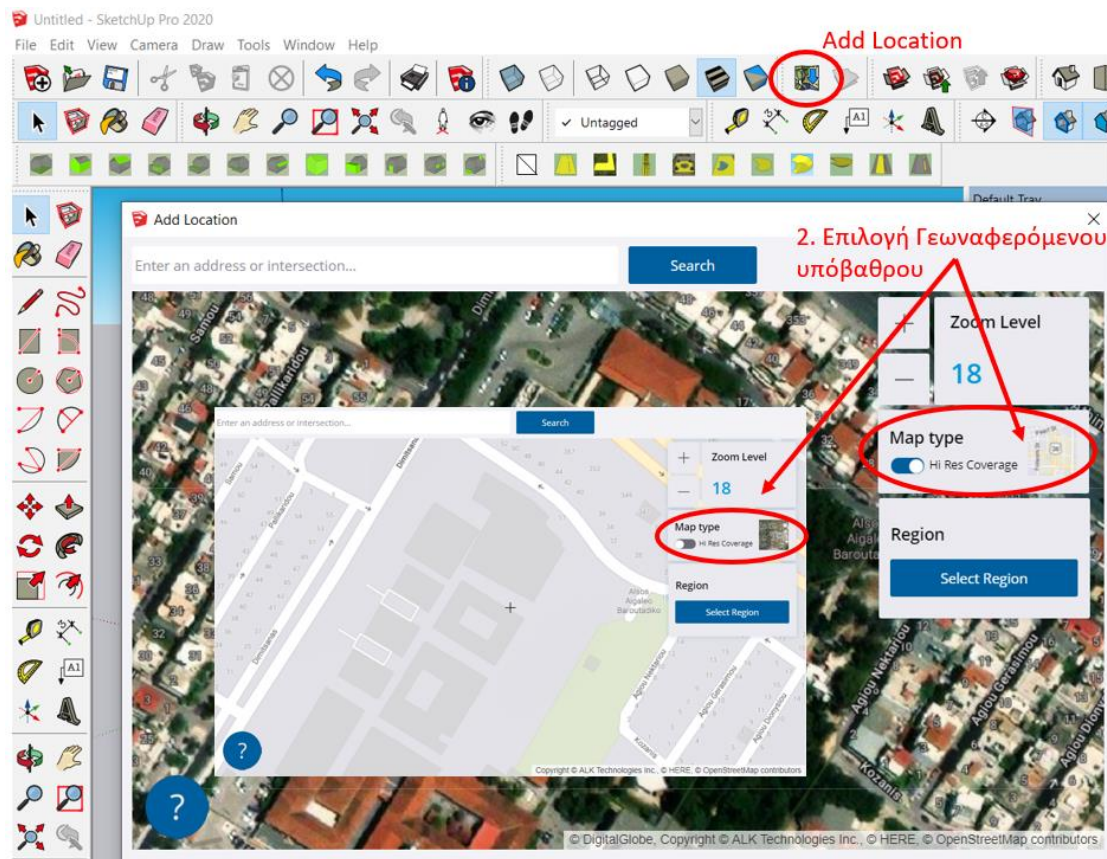
Πίνακας 2: Τα κτίρια της Πανεπιστημιούπολης άλσους Αιγάλεω και τα καταγεγραμμένα ύψη τους.

α/α	Χαρακτηρισμός	ID	Ύψος (m)	Περιγραφή
1	Κτίριο Α	dioikhsh_1	12	Κεντρική Διοίκηση
2	Κτίριο Β	kt_1	9	
3	Κτίριο Γ	kt_3	17	
4	Κτίριο Δ	kt_4	19	
5	Κτίριο Ε	kt_6	17	
6	Κτίριο Ζ	kt_7	11	
7	Κτίριο Η	kt_10	15	
8	Κτίριο Θ	kt_11	10	
9	Κτίριο Ι	kt_12	4	Φυλάκιο δυτικής πύλης
10	Κτίριο Κ	kt_8	10	

11	Κτίριο Λ	kt_9	12	
12	Κτίριο Μ	kt_5	11	
13	Κτίριο Ν	kt_2	9	
14	Κτίριο Ξ	kt_13	4	Φυλάκιο ανατολικής πύλης

6.3.2 Γεωαναφορά

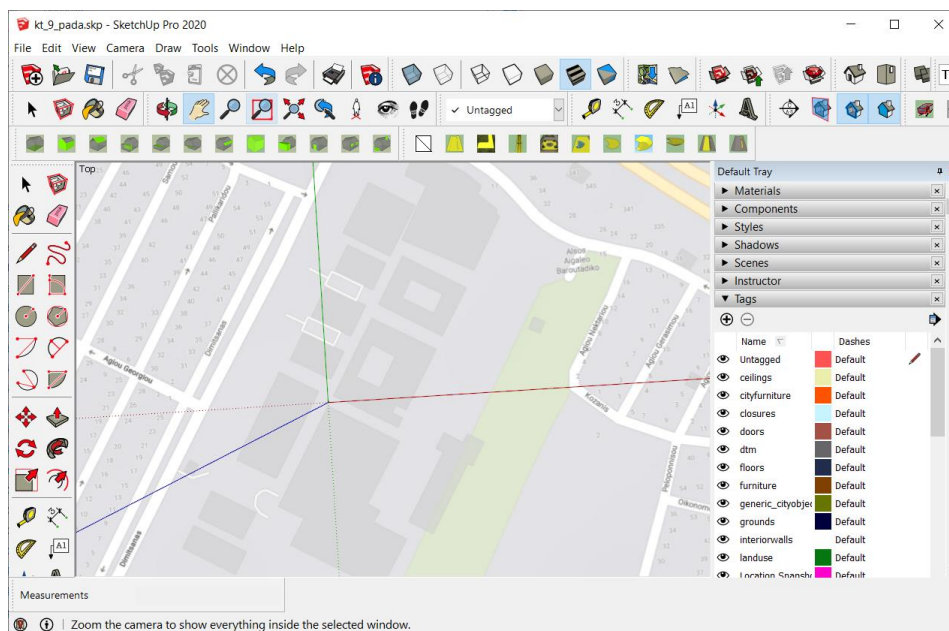
Στο σχεδιαστικό πρόγραμμα SketchUp (που ήταν και η επιλογή μας), δίνεται η δυνατότητα σχεδιασμού με γεωαναφορά. Δηλαδή είναι δυνατή η εισαγωγή ως υποβάθρου, αποσπάσματος, από δυναμικούς διαδικτυακούς χάρτες (π.χ. Google Earth, OpenStreetMap), στο σχεδιαστικό περιβάλλον του προγράμματος (Εικόνα 45). Αυτή ουσιαστικά ήταν και η πρώτη μας μέριμνα πριν την σχεδίαση των μοντέλων, η εισαγωγή δηλαδή γεωαναφερόμενου αποσπάσματος της περιοχής, προκειμένου να εξασφαλιστεί η απαιτούμενη γεωαναφορά.



Εικόνα 45: Χρήση της επιλογής “Add location” του SketchUp για εισαγωγή γεωαναφερόμενου υπόβαθρου (Πηγή: Ίδια εργασία)

Κατά την εισαγωγή γεωαναφερόμενου υπόβαθρου υπάρχουν δύο επιλογές: α) εισαγωγή φωτογραφιών με απεικόνιση των κτιρίων και β) εισαγωγή χάρτη με αποτύπωση των ιχνών των κτιρίων. Η πρώτη επιλογή σαφέστατα είναι προτιμητέα αλλά η χρήση υψηλής ευκρίνειας φωτογραφιών είναι διαθέσιμη μόνο έναντι πληρωμής και η αξιοποίηση των δωρεάν κοινών φωτογραφιών της επιφάνειας της γης δεν επιτρέπουν

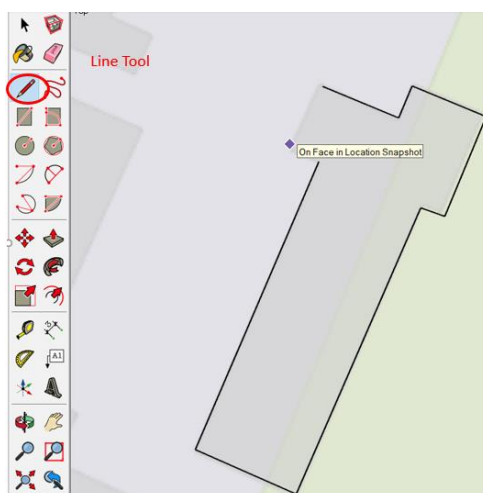
την επαρκή μεγέθυνση ώστε να μπορεί να σχεδιαστεί με άνεση η επιφάνεια των κτιρίων. Κατόπιν των παραπάνω επιλέχθηκε η λύση της χρήσης κοινών διαδικτυακών χαρτών για τον σχεδιασμό των επιφανειών των κτιρίων (Εικόνα 46).



Εικόνα 46: Εισαγωγή υπόβαθρου χάρτη από το OpenStreetMap στο SketchUp (Πηγή: Ιδία εργασία).

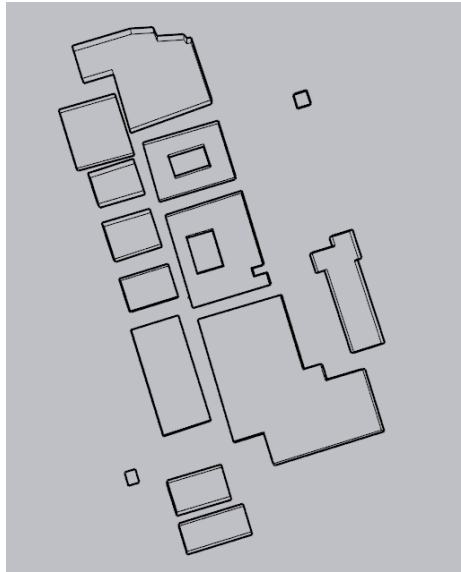
6.3.3 Φάσεις σχεδιασμού

Για τον σχεδιασμό και την ψηφιοποίηση των ορίων των ιχνών των κτιρίων έγινε χρήση του εργαλείου “Line Tool” (Εικόνα 47). Με την χρήση του συγκεκριμένου εργαλείου σχεδιάστηκαν τα όρια των επιφανειών των ιχνών και των δεκατεσσάρων σχεδιαζόμενων κτιρίων του Πανεπιστημίου.



Εικόνα 47: Ο σχεδιασμός της επιφάνειας επί του εδάφους του κτιρίου του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής και Υπολογιστών (Πηγή: Ιδία εργασία).

Όταν ολοκληρωθεί ο σχεδιασμός έχουμε την πλήρη αποτύπωση των επιφανειών κτιρίων σε επίπεδο λεπτομέρειας LOD0 (Εικόνα 48).



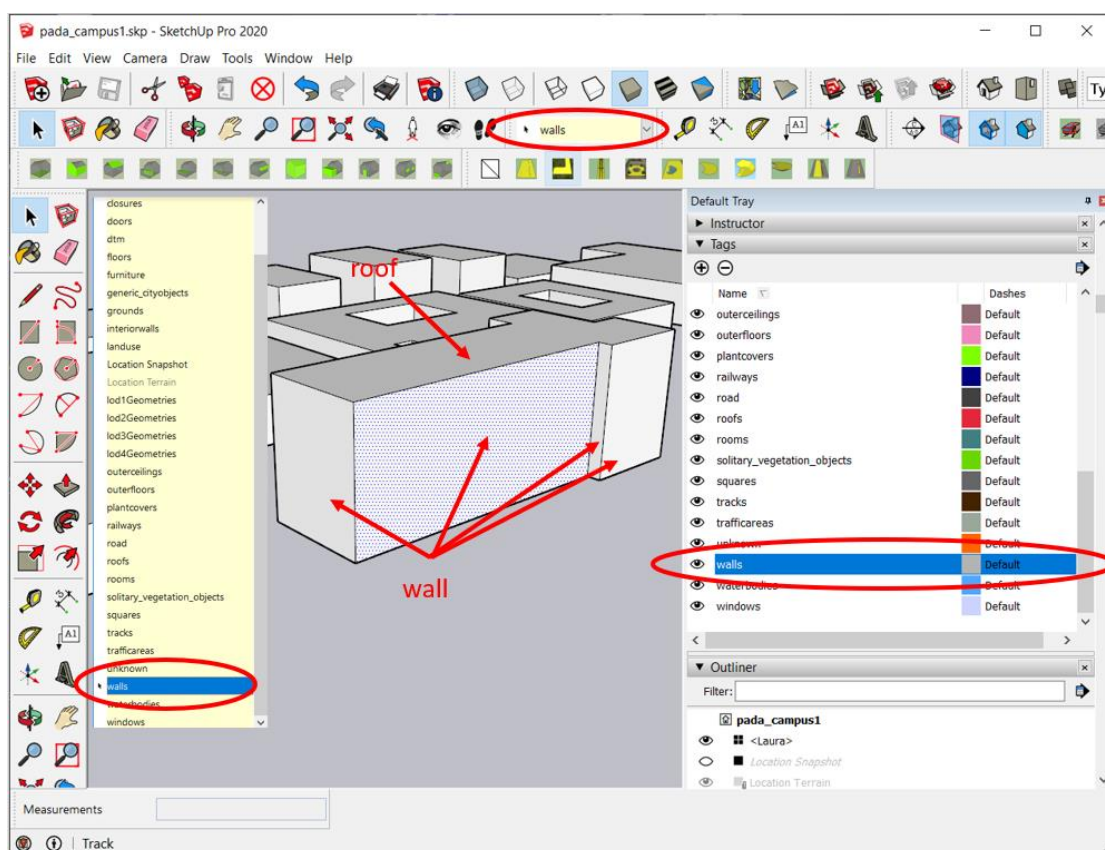
Εικόνα 48: Τα ίχνη των κτιρίων του Πανεπιστημίου (Πηγή: Ιδία εργασία).

Το επόμενο στάδιο της εργασίας είναι στην ουσία η εξώθηση των σχεδιαζόμενων επιφανειών στο ύψος των κτιρίων. Για την κατάλληλη υψομετρική σχεδίαση χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο “Push/Pull” (Εικόνα 49).



Εικόνα 49: Εξώθηση του κτιρίου του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής κατά 12 μέτρα με χρήση του εργαλείου “Push/Pull” (Πηγή: Ιδία εργασία).

Κατά τον σχεδιασμό του κάθε κτιρίου λήφθηκαν υπόψη οι προδιαγραφές του προτύπου CityGML, σύμφωνα με το πρότυπο το επίπεδο λεπτομέρειας LOD1 δίνει την επιλογή ή τη δημιουργία ενός ενιαίου κτιριακού μοντέλου (Solid) είτε τη δημιουργία του από τις επιμέρους επιφάνειες (MultiSurface), δηλαδή GrounSurface, RoofSurface, WallSurface. Έτσι λοιπόν για την μοντελοποίηση που επιχειρήθηκε επελέγη η χρήση MultiSurface, φροντίζοντας παράλληλα οι επιμέρους αυτές επιφάνειες να ενταχθούν εντός επιπέδων Layers ή Tags²⁹ (Εικόνα 50), προκειμένου να είναι εφικτός ο διαχωρισμός τους μέσα στην ΒΔ στην οποία εισήχθησαν στην συνέχεια.

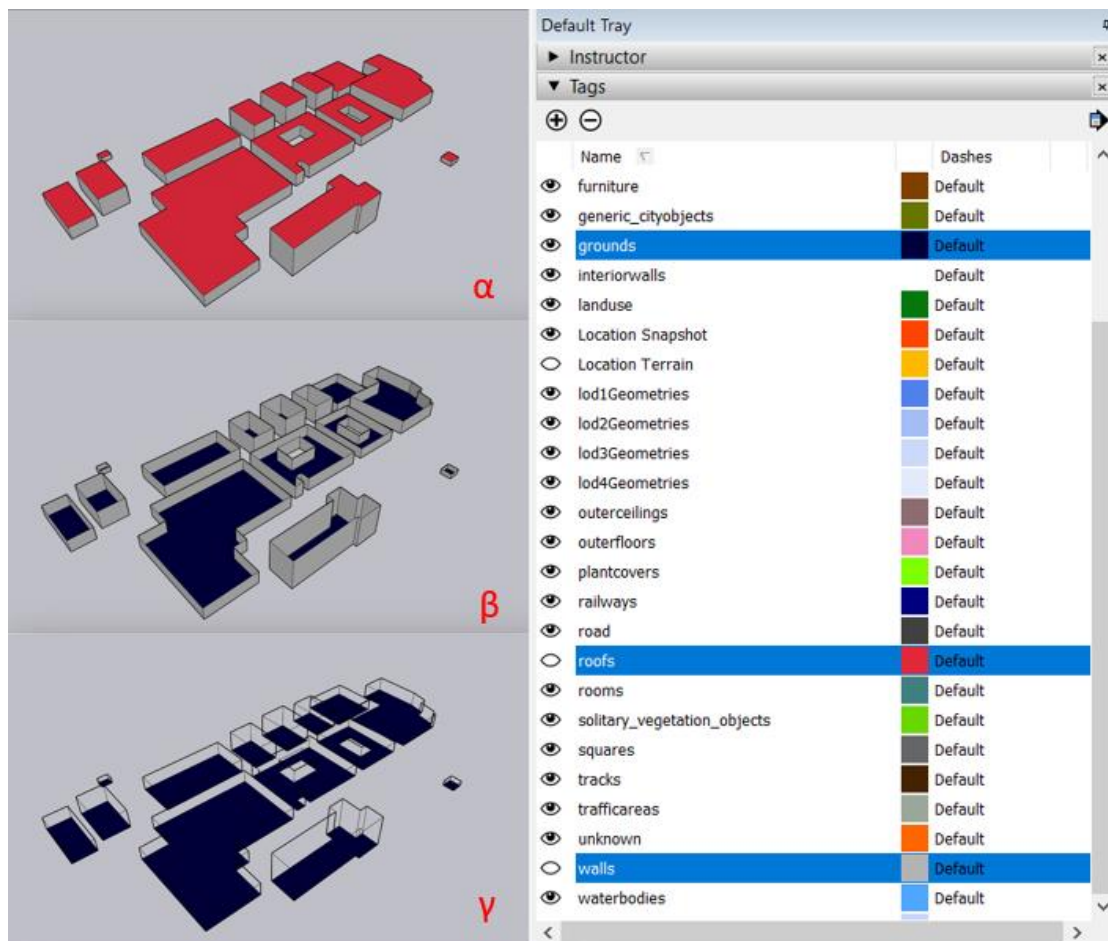


Εικόνα 50: Ο χαρακτηρισμός των επιφανειών και η ομαδοποίηση τους σε Tags (Πηγή: Ιδία εργασία)

Πρέπει να τονιστεί ότι ο χαρακτηρισμός όλων των επιφανειών που απαρτίζουν τα κτίρια είναι ιδιαίτερα κρίσιμος για την ορθή κατανομή τους στους κατάλληλους πίνακες στην ΒΔ. Σε περίπτωση παράληψης χαρακτηρισμού κάποιας επιφάνειας δεν θα είναι δυνατή η οπτικοποίηση της στο εξαχθέν μοντέλο σε οποιοδήποτε λογισμικό.

