



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

3D CITY MODELING ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΛΕΥΚΑΔΑΣ

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΦΟΙΤΗΤΗ: ΚΟΝΙΔΑΡΗΣ ΒΗΣΣΑΡΙΩΝ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΔΗΜΟΠΟΥΛΟΥ ΕΦΗ

ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, 2024



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF RURAL AND SURVEYING ENGINEER AND
GEOINFORMATICS ENGINEERING

DIPLOMA THESIS

3D CITY MODELING APPLIED TO THE CITY OF LEFKADA

STUDENT: KONIDARIS VISSARION

SUPERVISOR: DIMOPOULOU EFI

PROFESSOR OF NTUA

ATHENS, 2024

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στον τομέα Τοπογραφίας της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και σηματοδοτεί την ολοκλήρωση του κύκλου των προπτυχιακών μου σπουδών.

Η εργασία αυτή ήρθε εις πέρας με την βοήθεια πολλών προσώπων του ακαδημαϊκού χώρου και όχι μόνο. Θα ήθελα να ευχαριστήσω την Καθηγήτρια ΕΜΠ, κ. Έφη Δημοπούλου, για την καθοδήγηση και την επίβλεψη της εργασίας.

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

Τέλος, θα ήθελα 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

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	7
ABSTRACT	8
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
Αρκτικόλεξα	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ	12
<i>Τρισδιάστατη μοντελοποίηση και τα μοντέλα της</i>	12
1.1.1 Γενικά στοιχεία	12
<i>Μοντέλα της τρισδιάστατης μοντελοποίησης</i>	13
1.1.2.1 3D Γεωμετρικά Μοντέλα	13
1.1.2.2 3D Τοπολογικά Μοντέλα	13
1.1.2.3 3D Σημασιολογικά Μοντέλα	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: 3D ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΚΑΙ ΔΙΑΤΗΡΗΤΕΑ	15
2.1 3D Κτηματολόγιο	15
2.2 Πλαίσιο του 3D Κτηματολογίου	16
2.3 Είδη 3D Κτηματολογίου	17
2.3.1 Πλήρες 3D Κτηματολόγιο	17
2.3.2 Υβριδικό 3D Κτηματολόγιο	17
2.3.3 3D Σύνδεσμοι Κτηματολογίου	17
2.4 Ανάγκη δημιουργίας 3D Κτηματολογίου	18
2.5 Διατηρητέα	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: CITYGML	21
3.1 Εισαγωγή στο CITYGML	21
3.2 Επίπεδα λεπτομέρειας (LODs)	22
3.3 Οργάνωση του CityGML	24
3.4 Μοντέλο Γεωμετρίας CityGML	25
3.5 Τοπολογία μοντέλου CityGML	26
3.6 Επεκτασιμότητα του μοντέλου CityGML	27
3.7 Στόχος CityGML	28
3.8 3DCity DataBase	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ 3D CITY MODELLING	30
4.1 Αντικείμενο διπλωματικής εργασίας	30
4.2 Περίληψη διαδικασίας	30
4.3 Δημιουργία Βάσης Δεδομένων στην PostgreSQL κατά το 3DCityDataBase schema	34

4.4 FME (Feature Manipulation Engine).....	38
4.5 Διαδικασία στο FME.....	43
4.6 FME Data Inspector.....	46
4.7 Αλλαγή χρωματισμού στο περιβάλλον Citygml	48
4.8 Οπτικοποιήσεις μέσω του Google Earth	49
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΝΟΨΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	56
5.1 Σύνοψη.....	56
5.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	57
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	59

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Όλο και πιο συχνά, εμφανίζεται η ανάγκη μιας πιο λεπτομερής καταγραφής του χώρου. Το ήδη υπάρχον σύστημα καταγραφής, το εθνικό κτηματολόγιο, μπορεί να καταγράψει έως δυο διαστάσεις, με αποτέλεσμα πολλές πληροφορίες να χάνονται. Σε αυτό το σημείο, κρίνεται αναγκαία η δημιουργία ενός νέου συστήματος καταγραφής, το τρισδιάστατο κτηματολόγιο. Πολλές χώρες του εξωτερικού, έχουν αναπτύξει κάποια πρότυπα σε πειραματικό στάδιο. Η εργασία αυτή αφορά την τρισδιάστατη απεικόνιση του κέντρου της πόλης της Λευκάδας, με πρόσθετη πληροφορία την απεικόνιση των διατηρητέων κτισμάτων της πόλης. Η πραγματοποίηση αυτού έγινε με την βοήθεια του λογισμικού CityGML, ενώ έγινε χρήση και των προγραμμάτων Autocad, QGIS και 3DCityDataBase. Στο θεωρητικό μέρος, θα αναλύσουμε την έννοια του Εθνικού Κτηματολογίου, του 3D Κτηματολογίου καθώς και των διατηρητέων κτηρίων. Τέλος θα αναλύσουμε τα αποτελέσματα.

ABSTRACT

More and more often, the need for a more detailed recording of space arises. The existing registration system, the National Cadastre of Greece, can record up to two dimensions, with the result that a lot of information is lost. At this point, it is deemed necessary to create a new registration system, the 3D Cadastre. Many countries have developed some models at an experimental stage. This diploma thesis proposes the three-dimensional depiction of the city center of Lefkada, with additional information the depiction of the preserved buildings of the city. This was done with the help of CityGML software, while the Autocad, QGIS and 3DCityDataBase programs were also used. In the theoretical part, we will analyze the concept of the National Land Registry, the 3D Land Registry as well as the preserved buildings. Finally we will analyze the results.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (Σ.Γ.Π) είναι ένα εργαλείο που χρησιμοποιείται σε πολλούς επιστημονικούς κλάδους, διότι έχουν τη δυνατότητα να ενσωματώνουν τα χωρικά με τα περιγραφικά δεδομένα, κάτι το οποίο συμβάλλει στην υλοποίηση της χωρικής ανάλυσης. Επιτρέπει στους χρήστες να αποτυπώσουν το πραγματικό κόσμο, να αναλύσουν τα χωρικά δεδομένα (spatial data), να τα προσαρμόσουν και να τα αποδώσουν χαρτογραφικά. Η δισδιάστατη εμφάνιση των γεωγραφικών πληροφοριών γίνεται σε μεγάλο βαθμό κατανοητή, παρόλο που ο πραγματικός κόσμος είναι 3D και περιέχει περισσότερες πληροφορίες. Με τη πάροδο του χρόνου, παρατηρούμε ότι ο ορισμός ενός 3D Σ.Γ.Π. είναι καλύτερος από αυτόν ενός 2D, λόγω της σημαντικής διαφοράς ότι η πληροφορία σχετίζεται πλέον με 3D χωρικά φαινόμενα. Στον τομέα της 3D απεικόνισης, λοιπόν, παρουσιάζεται ραγδαία ανάπτυξη, αφού οι περιορισμοί στη χρήση της 3D πληροφορίας (όπως ισχύς των υπολογιστών και εργαλεία για 3D απεικόνιση) έχουν σχεδόν εξαλειφθεί και η ανάπτυξη των 3D αναπαραστάσεων αυξάνεται με γρήγορους ρυθμούς. Σπουδαίο ρόλο σε αυτές τις εξελίξεις παίζουν τα νέα διαδικτυακά απεικονιστικά περιβάλλοντα, όπως Google Earth και Microsoft Virtual Earth, τα οποία δίνουν στο κοινό τη δυνατότητα προβολής και απεικόνισης 3D πληροφορίας με απλό και κατανοητό τρόπο, ακόμα και στους ανθρώπους που δεν έχουν ασχοληθεί ξανά με τέτοιου είδους προγράμματα. Τα τελευταία χρόνια παρουσιάζεται επιτακτική ανάγκη κάλυψης των λειτουργικών και χωρικών αναγκών μιας πόλης και η αναπαράσταση του τρισδιάστατου (3D) κόσμου μπορεί να αποτελέσει το θεμέλιο της. Ένα από τα πιο γνωστά περιβάλλοντα που χρησιμοποιούν τα 3D χωρικά μοντέλα είναι το CityGML (City Geography Markup Language).

Το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αφορά την τρισδιάστατη μορφή μοντελοποίησης ενός τμήματος στο κέντρο της πόλης της Λευκάδας, με χρήση CityGML σε επίπεδο λεπτομέρειας LOD1, με πρόσθετη πληροφορία την επισήμανση των διατηρητέων κτηρίων της πόλης.

Στο πρώτο κεφάλαιο αναλύεται η έννοια της τρισδιάστατης μοντελοποίησης και τα είδη των 3D μοντέλων της.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά και περιγραφή του 3D κτηματολογίου. Δηλαδή των πλεονεκτημάτων της εφαρμογής του και εντοπίζονται τα είδη των 3D κτηματολογικών εννοιολογικών μοντέλων που μπορούν να υποστηριχτούν και οι αλλαγές που μπορούν να επιφέρουν αυτά στον σύγχρονο κόσμο. Αναλύεται, επίσης, και η έννοια των διατηρητέων.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στο περιβάλλον CityGML. Συγκεκριμένα αναλύονται τα κυριότερα στοιχεία του, όπως τα πέντε διαφορετικά επίπεδα λεπτομέρειας, τα οποία ονομάζονται Level Of Detail (LOD) και ξεκινάνε από το LOD0 (ελάχιστη πληροφορία) και καταλήγουν στο LOD4 (μεγάλη ποσότητα πληροφορίας).

Έπειτα, διευκρινίζεται η γεωμετρία, η τοπολογία αλλά και η σημασιολογία του μοντέλου γεγονός που το καθιστά ιδιαίτερα ενδιαφέρον. Και γίνεται λόγος για τη γλώσσα UML, καθώς και για τις μορφές αρχείων gml και xml.

Στο τέταρτο και τελευταίο κεφάλαιο ακολουθεί η περιγραφή της μεθόδου δημιουργίας του τρισδιάστατου μοντέλου. 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.

Αρκτικόλεξα

2D	2-Dimensional (Δισδιάστατος)
3D	3-Dimensional (Τρισδιάστατος)
ADE	Application Domain Extension
BIM	Building Information Modeling
CAD	Computer-Aided Design (Σύστημα Ηλεκτρονικής Σχεδίασης)
CityGML	City Geography Markup Language
COLLADA	Collaborative Design Activity
DB	Database
DTM	Digital Terrain Model (Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους)
ESPG	European Petroleum Survey Group
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
SPSHG	Spreadsheet Generator
SRID	Spatial Reference Identifier
UML	Unified Modeling Language
XML	eXtensible Markup Language
ΟΤ	Οικοδομικό Τετράγωνο
ΣΔΒΔ	Σύστημα Διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων
ΣΓΠ	Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών
ΨΜΕ	Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ

Τρισδιάστατη μοντελοποίηση και τα μοντέλα της

1.1.1 Γενικά στοιχεία

3D μοντελοποίηση ή 3D Modelling ονομάζεται η διαδικασία κατά την οποία δημιουργείται μια μαθηματική εκπροσώπηση κάθε τρισδιάστατης επιφάνειας άψυχων ή έμψυχων αντικειμένων μέσω εξειδικευμένου λογισμικού. Τα παραγόμενα προϊόντα είναι ένα 3D μοντέλα, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με διάφορες γεωμετρικές οντότητες όπως τρίγωνα, ευθύγραμμα τμήματα, καμπύλες, κλπ ενώ μπορούν να δημιουργηθούν είτε χειροκίνητα είτε αυτόματα.

Οι βασικές κατηγορίες 3D μοντέλων είναι τρεις.

Αρχικά έχουμε τα Στερεά- Συμπαγή (Solid) που καθορίζουν τον όγκο του αντικειμένου που αντιπροσωπεύουν. Είναι πιο ρεαλιστικά, αλλά ταυτόχρονα και πιο δύσκολο να δημιουργηθούν. Τα στερεά μοντέλα χρησιμοποιούνται κυρίως για CAD περιβάλλοντα και για εξειδικευμένες εφαρμογές γραφικών.

Στη συνέχεια υπάρχουν τα μοντέλα που όλοι έχουμε δει χωρίς να το ξέρουμε. Είναι τα Οριοθετημένα (Shell/ boundary) τα οποία χρησιμοποιούνται σε ταινίες και παιχνίδια. Σε αντίθεση με τα Στερεά μοντέλα, τα μοντέλα αυτά αντιπροσωπεύουν την επιφάνεια, π.χ. το όριο ενός αντικειμένου, και όχι τον όγκο του. Ενώ παράλληλα είναι και πιο εύκολα στην χρήση.

Τέλος έχουμε τα Σημαιολογικά μοντέλα τα οποία έχουν δημιουργηθεί για γρήγορη και ρεαλιστική απεικόνιση. Τέτοια μοντέλα παρέχουν εκτεταμένα εργαλεία για τη δημιουργία μια γραφικής σκηνής (διατηρώντας υφές, φωτισμό και κινούμενες εικόνες) και δεν λαμβάνουν υπόψη έγκυρα αντικείμενα ή ζητήματα δομών.

Η τρισδιάστατη μοντελοποίηση μπορεί να προσφέρει καλύτερα αποτελέσματα στον τομέα της κατασκευής αφού τα τρισδιάστατα μοντέλα μπορούν να τοποθετηθούν με διάφορους τρόπους στο χώρο, προσφέροντας έτσι ένα πλήθος διαφορετικών προοπτικών. Υιοθετώντας, λοιπόν, τις πρακτικές του Building Information Modeling (BIM) και της τρισδιάστατης μοντελοποίησης, ο χρόνος και το κόστος των κατασκευών μπορεί να μειωθεί σε μεγάλο βαθμό. Η ανθρωπότητα συνεχώς εξελίσσεται. Τα τελευταία χρόνια έχει αναπτυχθεί πολύ η ιδέα για έξυπνες πόλεις. Η τρίτη διάσταση είναι αυτή που αποτελεί το θεμέλιο για τη δημιουργία τέτοιου είδους πόλεων. Τέλος, ακόμα ένας τομέας που εμπλέκεται η τρισδιάστατη

μοντελοποίηση είναι το 3D Κτηματολόγιο. Ως 3D Κτηματολόγιο εννοούμε ένα σύστημα καταγραφής της γης, στο οποίο γίνεται αναφορά της τρίτης διάστασης των αντικειμένων, δηλαδή στο υψόμετρό τους και στον όγκο τους. Αυτή η τάση είναι επιτακτική λόγω της αυξημένης ανάγκης να αποσαφηνιστούν περιπτώσεις πολύπλοκης δομής, επικαλυπτόμενων κατασκευών και των σύνθετων εμπράγματων δικαιωμάτων επ' αυτών.

Μοντέλα της τρισδιάστατης μοντελοποίησης

1.1.2.1 3D Γεωμετρικά Μοντέλα

Αποτελούν, τα πιο απλά 3D μοντέλα, τα οποία διατηρούν τις συντεταγμένες μαζί με τα αντικείμενα. Είναι γρήγορα και απλά. Δημιουργούν μεγάλο όγκο δεδομένων, γιατί για παράδειγμα ένα ζεύγος συντεταγμένων μπορεί να επαναληφθεί πολλές φορές στην περιγραφή ενός χαρακτηριστικού. Για τους προμηθευτές των ΣΔΒΔ, η τρίτη διάσταση αποτελεί μια πραγματική πρόκληση. Κατά την πάροδο των χρόνων, η επιστημονική κοινότητα έχει πραγματοποιήσει μια μεγάλη σειρά από μελέτες για να διαπιστωθούν οι δυνατότητες αποθήκευσης, χωρικών ερωτημάτων και απεικόνισης αντικειμένων με τις τρισδιάστατες συντεταγμένες τους.

1.1.2.2 3D Τοπολογικά Μοντέλα

Για τα τρισδιάστατα τοπολογικά μοντέλα δεν υπάρχει προς το παρόν διαθέσιμη εφαρμογή για την τρισδιάστατη τοπολογία, παρότι είναι ένα αντικείμενο που έχει ερευνηθεί σε βάθος. Το μοντέλα αυτά απαιτούν αναγνωριστικές ιδιότητες για όλα τα στοιχεία, για τον ορισμό των χαρακτηριστικών και των σχέσεων που δημιουργούνται μεταξύ τους. Είναι χρήσιμα διότι επιτρέπουν συμπαγή αποθήκευση, διατηρούν συνέπεια των δεδομένων, αποφεύγουν τον πλεονασμό κατά την αποθήκευση, και πραγματοποιούν χωρικές αναλύσεις οι οποίες είναι εύκολο να εκτελεστούν. Μετά από εκτεταμένη έρευνα προτάθηκαν πολλά τρισδιάστατα μοντέλα όπως το 3D Formal Data Structure (3DFDS), το Urban Data Model (UDM), το Simplified Spatial Structure (SSS) και το Tetrahedral Network (TEN).

