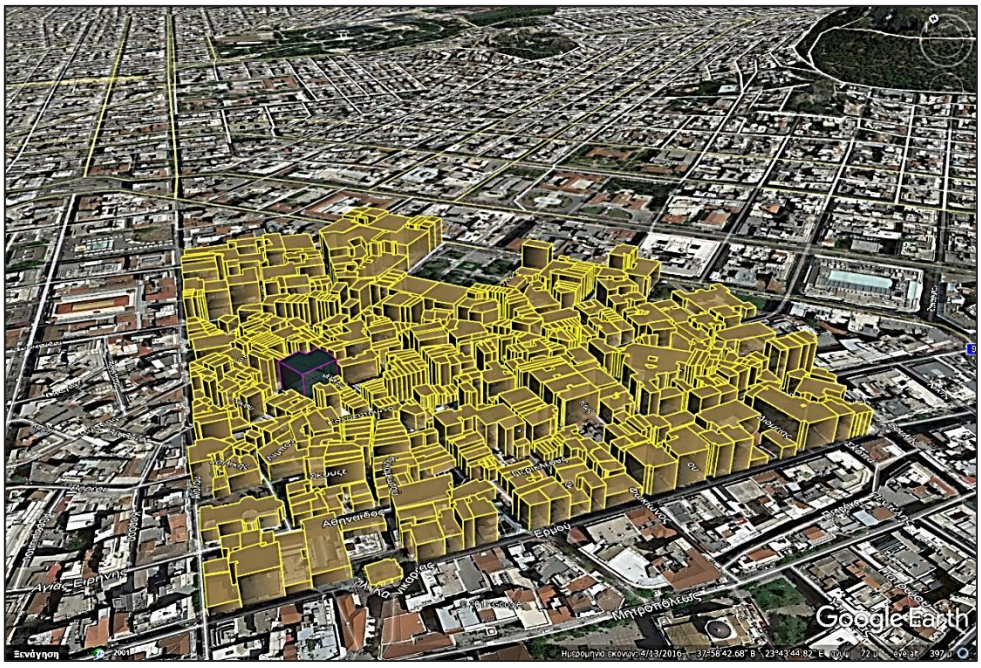
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματικη Εργασια

3D CITY MODELLING ATHENS ΜΕ ΧΡΗΣΗ CITYGML



Ονοματεπώνυμο Φοιτητή: **ΜΑΚΡΑΝΔΡΕΟΥ ΕΥΘΥΜΙΟΣ**

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: **ΔΗΜΟΠΟΥΛΟΥ ΕΦΗ**

Καθηγήτρια ΕΜΠ

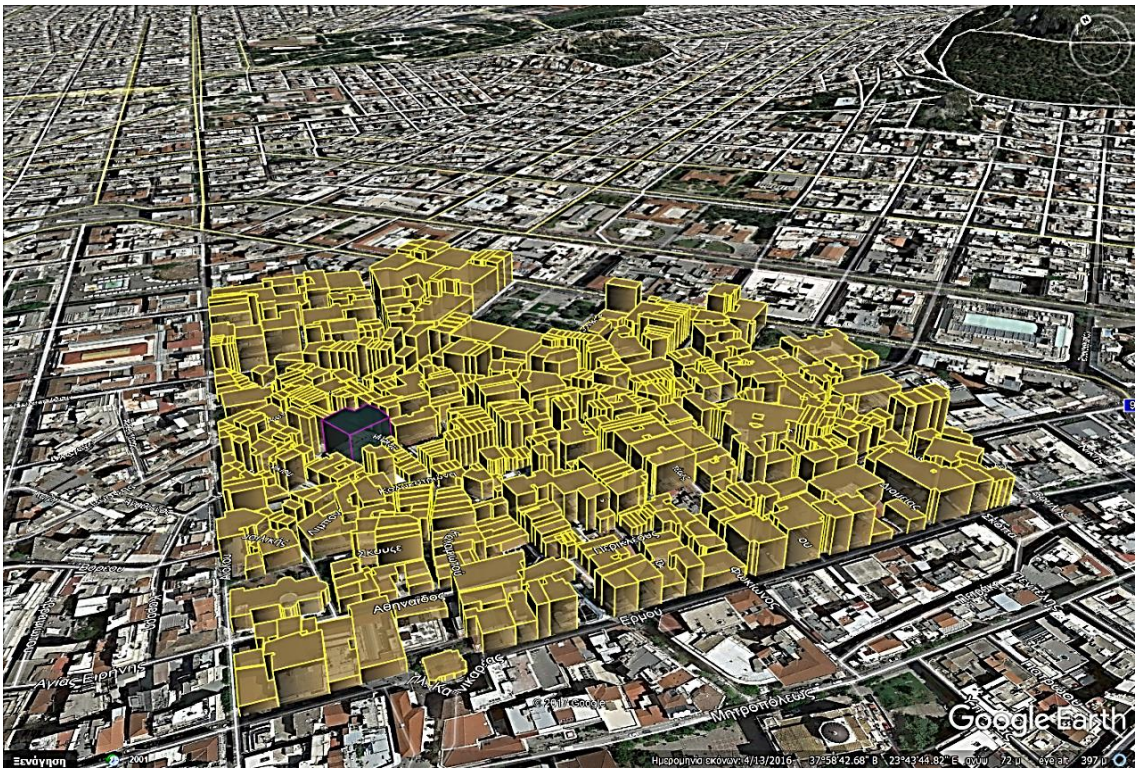
Αθήνα, 2018

NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS

SCHOOL OF RURAL AND SURVEYING ENGINEERING

DIPLOMA THESIS

3D CITY MODELLING ATHENS USING THE CITYGML STANDARD



Student: MAKRANDREOU EFTHYMIOS

Supervisor: DIMOPOULOU EFI

Professor of NTUA

Athens, 2018

Copyright @ Μακρανδρέου Ευθύμιος, 2018

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ' ολοκλήρου ή τμήματός αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν την χρήση της συγκεκριμένης εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στον τομέα Τοπογραφίας της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και σηματοδοτεί την ολοκλήρωση του κύκλου των προπτυχιακών μου σπουδών. Η εκπλήρωση αυτής της εργασίας θα ήταν αδύνατη χωρίς την συμβολή προσώπων του ακαδημαϊκού χώρου και όχι μόνο.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Καθηγήτρια ΕΜΠ, κ. Έφη Δημοπούλου, για την προτροπή ενασχόλησης με το συγκεκριμένο θέμα, την καθοδήγηση και την επίβλεψη της εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Διδάκτωρ της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, κ. Τάσο Λαμπρόπουλο, για την υποστήριξή του και τις συμβουλές του καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Τέλος, οφείλω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τα αγαπημένα μου πρόσωπα, για την στήριξη, την υπομονή και την εμπιστοσύνη που μου πρόσφεραν όλα αυτά τα χρόνια.

Περιεχόμενα

Ευρετήριο Εικόνων....8

Ευρετήριο Σχημάτων....10

Αρκτικολεξία....11

ΠΕΡΙΛΗΨΗ....12

ABSTRACT....13

ΕΙΣΑΓΩΓΗ....14

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^{ο} : ΠΕΡΙ ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟΥ 17

1.1 Εθνικό Κτηματολόγιο....17

1.2 Νομοθετικό πλαίσιο....18

1.3 Οφέλη του Εθνικού Κτηματολογίου....18

1.3.1 Οφέλη Εθνικού Κτηματολογίου για τον ιδιώτη-πολίτη....18

1.3.2 Κοινωνικά και κρατικά οφέλη του Εθνικού Κτηματολογίου....18

1.4 3D Κτηματολόγιο....19

1.5 Πλαίσιο του 3D Κτηματολογίου....20

1.6 Δομή της τρισδιάστατης πληροφορίας....21

1.7 Είδη 3D Κτηματολογίου....21

1.7.1 Πλήρες 3D Κτηματολόγιο....21

1.7.2 Υβριδικό 3D Κτηματολόγιο....22

1.7.3 3D Σύνδεσμοι Κτηματολογίου....22

1.8 Υφιστάμενη κατάσταση 3D Κτηματολογίου....23

1.9 Σχέση 3D με 2D Κτηματολόγιο....24

1.10 Ανάγκη για 3D Κτηματολόγιο....24

1.11 Αναλυτικότερα περιπτώσεις που απαιτούν τρισδιάστατη καταγραφή....25

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^{Ο} : ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ 28

2.1 CityGML....28

2.1.1 Επίπεδα λεπτομέρειας (LODs)....29

2.1.2 Οργάνωση του CityGML....31

2.1.3 Μοντελοποίηση με CityGML 33
2.1.3.1 Σημασιολογικό μοντέλο CityGML 33
2.1.3.2 Μοντέλο Γεωμετρίας CityGML....35
2.1.3.3 Τοπολογία μοντέλου CityGML....37
2.1.3.4 Επεκτασιμότητα του μοντέλου CityGML....38
2.1.4 Στόχος CityGML 39
2.1.5 Κύριες χρήσεις του CityGML....40
2.1.5.1 Εφαρμογές CityGML....40
2.2 3DCity DataBase 42
2.2.1 Αρχεία KML/COLLADA 44
2.3 PostgreSQL / PostGIS....44
2.3.1 PostGIS.... 46

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο: ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ 3D CITY MODELING ATHENS ΜΕ CITYGML.... 47

3.1 Αντικείμενο Διπλωματικής Εργασίας 47
3.1.2 Περίληψη Διαδικασίας Υλοποίησης-Μεθοδολογία 47
3.1.3 Περιοχή Μελέτης....47
3.1.4 Λογισμικά & Δεδομένα 48
3.2 Οργάνωση Δεδομένων....49
3.3 Κωδικοποίηση σε LOD1....51
3.3.1 Κτήριο σε LOD1....51
3.3.2 Κώδικας.....51
3.4 Υψομετρική Πληροφορία στο Μοντέλο 53
3.5 Δημιουργία Βάσης Δεδομένων στην PostgreSQL κατά το 3DCityDataBase schema....55
3.6 Εισαγωγή Κώδικα CityGML στο Περιβάλλον της 3DCityDataBase....59
3.7 Αποτελέσματα-Exports....65

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4Ο : ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ ΣΤΗ ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ PostgreSQL.... 67

4.1 Εισαγωγή.....67
4.2 Σύνταξη Ερωτημάτων-Αποτελέσματα....68

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο : ΣΥΝΟΨΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 77

5.1 Σύνοψη……77

5.2 Προτάσεις για Μελλοντική έρευνα.....78

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ..... 80

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1: (α) και (β) παραδείγματα ιδιωτικού χώρου στάθμευσης κάτω από δημόσιο χώρο. (πηγή: Google) 25
Εικόνα 2: Δημόσια καμάρα, κάτω από ιδιωτική περιουσία. (πηγή: Google)..... 26
Εικόνα 3: οπτική επεξήγηση των μοντέλων λεπτομέρειας (LODs) του μοντέλου 3DCityGML. (πηγή: McEnroe Gifford Dsilva, 2009) 29
Εικόνα 4: Μοντελοποίηση οικίας στα πέντε επίπεδα λεπτομέρειας LODs. (πηγή: Geo Connection International Magazine, 2015) 30
Εικόνα 5: Διάγραμμα UML γεωμετρικό μοντέλο CityGML (πηγή: Kolbe T, 2009)..... 35
Εικόνα 6: Γραφικό περιβάλλον pgAdmin III..... 45
Εικόνα 7: Περιοχή μελέτης, το τρίγωνο στο κέντρο της Αθήνας που περικλείεται από τις οδούς Αιόλου, Ερμού και Σταδίου. (πηγή: Google Earth) 48
Εικόνα 8: Διαδικασία διόρθωσης διανυσμάτων με την βοήθεια του λογισμικού QGIS.(πηγή: περιβάλλον QGIS)..... 50
Εικόνα 9: Εμφάνιση του πίνακα ιδιοτήτων για την καλύτερη οργάνωση της πληροφορίας κάθε κτηρίου (πηγή: περιβάλλον QGIS)..... 50
Εικόνα 10:κτήριο στο επίπεδο LOD1 στο CityGML..... 51
Εικόνα 11: Απόσπασμα κώδικα XML μοντελοποίησης ενός κτηρίου σε LOD1 της περιοχής μελέτης (πηγή: www.citygml)..... 52
Εικόνα 12: Λογότυπο PostgreSQL (πηγή: Google)..... 55
Εικόνα 13: (a) (β) (γ) Δημιουργία του απαραίτητου server στην PostgreSQL (pgAdmin III) 56
Εικόνα 14: **(α) (β) (γ) Δημιουργία της απαραίτητης βάσης δεδομένων στη PostgreSQL (pgAdminIII)** 56
Εικόνα 15: Διαδικασία 'edit' πριν την εκτέλεση του αρχείου CREATE_DB.bat στην PostgreSQL (pgAdmin III)...... 57
Εικόνα 16: (a) (B) (γ) Στάδια δημιουργίας δομής της βάσης 'athenscity' βάσει 3DCityDB. 58
Εικόνα 17: Γραφικό περιβάλλον του εργαλείου 3DCityDataBase Importer/Exporter..... 59
Εικόνα 18: Διαδικασία σύνδεσης (connect) της βάσης 'athenscity' με το 3DCityDataBase Importer/Exporter. (πηγή περιβάλλον 3DCityDB inmpporter-exporter) 60
Εικόνα 19: Δημιουργία μιας έκθεσης (Generate Database Report) της βάσης 'athenscity' με το 3DCityDataBase Importer/Exporter. (πηγή περιβάλλον 3DCityDB inmpporter-exporter) 60
Εικόνα 20: Διαδικασία εισαγωγής (Import) και επικυρωποίησης (Validate) του κώδικα XML. (πηγή περιβάλλον 3DCityDB inmpporter-exporter)..... 61
Εικόνα 21: Υπολογισμός (Calculate) των ελάχιστων και των μέγιστων συντεταγμένων της περιοχής μελέτης. (πηγή περιβάλλον 3DCityDB inmpporter-exporter) 62
Εικόνα 22: Εισαγωγή των συντεταγμένων στο εξαγόμενο μοντέλο. (πηγή περιβάλλον 3DCityDB inmpporter-exporter)..... 62

Εικόνα 23: Καθορισμός χρωμάτων για την καλύτερη αστικοποίηση του τελικού εξαγόμενου μοντέλου. (πηγή περιβάλλον 3DCityDB inmpporter-exporter) 63
Εικόνα 24: Επιλογή του κατάλληλου template Balloon για την εμφάνιση των χαρακτηριστικών κάθε κτηρίου. (πηγή περιβάλλον 3DCityDB inmpporter-exporter)..... 64
Εικόνα 25: Ολοκλήρωση διαδικασίας δημιουργίας του τρισδιάστατου μοντέλου πόλης. (πηγή περιβάλλον 3DCityDB inmpporter-exporter) 64
Εικόνα 26: Το τρισδιάστατο παραγόμενο μοντέλο της περιοχής μελέτης που οπτικοποιείται στο Google Earth. 65
Εικόνα 27: Εμφάνιση κτηματολογικής πληροφορίας στο τρισδιάστατο μοντέλο 66
Εικόνα 28: Export (ii) ερωτήματος. Ποιά κτήρια έχουν ύψος μεγαλύτερο ή ίσο με 20 μέτρα; (πηγή: PostgreSQL) 68
Εικόνα 29: 189 κτήρια με ύψος από 20 μέτρα και πάνω . Οπτική αναπαράσταση αποτελεσμάτων του πρώτου ερωτήματος (πηγή: Google Earth) 69
Εικόνα 30: Export (ii) ερωτήματος. Ποιά κτήρια έχουν ως χρήση γης 'εκκλησία'; (πηγή: PostgreSQL) 69
Εικόνα 31: 9 κτήρια με χρήση γης 'εκκλησία'. Οπτική αναπαράσταση αποτελεσμάτων του δεύτερου ερωτήματος. (πηγή: Google Earth) 70
Εικόνα 32: Export (iii) ερωτήματος. Ποιά κτήρια έχουν ως χρήση γης την κατοικία και παράλληλα το ύψος αυτών είναι μικρότερο από 5 μέτρα; (πηγή: PostgreSQL) 71
Εικόνα 33: 2 κτήρια με χρήση γης την κατοικία και παράλληλα ύψος μικρότερο από 5 μέτρα. Οπτική αναπαράσταση αποτελεσμάτων του τρίτου ερωτήματος. (πηγή: Google Earth) 72
Εικόνα 34: Export (iv) ερωτήματος. Ποιά κτήρια έχουν ως χρήση γης το εμπόριο και παράλληλα έχουν πάνω από 5 ορόφους; (πηγή: PostgreSQL) 73
Εικόνα 35: 36 κτήρια με χρήση γης 'εμπόριο' και παράλληλα αριθμό ορόφων μεγαλύτερο των 5. Οπτική αναπαράσταση αποτελεσμάτων του τρίτου ερωτήματος. (πηγή: Google Earth) 74
Εικόνα 36: Export (i) spatial query, ποιο είναι το πλαίσιο οριοθέτησης της μοντελοποιημένης περιοχής μελέτης; (πηγή: PostgreSQL/PostiGIS) 75
Εικόνα 37: Export (ii) spatial query, ποιο είναι εμβαδό της συνολικής επιφάνειας των κτηρίων που επαληθεύουν τις συνθήκες του απλού ερωτήματος iv; (πηγή: PostgreSQL/PostiGIS) 76

Ευρετήριο Σχημάτων

Σχήμα 1: Δομή του CityGML (πηγή: Kolbe T.H., 2009) 32
Σχήμα 2: UML διάγραμμα της κύριας ταξικής ιεραρχίας επιπέδων του CityGML. 34
Σχήμα 3: UML διάγραμμα μοντέλου κτηρίου του CityGML. 34
Σχήμα 4: Τοπογραφική σχέση μεταξύ σπίτι και υπόστεγου χώρου. 38
Σχήμα 5: Εντολές για την σύναξη των ερωτημάτων.....67

Αρκτικολεξία

2D 2-Dimensional (Δισδιάστατος)

3D 3-Dimensional (Τρισδιάστατος)

3DCityDB 3DCityDataBase

ADE Application Domain Extension

BIM Building Information Modeling

CAD Computer-Aided Design (Σύστημα Ηλεκτρονικής Σχεδίασης)

CityGML City Geography Markup Language

COLLADA Collaborative Design Activity

DTM Digital Terrain Model (Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους)

GIS Geographic Information System

GML Geography Markup Language

IFC Industry Foundation Classes

ISO International Organization for Standardization (Διεθνής Οργανισμός Προτύπων)

KML Keyhole Markup Language

SIG 3D Special Interest Group 3D

Schema Σχήμα

UML Unified Modeling Language

XML eXtensible Markup Language

ΟΤ Οικοδομικό Τετράγωνο

ΣΔΒΔ Σύστημα Διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων

ΣΓΠ Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών

ΨΜΕ Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους

SRID Spatial Reference Identifier

ESPG European Petroleum Survey Group

SPSHG Spreadsheet Generator

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια, η ραγδαία αύξηση της πυκνότητας του πληθυσμού κυρίως στα μεγάλα αστικά κέντρα, έχει δημιουργήσει την ανάγκη για ανάπτυξη ενός νέου Κτηματολογικού Συστήματος καταγραφής του χώρου, ικανού να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις που έχουν δημιουργηθεί για πληρέστερη και πιο έγκυρη μέθοδο καταγραφής του χώρου και των δικαιωμάτων επ' αυτού. Το παρόν κτηματολογικό σύστημα ονομάζεται Εθνικό Κτηματολόγιο και είναι αναπτυγμένο σε δύο διαστάσεις, με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται προβλήματα σε ό,τι αφορά την καταγραφή της πολυπλοκότητας του χώρου και των δικαιωμάτων που κατανέμονται σε αυτόν. Εδώ εισάγεται η έννοια του τρισδιάστατου Κτηματολογικού συστήματος, 3D Κτηματολόγιο. Ήδη πολλές χώρες όπως Γερμανία, Αυστρία, Ολλανδία, ΗΠΑ και Μεγάλη Βρετανία, έχουν αναπτύξει πρότυπα 3D Κτηματολογίου με τρισδιάστατη απεικόνιση πόλεων. Ωστόσο το εγχείρημα αυτό, ακόμα βρίσκεται σε πειραματικό στάδιο. Ουσιαστικά, αυτό το κτηματολογικό σύστημα βασίζεται στην εισαγωγή της τρίτης διάστασης στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, καθώς η απεικόνιση των τρισδιάστατων αντικειμένων στον τρισδιάστατο ψηφιακό χάρτη έχει μεγάλη σημασία για το 3D Κτηματολόγιο. Στην πληρέστερη τρισδιάστατη απεικόνιση των πόλεων, σημαντικό ρόλο παίζει η συνεχής ανάπτυξη των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Τα τελευταία χρόνια, στα τρισδιάστατα μοντέλα πόλης ενσωματώνεται στο γεωμετρικό-τοπολογικό μοντέλο, η σημασιολογική πληροφορία. Με την χρήση ενός τέτοιου μοντέλου, και πιο συγκεκριμένα με τη χρήση του CityGML υλοποιήθηκε το πρακτικό κομμάτι της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Πιο αναλυτικά, η εργασία αφορά την ολοκληρωμένη τρισδιάστατη απεικόνιση μιας καθορισμένης περιοχής στην Αθήνα, που περικλείεται από τις οδούς, Ερμού, Αιόλου και Σταδίου, και συμπεριλαμβάνει 598 κτήρια, με σκοπό να χρησιμοποιηθεί για κτηματολογικούς σκοπούς όπως για παράδειγμα οι χρήσεις γης ανά κτήριο. Η εφαρμογή έγινε σε επίπεδο λεπτομέρειας LOD1, κατάλληλο για αναπαράσταση πόλεων . Στο πλάνο της υλοποίησης έγινε χρήση των λογισμικών AutoCAD, QGIS, 3DCityDataBase. Κατόπιν παρουσιάζεται η σύνδεση του τελικού μοντέλου με την βάση δεδομένων 3DCityDB του CityGML, η παρουσίαση της δομής των δεδομένων μέσα σε αυτή καθώς και η επεξεργασία τους. Στο θεωρητικό μέρος της εργασίας αναλύονται οι έννοιες του Εθνικού Κτηματολογίου και του 3D Κτηματολογίου. Επίσης γίνεται βασική περιγραφή του μοντέλου CityGML και των βοηθητικών λογισμικών που χρησιμοποιήθηκαν. Τέλος, αναλύονται τα αποτελέσματα και διατυπώνονται σκέψεις για μελλοντική έρευνα.

ABSTRACT

During the last years, the appearance of the phenomenon of urbanization and generally the rapidly increasing of population density, especially in cities, has created the necessity for a new cadastral system. The cadastral organization in Greece, called National Hellenic Cadastre, takes responsibility for the registration of land and property. In the National Cadastre, a piece of land (parcel), associates with legal information such as ownership right or multiple ownership rights. For example, a parcel with a house owned by a single person indicates single ownership right and a parcel with a building of several apartments, owned by different persons indicate multiple ownership rights. In the case of multiple ownership rights, it is difficult to associate which part of the parcel is owned by which person. To address this issue, the current system produces a scanned image of the floor plans of the given building. These floor plans indicate the ownership rights of each floors. But the information from the scanned images cannot be interpreted by a computer for queries. Hence, there a necessity for an alternative way to deal with parcels having multiple ownership rights and describe the shape of each building. Specifically in Greece, a new cadastral system which will provide 3D information needs to be introduced. Concluding, this diploma thesis proposes the use of CityGML to visualize 3Dmodels and to store buildings' and land use information. CityGMLis is an XML based, common semantic information model for the representation of 3D city objects. The area for the creation of the 3D City Model is in a triangle between the roads of Aiolou Street, Ermou Street and Stadiou Street in the center of Athens and the level of detail of the final model is LOD1. It includes about 598 buildings.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια η πυκνότητα του ανθρώπινου πληθυσμού παρουσιάζει σημαντική αύξηση, κάτι το οποίο καθιστά την χρήση της γης πιο έντονη. Η τάση αυτή έχει αλλάξει τον τρόπο που πλέον οι άνθρωποι θέλουν και προσπαθούν να οργανώνουν την γη. Παρουσιάζεται λοιπόν επιτακτική ανάγκη δημιουργίας ενός συστήματος στο οποίο τα ιδιοκτησιακά δικαιώματα επί της γης θα είναι πλήρως ορισμένα και αδιαμφισβήτητα καταγεγραμμένα. Το σύστημα αυτό είναι το Κτηματολόγιο.

Μέχρι και σήμερα, για τις διάφορες λειτουργικές και χωρικές ανάγκες μιας πόλης, γινόταν κυρίως χρήση δισδιάστατων (2D) χαρτών και διαγραμμάτων. Αυτός ο τρόπος όμως, σε πολλές περιπτώσεις, που αφορούν κυρίως το Κτηματολόγιο, προκαλούσε ασάφειες και προβλήματα εφόσον οι χάρτες και τα διαγράμματα αποσκοπούσαν στην αναπαράσταση του τρισδιάστατου (3D) κόσμου με (2D) δισδιάστατες τεχνικές. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο πολλοί επιστήμονες τα τελευταία χρόνια, αναζητούν μεθόδους που ακολουθούνται σε περιπτώσεις 3D μοντελοποίησης του χώρου. Απώτερος σκοπός είναι η εύρεση 3D μοντέλων με ταυτοχρόνως γεωμετρική, τοπολογική και σημασιολογική διάσταση.

Οι εξελίξεις είναι ραγδαίες, και οι μέθοδοι βασίζονται σε τεχνολογίες αιχμής, λόγω των απαιτήσεων που υπάρχουν σήμερα για την βέλτιστη και ρεαλιστική απόδοση της αναπαράστασης της πραγματικότητας. Ένα από τα πιο γνωστά σημασιολογικά πρότυπα που χρησιμοποιούν τα 3D χωρικά μοντέλα του πραγματικού κόσμου είναι το CityGML (City Geography Markup Language). Το CityGML αποτελεί το πιο σύγχρονο ανοιχτό μοντέλο κοινού ορισμού οντοτήτων και ιδιοτήτων ενός τρισδιάστατου μοντέλου πόλης. Βασικό χαρακτηριστικό του είναι η 3D απεικόνιση της γεωμετρίας και των τοπολογικών σχέσεων των χωρικών αντικειμένων με ταυτόχρονη εκπροσώπηση διαφόρων θεματικών και σημασιολογικών ιδιοτήτων, ταξινομήσεων και ομαδοποιήσεων. Παράλληλα προσφέρει την δυνατότητα απεικόνισης των χωρικών αντικειμένων σε ένα εκ των πέντε διαφορετικών επιπέδων λεπτομέρειας, τα οποία ονομάζονται Level Of Detail (LOD),ξεκινάνε από το LOD0 (ελάχιστη πληροφορία) και καταλήγουν στο LOD4 (μεγάλη ποσότητα πληροφορίας). Στα επίπεδα αυτά αυξάνεται σταδιακά η ακρίβεια και η πολυπλοκότητα δομής. Σήμερα, χώρες όπως η Ολλανδία, το Βέλγιο, η Γερμανία, οι ΗΠΑ, η Φινλανδία, ο Καναδάς βασίζονται ήδη σε πρότυπο CityGML για τα εθνικά μοντέλα τοπογραφίας και κτηματολογίου. Στην Ελλάδα η 3D απεικόνιση της πραγματικότητας βρίσκεται ακόμα σε πειραματικό στάδιο.

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη και η εφαρμογή μίας τεχνικής τρισδιάστατης μοντελοποίησης μίας περιοχής τριγωνικού σχήματος στο κέντρο της Αθήνας η οποία περιέχει 598 κτήρια και περικλείεται από τις οδούς Ερμού, Αιόλου και Σταδίου. Παράλληλα, σκοπός της εργασίας είναι η εμφάνιση κτηματολογικής πληροφορίας κάθε κτηριακού όγκου της περιοχής μελέτης. Η μοντελοποίηση έγινε με χρήση του προτύπου CityGML σε επίπεδο λεπτομέρειας LOD1. Αναλυτικότερα η διπλωματική εργασία αναπτύσσεται στα παρακάτω κεφάλαια:

Στο πρώτο κεφάλαιο αναλύεται η έννοια του Εθνικού Κτηματολογίου. Επίσης γίνεται αναφορά στην σκοπιμότητα, στις ανάγκες και τα πλεονεκτήματα από την εφαρμογή ενός τρισδιάστατου κτηματολογίου ενώ ταυτόχρονα εντοπίζονται τα είδη των 3D κτηματολογικών εννοιολογικών μοντέλων που μπορούν να υποστηριχτούν και οι αλλαγές που μπορούν να επιφέρουν αυτά στον σύγχρονο κόσμο. Στο τέλος του κεφαλαίου, γίνεται νύξη στην ελληνική πραγματικότητα, το ελληνικό κτηματολογικό μοντέλο και πως αντιμετωπίζονται σε αυτό πιθανές τρισδιάστατες περιπτώσεις.

Στο δεύτερο κεφάλαιο δίνεται έμφαση στην περιγραφή του ‘schema’ CityGML. Αναφέρονται λεπτομερώς οι αρχές δόμησης του, καθώς και πληροφορίες για τον τρόπο λειτουργίας του, οι οποίες είναι απαραίτητες για την κατανόηση και την ορθή δημιουργία του μοντέλου. Επίσης, παρουσιάζονται συνοπτικά και τα υπόλοιπα λογισμικά των οποίων η χρήση βοήθησε στην επεξεργασία και στην υλοποίηση του τελικού μοντέλου.