²⁹ Από την έκδοση SketchUp 2020, ονομάζονται Tags

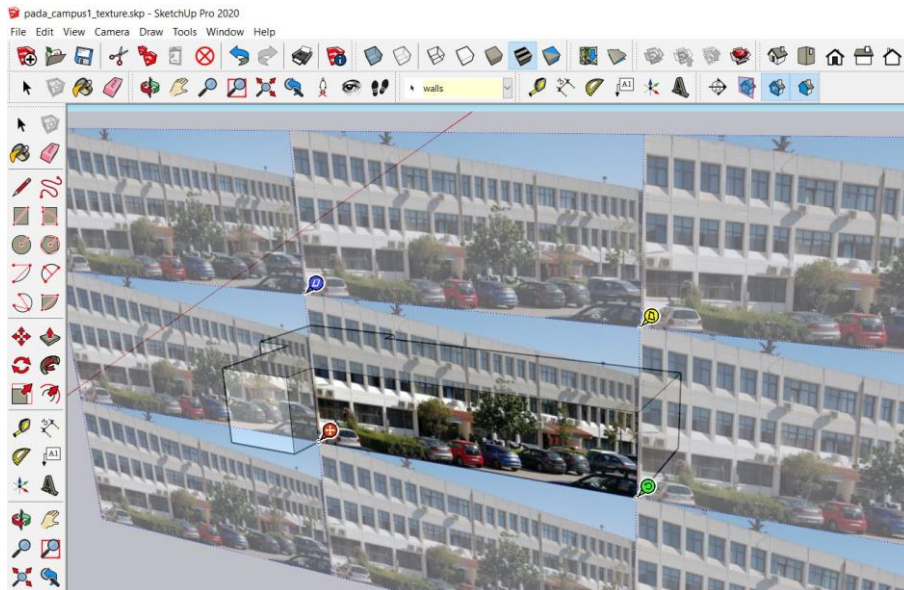
Όταν ολοκληρωθεί ο χαρακτηρισμός όλων των επιφανειών και η δήλωση τους στα αντίστοιχα Tags, έχουμε την δυνατότητα επιλέγοντας την ενεργοποίηση του ή αντίστοιχα την απενεργοποίηση του να οπτικοποιούμε μόνο τα στοιχεία (επιφάνειες) των κτιρίων που επιθυμούμε (Εικόνα 51).



Εικόνα 51: Επιλογή επιφανειών για οπτικοποίηση μέσω χρήσης των Tags (Πηγή: Ιδία εργασία).

6.3.4 Εισαγωγή υφής

Στο επίπεδο λεπτομέρειας LOD1 δίνεται η επιλογή να εισαχθούν συγκεκριμένες υφές-χρώματα (Appearance) στις επιφάνειες μας (GrounSurface, RoofSurface, WallSurface). Για ρεαλιστικότερο αποτέλεσμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν φωτογραφίες οι οποίες θα εισαχθούν εντός του λογισμικού και προσαρμόζονται στις επιφάνειες (Εικόνα 52).



Εικόνα 52: Προσαρμογή φωτογραφίας στην πρόσοψη του κτιρίου του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής, “kt_9” (Πηγή: Ιδία εργασία).

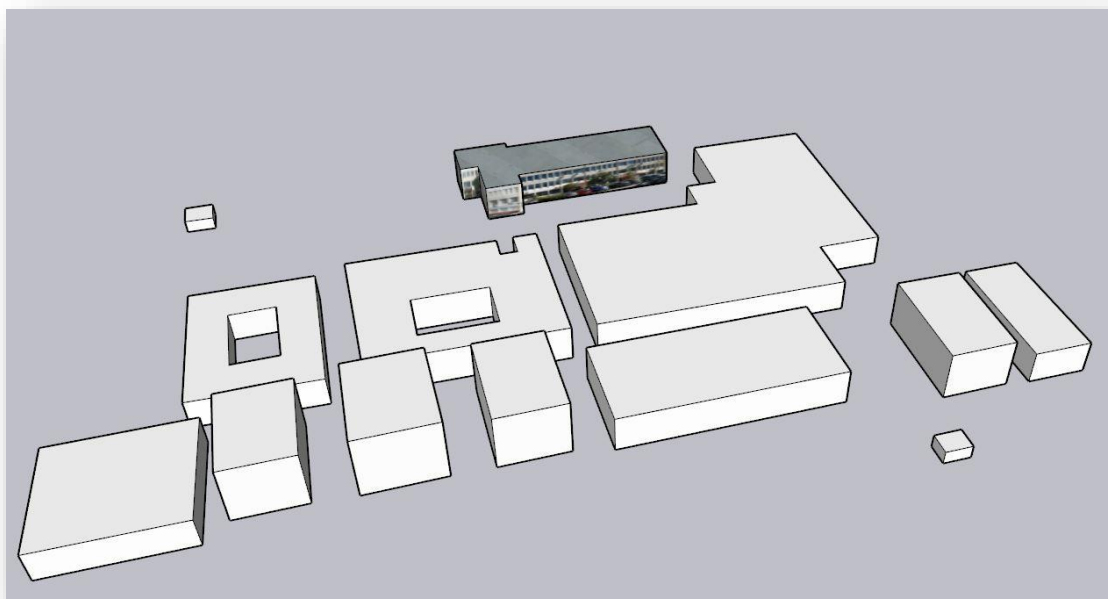
Κατ’ αυτό τον τρόπο και δουλεύοντας διαδοχικά με όλες τις επιφάνειες (GroundSurface, RoofSurface, WallSurface) και προσαρμόζοντας τις φωτογραφίες μπορούμε να δώσουμε μια ρεαλιστικότερη μορφή στα τρισδιάστατα κτιριακά μοντέλα.



Εικόνα 53: Το κτήριο του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής, “kt_9” ολοκληρωμένο με υφές επιφανειών (Πηγή: Ιδία εργασία).

Όπως βλέπουμε στην Εικόνα 54 αναπαρίσταται η Πανεπιστημιούπολη, και με τα δεκατέσσερα κτήρια, σε τρισδιάστατο (3D) μοντέλο σε επίπεδο λεπτομέρειας LOD1

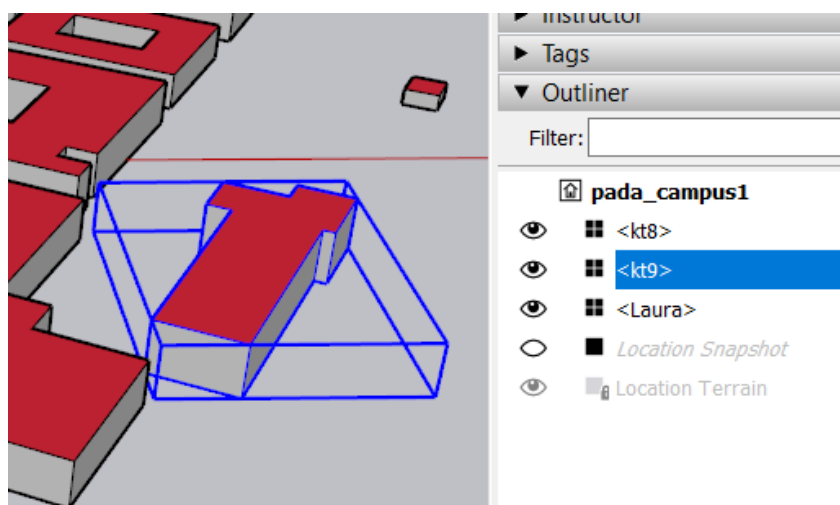
(σύμφωνα με το πρότυπο CityGML) με ενσωματωμένες υφές στο κτήριο του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής (kt_9).



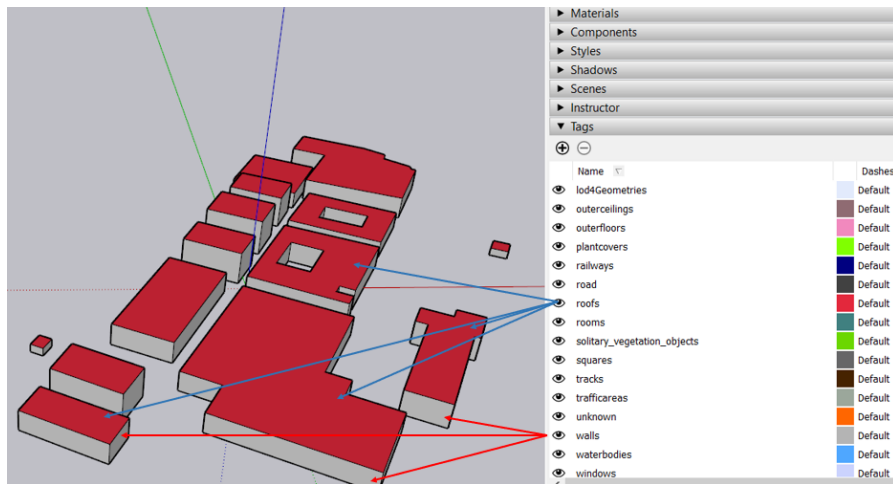
Εικόνα 54: Το ολοκληρωμένο 3D μοντέλο της Πανεπιστημιούπολης άλσους Αιγάλεω με το Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής να έχει μοντελοποιηθεί με χρήση υφών από φωτογραφίες (Πηγή: Ιδία εργασία).

6.3.5 Εξαγωγή μοντέλου από το SketchUp

Όταν ολοκληρώθηκε ο τρισδιάστατος (3D) σχεδιασμός των κτιριακών μοντέλων και εντάχθηκαν οι επιφάνειες στα αντίστοιχα επίπεδα (Tags), το σύνολο των επιφανειών που αντιπροσωπεύουν ένα κτίριο ομαδοποιήθηκαν σε ένα ενιαίο στοιχείο (Component) και δόθηκε μία ονομασία η οποία προσδιορίζει το σχηματιζόμενο κτίριο kt1, kt2 κλπ. (Εικόνα 55).

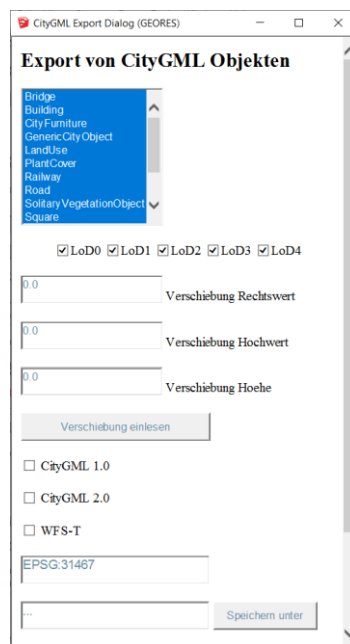


Εικόνα 55: Δημιουργία Component ενιαίου κτιρίου (Πηγή: Ιδία εργασία).



Εικόνα 56: Παραδείγματα αντιστοιχίσεων επιφανειών οροφής (RoofSurface) και τοίχων (WallSurface) με τα αντίστοιχα Tags (SketchUp 2020, Πηγή: Ιδία εργασία).

Στην συνέχεια όλα τα κτίρια που απαρτίζουν το Campus εξήχθησαν (Export) σε μορφή *.xml* αρχείων. Για την εξαγωγή σε πρότυπο CityGML χρησιμοποιήθηκε το ελεύθερο Plugin “GOERES CityGML” (Εικόνα 57).



Εικόνα 57: Export Dialog του plugin GEORES

Τα κατά CityGML εξαγόμενα αρχεία είναι τύπου *.xml* (Εικόνα 58) . Εξασφαλίζοντας έτσι τον διαμοιρασμό των δεδομένων, μιας και το πρότυπο CityGML είναι δομημένο σε *.xml* . Με αυτό τον τύπο αρχείων εισήχθησαν εντός της ΒΔ, στην επόμενη φάση .

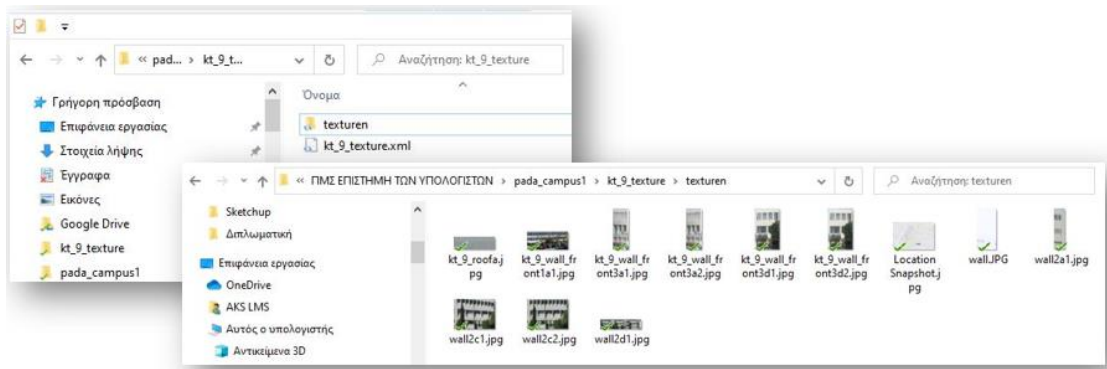
```

61 <app:target>#PolyGMLID_78420_227801_137168_5088</app:target>
62
63 <app:target>#PolyGMLID_72721_596503_307772_3601</app:target>
64
65 <app:target>#PolyGMLID_44945_495696_98941_8171</app:target>
66
67 </app:X3DMaterial>
68 </app:surfaceDataMember>
69 </app:Appearance>
70 </app:appearanceMember>
71 <app:appearanceMember>
72 <app:Appearance>
73 <app:theme>default</app:theme><app:surfaceDataMember>
74 <app:X3DMaterial>
75 <app:diffuseColor>0.15625 0.23828125 0.296875</app:diffuseColor>
76 <app:transparency>0.0</app:transparency>
77 <app:target>#PolyGMLID_97158_107965_416692_9619</app:target>
78
79 <app:target>#PolyGMLID_17106_321336_117394_8547</app:target>
80
81 <app:target>#PolyGMLID_815_280983_5558_7980</app:target>
82
83 <app:target>#PolyGMLID_36742_490110_186461_2120</app:target>
84
85 </app:X3DMaterial>
86 </app:surfaceDataMember>
87 </app:Appearance>
88 </app:appearanceMember>
89 <app:appearanceMember>
90 <app:Appearance>
91 <app:theme>default</app:theme><app:surfaceDataMember>
92 <app:X3DMaterial>
93 <app:diffuseColor>0.64453125 0.11328125 0.14453125</app:diffuseColor>
94 <app:transparency>0.0</app:transparency>

```

Εικόνα 58: Απόσπασμα από το εξαγόμενο αρχείο του SketchUp σε XML μορφή (Πηγή: Ιδία εργασία).

Εάν είχαμε επιλέξει την ενσωμάτωση υφών στα τρισδιάστατα (3D) κτιριακά μοντέλα, κατά την εξαγωγή θα λαμβάναμε ένα αρχείο *.xml* μαζί με έναν φάκελο των αρχείων των φωτογραφιών (τύπου *.jpg*) που χρησιμοποιήθηκαν για να βελτιώσουν την εμφάνιση των επιφανειών (Εικόνα 59).



Εικόνα 59: Ο φάκελος με τις φωτογραφίες που χρησιμοποιήθηκαν για να προσδώσουν την εμφάνιση του *kt_9* του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής (Πηγή: Ιδία εργασία).

Δηλαδή το εξαγόμενο αποτέλεσμα θα ήταν ένα αρχείο *.xml* μαζί με έναν φάκελο των αρχείων των φωτογραφιών (τύπου *.jpg*) που χρησιμοποιήθηκαν για να βελτιώσουν την εμφάνιση των επιφανειών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: 3DCITYDB - Η ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΟΥ CITYGML

7.1 POSTGRESQL

Ο όγκος δεδομένων των τρισδιάστατων (3D) μοντέλων πόλης είναι πολύ μεγάλος. Η επεξεργασία και η διαχείριση τους είναι μια πρόκληση για τα συστήματα και η απαίτηση για ισχυρή ΒΔ είναι εκ των ουκ άνευ. Μία επιπλέον απαίτηση για την ΒΔ είναι η υλοποίηση της σε περιβάλλον που υποστηρίζει χωροχρονικούς τύπους δεδομένων και CityGML σχήματα. Μια ικανοποιητική λύση στο ως άνω πρόβλημα είναι η υλοποίηση μιας ΒΔ σε Oracle ή PostgreSQL οι οποίες μπορούν να εγγυηθούν την λειτουργία σχημάτων με μεγάλο όγκο πληροφορίας και να υποστηρίξουν τους απαιτούμενους τύπους δεδομένων. Στην περίπτωση μας επιλέχθηκε η PostgreSQL³⁰, λόγω του ότι διατίθεται δωρεάν. Η PostgreSQL³¹ θεωρείται η πιο προχωρημένη ΒΔ ανοιχτού κώδικα. Αναπτύσσεται από το 1986 και πρόκειται για μια σχεσιακή Χωρική Βάση Δεδομένων (ΣΧΒΔ), που διαθέτει άριστη αρχιτεκτονική.

Η PostgreSQL παρέχει μερικά πολύ σημαντικά εργαλεία και δυνατότητες, όπως:

- Δυνατότητα διαχείρισης μεγάλου όγκου δεδομένων.
- Υποστηρίζει πληθώρα γλωσσών προγραμματισμού (π.χ. C, C++, Java, Net, Perl, Python, Ruby, ODBC κλπ.).
- Εκτελείται σε πολλά λειτουργικά συστήματα.
- Μεγάλο εύρος χειρισμού φόρτου εργασίας εφαρμογών.
- Επιτρέπει σύνθετα χωρικά ερωτήματα SQL.
- Χρησιμοποιεί ποικιλία μεθόδων εύρεσης πληροφοριών.
- Διαθέτει πολλές επεκτάσεις.

