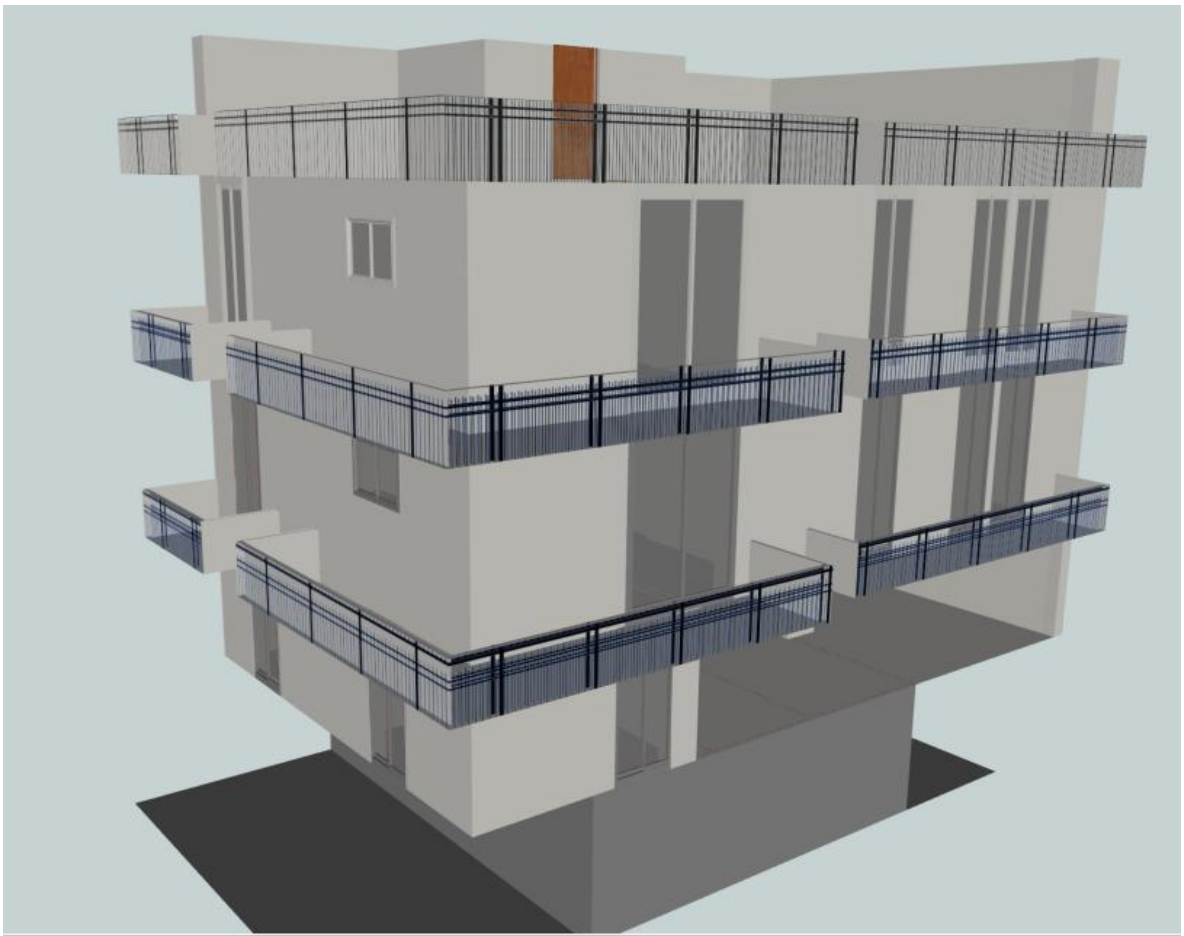




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟΥ-ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ
ΠΡΟΤΥΠΟΥ CITYGML



ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ: ΦΛΩΡΟΣ ΣΠ. ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ: Αν. Καθ. Έφη ΔΗΜΟΠΟΥΛΟΥ

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2015

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
ABSTRACT	6
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ	14
1.1 Τρισδιάστατο Κτηματολόγιο	14
1.1.1 Ορισμοί – Βασικές έννοιες	15
1.1.2 Διεθνής εμπειρία	15
1.1.2.1 Ολλανδία	16
1.1.2.2 Ισραήλ	17
1.1.2.3 Queensland, Australia	19
1.2 ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΟΥ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟΥ	20
1.3 ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΤΟΥ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟΥ: ΕΥΚΑΙΡΙΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ	21
1.4 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΤΟ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ	24
1.5 Η ΕΞΕΙΔΙΚΕΥΜΕΝΗ ΦΥΣΗ ΤΟΥ ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟΥ	24
1.6 ΠΛΕΥΡΕΣ ΤΟΥ ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟΥ	25
1.6.1 ΝΟΜΙΚΗ ΠΛΕΥΡΑ ΤΟΥ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟΥ	25
1.6.2 ΘΕΣΜΙΚΗ ΠΛΕΥΡΑ ΤΟΥ ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟΥ	26
1.6.3 ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΛΕΥΡΑ ΤΟΥ ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟΥ	26
1.7 LAND ADMINISTRATION DOMAIN MODEL	28
1.7.1 ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ LADM ΓΙΑ ΦΟΡΟΛΟΓΗΣΗ ΠΕΡΙΟΥΣΙΑΣ	30
1.8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	31
2.1 ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ CityGML	34
2.2 ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	35
2.3 ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ ΣΤΟ CITY GML2.0	36
2.3.1 Νέα θεματικά στοιχεία για τις απεικονίσεις γέφυρων και τούνελ	37
2.3.2 Προσθήκες στα υπάρχοντα θεματικά μοντέλα	37
2.4 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ CityGML	38
2.4.1 ΔΟΜΗ ΤΟΥ CityGML	38
2.4.2 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΕ ΠΟΛΛΑΠΛΕΣ ΚΛΙΜΑΚΕΣ	39
2.4.3 ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΗΜΑΣΙΟΛΟΓΙΚΗΣ-ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ	40
2.4.4 ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΚΛΕΙΣΙΜΑΤΟΣ (CLOSURE SURFACES)	41
2.4.5 ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ-Terrain Intersection Curve (TIC)	41
2.4.6 ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ-APPEARANCE	42
2.5 ΧΩΡΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ	43
2.5.1 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟ-ΤΟΠΟΛΟΓΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ	43

2.6 ΘΕΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ	46
2.6.1 CityGML Core-Θεμελιώδεις μοντέλο του CityGML	46
2.6.2 CityObject	47
2.6.3 BUILDING MODEL-ΜΟΝΤΕΛΟ ΚΤΗΡΙΟΥ	48
2.6.3.1 ΚΛΑΣΗ Room	50
2.6.3.2 ΚΛΑΣΗ Room Furniture.....	50
2.6.3.3 ΚΛΑΣΗ Building.....	50
2.6.3.4 ΚΛΑΣΗ Building Part	51
2.6.3.5 ΚΛΑΣΗ AbstractBuilding	51
2.6.3.6 ΚΛΑΣΗ Boundary Surface	55
2.7 Application Domain Extensions (ADE)	59
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3-ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ CityGML	60
3.1 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ	60
3.1.1 PROCEDURAL MODELING	60
3.1.2 MODELING BASED ON BIM-STANDARD SOFTWARE	60
3.2 BUILDING INFORMATION MODELING(BIM)	61
3.3 ΣΗΜΑΣΙΟΛΟΓΙΚΗ ΒΑΣΗ-BIM	61
3.4 ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ Trimble SketchUP	62
3.5 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	63
3.6 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ	63
3.6.1 ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΤΟ AutoCAD	64
3.6.2 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΤΟ Trimble SketchUp	66
3.6.3 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΤΟ FME ΚΑΙ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΤΟΥ ΣΕ ΜΟΡΦΗ GML	71
3.6.3.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ FME	71
3.6.3.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΤΟΥ ΑΡΧΕΙΟΥ .SKP ΣΕ .GML	71
3.6.3.3 ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΤΟ FME DATA INSPECTOR	80
3.6.3.4 ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΤΟ FZK VIEWER.....	83
4.1: ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ 3DcityDB	84
4.2 Querying-ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ	89
4.3 ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ	91
4.3.1 ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΣΤΟ QGIS	91
4.3.2 ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΣΤΟ PG3DVIEWER	92
4.3.3 ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΣΤΟ Google Earth	93
4.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	94
4.5 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	94
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	96

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής αποτελεί η ολοκληρωμένη δημιουργία ενός τρισδιάστατου ψηφιακού μοντέλου που απεικονίζει ένα κτήριο στην Ηλιούπολη Αττικής, με σκοπό να χρησιμοποιηθεί για κτηματολογικούς σκοπούς, όπως για παράδειγμα οι χρήσεις γης και η εκτίμηση αξιών των ακινήτων. Το συγκεκριμένο κτήριο επιλέχθηκε διότι υπήρχε εύκολη πρόσβαση στα αρχιτεκτονικά και τοπογραφικά σχέδια του, αλλά και για την ποικιλομορφία των χρήσεων γης σε κάθε ένα από αυτά.

Αρχικά, παρουσιάζεται μια εισαγωγή για την περιγραφή του 3D Κτηματολογίου και την ραγδαία έρευνα και εξέλιξη του σε παγκόσμιο επίπεδο. Ακολουθεί μία σύντομη αναφορά σε διαφορετικές τεχνικές μοντελοποίησης που χρησιμοποιούνται με μία συνοπτική ανάλυση των χαρακτηριστικών τους. Τέλος, γίνεται μία βασική περιγραφή του προτύπου CityGML, καθώς και των 2 βασικών λογισμικών που χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία του μοντέλου.

Στο επόμενο κεφάλαιο, δίνεται έμφαση στην περιγραφή του προτύπου του CityGML. Αναφέρονται λεπτομερώς οι αρχές δόμησης του, καθώς και πληροφορίες για τον τρόπο λειτουργίας του, απαραίτητες για την κατανόηση και την ορθή δημιουργία του μοντέλου.

Ακολουθεί η περιγραφή της δημιουργίας του τρισδιάστατου μοντέλου. Αρχικά, γίνεται μία αναφορά στον τρόπο επιλογής της συγκεκριμένης τεχνικής μοντελοποίησης. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται και εξηγείται η διαδικασία δημιουργίας του μοντέλου και η μετατροπή του σε συμβατή μορφή του CityGML. Τα προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν είναι το Trimble SketchUP 2015 για την αρχική σχεδίαση και το FME Desktop Manager, για τη μετατροπή, η λειτουργία των οποίων αναλύεται πλήρως.

Κατόπιν, παρουσιάζεται η σύνδεση του μοντέλου με τη βάση δεδομένων του CityGML, η παρουσίαση της κατανομής των δεδομένων μέσα σε αυτή, καθώς και η επεξεργασία τους. Διατυπώνονται SQL ερωτήματα και τα δεδομένα τα οποία εξάγονται, οπτικοποιούνται και παρουσιάζονται.

Τέλος, αναλύονται τα αποτελέσματα της διαδικασίας και διατυπώνονται σκέψεις για μελλοντική έρευνα.

ABSTRACT

The subject of the present diploma thesis is the creation of a digital 3D building model, that is located in a suburb of Athens, called Ilioupoli. The model has both cadastral and land evaluation purposes. This building was chosen, because of its variety in terms of land use.

To begin with, there is an introduction about 3D cadastre and its rapid evolution throughout the years. Then, there is a short mention in various kinds of modelling and a standard description of CityGML.

In the next chapter, CityGML is analytically described. The core model is explained as well as its connection with topology, geometry and semantics, a necessary background for any possible use of CityGML.

Afterwards, there is an analysis of how the model was created. There is a description of all the softwares needed for the process, mentioning both their advantages and their disadvantages, as well as the main tools that were used for the transformation into a .GML file.

In the next chapter, the import of the model in the 3DcityDB is presented. Then follows the querying, aiming on the various land uses of the building. As soon as querying is executed, the visualisation of the results is presented as well.

In the last chapter, some conclusions and results are presented, as well as thought for future research on the cadastral field.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ολοκληρώνοντας τη διπλωματική μου εργασία, θα ήθελα να ευχαριστήσω όσους με βοήθησαν και με στήριξαν.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτρια της διπλωματικής μου εργασίας, κυρία Έφη Δημοπούλου για την ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος αλλά και για τη συνεχή καθοδήγησή της.

Ακόμα ευχαριστώ την Εύα Τσιλιάκου, τη Βάσω Κωστή, το Δημήτρη Κιτσάκη και τον Γιάννη Πησπιδίκη για τη συνεργασία μας και τη συγγραφή δύο δημοσιεύσεων που έχουν άμεση σχέση με την παρούσα διπλωματική:

1) INVESTIGATING INTEGRATION POSSIBILITIES BETWEEN 3D MODELING TECHNIQUES

2) INVESTIGATING SEMANTIC FUNCTIONALITY OF 3D GEOMETRY FOR LAND ADMINISTRATION, 3DGEOINFO 2015, MALAYSIA

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Τάσο Λαμπρόπουλο για το χρόνο που μου αφιέρωσε και για την πολύτιμη βοήθειά του.

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένειά μου για τη συνεχή συμπαράσταση και υποστήριξή της στη μέχρι τώρα πορεία μου.

Στους γονείς μου

Σπύρο και Μαρία

Στον αδελφό μου

Γουλιέλμο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ολοένα αυξανόμενη πολυπλοκότητα των υποδομών των πόλεων, αλλά και η αύξηση της πυκνότητας των κτηρίων τους απαιτεί μια συστηματική, και ακριβή καταγραφή των νομικών δικαιωμάτων τους, κάτι το οποίο μπορεί να αποδοθεί περιορισμένα από το υπάρχον δισδιάστατο κτηματολογικό σύστημα. Αυτός είναι ο βασικός λόγος που σε πολλές χώρες έχει αναπτυχθεί η ανάγκη για τη δημιουργία του τρισδιάστατου Κτηματολογίου. Παρόλη την έρευνα και την πρόοδο που έχει σημειωθεί στον τομέα αυτό, καμία χώρα στον κόσμο δεν έχει ένα πραγματικό τρισδιάστατο Κτηματολόγιο, αφού η λειτουργικότητά του, είναι πάντα σε κάποιον τομέα περιορισμένη. Για αυτό το λόγο, στο FIG Congress τον Απρίλιο του 2010 στο Σίδνι αποφασίστηκε η δημιουργία μιας ομάδας που έχει σαν σκοπό να πραγματοποιήσει παραπάνω πρόοδο σε αυτόν τον τομέα. Το σημείο εκκίνησης για αυτήν την ομάδα εργασίας, ήταν η παρατήρηση πως ολοένα και περισσότερος όγκος πληροφορίας απαιτείται για τα δικαιώματα, τη χρήση και την αξία σε πολύπλοκες χωρικές και νομικές περιπτώσεις. Κατά τη διάρκεια των χρόνων, παρατηρήθηκε πως η πρόθεση πίσω από διαφορετικές τρισδιάστατες κτηματολογικές ενέργειες, επεκτεινόταν και σε τομείς πέραν του τομέα του Κτηματολογίου. Η φιλοδοξία ήταν και παραμένει να γίνουν κατανοητές οι απεριόριστες δυνατότητες που προσφέρει η τρισδιάστατη πληροφορία, περιλαμβάνοντας τα παρακάτω βήματα:

1. Ανάπτυξη και καταγραφή των ζωνών σε τρισδιάστατη μορφή.
2. Εγγραφή νομικών περιορισμών και απαγορεύσεων για το τρισδιάστατο Κτηματολόγιο.
3. Σχεδιασμός νέων χωρικών μονάδων και αντικειμένων σε τρισδιάστατη μορφή.
4. Απόκτηση κατάλληλου χώρου.
5. Παροχή αδειών κατόπιν ελέγχου σε τρισδιάστατη μορφή.
6. Απόκτηση και καταγραφή βαρών(π.χ. υποθήκες) για μελλοντικά αντικείμενα σε τρισδιάστατη μορφή.
7. Μέτρηση χωρικών μονάδων και αντικειμένων μετά την κατασκευή τους σε τρισδιάστατη μορφή.
8. Κατάθεση νομικών δικαιωμάτων .
9. Επικύρωση και έλεγχος των κατατεθειμένων τρισδιάστατων δεδομένων.
10. Αποθήκευση και ανάλυση τρισδιάστατων χωρικών δεδομένων.

11. Οπτικοποίηση και χρήση των χωρικών δεδομένων στο τρισδιάστατο Κτηματολόγιο.

Η ανάγκη επομένως του σύγχρονου κόσμου να κατανοήσει με μεγαλύτερη λεπτομέρεια τις πραγματικές οντότητες και φαινόμενα, έχει οδηγήσει στην περιγραφή του περιβάλλοντος χώρου μέσω μίας επιπλέον διάστασης. Αυτό αποδεικνύεται κυρίως σε εφαρμογές μοντελοποίησης τρισδιάστατων πόλεων σε τομείς όπως ο σχεδιασμός και η αξιολόγηση του χώρου, η σε περιβαλλοντικές μελέτες και σχεδιασμούς. Τα τρισδιάστατα μοντέλα πόλεων χαρακτηρίζονται από πολυπλοκότητα, ενώ μια σημασιολογική βάση είναι απαραίτητη για να περιγράψει τα γεωμετρικά και τοπολογικά τους χαρακτηριστικά. Στα τελευταία χρόνια, η ενοποίηση της σημασιολογικής αυτής βάσης στα τρισδιάστατα μοντέλα των πόλεων έχει γίνει ευρέως αποδεκτή. Παρόλα αυτά, η τρισδιάστατη μοντελοποίηση, η οποία εμβαθύνει στην οπτικοποίηση των αντικειμένων συναντάει ποικίλες δυσκολίες. Επιπλέον, προκύπτουν ερωτήματα τα οποία αφορούν την αποτελεσματικότητα της ενοποίησης της σημασιολογικής βάσης στην τρισδιάστατη μοντελοποίηση. Ο συγκεκριμένος σημασιολογικός εμπλουτισμός είναι ιδιαίτερα σημαντικός λόγω της πολυπλοκότητας των κατασκευών και τον διαμοιρασμό του χώρου σε ένα πολυδιαστασιακό αστικό περιβάλλον, στο οποίο ένα πλήθος από διαφορετικά RRS (Rights, Restrictions and Responsibilities), αλληλεπιδρούν με τα αντίστοιχα αγροτεμάχια. Αυτό το εύρος των δικαιωμάτων, των περιορισμών και των ευθυνών, απαιτεί υπεύθυνες τρισδιάστατες εγγραφές οι οποίες αντιστοιχούν σε κάθε νόμιμη κατασκευή. Επιπλέον, η σημασιολογική μοντελοποίηση των πόλεων, απαιτεί την ανάλογη πιστοποίηση των τρισδιάστατων δεδομένων. Οι τωρινές συνθήκες εστιάζουν στον σημασιολογικό εμπλουτισμό διακριτών αντικειμένων μίας πόλης, τα οποία μπορούν να διασπασθούν στα δομικά τους στοιχεία, περιλαμβάνοντας πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά τους. Η σημασιολογική προσέγγιση, μαζί με την εφαρμογή της τρισδιάστατης γεωμετρίας και τοπολογίας αντικειμένων του πραγματικού κόσμου, υλοποιείται από το πρότυπο που ονομάζεται CityGML. Παρόλα αυτά, προκύπτουν ερωτήματα που αφορούν την εύρεση της αποδοτικότερης διαδικασίας για την ολοκλήρωση της σημασιολογικής βάσης των γεωμετριών των αντικειμένων ενός τρισδιάστατου μοντέλου πόλης. Στα πλαίσια της διπλωματικής αυτής εργασίας, θα περιγραφεί η δομή του CityGML, τα βασικά χαρακτηριστικά του, πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που παρατηρήθηκαν καθώς και ο βαθμός επιτυχίας εισαγωγής σημασιολογικών εννοιών στο μοντέλο που δημιουργήθηκε, στηριζόμενο στο πρότυπο του CityGML. Για να επιτευχθεί η διαλειτουργικότητα μεταξύ του Trimble SketchUp και του

CityGML, απαιτείται μια συγκεκριμένη διαδικασία, μιας και η ανταλλαγή και μεταφορά πληροφοριών από το ένα σύστημα στο άλλο απαιτεί την ταύτιση συγκεκριμένων βασικών χαρακτηριστικών των δύο συστημάτων. Η διαλειτουργικότητα επομένως ετερογενών δεδομένων μπορεί να επιτευχθεί όταν ακολουθούν τα ίδια πρότυπα μοντελοποίησης. Το CityGML, αντιμετωπίζει επιτυχώς προβλήματα σημασιολογικής φύσης μεταξύ διαφορετικών συστημάτων και υποστηρίζει ένα πλήθος διαφορετικών τεχνικών μοντελοποίησης, μερικές από τις οποίες αναφέρονται παρακάτω και αναλύεται λεπτομερώς η τεχνική που χρησιμοποιήθηκε στη συγκεκριμένη διπλωματική. Το CityGML, όπως θα παρουσιαστεί αναλυτικά σε επόμενο κεφάλαιο είναι ένα μοντέλο ανοιχτού λογισμικού και ακολουθεί τη μορφή ενός XML αρχείου. Χρησιμοποιείται για την αποθήκευση και ανταλλαγή τρισδιάστατων ψηφιακών μοντέλων πόλεων. Ο σκοπός ανάπτυξης του CityGML αφορά την κατανόηση των βασικών οντοτήτων, χαρακτηριστικών και σχέσεων ενός τρισδιάστατου μοντέλου πόλης. Το CityGML δεν αναπαριστά μόνο γραφικά μία πόλη, αλλά εστιάζει συγκεκριμένα στην παρουσίαση των σημασιολογικών και θεματικών ιδιοτήτων, κατατάξεων και συσχετίσεων της. Το CityGML περιλαμβάνει ένα γεωμετρικό και ένα θεματικό μοντέλο. Το γεωμετρικό μοντέλο επιτρέπει τον ακριβή και υπεύθυνο ορισμό των γεωμετρικών και τοπολογικών ιδιοτήτων των χωρικών αντικειμένων εντός των τρισδιάστατων μοντέλων πόλεων. Η βασική κλάση όλων των αντικειμένων ονομάζεται `_CityObject` η οποία αποτελεί υπό-κλάση της GML κλάσης `_Feature`. Όλα τα αντικείμενα απορροφούν τις ιδιότητες της κλάσης `_CityObject`. Το θεματικό μοντέλο του CityGML, χρησιμοποιεί τη γεωμετρία του μοντέλου σε διαφορετικά θεματικά πεδία, όπως Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους, κατασκευές (κτήρια, γέφυρες), βλάστηση, χρήσεις γης, υδάτινη επιφάνεια, υποδομές μεταφοράς και αντικείμενα δημόσιας χρήσης στις πόλεις (πινακίδες, φανάρια). Το CityGML αποτελείται από έντε διαδοχικά επίπεδα πληροφορίας (Level Of Detail). Πιο συγκεκριμένα, όσο ανεβαίνει το επίπεδο τα αντικείμενα παρουσιάζονται με μεγαλύτερη λεπτομέρεια τόσο στη γεωμετρία τους όσο και στις θεματικές τους διαφοροποιήσεις. Τα αρχεία CityGML μπορούν να περιλαμβάνουν πολλαπλές απεικονίσεις για κάθε αντικείμενο σε διαφορετικά επίπεδα πληροφορίας ταυτόχρονα. Οι σχέσεις γενικοποίησης επιτρέπουν τη λεπτομερή απεικόνιση συσχετισμένων αντικειμένων σε διαφορετικές κλίμακες. Ακόμα, εκτός από τις χωρικές ιδιότητες, τα χαρακτηριστικά του CityGML, είναι σε θέση να λαμβάνουν τροποποιήσεις που επηρεάζουν την εμφάνιση των αντικειμένων κατά την οπτικοποίησή τους. Οι τροποποιήσεις αυτές, δεν περιορίζονται σε οπτικά γραφικά, αλλά είναι δυνατόν να αποτυπώσουν ιδιότητες της επιφάνειας του αντικειμένου, όπως ίχνη ραδιένεργειας, ηχορύπανσης, κ.ά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ

1.1 Τρισδιάστατο Κτηματολόγιο

Σήμερα η τεκμηρίωση πληροφορίας των ιδιοκτησιακών αντικειμένων πραγματοποιείται με βάση το σχέδιο του Εθνικού Κτηματολογίου και στηρίζεται στις δύο διαστάσεις. Ωστόσο η πραγματικότητα υποδεικνύει την ανάγκη για την καταγραφή των τρισδιάστατων καταστάσεων, καθώς υπάρχουν πολλά κτήρια και κατασκευές που βρίσκονται πάνω και κάτω από την επιφάνεια της γης. Το τρισδιάστατο κτηματολόγιο είναι στην ουσία ένα σύστημα καταγραφής της γης, στο οποίο γίνεται αναφορά η τρίτη διάσταση των αντικειμένων που είναι το υψόμετρο τους. Στόχος είναι να αποδοθεί το τρισδιάστατο κτηματολόγιο ως ένα πλήρες τρισδιάστατο μοντέλο της πραγματικότητας για τα τοπογραφικά και πλασματικά αντικείμενα, χωρίς όμως αλλοιωθεί η νομική ισχύς του εθνικού κτηματολογίου.

Ένα 3D κτηματολόγιο καταγράφει τα ακίνητα, τα οποία θεωρούνται ως τρισδιάστατες μονάδες ιδιοκτησίας. Ειδικότερα καταγράφει:

- τα τρισδιάστατα εμπράγματα δικαιώματα αντικειμένων
- τα τρισδιάστατα φυσικά αντικείμενα

Η καταγραφή των τρισδιάστατων εμπράγματων δικαιωμάτων αντικειμένων είναι πιο εύκολη από την καταγραφή των τρισδιάστατων φυσικών αντικειμένων. Το πρώτο είναι η τρισδιάστατη αναπαράσταση ενός δικαιώματος σε ένα δισδιάστατο γεωτεμάχιο και αφορά σε μια σε μια τρισδιάστατη καταγραφή. Όλα τα επί μέρους τρισδιάστατα 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 κωδικού εγγραφής.