Στο τρίτο κεφάλαιο ακολουθεί η αναλυτική περιγραφή της μεθόδου δημιουργίας του τρισδιάστατου μοντέλου. Αρχικά, γίνεται αναφορά στον τρόπο επιλογής της συγκεκριμένης μεθόδου μοντελοποίησης. Στην συνέχεια, παρουσιάζεται και αναλύεται η κατασκευή του μοντέλου σύμφωνα με το πρότυπο CityGML με κανόνες και εικόνες ώστε να γίνει πλήρως κατανοητή η διαδικασία υλοποίησης. Τέλος, αναλύεται πλήρως κάθε ενέργεια των λογισμικών που χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή του τρισδιάστατου μοντέλου πόλης.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται λόγος για την δυνατότητα που δίνει το εργαλείο PostGIS της PostgreSQL, με την οποία τίθενται ερωτήματα στην βάση δεδομένων ανάλογα με τις ανάγκες του χρήστη και την πληροφορία που περιέχει το μοντέλο. Πιο συγκεκριμένα συντάσσονται τέσσερα ερωτήματα που ζητούν ως αποτελέσματα τα κτήρια για τα οποία ικανοποιείται η συνθήκη που συντάχθηκε στο περιβάλλον της PostGIS.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται σύνοψη των παραπάνω και παραθέτονται προβληματισμοί και παρατηρήσεις που δημιουργήθηκαν κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας καθώς και προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^{ο} : ΠΕΡΙ ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟΥ

1.1 Εθνικό Κτηματολόγιο

Το έργο του Εθνικού Κτηματολογίου ξεκίνησε το 1994 και ακόμα και σήμερα βρίσκεται εν εξελίξει. Αναμένεται να υλοποιηθεί το 2020. Είναι ένα ενιαίο και διαρκώς ενημερωμένο σύστημα πληροφοριών, το οποίο καταγράφει τις τεχνικές, τις νομικές και άλλες πληροφορίες για τα ακίνητα και τα δικαιώματα πάνω σε αυτά, με την ευθύνη του Δημοσίου. Σκοπός του είναι η δημιουργία ενός ενιαίου και διαρκώς ενημερωμένου συστήματος καταγραφής της δημόσιας και ιδιωτικής ακίνητης περιουσίας, συμβάλλοντας έτσι δραστικά στην προσπάθεια μεταρρύθμισης της Δημόσιας Διοίκησης. Πρόκειται για ένα σύστημα πολύ πιο σύγχρονο και ολοκληρωμένο από το παλαιό σύστημα των Υποθηκών και Μεταγραφών που υποστηρίζουν τα Υποθηκοφυλακεία. Πιο συγκεκριμένα, το Εθνικό Κτηματολόγιο καταγράφει με βάση το ακίνητο όλες τις πράξεις που αναφέρονται σε δικαιώματα επ' αυτού καθώς και κάθε πληροφορία που έχει να κάνει με την μορφή, την θέση και το μέγεθος του. Εγγυάται τις νομικές πληροφορίες που καταγράφει καθώς κάθε καταχώριση πληροφορίας προϋποθέτει έναν αυστηρό ουσιαστικό έλεγχο νομιμότητας. Για πρώτη φορά στην σύγχρονη Ελλάδα το Εθνικό Κτηματολόγιο αποκαλύπτει και καταγράφει την Δημόσια ακίνητη περιουσία.

Η πρώτη γενιά κτηματογραφήσεων ολοκληρώθηκε, με αρκετές ελλείψεις και προβλήματα, την περίοδο μεταξύ του 2003-2008. Ωστόσο κάθε προσπάθεια επί του έργου αποτέλεσε πολύ σημαντική τεχνογνωσία στην εταιρεία Κτηματολόγιο Α.Ε και στους φορείς που στην συνέχεια ανέλαβαν την υλοποίηση του υπολειπόμενου έργου της κτηματογράφησης. Πλέον η σύνταξη του έργου προχωρά με νέες σταθερές βάσεις, ταχύτερους ρυθμούς και νέα τεχνολογικά εργαλεία. Περισσότεροι από 200 φορείς του Δημοσίου χρησιμοποιούν σήμερα στην καθημερινή τους λειτουργία τα δεδομένα της εταιρείας Κτηματολόγιο Α.Ε. αξιοσημείωτο είναι πως προστίθενται ανά καιρούς περισσότερα αντικείμενα, όπως είναι για παράδειγμα η ηλεκτρονική ανάρτηση των δασικών χαρτών μέσω διαδικτύου και η ηλεκτρονική υποβολή αντιρρήσεων κατά του περιεχομένου των δασικών χαρτών, η επικαιρότητα των ορίων των χερσαίων περιοχών και των οικοτόπων εφαρμογών «Natura2000», η διάθεση γεωχωρικών δεδομένων και διαδικτυακών εφαρμογών της εταιρείας για τη καταγραφή και για την οργάνωση και διαχείριση της ακίνητης περιουσίας των ακινήτων των ιδιωτών κα του Δημοσίου (ΕΚΧΑ Α.Ε, 2018).

1.2 Νομοθετικό πλαίσιο

Όσον αφορά την σύνταξη και την τήρηση του Εθνικού Κτηματολογίου, το θεσμικό πλαίσιο περιλαμβάνει δύο βασικά νομοθετήματα:

- Το πρώτο αφορά την διαδικασία της κτηματογράφησης (Ν2308/95 «Κτηματογράφηση για την δημιουργία του εθνικού Κτηματολογίου και λοιπές διατάξεις»)
- Το δεύτερο αφορά την τήρηση και λειτουργία του Κτηματολογίου (Ν2664/98 «Εθνικό Κτηματολόγιο και άλλες διατάξεις»).

Στα επόμενα χρόνια όμως , οι παραπάνω νόμοι τροποποιήθηκαν διαδοχικά με τους εξής νόμους 2508/1997, 3208/2003, 3127/2003, 3212/2003, 3481/2006 και 3983/2011. Με τις τροποποιήσεις αυτές επιχειρήθηκε σταδιακά η προσαρμογή της νομοθεσίας για το Εθνικό Κτηματολόγιο στις απαιτήσεις της πράξης, όπως αυτές αναδείχθηκαν από την εμπειρία της εφαρμογής του θεσμού (ΕΚΧΑ Α.Ε, 2018).

1.3 Οφέλη του Εθνικού Κτηματολογίου

Το Εθνικό Κτηματολόγιο αποτελεί ένα πραγματικά θεμελιώδες έργο για την Ελλάδα καθώς λόγω του γεγονότος ότι βρίσκεται υπό κατασκευή, εισάγονται σε αυτό σύγχρονες τεχνολογικές και μη καινοτομίες, οι οποίες δημιουργούν πολύ σημαντικά οφέλη για τον πολίτη, την εθνική οικονομία και την προστασία του περιβάλλοντος (Σωτηροπούλου Β, Χανιωτάκη Μ., 2014).

1.3.1 Οφέλη Εθνικού Κτηματολογίου για τον ιδιώτη-πολίτη

Κάθε πολίτης επωφελείται από την ισχύ του Κτηματολογίου καθώς αυτό κατοχυρώνει χωρίς αμφισβήτηση τους τίτλους ιδιοκτησίας που αναφέρονται σε αυτόν. Καταγράφει τα δικαιώματα από χρησικτησία, η οποία ιδίως στην επαρχία, αποτελεί ίσως τον συνηθέστερο τρόπο κτήσης κυριότητας λόγω του άτυπου των μεταβιβάσεων. Παράλληλα, διευκολύνει και απλοποιεί τυχόν μεταβιβάσεις ακίνητης περιουσίας απαλλάσσοντας τον πολίτη από δαπανηρές και χρονοβόρες γραφειοκρατικές διαδικασίες. Τέλος, συμβάλει στην διασφάλιση της άμεσης και ασφαλούς διαδικασίας των απαλλοτριώσεων και των αποζημιώσεων.

1.3.2 Κοινωνικά και κρατικά οφέλη του Εθνικού Κτηματολογίου

Μέσω του Εθνικού Κτηματολογίου καταγράφεται και αποκαλύπτεται η αμετάκλητη οριοθέτηση της δημόσιας περιουσίας.

Επιπλέον, συμβάλλει στην αξιοποίηση, την αναβάθμιση και την προστασία των δασών και των λοιπών φυσικών πόρων από τυχόν περιπτώσεις καταπατήσεων, αυθαιρεσιών και περιορισμών από φυσικές και μη περιβαλλοντικές καταστροφές.

Ακόμη, με την εφαρμογή διάφορων τεχνικών όπως ο αναδασμός, ωφελεί στην εφαρμογή κάθε σύγχρονης αγροτικής πολιτικής μέσω έργων που αποσκοπούν στην αποδοτικότερη εκμετάλλευση της γης. Σε επίπεδο οικονομίας ενισχύει την αναβάθμιση της αγοράς ακινήτων και αυξάνει την αξία της ακίνητης ιδιοκτησίας με συνέπεια να προσελκύονται σημαντικότατες επενδύσεις. Τέλος, αξιοσημείωτο είναι πως το Εθνικό Κτηματολόγιο αποτελεί απαραίτητο εργαλείο για την ορθολογική οργάνωση και ανάπτυξη της χώρας αφού εννοεί την εφαρμογή κάθε σύγχρονης οικιστικής πολιτικής που συμβάλλει στην αναβάθμιση του αστικού περιβάλλοντος, της ποιότητας της ζωής των ανθρώπων στις πόλεις και μακριά από αυτές, βρίσκοντας λύσεις και περιορίζοντας σημαντικά προβλήματα της εποχής μας όπως η αστικοποίηση.

1.4 3D Κτηματολόγιο

Κάθε τεκμηριωμένη πληροφορία και καταγραφή των ιδιοκτησιακών αντικειμένων πραγματοποιείται σήμερα, με βάση το σχέδιο του εθνικού Κτηματολογίου και στηρίζεται στις δύο διαστάσεις. Ωστόσο, οι απαιτήσεις της εποχής για λεπτομερέστερη καταγραφή κάθε γεωπληροφορίας υποδεικνύει την ανάγκη99 για χρήση τρισδιάστατου συστήματος κτηματολογίου. Κυρίως λόγω της ραγδαίας έξαρσης του φαινομένου της αστικοποίησης, υπάρχουν πολλά κτήρια και κατασκευές που βρίσκονται πάνω και κάτω από την επιφάνεια της γης. Το 3D Κτηματολόγιο, είναι ουσιαστικά, ένα σύστημα καταγραφής της γης, στο οποίο γίνεται αναφορά της τρίτης διάστασης των αντικειμένων, δηλαδή στο υψόμετρό τους. Απώτερος σκοπός όλων των προσπαθειών για την υλοποίηση του τρισδιάστατου Κτηματολογίου, είναι να αποδοθεί ένα πλήρες τρισδιάστατο μοντέλο της πραγματικότητας για τα τοπογραφικά και τα πλασματικά αντικείμενα, χωρίς όμως να αλλοιωθεί η νομική ισχύ του Εθνικού Κτηματολογίου. Το 3δ Κτηματολόγιο καταγράφει τα ακίνητα που θεωρούνται ως τρισδιάστατα μοντέλα ιδιοκτησίας. Πιο συγκεκριμένα περιλαμβάνει την καταγραφή τρισδιάστατων εμπράγματων δικαιωμάτων αντικειμένων, δηλαδή την τρισδιάστατη αναπαράσταση ενός δικαιώματος σε ένα δισδιάστατο γεωτεμάχιο.

Όλα τα επιμέρους εμπράγματα δικαιώματα αντικειμένων που είναι μέρος ενός μοναδικού αντικειμένου της φυσικής πραγματικότητας, μπορούν να ανευρεθούν στη βάση δεδομένων αφού συνδέονται με το αντικείμενο αυτό μέσω του ίδιου κώδικα εγγραφής. Επιπλέον, περιλαμβάνει την καταγραφή των αντικειμένων της φυσικής πραγματικότητας, κάτι που απαιτεί μια τελείως διαφορετική αντίληψη.

Σε αυτή την περίπτωση, τα τρισδιάστατα αντικείμενα και όχι τα δισδιάστατα γεωτεμάχια είναι αυτά που αποτελούν τη βάση της κτηματολογικής καταγραφής. Για να καταστεί μια καταγραφή αδιαμφισβήτητη, απαιτείται η εφαρμογή κατάλληλου θεσμικού πλαισίου (Papaefthymiou M, Labropoulos A, Zentelis P, 2004).

Σημαντικό γνώρισμα της καταγραφής αυτής αποτελεί το γεγονός πως διατηρούνται οι χωρικές και οι μη χωρικές πληροφορίες των αντικειμένων, πράγμα που συμβάλει στον ουσιαστικό έλεγχο του συστήματος καταγραφών (Δημοπούλου Ε, 2015).

1.5 Πλαίσιο του 3D Κτηματολογίου

Το πλαίσιο του 3D Κτηματολογίου οριοθετείται αυστηρά από τρία πλαίσια, τα οποία αναφέρονται στις ανάγκες, τους περιορισμούς και τις δυνατότητες των τρισδιάστατων κτηματολογικών εγγράφων. Αυτά είναι το Νομικό πλαίσιο, το Κτηματολογικό πλαίσιο και το Τεχνικό πλαίσιο. Πιο αναλυτικά:

Το Νομικό Πλαίσιο αφορά το πώς μπορεί να καθοριστεί το νομικό καθεστώς των στρωματοποιημένων ακινήτων και το πώς μπορεί να προσδιορίζονται τα ιδιοκτησιακά όρια πέρα από τα παραδοσιακά δισδιάστατα όρια. Τέλος, καταγράφει τα δικαιώματα επί της γης και τον τρόπο που αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Στην συνέχεια, αφού λοιπόν καθοριστεί πλήρως το νομικό καθεστώς της ιδιοκτησίας για τρισδιάστατες περιπτώσεις και περιγράφει σαφώς με τίτλους και με εργασίες πεδίου που έχουν αρχειοθετηθεί στο κτηματολογικό σύστημα, τα επόμενα θέματα με τα οποία ασχολείται το Κτηματολογικό Πλαίσιο αφορούν τον τρόπο καταγραφής των δικαιωμάτων και των περιορισμών στις ιδιοκτησίες. Δηλαδή, αφορούν την οριοθέτηση των ιδιοκτησιών σε τρισδιάστατο σύστημα πλέον. Επίσης, το Κτηματολογικό Πλαίσιο ασχολείται με το πώς το τρισδιάστατο αντικείμενο θα παρέχει πληροφορίες σχετικά με το νομικό καθεστώς. Τέλος, το Τεχνικό Πλαίσιο αναφέρεται στην έρευνα για την αναζήτηση της κατάλληλης αρχιτεκτονικής του συστήματος, η οποία θα είναι απαραίτητη για την στήριξη κτηματολογικών εγγράφων σε 3D μοντέλα. Όπως είναι φανερό, τα τρία αυτά πλαίσια συνδέονται μεταξύ τους και υπακούουν σε μια ιεραρχική σειρά.

1.6 Δομή της τρισδιάστατης πληροφορίας

Οι αλλαγές που υφίσταται το ίδιο το σύστημα, δεν επηρεάζουν μόνο το ίδιο, αλλά παράλληλα επηρεάζουν και την πληροφορία που εισάγεται σε αυτό.

Η διάδοση πληροφοριών μέσω Διαδικτύου στην σημερινή κοινωνία αποτελεί κριτικής σημασίας.

Επομένως, είναι επιτακτική η ανάγκη ένταξης κάθε κτηματολογικής εγγραφής σε μία Υποδομή Γεωχωρικών-Πληροφοριών (Geographical-Information_Infrastructure). Επιπλέον, πολύ σημαντικό ζήτημα αποτελεί το πώς αυτός ο όγκος δεδομένων θα φτάνει σε κάθε χρήστη, πώς το σύστημα θα είναι εύκολα προσπελάσιμο. Εξίσου μεγάλης σημασίας, είναι το ζήτημα για το πώς η πληροφορία θα μεταφράζεται πλέον σε χαρακτηριστικά ενός τρισδιάστατου αντικειμένου.

Τέλος, όσον αφορά τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών, η μέθοδοι για την διάρθρωση, την γεωμετρική κατασκευή, την οργάνωση δισδιάστατων και τρισδιάστατων δεδομένων σε ενιαίο περιβάλλον, εξελίσσονται συνεχώς (Αρβανίτης Α, 2014).

1.7 Είδη 3D Κτηματολογίου

Με βάση τον διαχωρισμό της Stoner (2002), διακρίνουμε τρεις θεμελιώδεις έννοιες (Πλήρες 3D Κτηματολόγιο, Υβριδικό 3D Κτηματολόγιο και 3D σύνδεσμοι) οι οποίες ερμηνεύουν το περιεχόμενο της πληροφορίας του 3D Κτηματολογίου ανάλογα σε τι αναφέρεται η καταγραφή.

1.7.1 Πλήρες 3D Κτηματολόγιο

Στο πλήρες σύστημα 3D Κτηματολογίου εγκαταλείπεται η έννοια των δισδιάστατων τεμαχίων ως μοναδική λύση βάση αναφοράς για την καταγραφή των ιδιοκτησιακών αντικειμένων, καθώς τα δικαιώματα δεν εφαρμόζουν πλέον σε γεωτεμάχια, αλλά σε καλώς ορισμένα μετρημένους όγκους. Η έννοια των 2D τεμαχίων θα πρέπει να επανεξετασθεί, όπως και η αλλαγή του ρόλου των κτηματολογικών εγγράφων, προκειμένου να ανταποκριθούν στις κτηματολογικές ανάγκες σε ένα πιο θεμελιώδες επίπεδο. Σημαίνει δηλαδή, την εισαγωγή της έννοιας των ιδιοκτησιακών δικαιωμάτων στον τρισδιάστατο χώρο, ο οποίος υποδιαιρείται σε ογκομετρικά γεωτεμάχια. Η νομική βάση δεδομένων, τα πρωτόκολλα συναλλαγής ακινήτων και οι κτηματολογικές εγγραφές θα πρέπει να υποστηρίζουν τη δημιουργία και την μεταβίβαση των 3D δικαιωμάτων. Διακρίνονται δυο εναλλακτικές λύσεις για το πλήρες 3D Κτηματολογικό σύστημα.

Το πλήρες 3D Κτηματολόγιο περιλαμβάνει και υποστηρίζει γεωτεμάχια των οποίων καταγράφονται αυστηρά οι τρεις διαστάσεις αλλά και των συνδυασμό των απεριόριστων στηλών (με όρια το γεωτεμάχιο) και των ογκομετρικών τεμαχίων.

1.7.2 Υβριδικό 3D Κτηματολόγιο

Υβριδική λύση σημαίνει διατήρηση του ήδη υπάρχοντος δισδιάστατου κτηματολογίου και ενσωμάτωση της καταγραφής τρισδιάστατων περιπτώσεων ως μέρος των 2D κτηματολογικών γεωγραφικών δεδομένων. Αυτή είναι η βασική διαφορά με το πλήρες 3D Κτηματολογικό σύστημα. Σε αυτό το σύστημα δεν αλλάζει ούτε ο νομικός ούτε ο κτηματολογικός χαρακτήρας της ιδιοκτησίας και του ακινήτου, όπως στην περίπτωση του πλήρους 3D κτηματολογικού συστήματος. Το Υβριδικό 3D Κτηματολόγιο περιλαμβάνει την καταγραφή των δισδιάστατων τεμαχίων σε όλες τις περιπτώσεις καταγραφής εμπράγματης ιδιοκτησίας και περαιτέρω καταγραφής του τρισδιάστατου νομικού χώρου στην περίπτωση των τρισδιάστατων ιδιοκτησιακών μονάδων και στην περίπτωση των «φυσικών αντικειμένων».

1.7.3 3D Σύνδεσμοι Κτηματολογίου

Αυτό έχει να κάνει με την διατήρηση του δισδιάστατου Κτηματολογίου με εξωτερικές αναφορές σε ψηφιακές ή σε αναλογικές παρουσιάσεις των τρισδιάστατων καταστάσεων. Εδώ οι 3D απεικονίσεις διατηρούνται ξεχωριστά και όχι ενσωματωμένες με τα γεωγραφικά δεδομένα του κτηματολογίου, και αυτή είναι η βασική διαφορά με το υβριδικό 3D κτηματολόγιο. Σε αυτή την λύση , τα εμπράγματα δικαιώματα επί των ακινήτων εφαρμόζονται και καταγράφονται στα δισδιάστατα γεωτεμάχια. Ωστόσο, τυχόν ενημέρωση με τρισδιάστατη πληροφορία στο σύστημα μπορεί να προστεθεί με την εγγραφή μιας 3D σημείωσης στο γεωτεμάχειο. Η πιο απλή λύση αναφοράς που υπακούει σε αυτό το σύστημα είναι η επισήμανση 3D περιπτώσεων στις κτηματολογικές καταγραφές, όπου κάθε χρήστης πρέπει να συμβουλευτεί τα έγγραφα στα μητρώα για να βρει πιο λεπτομερείς πληροφορίες. Ένας άλλος τρόπος είναι η προσθήκη αναφοράς σε μία 3D ψηφιακή περιγραφή που διατηρείται μέσα στις κτηματολογικές εγγραφές, η οποία διατηρείται στο σύστημα σε αναλογική ή ψηφιακή μορφή αρχείου τύπου CAD.

1.8 Υφιστάμενη κατάσταση 3D Κτηματολογίου

Ένα χαρακτηριστικό της εποχής μας είναι η τάση των επιστημών και των τεχνολογιών που επικρατεί προς την τρίτη διάσταση.

Αυτή η τάση εντοπίζεται ιδιαίτερα έντονα στις επιστήμες που σχετίζονται με γεωγραφικές πληροφορίες. Επομένως, προκειμένου να αποσαφηνιστούν περιπτώσεις πολύπλοκης δομής και επικαλυπτόμενων κατασκευών και των σύνθετων εμπράγματων δικαιωμάτων επ' αυτών, έχει μελετηθεί εκτενώς η υλοποίηση ενός τρισδιάστατου κτηματολογικού συστήματος.

Χώρες όπως οι ΗΠΑ, η Αγγλία, η Γερμανία και η Αυστρία αντιλήφθηκαν άμεσα την ανάγκη καταγραφής της πολυστρωματικής πραγματικότητας σε ένα τρισδιάστατο κτηματολογικό σύστημα. Έτσι, κάθε αντίστοιχη πόλη ασχολήθηκε με την σύνταξη ενός τέτοιου συστήματος που υπάκουε στα ανάλογα νομικά, τοπογραφικά και τεχνικά θέματα κάθε χώρας. Έτσι, ακόμα και αν το 3D Κτηματολόγιο μετράει μόλις λίγα χρόνια ζωής και αναπτύσσεται συνεχώς, η χρήση του έχει οδηγήσει σε ποικιλία συμπερασμάτων για την υφιστάμενη κατάσταση του αλλά και για μελλοντικές εξελίξεις αυτού.

Παγκοσμίως υπάρχουν πολλές διαφορές στα εκάστοτε τρισδιάστατα κτηματολογικά συστήματα. Αυτό συμβαίνει διότι, κάθε σύστημα συλλέγει με πολύ διαφορετική διαδικασία τις πληροφορίες διαχείρισης της γης και αντιμετωπίζει με διαφορετικό τρόπο την διάσταση των δικαιωμάτων, των περιορισμών και των υποχρεώσεων. Η διαφορετική αυτή προσέγγιση ίσως προκύπτει ως αποτέλεσμα πολιτισμικών και ιστορικών διαφορών μεταξύ των λαών, οι οποίες επηρεάζουν τις νομικές, τις οργανωτικές και τις τεχνικές πτυχές του κτηματολογίου.

Τα πρώτα στοιχεία που απορρέουν από ολιγόχρονη χρήση του 3D Κτηματολογίου αναλύονται παρακάτω. Σε καμία κτηματολογική εγγραφή δεν υπάρχουν τρισδιάστατα τεμάχια, και η περιγραφή του τρισδιάστατου χώρου εντοπίζεται μόνο σε τοπογραφικά σχέδια και κατόψεις ή σε νομικά έγγραφα. Επίσης, παρόλη την έρευνα τα τελευταία χρόνια, οι έννοιες 3D κτηματολόγιο και 3D τεμάχιο είναι ακόμα ασαφείς. Αυτά που συνήθως καταγράφονται στην κτηματολογική βάση είναι τα τρισδιάστατα τεμάχια τα οποία περιορίζονται σε μονάδες διαμερισμάτων και βρίσκονται εντός των ορίων των δισδιάστατων επιφανειακών γεωτεμαχίων.

Όσον αφορά την σύνταξη του ανάλογου τρισδιάστατου κτηματολογικού συστήματος και της εφαρμογής του, ακόμα βρίσκεται στο στάδιο των συζητήσεων. Παρόλα αυτά, όπως έχει αναφερθεί παραπάνω, ένα τέτοιο σύστημα στον ελλαδικό χώρο κρίνεται απαραίτητο πλέον και ας ελπίσουμε ότι οι αρμόδιοι φορείς θα συντονιστούν άμεσα για την υλοποίηση του.

Εν κατακλείδι, καμία χώρα δεν έχει αναπτύξει ένα ολοκληρωμένο σύστημα τρισδιάστατης καταγραφής μέχρι και σήμερα. Ωστόσο, συνεχίζονται οι φιλότιμες προσπάθειες για συλλογή και οργάνωση της τρισδιάστατης πληροφορίας προκειμένου να ικανοποιηθούν οι αυξανόμενες ανάγκες στον κτηματολογικό τομέα, συνδυάζοντας συγκεκριμένους οργανωτικούς και νομικούς τομείς (Kitsakis D, Greece, Paasch M. and Paulsson J, Sweden, Navratil G, Austria, Vucic N, Croatia, Karabin M, Poland, Tenorio Carneiro A, Brazil and El-Mekawy M, Sweden, 2016).

1.9 Σχέση 3D με 2D Κτηματολόγιο

Σήμερα, τα τρέχοντα κτηματολογικά συστήματα εξυπηρετούν τους σκοπούς τους επαρκώς στις περισσότερες δισδιάστατες καταστάσεις. Επομένως, είναι φανερό πως κρίνεται ανέφικτη η δημιουργία ενός τρισδιάστατου κτηματολογίου ανεξάρτητου από το σημερινό νομικό και κτηματολογικό πλαίσιο. Έτσι λοιπόν, ένα τρισδιάστατο κτηματολογικό σύστημα θα πρέπει να ενταχθεί σε κάποιο βαθμό μέσα στο είδη υπάρχον Νομικό, Κτηματολογικό και Τεχνικό Πλαίσιο του ισχύοντος κτηματολογικού συστήματος και να ικανοποιεί τις νέες απαιτήσεις που προκύπτουν από τις εξελίξεις της σύγχρονης εποχής (Drobež P, Fras M, Ferlan M, Lisec A, 2016).

1.10 Ανάγκη για 3D Κτηματολόγιο

Τα τελευταία χρόνια η αυξανόμενη τάση συσσώρευσης των πληθυσμού σε πυκνοκατοικημένα κέντρα έχει δημιουργήσει την ανάγκη για πλήρη περιγραφή της ακίνητης περιουσίας τόσο στον ιδιωτικό όσο και στον Δημόσιο τομέα.

Συνεπώς, οι χρήστες απαιτούν να έχουν το νομικό καθεστώς των περιουσιών τους, πλήρως καθορισμένο στο νέο εκσυγχρονισμένο Εθνικό Κτηματολόγιο. Είναι λοιπόν σαφές πως η πληροφορία που δίνει πλέον ένα 2D διάγραμμα δεν επαρκεί, καθώς τώρα, το κτηματολόγιο πρέπει να παρέχει σαφώς την εικόνα της διανομής των ιδιοκτησιών και των ορίων τους σε όλες τις διαστάσεις. Έτσι, το 3D Κτηματολόγιο στοχεύει να γεφυρώσει αυτό το χάσμα με την πλέον τρισδιάστατη προσέγγιση της κάθε κτηματολογικής καταγραφής.

Το 3D Κτηματολόγιο περιλαμβάνει ψηφιακή πληροφορία των τρισδιάστατων περιπτώσεων. Στα σύγχρονα συστήματα μπορούν να προστεθούν σχέδια στους τίτλους, προκειμένου να αποδώσουν με σαφήνεια την 3D πληροφορία. Η τρισδιάστατη προσέγγιση στην κτηματολογική καταγραφή παρέχει νομικές ειδοποιήσεις και πληροφορίες στην κάθετη συνιστώσα των δικαιωμάτων και των περιορισμένων δικαιωμάτων, επιτρέποντας την ενσωμάτωση της τρισδιάστατης πληροφορίας στα υφιστάμενα κτηματολογικά γεωγραφικά δεδομένα.

Η ψηφιακή πληροφορία προσφέρει ασφαλέστερες και ταχύτερες δυνατότητες για τυχόν ποιοτικούς ελέγχους, και παράλληλα διευκολύνει την μετάδοση, την ανταλλαγή και την ενσωμάτωση της πληροφορίας μεταξύ και μέσα στα κτηματολογικά δημοτικά και επαρχιακά γραφεία.

Αξιοσημείωτο είναι πως μέρα με την μέρα η 3D πληροφορία καθίσταται ως αναπόσπαστο κομμάτι της σύγχρονης πραγματικότητας ακόμα και σε εφαρμογές εκτός κτηματολογίου.

Υπάρχουν πολλοί τομείς που μπορούν να επωφεληθούν από την 3D πληροφορία και κατά συνέπεια ένα 3D Κτηματολόγιο μπορεί να επωφεληθεί από ένα σύστημα ανταλλαγής, μετάδοσης πληροφορίας, γνώσης και εμπειρίας που στηρίζεται στην τρισδιάστατη πληροφορία.

1.11 Αναλυτικότερα περιπτώσεις που απαιτούν τρισδιάστατη καταγραφή

Στην Ελλάδα του σήμερα, που έπεσε θύμα του έντονου φαινομένου αστικοποίησης τις δεκαετίες του 60’ και του 70’, μπορεί να δει κανείς πολλά παραδείγματα ιδιοκτησιών που απαιτούν 3D καταγραφή.

Παρακάτω, παρουσιάζονται οι πιο χαρακτηριστικές περιπτώσεις: Αρχικά, τεράστια προβλήματα παρουσιάζονται, όχι μόνο ως προς την πλήρη αποσαφήνιση των ορίων και της γεωμετρίας αλλά και ως προς την εγκυρότητας της καταγεγραμμένης πληροφορίας σε περιπτώσεις επικαλυπτόμενων Δημόσιων ιδιοκτησιών άνω, κάτω ή ακόμα επί ιδιωτικών περιοχών. Τέτοιες περιπτώσεις είναι για παράδειγμα, τα ορυχεία που δεν σχετίζονται με το υποκείμενο εδαφοτεμάχιο και τα κοινόχρηστα δίκτυα υποδομών που διαπερνούν δημόσιο και ιδιόκτητο χώρο. Παρόμοια προβλήματα παρατηρούνται σε επικαλυπτόμενες ιδιωτικές ιδιοκτησίες, παραδείγματος χάρη όταν ιδιωτικοί υπόγειοι χώροι στάθμευσης εντοπίζονται κάτω από δημόσιους χώρους, όταν δίκτυα υποδομών διαπερνούν δημόσιο και ιδιωτικό χώρο ή όταν εντοπίζονται ανώγια πάνω από δημόσιους δρόμους.