Ένα ακόμα χαρακτηριστικό της PostgreSQL είναι ότι τα αντικείμενα βρίσκονται εντός σχήματος (schema). Οι ΒΔ υλοποιούνται ως «public» schemas αλλά θα υπάρχει η δυνατότητα πρόσθεσης και επιπλέον schemas. Η PostgreSQL εγκαθίσταται με το πρόσθετο PostGIS που εξασφαλίζει την επέκταση χωρικών λειτουργιών.

³⁰ <https://www.postgresql.org/>

³¹ Από το Πανεπιστήμιο Barkley στις ΗΠΑ

7.1.2 Η επέκταση PostGIS

Το PostGIS είναι ένα πρόγραμμα ανοιχτού κώδικα, το οποίο επιτρέπει υποστήριξη για γεωγραφικά αντικείμενα στη σχεσιακή ΒΔ PostgreSQL επιτρέποντας SQL χωρικά ερωτήματα. Προσθέτει δυνατότητες για χωρικές πράξεις και ουσιαστικά, δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να αποθηκεύει, ερωτά και να διαχειρίζεται χωρικά δεδομένα. Η υλοποίηση του έχει γίνει σύμφωνα με το πρότυπο OGC για τον ορισμό γεωγραφικών στοιχείων σε περιβάλλον SQL.

Ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα του PostGIS είναι η μικρή του απαίτηση για μνήμη και υπολογιστική ισχύ. Έτσι επιτρέπει την διατήρηση μεγάλου όγκου δεδομένων στην μνήμη (RAM) του υπολογιστή με όφελος την ταχύτητα διεκπεραίωσης ερωτημάτων.

7.2 3DCITYDB

Η 3D City Database (3DCityDB) είναι μία γεωβάση δεδομένων που διατίθεται δωρεάν. Έχει αναπτυχθεί από το από το Ινστιτούτο Γεωδαισίας και Γεωπληροφορικής του Βερολίνου³². Αποτελείται από το σχήμα ΒΔ και μία σειρά από εργαλεία για την εισαγωγή, διαχείριση, ανάλυση, οπτικοποίηση, και εξαγωγή τρισδιάστατων (3D) μοντέλων πόλης, σύμφωνα με το πρότυπο CityGML.

Στην παρούσα εφαρμογή χρησιμοποιήθηκε η έκδοση 3DCityDB 4.2.3³³ μαζί με την PostgreSQL και το Postgis. Το σχήμα της ΒΔ δημιουργείται κατά απαίτηση του μοντέλου δεδομένων της CityGML. Η 3DCityDB μπορεί να χειριστεί πολύ μεγάλου όγκου μοντέλα σε πολλά διαφορετικά επίπεδα λεπτομερειών (LODs), τα οποία αποτελούνται από πολυπληθή τρισδιάστατα (3D) αντικείμενα με ανυπολόγιστες γεωμετρίες και υφές.

Είναι γεγονός ότι πάνω στη 3DCityDB έχουν υλοποιηθεί μια σειρά από 3D projects ανά τον κόσμο και ινστιτούτα, ερευνητικά κέντρα και κρατικοί φορείς το έχουν εμπιστευτεί για την διαχείριση δεδομένων τρισδιάστατων (3D) απεικονίσεων. Ενδεικτικά αναφέρουμε μια σειρά από πόλεις όπως το Βερολίνο, Μόναχο, Φρανκφούρτη, Γενεύη, Πράγα, Κωνσταντινούπολη, Νέα Υόρκη, Σιγκαπούρη, Ζυρίχη κλπ. τηρούν και διαχειρίζονται τα εικονικά τρισδιάστατα (3D) μοντέλα της πόλης τους σε 3DCityDB. Επιπροσθέτως και ιδιωτικές εταιρείες τη χρησιμοποιούν ως βασικό

³² <https://www.tu.berlin/> , Institute for Geodesy and Geoinformation Science (IGG), Technische Universität Berlin.

³³ <https://3dcitydb-docs.readthedocs.io/en/release-v4.2.3/>

εργαλείο των εμπορικών προϊόντων τους και των υπηρεσιών τους προκειμένου να αποθηκεύσουν, απεικονίσουν και διαχειριστούν εικονικά τρισδιάστατα (3D) μοντέλα.

7.2.1 3DCityDB-Importer-Exporter

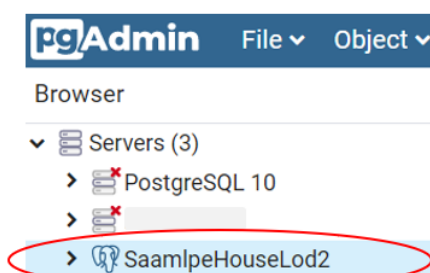
Μαζί με τη γεωβάση 3DCityDB εγκαθίσταται και το 3DCityDB-Importer-Exporter. Το Importer-Exporter είναι ένα πρόσθετο εργαλείο, που παρέχει πλήρη υποστήριξη για CityGML. Ουσιαστικά διαχειρίζεται την εισαγωγή των μοντέλων (σε μορφή XML) και έχει τη δυνατότητα να εξάγει μοντέλα σε διάφορους τύπους αρχείων εκτός του CityGML π.χ. KML/COLLADA. Επομένως διευκολύνεται η οπτικοποίηση του περιεχομένου της ΒΔ σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών (Google Earth, Cesium, Arcgis κλπ.).

7.2.2 pgAdmin 4

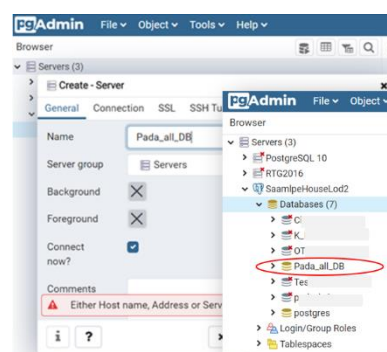
Μαζί με τη χωρική ΒΔ PostgreSQL παρέχεται το λογισμικό pgAdmin 4. Ουσιαστικά είναι το λογισμικό διαχείρισης της ΒΔ, η οποία (PostgreSQL) είναι μία υπηρεσία που δεν έχει δικό της γραφικό περιβάλλον. Ο χρήστης με το pgAdmin 4 μπορεί να αλληλοεπιδρά με την ΒΔ μέσω μιας γραφικής διεπαφής. Προσφέρει ένα γραφικό περιβάλλον για την διατύπωση ερωτημάτων σε γλώσσα SQL και έχει ως στόχο την διευκόλυνση του χρήστη στην διαχείριση της ΒΔ.

7.3 Η ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ 3DCITYDB

Το πρώτο βήμα ήταν η δημιουργία ενός Server (Εικόνα 61) με την βοήθεια του εργαλείου της pgAdmin 4. Στον Server αυτόν εισήχθη η ΒΔ “Pada_all_DB” που δημιουργήθηκε σε δεύτερη φάση (Εικόνα 60) και πάντα σύμφωνα με το πρότυπο CityGML.



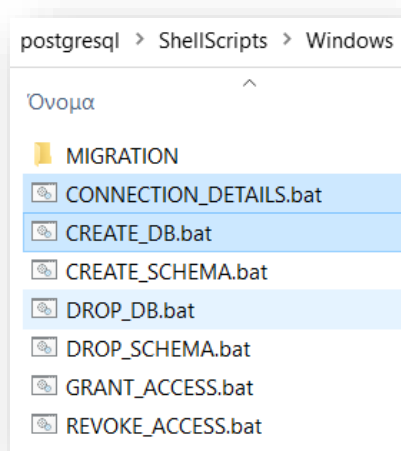
Εικόνα 61: Δημιουργία του Server "SaamlpeHouseLod2"
(Πηγή: Ιδία εργασία).



Εικόνα 60: Η δημιουργία της ΒΔ "Pada_all_DB", στην οποία εισήχθησαν τα δεδομένα. (Πηγή: Ιδία εργασία)

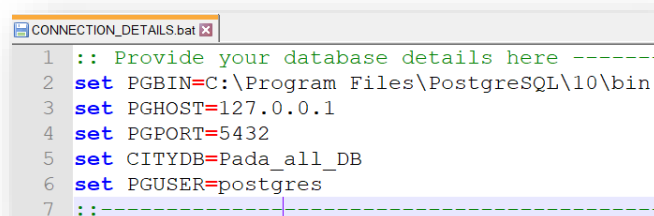
Στην πράξη η υπό κατασκευή ΒΔ υλοποιείται με την επέκταση επιπλέον πινάκων, διάφορων χωρικών οντοτήτων, στην υπάρχουσα βάση “citydb” κατά το πρότυπο

3DCityDB. Για να δημιουργηθούν οι κατά CityGML απαιτούμενοι πίνακες θα πρέπει να παραμετροποιηθεί αρχικά το αρχείο “CONNECTION_DETAILS.bat” και στην συνέχεια να εκτελεστεί το αρχείο “CREATE_DB.bat” (Εικόνα 62).



Εικόνα 62: Τα αρχεία CONNECTION_DETAIL.bat και CREATE_DB.bat (Πηγή: Ιδία εργασία)

Σχετικά με το αρχείο που διατηρεί της πληροφορίες της ΒΔ, δηλαδή το CONNECTION_DETAILS.bat, απαιτούνται να δηλωθούν η διαδρομή (path) της ΒΔ, Host (στην δική μας περίπτωση ο Server “τρέχει” τοπικά), η θύρα (port) επικοινωνίας, το όνομα της ΒΔ και το username της ΒΔ (Εικόνα 63).



Εικόνα 63: Η παραμετροποίηση του αρχείου CONNECTION_DETAIL.bat (Πηγή: Ιδία εργασία)

Κατά την εκτέλεση του αρχείου CREATE_DB.bat θα μας ζητηθεί να εισάγουμε κάποιες πληροφορίες για το χωρικό σύστημα αναφοράς SRID³⁴ βάσει του ελλειψοειδούς που χρησιμοποιείται, το σύστημα αναφοράς EPSG³⁵ και το SRSName³⁶.

³⁴ Το SRID (Spatial Reference Identifier) είναι ένας ακέραιος αριθμός που αντιστοιχεί στο σύστημα συντεταγμένων στο οποίο δίνονται οι συντεταγμένες του εκάστοτε αντικείμενου.

³⁵ Η EPSG είναι μία ελεύθερη ΒΔ που περιέχει δεδομένα με πρότυπους κώδικες για συστήματα συντεταγμένων, σημεία αναφοράς (datum), ελλειψοειδή κ.α.

³⁶ Το SRSName είναι με ένα γεωμετρικό αντικείμενο, καθορίζει το Σύστημα Συντεταγμένων (CRS-Coordinate Reference System) του αντικείμενου.

```

C:\Windows\system32\cmd.exe
3DCityDB
3D City Database - The Open Source CityGML Database
#####
Welcome to the 3DCityDB Setup Script. This script will guide you through the process
of setting up a 3DCityDB instance. Please follow the instructions of the script.
Enter the required parameters when prompted and press ENTER to confirm.
Just press ENTER to use the default values.

Documentation and help:
  3DCityDB website:  https://www.3dcitydb.org
  3DCityDB on GitHub: https://github.com/3dcitydb

Having problems or need support?
  Please file an issue here:
  https://github.com/3dcitydb/3dcitydb/issues

#####

Please enter a valid SRID (e.g., EPSG code of the CRS to be used).
(SRID must be an integer greater than zero): 3857

Please enter the EPSG code of the height system (use 0 if unknown or '3857' is already 3D).
(default HEIGHT_EPSG=0):

Please enter the corresponding gml:srsName to be used in GML exports.
(default GMLSRNAME=urn:ogc:def:crs:EPSG::3857): urn:ogc:def:crs:EPSG::3857,crs:EPSG::3857

Connecting to "postgres@127.0.0.1:5432/Pada_all_DB" ...
Password:

```

Εικόνα 64: Η διεπαφή εισαγωγής των πληροφοριών της χωρικής ΒΔ (Πηγή: Ίδια εργασία).

Αφού ολοκληρωθεί η εισαγωγή των πληροφοριών αρχίζει η δημιουργία του schema της ΒΔ με τους απαραίτητους πίνακες και πληροφορούμαστε την ολοκλήρωση της διεργασίας με την τελική οθόνη ολοκλήρωσης.

```

C:\Windows\system32\cmd.exe
CREATE FUNCTION
CREATE TABLE
INSERT 0 1
INSERT 0 1
INSERT 0 1
INSERT 0 1
INSERT 0 1
INSERT 0 1
INSERT 0 1
INSERT 0 1
INSERT 0 1
INSERT 0 1
ALTER DATABASE

3DCityDB creation complete!

Checking spatial reference system ...
  check_srid
-----
  SRID ok

Setting spatial reference system of 3DCityDB instance ...
  change_schema_srid
-----

Done
Press any key to continue ...

```

Εικόνα 65: Η οθόνη ολοκλήρωσης της διαδικασίας διαμόρφωσης της ΒΔ (Πηγή: Ίδια εργασία).

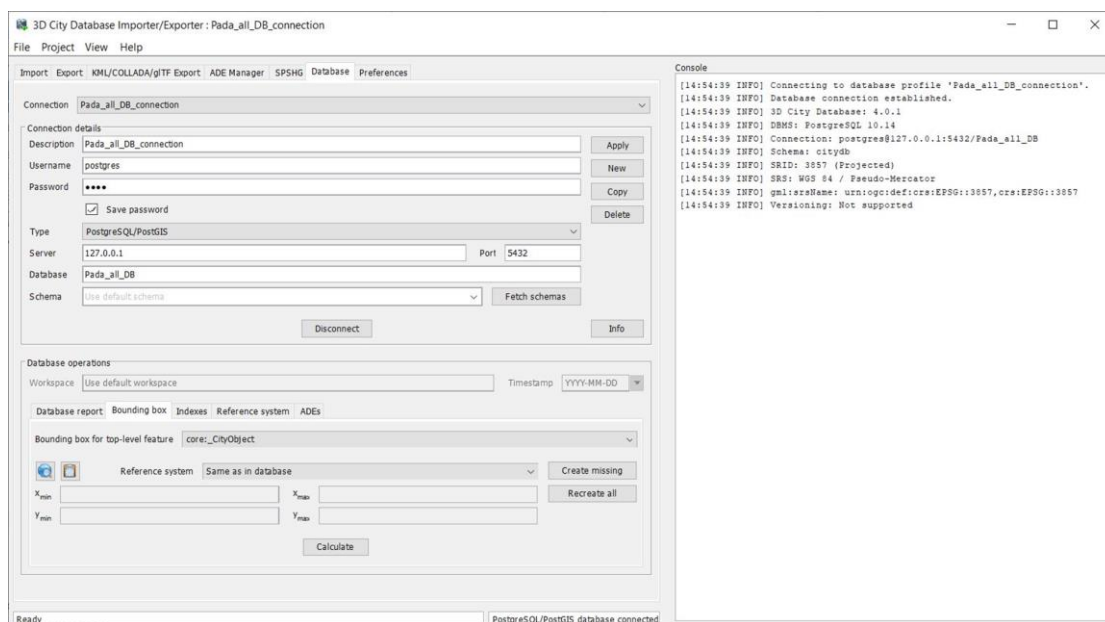
7.4 Η ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΗΝ 3DCITYDB

Στο παρόν στάδιο υλοποιείται η εισαγωγή των αρχείων XML με τα δεδομένα των μοντέλων εντός της ΒΔ “Pada_all_DB”. Αρχικά γίνεται η διασύνδεση της PostgreSQL με την 3DCityDB και στην συνέχεια ο εμπλουτισμός της ΒΔ με την απαραίτητη χωρική και περιγραφική πληροφορία ως προς τα τρισδιάστατα (3D) κτήρια.

7.4.1 Η διασύνδεση PostgreSQL με 3DCityDB

Η διασύνδεση της PostgreSQL με την 3DCityDB γίνεται με το εργαλείο 3DcityDB-Importer-Exporter. Δίνονται οι απαραίτητες πληροφορίες επικοινωνίας και ενεργοποιείται η σύνδεση (Connect).

Αρχικά όλα τα στοιχεία κάθε οντότητας της ΒΔ αρχικοποιούνται με μηδενικές τιμές. Ουσιαστικά είναι ακόμα άδεια η ΒΔ από περιγραφική και χωρική πληροφορία.

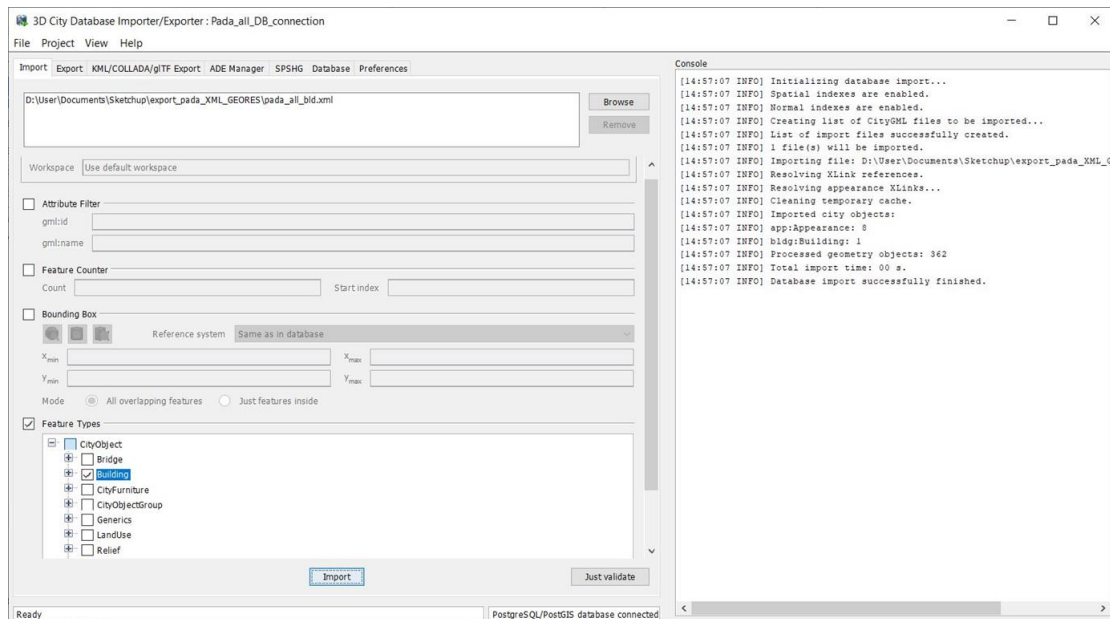


Εικόνα 66: Η διασύνδεση της PostgreSQL με την 3DCityDB με την βοήθεια του 3DcityDB Importer/Exporter(Πηγή: Ίδια εργασία).