1.1.2.3 3D Σημασιολογικά Μοντέλα

Για να δημιουργήσουμε τρισδιάστατα αντικείμενα χρειαζόμαστε τόσο τη γεωμετρία, την τοπολογία όσο και τη σημασιολογία. Για να δημιουργηθεί ένα τρισδιάστατο μοντέλο πόλης είναι σημαντικό να ξέρουμε τα στοιχεία των

κτιρίων και του εδάφους. Το πρότυπο CityGML περιλαμβάνει θεματική σημασιολογία, 3D γεωμετρία και τοπολογία, επιφανειακά και υπέργεια χαρακτηριστικά. Αποτελεί, επίσης, το μόνο 3D πρότυπο που παρουσιάζει γεωμετρία, τοπολογία και σημασιολογία στα εικονικά 3D μοντέλα των πόλεων. Επιπλέον 3D σημασιολογικά μοντέλα που έχουν δημιουργηθεί και έχουν γίνει αποδεκτά ως πρότυπα είναι το North American Data Model (μοντέλο δεδομένων της βορείου Αμερικής) και η Geology Science Markup Language (GeoSciML) για την απεικόνιση γεωλογικών παρατηρήσεων. Πολλές από αυτές τις απεικονίσεις είναι παραδείγματα κατακερματισμού του αστικού περιβάλλοντος, χωρίς όμως τη χαρτογράφηση των 3D γεωμετρικών απεικονίσεων (Δημοπούλου, 2015).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: 3D ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΚΑΙ ΔΙΑΤΗΡΗΤΕΑ

2.1 3D Κτηματολόγιο

Το κτηματολόγιο παίζει έναν κρίσιμο ρόλο στην καταγραφή και διαχείριση των ακινήτων και των δικαιωμάτων ιδιοκτησίας εντός ενός κράτους. Παραδοσιακά, τα συστήματα κτηματολογίου έχουν περιοριστεί στην αναπαράσταση των ακινήτων σε δύο διαστάσεις, παρέχοντας βασικές πληροφορίες για τα όρια τους και τη νομική ιδιοκτησία. Ωστόσο, με την πρόοδο της τεχνολογίας, η εισαγωγή της τρίτης διάστασης έχει φέρει μια σημαντική μεταστροφή στο κτηματολόγιο, δημιουργώντας το 3D κτηματολόγιο.

Το 3D κτηματολόγιο επιτρέπει την οπτικοποίηση και αναπαράσταση των ακινήτων σε τρεις διαστάσεις, παρέχοντας πληροφορίες όχι μόνο για τα όριά τους, αλλά και για το ύψος των κτιρίων και τις γεωμετρικές λεπτομέρειες. Αυτή η προσθήκη της τρίτης διάστασης επιτρέπει μια πιο ακριβή και ολοκληρωμένη αναπαράσταση των ακινήτων, ξεκλειδώνοντας μια πληθώρα νέων δυνατοτήτων και εφαρμογών.

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα του 3D κτηματολογίου είναι η ικανότητά του να παρέχει μια πιο ρεαλιστική απεικόνιση των ακινήτων. Με την ενσωμάτωση πληροφοριών για το ύψος, το κτηματολόγιο μπορεί να παρουσιάσει μια πιο λεπτομερή και ζωντανή αναπαράσταση του κτισμένου περιβάλλοντος. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο στις αστικές περιοχές όπου υπάρχουν κτίρια με διάφορες υψομετρικές διαφορές. Επιτρέπει μια καλύτερη κατανόηση των χωρικών σχέσεων μεταξύ των ακινήτων, των υποδομών και των φυσικών χαρακτηριστικών, διευκολύνοντας τον αποτελεσματικό αστικό σχεδιασμό και ανάπτυξη.

Επιπλέον, το 3D κτηματολόγιο ενισχύει την ανάλυση και αξιολόγηση των ακινήτων. Με την ενσωμάτωση της κάθετης διάστασης, γίνεται δυνατή η αξιολόγηση παραγόντων όπως η έκθεση στον ήλιο, οι σκιαστικές επιδράσεις και η θέα από διάφορες οπτικές γωνίες. Αυτές οι πληροφορίες μπορούν να είναι πολύτιμες για διάφορους ενδιαφερόμενους, συμπεριλαμβανομένων αρχιτεκτόνων, αναπτυξιακών εταιρειών ακινήτων και αστικών σχεδιαστών, επιτρέποντάς τους να λαμβάνουν πιο ενημερωμένες αποφάσεις και να βελτιστοποιούν τη χρήση γης.

Επιπλέον, το 3D κτηματολόγιο συνεισφέρει στην αυξημένη διαφάνεια και προσβασιμότητα των πληροφοριών περί ακινήτων. Η οπτική αναπαράσταση των ακινήτων σε τρεις διαστάσεις καθιστά ευκολότερη την κατανόηση των πολύπλοκων διατάξεων ακινήτων από άτομα, επαγγελματίες και αρχές. Απλοποιεί τη διαδικασία εντοπισμού και επίλυσης θεμάτων που σχετίζονται με την ιδιοκτησία, όπως παραβάσεις ή διαφωνίες σχετικά με τα όρια, παρέχοντας μια σαφή και ευανάγνωστη αναπαράσταση της φυσικής πραγματικότητας στο έδαφος.

Η υλοποίηση ενός 3D κτηματολογίου, ωστόσο, συνεπάγεται με προκλήσεις. Η δημιουργία και η διατήρηση ακριβών και ενημερωμένων τρισδιάστατων μοντέλων ακινήτων απαιτεί σημαντική συλλογή, επεξεργασία και επικύρωση δεδομένων. Η ενσωμάτωση με υπάρχοντα συστήματα διαχείρισης ακινήτων και η διασφάλιση της αλληλεπιδραστικότητας με άλλες πηγές δεδομένων μπορεί επίσης να αποτελέσουν περίπλοκες διαδικασίες. Επιπλέον, πρέπει να αντιμετωπιστούν προβληματισμοί περί απορρήτου και ασφάλειας δεδομένων για την προστασία ευαίσθητων πληροφοριών για τα ακίνητα.

Παρά τις προκλήσεις αυτές, τα οφέλη του 3D κτηματολογίου είναι αδιαμφισβήτητα. Παρέχει μια πιο συνολική και λεπτομερή τεκμηρίωση των ακινήτων, υποστηρίζοντας καλύτερη λήψη αποφάσεων, αποτελεσματική διαχείριση της γης και βιώσιμη αστική ανάπτυξη. Καθώς η τεχνολογία συνεχίζει να προχωρά, το δυναμικό για περαιτέρω καινοτομίες και εφαρμογές στο 3D κτηματολόγιο είναι τεράστιο.

Συνοψίζοντας, το 3D κτηματολόγιο αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό άλμα προς την τεκμηρίωση και διαχείριση των ακινήτων. Η ικανότητά του να αποτυπώνει και να απεικονίζει ακίνητα σε τρεις διαστάσεις παρέχει πληθώρα οφελών, από βελτιωμένη χωρική κατανόηση έως ενισχυμένη λήψη αποφάσεων. Καθώς οι χώρες υιοθετούν το δυναμικό του 3D κτηματολογίου, μπορούμε να αναμένουμε να δούμε πιο αποτελεσματικά, διαφανή και βιώσιμα συστήματα διαχείρισης γης που εξυπηρετούν καλύτερα τις ανάγκες των ατόμων, των κοινοτήτων και της συνολικής κοινωνίας.

2.2 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 να προσδιορίζονται τα ιδιοκτησιακά όρια πέρα από τα παραδοσιακά δισδιάστατα όρια. Καταγράφει, επίσης, τα δικαιώματα επί της γης και τον τρόπο που αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν.
- Το Κτηματολογικό Πλαίσιο αφορά τον τρόπο καταγραφής των δικαιωμάτων και των περιορισμών στις ιδιοκτησίες. Ασχολείται, με το πώς το τρισδιάστατο αντικείμενο θα παρέχει πληροφορίες σχετικά με το νομικό καθεστώς.
- Το Τεχνικό Πλαίσιο αναφέρεται στην έρευνα για την αναζήτηση της κατάλληλης αρχιτεκτονικής του συστήματος, η οποία είναι απαραίτητη για την στήριξη κτηματολογικών εγγράφων σε 3D μοντέλα.

2.3 Είδη 3D Κτηματολογίου

Σύμφωνα με την Stoner (2002), μπορούμε να διακρίνουμε τρεις θεμελιώδεις έννοιες (Πλήρες 3D Κτηματολόγιο, Υβριδικό 3D Κτηματολόγιο και 3D σύνδεσμοι) οι οποίες ερμηνεύουν το περιεχόμενο της πληροφορίας του 3D Κτηματολογίου.

2.3.1 Πλήρες 3D Κτηματολόγιο

Στο πλήρες 3D Κτηματολόγιο τα δικαιώματα δεν εφαρμόζονται πλέον σε γεωτεμάχια, αλλά σε καλώς ορισμένα μετρημένους όγκους. Δηλαδή, υιοθετείται η έννοια των ιδιοκτησιακών δικαιωμάτων στον τρισδιάστατο χώρο, ο οποίος αποτελείται από 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.

2.3.2 Υβριδικό 3D Κτηματολόγιο

Με την υβριδική λύση μπορούμε να διατηρήσουμε το ήδη υπάρχον δισδιάστατο κτηματολόγιο και να ενσωματώσουμε τις πληροφορίες των τρισδιάστατων περιπτώσεων ως μέρος των 2D κτηματολογικών γεωγραφικών δεδομένων. Στο σύστημα αυτό δεν αλλάζει ο νομικός και ο κτηματολογικός χαρακτήρας της ιδιοκτησίας, σε αντίθεση με το πλήρες 3D κτηματολογικό σύστημα.

2.3.3 3D Σύνδεσμοι Κτηματολογίου

Η κατηγορία αυτή πραγματεύεται την διατήρηση του δισδιάστατου Κτηματολογίου με αναφορές σε ψηφιακές ή σε αναλογικές παρουσιάσεις των τρισδιάστατων καταστάσεων. Διατηρεί τις 3D απεικονίσεις ξεχωριστά και δεν ενσωματώνονται στα γεωγραφικά δεδομένα του κτηματολογίου. Τα εμπράγματα δικαιώματα επί των ακινήτων εφαρμόζονται και καταγράφονται στα δισδιάστατα γεωτεμάχια και οποιαδήποτε τρισδιάστατη πληροφορία μπορεί να προστεθεί με την εγγραφή μιας 3D σημείωσης στο γεωτεμάχιο.

2.4 Ανάγκη δημιουργίας 3D Κτηματολογίου

Τα τελευταία χρόνια η μεγάλη αύξηση του πληθυσμού και η συσσώρευση του σε μεγάλα αστικά κέντρα έχει δημιουργήσει την ανάγκη για μια πιο πλήρη και λεπτομερή περιγραφή και καταγραφή της ακίνητης περιουσίας.

Είναι λοιπόν σαφές πως η πληροφορία που παρέχεται από το ήδη υπάρχον σύστημα δεν επαρκεί. Το 3D Κτηματολόγιο έχει ως στόχο να καλύψει αυτό το χάσμα με την τρισδιάστατη προσέγγιση της κτηματολογικής καταγραφής.

Η ψηφιακή πληροφορία, την οποία προσφέρει το 3D κτηματολόγιο, παρέχει ασφαλέστερες και ταχύτερες δυνατότητες για ποιοτικούς ελέγχους, και διευκολύνει την μετάδοση, την ανταλλαγή και την ενσωμάτωση της πληροφορίας.

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.

2.5 Διατηρητέα

Τα διατηρητέα κτήρια, γνωστά επίσης ως κτήρια πολιτιστικής κληρονομιάς, αναδύονται ως αιώνιοι μάρτυρες του πλούσιου υφάσματος της ανθρώπινης ιστορίας και πολιτισμού. Αυτά τα αρχιτεκτονικά θαύματα, συχνά ενσαρκώνουν σημαντική ιστορική, αρχιτεκτονική ή πολιτισμική αξία, λειτουργούν ως χειροπιαστοί δεσμοί με το παρελθόν μας. Η διατήρηση αυτών των κτιρίων δεν είναι απλώς μια άσκηση στη συντήρηση, αλλά μια ουσιαστική ευθύνη για την προστασία της πολιτιστικής μας κληρονομιάς για τις μελλοντικές γενιές. Σε αυτό το άρθρο, εξερευνούμε τη σημασία των διατηρητέων κτηρίων και τα διάφορα οφέλη που προσφέρουν στην κοινωνία.

- **Ιστορική Σημασία:**

Τα διατηρητέα κτήρια παρέχουν μια χειροπιαστή σύνδεση με τους προγόνους μας και τα γεγονότα που διαμόρφωσαν τον κόσμο μας. Από αρχαία παλάτια και κάστρα έως παραδοσιακά σπίτια και αξιοθέατα, κάθε κτήριο φέρει μια μοναδική ιστορία. Με τη διάσωση αυτών των κτιρίων, εξασφαλίζουμε ότι οι μαθήματα, οι επιτυχίες και οι προκλήσεις των προηγούμενων γενεών παραμένουν προσβάσιμες για εμάς και τις μελλοντικές γενιές. Λειτουργούν ως ζωντανά αμφιθέατρα, μας διαφωτίζουν για τις ρίζες μας και παρέχουν ανεκτίμητες εισηγήσεις για την εξέλιξη των πολιτισμών.

- Αρχιτεκτονική Υπέροχη:

Τα διατηρήσιμα κτίρια αποτελούν σύμβολα ταυτότητας και αντανακλούν τη μοναδική κληρονομιά μιας συγκεκριμένης περιοχής ή κοινότητας. Ενσωματώνουν τις παραδόσεις, τα έθιμα και τις αξίες που καθορίζουν μια κοινωνία. Προστατεύοντας αυτά τα κτίρια, προστατεύουμε την πολιτιστική κληρονομιά των προγόνων μας και προωθούμε ένα αίσθημα υπερηφάνειας και ανοίκειας στις σύγχρονες κοινότητες. Τα διατηρητέα κτίρια συχνά χρησιμεύουν ως μέρη συγκέντρωσης για πολιτιστικά γεγονότα, εκθέσεις και εορτασμούς, ενισχύοντας την κοινωνική συνοχή και προωθώντας την πολιτιστική ποικιλομορφία.

- Τουριστικά και Οικονομικά Πλεονεκτήματα:

Τα διατηρητέα κτίρια έχουν σημαντικές οικονομικές επιπτώσεις, καθώς προσελκύουν τουρίστες από όλο τον κόσμο. Οι επισκέπτες ελκύνονται από τον μαγικό κόσμο των ιστορικών τοποθεσιών, επιδιώκοντας να εμβαθύνουν στις πλούσιες ιστορίες και εμπειρίες που προσφέρονται από αυτά τα αρχιτεκτονικά κοσμήματα. Ως αποτέλεσμα, ο πολιτιστικός τουρισμός διεγείρει τις τοπικές οικονομίες, δημιουργεί ευκαιρίες απασχόλησης και υποστηρίζει σχετικούς κλάδους όπως η φιλοξενία, η λιανική πώληση και οι μεταφορές.

- Περιβαλλοντική Αειφορία:

Η διατήρηση υπαρχόντων κτιρίων συμβάλλει στη βιώσιμη ανάπτυξη μειώνοντας την ανάγκη για νέα κατασκευή και τις συνακόλουθες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η ανακαίνιση και αναπροσαρμογή των διατηρητέων κτιρίων δεν μόνο διατηρεί την ιστορική και αρχιτεκτονική αξία, αλλά προωθεί επίσης την ενεργειακή αποδοτικότητα και τη μείωση των αποβλήτων. Με τη διατήρηση αυτών των δομών, αποφεύγουμε την κατανάλωση πόρων που απαιτείται για νέα κατασκευαστικά έργα, με αποτέλεσμα τη μείωση του αποτυπώματος άνθρακα του κτισμένου περιβάλλοντος.

- Προκλήσεις και Λύσεις:

Η διατήρηση των κτιρίων αυτών δεν είναι χωρίς προκλήσεις. Παράγοντες όπως φυσικές καταστροφές, πιέσεις από την αστική ανάπτυξη, παραμέληση και ανεπαρκής χρηματοδότηση αποτελούν σημαντικές απειλές για αυτές τις δομές. Ωστόσο, μέσω αποτελεσματικής νομοθεσίας, εκστρατειών ευαισθητοποίησης του κοινού, εταιρικών σχέσεων μεταξύ κρατικών φορέων και οργανισμών διατήρησης, καθώς και συμμετοχής της κοινότητας, μπορούμε να ξεπεράσουμε αυτές τις προκλήσεις. Είναι απαραίτητη μια συλλογική προσπάθεια για να διασφαλίσουμε τη μακροπρόθεσμη διατήρηση και τη συνεχή εκτίμηση της αρχιτεκτονικής μας κληρονομιάς.