(α)

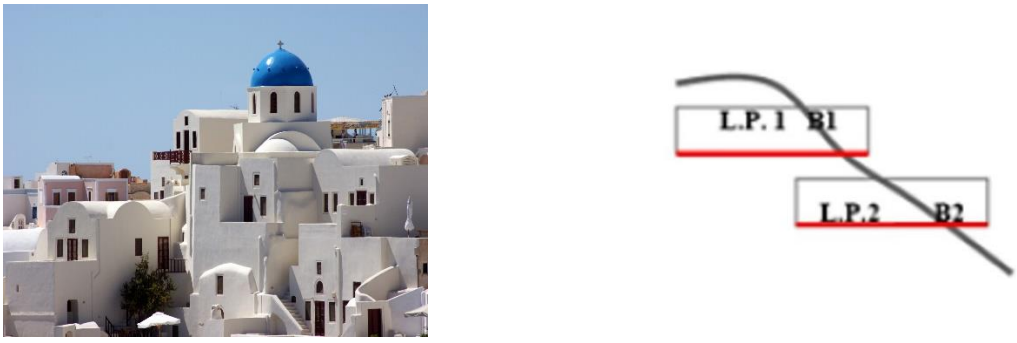
(β)

Εικόνα 1: (α) και (β) παραδείγματα ιδιωτικού χώρου στάθμευσης κάτω από δημόσιο χώρο. (πηγή: Google)

***Εικόνα 2*: Δημόσια καμάρα, κάτω από ιδιωτική περιουσία. (πηγή: Google)**

Επιπρόσθετα, κρίνεται επιτακτική η ανάγκη τρισδιάστατης καταγραφής των ιδιωτικών κατασκευών προς αποφυγή κάθε περίπτωσης επικάλυψής τους. Δηλαδή, σε έντονα αστικά περιβάλλοντα παρατηρείται η περίπτωση της πολυστρωματικής ιδιοκτησίας που απορρέει από ένα κτήριο το οποίο είναι μερικώς κατασκευασμένο πάνω ή επί της γης άλλου κτηρίου.

Σε πολλές περιοχές με έντονη κλίση εδάφους, κυρίως νησιωτικές, δημιουργούνται επικαλυπτόμενες ιδιοκτησίες οικοπέδων και κατασκευών, εξαιτίας του ανάγλυφου του εδάφους, της επιδίωξης κέρδους ανάλογα με την χρήση του ακινήτου αλλά και λόγω των ισχύων κανόνων εθιμικού δικαίου.



Εικόνα 3: Αριστερά, επικαλυπτόμενες ιδιοκτησίες. Δεξιά, οι οριζόντιες προβολές στα γεωτεμάχια L.P.1 και L.P.2 και των κτηρίων B.1 και B.2 επικαλύπτονται (πηγή: Dimopoulou et al, 2006)

Τέλος, υψίστης σημασίας αποτελεί η λεπτομερέστερη καταγραφή των ειδικών ιδιοκτησιακών αντικειμένων. Πρόκειται για τις εξ' εθιμικού δικαίου δημιουργούμενες ιδιότυπες σχέσεις χωρικής ιδιοκτησίας, σύμφωνα με τις οποίες ο κύριος επί του εδάφους δεν είναι αναγκαία και κύριος των επί αυτού κτισμάτων, τα οποία συνιστούν αυτοτελή ιδιοκτησιακά αντικείμενα.

Τα αντικείμενα αυτά μπορεί να είναι κατασκευές άνω του εδάφους που έχουν δικαίωμα ποσοστού επί του εδάφους. Κάποιες από αυτές τις κατασκευές γεφυρώνουν δρόμους ή μονοπάτια και εντοπίζονται κυρίως στα Ελληνικά νησιά.

Επίσης, τα ειδικά ιδιοκτησιακά αντικείμενα μπορεί να είναι κατασκευές κάτω από το έδαφος, όπως σπίτια με δικαίωμα ποσοστού επί του εδάφους τα οποία έχουν σκαφτεί ή λαξευτεί μέσα στην γη (υπόσκαφα). Ακόμη εντοπίζονται ως τυπικοί παράκτιοι χώροι με δικαίωμα ποσοστού επί του εδάφους, τα οποία έχουν ένα ειδικό μηχανισμό για να τραβούν τις βάρκες μέσα τους για προστασία κατά την διάρκεια του χειμώνα, ή ακόμα στοές, μύλοι, θόλοι και μεταλλεία που επεκτείνονται κάτω από την επιφάνεια της γης. Τέλος, πηγάδια και καμάρες αποτελούν και αυτά με την σειρά τους ειδικά ιδιοκτησιακά αντικείμενα. (Rokos D, 2001)

Εικόνα 4: (α) μύλοι, (β) σύρματα, (γ) υπόσκαφα

Συνεπώς, με την ανάλυση των παραπάνω γίνεται ακόμα πιο ξεκάθαρη η ανάγκη για την τρισδιάστατη καταγραφή της πολύπλοκης πραγματικότητας, ιδιαίτερα στον ελλαδικό χώρο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^{Ο} : ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ

2.1 CityGML

Το City Geography Markup Language (CityGML) είναι ένα καινοτόμο και αντικειμενοστραφές μοντέλο πληροφοριών, το οποίο βασίζεται στη γλώσσα eXtensive Markup Language (XML). Πρόκειται για ένα πρόγραμμα εφαρμογής που στηρίζεται στο Open geospatial consortium's Geography Markup Language 3. Εν αρχή, η Geography Markup Language (GML) είναι μια πρότυπη γλώσσα για την μοντελοποίηση, την μεταφορά και την αποθήκευση γεωγραφικών πληροφοριών. Το CityGML είναι ένα μοντέλο πληροφοριών που παρέχει ένα μοντέλο και έναν μηχανισμό για την περιγραφή τρισδιάστατων αντικειμένων ως προς την γεωμετρία, την σημασιολογία, την τοπολογία και την εμφάνισή τους. Αναπτύχθηκε από το Special Interest Group 3D (SIG 3D) κατόπιν πρωτοβουλίας της Geodata Infrastructure North-Rhine Westphalia στη Γερμανία και η πρώτη έκδοσή του ήταν διαθέσιμη τον Αύγουστο του 2008. Το μοντέλο CityGML είναι εξαιρετικά επεκτάσιμο και τα σύνολα δεδομένων του μπορούν να περιλαμβάνουν διάφορες οντότητες. Σε αντίθεση με άλλε μορφές τρισδιάστατων φορέων, βασίζεται σε ένα πλούσιο πληροφοριακό μοντέλο που σε συνδυασμό με γεωμετρία και το γραφικό περιεχόμενο καλύπτει ένα ευρύ φάσμα απαιτήσεων για κάθε χρήστη όσον αφορά εφαρμογές 3D κτηματολογίου, αστικού σχεδιασμού, τηλεπικοινωνίες, περιβαλλοντικές προσομοιώσεις, εκτιμήσεις ζήτησης ενέργειας, διαχείριση του κύκλου ζωής της πόλης, εκτίμηση ακινήτων, διαχείριση καταστροφών κλπ. Στο μοντέλο περιλαμβάνονται επίσης ιεραρχικές γενικεύσεις μεταξύ θεματικών κατηγοριών, ομαδοποιήσεις, σχέσεις μεταξύ αντικειμένων και χωρικών ιδιοτήτων. Η χρήση 3D μοντέλων της πόλης, δίνει την δυνατότητα πρόβλεψης και αστικοποίησης των αλλαγών στην πόλη μετά από προτεινόμενη αλλαγή, ή ακόμα και μετά την εμφάνιση ενός φυσικού φαινομένου. Το CityGML έχει ως βασικό πλεονέκτημα ότι αποτελεί ένα ανοιχτό πρότυπο και ως εκ τούτου μπορεί να χρησιμοποιηθεί ελεύθερα. Το μοντέλο CityGML διαχωρίζει πέντε διαδοχικά επίπεδα λεπτομέρειας LODs (Levels Of Detail) , με βάση τα οποία δίνεται περισσότερο λεπτομερή στα αντικείμενα που περιγράφονται λαμβάνοντας υπόψιν την θεματική διαφοροποίηση, τον σκοπό την επικείμενης μοντελοποίησης, την γεωμετρία και την εμπειρία του χρήστη.

Αξίζει να προσθέσουμε ότι για την δημιουργία των τρισδιάστατων μοντέλων CityGML έχουν χρησιμοποιήσει δεδομένα από τις εξής πηγές:

- ❒ Δεδομένα laser (LIDAR)
- ❒ Επίγειες, δορυφορικές φωτογραφίες, αεροφωτογραφίες και ορθοφωτογραφίες

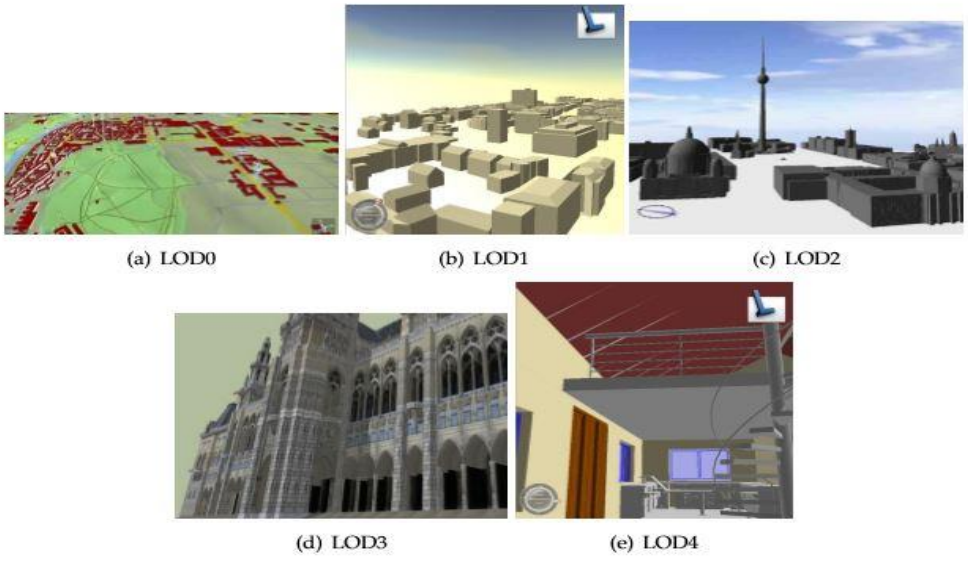
- ❒ Χάρτες (κτηματολογικά διαγράμματα, σχέδια πόλης, γεωλογικοί)
- ❒ Πολεοδομικά σχέδια με αρχεία που περιλαμβάνουν ανάλυση του εκάστοτε αστικού ιστού
- ❒ Βάσεις δεδομένων που περιέχουν πληροφορίες σχετικά με την τοποθεσία

Τέτοιου είδους δεδομένα καθίστανται ευρέως διαθέσιμα, όπως επίσης και η δυνατότητα απεικόνισης από τρισδιάστατα ελεύθερα εργαλεία θέασης (Google Earth).

2.1.1 Επίπεδα λεπτομέρειας (LODs)

Σε ένα τρισδιάστατο μοντέλο με CityGML δίνεται η δυνατότητα, αν και αποφεύγεται, να περιέχει τις πολλαπλές αναπαραστάσεις και γεωμετρίες για κάθε αντικείμενο σε διάφορα επίπεδα (LODs) ταυτόχρονα.

Τα επίπεδα αυτά σε συνδυασμό με το εξειδικευμένο περιεχόμενο των πληροφοριών τους και τις ακρίβειές τους αποτελούν ουσιαστικά κατηγορίες ποιότητας. Μόνο από το όνομα του LOD, (δηλαδή LOD0, LOD1, LOD2 κτλ) ενός συνόλου δεδομένων του μοντέλου CityGML μπορεί ο πελάτης-χρήστης να αντιληφθεί την κατηγορία ποιότητας, τον βαθμό λεπτομέρειας του μοντέλου, την πολυπλοκότητα και την ακρίβεια των δεδομένων (Τσαγγούρη Κ, Μαντά Δ, 2017).



Εικόνα 3: οπτική επεξήγηση των μοντέλων λεπτομέρειας (LODs) του μοντέλου 3DCityGML. (πηγή: McEnroe Gifford Dsilva, 2009)

Παρακάτω παρατίθενται εκτενέστερες πληροφορίες που αφορούν τα πέντε επίπεδα λεπτομέρειας του μοντέλου.

LOD0: πρόκειται για την απεικόνιση του μοντέλου του εδάφους σε 2,5 διαστάσεις. Αφορά το χαμηλότερο μοντέλο αναγλύφου, ΨΜΕ (Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους), πάνω στο οποίο μπορεί να προσαρμοστεί ένας χάρτης ή μια αεροφωτογραφία και με το επίπεδο αυτό απεικονίζεται ένα τοπίο.

LOD1: πρόκειται για την απεικόνιση του μοντέλου σε επίπεδα που καθορίζουν την αυστηρή του γεωμετρία. Για παράδειγμα, ένα κτήριο στο LOD1 αναπαρίσταται σαν ένα πρίσμα με επίπεδες στέγες, χωρίς δομή σε αυτές. Αυτό το επίπεδο λεπτομέρειας χρησιμοποιείται συνήθως για την απεικόνιση μίας πόλης.

LOD2: πρόκειται για ένα επίπεδο που αποδίδει για κάθε κτήριο περισσότερη πληροφορία όσον αφορά τη γεωμετρία και το σχήμα του (μπαλκόνια, σκάλες και άλλες κτηριακές εγκαταστάσεις), και παράλληλα εμφανίζει μια διακριτή δομή στέγης. Δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να αναπαραστήσει ακόμα και βλάστηση. Με το LOD2 δηλαδή, απεικονίζονται οι συνοικίες μιας πόλης.

LOD3: πρόκειται για την απεικόνιση που εμπεριέχει αρχιτεκτονικά μοντέλα και λεπτομέρειες στους τοίχους, στις δομές της οροφής, στις πόρτες και στα παράθυρα. Επιπλέον στοιχείο αυτού του επιπέδου είναι ότι δίνει την δυνατότητα για πιο λεπτομερή απεικόνιση της βλάστησης όπου απαιτείται.

LOD4: πρόκειται για το επίπεδο αναπαράστασης που είναι πιο κοντά στην πραγματικότητα. Αυτό το επίπεδο ολοκληρώνει το LOD3 προσθέτοντας εσωτερικές δομές όπως δωμάτια, σκάλες και έπιπλα.

Εικόνα 4: Μοντελοποίηση οικίας στα πέντε επίπεδα λεπτομέρειας LODs. (πηγή: Geo Connection International Magazine, 2015)

Επίσης, τα LODs χαρακτηρίζονται από διαφορετικές ακρίβειες για τα αντικείμενα. Οι απαιτήσεις για την ακρίβεια και κάποια βασικά χαρακτηριστικά του κάθε επιπέδου λεπτομέρειας απεικονίζονται στον πίνακα που ακολουθεί . Ως ακρίβεια θεωρείται η τυπική απόκλιση ‘σ’ από την απόλυτη τιμή των 3D συντεταγμένων του σημείου. Αξίζει να αναφέρουμε ότι η σχετική ακρίβεια ενός τρισδιάστατου σημείου πρόκειται να προστεθεί σε μία μελλοντική έκδοση του CityGML. Ανάλογα με το είδος και την ακρίβεια των δεδομένων που είναι διαθέσιμα, κάθε 3D σημείο αναπτύσσεται στο αντίστοιχο επίπεδο λεπτομέρειας (CityGML Homepage, 2016).

	LOD0	LOD1	LOD2	LOD3	LOD4
Model scale description	regional, landscape	city, region	city districts, projects	architectural models (out-side), landmark	architectural models (interior)
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 (classification of land use)	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	-	-	-	representative exterior effects	real object form
Roof form/structure	no	flat	roof type and orientation	real object form	real object form
Roof overhanging parts	-	-	n.a.	n.a.	Yes
CityFurniture	-	important objects	prototypes	real object form	real object form
SolitaryVegetationObject	-	important objects	prototypes, higher 6m	prototypes, higher 2m	prototypes, real object form
PlantCover	-	>50*50m	>5*5m	< LOD2	<LOD2
… to be continued for the other feature themes					

Πίνακας 1: Ακρίβεια των CityGML μοντέλων ανάλογα με το LOD

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι στο LOD1 η απόλυτη ακρίβεια του τρισδιάστατου σημείου, σε θέση και το ύψος, θα πρέπει να είναι 5 μέτρα ή λιγότερα. Για το LOD2 η ακρίβεια θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 2 μέτρα, ενώ τα αντικείμενα που μπορούν να απεικονιστούν είναι διαστάσεων 4x4 μέτρων. Για το LOD3 η ακρίβεια που απαιτείται είναι 0.5 μέτρα και το ίχνος είναι 2x2 μέτρα. Όσον αφορά το LOD4 η ακρίβεια των σημείων είναι μικρότερη των 0.2 μέτρων.

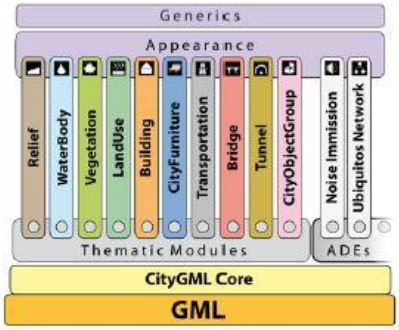
Τα επίπεδα λεπτομέρειας ισχύουν και για τις άλλες κλάσεις αντικειμένων. Πέρα από τις χωρικές πληροφορίες, το μοντέλο δίνει την δυνατότητα να αστικοποιούνται δεδομένα χαρακτηριστικών ιδιοτήτων της επιφάνειας που αναφέρεται, όπως για παράδειγμα είναι η υπέρυθρη ακτινοβολία, η ηχορύπανση ή ο σεισμός (Biljecki F. · PhD dissertation · Delft University of Technology, 2017).

2.1.2 Οργάνωση του CityGML

Το CityGML είναι λειτουργικά χωρισμένο σε κάποιες ενότητες, κάθετες και οριζόντιες (Gröger G, Kolbe T, Nagel C, Häfele K, 2012).

- ❒ Οι κάθετες αναφέρονται στα ονόματα των διαφορετικών θεματικών μοντέλων (κτήρια, αντικείμενα της πόλης, χρήσεις γης, ανάγλυφο, βλάστηση, υδάτινες μάζες).

- Οι οριζόντιες ενότητες αντιστοιχούν στις δομές οι οποίες είναι συναφείς ή που μπορούν να εφαρμοστούν σε όλες τις κάθετες θεματικές ενότητες. Το παρακάτω σχήμα αναλύει γραφικά την δομή στην οργάνωση του CityGML.



Σχήμα 1: Δομή του CityGML (πηγή: Kolbe T.H., 2009)

Για οποιαδήποτε αντικείμενα που δεν εμπεριέχονται στα παραπάνω θεματικά μοντέλα, για όσα δηλαδή δεν μοντελοποιούνται ακόμη ρητώς, μπορούν να αναπαραχθούν χρησιμοποιώντας την κατηγορία των γενικών αντικειμένων και ιδιοτήτων, Generics. Όσον αφορά καταστάσεις για τυχόν επεκτάσεις του μοντέλου CityGML, για συγκεκριμένα πεδία εφαρμογής, υλοποιούνται με την χρήση επεκτάσεων Application Domain Extensions (ADE). Ανάλογα με το πεδίο εφαρμογής παρέχονται οι εξής επεκτάσεις:

- Για συμπλήρωση λεπτομέρειας (BIM/IFC) χρησιμοποιείται η επέκταση GeoBIM.
- Για ανάλυση ήχου χρησιμοποιείται η επέκταση Noise.
- Για διάφορα δίκτυα υποδομών χρησιμοποιείται η επέκταση Utility Networks.
- Για την ανάλυση πλημμυρών χρησιμοποιείται η επέκταση Hydro.
- Για διαχείριση εγκαταστάσεων χρησιμοποιείται η επέκταση Facility Management.

Το μοντέλο δίνει επιπλέον την δυνατότητα σε χωρικά αντικείμενα που εμφανίζονται παραπάνω από μία φορά στο παραγόμενο τρισδιάστατο μοντέλο, να μοντελοποιηθούν και να ομαδοποιηθούν ως πρότυπο. Επίσης, αντικείμενα που δεν αποτελούνται γεωμετρικά από κλειστά στερεά σχήματα, μπορούν να σφραγιστούν ώστε να υπολογιστεί ο όγκος τους, όπως για παράδειγμα υπόγειες διαστάσεις πεζών, σήραγγες, υπόστεγα αεροπλάνων. Τέτοιου είδους αντικείμενα σφραγίζονται χρησιμοποιώντας την κατηγορία Closure Surfaces. Τέλος, προς αποφυγή βύθισης ή υπερύψωσης κατασκευών εισάγεται η έννοια Terrain Intersection Curve cfγια να ενσωματώσει τα τρισδιάστατα αντικείμενα σε σωστή θέση στο ψηφιακό μοντέλο εδάφους (Kolbe T, 2008).

2.1.3 Μοντελοποίηση με CityGML

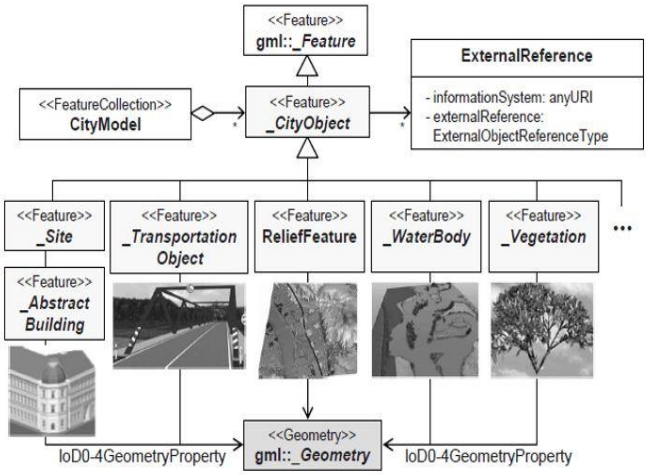
Το πρότυπο CityGML αντιπροσωπεύει τέσσερα διαφορετικά τμήματα-πτυχές των εικονικών τρισδιάστατων μοντέλων πόλεων, δηλαδή τη σημασιολογία, την γεωμετρία, την τοπολογία και την εμφάνιση. Τα παραπάνω αναλύονται προσεχώς αναλυτικά.

2.1.3.1 Σημασιολογικό μοντέλο CityGML

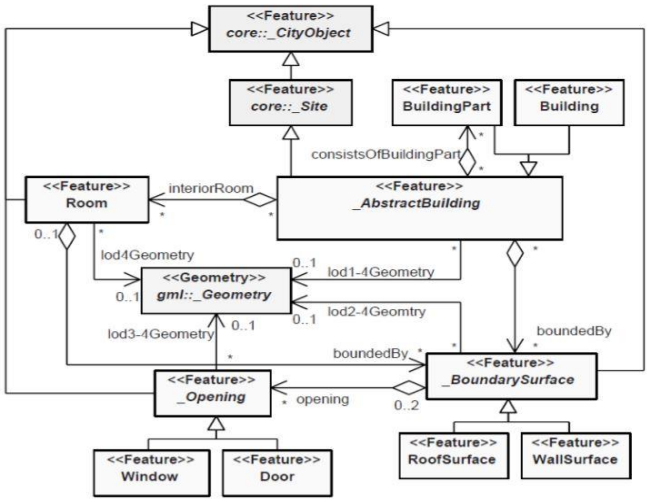
Το σημασιολογικό μοντέλο της CityGMl χρησιμοποιεί το πρότυπο ISO 19100 για την μοντελοποίηση των γεωγραφικών χαρακτηριστικών. Σύμφωνα με αυτό το πρότυπο , τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά είναι αφαιρέσεις των πραγματικών αντικειμένων και μοντελοποιούνται σε τάξεις οι οποίες καθορίζονται επίσημα με σημειογραφία UML. Τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά μπορούν να έχουν αυθαίρετο αριθμό χωρικών και μη-χωρικών ιδιοτήτων. Οι αρχές της αντικειμενοστραφής μοντελοποίησης μπορούν να εφαρμοστούν προκειμένου να δημιουργηθούν οι εξειδικεύσεις και οι ομαδοποιημένες ιεραρχίες.

Το CityGML παρέχει ορισμούς των κατηγοριών κανονιστικές διατάξεις και επεξηγήσεις για την σημασιολογία των σημαντικότερων γεωγραφικών χαρακτηριστικών ενός εικονικού 3D μοντέλου πόλεως, συμπεριλαμβανομένου των κτηρίων , ψηφιακών μοντέλων εδάφους (ΨΜΕ), οργανισμούς ύδατος, βλάστησης και επίπλων. Στο CityGML υφίσταται μια κύρια ταξική ιεραρχία επιπέδων και λειτουργεί με βάση τα παρακάτω. Η βασική κλάση όλων των θεματικών κατηγοριών είναι η αφηρημένη κλάση CityObject. Κληρονομεί το όνομα των ιδιοτήτων, την περιγραφή και το gml:id από την υπερκλάση GML, παρέχοντας τις επιπλέον ιδιότητες creationDate και terminationDate προκειμένου να μοντελοποιήσει τις διαφορετικές καταστάσεις των αντικειμένων βάσει των χρονικών περιόδων. Κάθε CityObject μπορεί να συνδέεται με αντικείμενα σε άλλα σύνολα δεδομένων ή εξωτερικές βάσεις δεδομένων από ένα αυθαίρετο αριθμό των ExternalReferences. Τα CityObjects μπορούν να συγκεντρωθούν για να δημιουργηθεί ένα CityModel, το οποίο είναι μια υποκατηγορία της υπερκλάσης FeatureCollection. Οι υποκατηγορίες του CityObject ανήκουν σε διαφορετικές θεματικές περιοχές, εντός των οποίων καθορίζονται τα αντίστοιχα στοιχεία. Η βασική κατηγορία του κτηριακού μοντέλου είναι η AbstractBuilding από την οποία προέρχονται οι δύο μη αφηρημένες κλάσεις Building και BuildingPart. Ένα κτήριο μπορεί να περιέχει BuldingParts και όπως και η τελευταία κατηγορία προέρχεται επίσης από την AbstractBuilding. Ένα BuildingPart ή Building περιγράφεται από προαιρετικές ιδιότητες, που κληρονομούνται από το AbstractBuilding, όπως λειτουργία, χρήση, ύψος κατασκευής, ημερομηνία κατασκευής, τύπος οροφής, αριθμός ορόφων κ.α. Εν συνεχεία, όσον αφορά το LOD2, οι επιφάνειες των Buildings και των BuildingParts, μπορούν να παρασταθούν σαν σημασιολογικά αντικείμενα.

Το BoundarySurface είναι η αφηρημένη υπερκλάση αυτών των θεματικών αντικειμένων έχοντας ως υποκατηγορίες το RoofSurface, Wallsurface, GroundSurface, ClosureSurface κλπ. Μιας και προέρχονται επίσης από την κλάση CityObject, κληρονομούν τις ιδιότητές του και τις σχέσεις του. Σε LOD3 και σε LOD4, ανοίγματα σε επιφάνειες μπορούν να εκπροσωπηθούν από ξεκάθαρες θεματικές ιδιότητες των κλάσεων Window ή Door. Μόνο στο LOD4 τα κτήρια επιτρέπεται να έχουν Rooms. Μία ομαδοποιημένη ιεραρχία βάθους μπορεί να πραγματοποιηθεί όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (Oosterom P. & Fendel E, 2014).



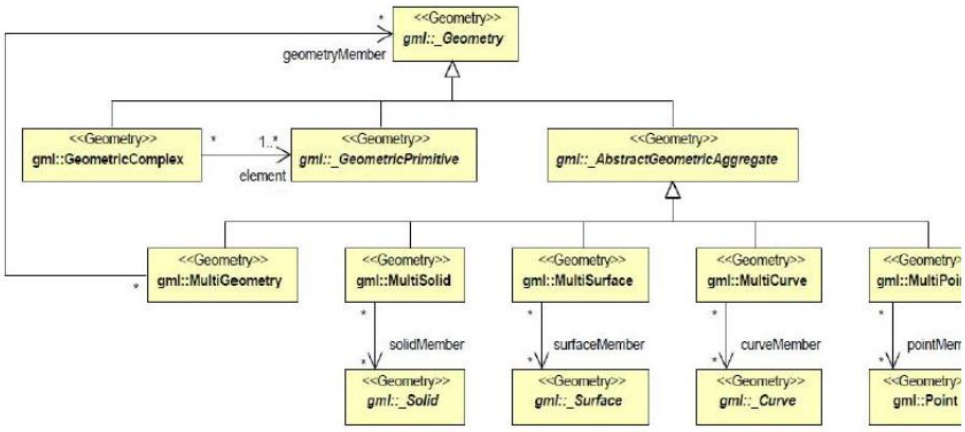
Σχήμα 2: UML διάγραμμα της κύριας ταξικής ιεραρχίας επιπέδων του CityGML. (πηγή: Kolbe T.H, 2009



Σχήμα 3: UML διάγραμμα μοντέλου κτηρίου του CityGML. (πηγή: Kolbe T.H, 2009)

2.1.3.2 Μοντέλο Γεωμετρίας CityGML

Η γεωμετρική μοντελοποίηση και περιγραφή των τρισδιάστατων αντικειμένων που συλλέχθηκαν μέσω ενός συστήματος απεικόνισης είναι ένα σημαντικό θέμα, καθώς είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη εφαρμογών όπως οι τηλεπικοινωνίες και τα τρισδιάστατα μοντέλα πόλης. Το CityGML, όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω είναι ένα ανοιχτού τύπου μοντέλο δεδομένων, που βασίζεται σε XML μορφή για την αποθήκευση και την ανταλλαγή των τρισδιάστατων εικονικών μοντέλων πόλεων. Το γεωμετρικό μοντέλο CityGML χρησιμοποιεί ένα υποσύνολο του μοντέλου γεωμετρίας GML3, που είναι εφαρμογή του προτύπου ISO 19107. Το GML3, χρησιμοποιείται με άλλα OGC πρότυπα ενώ η προδιαγραφή OpenGIS Web Featured Service (WFS) παρέχει ένα πλαίσιο για την ανταλλαγή των απλών και σύνθετων τρισδιάστατων μοντέλων. Η προδιαγραφή αυτή υλοποιείται ως μία εφαρμογή του σχήματος του GML3 και αποτελεί το επεκτάσιμο διεθνές πρότυπο για τα χωρικά δεδομένα ανταλλαγών που αναπτύσσονται στο πλαίσιο του Open Geospatial Consortium (OGC) και του ISO TC211. Το γεωμετρικό μοντέλο του GML3 αποτελείται από αρχέτυπα, τα οποία συνδυάζονται προκειμένου να σχηματίζουν συμπλέγματα και σύνθετες γεωμετρίες. Για κάθε διάσταση υπάρχει ένα γεωμετρικό αρχέτυπο. Πιο συγκεκριμένα, ένα αντικείμενο μηδενικών διαστάσεων είναι σημείο, μιας διάστασης είναι καμπύλη, δύο διαστάσεων είναι επιφάνεια και τριών διαστάσεων είναι στερεό. Στο CityGML η καμπύλη είναι μία ευθεία γραμμή και οι επιφάνειες πολύγωνα που καθορίζουν μία επίπεδη γεωμετρία. Οι γεωμετρίες που προκύπτουν μπορεί να είναι συσσωματώματα, σύμπλοκα ή σύνθετα των αρχέτυπων. Σε ένα συσσωμάτωμα,, η χωρική σχέση μεταξύ των συστατικών δεν είναι περιορισμένη, δηλαδή αυτά μπορεί να είναι ξένα μεταξύ τους, να αλληλεπικαλύπτονται, να ενώνονται ή α αποσυνδέονται. Το GML3 [παρέχει ένα ειδικό συσσωμάτωμα για κάθε διάσταση, το MultiPoint, το MultiCurve, το MultiSurface, το MultiSolid.