7.4.2 Η εισαγωγή των δεδομένων στη 3DCityDB

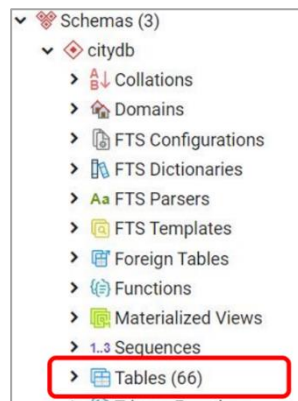
Στο επόμενο στάδιο επιχειρείται η εισαγωγή του κώδικα XML στην ΒΔ (Εικόνα 67). Οι περιεχόμενες πληροφορίες εντός του XML αρχείου είναι διαμορφωμένες στα πρότυπα του CityGML. Η επιχειρούμενη εισαγωγή ολοκληρώνεται με την συμβολή του εργαλείου 3D-Importer-Exporter.

Αξίζει να σημειωθεί ότι πριν την εισαγωγή (Import) των δεδομένων, έγινε έλεγχος (validate) του αρχείου ως προς την δομή και το περιεχόμενό του. Όταν ολοκληρώθηκε η εισαγωγή οι πίνακες της ΒΔ περιείχαν τα χωρικά στοιχεία, τα οποία περιέχονταν στο αρχείο XML. Ένα έλεγχος της ΒΔ αποκαλύπτει τον εμπλουτισμό της με την χωρική πληροφορία να διανέμεται στους 66 πίνακες που αποτελούν το όλο “schema” (Εικόνα 68)



Εικόνα 67: Η εισαγωγή του XML αρχείου στην ΒΔ (Πηγή: Ιδία εργασία).

Πλέον η βάση μας περιέχει εντός των πινάκων της όλο το μοντέλο που εισάγαμε, με όλη την πληροφορία που το συνοδεύει. Πλέον είναι εφικτή και η εκτέλεση ερωτημάτων SQL εντός της ΒΔ.

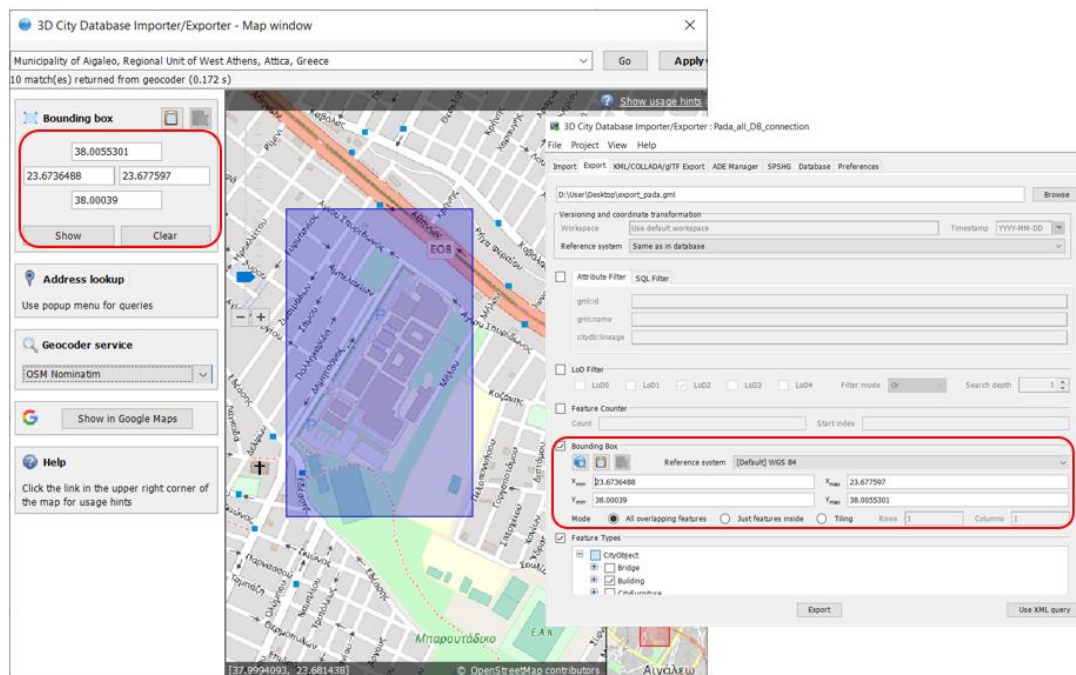


Εικόνα 68: Οι νέα διαμόρφωση της ΒΔ (Πηγή: Ιδία εργασία).

7.5 Η ΕΞΑΓΩΓΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΑΠΟ ΤΗΝ 3DCITYDB

Όταν αναφερόμαστε σε εξαγωγή του τρισδιάστατου (3D) μοντέλου από την ΒΔ, ουσιαστικά αναφερόμαστε στην δυνατότητα διαμοιρασμού του μοντέλου σε εφαρμογές που θα οπτικοποιήσουν το αποτέλεσμα. Η όλη διαδικασία επικεντρώνεται στο εργαλείο Importer/Exporter της 3DCityDB, το οποίο μας παρέχει όλες τις δυνατές παραμετροποιήσεις για την οπτικοποίηση του τελικού μοντέλου θέασης. Η εξαγωγή του τρισδιάστατου (3D) μοντέλου προϋποθέτει την σωστή γεωμετρία και δομή, αλλά σημαντικό ρόλο παίζει και η χωρική θέση. Έτσι, κάθε φορά που απαιτείται η εξαγωγή όλου

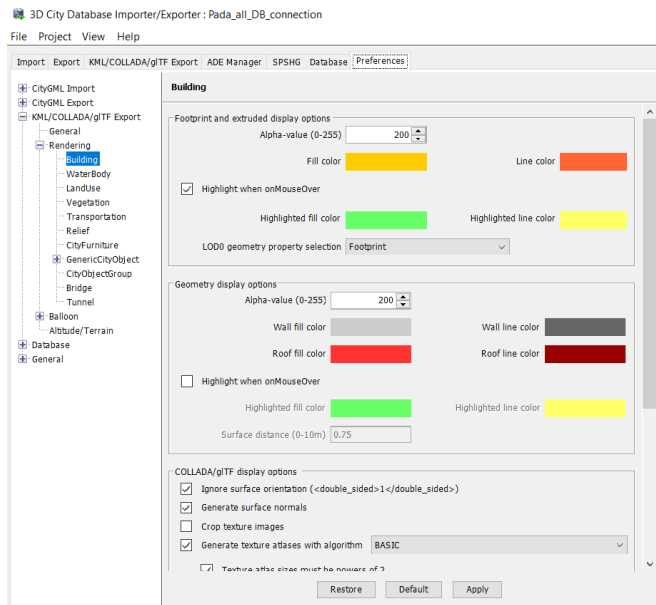
ή επιμέρους στοιχείων του τρισδιάστατου (3D) μοντέλου υπολογίζονται οι συντεταγμένες της περιοχής μελέτης και αντιγραφή τους στο εξαγόμενο αρχείο. Ολοκληρώνοντας την προετοιμασία του προς εξαγωγή αρχείου, προστρέχουμε στις ρυθμίσεις εξαγωγής (Preferences, KML/COLLADA/gTF Export) και κάνουμε τις επιθυμητές επιλογές θέασης του τρισδιάστατου (3D) μοντέλου.



Εικόνα 69: Η οριοθέτηση της περιοχής μελέτης του προς οπτικοποίηση εξαγόμενου 3D μοντέλου (Πηγή: Ϊδια εργασία).

Ορίζουμε παραμέτρους απεικόνισης γίνεται καθορισμός χρωμάτων για την απεικόνιση τμημάτων των κτιρίων (π.χ. τοίχοι, οροφή), επιλογή περιοχής αναπαράστασης, καθώς και σειρά από μεγέθη απεικόνισης ως προς τη γεωμετρία και την ακρίβεια. Στο documentation³⁷ της 3DCityDB μπορούμε να βρούμε μια σειρά από διαθέσιμες επιλογές για την δημιουργία των διαφορετικών εξαγόμενων τύπων αρχείων.

³⁷ <https://www.3dcitydb.org/3dcitydb/documentation/>



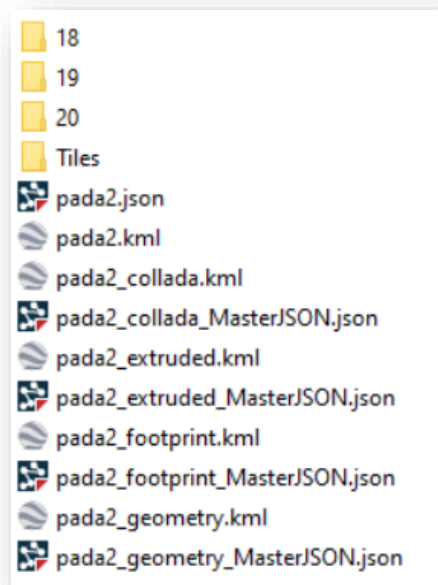
Εικόνα 70: Επιλογές απεικόνισης του εξαγόμενου μοντέλου (Πηγή: Ιδία εργασία).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΕΙΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ 3DCITYDB

Το εργαλείο 3DCityDB Importer/Exporter έχει την δυνατότητα να εξαγάγει το αρχείο μας σε τέσσερα εξαγόμενα αρχεία Footprint, Extruded, Geometry και COLLADA /glTF (Εικόνα 71). Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας στο εργαλείο 3DCityDataBase Importer/Exporter, δημιουργήθηκαν τέσσερα αρχεία (Footprint, Extruded, Geometry, COLLADA/glTF).



Εικόνα 71: Οι τέσσερις διαθέσιμοι τύποι εξαγωγής του 3D μοντέλου (Πηγή: Ιδία εργασία).



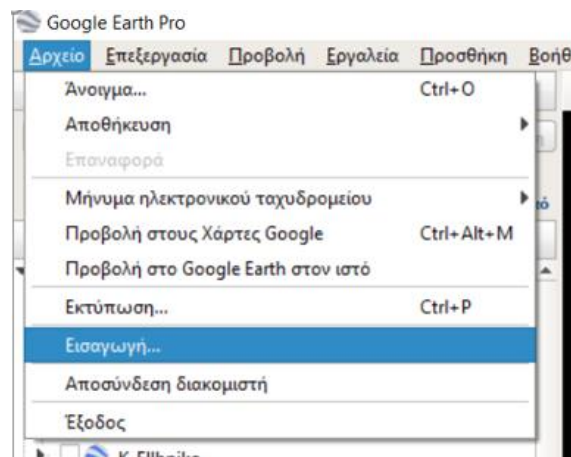
Εικόνα 72: Εξαγόμενοι τύποι αρχείων από το 3DCityDB Importer/Exporter (Πηγή: Ιδία εργασία).

Η επιλογή “Footprint”, στο εξαγόμενο αρχείο οπτικοποιεί μόνο την επιφάνεια του κτιρίου στο έδαφος. Η επιλογή “Extruded”, παρουσιάζει τα εξαγόμενα κτίρια ογκομετρικά με ύψος τόσο, όσο είναι καταχωρημένο στη ΒΔ και με επίπεδη στέγη. Στην επιλογής “Geometry”, το εξαγόμενο αρχείο παρουσιάζει την αναλυτική γεωμετρία του εδάφους και των τμημάτων του κτιρίου (π.χ. τοίχοι, οροφή), καθώς και με διαφορετικό

χρωματισμό ανά είδος επιφάνειας. Τέλος το αρχείο τύπου “COLLADA”, συμπληρώνει το “Geometry” με την προσθήκη υφών στις επιφάνειες των αντικειμένων.

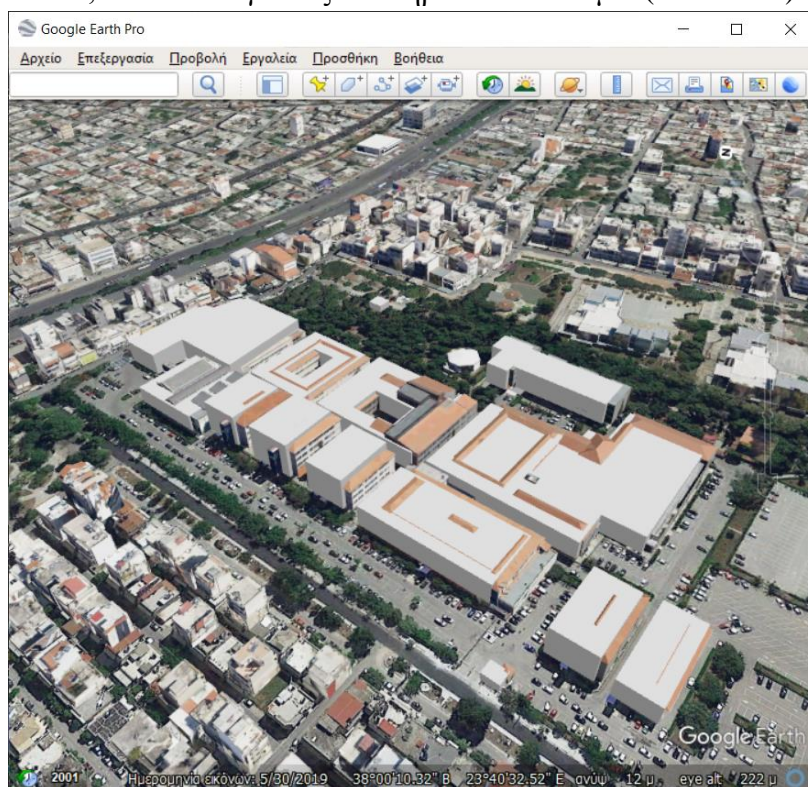
8.1 ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕ ΤΟ GOOGLE EARTH PRO

Προκειμένου να οπτικοποιηθεί το μοντέλο μας μέσω του λογισμικού Google Earth αρκεί να χρησιμοποιούμε την επιλογή “*Extruded*” (Εικόνα 71). Κατά αυτών τον τρόπο έχουμε την απαραίτητη εξώθηση των κτιρίων στην τρίτη διάσταση και το παραγόμενο αρχείο είναι τύπο *.kml* . Ο τύπος αυτών των αρχείων μπορεί να εισαχθεί το Google Earth μέσα από το περιβάλλον της εφαρμογής (Εικόνα 73).



Εικόνα 73: Η επιλογή εισαγωγής (.kml αρχείου) στο Google Earth Pro(Πηγή: Ϊδία εργασία).

Μπορούμε πλέον να εμφανίσουμε το τρισδιάστατο (3D) μοντέλο που έχουμε δημιουργήσει με κάθε πληροφορία που του έχουμε εισάγει. Η περιήγηση στο λογισμικό Google Earth, δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να παρατηρήσει από διάφορους προσανατολισμούς το μοντέλο και να λάβει οποιαδήποτε πληροφορία από αυτές που έχουν εισαχθεί σε αυτό, απλά επιλέγοντας το κτήριο που επιθυμεί (Εικόνα 74).

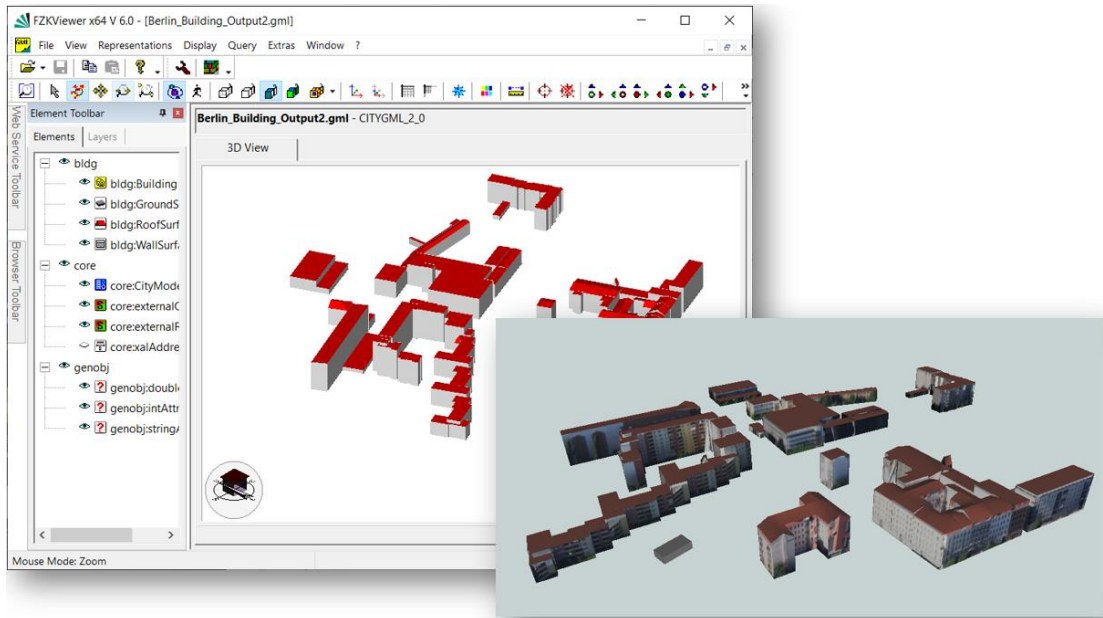


Εικόνα 74: 3D Οπτικοποίηση του ΠΑΑΑ μέσω του Google Earth (Πηγή: Ι-δία εργασία).