Τα διατηρητέα κτίρια δεν είναι απλά αντικείμενα από το παρελθόν· είναι ζωντανές μαρτυρίες των ανθρώπινων επιτευγμάτων και της πολιτιστικής ποικιλομορφίας. Με την προστασία αυτών των δομών, διατηρούμε μια αντιληπτή σύνδεση με τις ρίζες μας, τρέφουμε μια αίσθηση ταυτότητας και παρέχουμε πολύτιμους εκπαιδευτικούς πόρους για τις μελλοντικές γενιές. Η διάσωση των διατηρήσιμων κτιρίων είναι μια επένδυση στην κοινή μας ιστορία και μια δέσμευση για την πολιτιστική αειφορία. Ας εκτιμήσουμε και προστατεύσουμε αυτούς τους αρχιτεκτονικούς θησαυρούς, αγκαλιάζοντας τη βαθιά σημασία τους στον διαμορφωτικό ρόλο τους για το παρόν και το μέλλον μας.

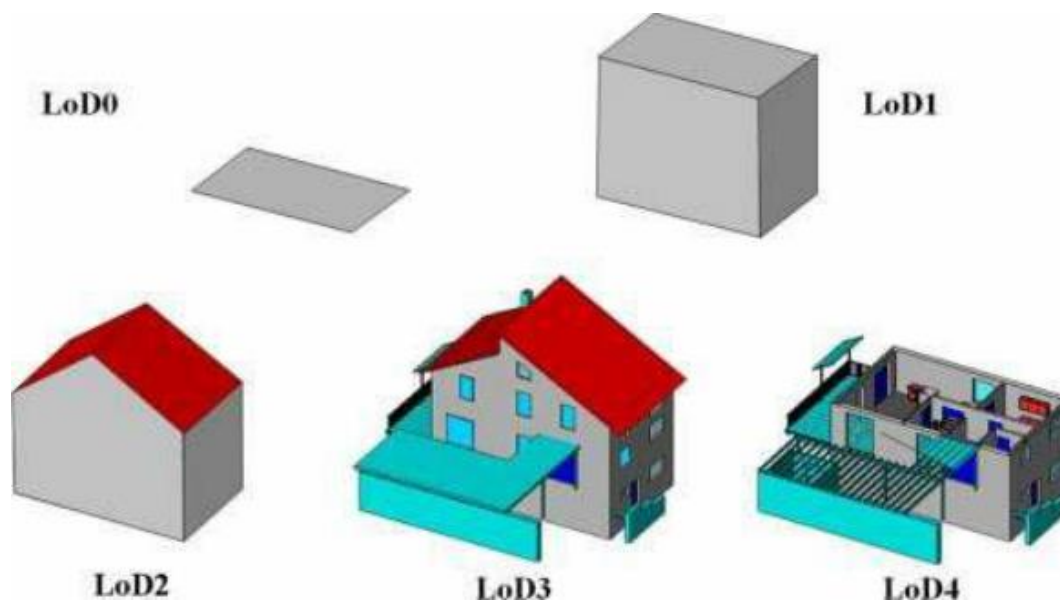
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: CITYGML

3.1 Εισαγωγή στο CITYGML

Το City Geography Markup Language (CityGML) είναι ένα τυποποιημένο μοντέλο δεδομένων για την αποθήκευση ψηφιακών τρισδιάστατων μοντέλων, ορίζοντας τρόπους περιγραφής των χαρακτηριστικών τοπίων και πόλεων όπως κτίρια, ποτάμια, δρόμους και άλλα. Διαθέτει 5 διαφορετικά επίπεδα λεπτομέρειας (LoDs) τα οποία επιτρέπουν την αναπαράσταση των αντικειμένων για διάφορες εφαρμογές. Βασίζεται στη γλώσσα eXtensive Markup Language (XML) και αναπτύχθηκε από το Special Interest Group 3D (SIG 3D) στην Γερμανία. Είναι επεκτάσιμο προσφέροντας έτσι μεγαλύτερες δυνατότητες και περισσότερες εφαρμογές. Χάρη το πλούσιο πληροφοριακό μοντέλο, καθώς και την γεωμετρία, στα οποία είναι βασισμένο μπορεί να καλύψει ένα πολύ μεγάλο φάσμα εργασιών, από 3D κτηματολόγιο έως διαχείριση καταστροφών. Βασικό πλεονέκτημα του αποτελεί ότι είναι ένα ανοιχτό πρόγραμμα, διαθέσιμο δηλαδή στον καθένα. Για να δημιουργηθεί όμως σωστά ένα τρισδιάστατο μοντέλο πρέπει να χρησιμοποιηθούν διάφοροι τύποι δεδομένων όπως δεδομένα LIDAR, επίγειες και δορυφορικές φωτογραφίες, θεματικοί χάρτες καθώς και πολεοδομικά σχέδια και σχέδια πόλης.

3.2 Επίπεδα λεπτομέρειας (LODs)

Βάση την αρίθμηση του LOD μπορεί κάποιος να καταλάβει τον βαθμό λεπτομέρειας που έχει χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή του μοντέλου.



Εικόνα 1: τα 5 επίπεδα μοντελοποίησης(πηγή: https://www.researchgate.net/figure/Five-different-LODs-defined-in-CityGML_fig3_262985461)



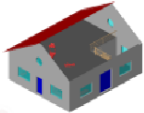
Όπως διακρίνεται από την Εικόνα 1 όσο μεγαλύτερη η κατηγορία τόσο μεγαλύτερη και η λεπτομέρεια. Αναλυτικότερα το πρώτο επίπεδο που ονομάζεται LOD0 αποτελεί την απεικόνιση του μοντέλου του εδάφους σε 2,5 διαστάσεις. Αποτελεί το χαμηλότερο μοντέλο ανάγλυφου, πάνω στο οποίο μπορεί να προσαρμοστεί ένας χάρτης ή μια αεροφωτογραφία.

Το επόμενο επίπεδο λεπτομέρειας ονομάζεται LOD1 και πρόκειται για την απεικόνιση του μοντέλου σε επίπεδα που καθορίζουν την αυστηρή του γεωμετρία. Το επίπεδο αυτό χρησιμοποιείται κυρίως για την απεικόνιση πόλεων. Αυτό το επίπεδο έχει χρησιμοποιηθεί και στην παρούσα εργασία.

Στο επόμενο επίπεδο(LOD2) αποδίδεται το κάθε κτήριο με περισσότερη πληροφορία όσον αφορά τη γεωμετρία και το σχήμα του. Στο επίπεδο αυτό δηλαδή μπορεί κάποιος να διακρίνει μπαλκόνια, σκάλες και άλλες κτηριακές εγκαταστάσεις, και παράλληλα εμφανίζει μια διακριτή δομή στέγης. Λόγω του μεγάλου όγκου δεδομένων που πρέπει να απεικονιστεί, το επίπεδο αυτό χρησιμοποιείται σε μικρότερης κλίμακας έργων πχ. την απεικόνιση μιας συνοικίας.

Το επόμενο επίπεδο(LOD3) εμπεριέχει αρχιτεκτονικά μοντέλα και λεπτομέρειες στους τοίχους, στις δομές της οροφής, στις πόρτες και στα παράθυρα.

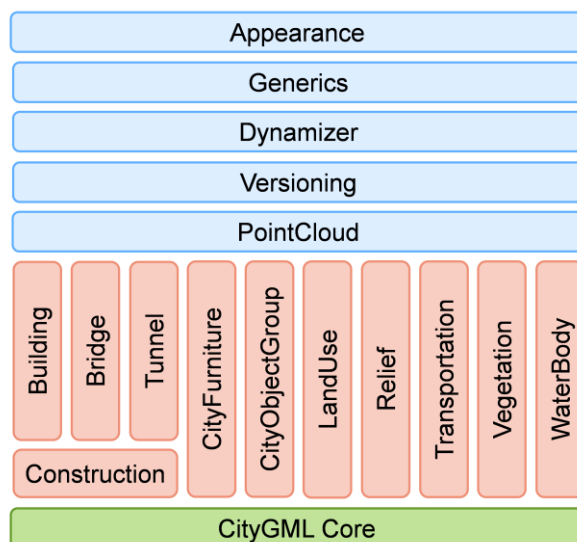
Το τελευταίο επίπεδο(LOD4) ολοκληρώνει το προηγούμενο προσθέτοντας τις εσωτερικές δομές δημιουργώντας έτσι μια αναπαράσταση της πραγματικότητας

Overview of LoD concept in CityGML (LoD0 – LoD4)	
	LOD0 (2.5D model definition) <ul style="list-style-type: none"> Regional and landscape scale representation Lowest accuracy No information over building installations Information about roof representations available No information about city furniture
	LOD1 <ul style="list-style-type: none"> City and region scale representation 5/5m 3D point accuracy (Low) Object blocks as generalised features (>6*6m/3m) Flat roof structures No information over building installations and city furniture
	LOD2 <ul style="list-style-type: none"> City, districts and project scale representation 2/2m 3D point accuracy (Middle) Objects as generalised features (>4*4m/2m) Differentiated roof representations Information over building installations available City furniture as prototypes, generalized objects
	LoD3 <ul style="list-style-type: none"> City districts, exterior architectural models, landmark scale representation 0.5/0.5m 3D point accuracy (High) Object as real features (>2*2m/1m) Building installations as exterior features Real object form for roof structures and city furniture
	LOD4 <ul style="list-style-type: none"> Interior architectural models, landmark representation 0.2/0.2m 3D point accuracy (Very High) Constructive elements and openings are represented Real object forms for building installations, roof structures and city furniture

Εικόνα 2: πληροφορίες για τα 5 επίπεδα μοντελοποίησης(πηγή: <https://www.semanticscholar.org/paper/Parametric-Study-of-di%E2%AC%80erent-Levels-of-Detail-of-Malhotra-Maksim/e60252d718bfb5f7af6cd3f19dd53c82033c7d65/figure/0>)

3.3 Οργάνωση του CityGML

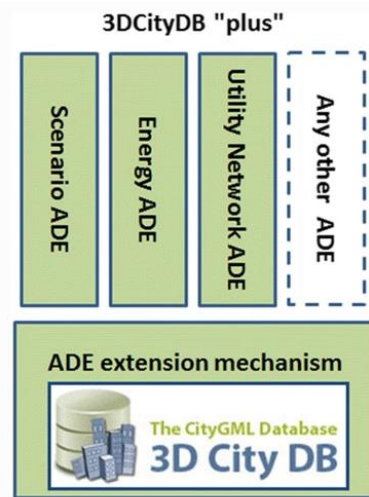
Το CityGML είναι λειτουργικά χωρισμένο σε κάποιες ενότητες, κάθετες και οριζόντιες (Gröger G, Kolbe T, Nagel C, Häfele K, 2012).



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

Οι κάθετες, όπως βλέπουμε και στο παραπάνω σχήμα, αναφέρονται στα ονόματα των διαφορετικών θεματικών μοντέλων πχ. κτήρια, αντικείμενα της πόλης, χρήσεις γης, ανάγλυφο, βλάστηση, υδάτινες μάζες, ενώ οι οριζόντιες αντιστοιχούν στις δομές που μπορούν να εφαρμοστούν στις κάθετες.

Υπάρχουν όμως και αντικείμενα που δεν μπορούν να μοντελοποιηθούν ακόμα ρητώς και αναπαράγονται με τα Generics, την κατηγορία των γενικών αντικειμένων δηλαδή. Το πρόβλημα αυτό όμως μπορεί να λυθεί και με την βοήθεια των επεκτάσεων Application Domain Extensions (ADE).



Εικόνα 3: επεκτάσεις citygml(πηγή: <https://opengeospatialdata.springeropen.com/articles/10.1186/s40965-018-0042-y/figures/13>)

Στην εικόνα 3 φαίνονται κάποιες κατηγορίες στις οποίες μπορεί κάποιος να βρει επεκτάσεις για την πιο ολοκληρωμένη απεικόνιση του μοντέλου.

3.4 Μοντέλο Γεωμετρίας CityGML

Η γεωμετρική μοντελοποίηση και περιγραφή των αντικειμένων που συλλέχθηκαν μέσω ενός συστήματος απεικόνισης είναι σημαντικό θέμα, καθώς είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη εφαρμογών. Το CityGML χρησιμοποιεί ένα υποσύνολο του μοντέλου γεωμετρίας GML3, που είναι εφαρμογή του προτύπου ISO 19107. Το γεωμετρικό μοντέλο του GML3 αποτελείται από αρχέτυπα, τα οποία συνδυάζονται προκειμένου να σχηματίζουν συμπλέγματα και σύνθετες γεωμετρίες. Υπάρχει ένα γεωμετρικό αρχέτυπο για κάθε διάσταση. Συγκεκριμένα, ένα αντικείμενο μηδενικών διαστάσεων αποτελεί ένα σημείο. Αντίστοιχα μιας διάστασης αποτελεί καμπύλη, δύο διαστάσεων μια επιφάνεια και τριών διαστάσεων ένα στερεό. Στο CityGML όμως η καμπύλη είναι μία ευθεία και οι επιφάνειες είναι πολύγωνα που καθορίζουν μία επίπεδη γεωμετρία. Οι γεωμετρίες αυτές μπορεί να είναι συσσωματώματα, σύμπλοκα ή σύνθετα των αρχέτυπων.

Στα συσσωμάτωμα, η χωρική σχέση μεταξύ των συστατικών δεν περιορίζεται, δηλαδή μπορεί αυτά να αλληλεπικαλύπτονται, να ενώνονται ή να αποσυνδέονται. Το GML3 μας παρέχει ένα συσσωμάτωμα για κάθε διάσταση, το MultiPoint, το MultiCurve, το MultiSurface, το MultiSolid.

Τα συμπλέγματα, από την άλλη, είναι τοπολογικά δομημένα. Τα στοιχεία του πρέπει να είναι ξένα μεταξύ τους αλλά θα πρέπει να συνδέονται τοπολογικά κατά μήκος των συνόρων τους. 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. Οι επιφάνειες στο CityGML μοντέλο εκπροσωπούνται από πολύγωνα, τα οποία καθορίζουν μία επίπεδη γεωμετρία. Γεωμετρίες όπως MultiSurface ή MultiSolid δεν επιβάλλουν τοπολογικούς περιορισμούς και έτσι τα συστατικά τους μπορούν να ενωθούν ή να είναι ξένα μεταξύ τους.

Οι όγκοι γεωμετρίας μοντελοποιούνται βάσει της Boundary Representation (b-rep), όπου κάθε στερεό ορίζεται από μια κλειστή επιφάνεια, συνήθως από μια Composite Surface. Σε αυτήν την αναπαράσταση, όλες οι συντεταγμένες ανήκουν σε ένα καθολικό σύστημα αναφοράς συντεταγμένων (CRS), και δεν επιτρέπονται τοπικοί μετασχηματισμοί. Τα τρισδιάστατα συστήματα αναφοράς αναφέρονται σε γεωγραφικά ή προβεβλημένα καθολικά συστήματα αναφοράς. Επιπλέον, το GML3 υποστηρίζει σύνθετα συστήματα συντεταγμένων, 2D+1D, με διαφορετικό σύστημα αναφοράς για οριζόντιες (x,y) και κατακόρυφες (z) συντεταγμένες. Η σύνδεση κάθε αντικειμένου με ένα CRS διευκολύνει την ολοκλήρωση των δεδομένων εφαρμόζοντας το αντίστοιχο γεωδαιτικό σύστημα και εκτελώντας μετασχηματισμούς. Το πλεονέκτημα της απόκτησης απόλυτων συντεταγμένων είναι ότι κάθε αντικείμενο ανήκει σε μια ακριβή θέση στον χώρο, με αποτέλεσμα τη δημιουργία χωρικών ευρετηρίων.

Για να διασφαλιστεί η ευρεία υποστήριξη του συστήματος, το CityGML παραμένει περιορισμένο στην μη-καμπύλη γεωμετρία. Αυτό συμβαίνει καθώς η καμπυλότητα δεν μπορεί να αντιμετωπιστεί επαρκώς με τη χρήση συστημάτων GIS. Έτσι, αντικείμενα με καμπύλες επιφάνειες στον πραγματικό κόσμο προσεγγίζονται με πολυεδρικές επιφάνειες. Σύμφωνα με το πρότυπο ISO 19109, τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά μπορούν να ανήκουν σε περισσότερες από μία χωρική ιδιοκτησία, καθώς πολλές κλάσεις ανατίθενται σε ατομικές γεωμετρίες για τα διάφορα LODs από πολλαπλές ενώσεις με την ίδια γεωμετρική κλάση.

3.5 Τοπολογία μοντέλου CityGML

Το CityGML είναι ένα διεθνές πρότυπο για την αναπαράσταση των τρισδιάστατων αστικών αντικειμένων, το οποίο στοχεύει στο να παρέχει μια κοινή γλώσσα για την ανταλλαγή μοντέλων πόλεων μεταξύ διαφορετικών συστημάτων λογισμικού. Στο CityGML, η τοπολογία ενός μοντέλου παίζει ένα καίριο ρόλο για τη διασφάλιση της συνέπειας των δεδομένων και τη διευκόλυνση της ενσωμάτωσης των δεδομένων.