Εικόνα 5: Διάγραμμα UML γεωμετρικό μοντέλο CityGML (πηγή: Kolbe T, 2009)

Σε αντίθεση με τα συσσωματώματα, τα συμπλέγματα είναι τοπολογικά δομημένα. Τα στοιχεία του συμπλέγματος πρέπει να είναι ξένα μεταξύ τους αλλά θα πρέπει να συνδέονται τοπολογικά κατά μήκος των συνόρων τους.

Επίσης ένα στοιχείο γεωμετρίας μπορεί να έχει το δικό του σύστημα αναφοράς συντεταγμένων. Σύμφωνα με το πρότυπο ISO 19107 και GML3 οι γεωμετρίες των γεωγραφικών χαρακτηριστικών απεικονίζονται ως αντικείμενα που έχουν μία ταυτότητα και γεωμετρικές υποδομές. Το GML3 παρέχει κλάσεις για 0D-3D γεωμετρικά αρχέτυπα, 1D-3D σύνθετες γεωμετρίες, και 0D-3D γεωμετρικά αρχέτυπα. Κάθε σύνθετη γεωμετρία πρέπει να είναι τοπολογικά συνδεδεμένη και ισομορφική σε ένα πρότυπο από την ίδια διάσταση. Οι επιφάνειες στο CityGML μοντέλο εκπροσωπούνται από πολύγωνα, τα οποία καθορίζουν μία επίπεδη γεωμετρία. Συγκεντρωτικά γεωμετρίες όπως MultiSurface ή MultiSolid δεν επιβάλλουν τοπολογικούς περιορισμούς και έτσι τα συστατικά τους μπορούν να ενωθούν ή να είναι ξένα μεταξύ τους.

Οι ογκομετρικές γεωμετρίες μοντελοποιούνται με βάση τη BoundaryReprentation (b-rep), όπου το κάθε ένα στερεό οριοθετείται από μια κλειστή επιφάνεια, συνήθως μία CompositeSurface. Επίσης, σε αυτό όλες οι συντεταγμένες ανήκουν σε ένα παγκόσμιο σύστημα αναφοράς συντεταγμένων (Coordinate Reference System-CRS), ενώ οι τοπικοί μετασχηματισμοί δεν επιτρέπονται. Τα τρισδιάστατ συστήματα αναφοράς αναφέρονται σε γεωγραφικά ή προγραμματισμένα παγκόσμια συστήματα αναφοράς. Ακόμη, η GML3 υποστηρίζει σύνθετα συστήματα συντεταγμένων, 2D+1D, με διαφορετικό σύστημα αναφοράς για επιπεδομετρία (x,y) και διαφορετικό για τις κατακόρυφες συντεταγμένες (z). Η σύνδεση του κάθε αντικειμένου με ένα CRS διευκολύνει την ενσωμάτωση των δεδομένων, με την εφαρμογή του αντίστοιχου γεωδαιτικού συστήματος και την πραγματοποίηση μετασχηματισμών. Το πλεονέκτημα της ύπαρξης απόλυτων συντεταγμένων είναι ότι κάθε αντικείμενο ανήκει σε μία ακριβώς σταθερή θέση στο χώρο, με αποτέλεσμα την δημιουργία χωρικών ευρετηρίων σε γεωβάσεις ή συστήματα γεωπληροφορικής. Το CityGML παρέχει μία επέκταση στο γεωμετρικό μοντέλο GML3 που ονομάζεται ImplicitGeometry. Η επέκταση αυτή αναφέρεται σε μία γεωμετρία σχήματος σε ένα τοπικό σύστημα συντεταγμένων, ενώ ταυτόχρονα παρέχουν μία μήτρα μετασχηματισμού και ένα σημείο αναφοράς σε ένα παγκόσμιο σύστημα αναφοράς συντεταγμένων.

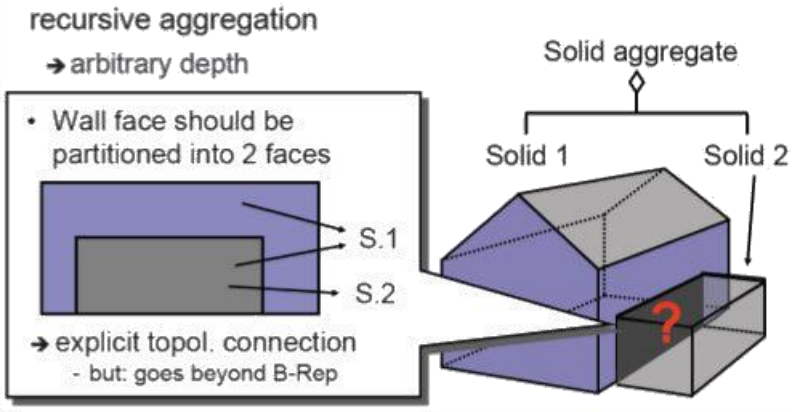
Προκειμένου να εξασφαλιστεί η ευρεία υποστήριξη του συστήματος, το CityGML περιορίζεται επίσης σε μη-καμπύλες γεωμετρίας, καθώς αυτές δεν μπορούν επαρκώς να αντιμετωπιστούν με την χρήση GIS ή συστημάτων διαχείρισης βάσεων χωρικών δεδομένων. Ως εκ τούτου, αντικείμενα με καμπύλες επιφάνειες του πραγματικού κόσμου προσεγγίζονται με πολυεδρικές επιφάνειες.

Σύμφωνα με το πρότυπο ISO 19109 τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά μπορούν να ενταχθούν σε περισσότερες από μία χωρική ιδιοκτησία, καθώς οι περισσότερες κλάσεις, όπως η AbstactBuilding ή Room εκχωρούνται σε ατομικές γεωμετρίες για τα διάφορα LODs από πολλαπλές ενώσεις με την ίδια γεωμετρική κλάση.

Για ένα δεδομένο μοντέλο πόλης δεν είναι συχνά γνωστό αν τα δεδομένα έχουν τοπολογική υπόσταση. Για παράδειγμα, οι οριακές επιφάνειες, οι οποίες δεν ανήκουν στο όριο του όγκου (περιοχή στέγης). Για το λόγο, οι γεωμετρίες όλων των θεματικών χαρακτηριστικών μπορούν να αναπαραχθούν είτε ως MultiSurface, συλλογή των επιφανειών στο τρισδιάστατο χώρο, είτε ως Solids, στερεά που να οριοθετούνται από μία κλειστή επιφάνεια (Biljecki F, Ledoux H, Stoter J, Vosselman G., 2016).

2.1.3.3 Τοπολογία μοντέλου CityGML

Κάθε τμήμα του χώρου απεικονίζεται μία και μοναδική φορά από ένα γεωμετρικό αντικείμενο. Λόγω αυτού, αποφεύγεται ο πλεονασμός και διατηρούνται ξεκάθαρες τοπολογικές συσχετίσεις μεταξύ των αντικειμένων και των τμημάτων. Η μεγάλη σημασία της ορθής τοπολογίας στο μοντέλο δίνεται από το γεγονός, αν αναλογιστεί κανείς για παράδειγμα ότι οι επιφάνειες οριοθέτησης ενός κτηρίου πρέπει να είναι κλειστές, για να κατασταθεί εφικτή η μέτρηση του όγκου του. Τα στερεά γειτονικών αντικειμένων όπως τα BuildingParts μπορούν να εφάπτονται, αλλά δεν μπορούν να τέμνονται, δηλαδή να εισχωρεί το ένα στο εσωτερικό του άλλου. Ακόμη, για την διευκόλυνση του υπολογισμού ενός διαγράμματος σύνδεσης που μπορεί να μετατραπεί σε ένα 3D γεωμετρικό δίκτυο για τον σχεδιασμό της βέλτιστης διαδρομής, όσον αφορά το πεδίο εφαρμογής της εσωτερικής πλοήγησης, τα δωμάτια πρέπει να είναι τοπολογικά συνδεδεμένα μεταξύ τους. Η επικρατέστερη άποψη για την αναπαράσταση της τοπολογικής και γεωμετρικής δομής στο μοντέλο προτάσσει έτσι ώστε οι συντεταγμένες να αποθηκεύονται μόνο εντός των κόμβων ή των σημείων σύνδεσης με αυτούς.



Σχήμα 4: Τοπογραφική σχέση μεταξύ σπίτι και υπόστεγου χώρου. (πηγή: Kolbe T.H, 2007)

Το τοπολογικό μοντέλο του ISO 19107 και του GML3 ακολουθεί την γραμμή της πλήρους αποσύνθεσης των N-διαστάσεων τοπολογικών αρχέτυπων σε (n-1)διαστάσεων αρχέτυπο, η οποία αποσυντίθεται και πάλι στο επίπεδο των κόμβων (0D). Κάθε αρχέτυπο γίνεται αντικειμένο παίρνοντας ταυτότητα.

Στο μοντέλο δεδομένων, πέρα από τις γεωμετρικές ιδιότητες όπως lod1Solid σε lod4Solid της κατηγορίας Building, πρέπει να γίνει προσθήκη και των αντίστοιχων τοπολογικών ιδιοτήτων όπως lod1TopoSolid σε lod4TopoSolid. Είναι γεγονός ότι η χρήση του τοπολογικού μοντέλου GML3 πρόκειται να αυξήσει σημαντικά την πολυπλοκότητα του μοντέλου και του συνόλου των δεδομένων, και αυτό γιατί το πρότυπο σε CityGMLαποσκοπεί στην απεικόνιση καθαρών γεωμετρικών και τοπολογικών μοντέλων.

2.1.3.4 Επεκτασιμότητα του μοντέλου CityGML

Το CityGML έχει σχεδιαστεί ως ένα παγκόσμιο τοπογραφικό μοντέλο πληροφοριών που καθορίζει τάξεις χαρακτηριστικών και ιδιότητες που είναι χρήσιμες για μια πληθώρα εφαρμογών. Ωστόσο, σε πρακτικές εφαρμογές είναι συχνά απαραίτητη η αποθήκευση και ανταλλαγή επιπλέον ιδιοτήτων ή ακόμα και τρισδιάστατων αντικειμένων, τα οποία δεν ανήκουν σε κάποια από τις προκαθορισμένες κατηγορίες.

Το CityGML παρέχει δύο διαφορετικούς τρόπους επέκτασης για αυτές τις περιπτώσεις. Ο πρώτος αφορά την χρήση των γενόσημων αντικειμένων της πόλης και των γενικών χαρακτηριστικών, που ορίζονται στο πλαίσιο του μοντέλου ως ‘generic’. Κάθε CityObject μπορεί να έχει ένα αυθαίρετο αριθμό πρόσθετων γενικών χαρακτηριστικών (GenericCityObject).

Ο δεύτερος τρόπος για επέκταση στο CityObject πραγματοποιείται μέσω του Application Domain Extensions (ADE), το οποίο αποτελεί μία εφαρμογή που προσδιορίζει τις συστηματικές επεκτάσεις των δεδομένων στο CityGML model. Αυτές περιλαμβάνουν την εισαγωγή των νέων ιδιοτήτων σε υφιστάμενες κλάσεις όπως ο αριθμός των κατοίκων του κτηρίου. Η διαφορά μεταξύ των ADEs και των γενικών αντικειμένων και χαρακτηριστικών έγκειται στο ότι ένα ADE πρέπει να οριστεί εντός ενός επιπλέον XML αρχείου ορισμού σχήματος με δικό του όνομα. Το πλεονέκτημα αυτής της προσεγγίσεις είναι ότι η επέκταση είναι προδιαγραμμένη. Εκτεταμένα αρχεία παραδειγμάτων CityGML και το αντίστοιχο ADE σχήμα. Τα ADEs μπορούν να προσδιοριστούν από κοινότητες πληροφοριών που ειδικεύονται στις συγκεκριμένες εφαρμογές, ενώ περισσότερα από μία ADE μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην ίδια Βάση Δεδομένων.

2.1.4 Στόχος CityGML

Η ανάγκη για κατανόηση των βασικών οντοτήτων, των χαρακτηριστικών και των σχέσεων μέσα σε ένα 3D μοντέλο πόλης έκρινε επιτακτική την ανάγκη ανάπτυξης ενός μοντέλου όπως το CityGML. Παρέχοντας λοιπόν, ένα βασικό μοντέλο με οντότητες, οι οποίες σχετίζονται με πολλούς κλάδους, το μοντέλο πόλης μπορεί να γίνει ένας κεντρικός κόμβος πληροφοριών, στον οποίο διαφορετικές εφαρμογές μπορούν να επισυνάψουν στον τομέα τους συγκεκριμένες πληροφορίες. Ως κύριοι στόχοι του μοντέλου μπορούν να θεωρηθούν οι εξής:

1) Η ίδρυση υψηλού βαθμού σημασιολογικής και συντακτικής διαλειτουργικότητας:

Δυνατότητα πολυλειτουργικής χρήσης των 3D μοντέλων. Καθορισμός ενός κοινού μοντέλου πληροφοριών. Τρισδιάστατη γεωβάση δεδομένων.

2) Η εκπροσώπηση 3D τοπογραφίας:

Τρισδιάστατα σχήματα, κυρίως επιφάνειας και όγκοι. Καθορισμός των πιο αντιπροσωπευτικών τύπων των χαρακτηριστικών, που χρησιμοποιούνται σε μία ευρεία ποικιλία εφαρμογών.

3) Η καταλληλότητα για υποδομές χωρικών δεδομένων:

Χαρτογράφηση σε κατάλληλη μορφή ανταλλαγής, GML3. Δυνατότητα σύνδεσης κάθε χαρακτηριστικού του CityGML με πιο εξειδικευμένα λειτουργικά μοντέλα/εξωτερικές πηγές δεδομένων.

4) Να είναι απλό στη χρήση για διάφορες εφαρμογές.

Καλά καθορισμένη σημασιολογία για τους τύπους των χαρακτηριστικών. Υποσύνολο GML3 γεωμετριών (χωρίς καμπύλες γραμμές, επιφάνειες). Αυτό έχει ως πλεονέκτημα να είναι άμεσα διαχειρίσιμο μέσα σε 3D γεωβάσεις.

2.1.5 Κύριες χρήσεις του CityGML

Στις μέρες μας, κυρίως λόγω της ραγδαίας αύξησης της πυκνότητας του πληθυσμού και της τεχνολογικής ανάπτυξης της εποχής, οι απαιτήσεις σε θέματα που αφορούν την χρήση της γης έχουν αυξηθεί. Έτσι για θέματα που αφορούν τον αστικό σχεδιασμό, περιβαλλοντικές και εκπαιδευτικές προσομοιώσεις, διαχείριση εγκαταστάσεων και καταστροφών, την ασφάλεια της πατρίδας και προσωπική πλοήγηση σε επίπεδο πόλεων και γενικότερα τοπίων που απαιτούν πρόσθετες πληροφορίες, το μοντέλο CityGML έρχεται να δώσει την λύση.

2.1.5.1 Εφαρμογές CityGML

Παρά το γεγονός ότι η πρώτη έκδοση του CityGML κυκλοφόρησε μέσα στο 2008, ήδη χρησιμοποιείται σε ευρύ φάσμα εφαρμογών. Όπως έχει προαναφερθεί , το μοντέλο αυτό αναπαριστά μια τρισδιάστατη γεωμετρία, τοπολογία, σημασιολογία και απεικόνιση σε πέντε διαφορετικά επίπεδα λεπτομέρειας (LODs).

Είναι γνωστό πως προσφέρει πολλά οφέλη κατά την χρήση του σε εφαρμογές που έχουν να κάνουν με την διαχείριση κινδύνου, τον πολεοδομικό σχεδιασμό, τον περιβαλλοντικό και ενεργειακό σχεδιασμό, τα δίκτυα τηλεπικοινωνιών κ.α., στα οποία κρίνεται απαραίτητη στις μέρες μας η τρισδιάστατη αναπαράσταση του αντίστοιχου έργου.

Δεν είναι υπερβολή ο ισχυρισμός πώς πριν την τρισδιάστατη απεικόνιση δεν δινόταν η δυνατότητα στο εκάστοτε σύστημα για καταγραφή πολύτιμης πληροφορίας ενός αντικειμένου. Με την πάροδο των χρόνων οι απαιτήσεις για ακριβέστερη και ορθότερη καταγραφή της πληροφορίας κρίνεται αναγκαία. Πλέον ακόμα και οι κατασκευές που υλοποιούνται είναι πολύμορφες και σύνθετες. Έτσι και η καταγραφή της πληροφορίας που τις συνοδεύουν πρέπει να περιλαμβάνουν ίδιες ιδιότητες και χαρακτηριστικά στοιχεία. Για παράδειγμα, η ραγδαία αστικοποίηση και η μεγάλη πυκνότητα συγκέντρωσης του πληθυσμού σε αστικά κέντρα, οδήγησε στην κατασκευή κτηρίων πάνω και κάτω από την γη, ώστε να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα του χώρου. Όπως φαίνεται ένα σύστημα με καταγραφή στοιχείων σε δισδιάστατα μοντέλα απεικόνισης δεν είναι ικανό να καλύψει τις απαιτήσεις καταγραφής της γεωμετρικής αναπαράστασης και εδώ έρχεται το μοντέλο CityGML για να επιλύσει τα τυχόν προβλήματα. Το συγκεκριμένο

μοντέλο όμως δεν μένει μόνο στην ορθή αναπαράσταση των γεωμετρικών όγκων, αλλά εισχωρεί στην επεξεργασία του εσωτερικού χώρου και συμβάλει ακόμα και στην περιγραφή διαδικασιών. Για παράδειγμα, μια εφαρμογή ενός τρισδιάστατου μοντέλου πόλεως είναι η διαχείριση κινδύνου, διότι με αυτό τον τρόπο αναπαράστασης επιτυγχάνεται ο εντοπισμός ή κατεύθυνση και κάθε γεωμετρική λεπτομέρεια του όγκου που αναφέρεται εσωτερικά και εξωτερικά. Πρόσθετο πλεονέκτημα που προσφέρουν τα μοντέλα αυτά, είναι η δυνατότητα προσομοίωσης για θέματα φυσικών καταστροφών, όπως οι πλημμύρες ή ο σεισμός. Αρκετές Πολιτείες της Αμερικής εκπαιδεύουν τους εργαζομένους τους για τέτοιες περιπτώσεις πάνω σε αυτή τη βάση.

Συνοπτικά, τα 3D μοντέλα πόλης στο CityGML, αποτελούν σημαντικό εργαλείο αφού παρέχουν τα εξής:

- ❒ Τρισδιάστατη οπτικοποίηση, εντοπισμό και προσανατολισμό εξωτερικά και εσωτερικά των κατασκευών.
- ❒ Οπτικοποίηση των κινδύνων (αναφέρεται σε σωλήνες αερίου με αποφράξεις, σε γεωφυσικά χαρακτηριστικά (γκρεμοί, πρανή))
- ❒ Σχεδιασμός επιχειρήσεων για την διαχείριση καταστροφών όπως είναι ο καθορισμός της βέλτιστης διαδρομής έκτακτης ανάγκης.
- ❒ Προσομοίωση των φυσικών καταστροφών
- ❒ Εκπαίδευση του προσωπικού μέσω της προσομοίωσης
- ❒ Αξιολόγηση του μεγέθους της καταστροφής
- ❒ Ανοικοδόμηση των κατεστραμμένων εγκαταστάσεων.

Το CityGML αποτελεί ένα σημασιολογικό μοντέλο (που καθορίζεται από ένα τυπικό μοντέλο δεδομένων) αλλά και μία μορφή ανταλλαγής των τρισδιάστατων εικονικών μοντέλων πόλης και των μοντέλων τοπίου. Οι κανόνες για την απόκτηση και δόμηση των αστικών ακολουθούν εμμέσως αυτή τη σημασιολογική μοντελοποίηση.

Το μοντέλο δεδομένων του CityGML εξισορροπεί μεταξύ της αυστηρότητας και της γενίκευσης. Για αυτό το σκοπό αποτελείται από τρία κύρια μέρη:

- ❒ Το κυρίως θεματικό μοντέλο με σαφώς καθορισμένα LODs,τάξεις, χωρικά και θεματικά ψαρακτηριστικά, καθώς και τις σχέσεις.
- ❒ Τα GenericCityObjects και τα γενικά χαρακτηριστικά που επιτρέπουν την επέκταση των δεδομένων CityGML.
- ❒ Το ADE για να διευκολύνει την συστηματική επέκταση για συγκεκριμένα πεδία εφαρμογών.

Το CityGML εξισορροπεί επίσης και χωρικές δομές. Στα δεδομένα δίνεται μεγάλη ευελιξία στο να αυξηθούν, προστατεύοντας την χωρική και σημασιολογική τους δομή καθώς και την τοπολογική ορθότητα τους σε διάφορα στάδια απόκτησης δεδομένων ή σε μία αλυσίδα επεξεργασίας του μοντέλου πόλης (Soave M., 2013).

2.2 3DCity DataBase

Το 3DCityDataBase είναι ένα 'schema' Βάσης Δεδομένων, ένα ελεύθερο πακέτο ανοιχτού λογισμικού που αποτελείται από ένα σύνολο εργαλείων λογισμικού για την εισαγωγή, την ανάλυση, την διαχείριση, την οπτικοποίηση και την εξαγωγή τρισδιάστατων μοντέλων που εμπεριέχουν χωρική πληροφορία, σύμφωνα με το πρότυπο του CityGML.

Το schema της Βάσης Δεδομένων προκύπτει από την χαρτογράφηση του αντικειμενοστραφούς μοντέλου της CityGML, στη σχεσιακή δομή ενός χωρικά ενισχυμένου σχεσιακού συστήματος διαχείρισης βάσεων δεδομένων (SRDBMS). Η 3DCityDataBase υποστηρίζει την ανοιχτού κώδικα Βάση Δεδομένων PostgreSQL και την Oracle.

Είναι αξιοσημείωτο ότι δίνει την δυνατότητα για διαχείριση πολύ μεγάλου μεγέθους μοντέλων στα διάφορα επίπεδα λεπτομέρειας (LODs), τα οποία αποτελούνται από εκατομμύρια τρισδιάστατα αντικείμενα με εκατοντάδες εκατομμύρια υφές και γεωμετρίες (3D City Database).

Πολλές πόλεις στο εξωτερικό χρησιμοποιούν το 3DCityDataBase ως βασικό εργαλείο για να δημιουργήσουν, να τηρήσουν, να απεικονίσουν και να μετασχηματίσουν εικονικά τρισδιάστατα μοντέλα πόλης.

Η διαλειτουργικότητα μεταξύ των εφαρμογών των χρηστών και της 3DCityDB, πραγματοποιείται με δύο τρόπους:

- Ο πρώτος τρόπος έχει να κάνει με τα εργαλεία απόδοσης του CityGML, 3DCityDataBase Importer/Exporter και Web Feauture Service, με τα οποία πραγματοποιείται η ανταλλαγή των δεδομένων σε μορφή CityGML. Επιπλέον, το εργαλείο 3DCityDataBase Importer/Exporter παρέχει λειτουργίες για την άμεση εξαγωγή 3D μοντέλων απεικόνισης σε μορφές KML και COLLADA.
- Ο δεύτερος τρόπος αναφέρεται στην άμεση πρόσβαση στους πίνακες της βάσης δεδομένων μέσω σχέσεων. Είναι εύκολο να εμπλουτιστεί ένα 3D μοντέλο πόλης, με προσθήκη πληροφοριών στους πίνακες της βάσης δεδομένων, μέσω κάποιας εφαρμογής χρήστη της Safe Software που ενσωματώνουν δεδομένα από διάφορα συστήματα και πηγές.

Ακολούθως, το 3DCityDB είναι η κατάλληλη για την εισαγωγή ενός συνόλου δεδομένων CityGML. Στη συνέχεια, η πρόσβαση στο μοντέλο της πόλης πραγματοποιείται μέσω της άμεσης πρόσβασης στους πίνακες της βάσης δεδομένων από τα προγράμματα εφαρμογών ή από το λογισμικό ETL.

Μερικά από τα χαρακτηριστικά της 3DCityDB που αφορούν την μοντελοποίηση των αντικειμένων ενός CityGML μοντέλου παρατίθενται παρακάτω, όπως έχουν εκδοθεί από την Open Geospatial Consortium.

- Εφαρμογή σύμφωνα με ένα ενισχυμένο σύστημα διαχείρισης σχεσιακών βάσεων δεομένων (Oracle ή PostgreSQL). Για την εκπροσώπιση όλων των διανυσμάτων και της γεωμετρίας του δικτύου, χρησιμοποιούνται αποκλειστικά οι ενσωματωμένοι τύποι δεδομένων των βάσεων δεδομένων.

- Εργαλείο για την εισαγωγή κα την εξαγωγή δεδομένων CityGML. Το συμπεριλαμβανόμενο λογισμικό εργαλείο 3DCityDataBase Importer/exporter επιτρέπει την υψηλή απόδοση των CityGML συνόλων δεδομένων κατά την εισαγωγή και εξαγωγή τους. Ακόμη επιτρέπει την επεξεργασία πολύ μεγάλων συνόλων δεδομέων (>>4GB).
- Εργαλείο για την εξαγωγή δεδομένων σε «υπολογιστικά φύλλα». Το 'Spreadsheet Generator' (SPSHG) επιτρέπει την εξαγωγή των θεματικών δεδομένων των 3D αντικειμένων είτε σε μορφή πινάκων και Excel, είτε απευθείας σε ένα υπολογιστικό φύλλο Google μέσω Google Document Cloud.
- Εργαλείο για την εξαγωγή μοντέλων με δυνατότητα οπτικοποίησης σε μορφή KML και COLLADA. Το εργαλείο αυτό εξάγει μοντέλα πόλης σε μορφή KML και COLLADA, τα οποία μπορούν άμεσα να απεικονιστούν και να εξερευνηθούν σε Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών GIS ή Ψηφιακής οπτικοποίησης όπως το Google Earth.
- Ανοιχτού κώδικα και Ανεξάρτητης πλατφόρμας. Το σύνολο του λογισμικού είναι ελεύθερα προσβάσιμο στους ενδιαφερόμενους χρήστες.
- Ευέλικτες 3D γεωμετρίες. Η γεωμετρία των περισσότερων 3δ αντικειμένων μπορεί να συνδιάσει στερεά και επιφάνειες, ενώ στη συνέχεια επιτρέπεται η ομαδοποίηση τους.
- Πρόσθετες ιδιότητες αντικειμένων. Όλα τα αντικείμενα στη 3δ γεωβάση, μπορούν να έχουν απεριόριστες ιδιότητες.
- Αναπαράσταση των γενικών (Generic) και πρότυπων (prototypical) 3D αντικειμένων. Τα Generic αντικείμενα επιτρέπουν την αποθήκευση και διαχείριση των γεω-αντικειμένων που δεν μοντελοποιούνται ρητά στο CityGML, όπως για παραδείγματα φράγματα ή τα τείχη μίας πόλης.
- Μοντελοποίηση πολύπλοκων αντικειμένων πόλης. Η γεωμετρία και σημασιολογία των αντικειμένων πόλης στην τρισδιάστατη βάση δεδομένων κυμαίνεται από λιγότερο έως πολύ λεπτομερής.

- Web Feauture Service [WFS]. Η υπηρεσία αυτή επιτρέπει την πρόσβαση στα 3D αντικείμενα που είναι αποθηκευμένα στην βάση δεδομένων.
- Υποστήριξη πολλαπλών αναπαραστάσεων. Κάθε γεω-αντικείμενο όπως και τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους μπορούν να αναπαρασταθούν σε πέντε διαφορετικά επίπεδα ανάλυσης ή πιστότητας, δηλαδή στα επίπεδα λεπτομέρειας. Με την αύξηση του επιπέδου λεπτομέρειας τα αντικείμενα υφίστανται πέρα από πιο λεπτομερή αναπαράσταση κα θεματική βελτίωση.
- Τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους μπορούν να απεικονιστούν με τέσσερεις διαφορετικούς τρόπους στο μοντέλο CityGML και συνεπώς στη βάση δεδομένων. Οι τρόποι αυτοί είναι οι εξής: με κανονικά πλέγματα, με τριγωνικά ακανόνιστα δίκτυα (TINs), 3D σημεία και 3D γραμμές.

2.2.1 Αρχεία KML/COLLADA

KML: Ένα αρχείο σε μορφή *.kml περιέχει πληροφορίες για την γεωγραφική μοντελοποίηση του αντικειμένου σε μορφή XML. Πιο αναλυτικά, περιέχει σημεία, γραμμές, πολύγωνα και εικόνες. Χρησιμοποιείται για τον ορισμό και την ονομασία τοποθεσιών, για την δημιουργία διαφορετικών φωτογραφικών γωνιών, την επίστρωση υφών και την πρόθεση περιεχομένου HTML. Τα αρχεία *.kml χρησιμοποιούνται από το Google Earth.

COLLADA: Ένα αρχείο *.dae, είναι ένα αρχείο ανταλλαγής τρισδιάστατης πληροφορίας που χρησιμοποιείται για την ανταλλαγή ψηφιακών στοιχείων μεταξύ πολλαπλών γραφικών προγραμμάτων. Βασίζεται στο σχήμα XML COLLADA (Collaborative Design Activity), το οποίο τώρα ανήκει και αναπτύσσεται από την Autodesk.