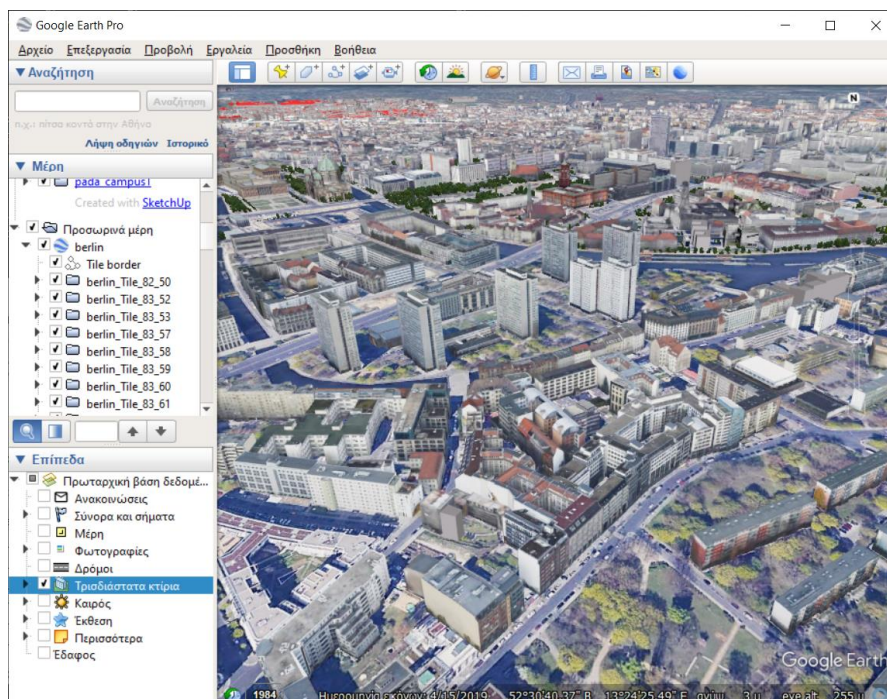
8.2 ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕ ΤΟ CESSIUM

Το προς εξαγωγή αρχείο με τα κτίρια του ΠΑΑΑ είναι ένα μικρό δείγμα τρισδιάστατου (3D) μοντέλου με μικρό επίπεδο λεπτομέρειας και πληροφορίας. Το ενδιαφέρον της υπό μελέτης μοντελοποίησης είναι η εφαρμογή της σε μεγάλης κλίμακας μοντέλα, τα οποία είναι δύσκολο να κατασκευαστούν αλλά και να αναζητηθούν. Όπως είχαμε αναφερθεί στους στόχους της παρούσης ήταν να επιχειρηθεί η αντίστοιχη διαδικασία με ένα μεγάλης κλίμακας μοντέλο και μεγαλύτερης ανάλυσης. Ένα τέτοιο διαθέσιμο μοντέλο πόλης είναι αυτό της πόλης του Βερολίνου. Το σημασιολογικό τρισδιάστατο (3D) μοντέλο πόλης της γερμανικής πρωτεύουσας είναι ελεύθερα διαθέσιμο στο κοινό ως ανοιχτά δεδομένα σε μορφή CityGML, περιλαμβάνει περίπου 550.000 αντικείμενα κτηρίου LOD1 και LOD2 σε ολόκληρη την περιοχή της πόλης (890 km²). Τα ανοιχτά

δεδομένα παρέχονται μέσω μιας διαδικτυακής πύλης³⁸ οι χρήστες της οποίας μπορούν να επιλέξουν και να κατεβάσουν μεμονωμένα μοντέλα κτιρίων σε μια ποικιλία μορφών τρισδιάστατων (3D) δεδομένων.



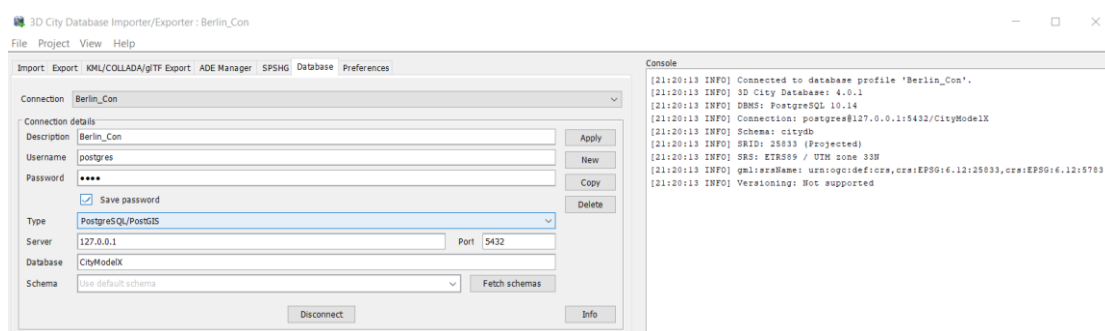
Εικόνα 75: Τμήμα της πόλης του Βερολίνου LOD2 με και χωρίς υφές επιφανειών μέσω του λογισμικού FZK (Πηγή: Ίδια εργασία).



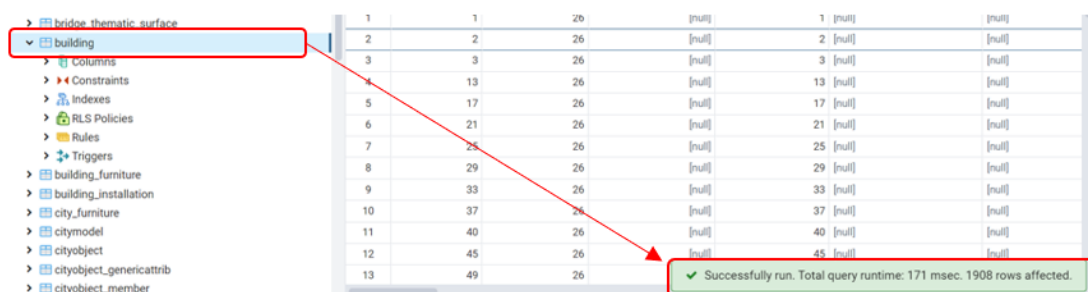
Εικόνα 76: Οπτικοποίηση του Βερολίνου με εξαγόμενο αρχείο .kml από την 3DCityDB, σε επίπεδο LOD2 με υφές (Στο Παράρτημα Γ παρουσιάζονται όλες οι εκδοχές οπτικοποίησης της ίδιας σκηνής, , Πηγή: Ίδια εργασία).

³⁸ <https://www.businesslocationcenter.de/en/economic-atlas/download-portal/>

Ακολούθως, στη δεύτερη φάση της εργασίας, δημιουργήθηκε μια κενή βάση δεδομένων η *CityModelX* (Εικόνα 77) και έγινε εισαγωγή των δεδομένων της πόλη του Βερολίνου στην 3DCityDB με το εργαλείο Importer/Exporter (Εικόνα 78).



Εικόνα 77: Η επιτυχής σύνδεση με την ΒΔ "CityModelX"(Πηγή: Ιδία εργασία).

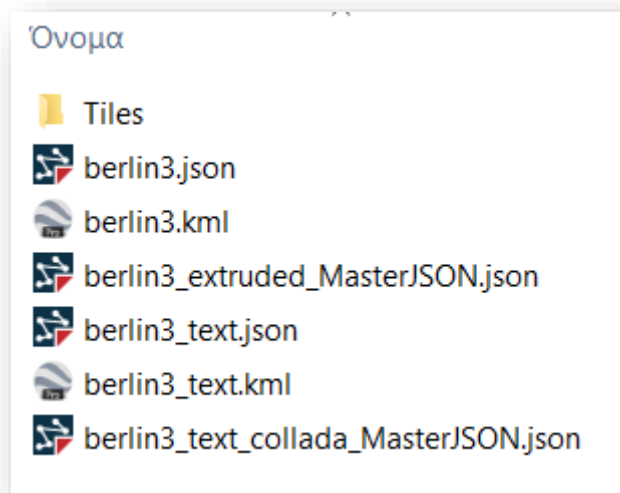


Εικόνα 78: Εισαγωγή στην ΒΔ (στον πίνακα building) 1908 κτιρίων(Πηγή: Ιδία εργασία).

Το Cesium είναι μια ανοιχτή JavaScript βιβλιοθήκη για παγκόσμιους τρισδιάστατους (3D) χάρτες η οποία επιτρέπει την αναπαράσταση τρισδιάστατων (3D) αντικειμένων σε έναν διαδικτυακό φυλλομετρητή (web browser).

8.2.1 Εξαγωγή αρχείων οπτικοποίησης

Ακολουθώντας την αντίστοιχη διαδικασία με την εξαγωγή του μοντέλου του ΠΑΔΑ, εξάγουμε τα απαραίτητα αρχεία οπτικοποίησης σύμφωνα με τις επιλογές μας στο εργαλείο Importer/Exporter (Εικόνα 79).



Εικόνα 79: Τα εξαγόμενα προς οπτικοποίηση αρχεία (Πηγή: Ιδία εργασία).

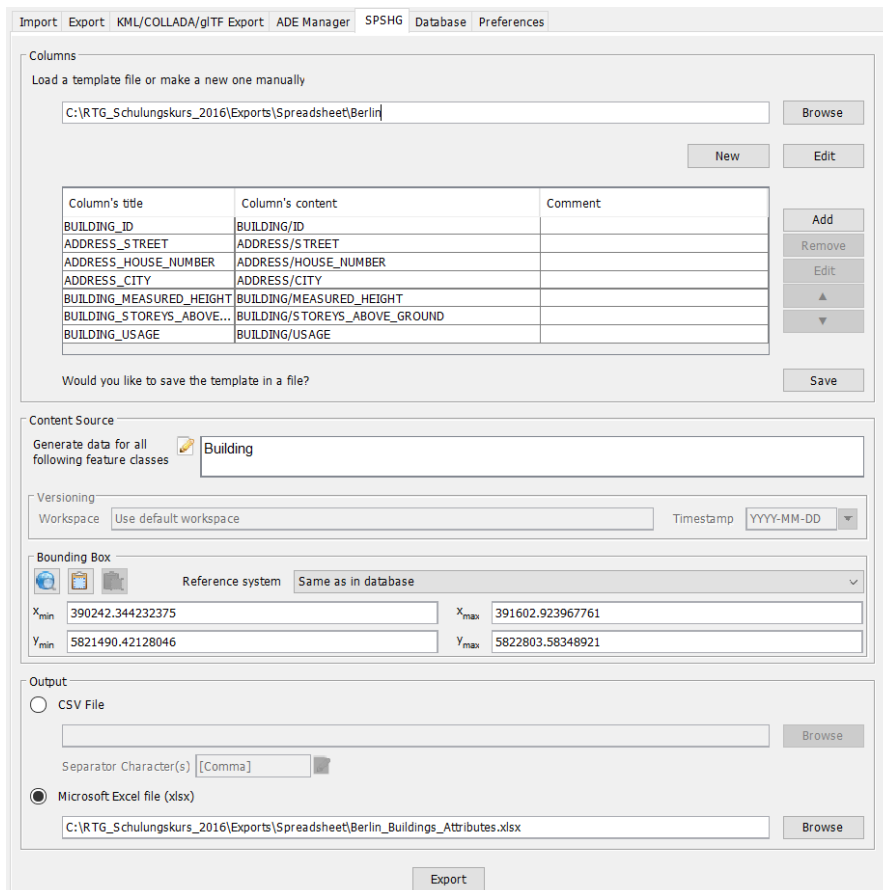
Επιπροσθέτως αν θέλουμε να εμφανίζουμε πληροφορίες για το εκάστοτε υποδεικνυόμενο κτίριο³⁹ (Εικόνα 80), θα πρέπει να εξάγουμε τις απαραίτητες πληροφορίες σε μορφή *.xls* ή *.csv* και να τις αποθηκεύσουμε στο cloud⁴⁰. Στην συνέχεια θα εισάγουμε το link στο Cesium προκειμένου να αναζητά τις πληροφορίες από εκεί και φυσικά να είναι εύκολο να επέμβουμε ανά πάσα στιγμή στις δημοσιοποιημένες πληροφορίες.

8.2.2 Δημιουργία περιεχομένου στο Cesium

Η πλατφόρμα Cesium μας δίνει μια πληθώρα επιλογών προκειμένου να οπτικοποιήσουμε το τρισδιάστατο (3D) περιεχόμενο μας. Αυτό που στην πραγματικότητα έχουμε να κάνουμε, είναι να παραμετροποιήσουμε τις πληροφορίες σε επίπεδα (layers) δηλώνοντας εντός της πλατφόρμα τα αρχεία και το path τους. Τα επιλεγόμενα αρχεία έχουν είδη δημιουργηθεί μέσω του Export του εργαλείου Importer/Exporter του 3DCityDB (Εικόνα 69).

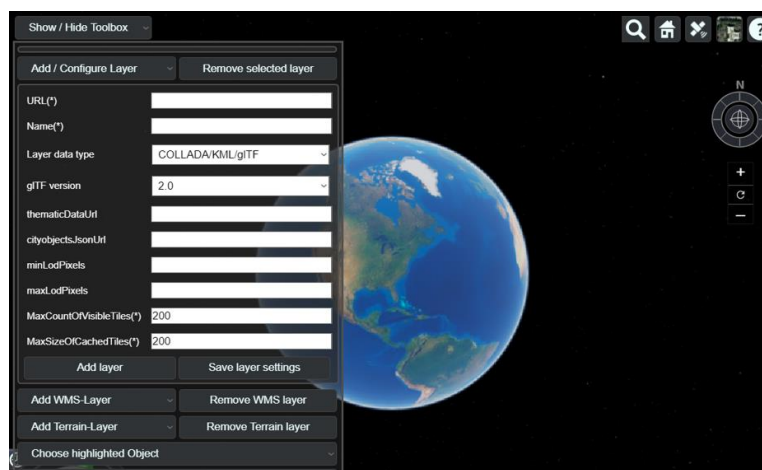
³⁹ Με την μορφή *balloon*

⁴⁰ Στη παρούσα εργασία επιλέχτηκε η λύση των Sheets του Google Drive.

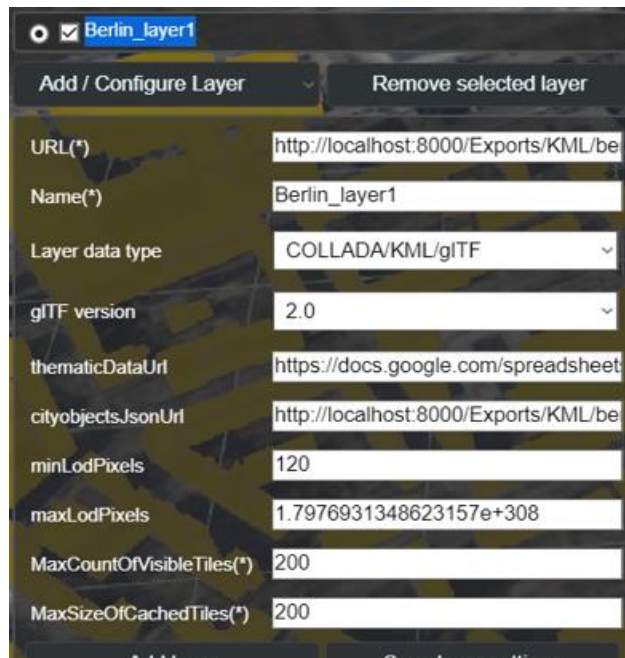


Εικόνα 80: Εξαγωγή σε .xls από το Importer/Exporter (Πηγή: Ιδία εργασία).

Όπως βλέπουμε στην αρχική οθόνη (Εικόνα 81) της εφαρμογής, προϋπάρχει ο παγκόσμιος χάρτης σε μορφή της υδρογείου και εμφανίζει τα κενά πεδία δηλώσεων των αρχείων και των αντίστοιχων διαδρομών. Στην Εικόνα 82 βλέπουμε την εφαρμογή μετά την ολοκλήρωση των δηλώσεων.

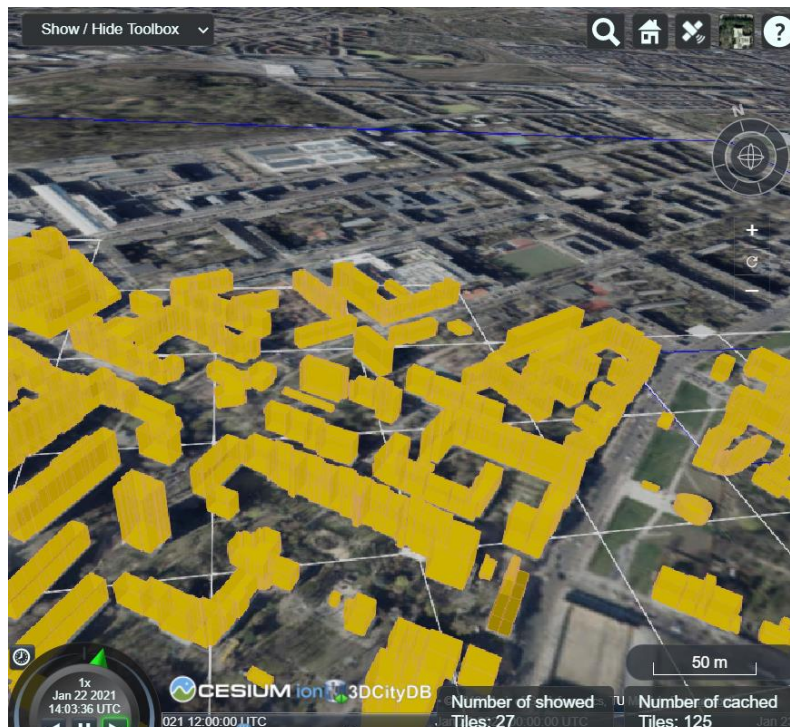


Εικόνα 81: Η αρχική οθόνη δημιουργίας περιεχομένου του Cesium (Πηγή: Ιδία εργασία).



Εικόνα 82: Η δημιουργία ενός layer πληροφορίας στην πλατφόρμα Cesium (Πηγή: Ιδία εργασία).

Επιλέγοντας το layer “Berlin_layer1” φορτώνουν τα δεδομένα πάνω στον παγκόσμιο χάρτη και κατευθυνόμαστε στην περιοχή μελέτης στο επίπεδο θέασης που είχαμε επιλέξει κατά την παραμετροποίηση του layer (Εικόνα 83).