Η τοπολογία αναφέρεται στις σχέσεις μεταξύ των γεωμετρικών στοιχείων ενός μοντέλου, όπως οι κορυφές, οι ακμές και οι επιφάνειες. Στο CityGML, η τοπολογία ενός μοντέλου καθορίζεται από τη χρήση της δομής δεδομένων Αναπαράσταση Ορίου

(Boundary Representation ή B-Rep), η οποία αναπαριστά κάθε αντικείμενο ως μια κλειστή επιφάνεια. Αυτή η επιφάνεια είναι συνήθως μια CompositeSurface που αποτελείται από μεμονωμένες επιφάνειες, όπως πολύγωνα ή τρίγωνα.

Ένα από τα πλεονεκτήματα της χρήσης της δομής δεδομένων B-Rep είναι ότι εξασφαλίζει ότι κάθε αντικείμενο είναι καλά καθορισμένο και ελεύθερο από ασυνέπειες. Για παράδειγμα, εάν δύο επιφάνειες δεν είναι σωστά ενωμένες, μπορεί να υπάρξουν κενά ή επικαλύψεις στο μοντέλο, τα οποία μπορεί να οδηγήσουν σε σφάλματα κατά την εκτέλεση χωρικών ερωτημάτων ή αναλύσεων. Εξασφαλίζοντας ότι όλες οι επιφάνειες είναι κλειστές και σωστά συνδεδεμένες, η δομή δεδομένων B-Rep εξασφαλίζει ότι το μοντέλο είναι τοπολογικά σωστό και ελεύθερο από τέτοια σφάλματα.

Στο CityGML, η τοπολογία ενός μοντέλου καθορίζεται και από το σύστημα αναφοράς συντεταγμένων (CRS) του. Το CRS καθορίζει το χωρικό σύστημα αναφοράς που χρησιμοποιείται από το μοντέλο, όπως ένα γεωγραφικό ή ένα προβεβλημένο σύστημα συντεταγμένων. Όλες οι συντεταγμένες στο μοντέλο αναφέρονται στο ίδιο CRS, που επιτρέπει εύκολη ενσωμάτωση και μετασχηματισμό δεδομένων.

Επιπλέον, το CityGML υποστηρίζει σύνθετα συστήματα συντεταγμένων, τα οποία επιτρέπουν τη χρήση διαφορετικών συστημάτων αναφοράς για τις οριζόντιες (x, y) και κατακόρυφες (z) συντεταγμένες. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο στην αστική μοντελοποίηση, όπου τα κτίρια και άλλα αντικείμενα μπορεί να έχουν διαφορετικές υψομετρίες ή να βρίσκονται σε διαφορετικά κατακόρυφα επίπεδα.

Συνολικά, η τοπολογία ενός μοντέλου στο CityGML ορίζεται από τη χρήση της δομής δεδομένων B-Rep, το σύστημα αναφοράς συντεταγμένων και το μοντέλο επιπέδου λεπτομέρειας (LOD). Εξασφαλίζοντας ότι κάθε αντικείμενο είναι καλά καθορισμένο και χωρίς αντιφάσεις, το CityGML παρέχει ένα ανθεκτικό πλαίσιο για την αναπαράσταση αντικειμένων 3D της αστικής ζωής που μπορεί εύκολα να ενσωματωθεί και να κοινοποιηθεί μεταξύ διαφορετικών συστημάτων λογισμικού.

3.6 Επεκτασιμότητα του μοντέλου CityGML

Η Επεκτασιμότητα Μοντέλου του CityGML αναφέρεται στη δυνατότητα προσθήκης νέων χαρακτηριστικών και γνωρισμάτων στο κανονικό μοντέλο του CityGML για την αναπαράσταση πρόσθετων πληροφοριών συγκεκριμένων περιπτώσεων χρήσης ή εφαρμογών. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της χρήσης των Application Domain Extensions (ADEs), που επιτρέπουν τη δημιουργία προσαρμοσμένων μονάδων που μπορούν να ενσωματωθούν με το μοντέλο του CityGML. Τα ADEs παρέχουν μια ευέλικτη και modular προσέγγιση για την επέκταση του μοντέλου του CityGML για την αναπαράσταση ευρέως φάσματος αστικών αντικειμένων και φαινομένων, όπως η ροή κυκλοφορίας, η ηχορύπανση και η κατανάλωση ενέργειας. Επιτρέποντας την

προσαρμογή και επέκταση του κανονικού μοντέλου, το CityGML γίνεται πιο προσαρμόσιμο και εφαρμόσιμο σε διάφορους τομείς και περιπτώσεις χρήσης, καθιστώντας το ένα πιο πολύτιμο εργαλείο για τον αστικό σχεδιασμό και τη διαχείριση.

Τα Application Domain Extensions (ADEs) είναι ένα βασικό χαρακτηριστικό της επεκτασιμότητας του μοντέλου του CityGML. Τα ADEs σχεδιάζονται για να είναι εύελικτα και modifiable, επιτρέποντας τη δημιουργία επεκτάσεων που μπορούν να προστεθούν ή να αφαιρεθούν εύκολα ανάλογα με τις ανάγκες. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τον καθορισμό νέων κλάσεων αντικειμένων, ιδιοτήτων και σχέσεων που δεν είναι διαθέσιμες στο κανονικό μοντέλο του CityGML. Τα ADEs είναι ένα σημαντικό εργαλείο για την επέκταση των δυνατοτήτων του CityGML και για την ενίσχυση της χρησιμότητάς του σε μια μεγάλη γκάμα εφαρμογών στον τομέα του αστικού σχεδιασμού και διαχείρισης.

3.7 Στόχος CityGML

Σκοπός του CityGML είναι να παρέχει μια τυποποιημένη γλώσσα για την αναπαράσταση 3D αστικών αντικειμένων, με στόχο τη διευκόλυνση του ανταλλαγής και της κοινής χρήσης μοντέλων πόλεων μεταξύ διαφορετικών συστημάτων λογισμικού. Το μοντέλο του CityGML είναι σχεδιασμένο για να αναπαριστά μια ευρεία γκάμα αστικών αντικειμένων και φαινομένων, όπως κτίρια, δρόμους, πάρκα και υδάτινα σώματα, και περιλαμβάνει πληροφορίες για τη γεωμετρία, την τοπολογία, τη σημασιολογία και την εμφάνιση αυτών των αντικειμένων. Παρέχοντας ένα κοινό πλαίσιο για την αναπαράσταση αστικών αντικειμένων, το CityGML διευκολύνει την αποτελεσματικότερη συνεργασία μεταξύ διαφορετικών ενδιαφερομένων στον τομέα του αστικού σχεδιασμού και της διαχείρισης, και υποστηρίζει μια σειρά από εφαρμογές, όπως ο αστικός σχεδιασμός και η διαχείριση καταστροφών εξελίσσοντας παράλληλα και την 3D τοπογραφία ακόμα και σε καθημερινό επίπεδο, παρέχοντας πληροφορίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε τοπογραφικές μελέτες και εκδόσεις αδειών.

3.8 3DCity DataBase

Το 3DCityDB είναι μια πλατφόρμα λογισμικού ανοικτού κώδικα σχεδιασμένη για την αποθήκευση, διαχείριση και οπτικοποίηση των 3D μοντέλων πόλεων. Αναπτύχθηκε από τη Virtual City Systems GmbH και παρέχει μια ευέλικτη και κλιμακούμενη λύση για τη διαχείριση μεγάλης κλίμακας αστικών μοντέλων, τα οποία μπορούν να ενσωματωθούν με μια μεγάλη γκάμα από συστήματα λογισμικού τρίτων.

Το 3DCityDB βασίζεται σε ένα σύστημα διαχείρισης βάσεων δεδομένων σχεσιακού τύπου (RDBMS), όπως η Oracle ή η PostgreSQL, και χρησιμοποιεί το μοντέλο δεδομένων CityGML ως το κύριο μορφότυπο δεδομένων. Η χρήση ενός κανονικοποιημένου μοντέλου δεδομένων εξασφαλίζει ότι τα μοντέλα 3D είναι συμβατά με άλλα λογισμικά συμβατά με CityGML, επιτρέποντας άψογη ανταλλαγή δεδομένων και συνεργασία μεταξύ διαφορετικών ενδιαφερομένων στον τομέα του αστικού σχεδιασμού και διαχείρισης.

Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά του 3DCityDB είναι η υποστήριξη του για πολλαπλά επίπεδα λεπτομέρειας (LOD) στην αναπαράσταση των αστικών αντικειμένων. Αυτό επιτρέπει στους χρήστες να αποθηκεύουν και να διαχειρίζονται 3D μοντέλα σε διαφορετικά επίπεδα πολυπλοκότητας, από απλά μοντέλα μπλοκ έως υψηλής ανάλυσης μοντέλα κτιρίων. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για εφαρμογές όπως η ενεργειακή μοντελοποίηση και οι περιβαλλοντικές προσομοιώσεις, οι οποίες απαιτούν ακριβείς και λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με το αστικό περιβάλλον.

Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό του 3DCityDB είναι η επεκτασιμότητά του. Η πλατφόρμα παρέχει μια ευέλικτη και modifiable αρχιτεκτονική που επιτρέπει την ενσωμάτωση επιπλέον δεδομένων και λειτουργιών μέσω της χρήσης πρόσθετων και επεκτάσεων. Αυτό επιτρέπει στους χρήστες να προσαρμόσουν την πλατφόρμα στις συγκεκριμένες ανάγκες και απαιτήσεις τους και να προσθέσουν νέες λειτουργίες καθώς αυτές γίνονται διαθέσιμες.

Το 3DCityDB παρέχει επίσης μια σειρά από εργαλεία οπτικοποίησης και ανάλυσης, συμπεριλαμβανομένου ενός προβολέα βασισμένου στο web που επιτρέπει στους χρήστες να αλληλοεπιδρούν και να εξερευνούν τα 3D μοντέλα με έναν φιλικό προς τον χρήστη και εύκολο τρόπο. Υποστηρίζει μια σειρά από τεχνικές 3D οπτικοποίησης, όπως επιφάνειες με υφή, διαφάνεια και σκιές, και παρέχει μια ποικιλία εργαλείων ανάλυσης για τη μέτρηση αποστάσεων, γωνιών και περιοχών.

Συνολικά, το 3DCityDB παρέχει μια ισχυρή και ευέλικτη πλατφόρμα για την αποθήκευση, διαχείριση και οπτικοποίηση των 3D μοντέλων πόλεων. Η χρήση τυποποιημένων μορφών δεδομένων και η επεκτασιμότητα της αρχιτεκτονικής του το καθιστούν ένα χρήσιμο εργαλείο για αστικούς σχεδιαστές, αρχιτέκτονες και προγραμματιστές, διευκολύνοντας τη δημιουργία και διαχείριση ακριβών και λεπτομερών 3D μοντέλων αστικών περιβαλλόντων για μια ευρεία γκάμα εφαρμογών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ 3D CITY MODELLING

4.1 Αντικείμενο διπλωματικής εργασίας

Στην παρούσα εργασία έχουμε ως αντικείμενο την τρισδιάστατη μοντελοποίηση των κτηρίων του ιστορικού κέντρου της Λευκάδας(644) σε επίπεδο λεπτομέρειας 1(LOD1). Καθώς και η τρισδιάστατη μοντελοποίηση των διατηρητέων κτηρίων σε αυτή.

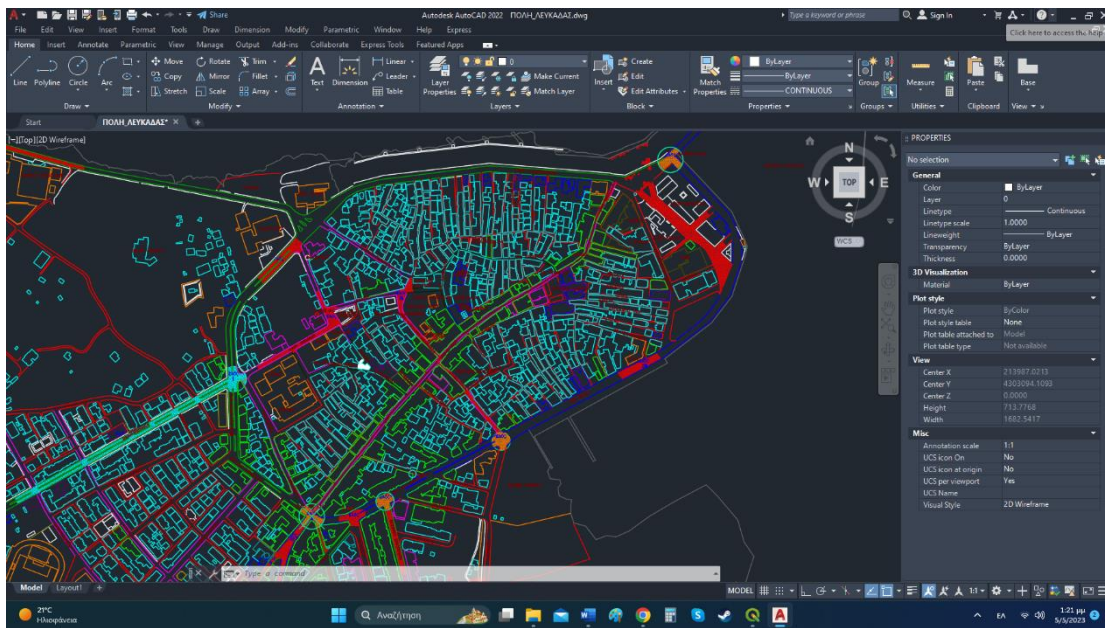
4.2 Περίληψη διαδικασίας

Για να ξεκινήσουμε έπρεπε να εγκαταστήσουμε τα κατάλληλα προγράμματα. Αρχικά εγκαταστήσαμε τα εξής:

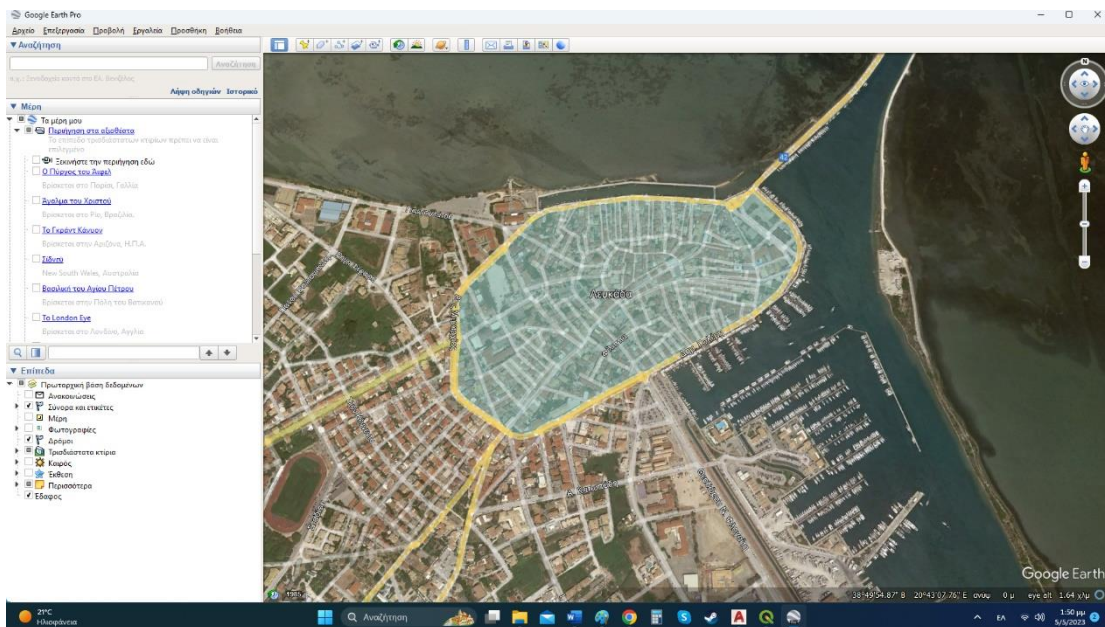
- Qgis
- pgAdmin4 (<https://www.pgadmin.org/download/>)
- PostgreSQL 13.4 (<https://www.postgresql.org/download/>)
- Java (<https://www.java.com/en/download/>)
- Notepad ++
- 3DCityDB-Importer-Exporter-4.3.0
(<https://www.3dcitydb.org/3dcitydb/downloads/>)
- FME (<https://www.safe.com/fme/trial/>)

Βασιστήκαμε σε ένα αρχείο AutoCAD που απεικονίζει τα όρια των κτηρίων το οποίο λάβαμε από την αρμόδια αρχή του δήμου. Επεξεργαστήκαμε το αρχείο σε λογισμικό QGIS ώστε να παράγουμε ένα αρχείο shape file (.shp) που να εμπεριέχει τα πολύγωνα της περιοχής μελέτης μας. Εισήγαμε τις επιθυμητές πληροφορίες, δηλαδή τον αριθμό των ορόφων ,το ύψος και την χρήση των διατηρητέων ενώ ως χρήση των κτιρίων που δεν είναι διατηρητέα εισαγάγαμε την τιμή 0. Ακολούθως κατασκευάστηκε ο κώδικας σε γλώσσα GML μέσω του προγράμματος FME ενώ παράλληλα δημιουργήσαμε την αναγκαία βάση μέσω του λογισμικού pgAdmin4 (PostgreSQL). Για την εξαγωγή του τελικού τρισδιάστατου μοντέλου έγινε χρήση του ελεύθερου λογισμικού 3DCityDataBase Importer/Exporter. Για την καλύτερη κατανόηση του αποτελέσματος η τελική οπτικοποίηση του εξαγόμενου αρχείου έγινε σε μορφή .kml μέσω του προγράμματος Google Earth.