Η καταγραφή των αντικειμένων της φυσικής πραγματικότητας απαιτεί μια τελείως διαφορετική αντίληψη. Σε αυτή την περίπτωση τα τρισδιάστατα αντικείμενα και όχι τα δισδιάστατα γεωτεμάχια αποτελούν τη βάση της κτηματολογικής καταγραφής. Για να αποδειχτεί μια τέτοια καταγραφή και να καταστεί αδιαμφισβήτητη, πρέπει να εφαρμοστεί κατάλληλο θεσμικό πλαίσιο. Πλεονεκτήματα της καταγραφής αυτής είναι ότι διατηρεί τις χωρικές και μη χωρικές πληροφορίες των αντικειμένων, οπότε μπορούν να γίνονται ερωτήσεις στο σύστημα και να δίνονται απαντήσεις με ακρίβεια.

1.1.1 Ορισμοί – Βασικές έννοιες

Το τρισδιάστατο Κτηματολόγιο θα καθορίζει τη θέση του γεωτεμαχίου καθώς και τα όριά του στις τρεις διαστάσεις. Επίσης το 3D Κτηματολόγιο θα απαιτεί λύσεις για οργάνωση και διαχείριση 3D και πολυεπίπεδης πληροφορίας (Benham και Dousher, 2001). Μια πλήρης τρισδιάστατη κτηματολογική εγγραφή σημαίνει την εισαγωγή της έννοιας (των περιουσιακών) δικαιωμάτων στον τρισδιάστατο χώρο. Το τρισδιάστατο Κτηματολογικό Μοντέλο μπορεί να θεωρηθεί ένα 2D μοντέλο, όπου μπορεί να κρατηθεί ο 2D καθορισμός του αντικειμένου και να προστεθούν μερικές τρισδιάστατες επεκτάσεις (Billen και Zlatanova, 2001).

Παραδείγματα που απαιτούν την ανάγκη δημιουργίας ενός τρισδιάστατου Κτηματολογίου (Stoter & Salzmann, 2003):

1. Κατασκευές η μία πάνω στην άλλη (π.χ. τομή σιδηροδρομικού και οδικού δικτύου)
2. Υπόγειες και υπέργειες υποδομές (π.χ. υπόγειοι χώροι στάθμευσης, εμπορικά κέντρα, κτήρια πάνω από δρόμους/σιδηρόδρομους, υπόγειες διαβάσεις)
3. Θέση και κυριότητα καλωδίων και σωλήνων (νερό, ηλεκτρισμός, αποχέτευση, τηλέφωνο, φυσικό αέριο, ομοαξονικά καλώδια τηλεόρασης)
4. Διαμερίσματα (ένα κτήριο, πολλά διαμερίσματα – ιδιοκτήτες)
5. Ορυχεία (κάτω από την επιφάνεια των γεωτεμαχίων)
6. Ιστορικά μνημεία και αρχαιολογικοί χώροι

1.1.2 Διεθνής εμπειρία

Η τεκμηρίωση των ιδιοκτησιακών αντικειμένων στον τρισδιάστατο χώρο είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων για την κάθε χώρα. Πρωταρχικός όλων είναι το νομικό πλαίσιο που καλύπτει τις διάφορες ιδιοκτησίες. Ωστόσο το νομικό πλαίσιο μπορεί να είναι ίδιο ή παραπλήσιο για ορισμένες χώρες και τελείως διαφορετικό για άλλες. Το γεγονός αυτό δυσκολεύει αρκετά τον προσδιορισμό μιας κοινής λύσης τεκμηρίωσης των ιδιοκτησιακών αντικειμένων στον τρισδιάστατο χώρο σε παγκόσμιο επιστημονικό επίπεδο. Ένας άλλος παράγοντας που διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην τεκμηρίωση της τεχνικής πληροφορίας στον τρισδιάστατο χώρο είναι η εξέλιξη της τεχνολογίας και κατ'

επέκταση οι δυνατότητες που καλύπτουν οι τεχνικές λύσεις. Συχνά τα μοντέλα λύσεων που προσδιορίζονται δεν επαρκούν για την πλήρη κάλυψη των στοιχείων του πραγματικού κόσμου, γεγονός που συμβαίνει ακόμη και αν το νομικό πλαίσιο δεν εμφανίζει καμία έλλειψη ή αδυναμία. Τέλος τρίτος σημαντικός παράγοντας είναι η συμβολή του οικονομικού παράγοντα και γενικότερα του παράγοντα κόστους (χρόνος, χρήμα κλπ.), σε οποιαδήποτε λύση.

Παρακάτω παρουσιάζονται κάποια γενικά συμπεράσματα σχετικά με τις διάφορες λύσεις που προτείνονται σε παγκόσμιο επιστημονικό επίπεδο αναφορικά με το 3D Κτηματολόγιο (Van Oosterom κ.ά., 2001):

- 1η Πολλές είναι οι χώρες που αντιμετωπίζουν την πολυπλοκότητα των τρισδιάστατων καταστάσεων, ένα αντιπροσωπευτικό παράδειγμα είναι το Ισραήλ (Doytsher κ.ά., 2001).
- 2η Οι μέθοδοι που υιοθετούνται διαφέρουν από χώρα σε χώρα και εξαρτώνται από τις θεσμικές πτυχές και το νομικό σύστημα (Vander Molen, 2001).
- 3η Ο καθορισμός των δικαιωμάτων στον τρισδιάστατο χώρο είναι σύνθετος. Εντούτοις, εάν περιορίζεται σε συγκεκριμένες, καθορισμένες με σαφήνεια περιπτώσεις (σε συγκεκριμένες κατασκευές και διαμερίσματα) όπου ο χωρισμός της ιδιοκτησίας επιτρέπεται, μπορεί επιτυχώς να εφαρμοστεί. Σε αυτές τις περιπτώσεις ένα "πλήρες" τρισδιάστατο-κτηματολόγιο μπορεί να εφαρμοστεί στο βραχυπρόθεσμο και μεσοπρόθεσμο μέλλον. Αυτή η προσέγγιση λαμβάνεται υπόψη π.χ. στη Νορβηγία (Onsrud, 2001) και τη Σουηδία (Justad και Ericsson, 2001). Στη συνέχεια παρουσιάζονται ορισμένα πρότυπα κτηματολόγια που παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον και αξίζει να αναφερθούν:

1.1.2.1 Ολλανδία

Στη χώρα αυτή η εθνική κυβέρνηση και συγκεκριμένα το Υπουργείο Χωροταξίας, Οικισμού και Περιβάλλοντος έχει την ευθύνη για το κτηματολόγιο, αν και τ' "Κτηματολόγιο" (Kadaster) είναι ανεξάρτητος οργανισμός από το 1994. Ο οργανισμός αυτός είναι οικονομικά αυτόνομος και η κτηματολογική εγγραφή πραγματοποιείται σε δεκαπέντε περιφερειακά γραφεία. Το ολλανδικό Kadaster εξυπηρετεί τόσο δημοσιονομικούς όσο και νομικούς σκοπούς. Ακόμη υποστηρίζει και τη διαχείριση της γης με την καταχώρηση νομικών περιορισμών που υπαγορεύονται από το δημόσιο

δίκαιο, όπως τη ρύπανση του εδάφους και των μνημείων, εκτός από τα εμπράγματα δικαιώματα. Τα όρια των γεωτεμαχίων στην Ολλανδία είναι σταθερά, γεγονός που συνεπάγεται ότι όλα τα πρόσωπα που συμμετέχουν πρέπει να συμφωνήσουν πλήρως με τη θέση των ορίων κάθε αγροτεμαχίου. Εκτός από τα κύρια καθήκοντα, το ολλανδικό Kadaster έχει τις εξής αρμοδιότητες: ενοποίηση της γης, διατήρηση του Χάρτη των Κάτω Χωρών (GBKN) μαζί με άλλα μέρη, διατήρηση των ολλανδικών γεωμετρικών Υποδομών μαζί με το Τμήμα Έρευνας (NAP) του Υπουργείου Μεταφορών, Δημοσίων Έργων και Διαχείρισης Υδάτων, ενώ έχει και την ευθύνη των παραδοσιακών τοπογραφικών καθηκόντων, αφού από τον Ιανουάριο του 2004 συγχωνεύθηκε με την τοπογραφική υπηρεσία.

Στην Ολλανδία έχει πραγματοποιηθεί μια συστηματική προσπάθεια ενσωμάτωσης των 3D αντικειμένων στο 2D κτηματολόγιο, η οποία στηρίζεται στην ιδέα ότι οι πληροφορίες για την τρίτη διάσταση δεν είναι απαραίτητη σε όλες τις περιπτώσεις. Επομένως με χρήση συγκεκριμένων διαδικασιών τα 3D αντικείμενα ενσωματώνονται στο 2D μοντέλο δεδομένων. Ακόμη εκτός από την χωρική διάσταση των 3D αντικειμένων στη Β.Δ. αποθηκεύονται και οι ιδιότητες αυτών. Τέλος τα γεωμετρικά αντικείμενα που χρησιμοποιούνται στο 3D κτηματολόγιο αντιπροσωπεύονται από γραμμές, τόξα, πολύεδρα, σφαίρες και άλλα σχήματα, ανάλογα με την αντιπροσώπευση των αντικειμένων στο 2D κτηματολόγιο.

1.1.2.2 Ισραήλ

Το υφιστάμενο κτηματολόγιο του Ισραήλ δεν λαμβάνει υπόψη την τρίτη διάσταση, ασχολείται μόνο με τις ιδιότητες της επιφάνειας. Ως εκ τούτου, η ισραηλινή κυβέρνηση αποφάσισε την περίοδο 1999-2000 να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα των χρήσεων γης και να τροποποιήσει τη νομοθεσία, καταγράφοντας τα δικαιώματα των πολλαπλών στρώσεων της κτηματολογικής πραγματικότητας. Να σημειωθεί ότι το υφιστάμενο κτηματολογικό σύστημα βασίζεται στις αρχές Torrens, δηλαδή είναι σύστημα καταγραφής τίτλων.

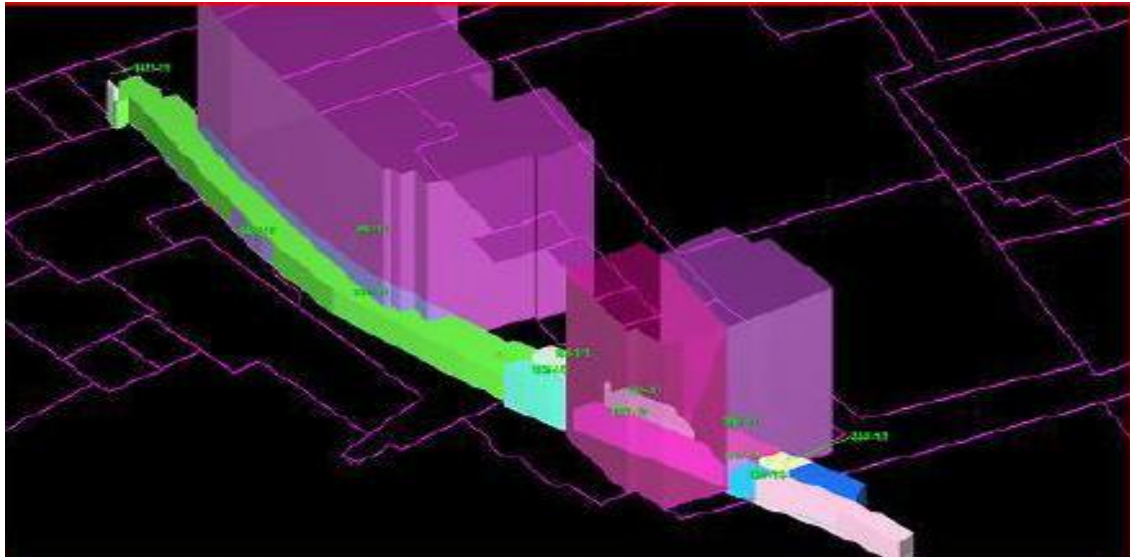
Για την ανάπτυξη του 3D κτηματολογίου, ορίστηκε μια ομάδα εμπειρογνομόνων, η οποία θα ασχολείται αφενός με την επίλυση τεχνολογικών-γεωδαιτικό προβλημάτων και αφετέρου με τις νομικές πτυχές. Πρόκληση του εγχειρήματος αυτού είναι η συλλογή, η επεξεργασία και η διαχείριση των τρισδιάστατων δεδομένων. Η τρίτη διάσταση, η οποία δεν εμφανίζεται μέχρι πρότινος στο κτηματολόγιο, καθιστά αναγκαία την ανάπτυξη νέων χωρικών μοντέλων για τη διαχείριση των πληροφοριών κάτω και πάνω από την επιφάνεια και τη σύνδεση της με τα στοιχεία της

επιφάνειας. Οι κύριες εργασίες που απαιτούνται για τον καθορισμό και την ίδρυση του 3D Κτηματολογίου είναι τα εξής:

- Ψηφιακή έκδοση του υπάρχοντος 2D κτηματολογίου
- Συμπλήρωση του 2D Κτηματολόγιο με υψομετρικά δεδομένα
- Μετρήσεις, επεξεργασία δεδομένων και χαρτογράφηση σε τρεις διαστάσεις
- Αναλυτική σύνδεση μεταξύ της υπόγειας και την πάνω από επιφάνεια ιδιοκτησία με την επιφάνεια.
- Μοντέλο και βάσης δεδομένων 3D κτηματολογίου.
- Προτάσεις αλλαγών (σχεδίαση/ επανακαθορισμός) του υφιστάμενου νόμου περί κτηματολογίου, λαμβάνοντας υπόψη τους ισχύοντες μηχανικούς και τεχνικούς περιορισμούς.
- Δημιουργία ενός ενεργού υπολογιστικού μοντέλου καταγραφής των δικαιωμάτων.
- Τροποποίηση του Κανονισμού έρευνας, προκειμένου να διευκολυνθεί η καταγραφή του 3D κτηματολογίου.

Πληθώρα ερευνητών έχουν ασχοληθεί με το μελλοντικό κτηματολόγιο του Ισραήλ, ορισμένοι από αυτούς είναι οι εξής: Campbell and Hastie, 1998), (Gisiger, 1998), (Guillet, 1998), (Kaufman and Steudler, 1998), (Pratt, 1998) and (Tulloch, Niemann and Epstein, 1996). Οι περισσότεροι από αυτούς συμφωνούν ότι θα είναι αναλυτικό, τρισδιάστατο και θα ασχολείται με τη γη, το δίκαιο και τους ανθρώπους.

Προκειμένου να υλοποιηθεί το 3D κτηματολόγιο υιοθετήθηκε μια τεχνική χωρικής καταγραφής. Σύμφωνα με αυτή, το επιφανειακό γεωτεμάχιο χωρίζεται σε υπο- γεωτεμάχια. Κάθε δραστηριότητα που λαμβάνει χώρα στα υπό-γεωτεμάχια που βρίσκονται πάνω ή κάτω από την επιφάνεια της γης οριοθετούνται και καθορίζονται στερεομετρικά με τρισδιάστατα περιγράμματα. Το σχήμα που ακολουθεί αποτελεί τρισδιάστατη αναπαράσταση χωρικών υπο-γεωτεμαχίων σε υπάρχοντα γεωτεμάχια.



Εικόνα 1.1: τρισδιάστατη αναπαράσταση χωρικών υπο-γεωτεμαχίων σε υπάρχοντα γεωτεμάχια Πηγή: Moshe Benhamu 2006

Τέλος για την προώθηση της καταγραφής της πολυδιάστατης πραγματικότητας, αναπτύχθηκε το πρόγραμμα R&D, το οποίο υλοποιήθηκε από ομάδα έξι εμπειρογνομώνων σε διαφορετικούς τομείς. Το έργο ολοκληρώθηκε με επιτυχία κατά τη διάρκεια του Αυγούστου 2004. Οι κύριοι στόχοι του R&D προγράμματος ήταν να βρεθεί ένα γεωδαιτικός, κτηματολογικός σχεδιασμός, καθώς και μηχανικές/νομικές λύσεις, για τη χρήση των χώρων πάνω και κάτω από την επιφάνεια, καθορίζοντας έτσι τα χαρακτηριστικά της μελλοντικής ανάλυσης και συμπληρώνοντας το υπάρχον 2D κτηματολόγιο.

1.1.2.3 Queensland, Australia

Από το 1997, κατέστη δυνατή η δημιουργία γεωτεμαχίων, τα οποία ορίζονται από 3D γεωμετρίες. Ωστόσο περιλαμβάνονται μόνο τα αποτύπωμα των γεωτεμαχίων αυτών. Δηλαδή, η 3D γεωμετρία δεν είναι διαθέσιμη στο κτηματολογικό γεωγραφικό σύνολο δεδομένων, και ως εκ τούτου δεν είναι δυνατόν να διερευνηθεί η 3D κατάσταση, ούτε είναι να ελεγχθεί αν δύο ογκομετρικά γεωτεμάχια επικαλύπτονται. Σύμφωνα με την νομοθεσία του Queensland ένα πρότυπο γεωτεμάχιο έχει απεριόριστες διαστάσεις σε ύψος και βάθος. Εκτός από αυτό, διακρίνονται τέσσερεις τύποι γεωτεμαχίων με τρισδιάστατο περιεχόμενο:

building parcels: τα οποία είναι γεωτεμάχια που ορίζεται από δάπεδα, τοίχους και οροφές.

restricted parcels: τα οποία είναι γεωτεμάχια που περιορίζονται σε ύψος ή βάθος από μια ορισμένη απόσταση πάνω ή κάτω από την επιφάνεια ή από ένα καθορισμένο επίπεδο. Τα όρια αυτών των γεωτεμαχίων πρέπει να συμπίπτουν με τα όρια του επιφανειακού γεωτεμαχίου.

volumetric parcels: τα οποία είναι γεωτεμάχια που οριοθετούνται πλήρως από τις επιφάνειες και είναι συνεπώς ανεξάρτητα από τα 2D όρια των επιφανειακών αγροτεμαχίων.

remainder parcels: τα οποία είναι τα γεωτεμάχια που απομένουν όταν αποκοπούν είτε volumetric parcels είτε building parcels.

Τα τοπογραφικά σχέδια που χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση των γεωτεμαχίων ποικίλουν ανά περίπτωση. Οι τύποι σχεδίων που χρησιμοποιούνται είναι οι: standard format plan, building format plan, volumetric format plan.

Τα κτηματολογικά γεωγραφικά σύνολα δεδομένων του Queensland, έχουν ένα επίπεδο βάσης “base layer”, το οποίο είναι μια μη επικαλυπτόμενη κάλυψη της περιοχής και αποτελείται από γεωτεμάχια, οδοστρώματα, σιδηρόδρομους, υδατόρρευμα και γεωτεμάχια τομής. Το γεωτεμάχιο τομής είναι μέρος του οδοστρώματος (η διασταύρωση των οδών). Τα Volumetric γεωτεμάχια δεν αποτελούν μέρος της μη επικαλυπτόμενης κάλυψης. Για το λόγο αυτό μόνο τα αποτυπώματα τους αποτυπώνονται στο “base layer” και έτσι υπάρχει επικάλυψη μεταξύ αυτών και των γεωτεμαχίων βάσης. Οι δουλείες επίσης αποτυπώνονται και σε πολλές περιπτώσεις τέμνουν περισσότερα από ένα γεωτεμάχια. Τέλος τα building γεωτεμάχια δεν απεικονίζονται.

1.2 ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΟΥ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟΥ

Με το πέρασμα των χρόνων, ο κόσμος στον οποίο ζούμε αποκτά όλο και περισσότερη αστική ταυτότητα και το περιβάλλον γίνεται όλο και πιο πολύπλοκο και πυκνό, όσο προσπαθούμε να ανταποκριθούμε στη μαζική αυτή αστικοποίηση. Σήμερα, ο αστικός πληθυσμός καλύπτει παραπάνω από τον μισό του παγκόσμιου πληθυσμού της Γης, ενώ το 1960 κυμαινόταν γύρω

στο 30% του συνολικού πληθυσμού και από το 2017 εκτιμάται πως η πλειοψηφία του παγκόσμιου πληθυσμού θα είναι συγκεντρωμένη σε αστικές περιοχές (Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας 2014). Η αστικοποίηση έχει χαρακτηριστεί σαν την σημαντικότερη αλλαγή σε αυτόν τον αιώνα, κυρίως στις υπό ανάπτυξη χώρες, όπου οι οικοδομήσιμες εκτάσεις αναμένεται να τριπλασιαστούν μεταξύ του έτους 2000 και 2030. Η αστικοποίηση επομένως, αποτελεί μία πολύπλευρη πρόκληση και η καταλληλότερη απάντηση, είτε είναι σωστή είτε λάθος, είναι η κατασκευή ουρανοξυστών που αποτελούν την κυρίαχο δύναμη στις αστικές περιοχές. Οι κοινωνικές, περιβαλλοντικές και οικονομικές πλευρές των κτηρίων αυτών υποστηρίζονται από συστήματα διαχείρισης Γης, δεδομένου του θεμελιώδους ρόλου τους στη διαχείριση πληροφοριών για αξίες και χρήσεις γης και ανάπτυξης της γήινης επιφάνειας. Παρόλα αυτά, τα συγκεκριμένα κτηματολογικά συστήματα, βασίζονται σε δισδιάστατες πρακτικές καταγραφής και αποτύπωσης της γης και των ιδιοτήτων της, οι οποίες αποδεικνύονται ανεπαρκείς στην δυνατότητα να διευκολύνουν την ακριβή καταγραφή και απεικόνιση πολύπλοκων δικαιωμάτων ιδιοκτησίας, περιορισμών και ευθυνών (RRR) που ορίζονται στις τρεις διαστάσεις, όπως εκείνων που εντοπίζονται σε έναν ουρανοξύστη. Η ανάπτυξη και εφαρμογή του τρισδιάστατου ψηφιακού κτηματολογίου είναι πλέον μία απαραίτητη και επείγουσα ανάγκη για κάθε ανεπτυγμένη ή υπό ανάπτυξη χώρα.

1.3 ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΤΟΥ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟΥ: ΕΥΚΑΙΡΙΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ

Παρόλο το γεγονός, πως η εξέλιξη της τεχνολογίας φαίνεται να δημιουργεί πρωτοποριακές ιδέες στον τομέα του τρισδιάστατου κτηματολογίου, στην πραγματικότητα εστιάζει στην ανάπτυξη τρεχόντων παραδειγμάτων για τη βελτίωση της συνεργασίας μεταξύ διαφορετικών τύπων δεδομένων. Αυτή η φιλοσοφία είναι γνωστή στη βιομηχανία των τοπογραφικών, χαρτογραφικών και χωρικών επιστημών. Με μία ανασκόπηση στο παρελθόν, σε μία πρωτοβουλία του FIG 'Cadastre 2014' (Kaufmann και Steudler, 1998), είχαν ήδη τεθεί τα θεμέλια για την κατεύθυνση που κινείται πλέον το τρισδιάστατο κτηματολόγιο. Στην πρωτοβουλία αυτή, παρουσιαζόταν ένα απλό αλλά αποτελεσματικό πλαίσιο για την υποστήριξη της εξέλιξης των κτηματολογικών συστημάτων υλοποιώντας ένα σύστημα παγκόσμιων αρχών, το οποίο όλες οι χώρες μπορούσαν να το χρησιμοποιήσουν ως αφετηρία, δίνοντας έμφαση στην ενσωμάτωση της πληροφορίας στις αναπτυσσόμενες τεχνολογίες τρισδιάστατης απεικόνισης. Δεδομένης της φύσης των πληροφοριών που περιέχονται στις κτηματολογικές καταγραφές, υπήρχε πάντοτε η αναγνώριση

της δυνατότητας των κτηματολογικών συστημάτων να υποστηρίξουν ευρύτερες περιβαλλοντικές εφαρμογές. Η αντίληψη αυτή είχε ξεκινήσει από το 1970 με τον χαρακτηρισμό ‘multipurpose cadastres’ (e.g. McLaughlin, 1975), ο οποίος αναμφίβολα συνεχίζει να είναι επιτυχημένος μέχρι και σήμερα. Επίσης, η σύνδεση των τρισδιάστατων κτηματολογικών πληροφοριών με πολλαπλές εφαρμογές που αφορούν τον σχεδιασμό του αστικού χώρου διατηρεί τη χρησιμότητα και τον ρόλο της κτηματολογικής πληροφορίας ως θεμελιώδη σε όλες τις κοινωνίες. Σταδιακά αναλαμβάνονται πρωτοβουλίες οι οποίες κινούνται προς το σκοπό αυτό. Στην Ευρώπη, το γεωτεμάχιο έχει αποκτήσει έναν πιο εμφανή ρόλο στην αποτύπωση πολλαπλών πλευρών της διαχείρισης της χωρικής πληροφορίας μέσω του INSPIRE (INSPIRE, 2007). Ένας από τους τρόπους διευκόλυνσης της συνεργασίας μεταξύ των λειτουργιών του τρισδιάστατου κτηματολογίου είναι η αναζήτηση ευκαιριών για την εκμετάλλευση τρισδιάστατων τεχνολογιών, όπως το BIM και το IFC. Η τεχνολογία BIM αναφέρεται ταυτοχρόνως σε δύο σκοπούς. Υπάρχουν πολλοί ορισμοί, αλλά ευρέως αναγνωρίζεται σαν ένα μοντέλο πληροφορίας, δηλαδή σαν ένα προϊόν, στο οποίο οι πληροφορίες για τα στοιχεία ενός κτηρίου οπτικοποιούνται σαν ένα τρισδιάστατο μοντέλο. Το BIM σαν προϊόν αλλά και σαν πρωτοποριακή διαδικασία έχουν επιφέρει σημαντικές βελτιώσεις στην παραγωγικότητα της βιομηχανίας διαχείρισης γης, κυρίως στο σχεδιασμό, συντονισμό και ανάλυση ενός κτηρίου. Η αξία της ενοποίησης των πληροφοριών ενός κτηρίου που προκύπτουν από διαφορετικές μεθόδους αποτυπώνεται στη μείωση του συνολικότερου κόστους σε περίπτωση αλλαγών και στη βέλτιστη πληρότητα του τελικού μοντέλου. Η χρήση αυτών των μοντέλων αυξάνεται ραγδαία, περίπου 400% τα τελευταία χρόνια μόνο στη Νότια Αμερική (McGraw-Hill, 2012). Το BIM δεν είναι πλέον ένα περιστασιακό φαινόμενο, αλλά αντιπροσωπεύει μία τεχνολογική εξέλιξη την οποία η βιομηχανία διαχείρισης γης δεν είναι σε θέση να αγνοήσει. Δεδομένης της αυξανόμενης στροφής στη χρήση του BIM από εθνικές κυβερνήσεις, όπως οι Η.Π.Α, το Ηνωμένο Βασίλειο και η Σιγκαπούρη, η έρευνά για την εφαρμογή της τεχνολογίας BIM για κτηματολογικούς σκοπούς αποκτά περισσότερο ενδιαφέρον: διευκολύνει τη δημιουργία μίας “γεφυρας” μεταξύ της βιομηχανίας της διαχείρισης γης και των βιομηχανιών των ευρύτερων κατασκευών και τοποθετεί την πρώτη σε μία πλεονεκτική θέση για διαπραγματεύσεις που αφορούν τη διαχείριση του αστικού χώρου και την προστασία του περιβάλλοντός του.