Εικόνα 83: Η περιοχή μελέτης μετά την επιλογή του αντίστοιχου layer (Πηγή: Ιδία εργασία).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τη σημερινή εποχή υπάρχει άμεση ανάγκη για την ύπαρξη τρισδιάστατων (3D) χωρικών δεδομένων, ικανών να αναπαραστήσουν το περιβάλλον. Οι ανάγκες είναι ιδιαίτερα αυξημένες με την ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας, που έχει επιφέρει αύξηση των δυνατοτήτων των συστημάτων αλλά και την μεγαλύτερη εξοικείωση του κοινού με τα ψηφιακά εργαλεία. Ένα μεγάλο μέρος του κοινού που αξιοποιούν τις νέες ψηφιακές δυνατότητες που παρέχονται στις μέρες μας, επιζητά την τρισδιάστατη (3D) απεικόνιση, διαδικασιών και υπηρεσιών. Η τρισδιάστατη (3D) απεικόνιση προσδίδει γρηγορότερη και καλύτερη αντίληψη του κόσμου που μας περιβάλλει. Το στοίχημα είναι η ύπαρξη ικανών δεδομένων που θα μπορέσουν να αναπαραστήσουν ικανοποιητικά τα αντικείμενα και υπηρεσίες. Όπως έγινε αντιληπτό στην παρούσα εργασία η ύπαρξη αυτών των τρισδιάστατων (3D) δεδομένων είναι μία πρόκληση, το υψηλό κόστος κατασκευής τους αλλά και η δυσκολία δημιουργίας τους τα καθιστά δυσεύρετα. Ζητούμενο είναι ικανότητα αυτών των δεδομένων να ενσωματωθούν και να διαμοιραστούν με ικανοποιητικό τρόπο, από διαφορετικές εφαρμογές, δεδομένου ότι η κατασκευή τους μπορεί να προέλθει από διαφορετικά εργαλεία και με διαφορετικές μεθοδολογίες. Ναι μεν η ύπαρξη ενός προτύπου σαν το CityGML διευκολύνει προς αυτή την κατεύθυνση, αλλά η δημιουργία ορθά ελεγμένων τρισδιάστατων (3D) δεδομένων δεν είναι κάτι απλό. Όταν τελικά κατορθώσουμε να έχουμε ένα σύνολο δεδομένων σύμφωνα με το πρότυπο CityGML είναι εφικτό να διαμοιραστούν με επιτυχία και να αξιοποιηθούν από τις εφαρμογές οπτικοποίησης.

Στην παρούσα εργασία καταφέραμε να δημιουργήσουμε με δωρεάν εργαλεία (τα περισσότερα ανοιχτού λογισμικού) ένα σύνολο τρισδιάστατων (3D) δεδομένων. Να εξασφαλίσουμε την επαναχρησιμοποίηση του και τελικά να οπτικοποιήσουμε με διαφορετικά εργαλεία το περιεχόμενό τους. Επιπλέον δοκιμάσαμε με επιτυχία να αξιοποιήσουμε δεδομένα μοντελοποιημένα κατά το πρότυπο CityGML, χωρίς να μας απασχολεί ο τρόπος κατασκευής τους και να τα οπτικοποιήσουμε με αποδοτικό τρόπο. Ακολούθως έγινε εφικτή η χαρτογράφηση της όλης διαδικασίας, με καταγραφή των διαθέσιμων εργαλείων, των τύπων των αρχείων, αλλά και τις μεθοδολογίες.

Παρά το θετικό αποτέλεσμα της όλης διαδικασίας αξίζει να σημειώσουμε τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν στην όλη μοντελοποίηση. Καταρχήν η διαδικασία χαρακτηρίζεται από υψηλό βαθμό δυσκολίας. Παρά το θετικό αποτέλεσμα της όλης

διαδικασίας αξίζει να σημειώσουμε τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν στην όλη μοντελοποίηση. Καταρχήν η διαδικασία χαρακτηρίζεται από υψηλό βαθμό πολυπλοκότητας, που οφείλεται στο πλήθος των εργαλείων και των λογισμικών που πρέπει να χρησιμοποιηθούν. Ακόμα οι περισσότερες από τις χρησιμοποιούμενες εφαρμογές απαιτούν περαιτέρω παραμετροποίηση προκειμένου να είναι εφικτή λειτουργικότητά τους. Απαιτείται η χρησιμοποίηση προσθέτων στα διάφορα εργαλεία, τα οποία παρουσιάζουν προβλήματα συμβατότητας αλλά και υποστήριξης με τις υπάρχουσες εφαρμογές. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στην επιλογή των κατάλληλων πρόσθετων και συχνή χρήση των κειμένων τεκμηρίωσης τους προκειμένου να καταστούν λειτουργικά.

Θέμα προς συζήτηση αποτελεί η απουσία εργαλείων μετατροπής των τρισδιάστατων (3D) μοντέλων σε τύπους *.gml (.xml)* προκειμένου να εισαχθούν σε χωρικές βάσεις δεδομένων. Το SketchUp είναι το μοναδικό σχεδιαστικό πρόγραμμα που προσφέρει αυτή την δυνατότητα αν και με την χρήση προσθέτων. Μάλιστα οι άνευ χρέωσης επεκτάσεις που βοηθούν στον μετασχηματισμό των αρχείων σε *.xml*, είναι περιορισμένες, και πιθανότητα σε μελλοντικές αναβαθμίσεις του λογισμικού να μην είναι συμβατές. Ενδεχομένως οι υποστήριξη απευθείας μέσω της εισαγωγής και εξαγωγής τύπων αρχείων CityGML από τα γνωστά σχεδιαστικά πακέτα θα οδηγούσε σε μια ανάπτυξη της τυποποιημένης και πιστοποιημένης παραγωγής τρισδιάστατων (3D) δεδομένων. Έτσι θα δίνονταν μια ώθηση προς την κατεύθυνση που περιγράφει και η οδηγία ISNPIRE όσον αφορά την κατασκευή και διάθεση δεδομένων για την χρήση τους στην κατασκευή τρισδιάστατων (3D) μοντέλων.

Καταλήγοντας, σύμφωνα με την παραπάνω μοντελοποίηση γίνεται ξεκάθαρο πως η παρουσία ενός πρότυπου όπως το CityGML πρέπει να αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση στις προσπάθειες ανάπτυξης δημιουργίας τρισδιάστατων (3D) δεδομένων αστικού περιβάλλοντος. Είναι ο μοναδικός τρόπος αξιοποίησης πληροφορίας από διαφορετικά λογισμικά και της επαναχρησιμοποίησης τους.

ΜΕΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η απεικόνιση της τρισδιάστατης (3D) πληροφορίας με χρήση ενός προτύπου (CityGML), αποτελεί μια αναγκαιότητα. Είναι μία σύγχρονη αντιμετώπιση μοντελοποίησης η οποία όμως παρουσιάζει ιδιαιτερότητες. Η μεγαλύτερη πρόκληση για το μέλλον είναι η απλοποίηση των διαδικασιών. Η παρούσα μελέτη μας

οδηγεί στο συμπέρασμα ότι στο εγγύς μέλλον με την εξέλιξη των λογισμικών σχεδίασης/κατασκευής τρισδιάστατων (3D) αντικειμένων αλλά και των εφαρμογών/πλατφορμών οπτικοποίησης τρισδιάστατης (3D) περιεχομένου θα απλοποιηθεί η όλη διαδικασία. Θέμα προς διερεύνηση και μελλοντική έρευνα αποτελεί η προσπάθεια καταγραφής των διαδικασιών και εργαλείων δημιουργίας τρισδιάστατου (3D) αστικού περιβάλλοντος με μεγαλύτερο επίπεδο λεπτομέρειας (LOD3-LOD4) και η διερεύνηση απώλειας πληροφορίας κατά τον διαμοιρασμό δεδομένων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Agugiaro, G. (2016). Energy planning tools and CityGML-based 3D virtual city models: experiences from Trento (Italy). *Applied Geomatics*(41–56).
- Biljecki, F., Heuvelink, G., Ledoux, H., & Stoter, J. (2017). The effect of acquisition error and level of detail on the accuracy of spatial analyses. *Cartography and Geographic Information Science*.
- Biljecki, F., Ledoux, H., & Stoter, J. (2016). *Generation of multi-lod 3d city models in citygml with the procedural modelling engine random3dcity*.
- Boehm, J., Brédif, M., Gierlinger, T., Krämer, M., Lindenbergh, R. C., Oberste-Dommes, F., . . . Liu, K. (2016). The IQmulus urban showcase: automatic tree classification and identification in huge mobile mapping point clouds. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*.
- de Vries, T., & Zlatanova, S. (2011). 3D intelligent cities. . *GEO Informatics, Vol 14 (No 3)*.
- Elberink, S., & Vosselman, G. (2009). Building Reconstruction by Target Based Graph Matching on Incomplete Laser Data: Analysis and Limitations. *MDPI Open Access Publishing*.
- Goodchild, M. I. (1985). Geographical Information Systems in Underground Geography: A Contemporary Dilemma. . *The Operational Geographer 8*, 34-38.
- Harder, C. (2015). *The ArcGIS Book [e-book], Esri Press*. Ανάκτηση από <http://downloads.esri.com/LearnArcGIS/pdf/The-ArcGIS-Book.pdf>
- Kolbe, T., König, G., Nagel, C., & Stadler, A. (2009). 3D-Geo-Database for CityGML, Documentation, Version 2.0.1, Institute for Geodesy and Geoinformation Science. *Technische Universität Berlin, Berlin, Germany*.
- Kolbe, T., Yao, Z., Herreruella, J., & Nagel, C. (2013). 3D City Database for CityGML, Importer/Exporter . *Addendum to the 3D City Database Documentation*.
- Lovelace, R., Jakub N, & Jannes , M. (2019). *Geocomputation with R*. Chapman and Hall/CRC.
- Muller, P., Wonka, P., Haegler, S., & Ulmer, A. (2006). Procedural Modeling of Buildings. *Transactions on Graphics*.
- Pierre , B. (1986). *The Mathematical Basis of the Unisurf CAD System, Butterworth-Heinemann*.
- Pilouk, M. (1996). *Integrated Modelling for 3D GIS*. Holland: International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC). Ανάκτηση από 1996.
- Shashi, M., & Kamal, J. (2017). *Use of photogrammetry in 3D modeling and visualization of buildings*. India: Department of Civil Engineering, Indian Institute of Technology Roorkee.
- Singh, S. P., Jain, K., & Mandla, V. R. (2013). Virtual 3D City modeling: Techniques and Applications. *ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*.

- Stoter, J., Hugo, L., Zlatanova, S., & Biljecki, F. (2016). 5D Data Modelling: Full Integration of 2D/3D Space. *Time and Scale Dimensions Geoinformations Systeme 2016*.
- Toth, C., & Józskó, G. (2016). Remote sensing plat- forms and sensors: A survey. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, σσ. 22–36.
- Yao, S., Ling, X., Nueesch, F., & Schrotter, S. (2019). Maintaining Semantic Information across Generic 3D Model Editing Operations. *Special Issue 2nd Edition Instrumenting Smart City Applications with Big Sensing and Earth Observatory Data: Tools, Methods and Techniques*.
- Zlatanova, S., Rahman, A., & Pilouk, M. (2002). (2002) Trends in 3D GIS development. In: *Journal of Geospatial Engineering*, Vol.4, No.2, pp. 1-10.
- Αβραμίδου, Ε. (2013). *Τρισδιάστατη Παραμετρική Μοντελοποίηση Αντικειμένων: Περιγραφή και ανάλυση βασικών σχεδιαστικών παραμέτρων κοσμήματος για παραγωγή πολλαπλών τρισδιάστατων μορφών*. Σύρος: Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Αιγαίου.
- Αβραμούλη, Δ., Καραγεώργος, Α., Ντιντάκης, Ι., & Ράπτη, Ε. (2015). *Συστήματα Computer Numerical Control (CNC) και Computer Aided Manufacturing (CAM)*, Αθήνα, Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. Ανάκτηση από <http://hdl.handle.net/11419/1490>
- Βασιλέλλη, Χ. (2017). *3D GIS: Κανονιστική Μοντελοποίηση του κέντρου της Θεσσαλονίκης*. Θεσσαλονίκη: Διπλωματική Εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας και Ανάπτυξης.
- Δεμερτζής, Κ. (2017). *3D Γραφικά – Animation – Εικονική και Επαυξημένη Πραγματικότητα*. ΤΕΙ Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης, Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής.
- Δημοπούλου, Ε. (2015). *Τρισδιάστατος Σχεδιασμός του Αστικού Χώρου. Στο: nD Κτηματολόγιο- Σχεδιασμός Ανάπτυξη Πρότυπα Μοντελοποίηση*. Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών.
- Καϊμάρης, Δ., & Καρανικόλας, Ν. (2014). *Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών- Θεωρητική προσέγγιση και εργαστηριακές ασκήσεις*. Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Καραντώνη, Μ. (2020). *Η ένταξη του ηλεκτρονικού αρχείου ενεργειακής επιθεώρησης κτιρίων (buildingcert) στη βάση δεδομένων του Εθνικού Κτηματολογίου και η αξιοποίησή του στην τρισδιάστατη αναπαράσταση των κτιρίων με χρήση η αξιοποίησή του προτύπου CityGML*. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Κούκλης, Γ., & Μπογδάνος, Μ. (2018). *Τρισδιάστατα Σχεδιαστικά Λογισμικά & Εφαρμογές τους*. Πολυτεχνική Σχολή Αριστοτελείου Πανεπιστήμιου Θεσσαλονίκης, Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας & Ανάπτυξης.
- Λαζαρίνης, Φ. (2015). *Πολυμέσα: Θεωρία και Ανάπτυξη Εφαρμογών*. Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών.
- Τζήμα, Κ. (2020). *3D Reconstruction - Αναπαράσταση τρισδιάστατων μοντέλων μέσω αλγορίθμων γεωοπτικοποίησης και ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας από βίντεο υψηλής ανάλυσης*. Αθήνα: Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Τρανάκα, Π. (2014). *3D Κανονιστική Μοντελοποίηση Κτιρίων της Παλαιάς Πόλης της Κέρκυρας* (Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών εκδ.). Αθήνα: Διπλωματική Εργασία.

- Τσιλιάκου, Ε. (2013). *Κανονιστική μοντελοποίηση στο 3D Κτηματολόγιο-Εφαρμογή στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου*. Αθήνα: Διπλωματική Εργασία., Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο.
- Χναράκης, Ν. (2009). *Περιγραφή πολύ-μεθοδολογικής προσέγγισης για τη σχεδίαση Εικονικών Περιβαλλόντων με έμφαση στη σχεδίαση των γραφικών (Computer Graphics)*.

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

<https://www.sketchup.com/#industries>

<https://www.trimble.com/>

<https://www.esri.com>

https://live.osgeo.org/archive/10.0/el/standards/gml_overview.html

<https://www.w3.org/TR/REC-xml/>

<https://www.sketchup.com/download/all>

<https://www.postgresql.org/download/>

<https://www.pgadmin.org/>

<https://www.3dcitydb.org/3dcitydb/downloads/>

<https://www.google.gr/intl/el/earth/download/gep/agree.html>

<https://cesium.com/>

<https://www.iai.kit.edu/1648.php>

<https://www.ogc.org/>

<https://www.trimble.com/>

<http://www.citygml.org/>

<https://www.tudelft.nl/>

<https://www.tu.berlin/>

<https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=20040171859>

<https://inspire.ec.europa.eu/>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

A. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ UML ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ CITYGML



CityGML UML diagrams

as contained in
CityGML Encoding Standard Version 2.0, OGC Doc. No. 12-019

Copyright © 2012 Open Geospatial Consortium, Inc. All Rights Reserved.
To obtain additional rights of use, visit <http://www.opengeospatial.org/legal/>.

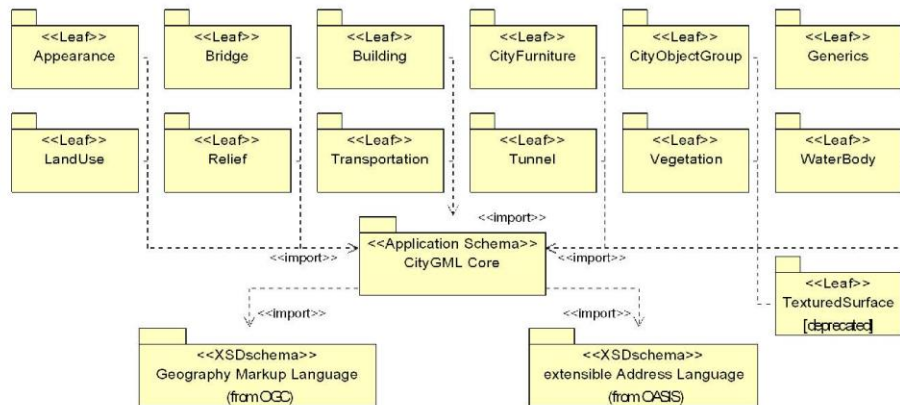
Jointly developed by the Special Interest Group 3D (SIG 3D) and the OGC CityGML SWG,
2002 – 2012
www.citygml.org

Copyright © 2012 Open Geospatial Consortium, Inc. All Rights Reserved.

1



CityGML modules overview

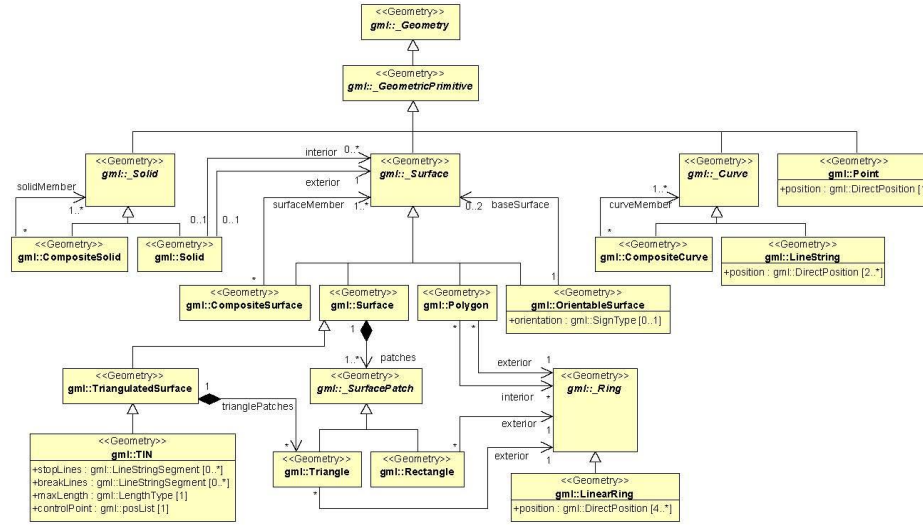


Copyright © 2012 Open Geospatial Consortium, Inc. All Rights Reserved.