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται το αρχείο AutoCAD που χρησιμοποιήσαμε σαν βάση. Επιλέξαμε τα κτίρια ενδιαφέροντος μας, τα κτίρια του ιστορικού κέντρου δηλαδή, και τα απομονώσαμε.



Εικόνα 4: Σχέδιο κτηρίων για την περιοχή του κέντρου της Λευκάδας σε μορφή .dwg (πηγή: Δήμος Λευκάδας)



Εικόνα 5: Περιοχή μελέτης (πηγή: Google Earth)

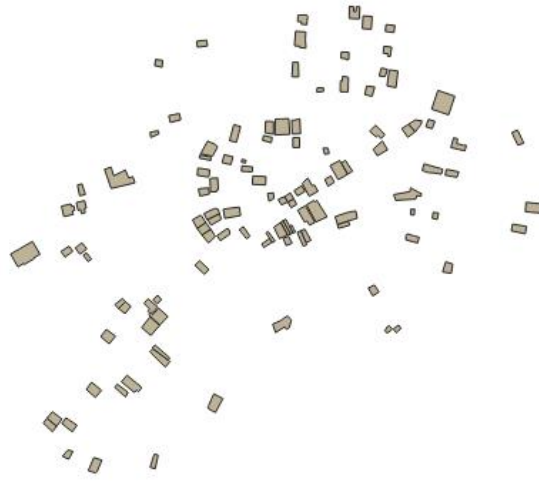
Για την μετατροπή των παραπάνω επιλεγμένων κτιρίων χρησιμοποιήσαμε το περιβάλλον Qgis. Μετατρέψαμε δηλαδή το αρχείο μορφής AutoCAD σε μορφή shape file (*.shp) δημιουργώντας έτσι το περίγραμμα των κτιρίων. Στην συνέχεια δημιουργήσαμε τα πολύγωνα, τός για το σύνολο των κτιρίων όσο και για τα διατηρητέα μεμονωμένα, τα οποία χρειαζόμαστε για την διαδικασία μας. Τα πολύγωνα αυτά έχουν την μορφή που εμφανίζεται παρακάτω.



Εικόνα 6: Λογότυπο QGIS



Εικόνα 7: Αποτύπωση κτηρίων για την περιοχή της Λευκάδας (πηγή: QGIS)



Εικόνα 8: Αποτύπωση κτηρίων για την περιοχή της Λευκάδας (πηγή: QGIS)

Τα δεδομένα μας κάθε κτιρίου φαίνονται και στον πίνακα τιμών που προκύπτει στο περιβάλλον Qgis. Ως δεδομένα έχουμε το id του κάθε κτιρίου, τον αριθμό των ορόφων, το ύψος του κτιρίου και την χρήση του. Όπως αναφέραμε και παραπάνω ως χρήση στα κτήρια που δεν ήταν διατηρητέα βάλουμε την τιμή 0.

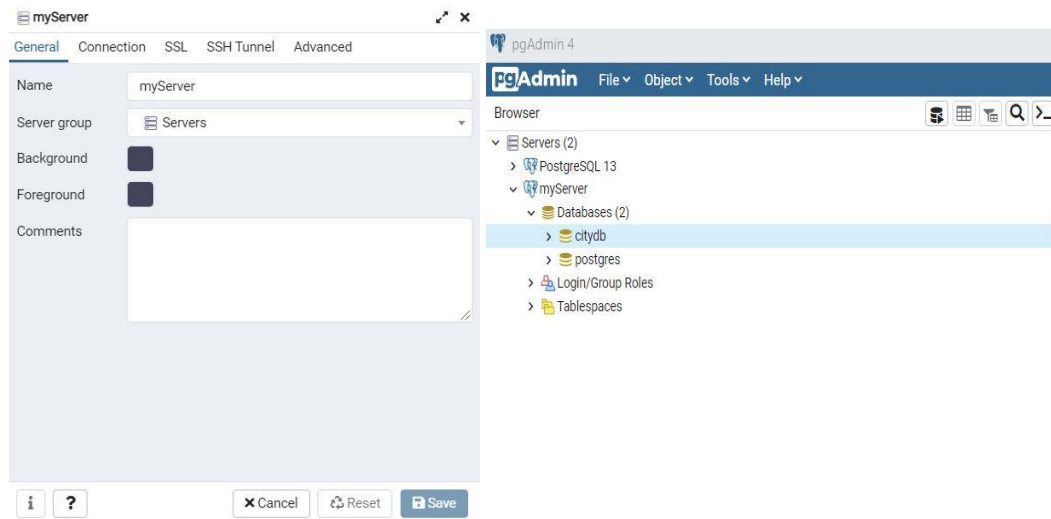
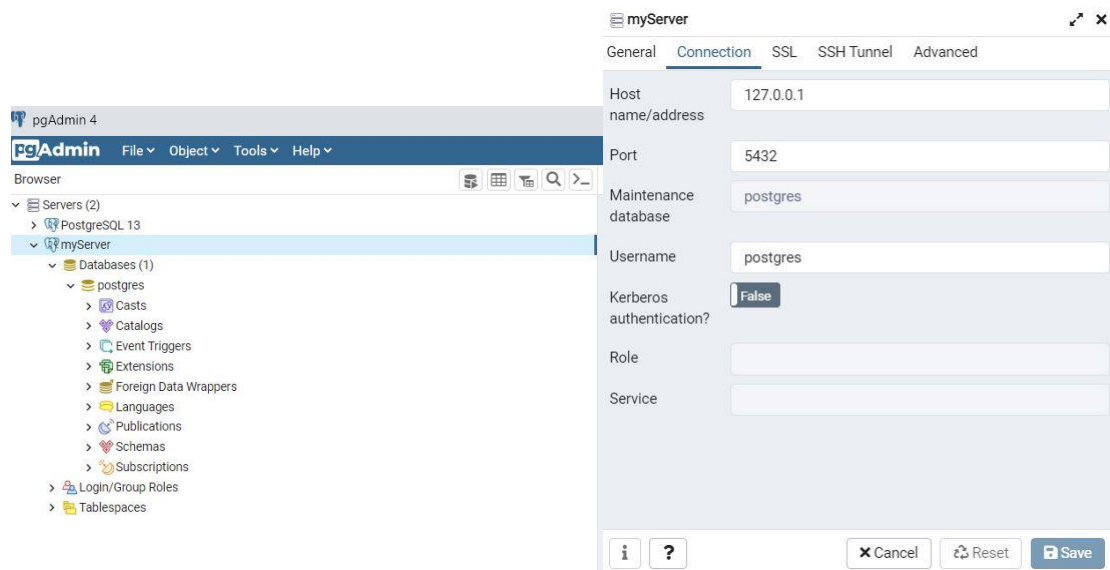
The screenshot shows the QGIS interface with a data table window open. The table contains 27 rows of data. The first row is highlighted in green. The table structure is as follows:

id	σοφοει	χρηση	νηος
1	1	0	3
2	2	0	3
3	3	0	3
4	4	0	3
5	5	0	3
6	6	0	3
7	7	0	3
8	8	0	3
9	9	0	3
10	10	0	3
11	11	0	3
12	12	0	3
13	13	Διατηρητο	3
14	14	0	3
15	15	0	3
16	16	0	3
17	17	0	3
18	18	0	3
19	19	0	3
20	20	0	3
21	21	0	3
22	22	0	3
23	23	0	3
24	24	0	3
25	25	0	3
26	26	0	3
27	27	0	3

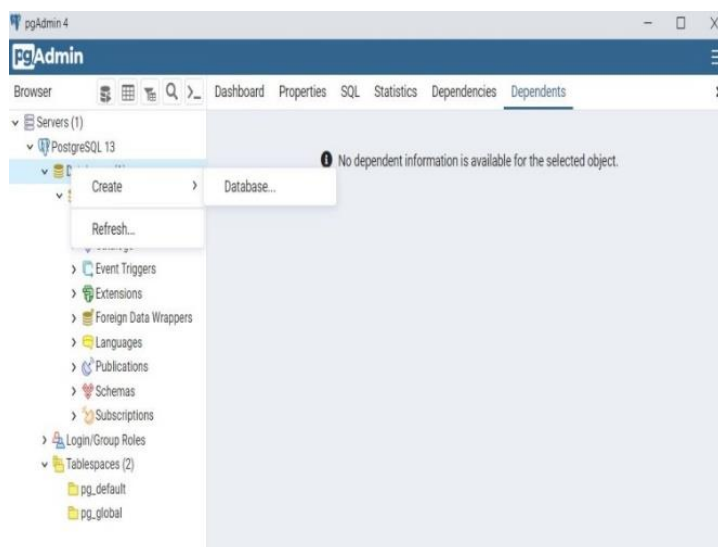
Εικόνα 9: Πίνακας δεδομένων (πηγή: QGIS)

4.3. Δημιουργία Βάσης Δεδομένων στην PostgreSQL κατά το 3DCityDataBase schema

Απαραίτητη είναι η δημιουργία βάσης δεδομένων στην PostgreSQL. Για να επιτευχθεί ωστόσο αυτό πρέπει πρώτα να εγκαταστήσουμε το πρόγραμμα pgAdmin4 που είναι ένα εργαλείο διαχείρισης ανοιχτού κώδικα για το Postgres. Στο pgAdmin4 δημιουργήσαμε έναν server όπου εισήγαμε τη βάση δεδομένων με τις παρακάτω παραμέτρους.

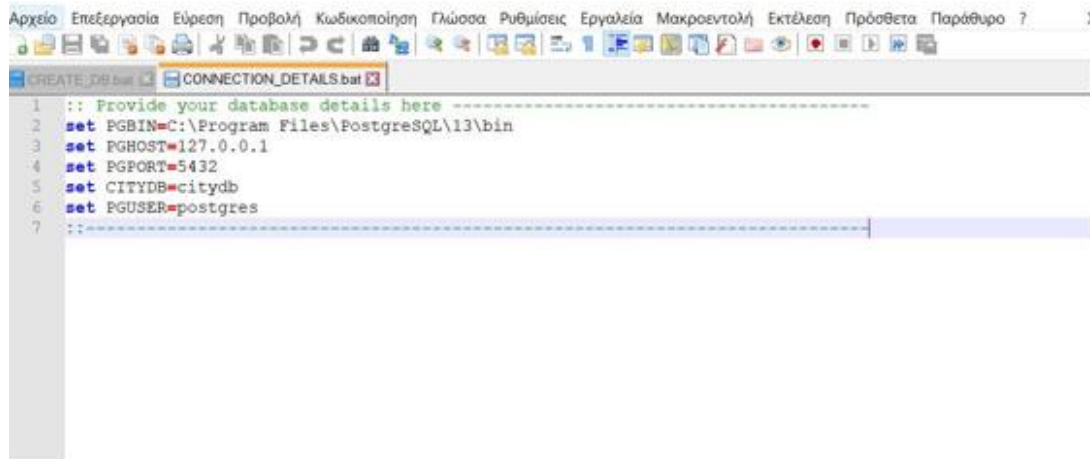


Εικόνα 10: Διαδικασία δημιουργίας βάσης (πηγή: PostgreSQL)



Εικόνα 11: Διαδικασία δημιουργίας βάσης (πηγή: PostgreSQL)

Στη συνέχεια χρειάζεται να πραγματοποιηθεί edit στο notepad++ του αρχείου CONNECTION_DETAILS.bat ώστε να εκτελεστεί κατόπιν το αρχείο CREATE_DB.bat το οποίο θα μας βοηθήσει να ανοίξουμε και να συνδέσουμε την βάση μας επιτυχώς στο Citygml. Παρακάτω διαφαίνονται οι μεταβλητές που ζητήθηκαν.



```
1  :: Provide your database details here -----
2  set PGBIN=C:\Program Files\PostgreSQL\13\bin
3  set PGHOST=127.0.0.1
4  set PGPORT=5432
5  set CITYDB=citydb
6  set PGUSER=postgres
7  :: -----
```

Εικόνα 12: Παράμετροι στο αρχείο connection_details

Για να εκτελεστεί όμως το παραπάνω αρχείο πρέπει να θέσουμε σωστά τις παραμέτρους. Κατά τη διαδικασία αυτή , ζητείται το SRID (Spatial Reference Identifier) και SRSName-ESPG code (European Petroleum Survey Group). Το SRID είναι ένα μοναδικό αναγνωριστικό που σχετίζεται με ένα συγκεκριμένο σύστημα συντεταγμένων, ανοχή και ανάλυση.

```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe

3D City Database - The Open Source CityGML Database

#####

Welcome to the 3DCityDB Setup Script. This script will guide you through the process
of setting up a 3DCityDB instance. Please follow the instructions of the script.
Enter the required parameters when prompted and press ENTER to confirm.
Just press ENTER to use the default values.

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

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

#####

Please enter a valid SRID (e.g., EPSG code of the CRS to be used).
(SRID must be an integer greater than zero): 2100

Please enter the EPSG code of the height system (use 0 if unknown or '2100' is already 3D).
(default HEIGHT_EPSG=0): 2100
```

```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe

3D City Database - The Open Source CityGML Database

#####

Welcome to the 3DCityDB Setup Script. This script will guide you through the process
of setting up a 3DCityDB instance. Please follow the instructions of the script.
Enter the required parameters when prompted and press ENTER to confirm.
Just press ENTER to use the default values.

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

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

#####

Please enter a valid SRID (e.g., EPSG code of the CRS to be used).
(SRID must be an integer greater than zero): 2100

Please enter the EPSG code of the height system (use 0 if unknown or '2100' is already 3D).
(default HEIGHT_EPSG=0): 2100

Please enter the corresponding gml:srsName to be used in GML exports.
(default GMLSRNAME=urn:ogc:def:crs,crs:EPSG::2100,crs:EPSG::2100): urn:ogc:def:crs,crs:EPSG::2100,crs:EPSG::2100
```

Εικόνα 13. Αποτέλεσμα εκτέλεσης αρχείου CREATE_DB.bat

4.4 FME (Feature Manipulation Engine)

Τι είναι το FME:

Το FME, αναπτυγμένο από τη Safe Software, είναι μια κορυφαία πλατφόρμα χωρικής επεξεργασίας ETL, την οποία εμπιστεύονται χιλιάδες οργανισμοί σε όλο τον κόσμο. Τα αρχικά ETL αντιπροσωπεύουν τις διαδικασίες εξαγωγής, μετασχηματισμού και φόρτωσης, οι οποίες αποτελούν τις θεμελιώδεις διαδικασίες για την ολοκλήρωση δεδομένων από διάφορες πηγές σε μια συνεκτική και χρήσιμη μορφή. Το FME εξειδικεύεται στη χειρισμό γεωχωρικών δεδομένων και υποστηρίζει πάνω από 400 μορφές, συμπεριλαμβανομένων των μορφών των συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών (Geographic Information System - GIS), των αρχείων CAD (Computer-Aided Design), των βάσεων δεδομένων και των υπηρεσιών ιστού.

- Ευκολία ολοκλήρωσης δεδομένων

Το FME απλοποιεί τη διαδικασία ολοκλήρωσης δεδομένων παρέχοντας μια οπτική διεπαφή, όπου οι χρήστες μπορούν να σχεδιάζουν ροές εργασίας δεδομένων, γνωστές ως "workspaces". Τα workspaces στο FME καθορίζουν τα βήματα που θα εκτελεστούν στα δεδομένα, όπως η ανάγνωση δεδομένων από διάφορες πηγές, ο μετασχηματισμός και ο χειρισμός τους και η εγγραφή στον επιθυμητό προορισμό. Η οπτική διεπαφή διευκολύνει τόσο τους τεχνικούς όσο και τους μη τεχνικούς χρήστες να δημιουργούν πολύπλοκες ροές εργασίας ολοκλήρωσης δεδομένων χωρίς την ανάγκη για κωδικοποίηση.