Όπως προαναφέρθηκε, ο παγκόσμιος αστικός πληθυσμός απαιτεί πλέον διαμερίσματα και πολυτελείς ουρανοξύστες. Το 2013, περισσότεροι από 3,5 δισεκατομμύρια άνθρωποι, περίπου δηλαδή το μισό του παγκόσμιου

πληθυσμού μένουν σε πόλεις. Πολλά συγκροτήματα διαμερισμάτων και εγκαταστάσεων ανακαινίζονται, επεκτείνονται, ή ακόμα και διαμορφώνουν τη χρήση τους ανάλογα με τις ανάγκες των ανθρώπων. Μεταξύ του 2006 και του 2011, η Αυστραλία έχει μία αύξηση της τάξης του 15% στον εθνικό μέσο όρο των κτηρίων σε αστικές περιοχές. Η ανακαίνιση, επέκταση και η αλλαγή της χρήσης των συγκροτημάτων αυτών απαιτούν μία λειτουργικότερη ενοποίηση της βιομηχανίας της διαχείρισης γης με βιομηχανίες όπως η αρχιτεκτονική, η κατασκευαστική, η μηχανική κ.ά. Αναφέροντας αυτά τα ζητήματα, δημιουργούνται μοναδικές προκλήσεις, οι οποίες δεν είναι δυνατόν να αντιμετωπιστούν από τις υπάρχουσες πρακτικές που βασίζονται σε σχέδια δύο διαστάσεων. Οι προκλήσεις αυτές περιλαμβάνουν δικαιώματα ιδιοκτησιών, περιορισμούς, ευθύνες και μία ομάδα από μηχανικές και αρχιτεκτονικές λειτουργίες που σχετίζονται με τη γη, αλλά και με το εσωτερικό και το εξωτερικό των κτηρίων. Η εισαγωγή των τρισδιάστατων μοντέλων στην βιομηχανία της διαχείρισης γης ανταποκρίνεται σε αυτούς τους είδους τις προκλήσεις, παρέχοντας δεδομένα τα οποία περιγράφουν τη γη και τα κτήρια σε τρισδιάστατη μορφή. Ολοένα και περισσότερα ακίνητα, τα οποία παραδοσιακά χρησιμοποιούνταν για εμπορικούς σκοπούς, πλέον αποτελούν το κλειδί για τη στέγαση σε αστικές περιοχές, τόσο στις ανεπτυγμένες όσο και στις μη ανεπτυγμένες χώρες. Η παγκοσμιοποίηση έχει έναν κομβικό ρόλο στην τάση αυτή, διότι τα κτήρια που σχεδιάζονται συνεισφέρουν ενεργά στην ανάπτυξη της οικονομίας χωρών όπως η Κίνα και η Ινδία. Όλα τα παραπάνω επομένως, οδηγούν στην ανάγκη για την δημιουργία πληροφοριών που αφορούν τα δικαιώματα στη χρήση της γης, τους περιορισμούς και τις ευθύνες (Rights, Restrictions, Responsibilities). Οι επενδύσεις για τη δημιουργία αστικών χώρων, οδηγούν αδιαμφισβήτητα στην ανάγκη για επένδυση στις υποδομές και στις υπηρεσίες μίας χώρας. Σαν χωρικές οντότητες, οι επενδύσεις αυτές επηρεάζουν αισθητά τον αστικό χώρο. Επομένως, χρειάζονται πληροφορίες για όλες τις πλευρές της κατασκευής ενός κτηρίου, προκειμένου η λήψη αποφάσεων για την τοποθέτηση των κτηρίων να υποστηρίζει την μεγαλύτερη δυνατή λειτουργικότητα της πόλης. Επιπροσθέτως, η αυξανόμενη υιοθεσία των παγιωμένων αστικών στρατηγικών ανά τον κόσμο, παράγει ένα εύρος άλλων προκλήσεων που σχετίζονται άμεσα με την αύξηση σε μέγεθος και πολυπλοκότητα των νεόδμητων κτηρίων και αφορούν την προστασία του περιβάλλοντος. Υπάρχουν ήδη στοιχεία πως μία λεπτομερής προσέγγιση στο σχεδιασμό και τη διαχείριση του αστικού χώρου μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένο αντίκτυπο στην προστασία του περιβάλλοντος. Επομένως, είναι επιτακτική η ανάγκη να συγχωνευτούν όλες εκείνες οι διαφορετικές πηγές που παρέχουν πληροφορίες για το αστικό περιβάλλον και το τρισδιάστατο

κτηματολόγιο είναι ένας ακριβής, επίσημος και ξεκάθαρος θεσμός που έχει τη δυνατότητα να κατανοεί την αστική μορφή μίας χώρας.

1.4 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΤΟ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ

Έχει σημειωθεί σημαντική πρόοδος στην εξέλιξη του σκοπού του τρισδιάστατου κτηματολογίου και στις σχετικές με αυτό τεχνολογίες, προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η αποτύπωση των πληροφοριών ενός αστικού χώρου. Η πρόοδος αυτή γίνεται όλο και πιο συστηματική και πιο συγκεκριμένα, μέσα στα τελευταία χρόνια έχει εισαχθεί το μοντέλο διαχείρισης της γης, γνωστό διεθνώς ως Land Administration Domain Model. Το μοντέλο αυτό αποτελεί ένα βοήθημα για την καταγραφή των RRR σε τρισδιάστατη μορφή και ολοένα και περισσότερες χώρες, όπως η Ρωσία, Κίνα, Ολλανδία, Ινδονησία, Μαλαισία, εκτελούν δοκιμές για να ελέγξουν την ακρίβεια και καταλληλότητά του για ζητήματα διαχείρισης γης. Η έρευνα στα τρισδιάστατα κτηματολογικά συστήματα, πλέον απασχολεί περίπου τριάντα διαφορετικές χώρες, γεγονός που οδηγεί στην δημιουργία 4 διεθνών σεμιναρίων κάθε χρόνο. Αυτό αποτελεί ένα σημαντικό επίτευγμα, που αποτυπώνει την αποφασιστικότητα της διοίκησης της διεθνούς ένωσης τοπογράφων (FIG) για την εξεύρεση μίας επιτυχημένης λύσης. Παρόλα αυτά, ένα ερώτημα που καλείται να απαντηθεί είναι το εξής: Μήπως, η τρέχουσα έρευνα για το τρισδιάστατο κτηματολόγιο είναι υπερβολικά εξειδικευμένη; Στην προσπάθεια να κατανοηθούν τα τρισδιάστατα κτηματολογικά συστήματα, μήπως αγνοείται η ευρύτερη ανάπτυξη του περιβάλλοντος χώρου, ο οποίος αποτελεί θεμέλιο λίθο της επιστήμης του τοπογράφου; Υπάρχει μεγάλος αριθμός διακηρύξεων της διεθνούς ένωσης τοπογράφων, ο οποίος εδώ και χρόνια δίνει έμφαση στο ρόλο που πρέπει να έχουν τα κτηματολογικά συστήματα στην ανάπτυξη του αστικού χώρου (e.g. Bathurst Declaration, 1999, Marrakech Declaration, 2002). Πιο συγκεκριμένα, ένα πετυχημένο κτηματολογικό σύστημα δεν αρκεί μόνο να περιέχει ακριβείς κτηματολογικές πληροφορίες, αλλά να είναι σε θέση να τις ενσωματώνει στο ευρύτερο περιβάλλον πληροφοριών ενός αστικού χώρου. Με την προσβασιμότητα στις τρισδιάστατες τεχνολογίες, δεν υπάρχει αμφιβολία πως οι διεθνείς τάσεις κινούνται προς τη δημιουργία ενός τρισδιάστατου ψηφιακού περιβάλλοντος για τη διαχείριση της γης.

1.5 Η ΕΞΕΙΔΙΚΕΥΜΕΝΗ ΦΥΣΗ ΤΟΥ ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟΥ

Ο θεμελιώδης ρόλος της κτηματολογικής πληροφορίας στην αγορά της ακίνητης περιουσίας στις δυτικές χώρες δημιουργεί την ανάγκη για νομοθετικούς μηχανισμούς που θα διαχειρίζονται και θα καταγράφουν την

πληροφορία αυτή. Η διαχείριση και η καταγραφή της κτηματολογικής πληροφορίας αποτελεί μία εξειδικευμένη πρακτική, η οποία παραδοσιακά ορίζεται και υλοποιείται από την επιστήμη της τοπογραφίας. Υπάρχουν στοιχεία πως μεγάλο μέρος της έρευνας που υλοποιείται τα τελευταία χρόνια παραμένει στενά συνδεδεμένη με την εξέλιξη των τρέχουσων πρακτικών διαχείρισης και καταγραφής της κτηματολογικής πληροφορίας. Για παράδειγμα, στην Αυστραλία, γίνεται προσπάθεια εισαγωγής του τρέχοντος μοντέλου δεδομένων καταγραφής της ακίνητης περιουσίας (erlan) σε τρισδιάστατο κτηματολογικό σύστημα. Μία ενέργεια απολύτως λογική, μιας και η αξιοπιστία του τρέχοντος κτηματολογικού συστήματος είναι δεδομένη και η μετάβαση σε ένα τρισδιάστατο ψηφιακό σύστημα καθίσταται ακριβέστερα ελεγχόμενη. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ο ρόλος της κτηματολογικής πληροφορίας είναι θεμελιώδης σε ένα κτηματολόγιο. Παρόλα αυτά, η συγκεκριμένη άποψη δεν αναγνωρίζεται πάντοτε από την ευρύτερη κοινότητα. Σε πολλές χώρες, τα κτηματολογικά συστήματα περιλαμβάνουν μόνο περιοχές υπό ανάπτυξη ή χρησιμοποιούνται τμηματικά για συγκεκριμένους σκοπούς. Χρησιμοποιώντας ξανά την Αυστραλία σαν παράδειγμα, η κτηματολογική πληροφορία θεωρείται ως μέρος της διαδικασίας ανάπτυξης μίας περιοχής και σαν δευτερεύοντα ρόλο έχει τη βελτιστοποίηση της διαχείρισης της γης προς όφελος της κοινότητας.

1.6 ΠΛΕΥΡΕΣ ΤΟΥ ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟΥ

Το τρισδιάστατο κτηματολόγιο θα είναι ένα εργαλείο για το σύστημα διαχείρισης της γης το οποίο θα εγγράφει χωρικά και τρισδιάστατα δικαιώματα γης, περιορισμούς και ευθύνες (RRR). Θα έχει τη δυνατότητα να δέχεται, να αποθηκεύει, να επεξεργάζεται, να αναλύει και να οπτικοποιεί δεδομένα σε ένα ορισμένο, νόμιμο και τεχνικό πλαίσιο το οποίο θα διέπεται από συγκεκριμένους κανόνες. Εδώ παρουσιάζονται τρεις πλευρές οι οποίες είναι αναγκαίο να ληφθούν υπόψη κατά τη σύσταση ενός τρισδιάστατου Κτηματολογίου.

1.6.1 ΝΟΜΙΚΗ ΠΛΕΥΡΑ ΤΟΥ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟΥ

Οι ιδιοκτήτες περιουσιών σε τρεις διαστάσεις, όπως ο ιδιοκτήτης ενός διαμερίσματος, είναι αναγκασμένοι να χρησιμοποιούν ένα συγκεκριμένο τρισδιάστατο χώρο. Αυτοί οι τρισδιάστατοι χώροι, συνήθως βρίσκονται ο ένας πάνω από τον άλλον σε ένα γεωτεμάχιο, ή κάποιες φορές εκτείνονται και σε άλλα γεωτεμάχια. Οι τρισδιάστατες καταγραφές περιουσίας επομένως, όταν υπάρχουν δεν υποστηρίζουν μία καθολική αποτύπωση των περιουσιών σε ένα χώρο. Για παράδειγμα, η εγκαθίδρυση τρισδιάστατων μηχανικών ιδιοτήτων

δεν επιτρεπόταν στη Νορβηγία, ή ένας τομέας της ιδιοκτησίας δεν ήταν δυνατό να αποδοθεί στην τρίτη διάσταση στη Σουηδία (Stoter & Oosterom, 2006). Για την επίλυση του συγκεκριμένου προβλήματος, οι νομικές υπηρεσίες σε μερικές χώρες οφείλουν να αναπτύξουν την υποστήριξη στην καταγραφή και απεικόνιση των τρισδιάστατων ιδιοτήτων. Για παράδειγμα, η νομοθεσία στην Βικτόρια (Αυστραλία) αναπτυσσόταν για ένα σημαντικό χρονικό διάστημα, προκειμένου να είναι σε θέση να αντιμετωπίσει τις απαιτήσεις των πολλαπλών ιδιοκτησιών γης και κτηρίων, μιας και οι επενδυτικοί οργανισμοί δε θα ήταν δυνατό να ρισκάρουν την επένδυση του κεφαλαίου σε ελλιπείς πληροφορίες που αφορούν τις τρισδιάστατες ιδιότητες ενός μοντέλου πόλης.

1.6.2 ΘΕΣΜΙΚΗ ΠΛΕΥΡΑ ΤΟΥ ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟΥ

Η νομική πλευρά του κτηματολογίου είναι το υπόβαθρο για την ανάπτυξη συστημάτων διαχείρισης γης, αλλά το κτηματολόγιο έχει ουσιαστικό νόημα μόνο εάν λειτουργεί μέσα σε ένα θεσμικό πλαίσιο, παρέχοντας κανόνες για τον ορισμό των ιδιοκτησιακών καθεστώτων και κάθε είδους κτηματολογικής πληροφορίας. Οι παραπάνω κανόνες είναι πάρα πολύ βασικοί, μιας και αν δεν ορίζεται η τρίτη διάσταση σε ένα ιδιοκτησιακό καθεστώς, το τρισδιάστατο κτηματολόγιο δεν είναι σε θέση να λειτουργήσει ουσιαστικά (Molen, 2003). Όπως έχει αναφερθεί, πρέπει να υπάρχει μία ουσιαστική και σταθερή σχέση μεταξύ του ιδιωτικού και δημόσιου τομέα για τον διαμοιρασμό της γνώσης και τη δυνατότητα να υπάρχει μία κοινή εξέλιξη του σκοπού και των αρχών για την ανάπτυξη του τρισδιάστατου Κτηματολογίου. Η θεσμική πλευρά του Κτηματολογίου, μπορεί να χωριστεί σε διαφορετικές κατηγορίες. Κατ' αρχάς, διοικητικοί θεσμοί που εκτελούν και προστατεύουν τον τρόπο λειτουργίας του Κτηματολογίου βασισμένοι στην εκάστοτε νομοθεσία. Δεύτερον, εννοιολογικοί θεσμοί οι οποίοι παρέχουν ένα συνδεσμό τρισδιάστατων μοντέλων, όπως το διαμέρισμα, τρισδιάστατα ιδιοκτησιακά καθεστώτα, συγκροτήματα κτηρίων κ.ά.

1.6.3 ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΛΕΥΡΑ ΤΟΥ ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟΥ

Η τεχνολογία στο τρισδιάστατο Κτηματολόγιο είναι η γνώση και η χρήση των εργαλείων, των μεθόδων και των μοντέλων ώστε να δημιουργηθεί το τρισδιάστατο Κτηματολόγιο. Η εξέλιξη στην τεχνολογία, αυξάνει την αποτελεσματικότητα του Κτηματολογίου. Η αποτελεσματικότητα του Κτηματολογίου εξελίσσεται ανάλογα με την πρόοδο στις υπολογιστικές επιστήμες, όπως φαίνεται από τον παρακάτω πίνακα.

Time	Available Technology	Aims of Cadastre	Possibility of 3D Representation
Before 1980s	Paper	Registration, Fiscal, 2D Visualisation	N/A
1980s	CAD	Registration, Fiscal, 2D Visualisation	N/A
1990s	CAD, GIS	Registration, Fiscal, 2D Visualisation, 2D Vector-based Analysis	N/A
2000s	CAD, GIS, 3D Raster-based Tools	Registration, Fiscal, 3D Raster-based Visualisation, 2D Vector-based Analysis	Yes
2010	Augmented reality Virtual reality	Registration, Fiscal, 3D Vector-based Visualisation, 2D Vector-based Analysis	Yes
Future	3D (CAD, GIS), 3D DBMS 3D Vector-based	3D Registration, Fiscal, 3D Visualisation, 3D Vector-based Analysis	Yes

Πίνακας 1.1: 3D cadastre development

Παρόλο το γεγονός πως τα κτηματολογικά συστήματα ήταν σε γραπτή μορφή, η χρήση τους ήταν περιορισμένη όσον αφορούσε τη διαχείριση της γης και τους φορολογικούς σκοπούς (Ting & Williamson, 1999). Σήμερα, η τεχνολογία του GIS και άλλων συστημάτων χωρικής ανάλυσης προσθέτουν επιπλέον εφαρμογές στα κτηματολογικά συστήματα και είναι δυνατή η ανάλυση αλλά και επεξεργασία των δεδομένων με τη μορφή query. Παρόλες τις προηγούμενες προσπάθειες σε δισδιάστατη μορφή, με τις νέες τεχνολογίες στα σχεδιαστικά λογισμικά, όπως το Google Earth, το Trimble SketchUp, το Autodesk Map 3D, και το Esri's ArcGIS ενισχύονται οι προσπάθειες των ερευνητών για την αναγνώριση των δυνατοτήτων του τρισδιάστατου Κτηματολογίου. Αναπόφευκτα, το τρισδιάστατο Κτηματολόγιο θα επιτευχθεί εξελίσσοντας τις τεχνολογίες 3D CAD, 3D GIS, και 3D DBMS, οι οποίες παρέχουν δυνατότητες σχεδίασης, αναβάθμισης, ανάλυσης και οπτικοποίησης τρισδιάστατων κτηματολογικών αντικειμένων με έμφαση τόσο στη γεωμετρική, όσο και στην τοπολογική δομή τους. Η τεχνική πλευρά του Κτηματολογίου, διαφέρει με βάση στο περιεχόμενό της και μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε διαφορετικές θεματικές ενότητες βασισμένες στο αντικείμενο της κάθε μίας:

- Συλλογή τρισδιάστατων δεδομένων: έρευνα που αφορά τον τύπο των τρισδιάστατων κτηματολογικών δεδομένων που πρέπει να συλλεχθούν(κτήρια, γέφυρες, τούνελ κ.ά.) και τις μεθόδους που πρέπει να χρησιμοποιηθούν για τη συλλογή των τρισδιάστατων δεδομένων(τοπογραφία, φωτογραμμετρία, κ.ά.). Η ενσωμάτωση διαφορετικών τρισδιάστατων μεθόδων συλλογής δεδομένων είναι μία λύση σε αυτό το πεδίο της έρευνας.
- Απεικόνιση τρισδιάστατων δεδομένων: Η οπτικοποίηση τρισδιάστατων κτηματολογικών αντικειμένων και αναλύσεων σε ψηφιακή μορφή. Τα συστήματα 3D GIS και CAD παρέχουν αυτή τη δυνατότητα.
- Κτηματολογική αναβάθμιση: Η γεωμετρία και η τοπολογία των τρισδιάστατων κτηματολογικών αντικειμένων είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη και είναι απαραίτητο να διατηρούνται σε μία τρισδιάστατη βάση δεδομένων. Σήμερα, για την αποθήκευση αυτών των πληροφοριών, χρησιμοποιείται βάση δεδομένων που αφορά τις δύο διαστάσεις.
- Τρισδιάστατη μοντελοποίηση: Η ανάπτυξη μοντέλων για τον προσδιορισμό τρισδιάστατων αντικειμένων και των μεταξύ τους σχέσεων. Η τρισδιάστατη μοντελοποίηση θα ενεργοποιήσει την λήψη, τη διαχείριση, την ανάλυση και την οπτικοποίηση τρισδιάστατων δικαιωμάτων ιδιοκτησίας, περιορισμών και ευθυνών(RRR). Τα περισσότερα από τα υπάρχοντα κτηματολογικά δεδομένα είναι σε δύο διαστάσεις, όπως το πρόγραμμα "ePlan data model" (ICSM, 2009), το οποίο περιορίζεται στο να χαρακτηρίζει συγκεκριμένα τρισδιάστατα αντικείμενα βάσει του όγκου τους.

1.7 LAND ADMINISTRATION DOMAIN MODEL

Μια σημαντική προσπάθεια τυποποίησης των συστημάτων κτηματολογίου άρχισε το 2002 με την πρόταση των Lemmen και Van Oosterom για τη δημιουργία του Core Cadastral Domain Model (C.C.D.M.), το οποίο παρουσιάστηκε σε εξελιγμένη μορφή το 2005 στη Μόσχα. Το C.C.D.M. εξελίχθηκε στην πορεία στο Land Administration Domain Model (L.A.D.M.) και χαρακτηρίζεται ως διεθνές πρότυπο από την 1η Νοεμβρίου 2012 από το Διεθνή Οργανισμό Προτύπων (I.S.O.) και την Τεχνική Επιτροπή. Πιο συγκεκριμένα:

-Είναι ένα σχεδιαζόμενο σύγχρονο σύστημα διαχείρισης της γης, το οποίο αποσκοπεί στην καταγραφή και τη διάδοση πληροφοριών σχετικών με την ιδιοκτησία, τη χρήση και την αξία της γης. Ειδικότερα, αποσκοπεί να καλύψει τις διεθνείς αντιλήψεις σχετικά με το L.A. (Land Administration- Διοίκηση Γης).

-Επιτρέπει στους χρήστες της ίδιας χώρας ή και χρήστες διαφόρων χωρών να επικοινωνούν στην ίδια γλώσσα οντοτήτων.

-Είναι ένα μοντέλο αναφοράς γης, το οποίο έχει δομή M.D.A. (Model Driven Architecture), μπορεί να επεκταθεί για την ανάπτυξη αποτελεσματικών συστημάτων L.A. από διάφορες χώρες και μπορεί να βοηθήσει στη λήψη αποφάσεων για θέματα διαχείρισης φυσικών πόρων, περιβαλλοντικών, πολεοδομικών κ.τ.λ.. Το διεθνές αυτό πρότυπο εστιάζει σε εκείνο το μέρος της διαχείριση γης που ενδιαφέρεται για τα δικαιώματα, τις υποχρεώσεις και τους περιορισμούς που έχουν επιπτώσεις στη γη (ή το νερό), καθώς και στα γεωμετρικά (geospatial) συστατικά επ' αυτού. Στόχος του LADM είναι η δημιουργία μιας κοινής γλώσσας επικοινωνίας μεταξύ των χωρών, η οποία θα βασίζεται σε τυποποιημένες υπηρεσίες πληροφοριών σε διεθνές ή εθνικό πλαίσιο και θα σχετίζεται με την διαχείριση της γης και της ακίνητης ιδιοκτησίας. Οι τέσσερις βασικές αρχές που λήφθηκαν υπόψη κατά τον σχεδιασμό του προτύπου είναι: α) να καλύψει το κοινό θεματικό πλαίσιο διοίκησης γης ανά τον κόσμο, β) να συμπεριλάβει το εννοιολογικό πλαίσιο του «Κτηματολογίου 2014», γ) να είναι όσο το δυνατόν πιο απλό και κατανοητό, ώστε να είναι εύχρηστο, δ) να ακολουθεί τα διεθνή πρότυπα (ISO) όσον αφορά στα γεωχωρικά δεδομένα. Το LADM είναι βασισμένο σε 4 βασικές οντότητες, οι οποίες αποτελούν τον πυρήνα του συστήματος για την διαχείριση των καταγραφόμενων πληροφοριών. Οι οντότητες αυτές είναι οι ακόλουθες:

-Συμβαλλόμενα μέρη (L.A. Parties), δηλαδή πρόσωπα ή ομάδες αυτών που έχουν δικαιώματα στη γη, όπως αυτά καταγράφονται από το σύστημα κτηματολόγιο κάθε χώρας

-Βασικές διοικητικές μονάδες (L.A. Basic Administrative Units), που περιλαμβάνουν τα ιδιοκτησιακά δικαιώματα, δηλαδή δικαιώματα, υποχρεώσεις και περιορισμούς σχετικά με τα ακίνητα

-Χωρικές μονάδες (L.A. Spatial Units), δηλαδή χωρικές μονάδες του συστήματος, που αντιπροσωπεύουν τη γη και το νερό και μπορεί να περιέχουν το νόμιμο χώρο ανοικοδόμησης κτηρίων, καθώς και δικτύων κοινής ωφέλειας. Η έννοια της χωρικής μονάδας ταυτίζεται σχεδόν με την έννοια του γεωτεμαχίου

-Πηγές χωρικών δεδομένων (L.A. Spatial Sources), όλα τα έγγραφα που σχετίζονται με την αποτύπωση των χωρικών μονάδων και

-Περιγραφές χωρικών δεδομένων (L.A. Spatial Representations), στις οποίες εμφανίζεται η γεωμετρία και η τοπολογία των χωρικών πηγών.