2

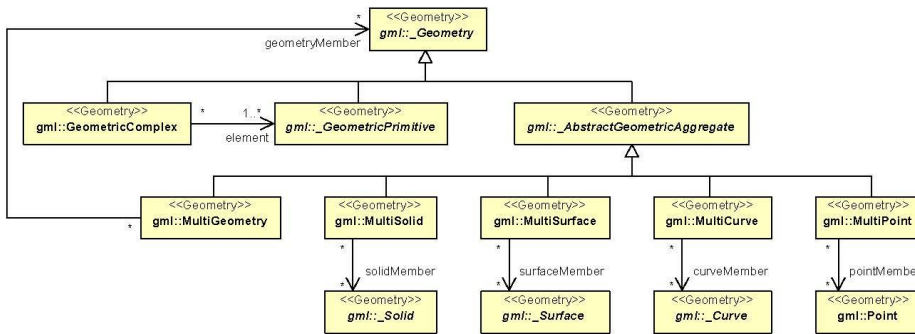
CityGML module	Namespace identifier / schemaLocation	Recommended namespace prefix
CityGML Core	http://www.opengis.net/citygml/2.0 http://schemas.opengis.net/citygml/2.0/cityGMLBase.xsd	core
Appearance	http://www.opengis.net/citygml/appearance/2.0 http://schemas.opengis.net/citygml/appearance/2.0/appearance.xsd	app
Bridge	http://www.opengis.net/citygml/bridge/2.0 http://schemas.opengis.net/citygml/building/2.0/bridge.xsd	brid
Building	http://www.opengis.net/citygml/building/2.0 http://schemas.opengis.net/citygml/building/2.0/building.xsd	bldg
CityFurniture	http://www.opengis.net/citygml/cityfurniture/2.0 http://schemas.opengis.net/citygml/cityfurniture/2.0/cityFurniture.xsd	frn
CityObjectGroup	http://www.opengis.net/citygml/cityobjectgroup/2.0 http://schemas.opengis.net/citygml/cityobjectgroup/2.0/cityObjectGroup.xsd	grp
Generics	http://www.opengis.net/citygml/generics/2.0 http://schemas.opengis.net/citygml/generics/2.0/generics.xsd	gen
LandUse	http://www.opengis.net/citygml/landuse/2.0 http://schemas.opengis.net/citygml/landuse/2.0/landUse.xsd	luse

CityGML module	Namespace identifier / schemaLocation	Recommended namespace prefix
Relief	http://www.opengis.net/citygml/relief/2.0 http://schemas.opengis.net/citygml/relief/2.0/relief.xsd	dem
Transportation	http://www.opengis.net/citygml/transportation/2.0 http://schemas.opengis.net/citygml/transportation/2.0/transportation.xsd	tran
Tunnel	http://www.opengis.net/citygml/tunnel/2.0 http://schemas.opengis.net/citygml/tunnel/2.0/transportation.xsd	tun
Vegetation	http://www.opengis.net/citygml/vegetation/2.0 http://schemas.opengis.net/citygml/vegetation/2.0/vegetation.xsd	veg
WaterBody	http://www.opengis.net/citygml/waterbody/2.0 http://schemas.opengis.net/citygml/waterbody/2.0/waterBody.xsd	wtr
TexturedSurface [deprecated]	http://www.opengis.net/citygml/texturedsurface/2.0 http://schemas.opengis.net/citygml/texturedsurface/2.0/texturedSurface.xsd	tex



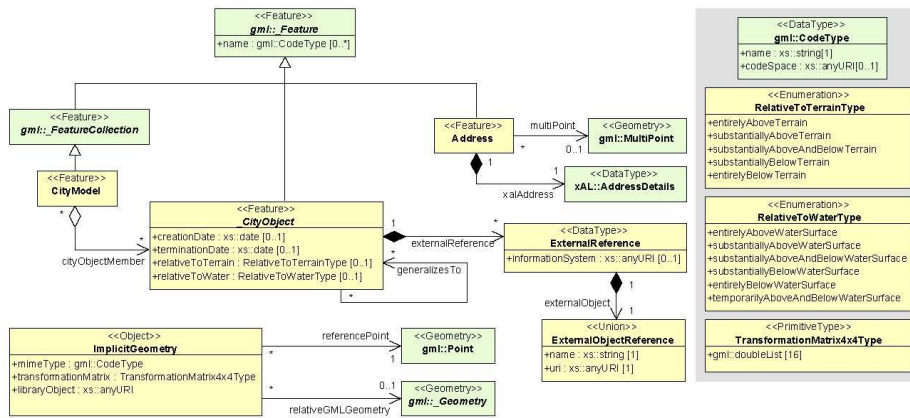
Copyright © 2012 Open Geospatial Consortium, Inc. All Rights Reserved.

5



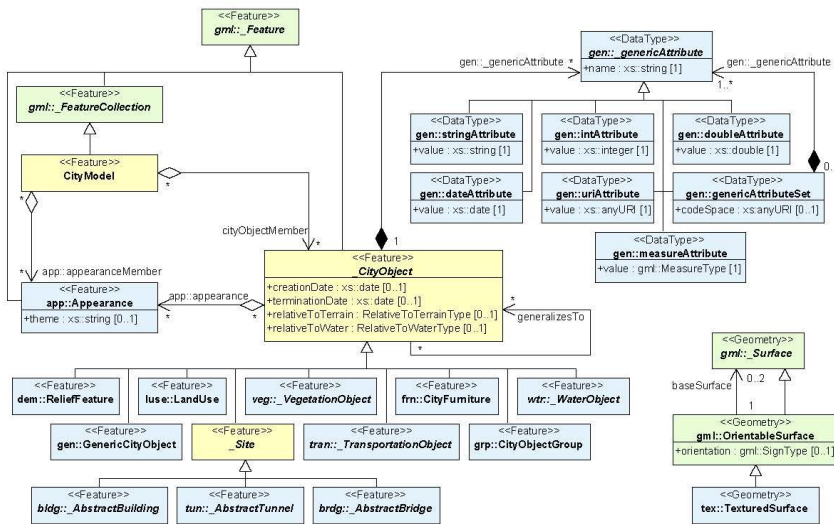
Copyright © 2012 Open Geospatial Consortium, Inc. All Rights Reserved.

6



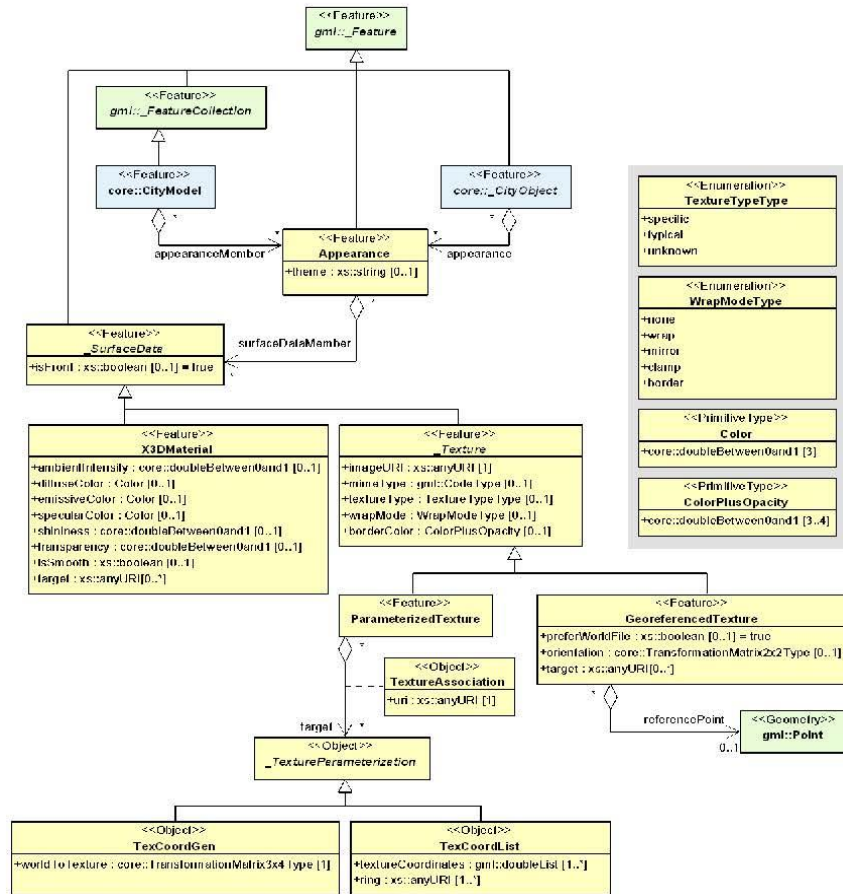
Copyright © 2012 Open Geospatial Consortium, Inc. All Rights Reserved.

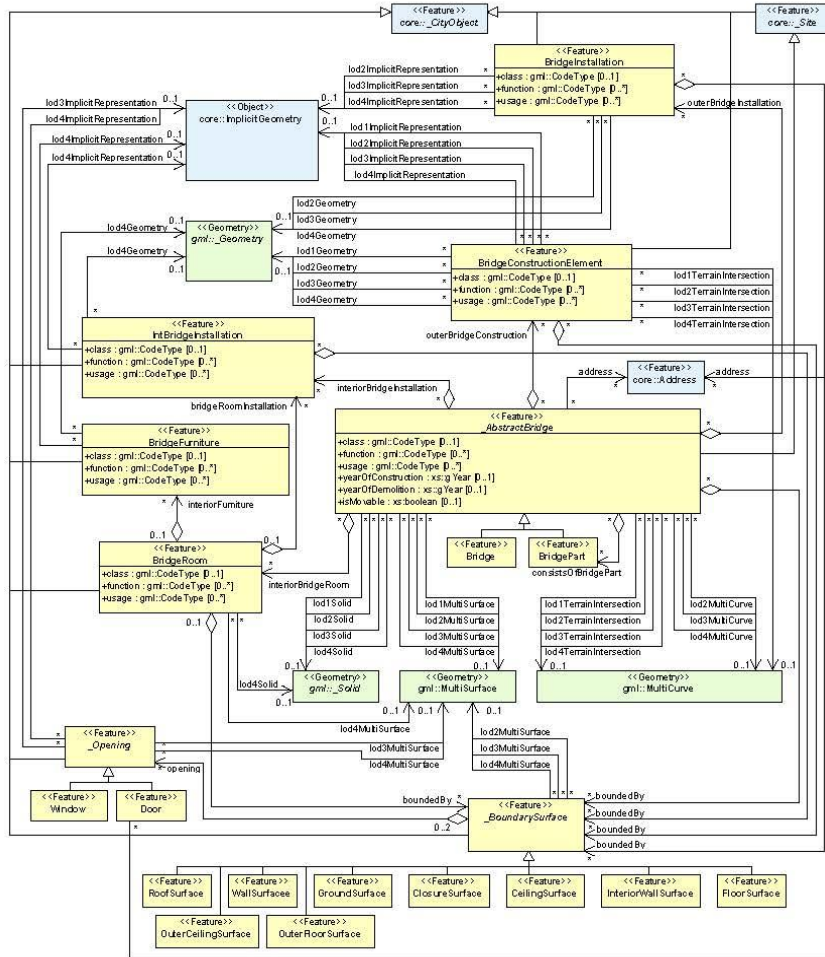
7

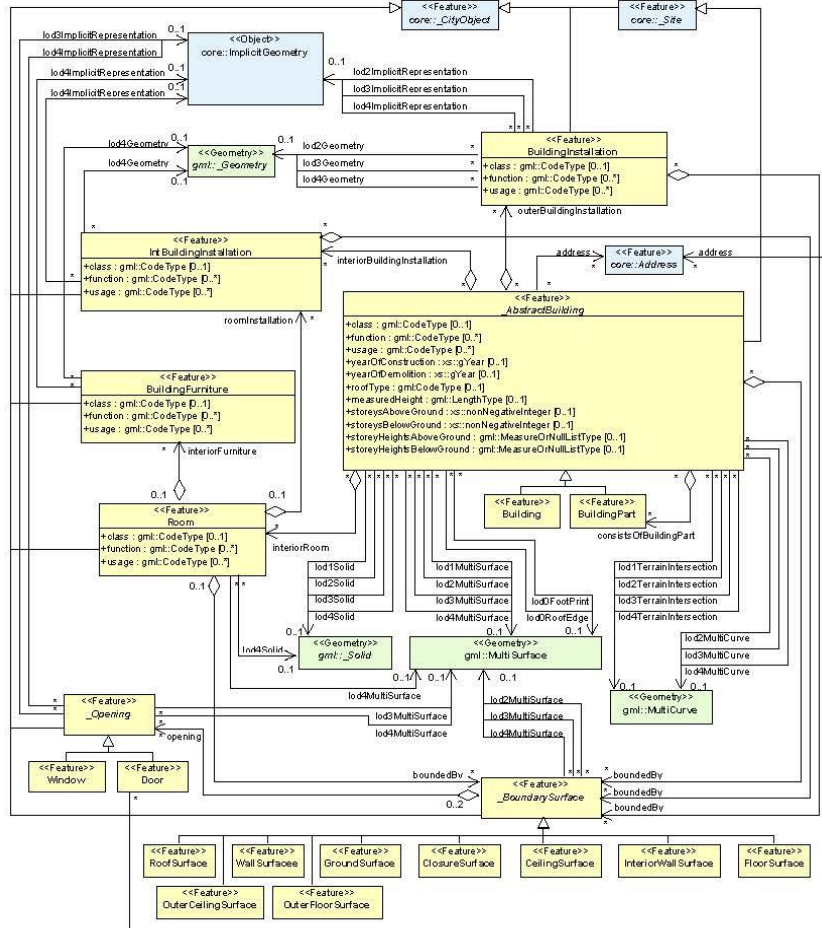


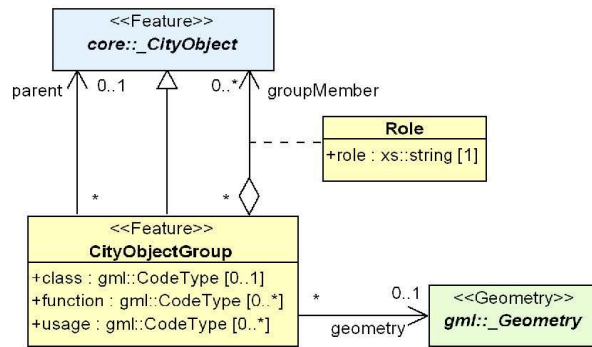
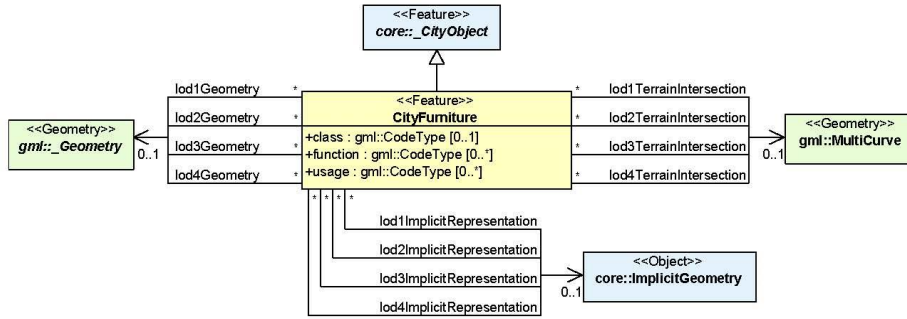
Copyright © 2012 Open Geospatial Consortium, Inc. All Rights Reserved.

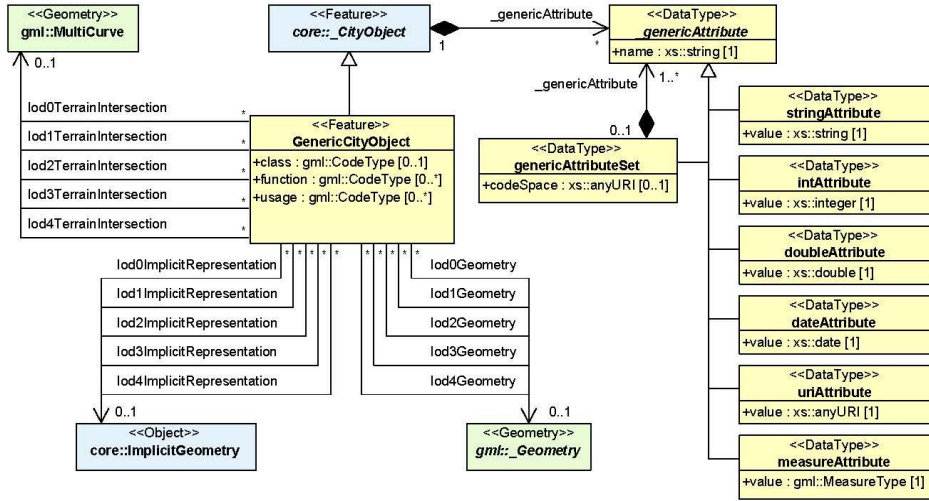
8





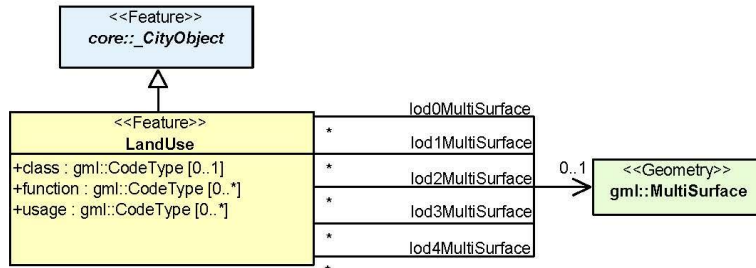






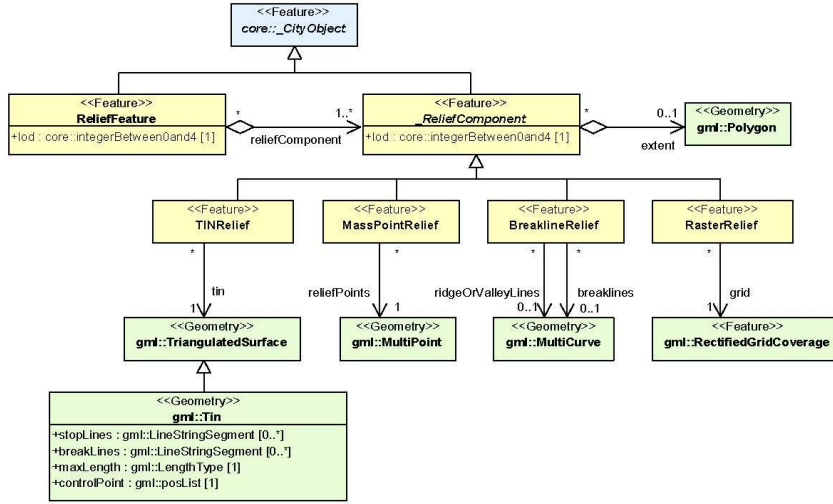
Copyright © 2011 Open Geospatial Consortium, Inc. All Rights Reserved.