- Μετασχηματισμός και χειρισμός γεωχωρικών δεδομένων

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα του FME είναι η ικανότητά του να μετασχηματίζει και να χειρίζεται γεωχωρικά δεδομένα. Το FME παρέχει μια εκτενή βιβλιοθήκη από μετασχηματιστές που πραγματοποιούν λειτουργίες όπως χωρικό φιλτράρισμα, χειρισμό γνωρισμάτων, μετατροπή γεωμετρίας, επικύρωση δεδομένων και πολλά άλλα. Αυτοί οι μετασχηματιστές μπορούν να συνδυαστούν με απεριόριστους τρόπους για να επιτευχθούν ακριβείς μετασχηματισμοί δεδομένων.

Για παράδειγμα, το FME μπορεί να μετατρέψει ένα αρχείο CAD σε ένα μορφότυπο συμβατό με το GIS, να εξάγει συγκεκριμένα στοιχεία εντός ενός ορισμένου πεδίου, να συγχωνεύει σύνολα δεδομένων από διάφορες πηγές ή να πραγματοποιεί περίπλοκες χωρικές αναλύσεις. Αυτές οι δυνατότητες καθιστούν το FME ένα ανεκτίμητο εργαλείο για οργανισμούς που ασχολούνται με γεωχωρικά δεδομένα σε τομείς όπως η αστική πολεοδομία, οι μεταφορές, η περιβαλλοντική διαχείριση και η έρευνα φυσικών πόρων.

- Αυτοματισμός και επεκτασιμότητα

Το FME δυναμώνει τον αυτοματισμό των ροών εργασίας δεδομένων, επιτρέποντας στους οργανισμούς να επεξεργάζονται μεγάλους όγκους δεδομένων αποτελεσματικά. Τα workspaces που δημιουργούνται στο FME μπορούν να προγραμματιστούν να εκτελούνται σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές ή να ενεργοποιούνται από συμβάντα. Ο αυτοματισμός αυτός εξασφαλίζει ότι οι διαδικασίες ολοκλήρωσης δεδομένων εκτελούνται συνεπώς και αξιόπιστα, μειώνοντας τον χειρωνακτικό κόπο και τον κίνδυνο σφαλμάτων.

Επιπλέον, το FME υποστηρίζει τη διανεμημένη επεξεργασία, επιτρέποντας στους οργανισμούς να επεκτείνουν τις διαδικασίες ολοκλήρωσης δεδομένων όσο αυξάνονται οι ανάγκες τους. Χρησιμοποιώντας πολλούς υπολογιστικούς πόρους, το FME μπορεί να χειριστεί μεγάλα σύνολα δεδομένων και να εκτελέσει εργασίες παράλληλα, βελτιώνοντας σημαντικά τους χρόνους επεξεργασίας και τη συνολική αποδοτικότητα.

- Το FME και ο κοινόχρηστος χώρος γεωχωρικών δεδομένων

Πέρα από την ολοκλήρωση και τον μετασχηματισμό δεδομένων, το FME διευκολύνει την κοινή χρήση δεδομένων σε διάφορα συστήματα και πλατφόρμες. Ο FME Server, η εκδοχή του FME που βασίζεται σε διακομιστή, παρέχει ένα κεντρικό κέντρο για τη δημοσίευση και τη διανομή δεδομένων. Με τον FME Server, οι οργανισμοί μπορούν να δημιουργήσουν υπηρεσίες δεδομένων που επιτρέπουν στους χρήστες να έχουν πρόσβαση, να ερωτώνται και να κατεβάζουν γεωχωρικά δεδομένα σε διάφορες μορφές. Αυτές οι υπηρεσίες μπορούν να ενσωματωθούν σε διαδικτυακές εφαρμογές, καθιστώντας πιο εύκολη για τους ενδιαφερόμενους την πρόσβαση στις πληροφορίες που χρειάζονται.

Τι περιλαμβάνει το FME desktop:

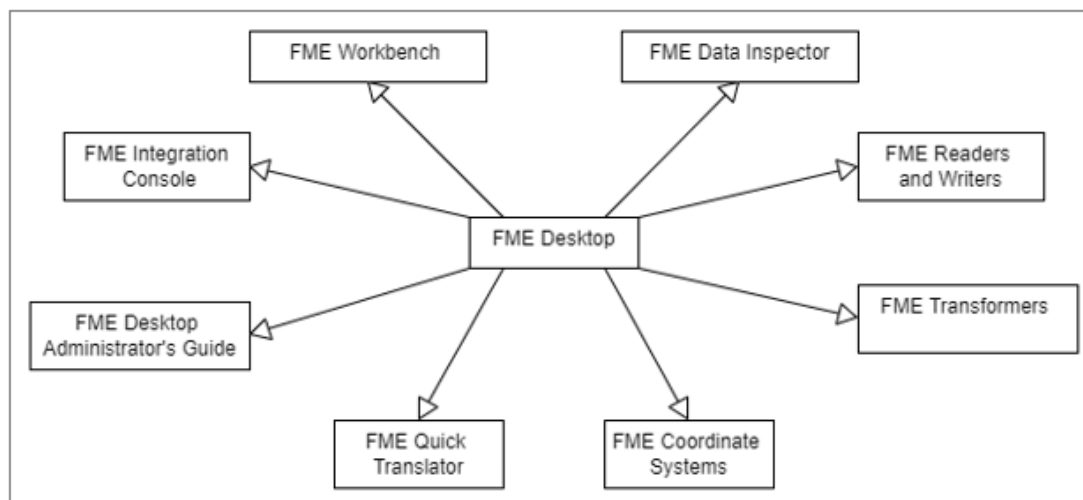


Εικόνα 14. Λογότυπο FME

Το FME Desktop είναι το κορυφαίο προϊόν της Safe Software, γνωστό για τις ισχυρές του δυνατότητες στην ολοκλήρωση και μετασχηματισμό γεωχωρικών δεδομένων. Το FME Desktop παρέχει έναν πλήρη και φιλικό προς τον χρήστη περιβάλλον για το σχεδιασμό και την εκτέλεση ροών εργασιών δεδομένων, επιτρέποντας στους οργανισμούς να εξάγουν, μετασχηματίζουν και φορτώνουν δεδομένα από ποικίλες πηγές σε ένα ενιαίο και επαναχρησιμοποιήσιμο μορφότυπο. Με υποστήριξη για πάνω από 400 τύπους δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων των GIS, CAD, βάσεων δεδομένων και διαδικτυακών υπηρεσιών, το FME Desktop επιτρέπει στους χρήστες να χειρίζονται πολύπλοκα γεωχωρικά δεδομένα με ευκολία. Η οπτική διεπαφή του επιτρέπει τόσο σε τεχνικούς όσο και σε μη τεχνικούς χρήστες να δημιουργούν προηγμένες ροές ενσωμάτωσης δεδομένων χωρίς την ανάγκη για κωδικοποίηση.

Η εκτενής βιβλιοθήκη μετασχηματιστών του FME Desktop προσφέρει μια ευρεία γκάμα λειτουργιών για τον μετασχηματισμό γεωχωρικών δεδομένων, από την χειραγώγηση γνωρισμάτων και τη μετατροπή γεωμετριών έως τον χωρικό φιλτράρισμα και την επικύρωση δεδομένων. Αυτή η ευελιξία επιτρέπει στους χρήστες να επιτύχουν ακριβείς και εξατομικευμένους μετασχηματισμούς δεδομένων για να καλύψουν τις συγκεκριμένες ανάγκες τους. Είτε πρόκειται για τον μετατροπέα μορφοποίησης αρχείων, την συγχώνευση συνόλων δεδομένων, την πραγματοποίηση χωρικών αναλύσεων ή τον αυτοματισμό των ροών εργασιών δεδομένων, το FME Desktop παρέχει τα εργαλεία και τις λειτουργίες για την επιτάχυνση της διαχείρισης

γεωχωρικών δεδομένων και την απελευθέρωση πολύτιμων πληροφοριών που κρύβονται μέσα στα δεδομένα.



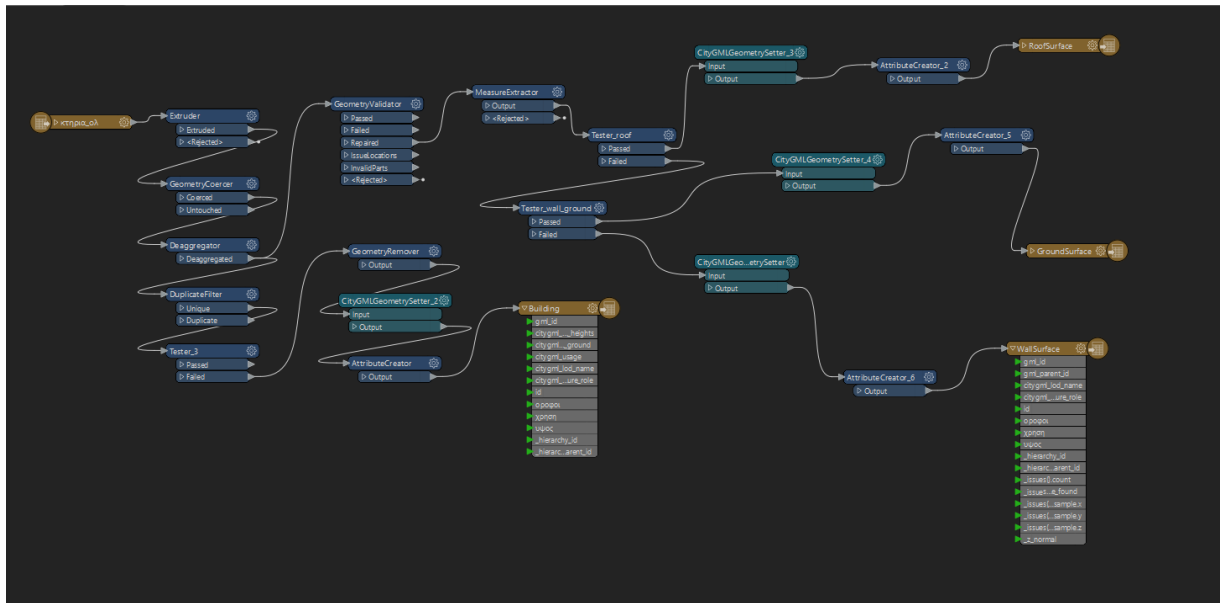
Εικόνα 15. Προγράμματα που περιλαμβάνονται στο FME

Το FME Workbench είναι η κύρια εφαρμογή FME Desktop όπου ορίζονται οι παράμετροι με σκοπό την μετάφραση και την μετατροπή δεδομένων. Το FME Data Inspector πραγματοποιεί την προβολή των δεδομένων σε οποιαδήποτε μορφή που υποστηρίζεται από FME. Για την μετάφραση των δεδομένων, απαραίτητοι είναι οι FME Readers and Writers. Οι Readers λένε στο FME την αρχική μορφή δεδομένων, πού εντοπίζεται το σύνολο δεδομένων και τυχόν ειδικές παραμέτρους για τον τρόπο ανάγνωσης του ενώ οι Writers καθορίζουν τη μορφή των δεδομένων με τα οποία θέλουμε να καταλήξουμε και τις παραμέτρους για τον τρόπο εγγραφής του νέου συνόλου δεδομένων. Αφού αναγνωριστούν τα δεδομένα οι FME Transformers παρεμβαίνουν στο περιεχόμενό τους, το αναδιοργανώνουν και το τροποποιούν.

Transformers	
Extruder	Δημιουργεί γραμμή, επιφάνεια ή στερεό γεωμετρίες με σταθερό προφίλ διατομής λαμβάνεται από την αρχική γεωμετρία του χαρακτηριστικού. (κατηγορία 3D)
Geometry coerter	Επαναφέρει τον τύπο γεωμετρίας της δυνατότητας.(Γεωμετρίες, Κατηγορίες Point Clouds)
Deaggregator	Αποσυνθέτει ένα συγκεντρωτικό χαρακτηριστικό στα συστατικά του. (Attributes, Filters and Joins categories)
DuplicateFilter	Ανιχνεύει διπλότυπα χαρακτηριστικά με βάση την τιμή ενός ή περισσότερων βασικών χαρακτηριστικών. (Κατηγορίες Ποιότητα δεδομένων, Φίλτρα και Συνδέσεις)
GeometryValidator	Ανιχνεύει επιλεγμένα προβλήματα στις δυνατότητες εισαγωγής και προαιρετικά επιδιορθώνει θέματα. Κάθε δυνατότητα εισαγωγής υποβάλλεται σε επεξεργασία ξεχωριστά.(Κατηγορία ποιότητας δεδομένων-Data Quality category)
AttributeCreator	Προσθέτει ένα ή περισσότερα χαρακτηριστικά στο χαρακτηριστικό και προαιρετικά εκχωρεί μια τιμή που προκύπτει από σταθερές, τιμές χαρακτηριστικών και εκφράσεις. Οι τιμές μπορούν να αναφέρονται σε παρακείμενα χαρακτηριστικά. (Κατηγορία χαρακτηριστικών- Attributes category)
Tester	Αξιολογεί μία ή περισσότερες δοκιμές σε ένα χαρακτηριστικό και δρομολογεί το χαρακτηριστικό ανάλογα το αποτέλεσμα της(των) δοκιμασίας(ών). Οι δοκιμές μπορούν να αποτελούνται από οποιονδήποτε επιτρεπόμενο από το FME τελεστή. (Κατηγορίες Ποιότητα δεδομένων, Φίλτρα και Συνδέσεις)
MeasureExtractor	Εξάγει τα μέτρα των γεωμετριών που ταιριάζουν με τον δεδομένο τύπο και θέσει τα χαρακτηριστικά ή τα χαρακτηριστικά λίστας. (Κατηγορία υπολογισμένων τιμών)

4.5 Διαδικασία στο FME

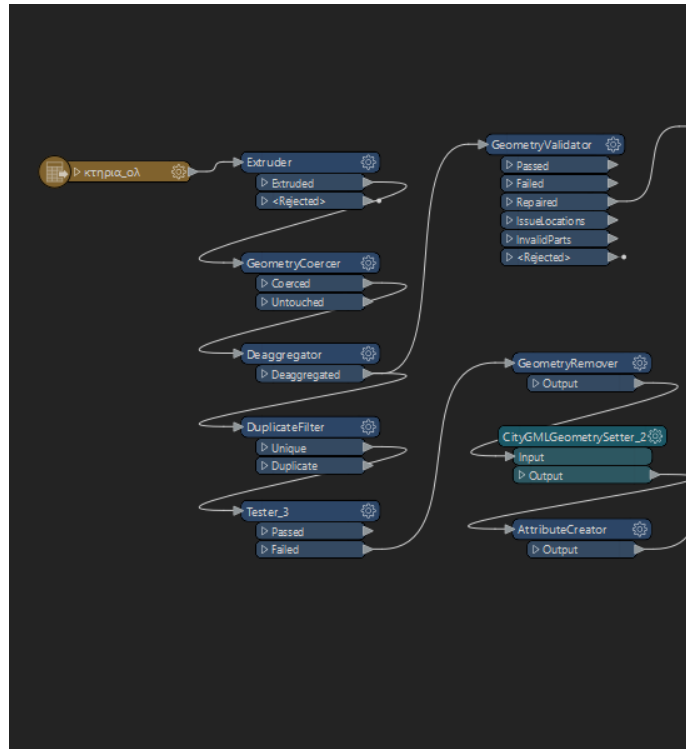
Αρχικά μετατρέπουμε το shp που δημιουργήσαμε σε gml με τις κατάλληλες εντολές και δομή μέσω του περιβάλλοντος του FME Workbench.



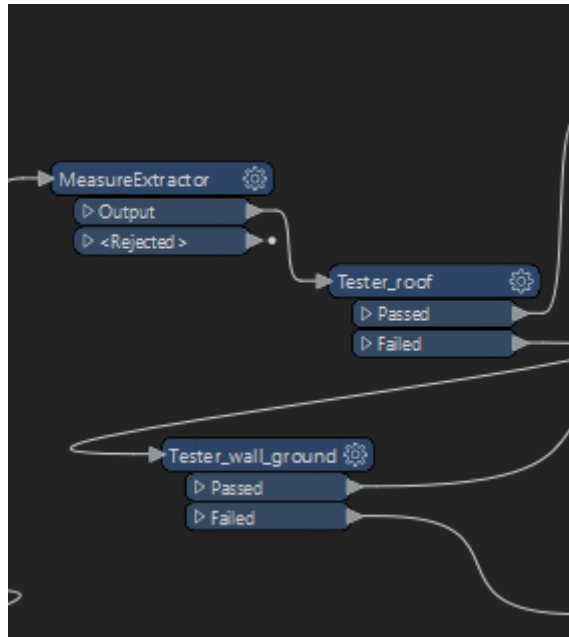
Εικόνα 16. Μετατροπή αρχείου shp σε gml μέσω FME (πηγή: FME Workbench)

Με την βοήθεια του Duplicate Filter ελέγχεται αν υπάρχει κάποιο διπλό χαρακτηριστικό, πιο συγκεκριμένα το hierarchy_parent_id και στη συνέχεια με τον Tester απομονώνεται το διπλό χαρακτηριστικό που εντοπίστηκε έτσι ώστε να μην αλλοιώσει το σύνολο των δεδομένων μας. Έπειτα με τον Geometry Remover αφαιρείται η γεωμετρία των χαρακτηριστικών.