1.7.1 ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ LADM ΓΙΑ ΦΟΡΟΛΟΓΗΣΗ ΠΕΡΙΟΥΣΙΑΣ

Τα συστήματα διαχείρισης γης(κτηματολόγιο) ακολουθούν διαφορετικές αρχές σε κάθε χώρα. Η πληροφορία μερικές φορές συλλεγόταν για φορολογικούς σκοπούς και σε άλλες περιπτώσεις για προστασία του αστικού χώρου. Με το πέρασμα των χρόνων, σε πολλές χώρες τα συστήματα διαχείρισης γης υπηρετούσαν ταυτοχρόνως και τους δύο σκοπούς. Σε αυτήν την περίπτωση χρησιμοποιείται ο αγγλικός όρος “multi-purpose” cadastre, για να χαρακτηρίσει το Κτηματολόγιο. Όπως αναφέρθηκε το Μοντέλο Διαχείρισης Γης(LADM), περιγράφει τη διαδικασία της συλλογής, ανάγνωσης και αξιοποίησης των πληροφοριών που περιγράφουν τις σχέσεις μεταξύ των ανθρώπων και του χώρου. Πιο συγκεκριμένα, ένα γεωτεμάχιο μπορεί να περιγραφεί είτε με τη χρήση δισδιάστατης, είτε με τη χρήση τρισδιάστατης πληροφορίας (Lemmen et al, 2010). Ο όρος “Homogenous” σημαίνει πως ο ίδιος συνδυασμός των RRR(Rights, Restrictions, Responsibilities) εφαρμόζεται το ίδιο σε όλο το χωρικό μοντέλο. Ο όρος “Unique” περιγράφει το μεγαλύτερο σε όγκο χωρικό μοντέλο. Κάνοντας το μοντέλο μεγαλύτερο, θα έχει σαν αποτέλεσμα, να μην υπάρχει ομοιογένεια μεταξύ των RRR σε όλα τα επίπεδα του μοντέλου. Κάνοντας το μικρότερο, θα έχει σαν αποτέλεσμα, τουλάχιστον δύο γειτονικά γεωτεμάχια με τον ίδιο συνδυασμό των RRR.. Τα αντικείμενα(γεωτεμάχια), χαρακτηρίζονται ως νόμιμα ή εικονικά αντικείμενα, επειδή δεν είναι απαραίτητο να είναι εμφανή στον πραγματικό κόσμο. Παρόλα αυτά, αξίζει να σημειωθεί πως συχνά το όριο ενός γεωτεμαχίου, έρχεται σε επαφή με αντικείμενα του πραγματικού κόσμου, όπως για παράδειγμα ένας φράχτης, ή ένας δρόμος. Στην περίπτωση των τρισδιάστατων γεωτεμαχίων αυτό είναι ακόμα εντονότερα αντιληπτό: οι γεωμετρίες των αντικειμένων, όπως τα τούνελ, τα κτήρια κ.ά, ανταποκρίνονται σε συγκεκριμένους χώρους με συγκεκριμένα δικαιώματα(RRR). Φαίνεται πως η εκτίμηση δεν είναι ένα αμιγώς τρισδιάστατο κτηματολογικό ζήτημα, αλλά υπάρχει στενή σύνδεση, μιας και τα περισσότερα φορολογικά συστήματα βασίζονται σε διαφορετικό βαθμό στην αξία της κάθε ιδιοκτησίας. Με την ρεαλιστική προσδοκία, πως στο εγγύς μέλλον, θα δημιουργούνται τρισδιάστατα κτήρια με λεπτομερή χαρακτηριστικά, τα οποία θα συνθέτουν ένα τρισδιάστατο Κτηματολόγιο, η εκτίμηση αξιών γης πιθανόν να γίνει ακόμα πιο αποτελεσματική και

εύχρηστη. Το αποτέλεσμα βέβαια, θα διαφέρει από χώρα σε χώρα, μιας και μερικές εκτιμητικές διαδικασίες απαιτούν περισσότερους πόρους από κάποιες άλλες. Από την άλλη πλευρά, μία συνολική βάση δεδομένων και μία αυτοματοποιημένη ανάλυση θα προσφέρει σίγουρα βελτιώσεις σε σύγκριση με την παραδοσιακή χειροκίνητη συλλογή πληροφοριών που συχνά αλλοιώνεται από την προσωπική κριτική του μηχανικού στο πεδίο. Ακόμα, νέες τρισδιάστατες απεικονίσεις αξίζει να ερευνηθούν. Τυπικά, τα κτήρια παρουσιάζονται μέσω της τεχνολογίας BIM ή μέσω του CityGML. Τα δύο πρότυπα εξετάζουν την δομή του κτηρίου από δύο διαφορετικές απόψεις: του κατασκευαστή (IFC) και του χρήστη (CityGML). Όσον αφορά την ιδανικότερη μέθοδο, είναι ακόμα υπό έρευνα. Γενικότερα, μοντέλα πόλεων σε επίπεδο πληροφορίας 1 και 2 του CityGML, είναι πολύ περισσότερα σε αριθμό, σε σχέση με μοντέλα του IFC. Το πλεονέκτημα του CityGML, είναι πως ένα μοντέλο με επίπεδο πληροφορίας 2 μπορεί με συγκεκριμένη διαδικασία να φτάσει επίπεδο πληροφορίας 4. Βάση μίας έρευνας που έγινε το 2013 (Boeters), έγινε αντιληπτό πως το επίπεδο πληροφορίας 2 μπορεί να επεκταθεί με την είσοδο πληροφοριών για τους ορόφους αλλά και για το πάχος των τοίχων και των εσοχών. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε μετά από αίτημα της πόλης του Rotterdam, στην Ολλανδία. Ο σκοπός ήταν ο υπολογισμός του εσωτερικού εμβαδού προκειμένου να χρησιμοποιηθεί εκτός των άλλων και για φορολογικούς σκοπούς. Η έρευνα αυτή, έδειξε ξεκάθαρα πως οι τρισδιάστατες απεικονίσεις μπορούν να υποστηρίξουν τον μαζικό υπολογισμό οποιουδήποτε εμβαδού μίας περιοχής και αν ενισχύσουν ουσιαστικά τον τομέα της φορολογίας και εκτίμησης των ακινήτων.

1.8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το κτηματολόγιο, πλέον καλείται να αντιμετωπίσει ένα αστικό περιβάλλον, στο οποίο ζουν ολοένα και περισσότεροι άνθρωποι με αποτέλεσμα στο πέρασμα του χρόνου να γίνεται όλο και πιο πολύπλοκο. Η ανάπτυξη και η υλοποίηση των τρισδιάστατων ψηφιακών κτηματολογίων είναι πλέον αναγκαία και επείγουσα. Παρόλα αυτά, για τη δημιουργία των τρισδιάστατων κτηματολογίων, είναι αναγκαίο να ληφθεί υπόψιν, πώς οι ανάγκες των χρηστών στο παρόν, θα είναι σε μία ισορροπία με τις ανάγκες των χρηστών στο μέλλον. Όσον αφορά το μέλλον, ο ρόλος των κτηματολογίων αξίζει να στοχεύσει στη δημιουργία νέων σχέσεων μεταξύ της ευρύτερης κοινωνίας, χωρίς σύνορα, καθώς και στην υποστήριξη της ψηφιακής οικονομίας και των έξυπνων πόλεων. Υπάρχουν αναρίθμητες ευκαιρίες οι οποίες μπορούν να αποτελέσουν τομείς έρευνας στο μέλλον, μιας και η ύπαρξη ενός τρισδιάστατου κτηματολογίου θα αποτελεί μία θεμελιώδη αρχή. Είναι στο

χέρι μας να αντιληφθούμε τις ευκαρίες αυτές, ξεφεύγοντας από τα παραδοσιακά όρια που υπάρχουν μέχρι σήμερα, έτσι ώστε να έχουμε ρόλο στη δημιουργία ενός νέου, ποιοτικότερου αστικού τρόπου ζωής. Είναι ευρέως αποδεκτό, πως πρέπει να υπάρχει μία συνεργασία μεταξύ του τομέα του κτηματολογίου με άλλους τομείς όπως της αρχιτεκτονικής, της κατασκευής κτηρίων με σεβασμό στο περιβάλλον, προκειμένου οι δυνατότητες της τριδιάστατης τεχνολογίας να αξιοποιηθούν στο μέγιστο βαθμό. Για παράδειγμα, σε εθνικό επίπεδο πολλών χωρών, οι στρατηγικές που έχουν αναπτυχθεί για την υποστήριξη της τρισδιάστατης πληροφορίας δεν δέχονται κτηματολογικά δεδομένα που είναι σε θέση να υποστηρίξουν την εφαρμογή τρισδιάστατης πληροφορίας στα κτήρια. Αυτό πιθανόν οφείλεται στην διακριτική παρουσία της τοπογραφικής βιομηχανίας στον τομέα της διαχείρισης και ανάπτυξης της γης, η οποία εκτιμάται να περιλαμβάνει γύρω στο 2% του συνολικού ανθρώπινου δυναμικού που εργάζεται στο δίκτυο των κατασκευών. Παρόλα αυτά, τα τελευταία χρόνια, έχει υιοθετηθεί μία ολοένα αυξανόμενη ανάγκη για τον πλήρη επαναπροσδιορισμό των κτηματολογικών συστημάτων. Ενώ έχει σημειωθεί μία σχετική πρόοδος στο νομοθετικό περιεχόμενο του κτηματολογίου, η κατανόηση του θεσμικού πλαισίου που διέπει το τρισδιάστατο κτηματολόγιο δεν είναι αναπτυγμένη στον ίδιο βαθμό, ενώ η σχέση του κτηματολογίου με την κουλτούρα και τις κοινωνικές ιδιαιτερότητες κάθε χώρας είναι ένα έργο το οποίο δεν έχει ξεκινήσει ακόμα. Είναι πλέον αναγνωρίσιμο, πως η βιομηχανία της διαχείρισης γης δε συμμετέχει όσο ενεργά θα έπρεπε στις απαιτήσεις και προσδοκίες της κοινότητας και οι παγκόσμιοι οργανισμοί κτηματολογίου και χαρτογράφησης αντιμετωπίζουν θεσμικές παραλείψεις όσον αφορά την σχέση τους με τον πραγματικό κόσμο. (McGlade, cited in Haarsma, 2013: 17). Ο McGlade επισημαίνει επιπλέον, πως αυτή η έλλειψη θεσμικής συνεκτικότητας με τον πραγματικό κόσμο, μπορεί να καταστεί επικίνδυνη αφού εγκυμονεί το σενάριο του κατακερματισμού των ηθικών και επαγγελματικών αξιών, στο σημείο όπου οι διεθνείς οργανισμοί καταλήγουν να παραδίδουν κατώτερου επιπέδου λύσεις για κτηματολογικά ζητήματα στους χρήστες και όχι σε οποιονδήποτε πολίτη. (Haarsma, 2013: 17). Οι παραδοσιακές αντιλήψεις που τοποθετούν τους συγκεκριμένους οργανισμούς στο κέντρο της χωρικής πληροφορίας έχουν εξελιχθεί. Ο κίνδυνος πλέον εγκυμονεί στο γεγονός πως η βιομηχανία της τοπογραφίας ενδέχεται να δημιουργήσει αντικρουόμενα συμφέροντα μεταξύ των οργανισμών, αντί να οδηγήσει στην μεταξύ τους συνεργασία. Υπάρχει η ανάγκη της πρόληψης και η έρευνα πάνω στο τρισδιάστατο κτηματολόγιο μπορεί να αποτελέσει σημαντικό δρόμο για την ανάπτυξη νέων σχέσεων. Η πρόκληση που καλείται να αντιμετωπίσει η βιομηχανία διαχείρισης της γης είναι να ξεπεράσει το εμπόδιο της μερικής

συμμετοχής στην τρισδιάστατη εξέλιξη της πληροφορίας. Σαν κατεύθυνση προόδου, είναι η εξερεύνηση τρόπων για την ουσιαστική συνεργασία των δύο κλάδων και όχι απλά της ουδέτερης συνύπαρξής τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ CityGML

2.1 ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ CityGML

Ο ολοένα αυξανόμενος ρυθμός ανάπτυξης πόλεων αλλά και εταιρειών, δημιουργεί εικονικά τρισδιάστατα μοντέλα πόλεων για διαφορετικές εφαρμογές, όπως η χωροταξία και ο αστικός σχεδιασμός, οι τηλεπικοινωνίες, η διαχείριση φυσικών καταστροφών, το τρισδιάστατο Κτηματολόγιο, ο τουρισμός, η πλοήγηση και οι ενεργειακές μελέτες. Τα τελευταία χρόνια, τα περισσότερα εικονικά τρισδιάστατα μοντέλα πόλεων περιγράφονται αποκλειστικά ως γραφικά ή γεωμετρικά μοντέλα, τα οποία δεν περιγράφουν σημασιολογική και τοπολογική πληροφορία. Γιαυτό το λόγο, τα συγκεκριμένα μοντέλα, χρησιμοποιούνται κυρίως για σκοπούς οπτικοποίησης, αλλά όχι για ανάλυση χωρικών και θεματικών δεδομένων. Γιαυτόν το λόγο, μία γενικότερη τεχνική μοντελοποίηση ήταν αναγκαίο να δημιουργηθεί, έτσι ώστε να καλύπτεται το εύρος της πληροφορίας που απαιτείται στα διαφορετικά πεδία εφαρμογών που περιγράφηκαν παραπάνω. Το CityGML είναι ένα μοντέλο σημασιολογικής πληροφορίας, για την απεικόνιση τρισδιάστατων αστικών αντικειμένων, τα οποία είναι δυνατόν να διαμοιράζονται μεταξύ των διαφορετικών εφαρμογών. Η συγκεκριμένη αυτή δυνατότητα, είναι ιδιαίτερα χρήσιμη όσον αφορά τη σχέση κόστους-οφέλους της δημιουργίας ενός τρισδιάστατου μοντέλου, μιας και επιτρέπει την πώληση των ίδιων δεδομένων σε αντιπροσώπους διαφορετικών πεδίων εφαρμογών. Τα στοχευμένα πεδία εφαρμογών, περιλαμβάνουν, τον σχεδιασμό πόλεων, την αρχιτεκτονική των κτηρίων, τουριστικές και ψυχαγωγικές δραστηριότητες, περιβαλλοντικές προσομοιώσεις, διαχείριση αξιών γης, και πλοήγηση πεζών και οδηγών. Το CityGML έχει σχεδιαστεί ως ένα μοντέλο ανοιχτού πακέτου δεδομένων, βασισμένο στη μορφή αρχείου XML, για την αποθήκευση και μεταφορά των εικονικών τρισδιάστατων μοντέλων πόλεων. Ορίζει τις κλάσεις και τις σχέσεις για τα πιο συνηθισμένα τοπογραφικά αντικείμενα σε μία πόλη με σεβασμό στις γεωμετρικές, τοπολογικές και σημασιολογικές ιδιότητές τους. Ο ορισμός της “πόλης”, δεν περιλαμβάνει αποκλειστικά τις δομικές κατασκευές όπως κτήρια, αλλά και τη βλάστηση, τις υδάτινες επιφάνειες, κ.ά. Επίσης, περιλαμβάνονται, οι ιεραρχικές δομές μεταξύ των θεματικών κλάσεων, σχέσεις μεταξύ των αντικειμένων και οι χωρικές ιδιότητές τους. Το CityGML, εφαρμόζεται τόσο σε περιοχές πολλών τετραγωνικών μέτρων όσο και σε μικρότερες και είναι σε θέση να αναπαριστά το έδαφος και τα αντικείμενα πάνω σε αυτό, σε διαφορετικά επίπεδα πληροφορίας ταυτόχρονα. Οι τρέχουσες εξελίξεις εστιάζουν στον εμπλουτισμό των σημασιολογικών εννοιών ξεχωριστών μοντέλων πόλεων ή τρισδιάστατων

γεωμετριών, οι οποίες μπορούν να διασπασθούν στα συστατικά τους μέρη και να περιλαμβάνουν τις αρχικές τους ιδιότητες και σχέσεις. Η σημασιολογική συνοχή αναφέρεται στις σταθερές και αξιόπιστες σχέσεις μεταξύ των χωρικών και σημασιολογικών χαρακτηριστικών. Πιο συγκεκριμένα, αυτό σημαίνει πως εάν οι σημασιολογικές και οι γεωμετρικές έννοιες αποτυπώνουν το ίδιο αντικείμενο, θεωρούνται συνεκτικές. Η συνεκτική θεματική και χωρική διαμόρφωση των αντικειμένων, διασφαλίζει πως κάθε γεωμετρική οντότητα είναι συνδεδεμένη με ένα συγκεκριμένο σημασιολογικό συστατικό, μιας και τα η σημασιολογία εξαλείφει την ασάφεια για τη γεωμετρία ενός αντικειμένου. Το CityGML υποστηρίζει την χωρική-σημασιολογική συνοχή, μιας και στις γεωμετρικές οντότητες είναι ενταγμένες θεματικές ιδιότητες, ενώ ταυτόχρονα οι σημασιολογικές οντότητες συνοδεύονται από χωρική πληροφορία, όπως για παράδειγμα η τοποθεσία. Η χωρική-σημασιολογική συνοχή, μπορεί να ενισχύσει την ενοποίηση των νομικών και φυσικών αντικειμένων στα πλαίσια κτηματολογικών εφαρμογών. Παρακάτω παρουσιάζεται ένας πίνακας με κάποιες από τις βασικότερες μορφές τρισδιάστατης μοντελοποίησης μαζί με το επίπεδο συμβατότητας για κάθε χαρακτηριστικό.

Standard/Criterion	X3D	KML	COLLADA	CityGML	DXF	SHP
Geometry	++	+	++	+	++	+
Topology	0	-	+	+	-	-
Texture	++	0	++	+	-	-
LOD	+	-	-	+	-	-
Objects	+	-	-	+	0	+
Semantic	0	0	0	++	+	+
Attributes	0	0	-	+	-	+
XML based	+	-	-	+	-	-
Web	++	++	+	+	-	-
Georeferencing	+	+	-	+	+	+
Acceptance	0	++	+	+	++	++

(-not supported; 0 basic; + supported; ++extended support)

Εικόνα 2.1: Πίνακας συμβατότητας μεταξύ τεχνικών μοντελοποίησης πηγή: Zlatanova et al., 2012

2.2 ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

Το CityGML αναπτύσσεται από το 2002 από το "Special Interest Group 3D (SIG 3D)". Από το 2010, η παραπάνω ομάδα είναι μέρος του πρωτοποριακού οργανισμού "Spatial Data Infrastructure Germany (GDI-DE)". Πριν το 2010, η SIG 3D, είχε συνενωθεί με τον οργανισμό "Geodata Infrastructure North

Rhine-Westphalia (GDI NRW)”. Η SIG 3D, είναι μία ομάδα η οποία αποτελείται από περισσότερες από εβδομήντα διαφορετικές εταιρείες και κέντρα ερευνών, από τη Γερμανία, τη Μ. Βρετανία, τη Σουηδία και την Αυστρία, οι οποίες εργάζονται πάνω στην ανάπτυξη και εμπορευματοποίηση διαλειτουργικών τρισδιάστατων μοντέλων πόλεων. Ένα αποτέλεσμα της έρευνας της παραπάνω ομάδας είναι η πρόταση για τη σύσταση μίας διαδικτυακής τρισδιάστατης πλατφόρμας εξυπηρέτησης με το όνομα “Web 3D Service (W3DS)”. Η πρώτη επιτυχημένη εισαγωγή και αξιολόγηση ενός τρισδιάστατου μοντέλου βασισμένο στο πρότυπο του CityGML, πραγματοποιήθηκε στο πρόγραμμα “Pilot 3D” του οργανισμού GDI NRW το 2005. Οι συμμετέχοντες προέρχονταν από ολόκληρη τη Γερμανία και επιδείκνυαν σενάρια σχεδιασμού πόλεως και τουριστικών εφαρμογών. Στην αρχή του έτους 2006, ένα πρόγραμμα βασισμένο στο CityGML επικεντρώθηκε στην εναρμόνιση των τρισδιάστατων μοντέλων πόλεων για τον ευρωπαϊκό χώρο. Από τον Ιούνιο έως τον Δεκέμβριο του 2006, το CityGML εγκαταστάθηκε και αξιολογήθηκε στον τομέα των CAD, GIS και BIM λογισμικών. Από το σημείο εκείνο, πολλές πόλεις στη Γερμανία και σε άλλες χώρες της Ευρώπης, παρέχουν το τρισδιάστατο μοντέλο πόλης τους στο πρότυπο του CityGML. Στη Γαλλία, το πρόγραμμα Bâti3D ορίζει ένα πρότυπο του CityGML σε LOD2 και παρέχει δεδομένα από το Παρίσι και άλλες γνωστές πόλεις, όπως η Λιλ και η Μαρσεΐγ. Πολλές πόλεις στην Ευρώπη, όπως το Μονακό, η Γενεύη, η Ζυρίχη, χρησιμοποιούν το πρότυπο του CityGML σε LOD 2 ή 3 για να απεικονίσουν η να διαμοιράσουν δεδομένα. Στην Ασία, τα τρισδιάστατα μοντέλα πόλεων της Κωνσταντινούπολης, της Ντόχα, του Κατάρ και της γιοκοχάμα αναπαρίστανται μέσω του CityGML. Σήμερα, πολλά εμπορικά και ακαδημαϊκά εργαλεία υποστηρίζουν το CityGML, παρέχοντας λειτουργίες εισαγωγής και εξαγωγής διαφορετικών τύπων αρχείων. Ένα παράδειγμα αποτελεί η 3D City Database η οποία είναι μία τρισδιάστατη γεωβάση ανοιχτού λογισμικού που χρησιμοποιείται για την αποθήκευση, την απεικόνιση και τη διαχείριση των τρισδιάστατων μοντέλων πόλεων. Επίσης, υπάρχουν λογισμικά ελεύθερα προς το κοινό που επιτρέπουν την ανάγνωση αρχείων CityGML, όπως το Aristoteles Viewer και το FZKViewer.

2.3 ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ ΣΤΟ CITY GML2.0

Το πρότυπο CityGML 2.0 αποτελεί μία ριζική αναθεώρηση της έκδοσης 1.0 και παρουσιάζει ουσιαστικές προσθήκες και νέες λειτουργίες στο θεματικό μοντέλο του CityGML, οι οποίες περιγράφονται παρακάτω:

2.3.1 Νέα θεματικά στοιχεία για τις απεικονίσεις γέφυρων και τούνελ

Οι γέφυρες και τα τούνελ είναι σημαντικά αντικείμενα μέσα σε μία πόλη. Αποτελούν απαραίτητο στοιχείο των υποδομών για τις μετακινήσεις σε αυτή. Το CityGML 1.0 παρουσίαζε έλλειψη στα θεματικά μοντέλα που περιέγραφαν τις γέφυρες και τα τούνελ και επομένως τέτοιου είδους αντικείμενα έπρεπε να σχεδιάζονται και να διαμοιράζονται χρησιμοποιώντας τον ρόλο *GenericCityObject*. Στο CityGML 2.0, παρουσιάζονται δύο νέα θεματικά μοντέλα για την λεπτομερή αναπαράσταση τους τα οποία ολοκληρώνουν το θεματικό μοντέλο του CityGML και είναι τα εξής: *Bridge* και *Tunnel*. Τα παραπάνω θεματικά μοντέλα μπορούν να αναπαρασταθούν σε επίπεδο πληροφορίας από 1 έως 4.

2.3.2 Προσθήκες στα υπάρχοντα θεματικά μοντέλα

-CityGML Core module: Δύο νέες ιδιότητες προστέθηκαν στην βασική κλάση *CityObject* που εμπεριέχεται στο στοιχείο *CityGML Core*, και είναι οι εξής: *relativeToTerrain* και *relativeToWater*. Αυτές οι ιδιότητες σημειώνουν την τοποθεσία της κάθε λειτουργίας λαμβάνοντας υπόψιν το έδαφος και τις υδάτινες επιφάνειες, που υπάρχουν τριγύρω. Έτσι δεν είναι απαραίτητη η χρήση ψηφιακών μοντέλων εδάφους.

-Building module: Τα κτήρια είναι πλέον δυνατόν να απεικονίζονται σε επίπεδο πληροφορίας 0. Αυτό επιτρέπει την ευκολότερη ενσωμάτωση των ήδη υπάρχοντων δισδιάστατων δεδομένων από αεροφωτογραφίες σε ένα τρισδιάστατο μοντέλο πόλης.

-Νέες θεματικές επιφάνειες (Boundary Surfaces): Προκειμένου να οριστούν σημασιολογικά μέρη της εξωτερικής πλευράς του κτηρίου, τα οποία δεν αποτελούν οριζόντιες επιφάνειες τοίχων, η μέρη της οροφής, δύο επιπλέον επιφάνειες εισάγονται και είναι οι εξής: *OuterFloorSurface* και *OuterCeilingSurface*.

-Νέες σχέσεις με τις θεματικές επιφάνειες: Πλέον, οι γεωμετρίες των λειτουργιών *BuildingInstallation* και *IntBuildingInstallation* είναι δυνατόν να κατηγοριοποιούνται σημασιολογικά χρησιμοποιώντας θεματικές επιφάνειες. Για παράδειγμα, μπορεί να διαφοροποιηθεί σημασιολογικά η επιφάνεια ενός φεγγίτη πάνω σε έναν τοίχο με την λειτουργία *BuildingInstallation*.

-Ιδιότητες: class, function, και usage: οι συγκεκριμένες ιδιότητες εισάγονται σε

όλες τις κλάσεις του CityGML 2.0 και δέχονται τιμές από συγκεκριμένη κωδικοποίηση που υπάρχει στο CityGML.

2.4 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ CityGML

Στο κεφάλαιο αυτό, γίνεται μία εισαγωγή σε βασικά χαρακτηριστικά του προτύπου CityGML.