2.3 PostgreSQL / PostGIS

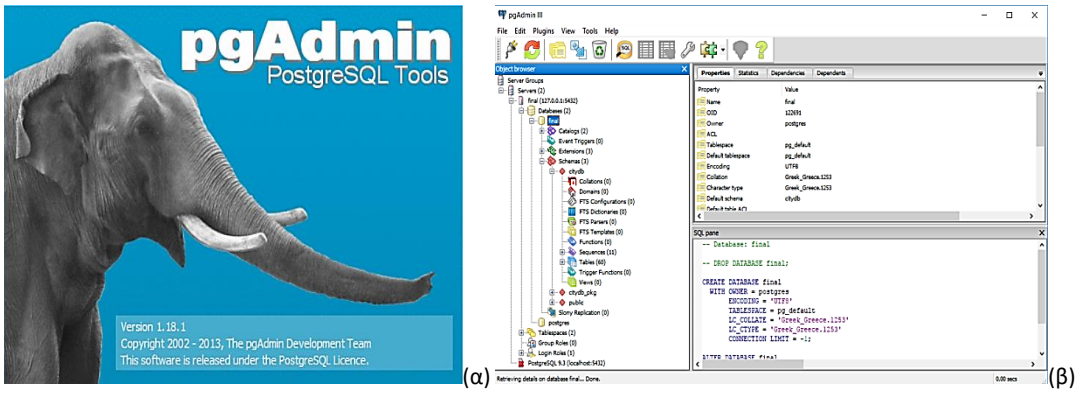
Η PostgreSQL αναπτύσσεται πάνω από είκοσι χρόνια. Πιο συγκεκριμένα, ξεκίνησε να εφαρμόζεται ως σχέδιο POSTGRES το 1986, στο Πανεπιστήμιο Barkley στις ΗΠΑ, και από τότε αναπτύσσεται συνεχώς, αποτελώντας πλέον την πιο προχωρημένη βάση ανοιχτού κώδικα.

Η PostgreSQL αποτελεί ένα λογισμικό ανοιχτού κώδικα, μια σχεσιακή Χωρική Βάση Δεδομένων που διαθέτει μια καλή αρχιτεκτονική. Συνοδεύεται από την PostGIS, η οποία αποτελεί επέκταση χωρικών λειτουργιών. Ουσιαστικά, είναι ένα πρόγραμμα ανοιχτού κώδικα, το οποίο προσθέτει υποστήριξη για γεωγραφικά αντικείμενα στη σχεσιακή βάση δεδομένων PostgreSQL επιτρέποντας την εκτέλεση χωρικών ερωτημάτων σε SQL. Τέτοιου είδους λογισμικά έχουν την τάση να χρησιμοποιούνται

με ένα GIS, ώστε να επιτρέπεται η οπτικοποίηση των χωρικών δεδομένων και η παρέμβαση σε αυτά σε γραφικό περιβάλλον.

Με τη χωρική βάση δεδομένων PostgreSQL εγκαθίσταται και παρέχεται ένα λογισμικό, το pgAdmin III. Το λογισμικό αυτό, είναι ουσιαστικά ένα εργαλείο διαχείρισης της βάσεως δεδομένων, το οποίο χρησιμοποιείται από τον χρήστη ώστε να καθίσταται δυνατή η αλληλεπίδραση του με την βάση δεδομένων PostgreSQL, η οποία λειτουργεί ως υπηρεσία και δεν έχει περιλαμβάνει κάποιο γραφικό περιβάλλον διεπαφής με τον χρήστη.

Συνοπτικά, το pgAdmin III προσφέρει ένα γραφικό περιβάλλον για την ανάπτυξη σύνθετων βάσεων δεδομένων μέσω της διατύπωσης ερωτημάτων σε γλώσσα SQL και έχει ως απώτερο σκοπό της απλοποίηση των διαδικασιών για τον χρήστη.



Εικόνα 6: Γραφικό περιβάλλον pgAdmin III

Μερικές από τις λειτουργίες που κάνουν την PostgreSQL πολύ σημαντικό εργαλείο είναι οι εξής:

- Είναι συμβατή με την ACID.
- Υποστηρίζει αποθήκευση μεγάλων δυαδικών αντικειμένων και διαθέτει περιβάλλοντα προγραμματισμού για διάφορες γλώσσες προγραμματισμού, όπως είναι οι C, C++, Java, Net, Perl, Python, Ruby, Tcl, ODBC κ.α.
- Συμπεριλαμβάνει τους περισσότερους SQL92 και SQL99 τύπους δεδομένων.
- Έχει την ικανότητα να τρέχει σε πολλά λειτουργικά συστήματα.
- Μπορεί να χειριστεί φόρτο εργασίας μικρών εφαρμογών μέχρι και μεγάλων διαδικτυακών εφαρμογών που διαχειρίζονται πολλοί χρήστες.
- Χειρίζεται σύνθετα χωρικά ερωτήματα SQL χρησιμοποιώντας πολλές μεθόδους εύρεσης, οι οποίες δεν είναι διαθέσιμες σε άλλες βάσεις δεδομένων.
- Υποστηρίζει λειτουργίες και αποθηκευμένες διαδικασίες και διαθέτει και ένα μεγάλο αριθμό επεκτάσεων, που έχουν γραφτεί από τρίτους.

Στην PostgreSQL όλα τα αντικείμενα υπάρχουν εντός ενός σχήματος (schema). Οι βάσεις δεδομένων δημιουργούνται εξ' ορισμού με το «public» schemas αλλά μπορούν να προστεθούν και επιπλέον schemas, καθώς το public schemas δεν είναι υποχρεωτικό. Ένα search «path schema» καθορίζει τη σειρά στην οποία τα schemas ελέγχονται για αντικείμενα εκτός των προδιαγραφών. τα αντικείμενα δημιουργούνται σε οποιονδήποτε έγκυρο υπάρχον schema, που κατατάσσεται πρώτο στο search path.

2.3.1 PostGIS

Η PostGIS είναι μία επέκταση της PostgreSQL, στην οποία προσθέτει την δυνατότητα για χωρικές πράξεις. Ουσιαστικά, δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να αποθηκεύει, να ερωτά και να διαχειρίζεται χωρικά δεδομένα, μέσω τις επιλογής 'query' (Cave-Ayland M, Obe R, Park B, Ramsey P, Santilli S).

Η PostGIS είναι ένα λογισμικό επίσης ανοιχτού κώδικα και ακολουθεί το πρότυπο OGC για τον ορισμό γεωγραφικών στοιχείων σε περιβάλλον SQL. Συγκεκριμένα υποστηρίζει:

- Τους ακόλουθους τύπους αρχείων:
  - Σημεία
  - Γραμμές
  - Πολύγωνα
  - Πολυσημεία
  - Πολυγραμμές
  - Πολύ-πολύγωνα
- Συλλογές Γεωμετρικών στοιχείων
- Χωρικά κατηγορήματα, δηλαδή, συνθήκες για τον προσδιορισμό των αλληλεπιδράσεων ανάμεσα σε γεωμετρικά στοιχεία
- Χωρικούς τελεστές όπως area, distance, length, perimeter, χωρικές λειτουργίες union, difference, symmetric difference και buffers
- Χωρικούς δείκτες R-δένδρα και γενικευμένα δένδρα αναζήτησης (GIST)

Αξίζει να αναφέρουμε ότι η αρχιτεκτονική της PostGIS στοχεύει στην ελαχιστοποίηση απαιτούμενων πόρων υπολογιστικής ισχύος και μνήμης. Η χρήση γεωμετρικών στοιχείων με χαμηλές απαιτήσεις φυσικής μνήμης επιτρέπει την διατήρηση μεγάλου όγκου από την φυσική μνήμη στην υπολογιστική μνήμη (RAM) με αποτέλεσμα την ταχύτερη εκτέλεση των ερωτημάτων (OSGeoLive).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^{ο}: ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ 3D CITY MODELING ATHENS ΜΕ CITYGML

3.1 Αντικείμενο Διπλωματικής Εργασίας

Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας είναι η τρισδιάστατη μοντελοποίηση των κτηρίων (598) που περιέχονται στο μεταξύ των οδών Σταδίου, Αιόλου και Ερμού στο κέντρο της Αθήνας. Πέρα από την απεικόνιση των κτηριακών όγκων μελετάται και η εισαγωγή της κτηματολογικής πληροφορίας κάθε όγκου. Ο πλέον αποδοτικότερος για την τρισδιάστατη χωρική και πληροφοριακή απεικόνιση είναι η υλοποίηση του μοντέλου με το 'shema' CityGML. Το συγκεκριμένο πρότυπο πέρα από τις σχεδιαστικές δυνατότητες που προσφέρει στον χρήστη, κάνει δυνατή την επικοινωνία του μοντέλου με μία βάση δεδομένων, η οποία στην παρούσα περίπτωση περιέχει την κτηματολογική πληροφορία που μας ενδιαφέρει.

3.1.2 Περίληψη Διαδικασίας Υλοποίησης-Μεθοδολογία

Ξεκινήσαμε την διαδικασία υλοποίησης με αρχικό δεδομένο ένα αρχείο AutoCAD που απεικονίζει τα όρια των κτηρίων και τις χρήσεις γης επί αυτών. Στη συνέχεια έγινε επεξεργασία του αρχείου μέσω του λογισμικού QGIS. Το παραγόμενο shape file εμπεριείχε τις συντεταγμένες των σημείων του αρχικού δισδιάστατου αρχείου AutoCAD και την επιπλέον κτηματολογική πληροφορία που απαιτείται. Ακολούθως κατασκευάστηκε ο κώδικας σε γλώσσα GML. Έπειτα δημιουργήθηκε η αναγκαία βάση μέσω του λογισμικού pgAdmin III (PostgreSQL). Για την εξαγωγή του τελικού τρισδιάστατου μοντέλου έγινε χρήση του ελεύθερου λογισμικού 3DCityDataBase Importer/Exporter. Η οπτικοποίηση του εξαγόμενου αρχείου μορφής .kml έγινε μέσω του προγράμματος Google Earth.

3.1.3 Περιοχή Μελέτης

Η περιοχή μελέτης χωροθετείται στον Δήμο Αθηναίων, στο κέντρο της πόλης. Πιο συγκεκριμένα περικλείεται από τις οδούς Αιόλου (Δυτικά), Σταδίου (Βορειοανατολικά) και Ερμού (Νότια), ορίζοντας ένα τριγωνικό σχήμα (βλ. εικόνα 5).

Ισχυρό τοπόσημο της περιοχής αποτελούν οι πολυώροφες πολυκατοικίες και η πυκνή δόμηση. Τα περισσότερα κτήρια της περιοχής έχουν διατηρήσει το αρχιτεκτονικό ύφος της παλαιάς Αθήνας με τα κλασσικά κτήρια. Παράλληλα με τα κτήρια, τα σοκάκια της περιοχής με την άναρχη δόμηση έχουν διατηρήσει την αίγλη της κλασσικής Αθήνας.

Στην περιοχή μελέτης που έχει επιλεχθεί συναντάμε διάφορες χρήσεις γης τόσο σε επίπεδο κτηρίου όσο και σε επίπεδο ορόφου. Αναλυτικότερα συναντάμε κατοικίες, εκκλησίες, σημεία για κοινωφελείς λειτουργίες αναψυχής και διασκέδασης και σημεία πολιτισμικού ενδιαφέροντος, ζώνες εμπορίου και βιομηχανίας, κτήρια εκπαίδευσης, υπηρεσίες και εγκαταλελειμμένους όγκους και ερείπια.

Επομένως, μπορούμε να πούμε πως η τρισδιάστατη μοντελοποίηση (χωρική πληροφορία) ακόμα και σε επίπεδο όγκων και η εμφάνιση της κτηματολογικής πληροφορίας για τα κτήρια της περιοχής ίσως κριθεί αναγκαία στο μέλλον για περιοχές όπως αυτές στο κέντρο της Αθήνας. Η χωρική και πληροφοριακή πολυπλοκότητα δεν μπορεί να αποτυπωθεί με ακρίβεια και αξιοπιστία σε δισδιάστατα διαγράμματα.

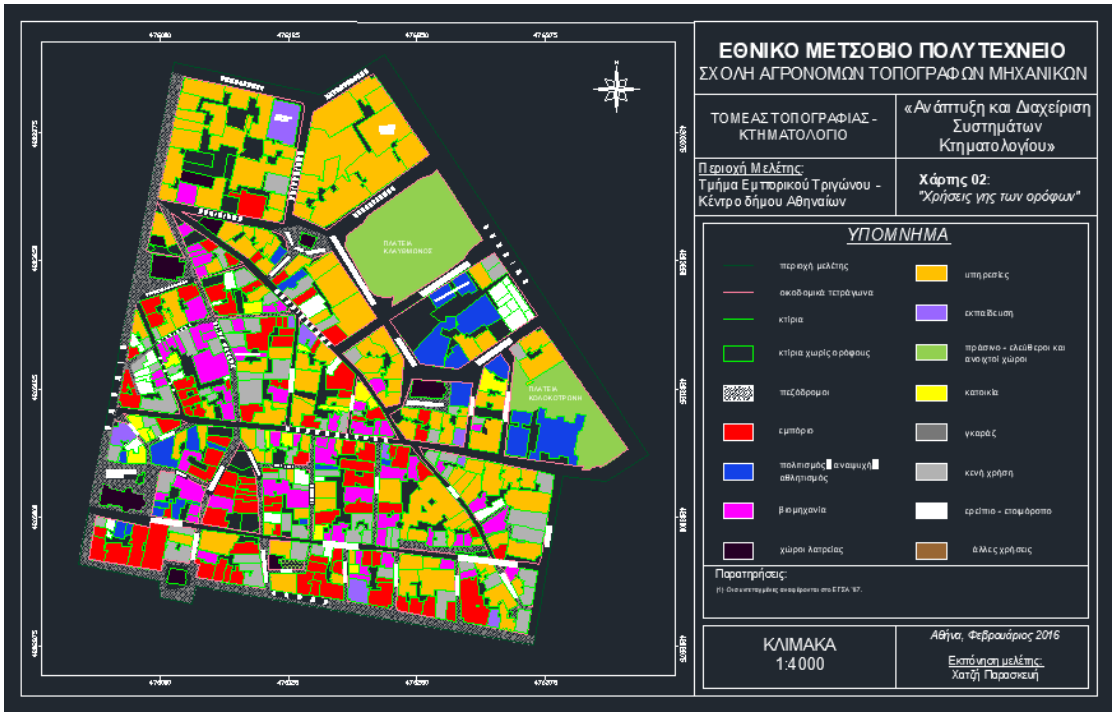
Εικόνα 7: Περιοχή μελέτης, το τρίγωνο στο κέντρο της Αθήνας που περικλείεται από τις οδούς Αιόλου, Ερμού και Σταδίου. (πηγή: Google Earth)

3.1.4 Λογισμικά & Δεδομένα

Προκειμένου να υλοποιηθεί η εφαρμογή, χρησιμοποιήθηκαν διάφορα λογισμικά, όπως το Google Earth, PostgreSQL, 3DCityDB, QGIS, AutoCAD.

Για την εφαρμογή χρησιμοποιήθηκε ένα δισδιάστατο σχέδιο των κτηρίων τα οποία συμπεριλαμβάνει η περιοχή μελέτης, στο κέντρο της Αθήνας. Το αρχείο αυτό διατέθηκε σε μορφή .dwg (Μπακογιάννης Ε, 2015).

Κάθε ανάλογο δισδιάστατο σχέδιο απεικονίζει τα «ίχνη» (footprints) του κτηρίου που πρόκειται να αναπαρασταθεί τρισδιάστατα.

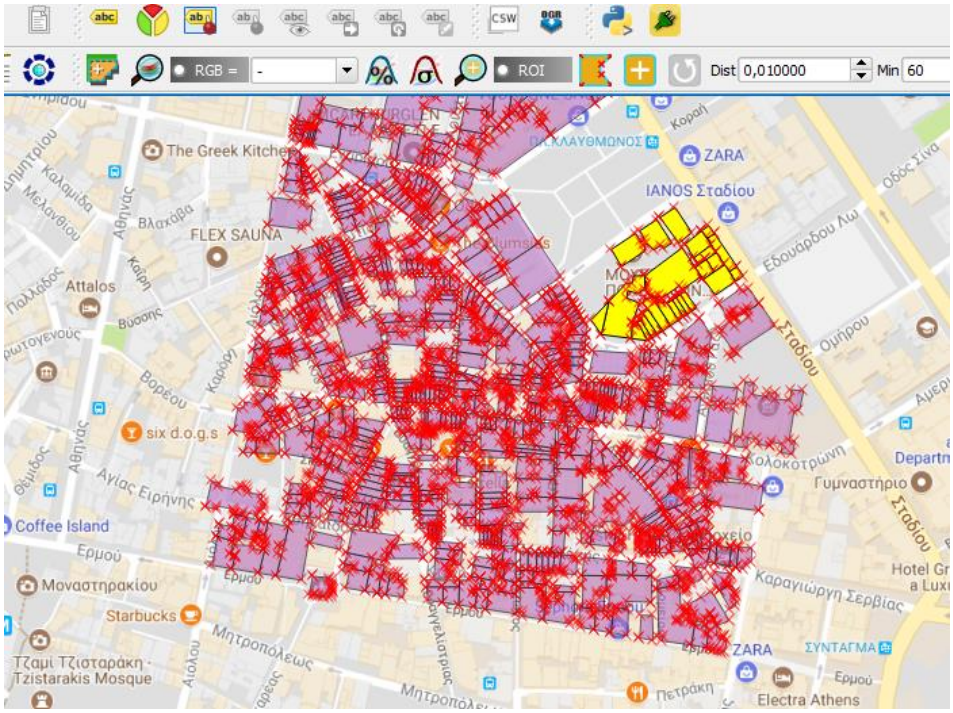


Σχήμα : 2D σχέδιο κτηρίων περιοχής μελέτης σε μορφή AutoCAD, δεδομένα. (πηγή: περιβάλλον AutoCad)

3.2 Οργάνωση Δεδομένων

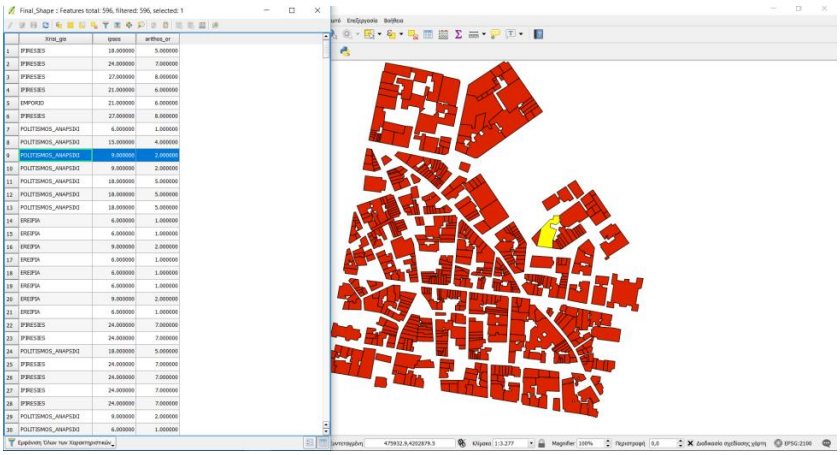
Το αρχείο .dwg που αν και περιέχει την απαραίτητη πληροφορία για την υλοποίηση του τρισδιάστατου μοντέλου, δεν προσφέρει την καλύτερη οργάνωση της πληροφορίας διότι χρειαζόμαστε μία περισσότερο συγκεντρωτική μέθοδο της πληροφορίας καθώς ο αριθμός των κτηρίων είναι μεγάλος (598). Έτσι κρίνεται αναγκαία η εύρεση μίας καλύτερης πληροφοριακής και χωρικής οργάνωσης των δεδομένων για την διευκόλυνση στην συγγραφή του κώδικα XML. Αυτή την δυνατότητα μας προσφέρει το λογισμικό ανοιχτού κώδικα QGIS. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε παρατίθεται παρακάτω:

Η διαδικασία οργάνωσης των δεδομένων αφορά την εισαγωγή του δισδιάστατου σχεδίου της περιοχής μελέτης στο λογισμικό ελεύθερου κώδικα QGIS. Απώτερος σκοπός είναι η μετατροπή του αρχείου μορφής AutoCAD σε μορφή shape file (*.shp) για καλύτερη οργάνωση της πληροφορίας που προκύπτει για κάθε κτήριο.



Εικόνα 8: Διαδικασία διόρθωσης διανυσμάτων με την βοήθεια του λογισμικού QGIS.(πηγή: περιβάλλον QGIS)

Αναλυτικότερα, το shape file εμφανίζει μέσω του πίνακα ιδιοτήτων (attribute table) κάθε κτήριο ως οντότητα πολυγώνου με ένα κωδικό (id) τις συντεταγμένες των κορυφών κάθε πολυγώνου και την κτηματολογική πληροφορία που προαπαιτούνται για την κατασκευή του κώδικα. Το shape αρχείο περιέχει την γεωμετρία η οποία δεν είναι ορατή σε εμάς. Αυτή η καταγραφή βοήθησε σημαντικά στην συγγραφή του κώδικα για την παραγωγή του τρισδιάστατου μοντέλου πόλης.



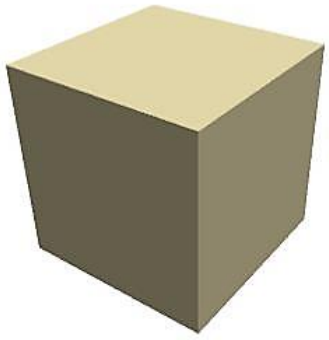
Εικόνα 9: Εμφάνιση του πίνακα ιδιοτήτων για την καλύτερη οργάνωση της πληροφορίας κάθε κτηρίου (πηγή: περιβάλλον QGIS)

3.3 Κωδικοποίηση σε LOD1

3.3.1 Κτήριο σε LOD1

Η περιοχή μελέτης αποτελεί μέρος μιας πόλης. Δηλαδή αντιμετωπίζουμε χωρικά τους κτηριακούς όγκους (598) σαν οντότητες- «κουτιά». Πιο συγκεκριμένα:

Ένα κτήριο σε επίπεδο λεπτομέρειας LOD1 μοντελοποιείται σαν κουτί. Δεν εμπεριέχει μεγάλη ποσότητα λεπτομέρειας και δεν περιλαμβάνει πληροφορία για την οροφή του κτηρίου. Σε αυτό το κομμάτι της εργασίας δίνεται ένα παράδειγμα αναπαράστασης ενός κτηρίου στο δεύτερο επίπεδο λεπτομέρειας (LOD1). Έτσι δίνεται μία ιδέα για την ολοκληρωμένη αναπαράσταση για την γεωμετρία του κτηρίου και την χρήση του. Το επίπεδο LOD1 χρησιμοποιείται στην μοντελοποίηση των όγκων της παρούσας διπλωματικής εργασίας και επιπλέον χρησιμοποιείται για την εισαγωγή ιδιοτήτων στο μοντέλο πόλης. Αρκετά κτήρια με διαφορετικά σχήματα και μεγέθη σε διαφορετικές θέσεις μπορούν να μοντελοποιηθούν στο πλαίσιο μίας πόλης σε επίπεδο LOD1.



Εικόνα 10:κτήριο στο επίπεδο LOD1 στο CityGML

3.3.2 Κώδικας

Το επίπεδο λεπτομέρειας που απαιτείται για την μοντελοποίηση καθορίζει το περιεχόμενο συγγραφής του κώδικα XML. Στην προκειμένη περίπτωση ο κώδικας που κατασκευάζουμε πρέπει να ανταποκρίνεται στις ανάγκες μοντελοποίησης της περιοχής μελέτης σε επίπεδο LOD1.