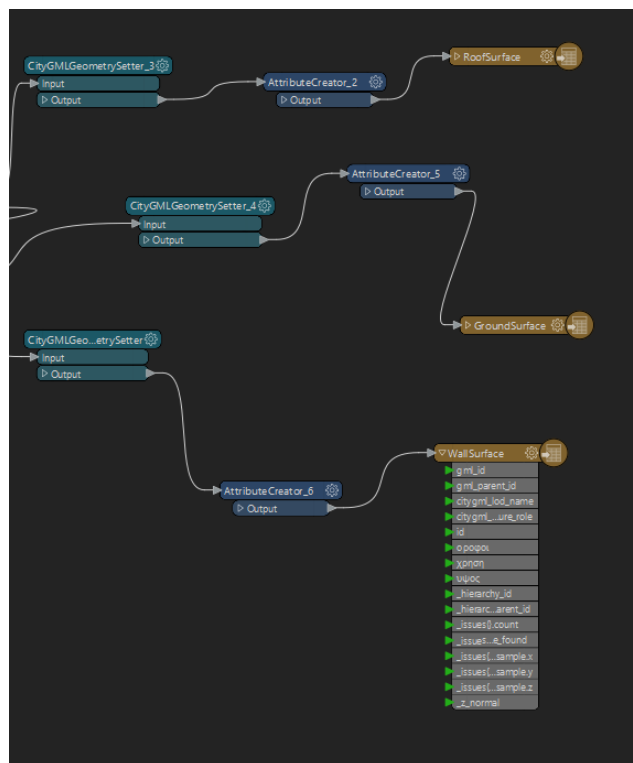
Ακολουθεί ο CityGMLGeometrySetter με τον οποίο επιλέχθηκε το όνομα του επιπέδου λεπτομέρειας (Lod2MultiSurface) και ο ρόλος των χαρακτηριστικών (cityObjectMember).



Στη συνέχεια ο Geometry Validator χρησιμοποιήθηκε για να βρεθούν σε αν υπάρχει θέμα με τις κανονικές κορυφές (Missing Vertex Normals) και αφού έγιναν οι διορθώσεις οι τιμές αυτές με τον Measure Extractor δημιουργήσαν μια νέα μεταβλητή όπου και καταχωρήθηκαν. Έπειτα με τη χρήση 2 tester και μέσω λογικών προτάσεων προέκυψαν οι τοίχοι , οι σκεπές και τα πατώματα των κτηρίων, για το καθένα από το οποία δόθηκε με το CityGMLGeometrySetter το όνομα του επιπέδου λεπτομέρειας (Lod2MultiSurface) και ο ρόλος των χαρακτηριστικών (BoundedBy).



Μετά χρησιμοποιήθηκαν 3 AttributeCreator, όπου ορίστηκε και για τους τοίχους(WallSurface), για τις σκεπές(RoofSurface) και για τα πατώματα(GroundSurface) το gml_id να πάρει τις τιμές του hierarchy_id και το gml_parent_id να πάρει τις τιμές του hierarchy_parent_id.

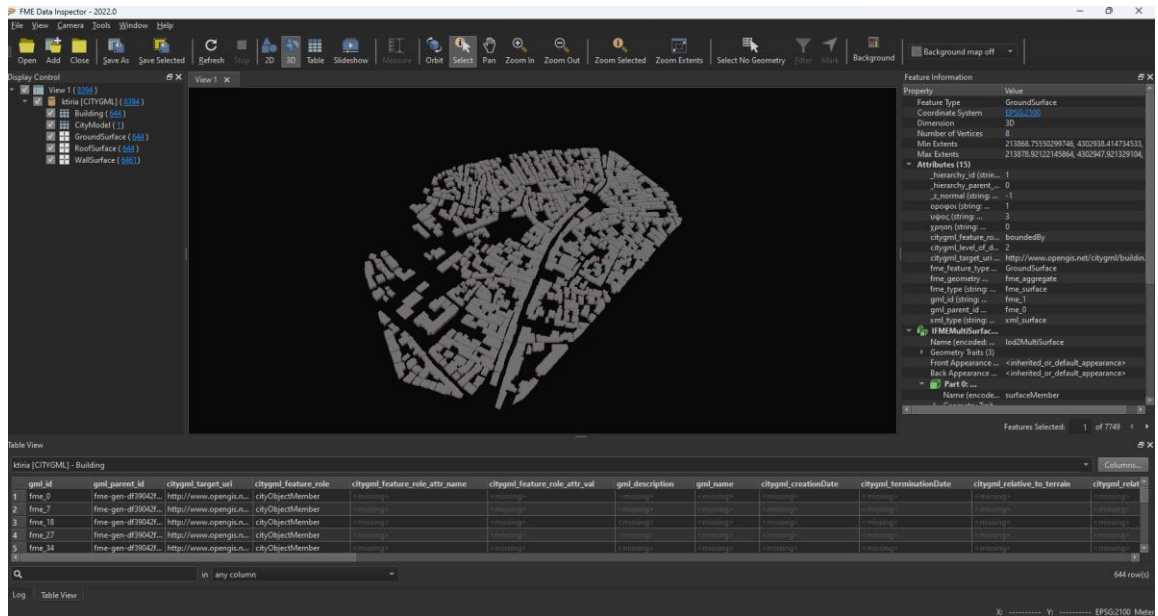


4.6 FME Data Inspector

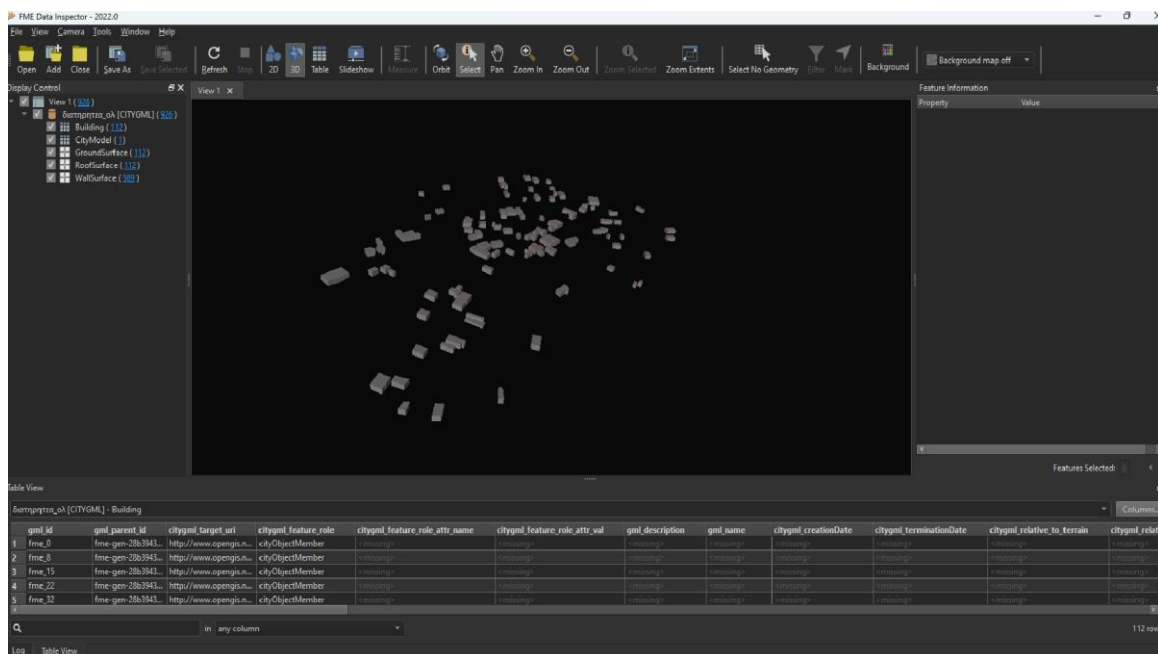
Το FME Data Inspector είναι ένα εργαλείο που παρέχεται από τη Safe Software για την οπτικοποίηση, τον έλεγχο και την ανάλυση δεδομένων κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ETL (Εξαγωγή, Μετασχηματισμός, Φόρτωση) χρησιμοποιώντας το FME (Feature Manipulation Engine). Το FME Data Inspector επιτρέπει στους χρήστες να προβάλλουν χωρικά και μη χωρικά δεδομένα σε διάφορες μορφές και παρέχει εργαλεία για τον έλεγχο της εγκυρότητας των δεδομένων και τον έλεγχο ποιότητας. Τα αποτελέσματα λαμβάνουμε από τη χρήση του FME Data Inspector περιλαμβάνουν:

- **Οπτικοποίηση Δεδομένων:** Το FME Data Inspector μας επιτρέπει να οπτικοποιήσουμε τόσο χωρικά όσο και μη χωρικά δεδομένα σε διάφορες μορφές.
- **Έλεγχος Δεδομένων:** Μπορούμε να ελέγξουμε τα μεμονωμένα χαρακτηριστικά και τις τιμές μέσα στο σύνολο δεδομένων μας.
- **Έλεγχος Επικύρωσης Μετασχηματισμού Δεδομένων:** Το FME Data Inspector χρησιμοποιείται συχνά για την επικύρωση των αποτελεσμάτων των διαδικασιών μετασχηματισμού δεδομένων. Μπορούμε να συγκρίνουμε τα δεδομένα εισόδου και εξόδου για να εξασφαλίσουμε ότι οι μετασχηματισμοί εφαρμόζονται σωστά.
- **Έλεγχος Ποιότητας:** Το εργαλείο παρέχει χαρακτηριστικά για τον έλεγχο της ποιότητας, επιτρέποντας μας να εντοπίσουμε και να διορθώσουμε οποιαδήποτε σφάλματα ή ανομοιομορφίες στα δεδομένα μας.
- **Επιβεβαίωση Συστήματος Συντεταγμένων:** Το FME Data Inspector βοηθά στην επαλήθευση και την επικύρωση των συστημάτων συντεταγμένων στα χωρικά δεδομένα. Εξασφαλίζει ότι τα δεδομένα είναι σωστά γεωαναφερόμενα και προβάλλονται.
- **Σύγκριση Χαρακτηριστικού:** Το FME Data Inspector μας επιτρέπει να συγκρίνουμε χαρακτηριστικά μεταξύ διαφορετικών συνόλων δεδομένων ή διαφορετικών εκδόσεων του ίδιου συνόλου δεδομένων.
- **Εξερεύνηση Δεδομένων:** Το εργαλείο παρέχει διάφορες δυνατότητες εξερεύνησης, όπως μεγέθυνση, μετακίνηση και ερωτήματα, για να μας βοηθήσει να εξερευνήσουμε τα δεδομένα μας διαδραστικά.

- Χειρισμός Σφαλμάτων: Το FME Data Inspector επισημαίνει σφάλματα και προειδοποιήσεις στα δεδομένα μας, καθιστώντας πιο εύκολο τον εντοπισμό και την αντιμετώπιση ζητημάτων που μπορεί να προκύψουν κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ETL.



Εικόνα 17. Οπτικοποίηση μέσω FME Data Inspector(όλα τα κτίρια)



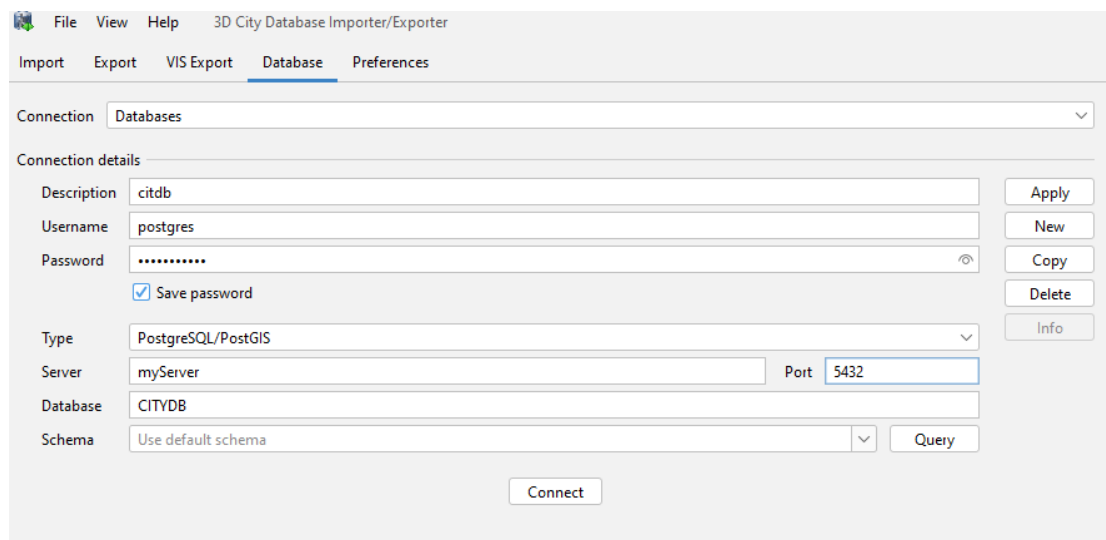
Εικόνα 18. Οπτικοποίηση μέσω FME Data Inspector(διατηρητέα)

Στην συγκεκριμένη περίπτωση, με βάση της προηγούμενες πληροφορίες, μπορούμε να προβάλουμε τα κτίρια μας όπως αυτά διαμορφώθηκαν στον τρισδιάστατο χώρο καθώς, όπως φαίνεται και στην εικόνα παραπάνω, μπορούμε να ανοίξουμε μια καρτέλα για το κάθε κτίριο η οποία περιέχει όλες τις πληροφορίες του. Διασφαλίζοντας έτσι ότι τα κτίρια και οι πληροφορίες μας έχουν περαστεί σωστά, χωρίς καμία έλλειψη.

Συγκεκριμένα μπορούμε να διακρίνουμε το επίπεδο της λεπτομέρειας, την χρήση του ακόμα και το ύψος του κάθε κτιρίου. Μας δίνεται η δυνατότητα επίσης να επιλέγουμε τα επίπεδα που θέλουμε να δούμε. Μπορούμε δηλαδή να απενεργοποιήσουμε την απεικόνιση των σκεπών και να δούμε μόνο τους τοίχους και τα πατώματα, ή με όποιον συνδυασμό θέλουμε.

4.7 Αλλαγή χρωματισμού στο περιβάλλον Citygml

Τελευταίο βήμα μας πριν την ολοκλήρωση της διαδικασίας μας αποτέλεσε η σύνδεση της βάσης μας στο περιβάλλον του Citygml, όπως φαίνεται και παρακάτω.



Εικόνα 19. Σύνδεση βάσης σε περιβάλλον Citygml

Αφού ολοκληρώθηκε η σύνδεση της βάσης μας επεξεργαστήκαμε το χρώμα με το οποίο θα απεικονίζονται τα κτίρια μας.



Εικόνα 20. Αλλαγή χρωματισμού

Τέλος, εξαγάγαμε το αρχείο μας σε μορφή .kml ώστε να μπορεί να γίνει απεικόνιση στο Google Earth.

4.8 Οπτικοποιήσεις μέσω του Google Earth

Το Google Earth είναι ένας διαδικτυακός χάρτης του πλανήτη Γης που παρέχει στους χρήστες τη δυνατότητα να εξερευνήσουν τον κόσμο από την άνεση του υπολογιστή τους. Με τη βοήθεια του Google Earth, οι χρήστες μπορούν να δουν τοποθεσίες από όλο τον κόσμο, να εξερευνήσουν παγκόσμια αξιοθέατα, να ανακαλύψουν πολιτιστικά μνημεία και φυσικά τοπία, και να αποκτήσουν πληροφορίες για τοπικές επιχειρήσεις και υπηρεσίες. Με την προσθήκη στρώσεων όπως η τρισδιάστατη χαρτογράφηση και οι παραστάσεις από δορυφόρο, το Google Earth προσφέρει μια εντυπωσιακή εμπειρία εξερεύνησης του κόσμου.

Πέρα όμως από αυτές τις δυνατότητες που παρέχει σε επίπεδο καθημερινής ζωής, διασκέδασης και καθοδήγησης το Google earth μπορεί να αποτελέσει και ένα πολύ σημαντικό εργαλείο για την καλύτερη απεικόνιση εφαρμογών.