2.4.1 ΔΟΜΗ ΤΟΥ CityGML

Το πρότυπο του CityGML ορίζεται από κλάσεις για τους πιο σημαντικούς τύπους αντικειμένων που εμπεριέχονται στα τρισδιάστατα μοντέλα πόλεων. Αυτές οι κλάσεις καθίστανται είτε απαραίτητες είτε σημαντικές σε ποικίλα πεδία εφαρμογών. Επίσης είναι διαιρεμένο στο βασικό μοντέλο και στις θεματικές προεκτάσεις του. Το βασικό μοντέλο, περιέχει τα συστατικά στοιχεία ενός προτύπου CityGML, και γι' αυτό το λόγο πρέπει να υλοποιείται από οποιοδήποτε σύστημα που το επεξεργάζεται. Βασιζόμενη στο βασικό μοντέλο, κάθε επέκταση καλύπτει ένα συγκεκριμένο θεματικό τομέα των τρισδιάστατων μοντέλων πόλεων. Το CityGML εισάγει τις παρακάτω 13 θεματικές επεκτάσεις:

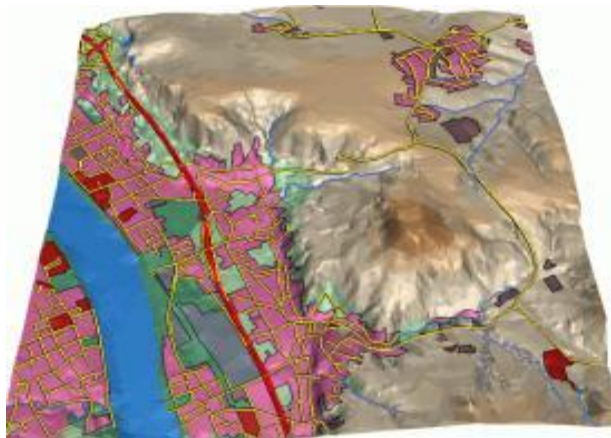
- Appearance:** Η προέκταση αυτή παρέχει τη δυνατότητα της τροποποίησης της εμφάνισης των αντικειμένων στο CityGML.
- Bridge:** επιτρέπει την αναπαράσταση των θεματικών και χωρικών ιδιοτήτων των γεφυρών και εξαρτημάτων τους.
- Building:** επιτρέπει την αναπαράσταση των θεματικών και χωρικών ιδιοτήτων των κτηρίων και εξαρτημάτων τους.
- CityFurniture:** αναπαριστά τα αντικείμενα της πόλης, όπως φανάρια, πινακίδες.
- CityObjectGroup:** είναι μια επέκταση η οποία βοηθάει στην ομαδοποίηση των αντικειμένων σε ένα μοντέλο.
- Generics:** παρέχει γενικές επεκτάσεις στο πρότυπο του CityGML, οι οποίες είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν για το σχεδιασμό και ανταλλαγή επιπλέον ιδιοτήτων και χαρακτηριστικών που δεν καλύπτονται από τις προηγούμενες κλάσεις.
- LandUse:** επιτρέπει την αναπαράσταση περιοχών της γήινης επιφάνειας οι οποίες έχουν συγκεκριμένη χρήση γης.
- Relief:** επιτρέπει την απεικόνιση του εδάφους ενός τρισδιάστατου μοντέλου πόλης.
- Transportation:** απεικονίζει τους τρόπους μεταφοράς σε μία πόλη.
- Tunnel:** αναπαριστά τις θεματικές και χωρικές ιδιότητες των συρράγγων.

- Vegetation**:παρέχει τις θεματικές κλάσεις για την αναπαράσταση της βλάστησης.
- WaterBody**:απεικονίζει τις θεματικές ιδιότητες και την τρισδιάστατη γεωμετρία ποταμιών, λιμνών κ.ά.
- TexturedSurface**: επιτρέπει την οπτική διαφοροποίηση μέσω χρωμάτων και υφών στις τρισδιάστατες επιφάνειες.

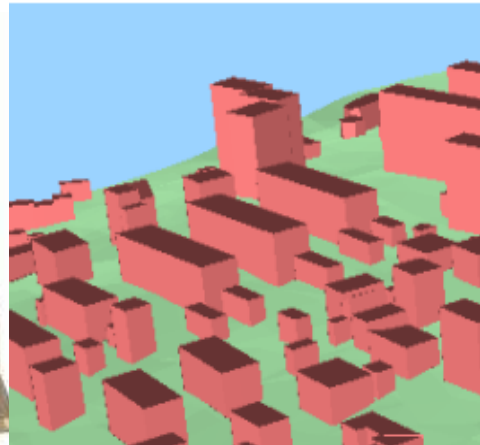
2.4.2 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΕ ΠΟΛΛΑΠΛΕΣ ΚΛΙΜΑΚΕΣ

Το CityGML υποστηρίζει πέντε διαφορετικά επίπεδα πληροφορίας(LOD). Επιπροσθέτως, τα επίπεδα πληροφορίας διευκολύνουν την αποτελεσματική οπτικοποίηση και την βέλτιστη ανάλυση των δεδομένων. Σε ένα αρχείο CityGML, το ίδιο αντικείμενο μπορεί να απεικονίζεται σε διαφορετικά επίπεδα πληροφορίας ταυτόχρονα, ενεργοποιώντας με αυτόν τον τρόπο τη δυνατότητα ανάλυσης και οπτικοποίησης του αντικειμένου με έμφαση στις διαφορετικές βαθμίδες της οπτικής ανάλυσης. Επιπλέον, δύο διαφορετικά CityGML αρχεία που περιλαμβάνουν το ίδιο αντικείμενο σε διαφορετικά επίπεδα πληροφορίας, είναι δυνατό να συνδυαστούν και να συγχωνευτούν. Παρόλα αυτά, είναι ευθύνη του χρήστη να εξασφαλίσει πως τα δύο αντικείμενα με διαφορετικό επίπεδο πληροφορίας, απεικονίζουν το ίδιο αντικείμενο στον πραγματικό κόσμο. Το χαμηλότερο επίπεδο πληροφορίας LOD0 είναι ένα Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους δύο διαστάσεων, πάνω από το οποίο μπορεί να τοποθετηθεί μία αεροφωτογραφία ή ένας χάρτης. Τα κτήρια είναι δυνατόν να απεικονίζονται σε LOD0 μέσω των εμβαδών τους ή με πολύγωνα των διαστάσεων των σκεπών τους. Το LOD1 απεικονίζει τα κτήρια πρισματικά με επίπεδες σκεπές. Εν αντιθέσει, ένα κτήριο στο LOD2, εμφανίζει τις διαφορές μεταξύ των σκεπών και την εξωτερική οπτική πληροφορία των κτηρίων. Το LOD3 απεικονίζει αρχιτεκτονικά μοντέλα με έντονες λεπτομέρειες στους τοίχους και τις σκεπές και συχνά περιλαμβάνει παράθυρα και πόρτες. Το LOD4 συμπληρώνει ένα LOD3 μοντέλο, προσθέτοντας εσωτερικές κατασκευές στα κτήρια. Για παράδειγμα, τα κτήρια στο LOD4 απαρτίζονται από δωμάτια, εσωτερικές πόρτες, εσωτερικές σκάλες και έπιπλα. Η μοντελοποίηση της σημασιολογικής βάσης και η εφαρμογή της τρισδιάστατης γεωμετρίας και τοπολογίας αντικειμένων του πραγματικού κόσμου αντιλαμβάνεται μέσω του CityGML, το οποίο αποτελεί το πρότυπο της τρισδιάστατης σημασιολογίας. Χαρακτηριστικά, ο Kolbe αναφέρει πως το CityGML δεν αναπαριστά μόνο το σχήμα και τη γραφική απεικόνιση των μοντέλων των πόλεων, αλλά αναφέρεται συγκεκριμένα στα σημασιολογικά χαρακτηριστικά των αντικειμένων. Το CityGML, περιλαμβάνει ένα πολύ συγκεκριμένο και πρωτοποριακό σχέδιο για να πετυχαίνει τη μέγιστη δυνατή οπτική

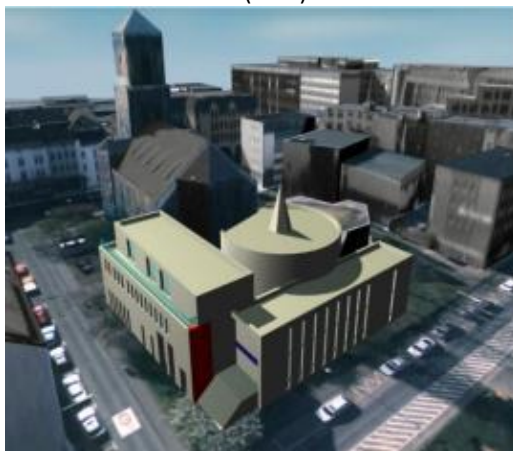
λεπτομέρεια, που το ονομάζει επίπεδο πληροφορίας (Level Of Detail). Διαιρείται σε πέντε επίπεδα πληροφορίας (Lod0-4), με το επίπεδο 4 να αφορά τον εσωτερικό χώρο. Το βασικότερο στοιχείο είναι πως τα επίπεδα πληροφορίας δεν αφορούν μόνο τη γεωμετρική απεικόνιση, αλλά επεκτείνονται στη σημασιολογία: όσο αυξάνεται το επίπεδο πληροφορίας, αυξάνεται και η ποσότητα των σημασιολογικών εννοιών στο μοντέλο. Ένα βασικό συστατικό στοιχείο του CityGML είναι το Building module, το οποίο αποτυπώνει τα κτήρια και τα συστατικά τους μέρη σε επίπεδο γεωμετρίας, τοπολογίας και σημασιολογίας.



(lod0)



(lod1)



(lod 2)



(lod4)



(lod3)

Εικόνα 2.4.2.1: Παραδείγματα για τα πέντε επίπεδα πληροφορίας, Πηγή OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard

2.4.3ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΗΜΑΣΙΟΛΟΓΙΚΗΣ-ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ

Μία από τις πιο βασικές σχεδιαστικές αρχές του CityGML, είναι η μοντελοποίηση των σημασιολογικών και γεωμετρικών /τοπολογικών ιδιοτήτων σε ένα μοντέλο. Σε σημασιολογικό επίπεδο, οι οντότητες του πραγματικού κόσμου αναπαρίστανται από χαρακτηριστικά-λειτουργίες (features), όπως buildings, walls, windows, ή rooms. Η περιγραφή περιλαμβάνει επίσης ιδιότητες, σχέσεις και ιεραρχικές δομές μεταξύ των χαρακτηριστικών αυτών. Επομένως, το κομμάτι των σχέσεων μεταξύ των χαρακτηριστικών μπορεί να αναλυθεί μόνο σε επίπεδο σημασιολογικό χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η γεωμετρία. Παρόλα αυτά, σε χωρικό επίπεδο, τα γεωμετρικά αντικείμενα ανατίθενται στα χαρακτηριστικά για να αποτυπώσουν την χωρική τους θέση. Άρα, το μοντέλο αποτελείται από δύο ιεραρχίες: την σημασιολογική και την γεωμετρική, όπου τα αντίστοιχα αντικείμενα συνδεούνται μεταξύ τους μέσω σχέσεων. Το πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι πως το μοντέλο μπορεί να ακολουθήσει και τις 2 ιεραρχικές δομές για να δώσει απαντήσεις σε θεματικά ή γεωμετρικά ερωτήματα. Αν και οι δύο ιεραρχικές δομές υπάρχουν για το ίδιο αντικείμενο, πρέπει να είναι συνεκτικές μεταξύ τους. Για παράδειγμα, εάν ο τοίχος ενός κτηρίου έχει δύο παράθυρα και μία πόρτα σε σημασιολογικό επίπεδο, τότε η γεωμετρία που αναπαριστά τον τοίχο πρέπει να περιέχει και τη γεωμετρία των παραθύρων και των πορτών.

2.4.4 ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΚΛΕΙΣΙΜΑΤΟΣ (CLOSURE SURFACES)

Αντικείμενα τα οποία δεν σχεδιάζονται από γεωμετρικές, πρέπει να “κλεινονται” εικονικά, έτσι ώστε να είναι δυνατός ο υπολογισμός του όγκου τους, όπως για παράδειγμα οι διαβάσεις πεζών, ή ένας αεροδιάδρομος. Για το λόγο αυτό, υπάρχει η επιφάνεια ClosureSurface. Ο σκοπός της επιφάνειας αυτής είναι να καλύπτει και επιφάνειες όπως οι εισοδοί και οι έξοδοι ενός τούνελ, ή υπόγειων διαβάσεων. Τέτοιου είδους επιφάνειες, είναι απαραίτητο να σχεδιάζονται χρησιμοποιώντας τη γεωμετρία solid, προκειμένου να διατηρούν τον όγκο τους.

2.4.5 ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ-Terrain Intersection Curve (TIC)

Ένα ζήτημα κομβικής σημασίας στο σχεδιασμό των πόλεων είναι η ενσωμάτωση του εδάφους με τα τρισδιάστατα αντικείμενα. Τα προβλήματα προκύπτουν όταν τα τρισδιάστατα αντικείμενα “πετούν” πάνω από το έδαφος ή “βυθίζονται” σαυτό. Αυτό παρατηρείται συχνά όταν συνδυάζονται τα τρισδιάστατα αντικείμενα με το έδαφος, ενώ απεικονίζονται σε

διαφορετικά επίπεδα πληροφορίας ή σε περίπτωση που τα δεδομένα λαμβάνονται από διαφορετικούς παρόχους. Για την αντιμετώπιση του συγκεκριμένου ζητήματος, η λειτουργία TerrainIntersectionCurve (TIC) ενός τρισδιάστατου αντικείμενου παρουσιάζεται. Οι καμπύλες αυτές αποτυπώνουν την ακριβή θέση, στην οποία το έδαφος έρχεται σε επαφή με το τρισδιάστατο αντικείμενο. Επιπλέον, οι προαναφερθέντες καμπύλες, είναι δυνατόν να εφαρμοσθούν σε κτήρια, μέρη των κτηρίων, γέφυρες και συστατικά μέρη τους, σε τούνελ και σε γενικότερα αντικείμενα μίας πόλης. Αν για παράδειγμα, ένα κτήριο διαθέτει αυλή, η καμπύλη θα αποτελείται από δύο δαχτυλίδια: ένα που θα αναπαριστά τα όρια της αυλής και άλλο ένα που θα περιγράφει το εξωτερικό όριο του κτηρίου. Αυτού του είδους η πληροφορία, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ενσωμάτωση ενός κτηρίου με το έδαφος, μετακινώντας προς τα πάνω ή προς τα κάτω τον περιβάλλοντα χώρο έτσι ώστε να ταιριάζει με τις παραπάνω καμπύλες. Τέλος, από την στιγμή που η ενσωμάτωση με το έδαφος μπορεί να διαφέρει σε κάθε επίπεδο πληροφορίας, ένα τρισδιάστατο αντικείμενο μπορεί να έχει διαφορετικές καμπύλες για όλα τα επίπεδα πληροφορίας.

2.4.6 ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ-APPEARANCE

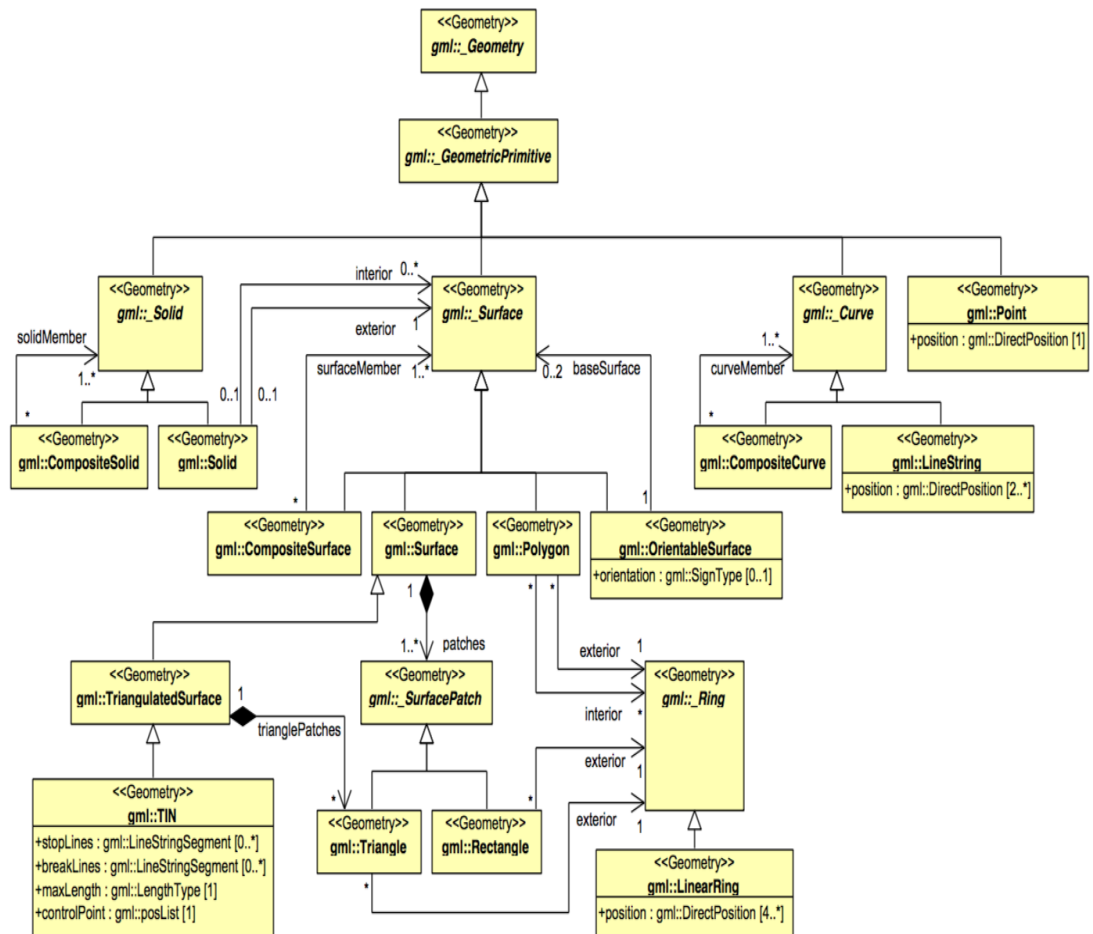
Οι πληροφορίες για την εμφάνιση μίας επιφάνειας θεωρούνται κομβικής σημασίας για το σχεδιασμό ενός τρισδιάστατου μοντέλου πόλεως, όσον αφορά τη σημασιολογία και τη γεωμετρία του. Η εμφάνιση σχετίζεται άμεσα με οποιοδήποτε χαρακτηριστικό μίας επιφάνειας (όπως για παράδειγμα η ρύπανση). Συνεπώς, τα δεδομένα τα οποία παρέχονται από την εμφάνιση μίας επιφάνειας, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν δεδομένα για την παρουσίαση και ανάλυση των τρισδιάστατων μοντέλων πόλεων. Το CityGML υποστηρίζει την λειτουργία της εμφάνισης για όλες τις θεματικές ενότητες σε ένα μοντέλο. Κάθε επίπεδο πληροφορίας μίας λειτουργίας μπορεί να έχει μία μοναδική εμφάνιση. Παρόλη τη στενή σχέση μεταξύ των δεδομένων της επιφάνειας με την επιφάνεια, τα δεδομένα αποθηκεύονται ξεχωριστά στη λειτουργία της εμφάνισης, έτσι ώστε να διατηρείται η αρχική γεωμετρία στο μοντέλο.

2.5 ΧΩΡΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

Αναλύεται το χωρικό μοντέλο του CityGML, με έμφαση στα γεωμετρικά και τοπολογικά χαρακτηριστικά του.

2.5.1 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟ-ΤΟΠΟΛΟΓΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

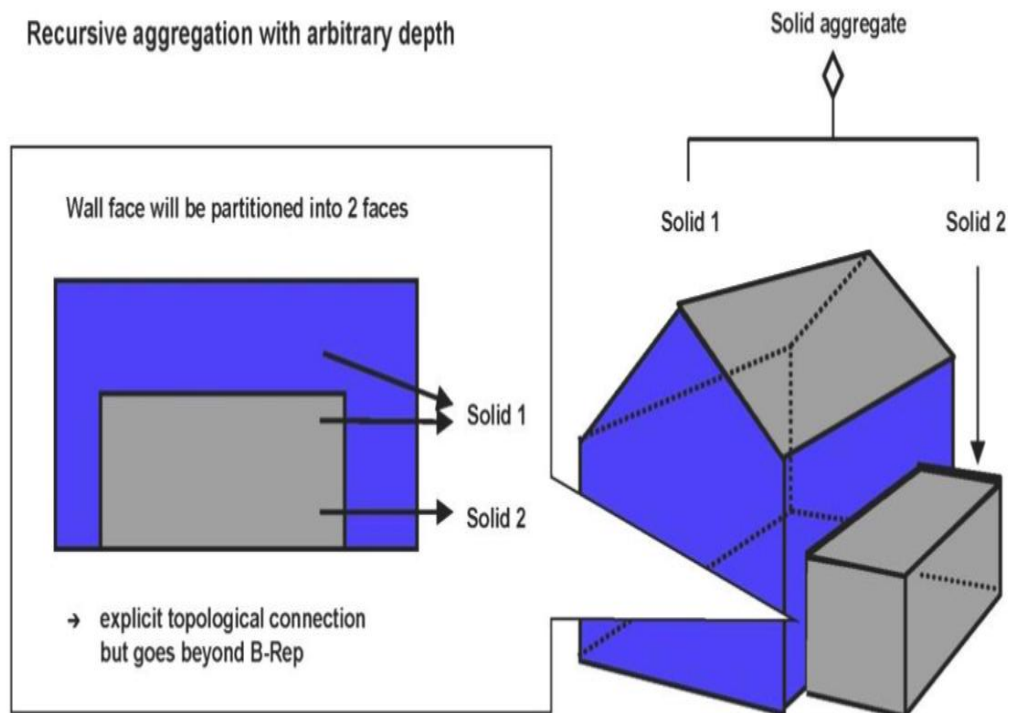
Το γεωμετρικό μοντέλο του CityGML αποτελείται από οντότητες οι οποίες μπορούν να συνδυαστούν έτσι ώστε να δημιουργήσουν συγκροτήματα, συμπαγείς γεωμετρίες ή συσχετίσεις. Για κάθε διάσταση, υπάρχει και μία γεωμετρική οντότητα: ένα αντικείμενο με μηδενικές διαστάσεις ονομάζεται σημείο(Point), ένα αντικείμενο με μία διάσταση ονομάζεται καμπύλη(Curve), ένα αντικείμενο με δύο διαστάσεις ονομάζεται επιφάνεια(Surface) και ένα αντικείμενο με τρεις διαστάσεις ονομάζεται όγκος(Solid). Η κάθε γεωμετρία μπορεί να έχει το δικό της σύστημα αναφοράς. Ένας όγκος δημιουργείται από επιφάνειες και μία επιφάνεια από καμπύλες. Στο CityGML, μία καμπύλη είναι απαραίτητα μία ευθεία γραμμή και οι επιφάνειες αναπαρίστανται από πολύγωνα.



Εικόνα 2.2: παράδειγμα γεωμετρικού μοντέλου σε μορφή UML, Πηγή OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard

Οι συνδυασμένες γεωμετρίες μπορούν να είναι συσωματώματα, συγκροτήματα και συνθέσεις των διαφορετικών οντοτήτων. Για ένα συσωματώμα, η χωρική σχέση μεταξύ των αντικειμένων δεν είναι απαγορευτική. Μπορεί να μην έχουν επαφή μεταξύ τους, να συμπίπτουν, να έχουν απλή επαφή ή να μην συνδέονται και καθόλου. Το CityGML παρέχει ένα συνολικό πακέτο για κάθε διάσταση με τους εξής ορισμούς: *MultiPoint*, *MultiCurve*, *MultiSurface*, και *MultiSolid*. Σε αντίθεση με τα παραπάνω σύνολα, ένα συγκρότημα γεωμετριών είναι τοπολογικά δομημένο: τα μέρη του δεν πρέπει να εφάπτονται ή να αλληλοκαλύπτονται και να επιτρέπεται η επαφή μεταξύ των ορίων τους. Τέλος, μία σύνθεση γεωμετριών, μπορεί να περιέχει μόνο στοιχεία της ίδιας διάστασης. Τα στοιχεία αυτά πρέπει να μην εφάπτονται μεταξύ τους, αλλά πρέπει να είναι τοπολογικά συνδεδεμένα με τα όρια τους. Μια σύνθεση μπορεί να έχει τους εξής χαρακτηρισμούς: *CompositeSolid*, *CompositeSurface*, και *CompositeCurve*. Για παράδειγμα, μία γεωμετρία ενός κτηρίου με τον χαρακτηρισμό

CompositeSolid μπορεί να συντεθεί από τη γεωμετρία του σπιτιού (CompositeSolid) και τη γεωμετρία του γκαράζ (Solid), ενώ η γεωμετρία του σπιτιού αναλύεται περισσότερο στη γεωμετρία της οροφής (Solid) και στη γεωμετρία του υπόλοιπου σπιτιού (Solid). Το CityGML παρέχει λεπτομερή μοντελοποίηση της τοπολογίας. Για παράδειγμα, ο διαμοιρασμός των γεωμετρικών αντικειμένων μεταξύ χαρακτηριστικών κλάσεων (feature types). Ένα μέρος του χώρου απεικονίζεται μόνο από ένα γεωμετρικό αντικείμενο και ορίζεται από όλες τις χαρακτηριστικές κλάσεις ή πιο σύνθετες γεωμετρίες που περιλαμβάνουν αυτό το αντικείμενο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αποφυγή της αχρείαστης πληροφορίας και τη διατήρηση των τοπολογικών συνδέσεων μεταξύ των μερών που αποτελούν το αντικείμενο. Στην πραγματικότητα, υπάρχουν τρεις περιπτώσεις: Πρώτον, δύο χαρακτηριστικές κλάσεις μπορούν να ορίζονται χωρικά από την ίδια γεωμετρία. Για παράδειγμα, εάν ένας δρόμος ανήκει στην κλάση Transportation, αλλά και στην κλάση Vegetation, η γεωμετρία η οποία ορίζει τον δρόμο περιγράφεται και από το αντικείμενο μεταφοράς αλλά και από το αντικείμενο της βλάστησης. Δεύτερον, η γεωμετρία μπορεί να μοιράζεται μεταξύ μίας χαρακτηριστικής κλάσης και μίας δεύτερης γεωμετρίας. Μια γεωμετρία δηλαδή που ορίζει έναν τοίχο ενός κτηρίου μπορεί να περιγραφεί με δύο τρόπους: από τη συμπαγή γεωμετρία που ορίζει τη γεωμετρία του κτηρίου και από την χαρακτηριστική κλάση Wall. Τρίτον, δύο γεωμετρίες είναι δυνατό να αναφέρονται στην ίδια γεωμετρία που αποτελεί όριο και των δύο. Για παράδειγμα, ένα κτήριο και ένα γκαράζ αναπαρίστανται από δύο συμπαγείς γεωμετρίες. Η επιφάνεια που περιγράφει την περιοχή όπου οι δύο γεωμετρίες συμπίπτουν μπορεί να αποτυπωθεί σαν μία και ορίζεται και από τις δύο. Γενικά, η μέθοδος της απεικόνισης ορίων (Boundary representation), περιγράφει μόνο τις άμεσα διακριτές επιφάνειες. Παρόλα αυτά, για να καταστεί δυνατή η τοπολογική τροποποίηση και να υπάρχει η δυνατότητα να διαγράφεται μία επιφάνεια χωρίς να μένουν “τρύπες” στο εναπομείναν μοντέλο επιτρέπεται στα στοιχεία να έχουν επαφή μεταξύ τους, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 2.3: παράδειγμα επαφής διαφορετικών οντοτήτων μεταξύ τους, ΠηγήOGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard

2.6 ΘΕΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

Το θεματικό μοντέλο του CityGML αποτελείται από τους ορισμούς των κλάσεων για τα πιο σημαντικά είδη των αντικειμένων μέσα σε ένα τρισδιάστατο μοντέλο πόλης. Ο σκοπός της λεπτομερούς μοντελοποίησης είναι να φτάσει σε ένα υψηλό επίπεδο σημασιολογικής διαλειτουργικότητας μεταξύ διαφορετικών εφαρμογών. Ορίζοντας τα θεματικά στοιχεία και τη σημασιολογία τους, οι διαφορετικές εφαρμογές μπορούν να βασιστούν σε ένα σωστά δομημένο σύστημα λειτουργιών (feature types), ιδιοτήτων και ειδών δεδομένων τα οποία θα έχουν μία συγκεκριμένη ερμηνεία. Κάθε τομέας του θεματικού μοντέλου του CityGML καλύπτεται όπως προαναφέρθηκε από ένα μοντέλο επεκτάσεων. Εδώ παρουσιάζονται οι θεματικές επεκτάσεις που καλύπτονται από το πρότυπο του CityGML.