Ακολουθεί απόσπασμα του κώδικα XML του CityGML που προέκυψε για της ανάγκες της εργασίας, το οποίο περιγράφει την δημιουργία ενός τρισδιάστατου κτηρίου σε επίπεδο LOD1.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<core:CityModel xmlns:bldg="http://www.opengis.net/citygml/building/1.0" xmlns:luse="http://www.op
<gml:boundedBy>
<gml:Envelope srsName="EPSG:2100" srsDimension="3">
<gml:lowerCorner>475991.687355531 4202906.32511491 0</gml:lowerCorner>
<gml:upperCorner>476500.819259721 4203473.83976626 30</gml:upperCorner>
</gml:Envelope>
</gml:boundedBy>
<core:cityObjectMember>
<bldg:Building>
<bldg:measuredHeight>18</bldg:measuredHeight>
<bldg:storeysAboveGround>5</bldg:storeysAboveGround>
<bldg:usage>ekklisia</bldg:usage>
<bldg:lod1MultiSurface>
<gml:MultiSurface srsName="EPSG:2100" srsDimension="3">
<gml:surfaceMember>
<gml:CompositeSurface>
<gml:surfaceMember>
<gml:Polygon>
<gml:exterior>
<gml:LinearRing>
<gml:posList>476128.502961555 4203447.38944909 0 476087.344911606 4203457.79212767 0 476090.125844
</gml:LinearRing>
</gml:exterior>
</gml:Polygon>
</gml:surfaceMember>
<gml:surfaceMember>
<gml:Polygon>
<gml:exterior>
<gml:LinearRing>
<gml:posList>476128.502961555 4203447.38944909 0 476131.481033047 4203464.1015235 0 476131.4810330
</gml:LinearRing>
</gml:exterior>
</gml:Polygon>
</gml:surfaceMember>
<gml:surfaceMember>
<gml:Polygon>
<gml:exterior>
<gml:LinearRing>
<gml:posList>476131.481033047 4203464.1015235 0 476090.125844147 4203471.48366709 0 476090.1258441
</gml:LinearRing>
</gml:exterior>
</gml:Polygon>
</gml:Polygon>
</gml:surfaceMember>
<gml:surfaceMember>
<gml:Polygon>
<gml:exterior>
<gml:LinearRing>
<gml:posList>476090.125844147 4203471.48366709 0 476087.344911606 4203457.79212767
</gml:LinearRing>
</gml:exterior>
</gml:Polygon>
</gml:surfaceMember>
<gml:surfaceMember>
<gml:Polygon>
<gml:exterior>
<gml:LinearRing>
<gml:posList>476087.344911606 4203457.79212767 0 476128.502961555 4203447.38944909
</gml:LinearRing>
</gml:exterior>
</gml:Polygon>
</gml:surfaceMember>
<gml:surfaceMember>
<gml:Polygon>
<gml:exterior>
<gml:LinearRing>
<gml:posList>476128.502961555 4203447.38944909 18 476131.481033047 4203464.1015235
</gml:LinearRing>
</gml:exterior>
</gml:Polygon>
</gml:surfaceMember>
</gml:CompositeSurface>
</gml:surfaceMember>
</gml:MultiSurface>
</bldg:lod1MultiSurface>
</bldg:Building>
</core:cityObjectMember>
```

Εικόνα 11: **Απόσπασμα κώδικα XML μοντελοποίησης ενός κτηρίου σε LOD1 της περιοχής μελέτης (πηγή: www.citygml)**

Ως προς το περιεχόμενο και την δομή του κώδικα, εν αρχή γίνεται αναφορά σε συγκεκριμένες web βιβλιοθήκες, στη συνέχεια δηλώνεται το προβολικό σύστημα στο οποίο υπάγεται το εκάστοτε τρισδιάστατο μοντέλο πόλης. Ακολούθως, συντάσσεται κάθε κτήριο ξεχωριστά. Πρώτα δηλώνεται το νοτιοδυτικό και βορειοανατολικό σημείο του όγκου επί του εδάφους. Στη συνέχεια εισάγεται κάθε κτηματολογική πληροφορία που χαρακτηρίζει το κτήριο και τέλος όσον αφορά τον σχηματισμό της γεωμετρίας του, δηλώνονται οι συντεταγμένες που περιγράφουν κάθε έδρα του.

3.4 Υψομετρική Πληροφορία στο Μοντέλο

Η πιο συνηθισμένη προϋπόθεση για να γίνει η δημιουργία ενός τρισδιάστατου μοντέλου είναι η εισαγωγή της υψομετρικής πληροφορίας είτε με ανέγερση κάθε κτηρίου από τα «ίχνη» του, είτε με υψομετρικές μετρήσεις με ραντάρ (LIDAR) και φωτογραμμετρικές μεθόδους. Είναι γεγονός πως σήμερα τα «ίχνη» (footprints) των κτηρίων είναι πλέον εύκολα διαθέσιμα και δωρεάν στις περισσότερες περιπτώσεις για τους χρήστες από διάφορα λογισμικά συστήματα της κάθε κυβέρνησης. Όσο για τις υψομετρικές πληροφορίες οι οποίες προκύπτουν από φωτογραμμετρικές μεθόδους, είναι εμφανώς ακριβότερες και απαιτούν χρονοβόρες διαδικασίες για να συλλεχθούν, με αποτέλεσμα να καθυστερεί η παραγωγή του 3D μοντέλου. Ακόμα και σε περιπτώσεις που οι υψομετρικές - φωτογραμμετρικές μετρήσεις είναι διαθέσιμες, είναι πολύ πιθανό να μην είναι κατάλληλες για την δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων, αφού ενδέχεται να μην είναι ενημερωμένες και να μην υπακούουν στην πραγματικότητα. Αντίθετα τα footprints ακόμα και αν δεν είναι ενημερωμένα, είναι πολύ πιο εύκολο να ενημερωθούν. Επιπλέον, οι υψομετρικές μετρήσεις δεν προσφέρουν την ανάλογη ακρίβεια αποτελεσμάτων, κυρίως για μοντέλα άνω των τριάντα ορόφων, με βάση το οικονομικό κόστος που στοιχίζουν. Στην παρούσα διπλωματική εργασία, όσον αφορά την εισαγωγή της υψομετρικής πληροφορίας στο παραγόμενο μοντέλο πόλης, επιλέχθηκε η μέθοδος ανέγερσης του κάθε κτηρίου από τα «ίχνη» του. Η μέθοδος αυτή, σίγουρα δεν είναι η πιο αξιόπιστη. Ωστόσο αποτελεί την βέλτιστη λύση μέχρι τα αποτελέσματα των φωταγραμμετρικών μεθόδων να γίνουν περισσότερο πιο προσιτά και οικονομικά για τους χρήστες.

Αξίζει να σημειώσουμε πως η εφαρμογή εστιάζει στην πληροφορία του μοντέλου και όχι στην ακριβή μέτρηση.

Στα περισσότερα αρχεία που περιέχουν δισδιάστατη πληροφορία κτηρίων τύπου CAD, συμπεριλαμβάνεται ως πληροφορία ο αριθμός ορόφων για κάθε κτήριο, αφού σε τέτοιου είδους αρχεία, αυτός είναι ο μόνος τρόπος να φανεί η υψομετρική πληροφορία σε ένα δισδιάστατο διάγραμμα.

Έτσι, η μέθοδος η οποία επιλέχθηκε και για την παρούσα εργασία αφορά ουσιαστικά την ανέγερση κάθε κτηρίου σε ύψος τέτοιο που προκύπτει από το γινόμενο του αριθμού ορόφων με ένα συγκεκριμένο νούμερο, που συμβολίζει το ύψος κάθε ορόφου και κυμαίνεται από 2.8 μέτρα έως 3.5 μέτρα.

Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι πως για τις περισσότερες χώρες του κόσμου, υπάρχει καταγεγραμμένος σε κάποια ελεύθερη βάση δεδομένων, ο αριθμός ορόφων για κάθε κτήριο κυρίως όσον αφορά τις μεγάλες πόλεις. Δυστυχώς στην Ελλάδα αυτό δεν συμβαίνει.

Επομένως, η διαδικασία που έπρεπε να ακολουθηθεί προκειμένου να εισάγουμε την υψομετρική πληροφορία στο 3D μοντέλο πόλης, αφορούσε είτε ανίχνευση της περιοχής και καταγραφή των ορόφων κάθε κτηρίου με το λογισμικό Google Earth, είτε περπάτημα της περιοχής και διεξοδικό μέτρημα των ορόφων. Ως πιο αξιόπιστη λύση, αλλά παράλληλα αισθητά πιο κουραστική και χρονοβόρα, επιλέχθηκε η δεύτερη. Η ανίχνευση της περιοχής μέσω Google Earth κρίθηκε αδύνατη, καθώς τα ψηλά κτήρια σε συνδυασμό με τους στενούς δρόμους του κέντρου της Αθήνας, δεν επέτρεπαν την πλήρη οπτική παρακολούθηση λόγω προοπτικής, με αποτέλεσμα πολλά σημεία να κρίνονται ως νεκρά σημεία και να μην υπάρχει σαφή εικόνα για τον αριθμό ορόφων που περιέχουν. Περπατώντας την περιοχή όμως, πέρα του ότι πραγματοποιήθηκε μία πιο αξιόπιστη περιγραφή, παράλληλα επαληθεύτηκαν και οι χρήσεις γης των όγκων της περιοχής για το ενδεχόμενο τυχόν αλλαγών με τα ήδη υπάρχοντα δεδομένα.

Αξίζει να σημειώσουμε πως η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά την 3D αναπαράσταση μίας περιοχής στο κέντρο στης Αθήνας σε επίπεδο λεπτομέρειας LOD1. Συνεπώς, ασχολούμαστε με τον κύριο όγκο των κατασκευών και δεν εμβαθύνουμε σε πολύπλοκες λεπτομέρειες. Αυτός είναι ένας ακόμα λόγος που επιλέχθηκε αυτή η μέθοδος για την εισαγωγή της υψομετρικής πληροφορίας στο μοντέλο. Σε περίπτωση που απαιτείτο μεγαλύτερης λεπτομέρειας επίπεδο στο μοντέλο, τότε αυτή η μέθοδος για την εισαγωγή υψομετρικής πληροφορίας δεν κρίνεται κατάλληλη, αφού είναι πολύ πιθανόν να παρατηρηθούν μεγάλες αποκλίσεις σε σχέση με την πραγματικότητα. Κάθε όροφος ενός κτηρίου δεν έχει απαραίτητα το ίδιο ύψος με τους υπόλοιπους, και πολλές φορές, κυρίως στα παλαιότερης κατασκευής κτίσματα, παρατηρείται σημαντική διαφορά στις υψομετρικές διαφορές μεταξύ των χώρων του ίδιου ορόφου. Δηλαδή, ένα ψηλοτάβανο καθιστικό μπορεί να συνοδεύεται από ένα χαμηλοτάβανο λουτρό στον ίδιο όροφο ενός κτηρίου.

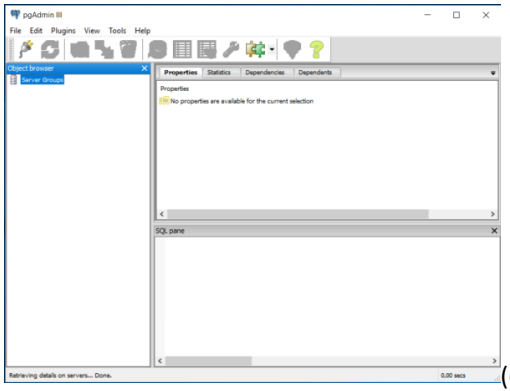
Σε τέτοιες καταστάσεις απαιτείται ξεκάθαρα διαφορετική προσέγγιση και λεπτομερέστατη υψομετρική καταγραφή (Biljecki F, Ledoux H, Stoter J, 2017).

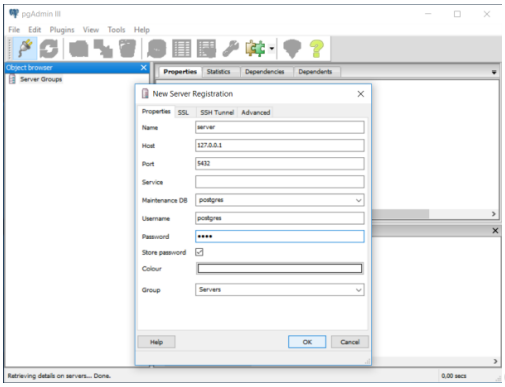
3.5 Δημιουργία Βάσης Δεδομένων στην PostgreSQL κατά το 3DCityDataBase schema

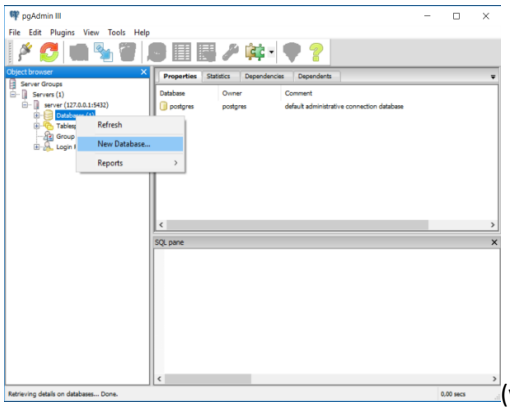
Σε αυτό το στάδιο αναλύεται η διαδικασία για την δημιουργία της απαιτούμενης βάσης δεδομένων στην PostgreSQL. Για την πλήρη κατανόηση της διαδικασίας παραθέτονται τα αναγκαία screenshots.

Αρχικά, με την βοήθεια του εργαλείου της pgAdmin III, δημιουργήθηκε ένας server στον οποίο εισάγεται η βάση δεδομένων.

Εικόνα 12: Λογότυπο PostgreSQL (πηγή: Google)

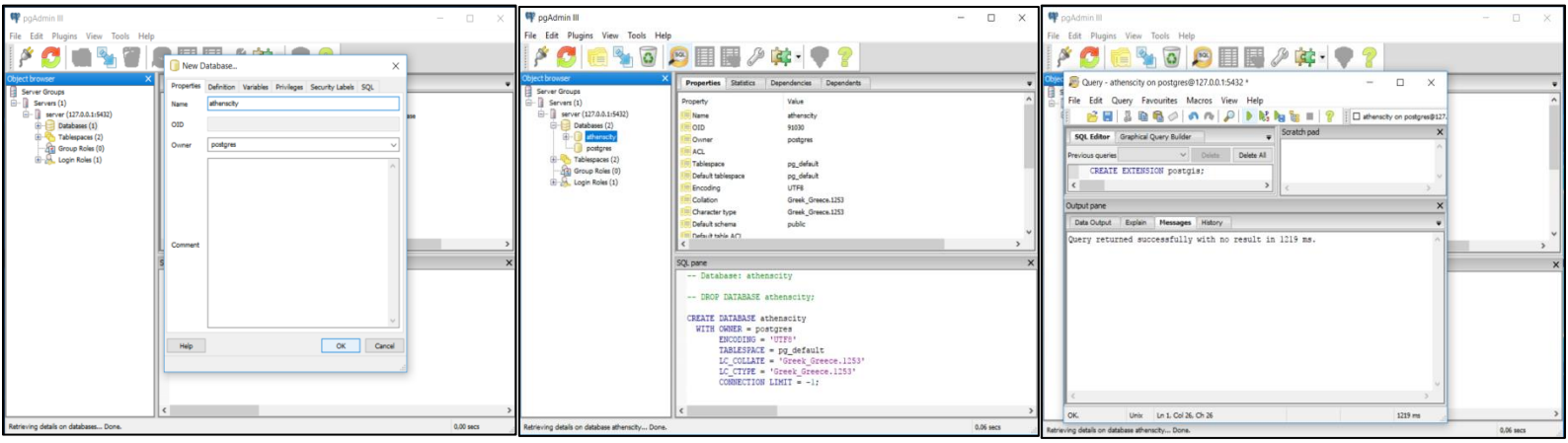

(α)


(β)


(γ)

Εικόνα 13: (α) (β) (γ) Δημιουργία του απαραίτητου server στην PostgreSQL (pgAdmin III)

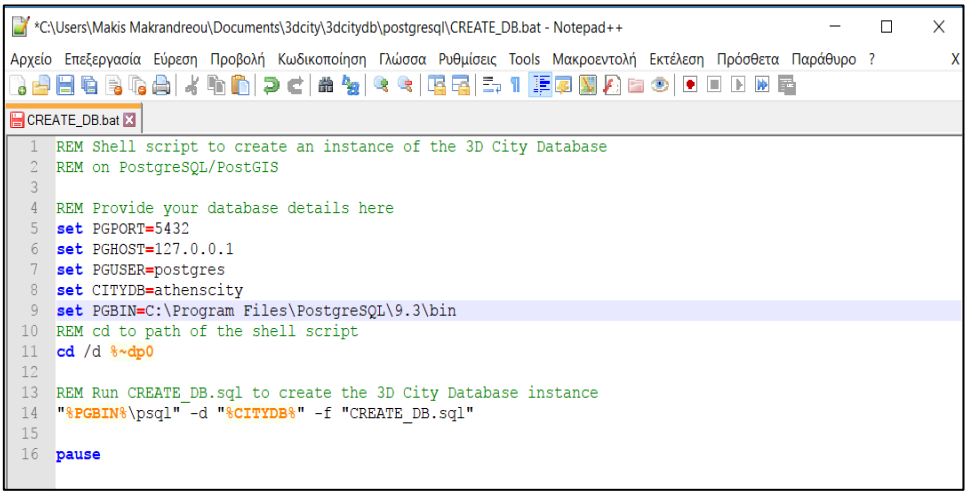
Για την δημιουργία του κατάλληλου server είναι επιτακτική η ανάγκη του ορισμού των κατάλληλων παραμέτρων όπως φαίνεται και στα παραπάνω στιγμιότυπα. Στη συνέχεια δημιουργήθηκε η Βάση Δεδομένων σύμφωνα με το πρότυπο της 3DCityDB με όνομα “athenscity”. Πιο συγκεκριμένα, με αυτή μέθοδο δημιουργούνται επιπλέον πίνακες διαφόρων χωρικών οντοτήτων στην υπάρχουσα βάση στο schema “citydb” κατά το πρότυπο 3DCityDB.



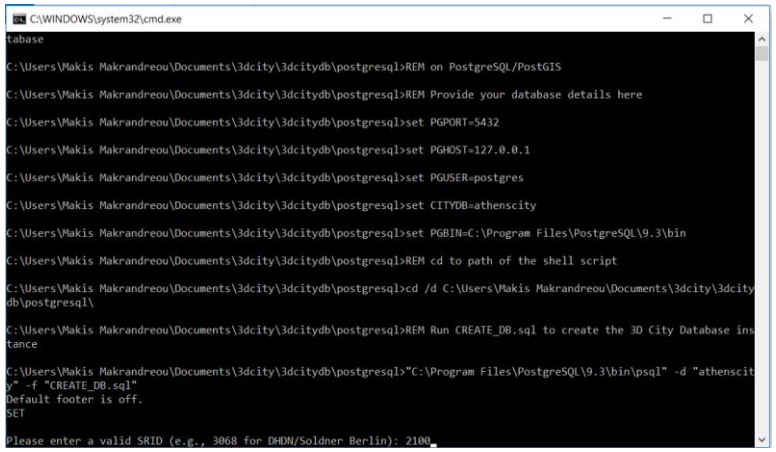
Εικόνα 14: **(α) (β) (γ) Δημιουργία της απαραίτητης βάσης δεδομένων στη PostgreSQL (pgAdminIII)**

Στη συνέχεια δημιουργήθηκε η δομή της βάσης δεδομένων ‘athenscity’ σύμφωνα με το πρότυπο της 3DCityDataBase. Πιο αναλυτικά, με την διαδικασία αυτή δημιουργούνται επιπλέον πίνακες διαφόρων χωρικών οντοτήτων στην υπάρχουσα βάση δεδομένων στο schema ‘citydb’ κατά το πρότυπο της 3DCityDB.

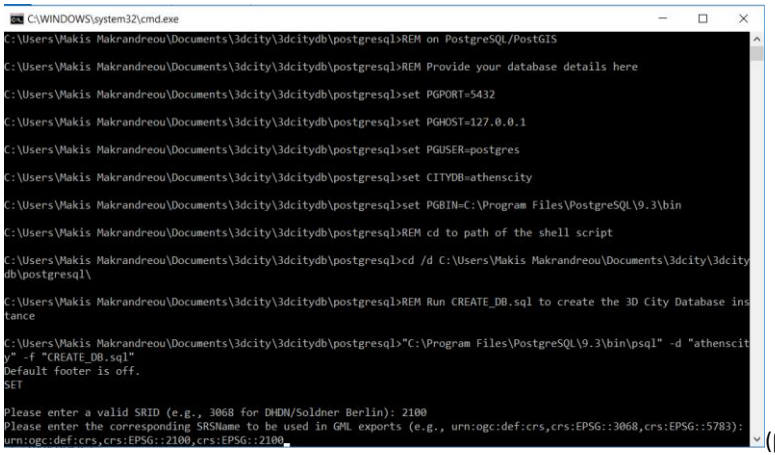
Ωστόσο για να επιτευχθεί η παραπάνω διαδικασία πρέπει να εκτελεστεί το αρχείο CREATE_DB.bat. Για την εκτέλεση του αρχείου απαιτείται πρώτα να γίνει ‘edit’ και να συμπληρωθούν τα κατάλληλα πεδία του κώδικα. Ακολούθως κατά την εκτέλεση της εντολής αυτής, ζητείται το SRID (Spatial Reference Identifier) και SRSName-ESPG code (European Petroleum Survey Group). Το SRID είναι μία μοναδική τιμή και αντιστοιχεί στο χωρικό σύστημα αναφοράς βάσει του ελλειψοειδούς που χρησιμοποιείται, το οποίο στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι το ΕΓΣΑ ‘87. Έτσι, για την περιοχή μελέτης, που βρίσκεται στην Αθήνα, χρησιμοποιήθηκε SRID=2100. Το σύστημα των συντεταγμένων καθορίζει τη γεωμετρία κάθε στοιχείου, που περιγράφεται σε ένα GML αρχείο. Το SRSName, το οποίο είναι χαρακτηριστικό και συνδεδεμένο με ένα γεωμετρικό αντικείμενο, είναι αυτό που καθορίζει το σύστημα συντεταγμένων στο οποίο εντάσσεται το αντικείμενο. Η EPSG αποτελεί μία ελεύθερη βάση δεδομένων με πρότυπους κώδικες για συστήματα συντεταγμένων, σημεία αναφοράς (datum), ελλειψοειδή κ.α. και η βάση αυτή χρησιμοποιείται από πολλά προγράμματα και έργα, που σχετίζονται με GIS.



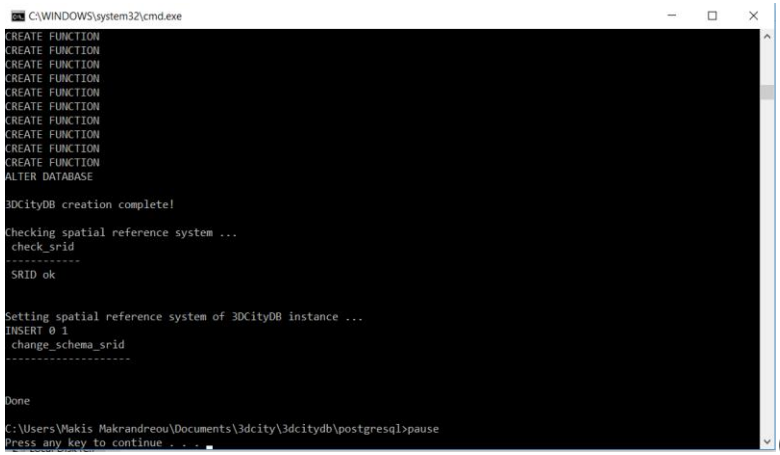
Εικόνα 15: Διαδικασία ‘edit’ πριν την εκτέλεση του αρχείου CREATE_DB.bat στην PostgreSQL (pgAdmin III).



(α)



(β)

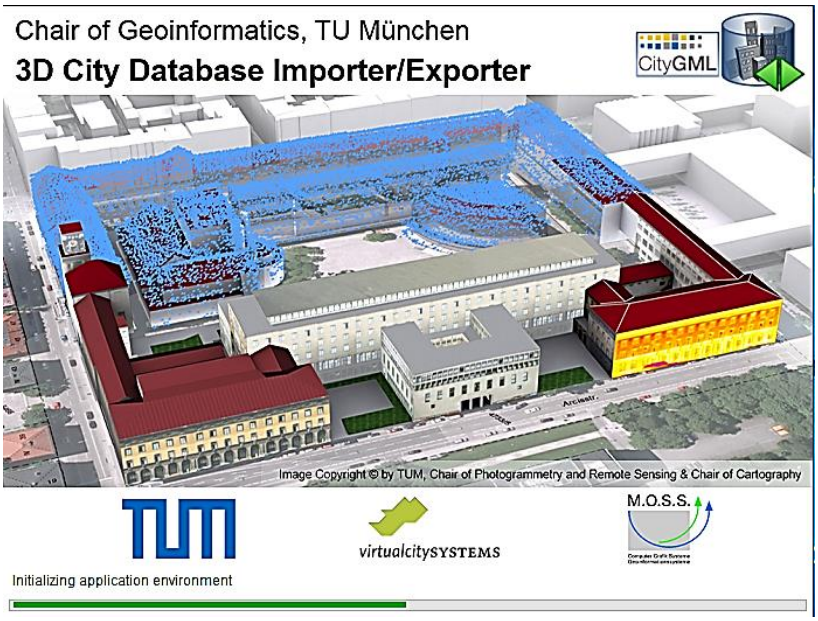


(γ)

Εικόνα 16: (α) (Β) (γ) Στάδια δημιουργίας δομής της βάσης 'athenscity' βάσει 3DCityDB.

3.6 Εισαγωγή Κώδικα CityGML στο Περιβάλλον της 3DCityDataBase

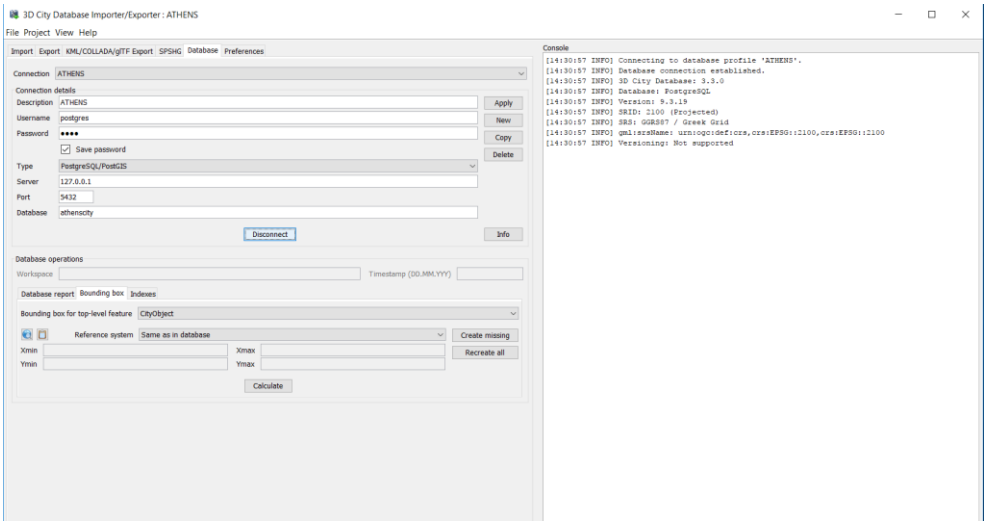
Σε αυτό το στάδιο, οργανώνεται η βάση δεδομένων ‘athenscity’ στην PostgreSQL μέσω του 3DCityDB. Πιο αναλυτικά, το στάδιο αυτό περιλαμβάνει την διασύνδεση της PostgreSQL με το 3DCityDB και την διαδικασία εκείνη, κατά την οποία εμπλουτίζεται η βάση δεδομένων με όλη την απαραίτητη χωρική και περιγραφική πληροφορία ως προς τα κτήρια της περιοχής μελέτης.



Εικόνα 17: Γραφικό περιβάλλον του εργαλείου 3DCityDataBase Importer/Exporter

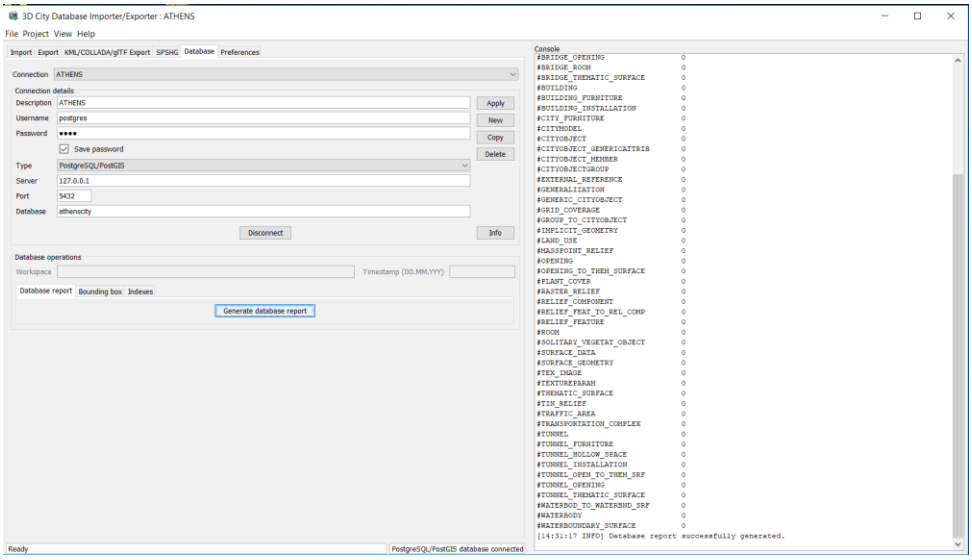