Έτσι λοιπόν και σε αυτή την εργασία για να φανεί καλύτερα το αποτέλεσμα μας και σε πραγματικό χρόνο, έγινε η απεικόνιση των αποτελεσμάτων στο περιβάλλον Google earth. Τα αποτελέσματα εμφανίζονται στις παρακάτω εικόνες.



Εικόνα 21. Οπτικοποίηση μέσω Google Earth(πλευρά ΒΔ)



Εικόνα 22. Οπτικοποίηση μέσω Google Earth(πλευρά ΝΑ)



Εικόνα 23. Οπτικοποίηση μέσω Google Earth(από κοντά)

Όπως μπορούμε να διακρίνουμε στις εικόνες, φαίνεται το μέγεθος, το σχήμα, το ύψος του κάθε κτίριού αλλά και η ακριβής του θέση. Έτσι μπορούμε να έχουμε μια καθαρή εικόνα της περιοχής ακόμα και αν δεν έχουμε βρεθεί σε αυτή. Ως συνέχεια αυτού, υπάρχει και η δυνατότητα να διακρίνει κάποιος τις χρήσεις των εν λόγω κτιρίων. Στη δικιά μας περίπτωση των διατηρητέων και μη.



Εικόνα 24. Χρήση 0



Εικόνα 25. Χρήση Διατηρητέο

Εάν επιλέξουμε κάθε κτίριο μας βγαίνει ένας πίνακας σαν τους παραπάνω που μας παρέχει την πληροφορία ως προς τον αριθμό των ορόφων, το ύψος του κτιρίου και την χρήση του. Όσα κτίρια λοιπόν είναι διατηρητέα εμφανίζονται ως χρήση διατηρητέο, ενώ όσα δεν είναι εμφανίζονται ως χρήση 0.

Για ευκολότερη όμως κατανόηση των διατηρητέων ως προς την κατανομή τους στον χώρο και για την καλύτερη απεικόνισή τους, δημιουργήσαμε και μια απεικόνιση μόνο για αυτά.



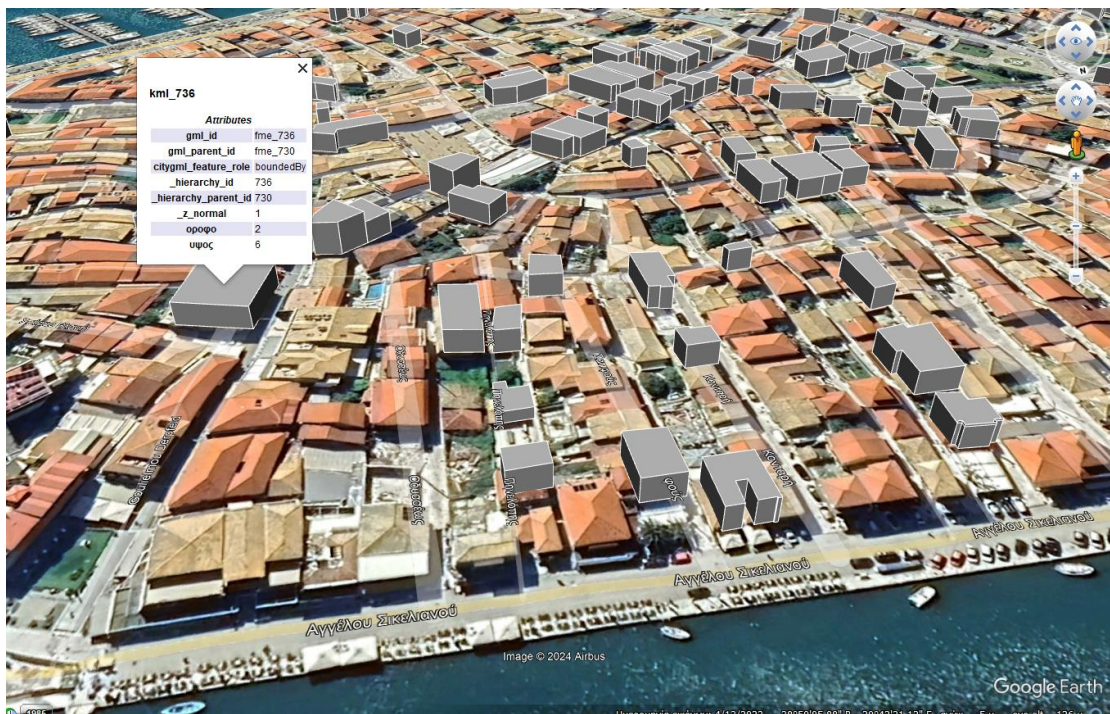
Εικόνα 26. Οπτικοποίηση μέσω Google Earth(Διατηρητέα-πλευρά ΝΑ)



Εικόνα 27. Οπτικοποίηση μέσω Google Earth(Διατηρητέα-από κοντά)



Εικόνα 28. Οπτικοποίηση μέσω Google Earth(Διατηρητέα-πλευρά ΒΔ)



Εικόνα 29. Οπτικοποίηση μέσω Google Earth(Διατηρητέα-πίνακας)

Στην περίπτωση της απεικόνισης των διατηρητέων μόνο, δεν έχουμε προσθέσει στον πίνακα την επιλογή «χρήση» αφού και σε αυτή την εργασία, αλλά και σε οποιαδήποτε μεταγενέστερη εργασία, η οπτικοποίηση των χρήσεων γης θα αποτελείται από ξεχωριστό επίπεδο για κάθε χρήση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΝΟΨΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

5.1 Σύνοψη

Τα τελευταία χρόνια, έχουν επέλθει κάποιες ραγδαίες εξελίξεις. Οι εξελίξεις αυτές έχουν δημιουργήσει και μεγάλες ανάγκες για ένα ολοκληρωμένο και πλήρες 3D κτηματολόγιο. Οι γρήγορες αλλαγές χρήσεων, η πολυπλοκότητα του κτιρίου και η πολυπλοκότητα της διαδικασίας αυτής, σε συνδυασμό με την αύξηση της τηλεργασίας, και της μείωσης της ανθρώπινης επαφής για λόγους υγείας καθιστούν μεγάλη ανάγκη την συνεχή εξέλιξη και αποσαφήνιση των θεμάτων αυτών.

Στα μεγάλα αστικά κέντρα, αλλά και σε μικρότερες περιοχές κυρίως τουριστικές, εντοπίζουμε την εκμετάλλευση της γης σε όλους τους χώρους. Τόσο σε όροφο όσο και σε υπόγειο. Η καταγραφή αυτών των χρήσεων αλλά και των αλλαγών αυτών με τον παραδοσιακό τρόπο αποτελεί πλέον ακατόρθωτο άθλο. Με την τρισδιάστατη πληροφορία κερδίζουμε αυτόματα μέρος της πληροφορίας που με την κλασική δισδιάστατη απεικόνιση είναι αδύνατο να αποτυπώσουμε.

Η διεκπεραίωση και η δημιουργία όμως του τρισδιάστατου κτηματολογίου δεν είναι εύκολη. Για την σωστή καταγραφή, τόσο των δικαιωμάτων όσο και των περιορισμών, απαιτείται πολύ έρευνα ώστε να καταχωρηθούν με αξιοπιστία. Στις περισσότερες ακόμα χώρες, συμπεριλαμβανομένου και της Ελλάδας, δεν μπορεί να ενταχθεί ακόμα η 3D πληροφορία. Η έλλειψη ύπαρξης 3D περιβάλλοντος σε συνδυασμό με την διαφορετική μορφή της πληροφορίας αποτελούν εμπόδιο στην εξέλιξη των συστημάτων κτηματογράφησης. Μικρά βήματα προς την σωστή κατεύθυνση γίνονται αλλά όπως είναι γνωστό «τα καλά κόποις κτώνται».

Στην παρούσα διπλωματική εργασία προσπαθήσαμε να αναπαράγουμε ένα 3D κτηματολόγιο σε μια απλουστευμένη μορφή. Δημιουργήσαμε, λοιπόν, μια τρισδιάστατη απεικόνιση του ιστορικού κέντρου της Λευκάδας με χρήση CityGML προτύπου, σε επίπεδο λεπτομέρειας LOD1, με ένα συνδυασμό λογισμικών. Για την δημιουργία των πολυγώνων χρησιμοποιήσαμε το πρόγραμμα του QGIS. Για την συγγραφή του κώδικα χρησιμοποιήσαμε το λογισμικό FME, ενώ για την διαχείριση της πληροφορίας χρησιμοποιήσαμε την σχεσιακή/χωρική Βάση Δεδομένων PostgreSQL με δομή κατά 3DCityDataBase. Με βάση την database αυτή ορίζεται η σημασιολογία, η τοπολογία, η εμφάνιση και η γεωμετρία των αντικειμένων του μοντέλου σε κάθε επιθυμητό επίπεδο λεπτομέρειας από το importer/Exporter.

Το FME αποτελούν μία πολύ χρήσιμη μηχανή χειρισμού χαρακτηριστικών, το οποίο υποστηρίζει πλήρως το πρότυπο του CityGML. Κάθε οντότητα διατηρεί σε μεγάλο βαθμό της πληροφορίες της κατά τη διάρκεια της μετατροπής. Ωστόσο, λόγω των πολλών transformers που διαθέτει είναι εύκολο να μπερδευτεί ο χρήστης.

Μετά την επεξεργασία της βάσης δεδομένων σε περιβάλλον PostgreSQL, το λογισμικό αυτό λόγω του πολυδιάστατου προγραμματισμού που διαθέτει, έχει την δυνατότητα να εισάγει, να διαβάσει, να εγκρίνει ως προς την δομή, να γράφει και να εξάγει αρχεία

CityGML. Τα αρχεία αυτά στην συνέχεια μετατρέπονται σε αρχεία KML/COLLADA μέσω των οποίων καθίσταται δυνατή η τρισδιάστατη οπτικοποίηση των χωρικών αντικειμένων της αντίστοιχης βάσης δεδομένων σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, όπως το Google Earth.

Με την επέκταση της PostgreSQL, το PostGIS, δίνεται η δυνατότητα σύνταξης απλών και χωρικών ερωτημάτων στην βάση, ανάλογα με την πληροφορία που έχει εισαχθεί. Γίνεται ξεκάθαρο πως με αυτή την τεχνική μοντελοποίησης πέρα από την δημιουργία ενός τρισδιάστατου μοντέλου, δίνεται η δυνατότητα για χωρική ανάλυση και διαχείριση κάθε πληροφορίας στην Βάση Δεδομένων.

Συμπερασματικά, το πρότυπο CityGML έχει ως στόχο την αναπαράσταση τρισδιάστατων μοντέλων πόλεων με γεωμετρική, σημασιολογική και τοπολογική πληροφορία, ενισχύοντας παράλληλα την διαλειτουργικότητα διάφορων λογισμικών. Η χρήση πολλών και πολύπλοκων προγραμμάτων καθιστά την διαδικασία αυτή δύσκολη και χρονοβόρα. Αυτό αποτελεί και το βασικό μειονέκτημα της διαδικασίας. Μειονέκτημα όμως που μπορεί να εξαιρεωθεί με την εξοικείωση και εκπαίδευση στα προγράμματα αυτά.

5.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Όπως αναφέραμε και παραπάνω το αντικείμενο αυτό χρίζει περαιτέρω και βαθύτερης έρευνας. Αποτελεί ένα σύστημα το οποίο θα μπορεί να επιλύσει οποιοδήποτε θέμα προκύψει, είτε αυτό είναι θέμα ορίων ιδιοκτησίας είτε δικαιωμάτων, είτε ακόμα και επίλυσης κρατικών θεμάτων όπως οι οπτικές ίνες ή οι υπόγειοι αγωγοί.

Αυτό όμως για να επιτευχθεί πρέπει να εξελιχθεί το επίπεδο λεπτομέρειας. Όστε το υπόβαθρό μας να μην αποτελεί μόνο ένα «κουτί» αλλά να μπορούμε να διακρίνουμε όλα τα χαρακτηριστικά και τις διαστάσεις του κτιρίου.

Να καταγραφούν λεπτομερώς τα δικαιώματα των ιδιοκτητών ώστε να μπορούν να αναπαραχθούν με όρια φυσικά και όχι νοητά, όπως είναι τώρα. Έτσι τυχόν διαφορές που θα υπάρξουν μεταξύ συνιδιοκτητών σε μια πολυκατοικία θα μπορούν να διευθετηθούν εύκολα και γρήγορα.

Να καταγραφούν επίσης και οι χρήσεις γης σε κάθε όροφο ξεχωριστά. Στην παρούσα εργασία εμείς ασχοληθήκαμε με χρήση που χαρακτηρίζει ολόκληρο το κτίριο αναγκαστικά. Αλλά αν το είχαμε εξελίξει, τα κτίρια που χαρακτηρίζονται ως χρήση 0, στην πραγματικότητα μπορεί να έχουν αρκετές διαφορετικές χρήσεις, από κατοικίες έως και καταστήματα.

Η λεπτομερής καταγραφή των κτιρίων όμως με σαφή όρια και ολοκληρωμένη εικόνα θα μπορούσε να βοηθήσει και σε θέματα κοινού ενδιαφέροντος. Όπως για παράδειγμα η χάραξη της εγκατάστασης ενός υπόγειου αγωγού. Μειώνοντας το κόστος μελέτης αλλά και το χρόνο που θα χρειάζονταν ο μηχανικός να κάνει μια καταγραφή της περιοχής.

Σημαντικό επίσης είναι ότι τα προγράμματα που χρησιμοποιούνται για την επίτευξη του στόχου αυτού είναι ανοιχτά προς όλους. Εννοείται βέβαια ότι η απόκτηση της full άδειας θα διευκόλυνε πιο πολύ την διαδικασία λόγω των περισσότερων εφαρμογών που προσφέρει.

Μπορούμε να διακρίνουμε ότι το αντικείμενο αυτό διαθέτει πολλούς τομείς που θα μπορούσε κάποιος να εμβαθύνει. Χρειάζεται πολλή δουλειά και κόπος ώστε να ολοκληρωθεί ένα τέτοιο μοντέλο. Τα πλεονεκτήματα του όμως και η ευκολία που θα μπορέσει να μας παρέχει το καθιστούν πολύ σημαντικό.

Αυτό δεν σημαίνει όμως ότι το δισδιάστατο κτηματολόγιο θα καταργηθεί. Για κάποιο καιρό σίγουρα θα πρέπει να συνυπάρχουν. Το ένα θα ολοκληρώνει το άλλο. Με προϋπόθεση την πιο σωστή και ολοκληρωμένη καταχώριση των δικαιωμάτων και των ορίων των ιδιοκτησιών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 3D City Database. (n.d.). Ανάκτηση από <https://www.3dcitydb.org/3dcitydb/3dcitydbhomepage/>
- CityGML Homepage. (2016). Ανάκτηση από www.citygml.org: <https://www.citygml.org/ongoingdev/tudelft-lods/>
- 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>
- Μακανδρέου Ε. (2018) 3D CITY MODELLING ATHENS ΜΕ ΧΡΗΣΗ CITYGML απο <https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/47064/%CE%95%CF%81%CE%B3%CE%B1%CF%83%CE%AF%CE%B1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Δημοπούλου Ε. (2015). nD ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ, ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ-ΑΝΑΠΤΥΞΗ-ΠΡΟΤΥΠΑ-MONTEΛΟΠΟΙΗΣΗ. Αθήνα: Kallipos.
- Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας: <https://ypen.gov.gr/chorikos-schediasmos/ktiria/diatiritea/>
- 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.
- Τρανάκα, Π. (2014) 3D ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ ΤΗΣ ΠΑΛΙΑΣ ΠΟΛΗΣ ΤΗΣ ΚΕΡΚΥΡΑΣ. Διπλωματική Εργασία. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών
- Oosterom, P. V., & Zlatanova, S. (Eds.). (2002). Advances in 3D Geoinformation Systems (Vol. 1). Springer Science & Business Media. απο <https://books.google.com.ag/books?id=j5Vt4W69YfAC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>

- Παπαδοπούλου, Α., & Πετροπούλου, Σ. (2004). "Αναστήλωση και Ανάπλαση Ιστορικών Κέντρων και Διατηρητέων Κτιρίων." Σύλλογος Ιστορικών Μνημείων.
- Kolbe, T. H. (Ed.). (2005). "CityGML: Interoperable Access to 3D City Models." Wichmann Verlag από https://www.researchgate.net/publication/285810926_CityGML-OGC_standard_for_photogrammetry
- Σκορδούλης, Γ. (2018). "Διαχείριση και ανάπτυξη γεωχωρικών δεδομένων αστικού περιβάλλοντος με χρήση CityGML." Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Γεωπληροφορικής και Τοπογραφίας, Σχολή Μηχανικών Χωροταξίας, Πολυτεχνείο Αθηνών.
- Σακελλαρίου, Χ. (2008). "Αναστήλωση και Προστασία Διατηρητέων Κτιρίων." Εκδόσεις Σάκκουλα.