2.6.1 CityGML Core-Θεμελιώδες μοντέλο του CityGML

Το βασικό μοντέλο του *CityGML Core* ορίζει τα συστατικά στοιχεία και εξαρτήματα του προτύπου του CityGML. Δημιουργεί τη βάση του CityGML, επομένως είναι απαραίτητο για οποιαδήποτε επέκταση του. Ο σκοπός του είναι η παροχή των βασικών κλάσεων, από τις οποίες προκύπτουν οι θεματικές κλάσεις με τις επεκτάσεις τους. Η βασική κλάση όλων των

Θεματικών κλάσεων σε ένα CityGML μοντέλο, ονομάζεται `_CityObject`. Η κλάση αυτή παρέχει την ημερομηνία δημιουργίας και τερματισμού του έργου για την καταγραφή της ιστορίας των χαρακτηριστικών λειτουργιών. Επιπλέον, δύο ακόμα ιδιότητες παρέχονται (`relativeToTerrain` και `relativeToWater`), οι οποίες δίνουν τη δυνατότητα να οριστεί η θέση του αντικειμένου βάση του εδάφους και της υδάτινης επιφάνειας.

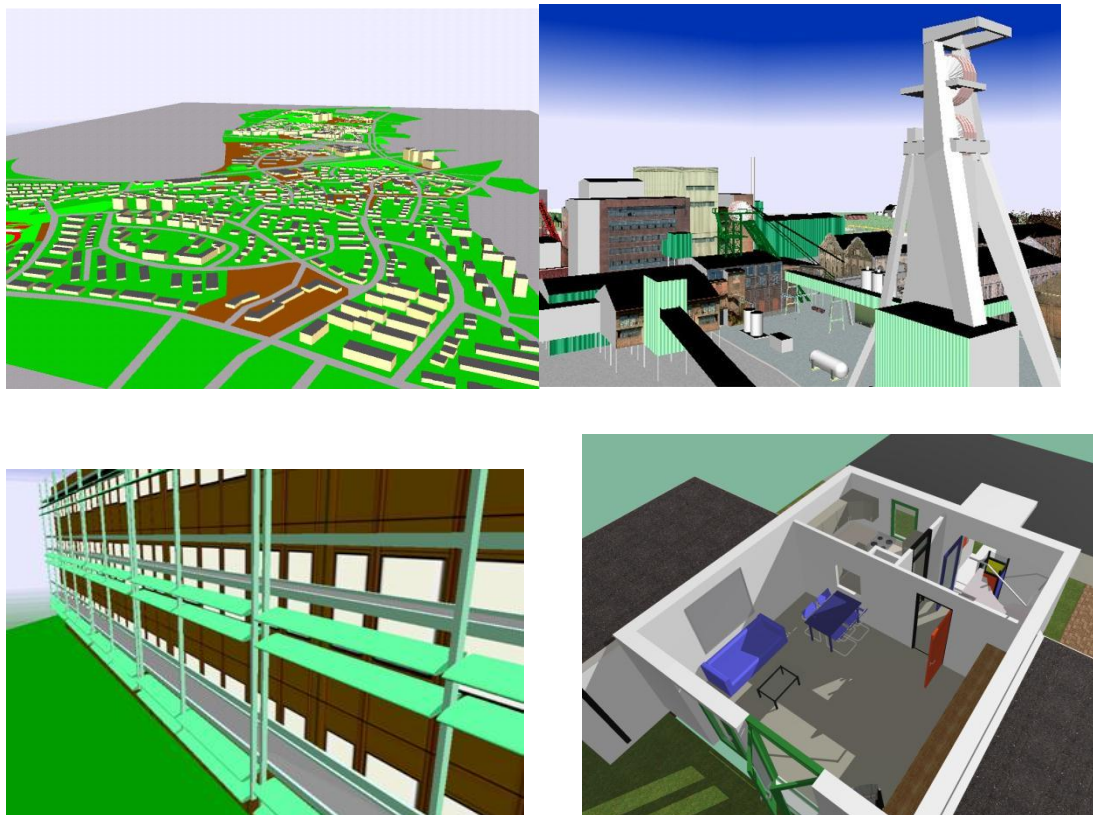
2.6.2 CityObject

Το `_CityObject` είναι μία υποκλάση της GML class `_Feature`, γιαυτό το λόγο απορροφά όλες τις ιδιότητές της, όπως ακρίβεια, σύστημα αναφοράς κ.ά. Αυτή η υποκλάση μπορεί να έχει πολλά ονόματα, έτσι ώστε να ενεργοποιείται η δυνατότητα διαφοροποίησης ενός επίσημου ονόματος με ένα συνηθισμένο όνομα. Οι θεματικές κλάσεις μπορεί να περιέχουν υποκλάσεις με σχέσεις, ιδιότητες και γεωμετρία. Λειτουργίες των υποκλάσεων αυτών είναι δυνατό να ενσωματώνονται σε ένα `CityModel`, το οποίο αποτελεί μία συλλογή λειτουργιών για την προσθήκη επιμέρους πληροφορίας σε κάθε αντικείμενο. Γενικότερα, κάθε λειτουργία έχει τις ιδιότητες `class`, `function`, και `usage`. Η ιδιότητα `class` προκύπτει μόνο μία φορά, ενώ οι ιδιότητες `usage` και `function` μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολλές φορές. Η ιδιότητα `class` επιτρέπει την κατηγοριοποίηση των λειτουργιών πέραν της θεματικής κλάσης `_CityObject`. Για παράδειγμα, η λειτουργία `building` αντιπροσωπεύεται από την θεματική υποκλάση `bldg:Building` της `_CityObject`. Μία παραπάνω κατηγοριοποίηση όπως για παράδειγμα αν ένα κτήριο είναι κατοικία ή επαγγελματική στέγη επιτυγχάνεται μέσω της ιδιότητας `class` της κλάσης `bldg:Building`. Η ιδιότητα `function` δείχνει τον σκοπό χρήσης του αντικειμένου, όπως για παράδειγμα ξενοδοχείο ή εμπορικό κέντρο για ένα κτήριο, ενώ η ιδιότητα `usage` περιγράφει την πραγματική του χρήση. Είναι διαθέσιμοι διάφοροι κωδικοί που αντιστοιχούν στις παραπάνω ιδιότητες. Οι κλάσεις `GenericCityObject` και `_genericAttribute` επιτρέπουν τη μοντελοποίηση και ανταλλαγή τρισδιάστατων αντικειμένων τα οποία δεν καλύπτονται από καμία άλλη θεματική κλάση, η απαιτούν ιδιότητες οι οποίες δεν υποστηρίζονται από το CityGML. Για παράδειγμα στο μέλλον οι κατασκευές που ανήκουν στην κλάση `_Site` της βασικής ενότητας είναι δυνατόν να ολοκληρωθούν από διάφορες υποκλάσεις όπως εκσκαφή ή ανάχωμα. Στο παρόν, η κλάση `GenericCityObject` πρέπει να αναπαριστά αυτού του είδους τις λειτουργίες. Παρόλα αυτά, η σκέψη για τη χρήση της κλάσης `generic city objects` και των ιδιοτήτων της πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο να δεν παρέχονται καταλληλότερες θεματικές κλάσεις ή ιδιότητες από το CityGML. Αν η ενότητα `Generics` χρησιμοποιείται, οποιοδήποτε `CityObject` θα

πρέπει να έχει έναν αριθμό από γενικές ιδιότητες, έτσι ώστε να αποτυπώσει τις παραπάνω ιδιότητες των λειτουργιών του. Επομένως, κάθε θεματική υποκλάση του *_CityObject* απορροφά τις ιδιότητες του και συνεπώς τη δυνατότητα να περιέχει γενικότερες ιδιότητες. Άρα, η ενότητα *Generics* έχει σημαντική επιρροή σε όλες τις επεκτάσεις του CityGML. Πληροφορίες για την εμφάνιση της επιφάνειας μιας λειτουργίας, μπορούν να αποτυπωθούν μέσω της κλάσης *Appearance* που παρέχεται από την ενότητα *Appearance* του CityGML. Σε αντίθεση, με τις άλλες θεματικές επεκτάσεις, η ενότητα *Appearance* δεν προέρχεται από την ενότητα *_CityObject*, αλλά από την GML class *_Feature*.

2.6.3 BUILDING MODEL-MONTELO KTHPIOY

Το μοντέλο ενός κτηρίου, είναι ένα από τα πιο λεπτομερή θεματικά μέρη του CityGML. Επιτρέπει την αναπαράσταση των θεματικών και χωρικών ιδιοτήτων των κτηρίων και των επιμέρους μερών τους σε πέντε επίπεδα πληροφορίας (LOD0-LOD4). Το μοντέλο ενός κτηρίου ορίζεται από την θεματική επέκταση *Building*. Στα παρακάτω παραδείγματα παρουσιάζονται τρισδιάστατα μοντέλα κτηρίων και πόλεων σε επίπεδα πληροφορίας 1-4.



Εικόνα 2.4: παραδείγματα μοντέλων σε διαφορετικά επίπεδα πληροφορίας, Πηγή OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard

Τα συγκροτήματα κτηρίων, που αποτελούνται από ένα πλήθος διαφορετικών κτηρίων, όπως ένα εργοτάξιο ή ένα νοσοκομείο, πρέπει να ομαδοποιούνται χρησιμοποιώντας την έννοια του *CityObjectGroups*. Το βασικό κτήριο του συγκροτήματος μπορεί να αναδειχθεί δίνοντας μία τιμή στην ιδιότητα "role_name". Όσον αφορά τις δύο κλάσεις *Building* και *BuildingPart* υιοθετούν όλες τις ιδιότητες της κλάσης *_AbstractBuilding*: δηλαδή, το είδος του κτηρίου, τη λειτουργία του (κατοικία, δημόσιος χώρος, βιομηχανία), την πραγματική του χρήση, το έτος κατασκευής, το έτος σε περίπτωση κατεδάφισης, τον τύπο της οροφής και το μετρημένο ύψος. Όλες οι παραπάνω παράμετροι, δίνουν τη δυνατότητα για τη σχεδίαση ενός τρισδιάστατου σχήματος του κτηρίου και οι τιμές τους είναι δυνατόν να ληφθούν από το Κτηματολόγιο. Επιπλέον, λειτουργίες όπως η "Address", μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα κτήρια και τα επιμέρους μέρη τους. Στο επίπεδο πληροφορίας LOD0, το κτήριο είναι δυνατόν να αναπαρασταθεί από οριζόντιες ρισδιάστατες επιφάνειες. Αυτές οι επιφάνειες, μπορούν να απεικονίζουν το εμβαδόν του κτηρίου και ξεχωριστά το εμβαδό της σκεπής. Αυτό επιτρέπει την ομαλή ενσωμάτωση των δισδιάστατων δεδομένων στο μοντέλο. Σε πολλές χώρες, οι δισδιάστατες αυτές γεωμετρίες μπορούν να διαβαστούν ψηφιακά, στις αντίστοιχες τοπογραφικές ή κτηματολογικές υπηρεσίες. Τα κτηματολογικά αυτά δεδομένα, αποτυπώνουν το σχήμα του κτηρίου στο έδαφος (footprints) και τα τοπογραφικά δεδομένα αποτελούν μία μίξη μεταξύ των κτηματολογικών δεδομένων και των γεωμετριών των σκεπών των κτηρίων, οι οποίες λαμβάνονται συνήθως φωτογραμμετρικά μέσω δορυφορικών εικόνων ή μέσω αεροφωτογραφιών. Το μοντέλο του κτηρίου, επιτρέπει την εισαγωγή και των δύο ανωτέρων δεδομένων. Σε αυτήν την περίπτωση, οι μεγάλες και πιο πολύπλοκες σκεπές μπορούν να μοντελοποιηθούν σαν ένα βασικό στάδιο προετοιμασίας για μία πιο λεπτομερή σχεδίαση σε επίπεδο πληροφορίας 2-3. Στο επίπεδο πληροφορίας 1, ένα μοντέλο κτηρίου αποτελείται από μία γενικευμένη γεωμετρική απεικόνιση του εξωτερικού του κελύφους. Προαιρετικά, η γεωμετρία *gml:MultiCurve* που αναπαριστά την κλάση *TerrainIntersectionCurve* μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Αυτή η γεωμετρική αναπαράσταση, ενισχύεται στο επίπεδο πληροφορίας 2 από τις εξής δύο γεωμετρίες: *gml:MultiSurface* και *gml:MultiCurve*, οι οποίες χρησιμοποιούνται για τη σχεδίαση αρχιτεκτονικών λεπτομερειών, όπως κολόνες, κεραίες κ.ά. Στο επίπεδο πληροφορίας 2 και παραπάνω, η εξωτερική πρόσοψη ενός κτηρίου μπορεί επίσης να διαφοροποιηθεί σημασιολογικά μέσω των κλάσεων *_BoundarySurface* και *BuildingInstallation*. Η κλάση *_BoundarySurface* αποτελεί μέρος του εξωτερικού του κτηρίου με μία συγκεκριμένη λειτουργία, όπως για παράδειγμα wall (*WallSurface*), roof (*RoofSurface*), ground plate (*GroundSurface*), outer floor (*OuterFloorSurface*), outer ceiling (*Outer-*

CeilingSurface) ή *ClosureSurface*. Η κλάση *BuildingInstallation* χρησιμοποιείται για στοιχεία του κτηρίου όπως καμινάδες, μπαλκόνια, σκάλες, ότι επηρεάζει αισθητά την εξωτερική εμφάνιση του κτηρίου. Η κλάση αυτή μπορεί να έχει τις ιδιότητες *class*, *function*, και *usage*. Στο επίπεδο πληροφορίας 3, τα ανοίγματα όπως οι πόρτες και τα παράθυρα μπορούν να απεικονιστούν σαν θεματικά αντικείμενα. Στο επίπεδο πληροφορίας 4, το ανώτερο επίπεδο αναλυσης καθώς και το επίπεδο απεικόνισης του εσωτερικού του κτηρίου, το οποίο αποτελείται από δωμάτια, απεικονίζεται στο μοντέλο του κτηρίου από την κλάση *Room*. Οι εσωτερικές εγκαταστάσεις ενός κτηρίου οι οποίες δεν είναι δυνατο να μετακινηθούν (σε αντίθεση με τα έπιπλα), αναπαρίστανται από την κλάση *IntBuildingInstallation*.

2.6.3.1 ΚΛΑΣΗ Room

Αν μία εγκατάσταση ανήκει σε ένα συγκεκριμένο δωμάτιο (όπως για παράδειγμα ένας λαμπτήρας), τότε είναι άμεσα συνδεδεμένη με την κλάση *room*. Η κλάση αυτή, μπορεί να έχει τις ιδιότητες *class*, *function* και *usage* των οποίων οι τιμές μπορούν να οριστούν από κατάλληλα κωδικοποιημένες λίστες που παρέχει το CityGML. Η ιδιότητα *class* επιτρέπει την κατηγοριοποίηση των δωματίων με σεβασμό στην πραγματική λειτουργία τους, για παράδειγμα προσωπικά δωμάτια ή δωμάτια κοινής χρήσης και μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο μία φορά για κάθε δωμάτιο. Η ιδιότητα *function* έχει σαν στόχο να εκφράσει τον βασικό σκοπό του δωματίου, για παράδειγμα καθιστικό, κουζίνα. Η ιδιότητα *usage* μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να περιγράψει ένα δωμάτιο σε περίπτωση που χρησιμοποιείται διαφορετικά από την ιδιότητα *function*. Και οι δύο ιδιότητες, μπορούν να εμφανισθούν παραπάνω από μία φορά.

2.6.3.2 ΚΛΑΣΗ Room Furniture

Η εμφανής επιφάνεια του δωματίου αναπαρίσταται γεωμετρικά με τους όρους *Solid* ή *MultiSurface*. Σημασιολογικά, η επιφάνεια μπορεί να δομηθεί σε εξειδικευμένες επιφάνειες όπως *_BoundarySurfaces*, *FloorSurface*, *CeilingSurface* και *InteriorWallSurface*. Τα έπιπλα των δωματίων, όπως οι καρέκλες και τα τραπέζια μπορούν να αναπαρασταθούν στο μοντέλο κτηρίου του CityGML με την κλάση *Room furniture*. Η κλάση αυτή μπορεί να έχει τις ιδιότητες *class*, *function* και *usage*.

2.6.3.3 ΚΛΑΣΗ Building

Η κλάση *Building* είναι μία από τις δύο υπο-κλάσεις της κλάσης *_AbstractBuilding*. Εφόσον ένα κτήριο αποτελείται από ένα ομογενές μέρος,

τότε η τελευταία κλάση πρέπει να χρησιμοποιείται. Ένα κτήριο, το οποίο δομείται με παραπάνω από ένα μέρη, τότε πρέπει να χωρίζεται στην κλάση *Building* και στην κλάση *BuildingPart*, όπως φαίνεται στο σχήμα. Η γεωμετρία και οι μη χωρικές ιδιότητες του κεντρικού μέρους του κτηρίου πρέπει να αναπαρίσταται στην λειτουργία *Building*.



Εικόνα 2.5: παράδειγμα των κλάσεων building και building part ΠηγήOGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard

2.6.3.4 ΚΛΑΣΗ *BuildingPart*

Επομένως η κλάση *BuildingPart* διαχωρίζεται από την κλάση *AbstractBuilding*. Χρησιμοποιείται για τη σχεδίαση ενός δομικού μέρους του βασικού κτηρίου. Κάθε αντικείμενο που ανήκει στην κλάση αυτή πρέπει να σχετίζεται μοναδικά σε ακριβώς ένα κτήριο (*building*) ή ένα μέρος του κτηρίου (*buildingpart*)

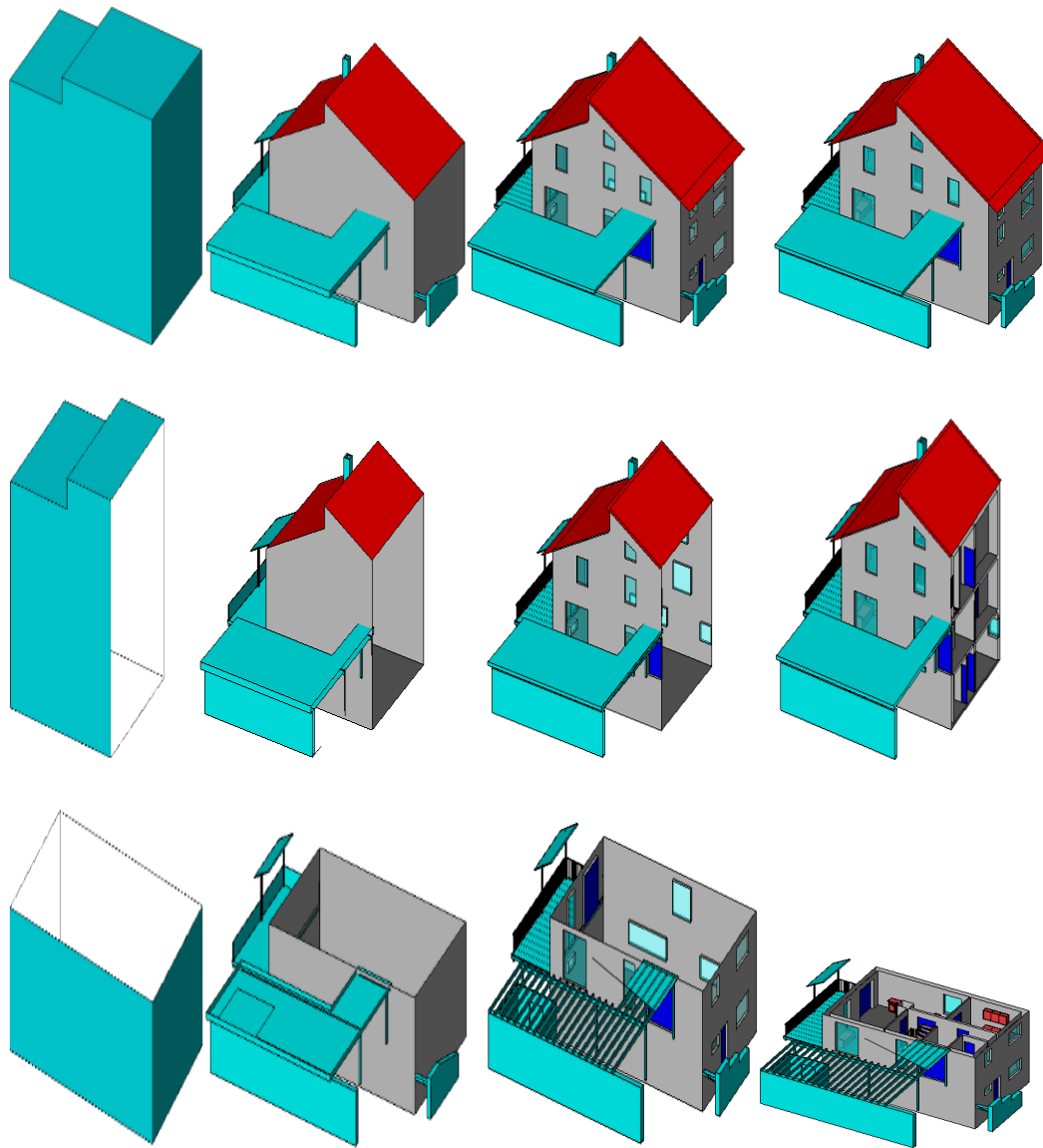
2.6.3.5 ΚΛΑΣΗ *AbstractBuilding*

Η κλάση *AbstractBuilding* περιέχει τις ιδιότητες των κτηρίων, ακριβείς γεωμετρικές αναπαραστάσεις και γεωμετρικές-σημασιολογικές αποτυπώσεις του κτηρίου ή μερών του σε πέντε διαφορετικά επίπεδα πληροφορίας. Οι ιδιότητες περιγράφουν:

- Την κατηγοριοποίηση του κτηρίου ή μέρους του (*class*), τις διαφορετικές χρήσεις του (*function*) και τις διαφορετικές πραγματικές χρήσεις του (*usage*).
- Το έτος δημιουργίας και το έτος κατεδάφισής του κτηρίου ή μερών του. Αυτές οι πληροφορίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να δείξουν την χρονολογική πορεία του σε ένα μοντέλο πόλης.
- Τον τύπο της οροφής του κτηρίου ή μέρους του.

- Το μετρημένο σχετικό ύψος του κτηρίου ή μέρους του.
- Τον αριθμό των ορόφων πάνω και κάτω από το έδαφος.
- Τη λίστα των ορόφων πάνω και κάτω από το έδαφος. Η πρώτη τιμή στη λίστα δηλώνει το ύψος του κοντινότερου ορόφου με σημείο αναφοράς το έδαφος και η τελευταία τιμή το ύψος του υψηλότερου ορόφου με το ίδιο σημείο αναφοράς.

Ανάλογα με τα διαφορετικά επίπεδα πληροφορίας όπως προαναφέρθηκε, το μοντέλο διαφέρει σε πολυπλοκότητα και σε λεπτομέρεια του γεωμετρικού του σχήματος και της θεματικής του δόμησης, όπως φαίνεται και στο παρακάτω παράδειγμα, όπου απεικονίζει ένα σπίτι σε πέντε διαφορετικά επίπεδα πληροφορίας.



Εικόνα 2.6: παράδειγμα ενός σπιτιού σε διαφορετικά επίπεδα πληροφορίας Πηγή OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard

Στο επίπεδο πληροφορίας 1-4, ο όγκος ενός κτηρίου μπορεί να εκφραστεί μέσω της γεωμετρίας *gml:Solid* ή/και *gml:MultiSurface*.