Όπως έχει προαναφερθεί στην παραπάνω ενότητα, έχει ήδη δημιουργηθεί η βάση ‘athenscity’ μέσω του εργαλείου pgAdmin III της PostgreSQL. Η επικοινωνία της, με το 3DCityDB πραγματοποιείται με το βασικό εργαλείο 3DcityDB-Importer-Exporter της βιβλιοθήκης του πακέτου του 3DCityDB.

Αναλυτικότερα, αφού πρώτα καθορίστηκαν τα απαραίτητα πεδία για την σύνδεση της βάσης δεδομένων, ακολούθησε η σύνδεση (Connect) και έπειτα η δημιουργία μιας έκθεσης της βάσης (Generate Database Report).



Εικόνα 18: Διαδικασία σύνδεσης (connect) της βάσης 'athenscity' με το 3DCityDataBase Importer/Exporter. (πηγή περιβάλλον 3DCityDB inmpporter-exporter)

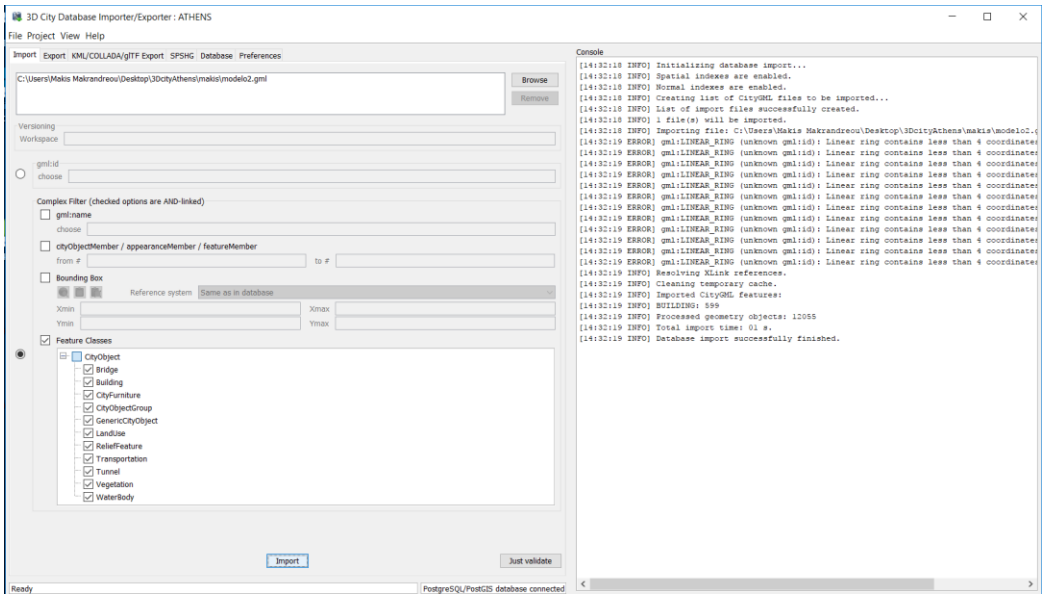
Στην παρούσα φάση όλα τα στοιχεία κάθε οντότητας που παρουσιάζεται στην έκθεση της βάσης δεδομένων παίρνουν μηδενικές τιμές. Είναι δηλαδή ακόμα άδεια από περιγραφική και χωρική πληροφορία.



Εικόνα 19: Δημιουργία μιας έκθεσης (Generate Database Report) της βάσης 'athenscity' με το 3DCityDataBase Importer/Exporter. (πηγή περιβάλλον 3DCityDB inmpporter-exporter)

Στην συνέχεια, ακολούθησε με την βοήθεια του εργαλείου 3D-Importer-Exporter, η εισαγωγή του κώδικα στην βάση δεδομένων 'athenscity', το οποίο δημιουργήσαμε με την βοήθεια default αρχείων, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω. Ο κώδικας είναι γραμμένος σε XML γλώσσα και είναι διαμορφωμένος στο πρότυπο του CityGML και περιγράφει τα χωρικά χαρακτηριστικά των κτηρίων της περιοχής μελέτης.

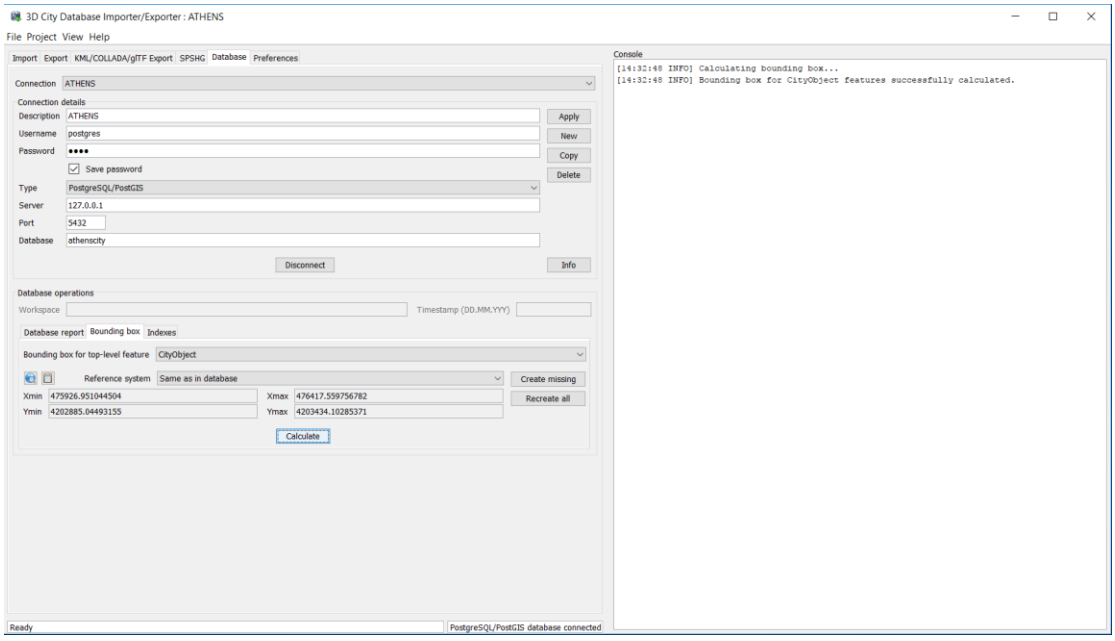
Όσον αφορά την συνέχεια της διαδικασίας, πρώτα εγκρίθηκε (validate) το αρχείο ως προς την δομή και το περιεχόμενό του και στην συνέχεια έγινε εισαγωγή (Import) των στοιχείων του στα αντίστοιχα πεδία των οντοτήτων της βάσης δεδομένων 'athenscity' που έχει νωρίτερα διαμορφωθεί.



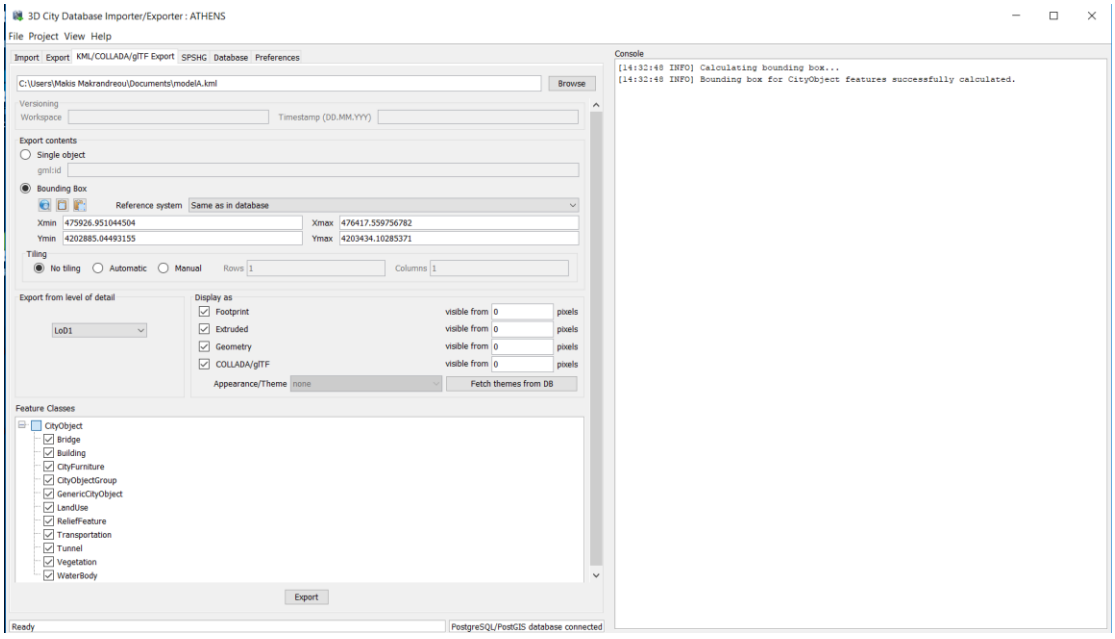
Εικόνα 20: Διαδικασία εισαγωγής (Import) και επικυρωποίησης (Validate) του κώδικα XML. (πηγή περιβάλλον 3DCityDB inmpporter-exporter)

Έτσι, οι πίνακες της βάσης δεδομένων έχουν εμπλουτιστεί με χωρικά στοιχεία, τα οποία έχουν αντληθεί από την εισαγωγή του κώδικα.

Για την εξαγωγή του μοντέλου, πέρα από την σωστή γεωμετρία και την δομή, παίζει σημαντικό ρόλο και η ορθή χωρική θέση. Έτσι, μετά την εισαγωγή του κώδικα πρέπει πλέον να υπολογίζονται οι μέγιστες και οι ελάσσονες συντεταγμένες της περιοχής μελέτης και αυτό γίνεται με την επιλογή 'calculate' και την αντιγραφή τους στο εξαγόμενο αρχείο. Παρακάτω με την βοήθεια στιγμιότυπων γίνεται ξεκάθαρη η διαδικασία.

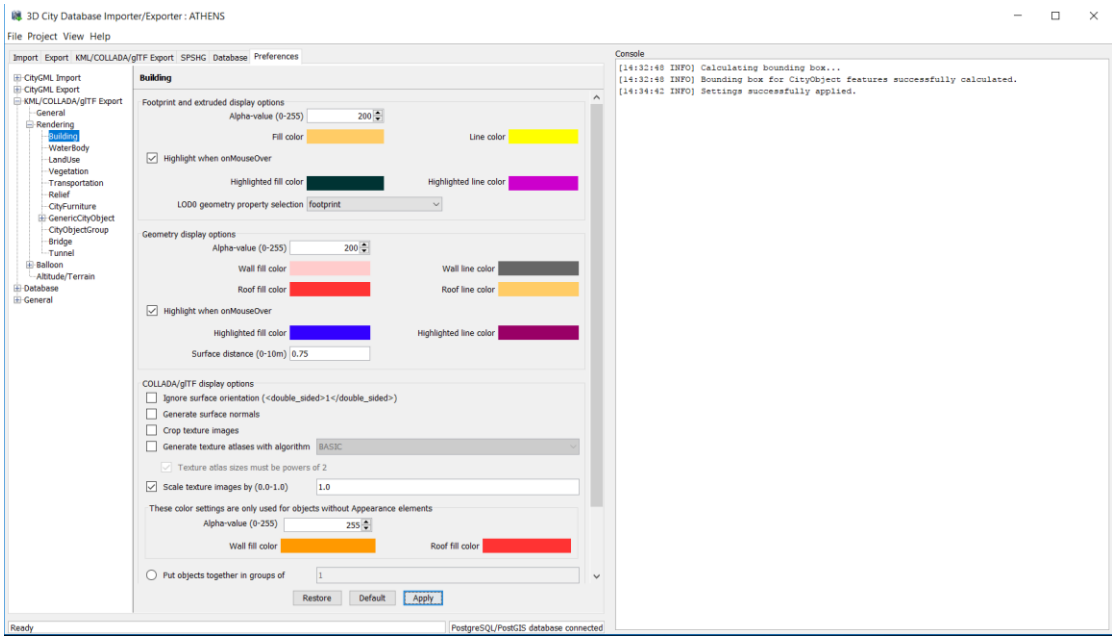


Εικόνα 21: Υπολογισμός (Calculate) των ελάχιστων και των μέγιστων συντεταγμένων της περιοχής μελέτης. (πηγή περιβάλλον 3DCityDB inmpporter-exporter)



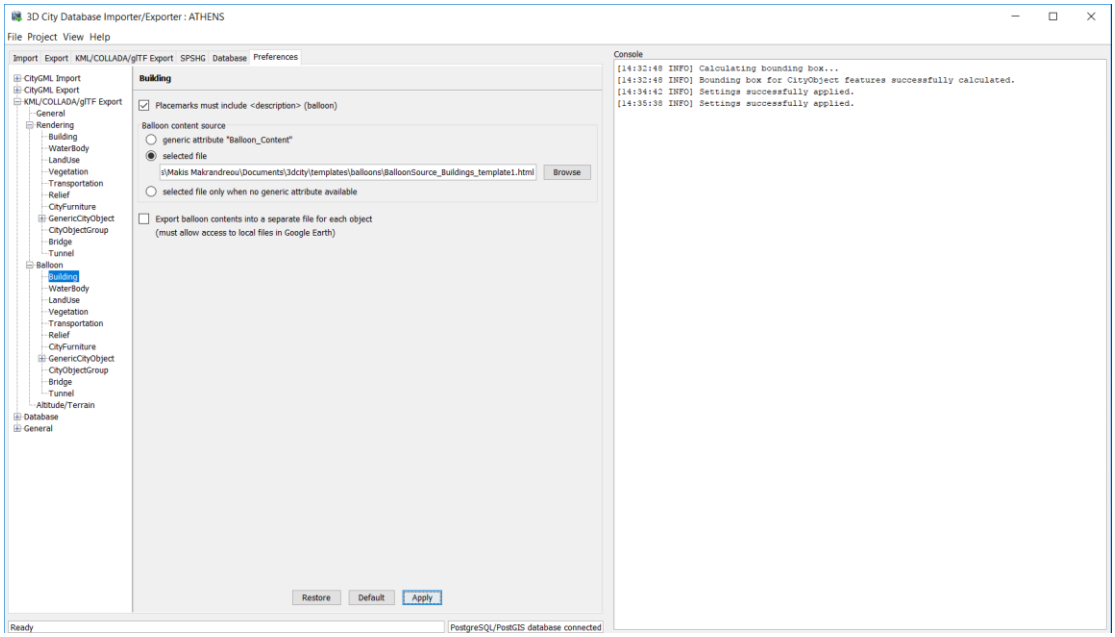
Εικόνα 22: Εισαγωγή των συντεταγμένων στο εξαγόμενο μοντέλο. (πηγή περιβάλλον 3DCityDB inmpporter-exporter)

Τέλος, με την βοήθεια του εργαλείου 3DCityDataBase Importer-Exporter, πριν γίνει η εξαγωγή του αρχείου, ορίστηκαν οι απαραίτητες παράμετροι για την απεικόνιση του μοντέλου. Αρχικά, καθορίστηκαν τα χρώματα με τα οποία πρόκειται να απεικονίζονται τμήματα των κτηρίων όπως τοίχοι, οροφές, για κάθε ένα από τα τέσσερα εξαγόμενα αρχεία (Footprint, Extruded, Geometry και Collada/glTF).



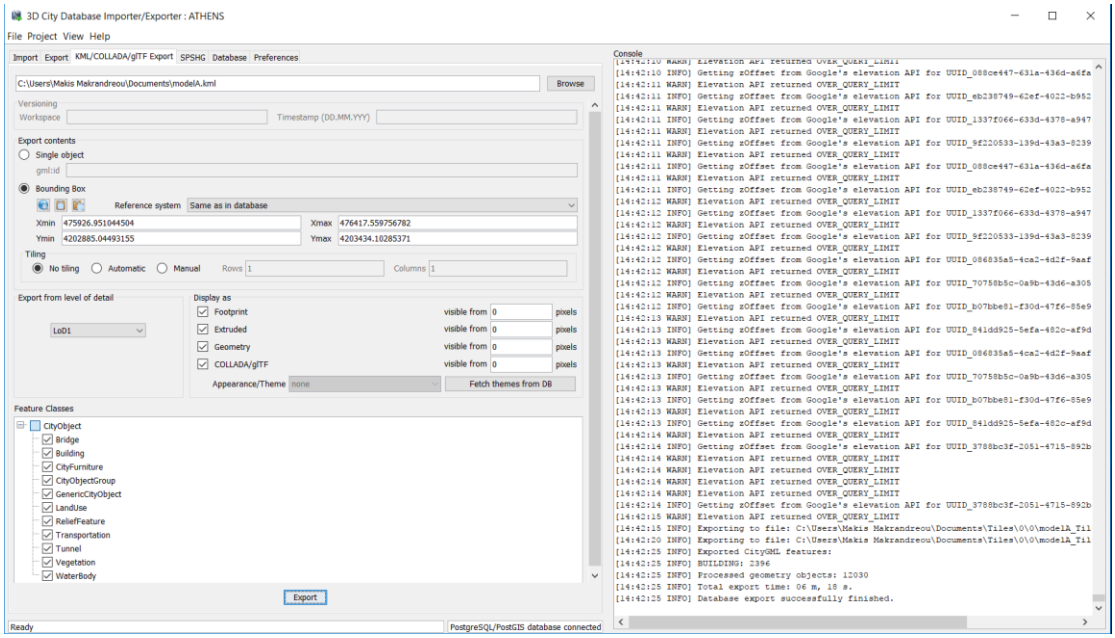
Εικόνα 23: Καθορισμός χρωμάτων για την καλύτερη αστικοποίηση του τελικού εξαγόμενου μοντέλου. (πηγή περιβάλλον 3DCityDB inmpporter-exporter)

Ακολούθως, επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί ένα συμπληρωματικό εργαλείο για την αστικοποίηση της κτηματολογικής πληροφορίας των κτηρίων, αντλούμενο από την βάση δεδομένων και ονομάζεται Balloon. Αναλυτικότερα, επιλέγοντας κάποιο κτήριο στο εξαγόμενο αρχείο, με το Balloon, δίνεται η δυνατότητα εμφάνισης των χαρακτηριστικών του (διεύθυνση, χρήση γης, αριθμός ορόφων, ύψος κτηρίου κ.α).



Εικόνα 24: Επιλογή του κατάλληλου template Balloon για την εμφάνιση των χαρακτηριστικών κάθε κτηρίου. (πηγή περιβάλλον 3DCityDB inmpporter-exporter)

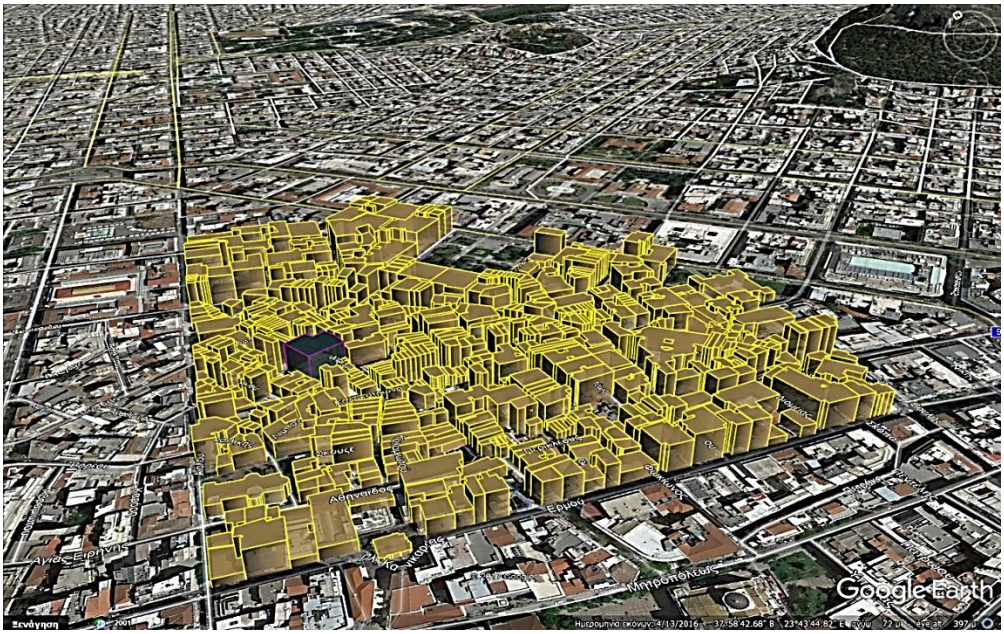
Η διαδικασία λαμβάνει τέλος επιλέγοντας την επιλογή ‘export’ ώστε να γίνει η εξαγωγή του μοντέλου σε αρχεία μορφής *.kml τα οποία ανοίγονται με την βοήθεια του Google Earth.



Εικόνα 25: Ολοκλήρωση διαδικασίας δημιουργίας του τρισδιάστατου μοντέλου πόλης. (πηγή περιβάλλον 3DCityDB inmpporter-exporter)

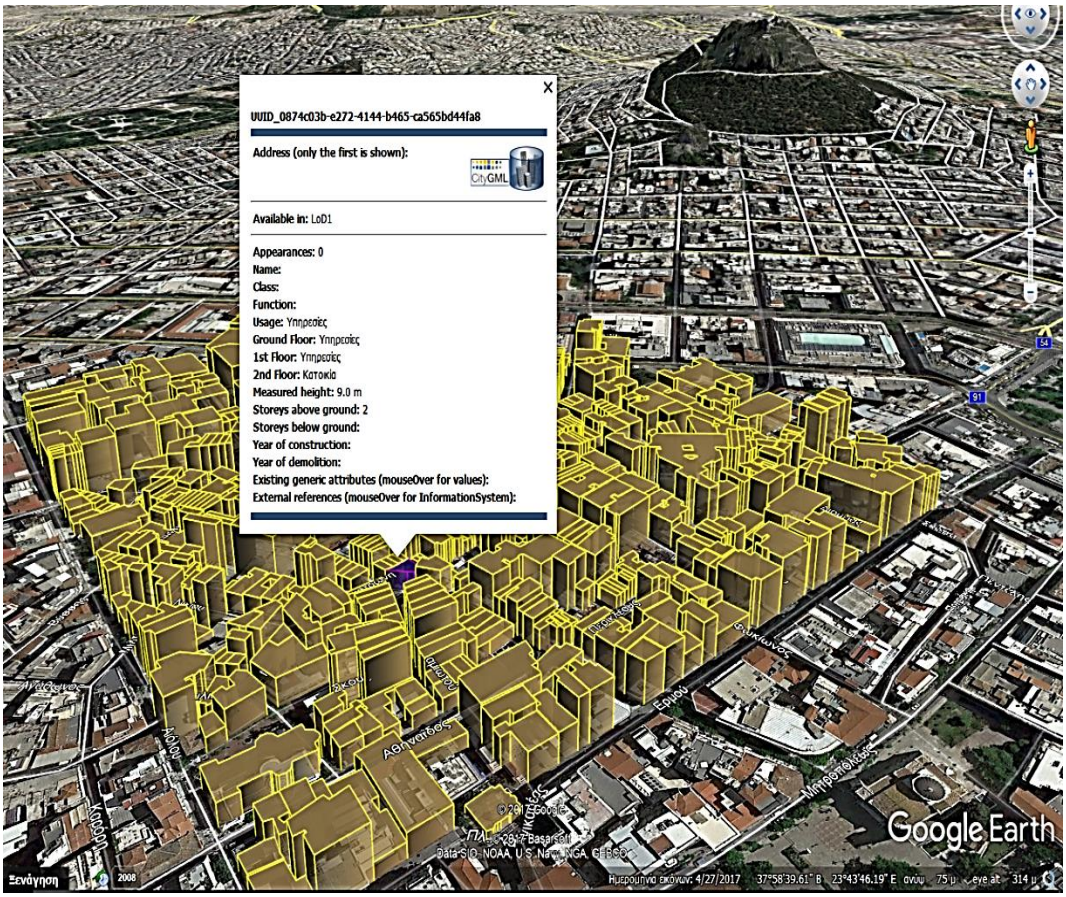
3.7 Αποτελέσματα-Exports

Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας στο εργαλείο 3DCityDataBase- Importer-Exporter, δημιουργήθηκαν τέσσερα αρχεία (Footprint, Extruded, Geometry, COLLADA/glTF). Επιλέγοντας το αρχείο Extruded, με την βοήθεια του λογισμικού Google Earth, μπορούμε πλέον να εμφανίσουμε το τρισδιάστατο μοντέλο που έχουμε δημιουργήσει με κάθε χωρική και κτηματολογική πληροφορία που του έχουμε εισάγει.



Εικόνα 26: Το τρισδιάστατο παραγόμενο μοντέλο της περιοχής μελέτης που οπτικοποιείται στο Google Earth.

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. Αναλυτικότερα το τελικό μοντέλο, επιλέγοντας ένα κτήριο, πέρα από το ότι αυτό ξεχωρίζει χρωματικά από τα υπόλοιπα κτήρια της περιοχής μελέτης (βλ. εικόνα 27), καταφέραμε με το εργαλείο Balloon να εμφανίζεται για το επιλεγμένο κτήριο ένα «μπαλόνι» με όλη την κτηματολογική πληροφορία που έχουμε εισάγει κατά την διαδικασία δημιουργίας του τρισδιάστατου μοντέλου, δηλαδή τον αριθμό των ορόφων για κάθε κτήριο, το ύψος κάθε κτηρίου, την επικρατούσα χρήση γης κάθε κτηρίου και την χρήση γης ανά όροφο.



Εικόνα 27: Εμφάνιση κτηματολογικής πληροφορίας στο τρισδιάστατο μοντέλο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^{Ο} : ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ ΣΤΗ ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ PostgreSQL

4.1 Εισαγωγή

Η δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου με χρήση του προτύπου CityGML και της βάσης δεδομένων PostgreSQL, πέρα από την καλύτερη οπτική αναπαράσταση των κτηρίων και την απαραίτητη κτηματολογική πληροφορία που περιέχει, δίνει ακόμα την δυνατότητα για σύνταξη ερωτημάτων. Δηλαδή, με την βοήθεια του εργαλείου PostGIS, της σχεσιακής βάσης δεδομένων PostgreSQL, δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να υποβάλει στην βάση κάποια ερωτήματα που αφορούν το παραγόμενο μοντέλο. Έτσι, η PostgreSQL μπορεί να ερωτά και να διαχειρίζεται τα χωρικά δεδομένα που περιέχει.

Η σύνταξη των ερωτημάτων αυτών απαιτεί απλές γνώσεις προγραμματισμού. Πιο συγκεκριμένα υλοποιείται με την εφαρμογή τυπικών τελεστών της SQL. Η δομή που ακολουθείται για τον απαραίτητο κώδικα σύνταξης των ερωτημάτων είναι η εξής:

SELECT

στήλες

(εισαγωγή στηλών από τις οποίες πρόκειται να εξαχθεί η πληροφορία)

FROM

πίνακες

(εισαγωγή των πινάκων, στους οποίους εμπεριέχονται οι παραπάνω στήλες)

WHERE

σύνταξη των επιθυμητών συνθηκών-συναρτήσεων | χρήση τελεστών

Σχήμα 5: Εντολές για την σύναξη των ερωτημάτων

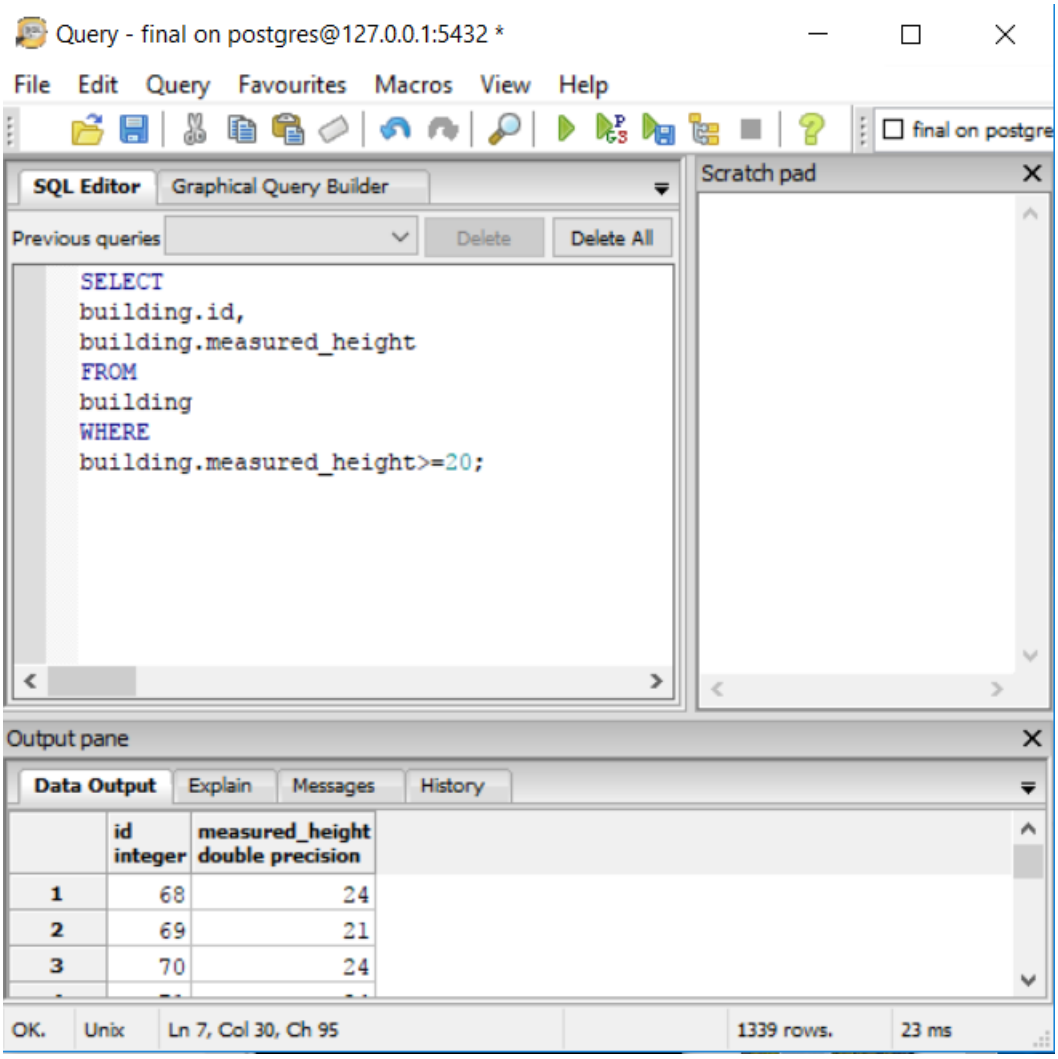
4.2 Σύνταξη Ερωτημάτων-Αποτελέσματα

4.2.1 Απλά Ερωτήματα

Έχοντας λοιπόν την δυνατότητα επεξεργασίας των χωρικών δεδομένων της βάσης, διατυπώνουμε τα παρακάτω ερωτήματα.

- ❒ Ως πρώτο ερώτημα θέτουμε την αναζήτηση κτηρίων των οποίων το ύψος τους ισούται ή ξεπερνά τα 20 μέτρα. Δηλαδή, ζητάμε τα κτήρια που εμπεριέχονται στο μοντέλο που έχουμε κατασκευάσει με ύψος μεγαλύτερο ή και ίσο των 20 μέτρων.

Η διαδικασία σύνταξης πραγματοποιήθηκε με τις βασικές εντολές που αναφέραμε παραπάνω, στην επιλογή Execute Arbitrary SQL queries. Ουσιαστικά, στο export φαίνονται τα id των κτηρίων που ικανοποιούν την συνθήκη που θέσαμε για το ερώτημα.

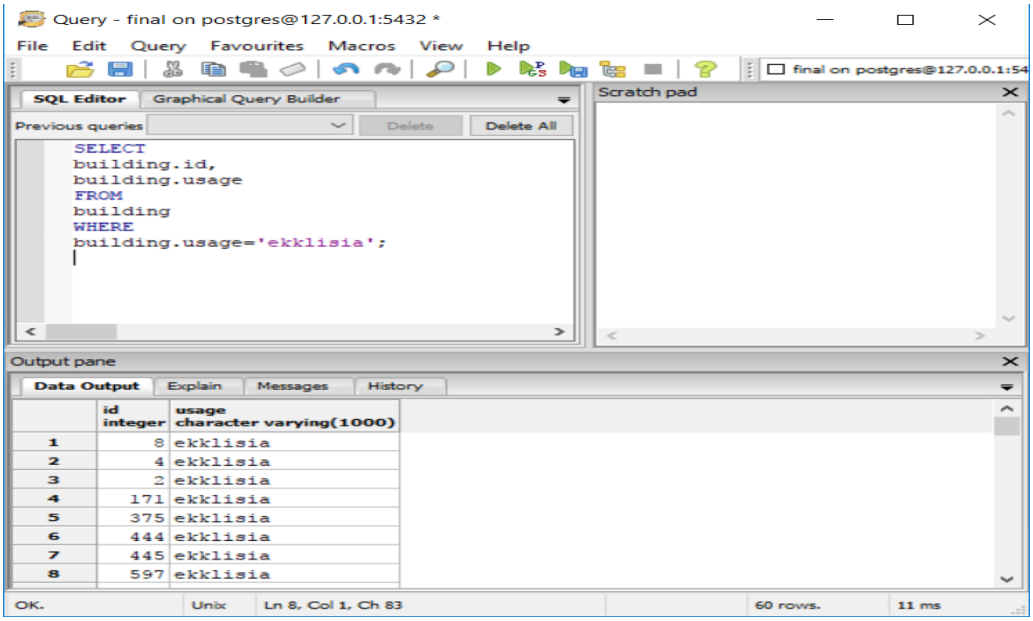


Εικόνα 28: Export (ii) ερωτήματος. Ποιά κτήρια έχουν ύψος μεγαλύτερο ή ίσο με 20 μέτρα; (πηγή: PostgreSQL)

Τα αποτελέσματα του πρώτου ερωτήματος είναι 189 κτήρια. Για την πλήρη κατανόηση της διαδικασίας οπτικοποιήσαμε τα αποτελέσματα του ερωτήματος (βλ. εικόνα 30).

Εικόνα 29: 189 κτήρια με ύψος από 20 μέτρα και πάνω . Οπτική αναπαράσταση αποτελεσμάτων του πρώτου ερωτήματος (πηγή: Google Earth)

❒ Ως δεύτερο ερώτημα θέτουμε την αναζήτηση των κτηρίων με χρήση γης, 'εκκλησία'. Όπως και παραπάνω η σύνταξη του ερωτήματος έγινε με απλές εντολές (βλ. εικόνα 31). Και εδώ το export μας έδωσε τα id των κτηρίων που ικανοποιούν την συγκεκριμένη συνθήκη.



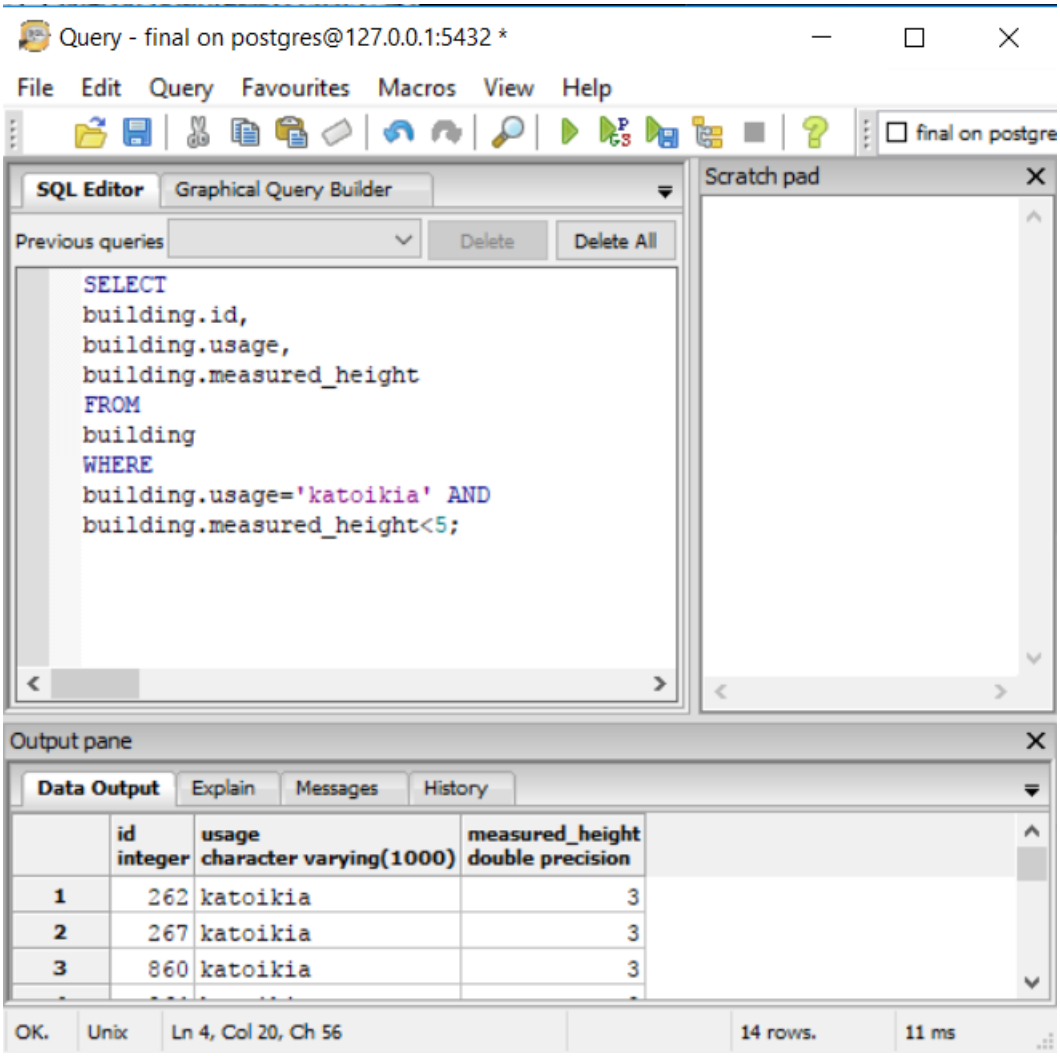
***Εικόνα 30*: Export (ii) ερωτήματος. Ποιά κτήρια έχουν ως χρήση γης 'εκκλησία'; (πηγή: PostgreSQL)**

Ως αποτέλεσμα σε αυτό το ερώτημα η Βάση Δεδομένων έδωσε 9 id κτηρίων που ικανοποίησαν την συνθήκη. Η οπτικοποίηση του παραπάνω export της Βάσης φαίνεται στην εικόνα 32.

Εικόνα 31: 9 κτήρια με χρήση γης 'εκκλησία'. Οπτική αναπαράσταση αποτελεσμάτων του δεύτερου ερωτήματος. (πηγή: Google Earth)

Η επικοινωνία του μοντέλου με την βάση δεδομένων μας δίνει την δυνατότητα να ζητήσουμε οποιαδήποτε πληροφορία εμπεριέχεται στους πίνακες. Αυτό επιτρέπει στον χρήστη να συντάξει και ακόμα πιο σύνθετα ερωτήματα.

- Σαν τρίτο ερώτημα θέτουμε την αναζήτηση των κτηρίων τα οποία έχουν ως χρήση γης την κατοικία και ταυτόχρονα το ύψος τους είναι μικρότερο των 5 μέτρων. Τα αποτελέσματα είναι τα id των ζητούμενων κτηρίων.

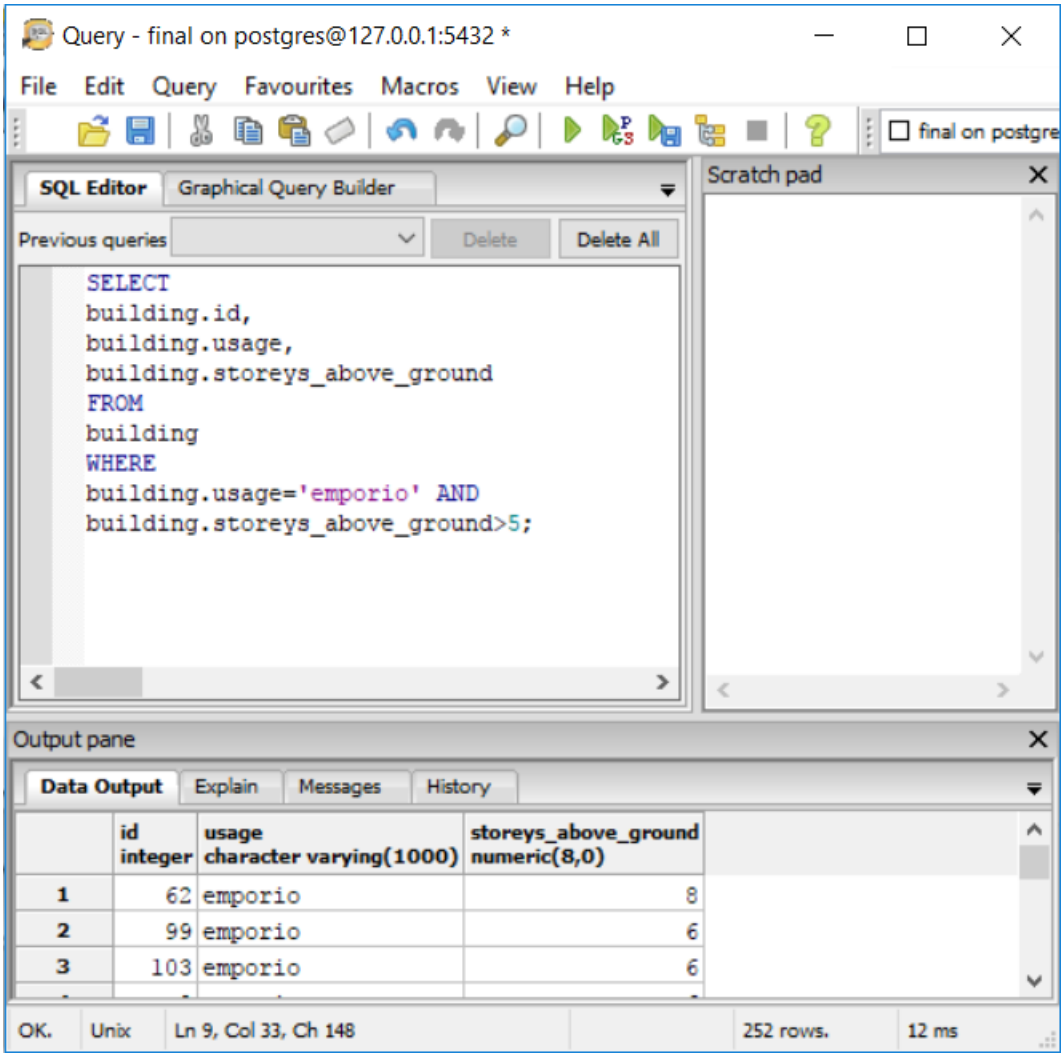


Εικόνα 32: Export (iii) ερωτήματος. Ποιά κτήρια έχουν ως χρήση γης την κατοικία και παράλληλα το ύψος αυτών είναι μικρότερο από 5 μέτρα; (πηγή: PostgreSQL)

Το αποτέλεσμα του τρίτου ερωτήματος που θέσαμε είναι δύο κτήρια (βλ. εικόνα 21).

Εικόνα 33: 2 κτήρια με χρήση γης την κατοικία και παράλληλα ύψος μικρότερο από 5 μέτρα. Οπτική αναπαράσταση αποτελεσμάτων του τρίτου ερωτήματος. (πηγή: Google Earth)

❒ Τέλος, ζητήσαμε από την βάση να μας δώσει ως export τα κτήρια (building.id), τα οποία είναι τουλάχιστον εξαώροφα και έχουν ως κυρίαρχη χρήση γης το εμπόριο.



Εικόνα 34: Export (iv) ερωτήματος. Ποιά κτήρια έχουν ως χρήση γης το εμπόριο και παράλληλα έχουν πάνω από 5 ορόφους; (πηγή: PostgreSQL)

Με μωβ χρώμα στην εικόνα 36, φαίνονται τα κτήρια με κυρίαρχη χρήση γης το εμπόριο και αριθμό ορόφων μεγαλύτερο του 5.

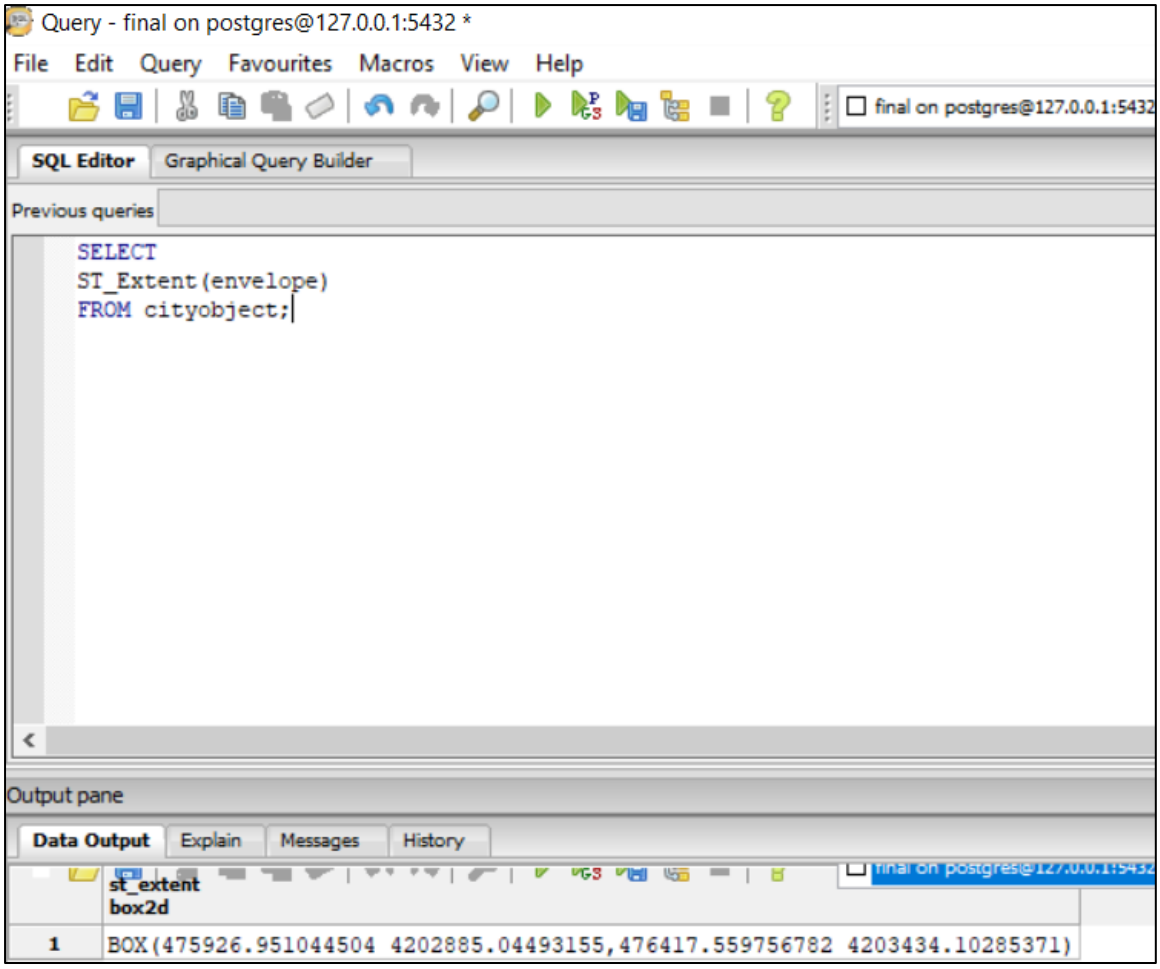
Εικόνα 35: 36 κτήρια με χρήση γης 'εμπόριο' και παράλληλα αριθμό ορόφων μεγαλύτερο των 5. Οπτική αναπαράσταση αποτελεσμάτων του τρίτου ερωτήματος. (πηγή: Google Earth)

Πρέπει να σημειώσουμε ότι η κτηματολογική πληροφορία, δηλαδή τα fields, Usage, Fuction και Class που εμπεριέχεται στα μοντέλα CityGML δεν δέχεται τιμές χαρακτήρων αλλά τιμές σύμφωνα με το CityGML_ExternalCodeLists.xml. Ωστόσο για την δική μας διευκόλυνση σε ότι αφορά την επεξεργασία της πληροφορίας κάναμε τις αναγκαίες παρεμβάσεις σε κάθε κτήριο μέσα στον κώδικο στο πεδίο του building.usage.

4.2.2 Χωρικά Ερωτήματα

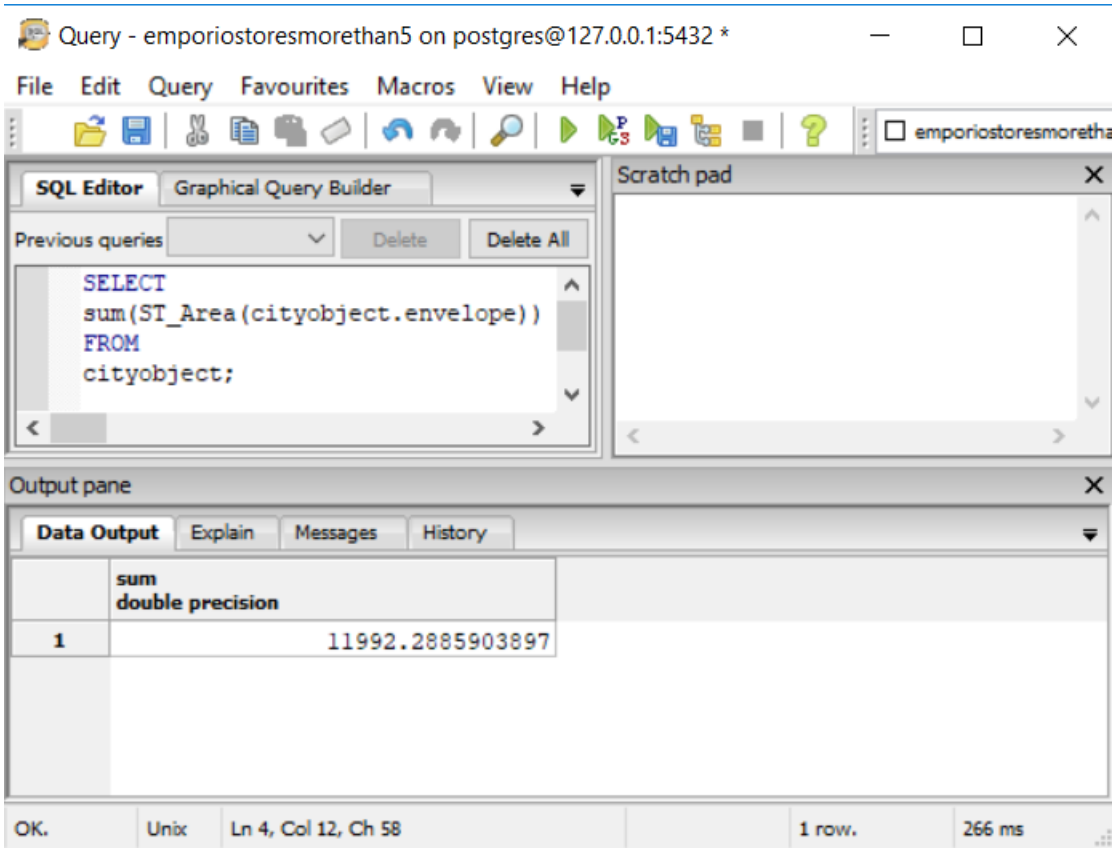
Πέρα από τα απλά ερωτήματα που μπορούμε που συντάξαμε στην PostgreSQL με την επέκταση PostGIS, μας δίνεται η δυνατότητα σύνταξης και χωρικών ερωτήσεων (spatial query). Τα χωρικά ερωτήματα που θέσαμε στην Βάση Δεδομένων αναφέρονται παρακάτω:

- ❒ Ως πρώτο ερώτημα θέτουμε την ανεύρεση του πλαισίου οριοθέτησης της μοντελοποιημένης περιοχής μελέτης της βάσης δεδομένων. Για αυτό το ερώτημα εφαρμόστηκε η χωρική συνάρτηση 'ST_Extent' στη στήλη 'envelope', η οποία αφορά το γεωμετρικό ανάπτυγμα των αντικειμένων. Το αποτέλεσμα αυτής της ερώτησης είναι οι συντεταγμένες X και Y του βορειοδυτικού και του νοτιοδυτικού άκρου ενός νοητού πλαισίου που καλείται BOX.



Εικόνα 36: Export (i) spatial query, ποιο είναι το πλαίσιο οριοθέτησης της μοντελοποιημένης περιοχής μελέτης; (πηγή: PostgreSQL/PostiGIS)