14



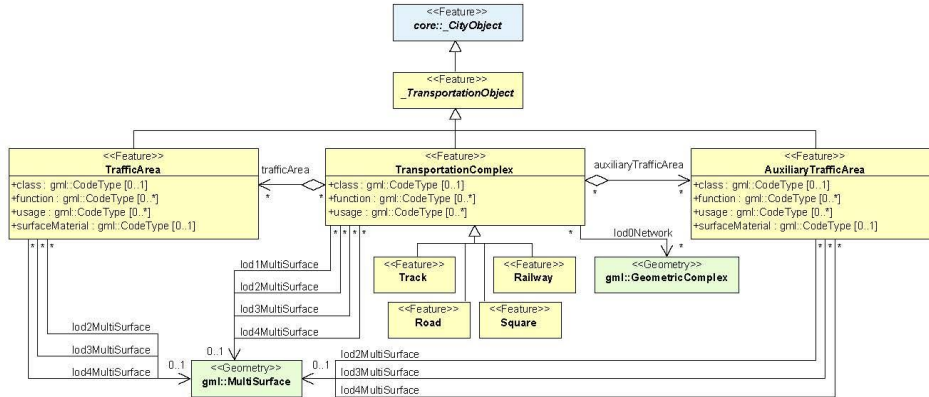
Copyright © 2011 Open Geospatial Consortium, Inc. All Rights Reserved.

15



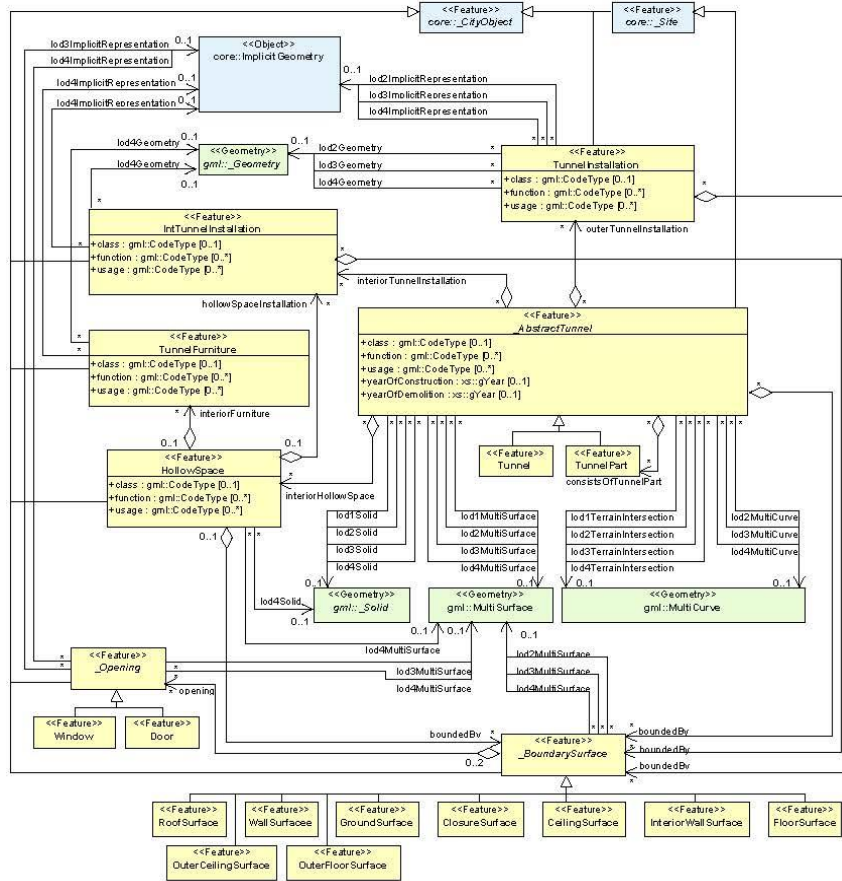
Copyright © 2011 Open Geospatial Consortium, Inc. All Rights Reserved.

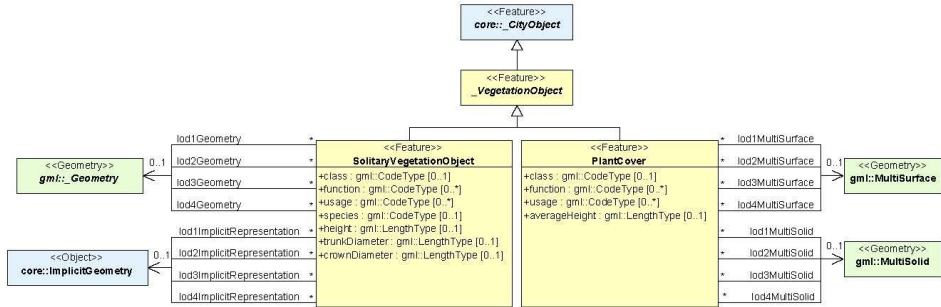
16



Copyright © 2011 Open Geospatial Consortium, Inc. All Rights Reserved.

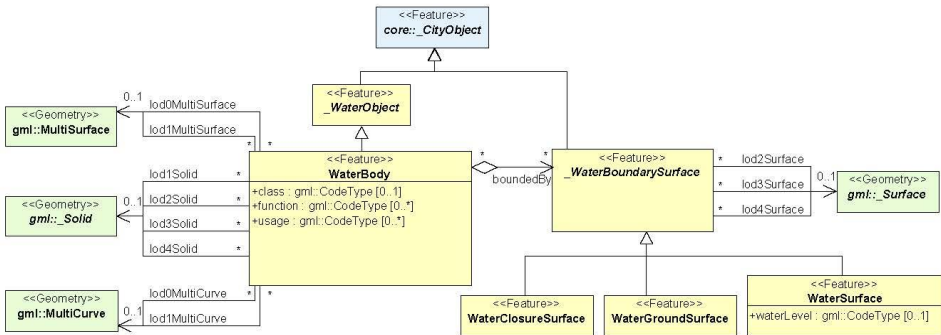
17





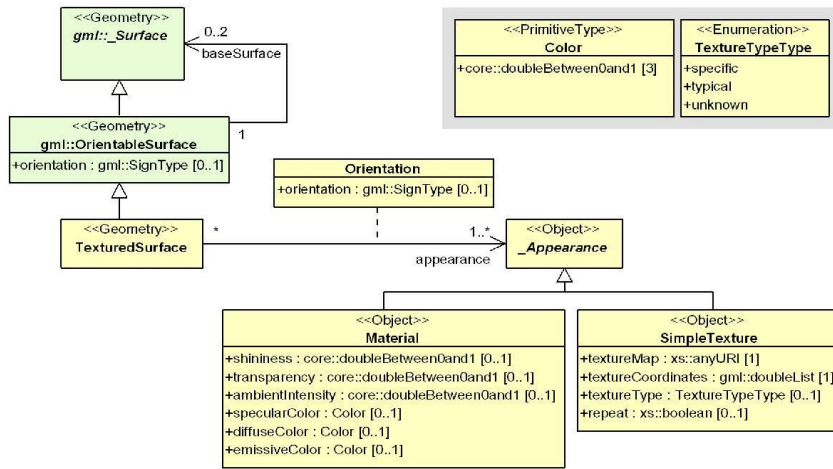
Copyright © 2011 Open Geospatial Consortium, Inc. All Rights Reserved.

19



Copyright © 2011 Open Geospatial Consortium, Inc. All Rights Reserved.

20



B. 3DCITYDB

ΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ (TABLES) ΤΗΣ ΒΔ ΚΑΤΑ ΤΟ SCHEMA CITYGML

▼ Tables (66)	> cityobjectgroup	> tex_image
> address	> database_srs	> textureparam
> address_to_bridge	> external_reference	> thematic_surface
> address_to_building	> generalization	> tin_relief
> ade	> generic_cityobject	> traffic_area
> aggregation_info	> grid_coverage	> transportation_complex
> appear_to_surface_data	> group_to_cityobject	> tunnel
> appearance	> implicit_geometry	> tunnel_furniture
> breakline_relief	> index_table	> tunnel_hollow_space
> bridge	> land_use	> tunnel_installation
> bridge_constr_element	> masspoint_relief	> tunnel_open_to_them_srf
> bridge_furniture	> objectclass	> tunnel_opening
> bridge_installation	> opening	> tunnel_thematic_surface
> bridge_open_to_them_srf	> opening_to_them_surface	> waterbod_to_waterbnd_srf
> bridge_opening	> plant_cover	> waterbody
> bridge_room	> raster_relief	> waterboundary_surface
> bridge_thematic_surface	> relief_component	
> building	> relief_feat_to_rel_comp	
> building_furniture	> relief_feature	
> building_installation	> room	
> city_furniture	> schema	
> citymodel	> schema_referencing	
> cityobject	> schema_to_objectclass	
> cityobject_genericattrib	> solitary_vegetat_object	
> cityobject_member	> surface_data	
	> surface_geometry	

ΓΕΝΕΡΑΤΕ ΡΕΠΟΡΤ ΤΗΣ ΒΔ CITYMODELX

[17:22:02 INFO] Generating database report...

Database Report on 3D City Model - Report date: 22.01.2021 17:22:02

=====

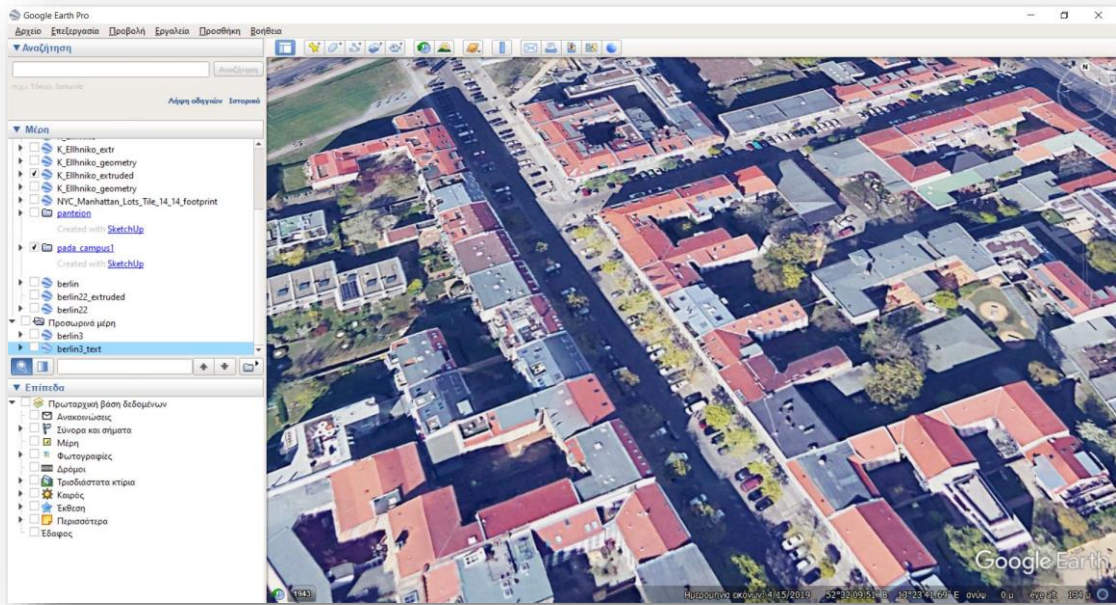
#ADDRESS	2096
#ADDRESS_TO_BRIDGE	0
#ADDRESS_TO_BUILDING	2096
#APPEAR_TO_SURFACE_DATA	82470
#APPEARANCE	5724
#BREAKLINE_RELIEF	0
#BRIDGE	0
#BRIDGE_CONSTR_ELEMENT	0
#BRIDGE_FURNITURE	0
#BRIDGE_INSTALLATION	0

#BRIDGE_OPEN_TO_THEM_SRF	0
#BRIDGE_OPENING	0
#BRIDGE_ROOM	0
#BRIDGE_THEMATIC_SURFACE	0
#BUILDING	1908
#BUILDING_FURNITURE	0
#BUILDING_INSTALLATION	0
#CITY_FURNITURE	0
#CITYMODEL	0
#CITYOBJECT	12088
#CITYOBJECT_GENERICATTRIB	61552
#CITYOBJECT_MEMBER	0
#CITYOBJECTGROUP	0
#EXTERNAL_REFERENCE	1908
#GENERALIZATION	0
#GENERIC_CITYOBJECT	0
#GRID_COVERAGE	0
#GROUP_TO_CITYOBJECT	0
#IMPLICIT_GEOMETRY	0
#LAND_USE	0
#MASSPOINT_RELIEF	0
#OPENING	0
#OPENING_TO_THEM_SURFACE	0
#PLANT_COVER	0
#RASTER_RELIEF	0
#RELIEF_COMPONENT	0
#RELIEF_FEAT_TO_REL_COMP	0
#RELIEF_FEATURE	0
#ROOM	0
#SOLITARY_VEGETAT_OBJECT	0

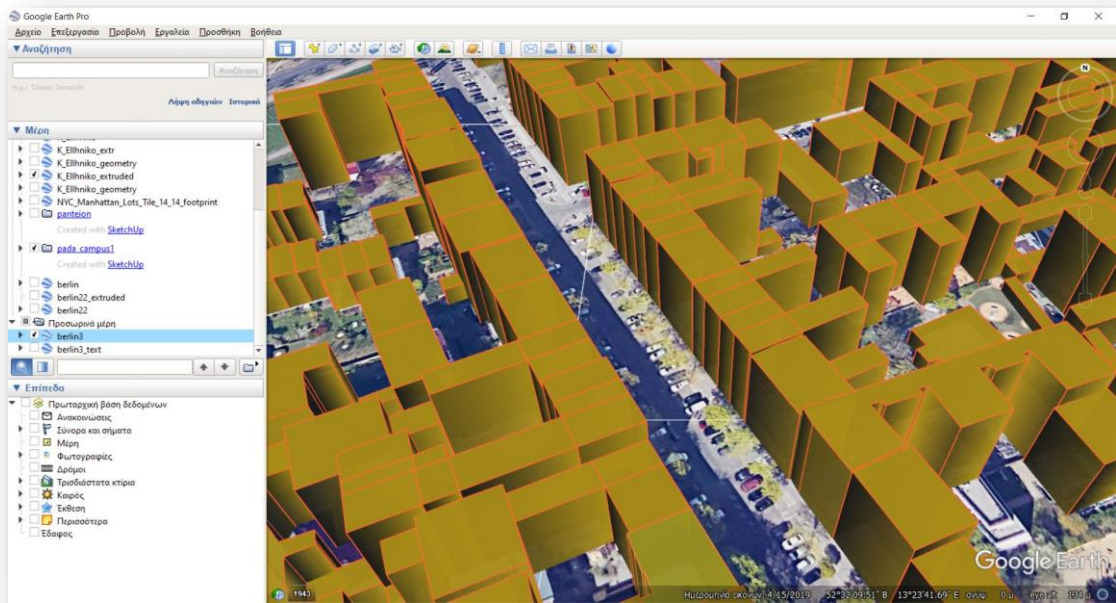
#SURFACE_DATA	34574
#SURFACE_GEOMETRY	49880
#TEX_IMAGE	30790
#TEXTUREPARAM	35882
#THEMATIC_SURFACE	10180
#TIN_RELIEF	0
#TRAFFIC_AREA	0
#TRANSPORTATION_COMPLEX	0
#TUNNEL	0
#TUNNEL_FURNITURE	0
#TUNNEL_HOLLOW_SPACE	0
#TUNNEL_INSTALLATION	0
#TUNNEL_OPEN_TO_THEM_SRF	0
#TUNNEL_OPENING	0
#TUNNEL_THEMATIC_SURFACE	0
#WATERBOD_TO_WATERBND_SRF	0
#WATERBODY	0
#WATERBOUNDARY_SURFACE	0

[17:22:02 INFO] Database report successfully generated.

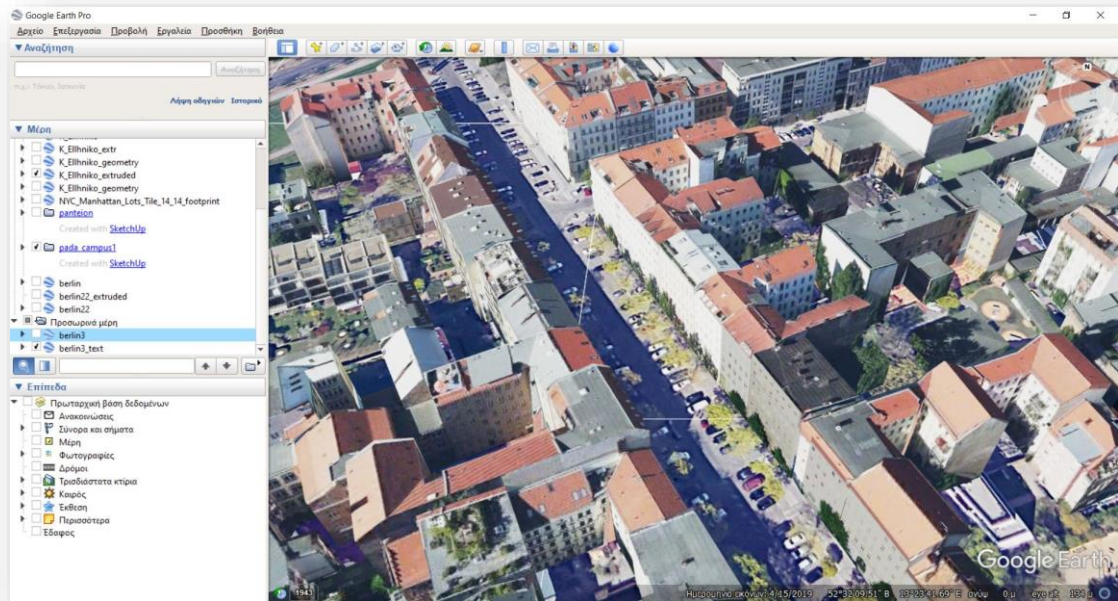
Γ. ΕΚΔΟΧΕΣ ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΤΟ GOOGLE EARTH PRO



Εικόνα 84: Επιλογή θέασης χωρίς 3D αναπαράσταση κτιρίων.



Εικόνα 85: Επιλογή θέασης με 3D αναπαράσταση κτιρίων χωρίς υφές.



Εικόνα 86: Επιλογή θέασης με 3D αναπαράσταση κτιρίων χωρίς υφές

Δ. ΕΚΔΟΧΕΣ ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΤΟ CESIUM