Geometric / semantic theme	Property type	LOD0	LOD1	LOD2	LOD3	LOD4
Building footprint and roof edge	<i>gml:MultiSurfaceType</i>	•				
Volume part of the building shell	<i>gml:SolidType</i>		•	•	•	•
Surface part of the building shell	<i>gml:MultiSurfaceType</i>		•	•	•	•
Terrain intersection curve	<i>gml:MultiCurveType</i>		•	•	•	•
Curve part of the building shell	<i>gml:MultiCurveType</i>			•	•	•
Building parts	<i>BuildingPartType</i>		•	•	•	•
Boundary surfaces (chapter 10.3.3)	<i>AbstractBoundarySurfaceType</i>			•	•	•
Outer building installations (chapter 10.3.2)	<i>BuildingInstallationType</i>			•	•	•
Openings (chapter 10.3.4)	<i>AbstractOpeningType</i>				•	•
Rooms (chapter 10.3.5)	<i>RoomType</i>					•
Interior building installations (chapter 10.3.5)	<i>IntBuildingInstallationType</i>					•

Πίνακας 2.2: ο τύπος της γεωμετρίας σε κάθε επίπεδο πληροφορίας Πηγή OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard

-Στο επίπεδο πληροφορίας 0, το κτήριο αναπαρίστανται από οριζόντιες επιφάνειες που περιγράφουν το εμβαδόν της βάσης και της οροφής.

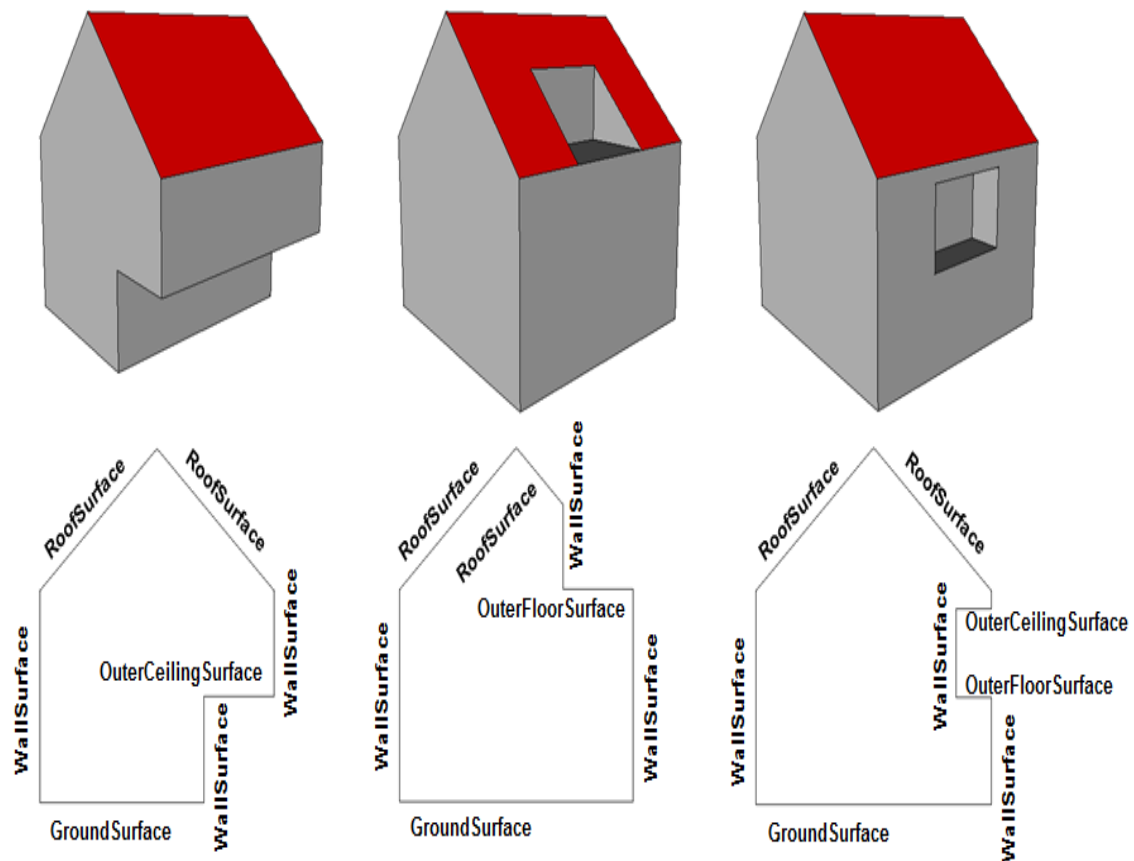
-Στο επίπεδο πληροφορίας 1, οι διαφορετικές δομικές οντότητες του κτηρίου συνενώνονται και δημιουργούν ένα ομογενές μοντέλο, χωρίς ιδιαίτερη λεπτομέρεια. Οι όγκοι και οι επιφάνειες του εξωτερικού φλοιού του κτηρίου είναι όμοιες και μόνο μία από τις αντίστοιχες τιμές της γεωμετρίας πρέπει να χρησιμοποιείται (*lod1Solid* ή *lod1MultiSurface*).

-Στο επίπεδο πληροφορίας 2 και παραπάνω, ο εξωτερικός φλοιός του κτηρίου δεν αναπαρίσταται γεωμετρικά μόνο με την τιμή *gml:Solid* ή/και *gml:MultiSurface*, αλλά μπορεί να συντεθεί και από σημασιολογικά αντικείμενα. Η βασική κλάση για όλα τα σημασιολογικά αντικείμενα που δομούν εξωτερικά τον φλοιό του κτηρίου είναι η *_BoundarySurface*, η οποία χρησιμοποιεί τη γεωμετρία *gml:MultiSurface*. Εκτός των επιμέρους μερών του κτηρίου, μικρότερες λειτουργίες του, όπως οι εξωτερικές εγκαταστάσεις (“outer building installations”), μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά τα χαρακτηριστικά του. Αυτές οι λειτουργίες, αντιπροσωπεύονται από την κλάση *BuildingInstallation*. Βασικά παραδείγματα της κλάσης αυτής είναι οι καμινάδες, τα μπαλκόνια, οι εξωτερικές σκάλες, όπως φαίνονται στο

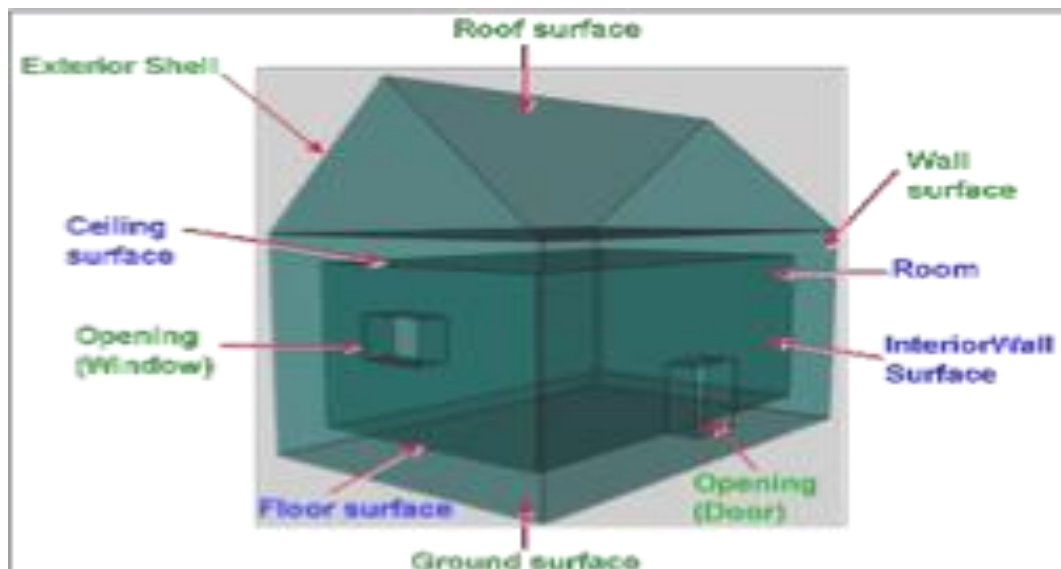
παραπάνω σχήμα. Η κλάση *_AbstractBuilding* δεν περιέχει παραπάνω ιδιότητες για το επίπεδο πληροφορίας 3. Παρόλο τις υψηλότερες απαιτήσεις στη γεωμετρική ακρίβεια, η βασική διαφορά των κτηρίων επιπέδου πληροφορίας 2, από αυτά επιπέδου πληροφορίας 3, αφορά την κλάση *_BoundarySurface*. Στο επίπεδο πληροφορίας 3, τα ανοίγματα σε ένα κτήριο που περιγράφονται ως πόρτες και παράθυρα, σχεδιάζονται από την κλάση *_Opening* και τις επιμέρους υποκλάσεις *Window* και *Door*. Λαμβάνοντας υπόψιν τον εξωτερικό φλοιό του κτηρίου, ένα μοντέλο με επίπεδο πληροφορίας 4 είναι πανομοιότυπο με ένα μοντέλο επιπέδου πληροφορίας 3. Η διαφορά έγκειται στο γεγονός πως ένα μοντέλο επιπέδου πληροφορίας 4 παρέχει τη δυνατότητα να σχεδιαστεί το εσωτερικό του με τις κλάσεις *IntBuildingInstallation* και *Room*. Κάθε κτήριο ή επιμέρους μέρος του, μπορεί να λάβει απο καμία έως πολλές διευθύνσεις χρησιμοποιώντας την ιδιότητα *address*. Η κλάση *BuildingInstallation* αφορά τα εξωτερικά μέρη του κτηρίου που δεν ανήκουν στην κλάση *BuildingPart*, αλλά επηρεάζουν σημαντικά τα χαρακτηριστικά του. Η κλάση αυτή εμπεριέχει τις ιδιότητες *class*, *function* και *usage*. Η ιδιότητα *class* –που μπορεί να προκύψει μία φορά– απεικονίζει τη γενικότερη κατηγοριοποίηση της εγκατάστασης. Με τις ιδιότητες *function* και *usage*, οι πραγματικές και οι υποθετικές χρήσεις της εγκατάστασης μπορούν να περιγραφούν. Για τις παραπάνω τρεις ιδιότητες, υπάρχει κωδικοποιημένη λίστα που τις περιγράφει. Για τη γεωμετρική αποτύπωση της κλάσης *BuildingInstallation*, μπορεί να δοθεί ο δείκτης *ImplicitGeometry*.

2.6.3.6 ΚΛΑΣΗ *Boundary Surface*

Η κλάση *_BoundarySurface* αποτελεί την γενικότερη κλάση για ποικίλες θεματικές κλάσεις που δομούν τον εξωτερικό φλοιό ενός κτηρίου, όπως και τις φανερές επιφάνειες των δωματίων και των εσωτερικών και εξωτερικών εγκαταστάσεων. Αποτελεί μια υποκλάση της κλάσης *_CityObject*, επομένως απορροφά όλες τις ιδιότητές της. Από την κλάση αυτή, προκύπτουν κάποιες από τις πιο βασικές υποκλάσεις για ένα κτήριο: *RoofSurface*, *WallSurface*, *GroundSurface*, *OuterCeilingSurface*, *OuterFloorSurface*, *ClosureSurface*, *FloorSurface*, *InteriorWallSurface*, και *CeilingSurface*. Η θεματική κατηγοριοποίηση των επιφανειών του κτηρίου παρουσιάζεται στα παρακάτω σχήματα.



Εικόνα 2.7:Θεματική κατηγοριοποίηση επιφανειών ενός κτηρίου ΠηγήOGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard



Εικόνα 2.8:Θεματική κατηγοριοποίηση επιφανειών ενός κτηρίου ΠηγήOGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard

Για κάθε επίπεδο πληροφορίας μεταξύ 2 και 4, η γεωμετρία της κλάσης *_BoundarySurface* μπορεί να οριστεί από τον δείκτη *gml:MultiSurface*.

-Στα επίπεδα πληροφορίας 3 και 4 η κλάση *_BoundarySurface* μπορεί να περιέχει την κλάση *_Openings*, όπως είναι τα παράθυρα και οι πόρτες. Αν η γεωμετρική θέση της κλάσης *_Openings* τοπολογικά συμπίπτει με ένα αντικείμενο πάνω σε μία επιφάνεια, τότε σε αυτά τα σημεία, η κλάση *Openings* πρέπει να απεικονίζεται σαν “τρύπες” πάνω σε αυτήν την επιφάνεια.

-Το πάτωμα ενός κτηρίου ή μερών του, σχεδιάζεται από την κλάση *GroundSurface*. Το πολύγωνο που ορίζει τον χώρο, στηρίζεται στα “ίχνη” του εμβαδού του κτηρίου. Μία οριζόντια επιφάνεια που ανήκει στον εξωτερικό φλοιό του κτηρίου με κατεύθυνση προς το έδαφος περιγράφεται σαν κλάση *OuterCeilingSurface*.

-Όλα τα μέρη της πρόσοψης του κτηρίου που ανήκουν στον εξωτερικό φλοιό του, περιγράφονται από την κλάση *WallSurface*.

-Μία οριζόντια επιφάνεια που ανήκει στον εξωτερικό φλοιό του κτηρίου με κατεύθυνση προς την οροφή περιγράφεται από την κλάση *OuterFloorSurface*.

-Οι βασικές οροφές του κτηρίου ή μερών του περιγράφονται από την κλάση *RoofSurface*.

-Τα δευτερεύοντα μέρη της σκεπής με συγκεκριμένη σημασιολογική έννοια, όπως μία καμινάδα περιγράφεται από την κλάση *BuildingInstallation*.

-Ένα άνοιγμα στο κτήριο το οποίο δεν καλύπτεται από μία πόρτα ή ένα παράθυρο μπορεί να καλυφθεί από μία εικονική επιφάνεια που περιγράφεται με την κλάση *ClosureSurface*. Πιο συγκεκριμένα, μέρη όπως ένα εργοτάξιο ή ένας στάβλος, πρέπει να μπορούν να “κλείσουν” έστω και εικονικά, έτσι ώστε να είναι δυνατόν να υπολογιστεί ο όγκος τους. Αν δύο δωμάτια, με διαφορετικές λειτουργίες (π.χ κουζίνα και καθιστικό) συνδέονται χωρίς να υπάρχει ενδιάμεση πόρτα η κλάση *ClosureSurface* πρέπει να χρησιμοποιείται προκειμένου να ορίσει τους όγκους τους.

-Η κλάση *FloorSurface* πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο σε κτήριο επιπέδου πληροφορίας 4 για να απεικονίσει το πάτωμα ενός κτηρίου.

-Η κλάση *InteriorWallSurface* πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο σε κτήριο επιπέδου πληροφορίας 4 για να απεικονίσει τις εμφανείς επιφάνειες των του

εσωτερικού των τοίχων των δωματίων.

-Η κλάση *CeilingSurface* πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο σε κτήριο επιπέδου πληροφορίας 4 για να σχεδιάσει το περίβλημα του δωματίου.

-Η κλάση *_Opening* αποτελεί τη γενικότερη κλάση για τη σημασιολογική περιγραφή των ανοιγμάτων, όπως οι πόρτες και τα παράθυρα είτε στο εξωτερικό, είτε στο εσωτερικό του κτηρίου. Ανοίγματα παρατηρούνται μόνο σε μοντέλα επιπέδου πληροφορίας 3 ή 4. Η κλάση *_Opening* περιγράφει τη γεωμετρία της μέσω του δείκτη *gml:MultiSurface*. Εναλλακτικά η γεωμετρία της μπορεί να δοθεί και από τον δείκτη *ImplicitGeometry*.

-Η κλάση *Window* χρησιμοποιείται για τον σχεδιασμό παραθύρων στο εξωτερικό μέρος ενός κτηρίου. Η βασική διαφορά μεταξύ παραθύρων και πορτών είναι πως υπό φυσιολογικές συνθήκες τα παράθυρα δεν είναι σχεδιασμένα για τη διέλευση πεζών ή οχημάτων.

-Η κλάση *Door* χρησιμοποιείται για τον σχεδιασμό πορτών στο εξωτερικό μέρος του κτηρίου, ή μεταξύ δωματίων. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν από ανθρώπους για να εισέλθουν ή να εξέλθουν από ένα δωμάτιο. Σε αντίθεση με την κλάση *ClosureSurface* μία πόρτα είναι δυνατόν να είναι κλειστή έτσι ώστε να μην επιτρέπει τη διέλευση των ανθρώπων.

-Η λειτουργία *Room* είναι ένα σημασιολογικό αντικείμενο για τον σχεδιασμό του ελεύθερου χώρου μέσα σε ένα κτήριο και πρέπει να συνδέεται μοναδικά με ένα κτήριο ή μέρος του. Πρέπει να είναι κλειστό και η γεωμετρία του περιγράφεται ως *solid (lod4Solid)*. Παρόλα αυτά, αν η τοπολογική ορθότητα των ορίων του δεν μπορεί να εξακριβωθεί, η γεωμετρία μπορεί εναλλακτικά να δοθεί σαν *MultiSurface (lod4MultiSurface)*.

-Μία εξειδικευμένη εργασία αποτελεί ο σχεδιασμός περασμάτων μεταξύ των δωματίων. Τα δωμάτια είναι τοπολογικά συνδεδεμένα από επιφάνειες που αντιπροσωπεύουν πόρτες, πλασματικές επιφάνειες ή ανοίγματα. Η επιφάνεια που απεικονίζει γεωμετρικά τα ανοίγματα είναι μέρος των ορίων μεταξύ δύο δωματίων. Έτσι είναι δυνατόν, μέσω αλγορίθμων να ορισθούν οι συντομότερες διαδρομές μέσα στα δωμάτια. Τα δωμάτια είναι δυνατόν να περιέχουν έπιπλα (*BuildingFurnitures*) και εγκαταστάσεις (*IntBuildingInstallations*). Ένα έπιπλο, είναι ένα αντικείμενο του δωματίου που είναι σε θέση να μετακινηθεί, όπως μία καρέκλα ή ένα τραπέζι. Το έπιπλο πρέπει να συνδέεται αυστηρά με ένα δωμάτιο. Η γεωμετρία του μπορεί να περιγραφεί ως *ImplicitGeometry*.

-Μία εσωτερική εγκατάσταση(IntBuildingInstallation), είναι ένα αντικείμενο μέσα σε ένα κτήριο με μία συγκεκριμένη λειτουργία και σκοπό. Σε αντίθεση με τα έπιπλα, μία εσωτερική εγκατάσταση είναι μόνιμα συνδεδεμένη στο κτήριο και δεν μπορεί να μετακινηθεί, όπως για παράδειγμα οι εσωτερικές σκάλες. Αυτού του είδους οι εγκαταστάσεις είναι δυνατό να συνδεθούν είτε με ένα δωμάτιο, είτε απευθείας με το κτήριο. Η κλάση αυτή περιέχει τρεις ιδιότητες *class*, *function* και *usage*, οι οποίες ακολουθούν τις ίδιες αρχές που έχουν περιγραφεί σε παραπάνω κλάσεις.

2.7 Application Domain Extensions (ADE)

Οι επεκτάσεις αυτές αφορούν συγκεκριμένες προσθήκες σε ένα CityGML μοντέλο. Αυτού του είδους οι προσθήκες συστήνουν νέες λειτουργίες, ιδιότητες, γεωμετρίες και σχέσεις. Επίσης, νέα στοιχεία μπορούν να προστεθούν στις ήδη υπάρχουσες λειτουργίες με τη χρήση του ADE. Το ADE, ορίζεται σαν ένα επιπλέον αρχείο XML μέσα στο πρότυπο του CityGML. Όλες οι ADE επεκτάσεις ανήκουν σε μία από τις δύο κατηγορίες που ακολουθούν:

- 1) Νέες λειτουργίες ορίζονται μέσω του ADE και βασίζονται στις υπάρχουσες κλάσεις του CityGML, με αποτέλεσμα να διαμοιράζονται οι ιδιότητές τους
- 2) Οι υπάρχουσες λειτουργίες του CityGML επεκτείνουν τις ιδιότητές τους με την εισαγωγή του ADE.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3-ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ CityGML

3.1 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ

Παρουσιάζονται συνοπτικά δύο βασικές τεχνικές τρισδιάστατης μοντελοποίησης.

3.1.1 PROCEDURAL MODELING

Η ανάγκη και η χρήση διάφορων μεθόδων και τεχνικών τρισδιάστατης απεικόνισης, έχει αυξηθεί σημαντικά την τελευταία δεκαετία σε πολλούς τομείς οι οποίοι τις χρησιμοποιούν για τη δημιουργία αστικών κατασκευών. Πιο συγκεκριμένα, η κανονιστική μοντελοποίηση υλοποιείται σε ένα τρισδιάστατο μοντέλο, το οποίο εκτελείται μέσω υπολογιστικού αλγορίθμου, βασισμένο στην αποδοχή πως όλα τα κτήρια του πραγματικού κόσμου, ορίζονται από κανόνες, μιας και επαναλαμβανόμενα μοτίβα και ιεραρχικές δομές περιγράφουν τη γεωμετρία τους. Για αυτό το λόγο, είναι ιδιαίτερα σημαντικό να είναι γνωστή η ιεραρχική και σχετική θέση των στοιχείων, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται ο σκοπός της “bottom-up” δημιουργίας, μιας και το τρισδιάστατο μοντέλο είναι χωρισμένο σε πλευρές στην αρχή και έπειτα σε ορόφους, οι οποίοι αντίστοιχα διαιρούνται σε διαμερίσματα. Η πραγματική όψη του κτηρίου, επιτυγχάνεται εισάγοντας επιπρόσθετη λεπτομέρεια στα διαμερίσματα. Στα πλαίσια της παραπάνω διαδικασίας, λεπτομερή τρισδιάστατα μοντέλα, συμπεριλαμβανομένων και πολύπλοκων όψεων ανήκουν σε διαφορετικά επίπεδα πληροφορίας (LoD) και ακολουθούν συγκεκριμένους κανόνες, που αποτελούν και την έννοια της γραμματικής της συγκεκριμένης μοντελοποίησης. Η κανονιστική μοντελοποίηση, χρησιμοποιεί κυρίως CGA (Computer Generated Architecture) μορφή γραμματικής, έτσι ώστε να παράγει προγραμματιστικά μοντέλα κτηρίων υψηλής εξωτερικής λεπτομέρειας και γεωμετρικής πληροφορίας.

3.1.2 MODELING BASED ON BIM-STANDARD SOFTWARE

Το SketchUp Pro της Trimble, είναι ένα φιλικό προς τον χρήστη λογισμικό, το οποίο χρησιμοποιείται για τον σχεδιασμό τρισδιάστατων μοντέλων και παρέχει τη δυνατότητα λεπτομερούς σχεδίασης τόσο του εξωτερικού όσο και του εσωτερικού χώρου. Όσον αφορά τον τρόπο σχεδίασης, οι μέθοδοι ποικίλουν, ανάλογα με τις απαιτήσεις και την χρήση του μοντέλου. Βασικά χρήσιμα στοιχεία είναι η διαλειτουργικότητα με άλλα προγράμματα σχεδίασης όπως το autoCAD, η άμεση σύνδεση με το Google Earth, αλλά και η δυνατότητα υλοποίησης σχεδίων βασισμένα σε αρχιτεκτονικά σχέδια. Η σύνδεση με την τρισδιάστατη ψηφιακή αποθήκη της Google και η δυνατότητα λήψης και άμεσης εισαγωγής στο μοντέλο αντικειμένων όπως έπιπλα,

κάγκελα, εξωτερικές κατασκευές δίνουν στο μοντέλο μία λεπτομερή και ρεαλιστική όψη. Το λογισμικό παρέχει εργαλεία για την ομαδοποίηση των αντικειμένων ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους, καθώς και τη χρήση επιπέδων(layers) ανάλογα με τις απαιτήσεις του μοντέλου. Επιπρόσθετα το SketchUp παρέχει λειτουργίες για την κατηγοριοποίηση και την εξαγωγή αρχείων βασισμένων στα πρότυπα μερικών από των πιο γνωστών BIM προδιαγραφών. Τα μοντέλα τα οποία δημιουργούνται στο SketchUp, είναι δυνατό να εξαχθούν σε διάφορες μορφές αρχείων όπως: CAD formats, 3D studio format(.3ds), Collada (.dae), KML (Keyhole Markup Language)/KMZ, VRML (.wrl), , καθώς και σε δισδιάστατες φωτογραφίες(JPG, TIFF, ETC.). Στα πλαίσια της συγκεκριμένης διπλωματικής, το μοντέλο σχεδιάστηκε στο Trimble SketchUp 2015.

3.2 BUILDING INFORMATION MODELING(BIM)

Η τεχνική Building information modeling (BIM), είναι μία νέα μέθοδος προσέγγισης της εμφάνισης και της λειτουργίας κτηριακών μοντέλων. Μία μικρή επεξήγηση των αρχικών του, είναι η εξής:

-**Building:** ο κύκλος ζωής του κτηρίου που εξετάζεται

-**Information:** όλες οι πληροφορίες για το κτήριο και τον κύκλο ζωής του

-**Modeling:** ο ορισμός ,η προσομοίωση του κτηρίου καθώς και ο σκοπός λειτουργίας του που αναδεικνύεται μέσω των πληροφοριών που δέχεται το κτηριακό μοντέλο κατά τον σχεδιασμό του.Η τεχνολογία BIM προσφέρει ουσιαστικά πλεονεκτήματα σε σχέση με την τεχνολογία CAD. Αρχικά, η τεχνολογία BIM, σχεδιάζει και διαχειρίζεται όχι μόνο γραφικές απεικονίσεις, αλλά πληροφορίες που επιτρέπουν την αυτόματη σχεδίαση αντικειμένων, καθώς και τεχνικών αναφορών για τις λειτουργίες τους, ανάλυση σχεδιασμού, προσομοίωση προγράμματος, διαχείριση εγκαταστάσεων κ.ά, επιτρέποντας έτσι τη λήψη ασφαλέστερων και αποδοτικότερων αποφάσεων σε μία εργασία.Η τεχνολογία BIM, υποστηρίζει τον διαμοιρασμό πληροφοριών του κύκλου ζωής ενός κτηρίου, εξαλείφοντας την περίσσεια, το χάσιμο, αλλά και τη μετάφραση των δεδομένων ενός κτηριακού μοντέλου.