- Οι δυνατότητες που προσφέρει στον χρήστη-μελετητή το εργαλείο-επέκταση PostGIS φαίνονται και στο παρακάτω χωρικό ερώτημα. Πιο αναλυτικά, τα παραπάνω απλά ερωτήματα που θέσαμε στην βάση δεδομένων έχουν αποθηκευτεί και μπορούμε να συντάξουμε ερωτήματα στο περιβάλλον τους. Δηλαδή, στο τέταρτο απλό ερώτημα που αναζητήσαμε τα κτήρια με επικρατούσα χρήση γης-χρήση ισογείου το 'εμπόριο' τα οποία να έχουν παράλληλα αριθμό ορόφων μεγαλύτερο των πέντε, τώρα αναζητούμε το εμβαδό της συνολικής επιφάνειας που καταλαμβάνουν αυτά τα κτήρια συνολικά.



Εικόνα 37: Export (ii) spatial query, ποιο είναι εμβαδό της συνολικής επιφάνειας των κτηρίων που επαληθεύουν τις συνθήκες του απλού ερωτήματος iv; (πηγή: PostgreSQL/PostiGIS)

Σαν γενικότερο συμπέρασμα, ύστερα και από την διαδικασία σύνταξης των ερωτημάτων στην βάση, γίνεται ξεκάθαρη η σημασία της τρισδιάστατης μοντελοποίησης με το schema CITYGML και τα εργαλεία 3DCityDataBase και PostgreSQL. Πέρα από την οπτική απεικόνιση και την εύκολη μελέτη του παραγόμενου μοντέλου μέσω Google Earth, η μέθοδος αυτή διευκολύνει τον χρήστη να επεξεργαστεί τα δεδομένα που περιέχουν οι πίνακες της βάσης δεδομένων. Έτσι δηλαδή, μπορεί να φιλτραριστεί κάθε χωρική και κτηματολογική πληροφορία που περιέχει το μοντέλο και να εμφανιστεί μέσω των ερωτημάτων οτιδήποτε κρίνεται αναγκαίο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^{ο} : ΣΥΝΟΨΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

5.1 Σύνοψη

Την τελευταία δεκαετία, η απαίτηση για 3D πραγματική γεωχωρική και κτηματολογική πληροφορία έχει γίνει εξαιρετικά σημαντική παγκοσμίως. Η γεωμετρική και νομική πολυπλοκότητα ενός κτηρίου σε συνδυασμό με τις ταχείς αλλαγές στις οποίες υπόκειται το φυσικό περιβάλλον, καθιστούν μεγάλη την ανάγκη για αποσαφήνιση των σύγχρονων απαιτήσεων τόσο σε θέματα που αφορούν τον Δημόσιο όσο και τον Ιδιωτικό τομέα. Πιο συγκεκριμένα, στις αστικές περιοχές, εντοπίζεται η τάση εκμετάλλευσης του χώρου τόσο πάνω από την επιφάνεια της γης, όσο και κάτω αυτής. Έτσι, πολύπλοκα αντικείμενα με τρισδιάστατες ιδιότητες, είναι δύσκολο έως ακατόρθωτο να καταγραφούν και να αποσαφηνιστούν πλήρως στο παραδοσιακό δισδιάστατο σύστημα Κτηματολογίου. Επιπλέον, η δισδιάστατη κτηματολογική πληροφορία δεν περιλαμβάνει την γραφική αναπαράσταση και μεταφορά της κτηματολογικής πληροφορίας σε τρισδιάστατο περιβάλλον. Αναλυτικότερα, σε πολύμορφες αστικές περιοχές, έχουμε να αναλογιστούμε την ανάπτυξη ενός 3D κτηματολογικού μοντέλου στο οποίο τα ιδιοκτησιακά δικαιώματα καθενός αποκτούν κατάλληλη τρισδιάστατη απεικόνιση είτε άνω είτε κάτω είτε επί της γης.

Η καταγραφή των δικαιωμάτων και των περιορισμών προϋποθέτει την έρευνα και την καταχώριση την γεωχωρικής πληροφορίας με κάθε αξιοπιστία. Όπως συμβαίνει και σε αρκετές ακόμα χώρες στις οποίες ισχύει το παραδοσιακό 2D Κτηματολόγιο, ούτε στην Ελλάδα μπορούν να εντάξουν στο σύστημα καταγραφής τους την 3D πληροφορία. Για να εισαχθεί μια 3D πληροφορία στο σύστημα κτηματολογικής καταγραφής, θα πρέπει αυτό να συμπεριλαμβάνει ένα 3D περιβάλλον. Ορισμένες πληροφορίες που απαιτούνται για την τρισδιάστατη καταγραφή, ήδη εμπεριέχονται στο υπάρχον Κτηματολόγιο. Ωστόσο, η τρισδιάστατη καταγραφή απαιτεί παραπάνω στοιχεία και σε διαφορετική μορφή από αυτή που ήδη τα χαρακτηρίζει. Αυτό μπορεί να είναι το πρώτο βήμα για την υλοποίηση της τρισδιάστατης βάσης δεδομένων που απαιτείται για την ανάπτυξη του 3D κτηματολογικού συστήματος που προστάζει η σύγχρονη εποχή και ιδιαίτερα η πολυπλοκότητα του ελλαδικού χώρου.

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά την τρισδιάστατη μορφή μοντελοποίησης μίας περιοχής στο κέντρο της Αθήνας, με χρήση CityGML προτύπου, σε επίπεδο λεπτομέρειας LOD1, με ένα συνδυασμό λογισμικών. Για την συγγραφή του αναγκαίου κώδικα σε XML γλώσσα κατά τις προδιαγραφές του CityGML, έγινε χρήση του λογισμικού FME. Για την διαχείριση της πληροφορίας του μοντέλου χρησιμοποιήσαμε την σχεσιακή/χωρική Βάση Δεδομένων PostgreSQL με δομή κατά 3DCityDataBase. Με το εργαλείο του 3DCityDataBase, το 3DCityDatabase importer/Exporter ορίζεται η σημασιολογία, η τοπολογία ,η εμφάνιση και η γεωμετρία των αντικειμένων του μοντέλου σε κάθε επιθυμητό επίπεδο λεπτομέρειας. Το λογισμικό πακέτο του 3DcityDataBase διαθέτει πολυδιάστατο

προγραμματισμό, με αποτέλεσμα να έχει την δυνατότητα να εισάγει, να διαβάζει, να εγκρίνει ως προς την δομή, να γράφει και να εξάγει αρχεία CityGML μετά από ενδεχόμενη επεξεργασία της αντίστοιχης βάσης χωρικών δεδομένων PostgreSQL αλλά και να εξάγει αρχεία KML/COLLADA, μέσω των οποίων καθίσταται δυνατή η τρισδιάστατη οπτικοπίηση των χωρικών αντικειμένων της αντίστοιχης βάσης δεδομένων σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, όπως το Google Earth. Με το πολύ σημαντικό εργαλείο - επέκταση της PostgreSQL, το PostGIS, δίνεται η δυνατότητα σύνταξης απλών και χωρικών ερωτημάτων στην βάση, ανάλογα με την πληροφορία που έχει εισαχθεί στους αντίστοιχους πίνακες. Επομένως γίνεται ξεκάθαρο πως αυτή η τεχνική μοντελοποίησης πέρα από την δημιουργία ενός κατάλληλου τρισδιάστατου μοντέλου ως προς την γεωμετρία, δίνει την δυνατότητα για χωρική ανάλυση και διαχείριση κάθε πληροφορίας που έχει εισαχθεί στην Βάση Δεδομένων.

Καταλήγοντας, σύμφωνα με την παραπάνω τεχνική μοντελοποίησης γίνεται ξεκάθαρο πως το πρότυπο CityGML στοχεύει στην αναπαράσταση και ανταλλαγή τρισδιάστατων μοντέλων πόλεων και όχι μόνο, με γεωμετρική, σημασιολογική, τοπολογική πληροφορία και ενισχύει την διαλειτουργικότητα μεταξύ διαφόρων λογισμικών. Ωστόσο η παραπάνω διαδικασία μοντελοποίησης κρίνεται σχετικά περίπλοκη και χρονοβόρα καθώς απαιτεί την χρήση πολλαπλών λογισμικών που πρέπει με επικοινωνήσουν μεταξύ τους. Παρά ταύτα, η εξοικείωση με τα λογισμικά και τα τις διαδικασίες ελαχιστοποιεί σε μεγάλο βαθμό το κομμάτι του χρόνου και συμβάλλει στην αποφυγή λαθών ή στην πιο έγκαιρη και έγκυρη αντιμετώπισή τους.

5.2 Προτάσεις για Μελλοντική έρευνα

Όπως έχει αναφερθεί παραπάνω, η απεικόνιση της τρισδιάστατης πληροφορίας με χρήση του προτύπου CityGML, αποτελεί μέχρι στιγμής μία όχι και τόσο διαδεδομένη μέθοδο για κτηματολογικές εφαρμογές. Είναι μία σύγχρονη αντιμετώπιση μοντελοποίησης με την οποία όμως, οι χρήστες δεν είναι ακόμη εξοικειωμένοι.

Ωστόσο πέρα από την εξοικείωση των χρηστών με το πρότυπο, υπάρχουν ζητήματα τα οποία απαιτούν άμεσα περαιτέρω έρευνα και διευκρινήσεις. Παραδείγματος χάρη με την χρήση του CityGML προτύπου για κτηματολογικές εφαρμογές, παρατηρούνται γεωμετρικές και χωρικές διαφορές. Δηλαδή τα φυσικά κτήρια καθορίζονται από τους τοίχους, ενώ τα δικαιώματα επί αυτών είναι νοητά και κάποιες φορές δεν περιγράφονται σωστά. Θα πρέπει λοιπόν να ενσωματωθεί η φυσική πραγματικότητα (χώρος) στην νομική πραγματικότητα(δικαιώματα). Η επίτευξη του παραπάνω θα αποσκοπούσε σε πολλά οφέλη για το Κτηματολόγιο και γενικότερα για οργάνωση κάθε τέτοιου είδους πληροφορίας μίας περιοχής. Σε καμία περίπτωση η εξέλιξη του τρισδιάστατου Κτηματολογίου δεν σημαίνει τον παραγκωνισμό του δυσδιάστατου.

Το δεύτερο, θα είναι υποσύνολο του πρώτου στο μέλλον. Ως τότε, τα δύο συστήματα πρέπει να συνεργάζονται για κάθε είδους απαιτήσεις.

Η μεγαλύτερη πρόκληση για το μέλλον είναι η ενσωμάτωση του στοιχείου του χρόνου στα χωρικά δεδομένα (4D Κτηματολόγιο). Αυτό είναι ένα πεδίο έρευνας, για το οποίο ήδη διαδραματίζονται έρευνες και μελέτες ακόμα και σήμερα, ωστόσο απαιτείται χρόνος για την ολοκλήρωσή τους (Τράνακα Π, 2017).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

3D City Database. (n.d.). Ανάκτηση από https://www.3dcitydb.org/3dcitydb/3dcitydbhomepage/

Biljecki F, Ledoux H, Stoter J. (2017). Generating 3D city models without elevation data. *Computers, Environment and Urban Systems 64*, σσ. 1-20.

Biljecki F, Ledoux H, Stoter J, Vosselman G. (2016, June). The variants of an LOD of a 3D building model and their influence on spatial analyses. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, σσ. 42-56.

Biljecki F. · PhD dissertation · Delft University of Technology. (2017, May). Level of detail in 3D city models.

Cave-Ayland M, Obe R, Park B, Ramsey P, Santilli S. (n.d.). *PostGIS 2.0 Manual.* Ανάκτηση από Postgis.net: http://postgis.org/documentation/

CityGML Homepage. (2016). Ανάκτηση από www.citygml.org: https://www.citygml.org/ongoingdev/tudelft-lods/

Drobež P, Fras M, Ferlan M, Lisec A. (2016, November 9). Transition from 2D to 3D real property cadastre: The case of the. *Computers, Environment and Urban Systems*.

Gröger G, Kolbe T, Nagel C, Häfele K. (2012). *OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard, OpenGIS® Encoding Standard.* Copyright © 2012 Open Geospatial Consortium.

Kitsakis D, Greece, Paasch M. and Paulsson J, Sweden, Navratil G, Austria, Vucic N, Croatia, Karabin M, Poland, Tenorio Carneiro A, Brazil and El-Mekawy M, Sweden. (2016, October 18-20). 3D Real Property Legal Concepts and Cadastre:A Comparative Study of Selected Countries to Propose a Way Forward. *5th International FIG 3D Cadastre Workshop*.

Kolbe T. (2008). *Representing and Exchanging 3D City Models with CityGML.* 3D geo-information sciences.

Oosterom P. & Fendel E. (2014). *Proccedings.* Copenhagen: 4th INTERNATIONAL WORKSHOP ON 3D CADASTRES.

OSGeoLive. (n.d.). *OSGeo.* Ανάκτηση από https://live.osgeo.org/el/quickstart/postgis_quickstart.html

Papaefthymiou M, Labropoulos A, Zentelis P. (2004, May 22-27). 3D Cadastre in Greece, Legal, Physical and Practical Issues. Application on Santorini Island. *FIG Working Week*.

Rokos D. (2001). Conceptual Modelling of Real Property Objects for the Hellenic Cadastre. *International workshop on 3D Cadastrs, Registration of properties in strata* (σσ. 137-155). Delf.Proccedings.

Soave M. (2013). *Use of CityGML standard in the context of Smart Cities.* Ανάκτηση από https://www.slideshare.net/iSCOPEProject/citygml-standard-4-smartcity

Αρβανίτης Α. (2014). *Κτηματολόγιο 2020, Το Κτηματολόγιο ως σύστημα διοίκησης γης και διαχείρησης γεωπληροφορίας.* Θεσσαλονίκη: Ζήτη.

Δημοπούλου Ε. (2015). *nD ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ, ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ-ΑΝΑΠΤΥΞΗ-ΠΡΟΤΥΠΑ-ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ.* Αθήνα: Kallipos.

ΕΚΧΑ Α.Ε. (2018, Ιανουάριος 19). *http://www.ktimatologio.gr*. Ανάκτηση από Εθνικό Κτηματολόγιο & Χαρτογράφηση Α.Ε: http://www.ktimatologio.gr/Pages/Default.aspx

ΕΚΧΑ Α.Ε. (2018, Ιανουάριος 8). *http://www.ktimatologio.gr*. Ανάκτηση από ΕΘΝΙΚΟ ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ & ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ: http://www.ktimatologio.gr/aboutus/Pages/LqYyvusGBh2JgNdw.aspx

Μπακογιάννης Ε. (2015). *Footprints περιοχής μελέτης, κέντρο Αθήνας, εργασία στα πλαίσια του μαθήματος Πολεδομίας.* ΕΜΠ.

Σωτηροπούλου Β, Χανιωτάκη Μ. (2014). *Διπλωματική Εργασία: Το Εθνικό Κτηματολόγιο ως Εργαλείο Ανάπτυξης – Το παράδειγμα της κτηματογράφησης του Πύργου Ηλείας.* ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ: ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ.

Τράνακα Π. (2017). *ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΚΑΙ ΝΟΜΙΚΕΣ ΠΑΡΕΜΒΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟΥ ΠΟΛΛΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.* Θεσσαλονίκη: ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ.

Τσαγγούρη Κ, Μαντά Δ. (2017). Ενσωμάτωση Ενεργειακών Δεδομένων σε CityGML Μοντέλο Πόλης. Αθήνα: 5ο Πανελλήνιο Συνεδριο.