3.3 ΣΗΜΑΣΙΟΛΟΓΙΚΗ ΒΑΣΗ-BIM

Εκτός από το CityGML, η ψηφιακή μορφή η οποία περιγράφει ένα κτήριο με τα αντίστοιχα συστατικά του στοιχεία καθόλη τη διάρκεια της ζωής του, ονομάζεται Building Information Model (BIM). Μια βασική διαφορά μεταξύ του CityGML και του IFC, είναι η χρήση διαφορετικών ιδεών για το ίδιο

σημασιολογικό αντικείμενο. Για παράδειγμα, το IFC, όταν αναφέρει τη δημιουργία ενός κτηρίου, ορίζει τα συστατικά μέρη ως "Walls". Αντίθετα, το CityGML, περιγράφει τον τρόπο χρησιμοποίησης των κτηρίων, δίνοντας έμφαση και επεξήγηση στα συστατικά τους μέρη όπως "Rooms" και "Walls". Η συνεργασία μεταξύ IFC και CityGML, δημιουργεί ακόμα πιο λεπτομερή και ακριβή τρισδιάστατα μοντέλα.

3.4 ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ Trimble SketchUP

Το λογισμικό Trimble SketchUp 2015, χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου της περιοχής μελέτης. Το λογισμικό αυτό, έχει τη δυνατότητα να κατηγοριοποιεί αντικείμενα και να εξάγει αρχεία σύμφωνα με τα πρότυπα BIM (Building Information Standards). Αποτελεί επομένως, ένα εργαλείο που υποστηρίζει το πρότυπο BIM σε ικανοποιητικό βαθμό. Μερικές λειτουργίες του προς αυτόν το σκοπό, περιγράφονται παρακάτω:

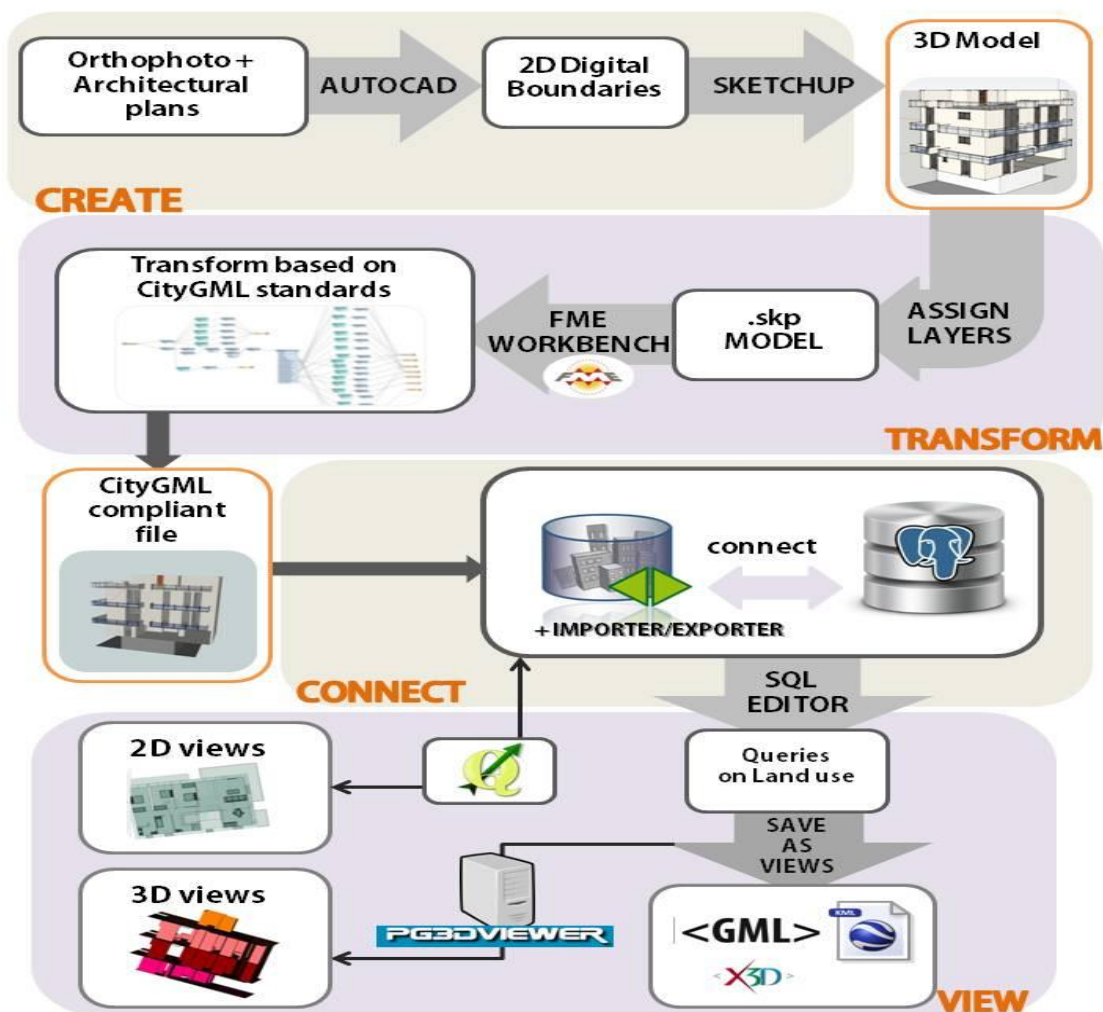
- 1) Το Trimble SketchUp, παρέχει τη δυνατότητα της ομαδοποίησης ξεχωριστών αντικειμένων στο μοντέλο, έτσι ώστε να δημιουργηθεί ένα ενιαίο αντικείμενο, όπως για παράδειγμα οι σκάλες. Ακόμα, οι όροφοι μπορούν να ομαδοποιηθούν, διαφοροποιώντας έτσι τη γεωμετρία μεταξύ τους, μια λειτουργία ιδιαίτερα χρήσιμη για την επεξεργασία του μοντέλου όπως θα φανεί παρακάτω.
- 2) Το Trimble SketchUp, παρέχει τη λειτουργία της σκίασης, το οποίο αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο των BIM λογισμικών, μιας και η δυνατότητα προσδιορισμού και ανάλυσης της ημέρας είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στην εκπόνηση διάφορων projects που αφορούν τον αστικό σχεδιασμό.
- 3) Το Trimble SketchUp, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δημιουργήσει εξαρτήματα εξοπλιστικών μηχανημάτων, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν καθαρά για οπτικούς σκοπούς σε διάφορα λογισμικά BIM. Για παράδειγμα το SketchUp είναι συμβατό με μηχανολογικά προγράμματα, όπως το Revit. Επιπλέον, η δυνατότητα να συνδέεται στην τρισδιάστατη βιβλιοθήκη του και να χρησιμοποιεί έτοιμα πακέτα δεδομένων που αφορούν έπιπλα, κατασκευές κ.ά, καθιστά το μοντέλο πιο αληθινό και την οπτικοποίησή του, ακόμα πιο επαγγελματική και ακριβή.

3.5 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η περιοχή μελέτης, βρίσκεται στον Δήμο Ηλιούπολης. Πρόκειται για ένα αστικό οικοδομικό τετράγωνο, στο οποίο συναντώνται διαφορετικές χρήσεις γης πέρα από την κατοικία, όπως βρεφονηπιακός σταθμός, ιατρείο, και ιδιωτικά γραφεία. Ακόμα, το βασικό κτήριο προς υλοποίηση, αποτελεί και την προσωπική κατοικία του συγγραφέα της παρούσας διπλωματικής, επομένως η ανεύρεση των σχεδίων ήταν άμεση καθώς και κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού η γνώση του χώρου αποτέλεσε ένα σαφές πλεονέκτημα. Οι παραπάνω λόγοι επομένως συνετέλεσαν στην τελική επιλογή της συγκεκριμένης περιοχής μελέτης.

3.6 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

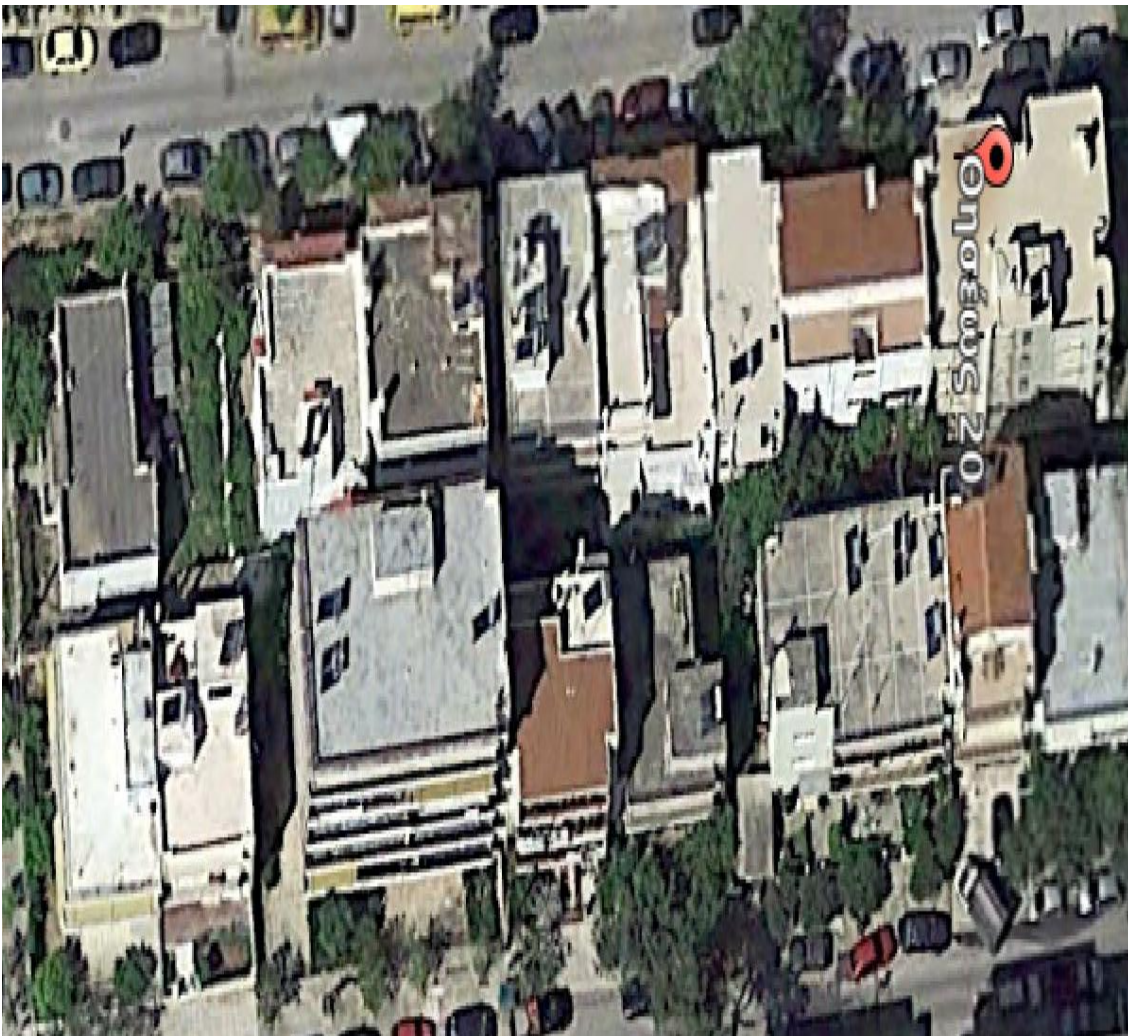
Αρχικά, παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής της διαδικασίας.



Εικόνα 3.1: Διάγραμμα ροής

3.6.1 ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΤΟ AutoCAD

Αρχικά, πραγματοποιήθηκε ο σχεδιασμός των ορίων του οικοδομικού τετραγώνου και των κτηρίων του, στο λογισμικό AutoCAD 2014 με τη μέθοδο της ψηφιοποίησης, μετά από την εισαγωγή ορθοφωτογραφίας του οικοδομικού τετραγώνου. Ο λόγος που χρησιμοποιήθηκε το AutoCAD για τη συγκεκριμένη εργασία, είναι πως το Trimble SketchUp, δέχεται αποκλειστικά φωτογραφίες του κεκλιμένη. Δεν ήταν δυνατόν επομένως να γίνει ψηφιοποίηση με αυτόν τον τρόπο. Παρόλα αυτά, δεν εντοπίστηκε κάποιο ιδιαίτερο πρόβλημα, μιας και τα δύο προγράμματα έχουν άριστη συνεργασία μεταξύ τους. Τέλος, δεν παρατηρήθηκε καμία απώλεια ή αλλοίωση δεδομένων κατά τη μεταφορά από το AutoCAD, στο SketchUp.



Εικόνα 3.2: φωτογραφία της περιοχής μελέτης από το Google Earth



Εικόνα 3.3: ψηφιοποίηση της περιοχής μελέτης στο AutoCAD

Μία παρατήρηση είναι πως στην ορθοφωτογραφία δεν υπάρχει το προς μελέτη κτήριο μιας και δεν είχε χτιστεί ακόμα, παρόλα αυτά υπάρχουν ψηφιακά σχέδια που ορίζουν ακριβώς τα όρια του και εκεί βασίστηκε η ψηφιοποίηση του συγκεκριμένου τμήματος.

3.6.2 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΤΟ Trimble SketchUp

Το επόμενο στάδιο είναι ο σχεδιασμός του μοντέλου στο Trimble SketchUp.

Το συγκεκριμένο λογισμικό επιλέχθηκε για τους εξής λόγους:

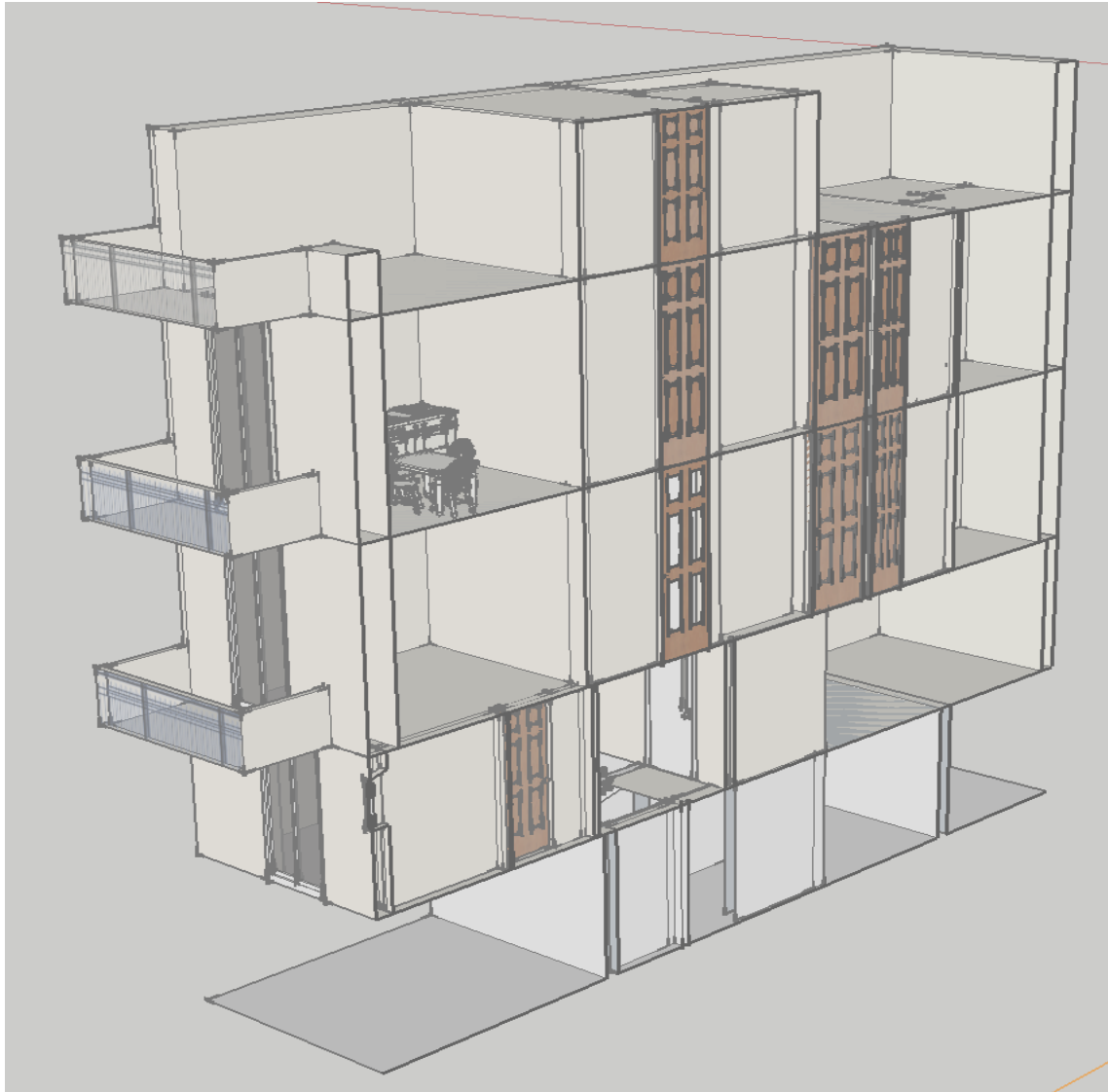
- 1) Είναι φιλικό προς το χρήστη μόλις κατανοήσει τις σχεδιαστικές αρχές που ακολουθεί.
- 2) Επιτυγχάνει λεπτομερή και ακριβή αποτύπωση του προς μελέτη μοντέλου μέσω της πληθώρας των λειτουργιών που διαθέτει, καθώς και μετέπειτα διαχείρισής του.
- 3) Σε επίπεδο έρευνας και συνεργασίας με άλλα προγράμματα, καθώς και τη διαλειτουργικότητά του με το CityGML.

Η τεχνική σχεδίασης στο Trimble SketchUp ουσιαστικά εξαρτάται από τον χρήστη και τις απαιτήσεις του μοντέλου που καλείται να σχεδιάσει. Στο συγκεκριμένο μοντέλο, επειδή έγινε πλήρης αποτύπωση του εσωτερικού του κτηρίου, ακολουθήθηκε συγκεκριμένη διαδικασία. Αρχικά, έγινε η σχεδίαση των εξωτερικών τοίχων κάθε ορόφου. Στη συνέχεια, φέρθηκαν τα ύψη του καθενός ορόφου και μόλις είχε δημιουργηθεί το βασικό περίβλημα του κτηρίου, έγινε η εσωτερική σχεδίαση των τοιχών του, οι οποίοι με τη σειρά τους φέρθηκαν μετέπειτα στα αντίστοιχα ύψη. Όπως προαναφέρθηκε, η δυνατότητα σύνδεσης του SketchUp, με την διαδικτυακή βιβλιοθήκη του Google, επέτρεψε τον σχεδιασμό ενός μοντέλου με ιδιαίτερα λεπτομερή εξωτερική και εσωτερική απεικόνιση. Συνεπώς, το μοντέλο που φαίνεται στο σχήμα καλύπτει παραπάνω από επαρκώς, όλες τις απαιτήσεις για το επίπεδο πληροφορίας 4.

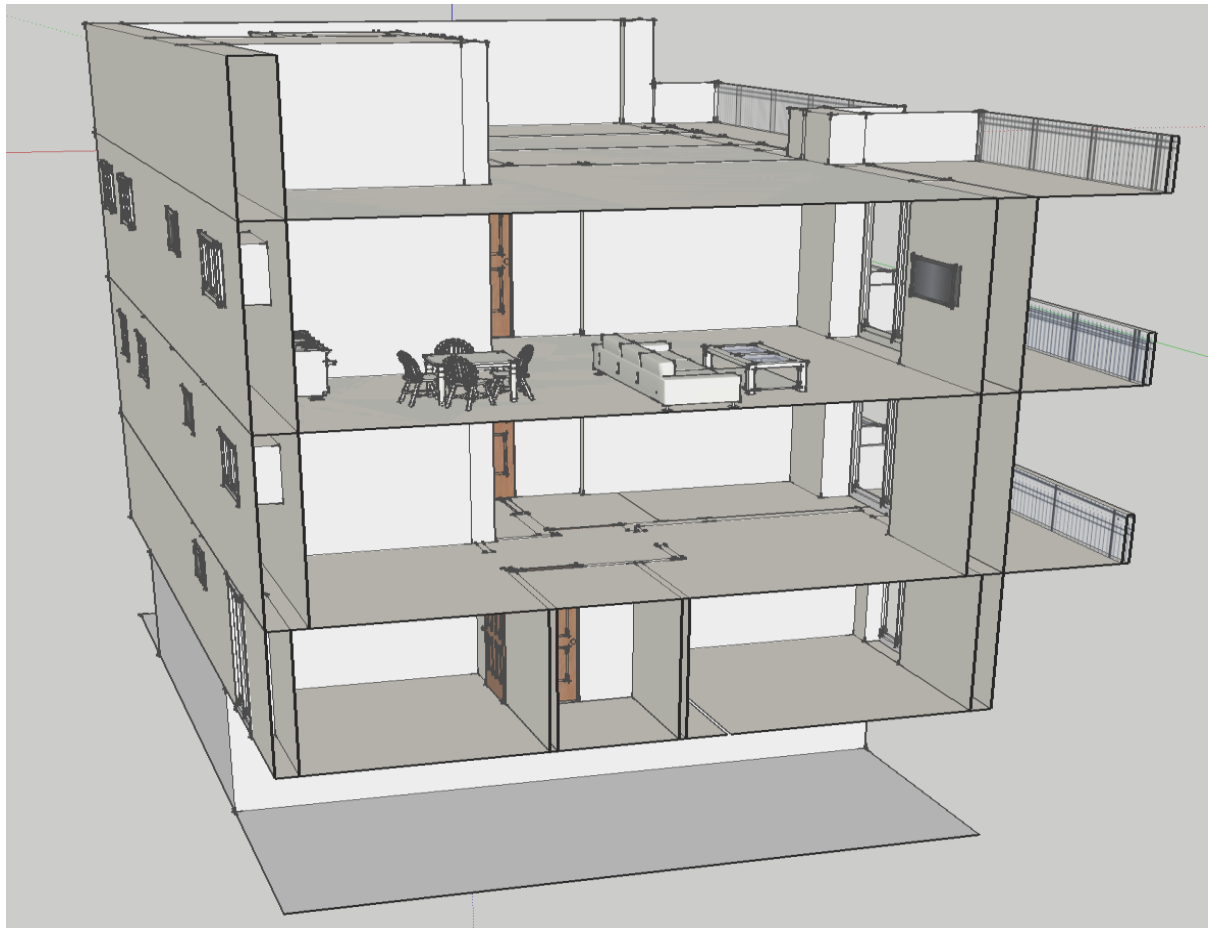


Εικόνα 3.4: Παρουσίαση του μοντέλου στο Trimble SketchUp

Ακολουθούν φωτογραφίες που αναδεικνύουν την εσωτερική λεπτομέρεια του κτηρίου. Η θολότητα μερικών φωτογραφιών οφείλεται στην εντολή του SketchUp που διαχωρίζει το κτήριο, έτσι ώστε να είναι όψιμο το εσωτερικό του.



Εικόνα 3.5: Το εσωτερικό του μοντέλου










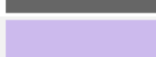



Εικόνα 3.6: Το εσωτερικό του μοντέλου

Το επόμενο στάδιο που ακολουθεί, είναι η τροποποίηση του μοντέλου, έτσι ώστε να είναι συμβατό με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά του CityGML. Η τροποποίηση αυτή, είναι απαραίτητο να έχει ως αφετηρία τον σχεδιασμό από το SketchUp, πάνω στον οποίο γίνεται η μετατροπή μέσω ενός εξωτερικού λογισμικού που ονομάζεται Feature Manipulation Engine (FME). Πιο συγκεκριμένα, το CityGML, όπως περιγράφηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, αναγνωρίζει τις διαφορετικές επιφάνειες, με συγκεκριμένα ονόματα, όπως για παράδειγμα WallSurface, GroundSurface, κ.ά. Έγινε λοιπόν η αντίστοιχη μετονομασία των στρωμάτων (layers) στην προαπαιτούμενη για το CityGML. Η δυνατότητα της ομαδοποίησης αντικειμένων, αποδείχτηκε ιδιαίτερα χρήσιμη, για το λόγο ότι κάθε γεωμετρία ήταν διακριτή κατά τη σχεδίαση και παρέμεινε διακριτή κατά την τελική εισαγωγή του μοντέλου στο FME, έχοντας όμως διαφορετική ονομασία. Οι λόγοι για τους οποίους δε δίνεται από πριν η απαιτούμενη από το CityGML ονομασία είναι οι εξής:

1. Η δυνατότητα της ομαδοποίησης, η οποία μετά την οριστική δημιουργία του μοντέλου, μπορεί να αλλάζει μαζικά τα ονόματα των στρωμάτων προς εξυπηρέτηση του χρήστη.

2. Κατά το σχεδιασμό του μοντέλου, η διαδικασία είναι απλούστερη όταν οι οντότητες έχουν ονόματα τα οποία εξυπηρετούν προσωπικά τον χρήστη, έτσι ώστε μπορεί να προστίθενται ή να διαγράφονται αντικείμενα, χωρίς να απαιτείται έλεγχος των στρωμάτων κάθε φορά

Παρουσιάζεται ένα παράδειγμα με την ονομασία των στρωμάτων. Η προσθήκη της ονομασίας Building γίνεται αποκλειστικά για διευκόλυνση της διαδικασίας και αφαιρείται στο λογισμικό του FME κατά τη μετατροπή.

<input type="radio"/>	Building1-CeilingSurface	<input checked="" type="checkbox"/>	
<input type="radio"/>	Building1-FloorSurface	<input checked="" type="checkbox"/>	
<input type="radio"/>	Building1-InteriorWallSurface	<input checked="" type="checkbox"/>	
<input type="radio"/>	Building2	<input checked="" type="checkbox"/>	
<input type="radio"/>	Building2-CeilingSurface	<input checked="" type="checkbox"/>	
<input type="radio"/>	Building2-FloorSurface	<input checked="" type="checkbox"/>	
<input type="radio"/>	Building2-InteriorWallSurface	<input checked="" type="checkbox"/>	
<input type="radio"/>	Building3	<input checked="" type="checkbox"/>	
<input type="radio"/>	Building3-BuildingFurniture	<input checked="" type="checkbox"/>	
<input type="radio"/>	Building3-CeilingSurface	<input checked="" type="checkbox"/>	
<input type="radio"/>	Building3-FloorSurface	<input checked="" type="checkbox"/>	

Εικόνα 3.7: Ονομασία των στρωμάτων στο Trimble SketchUp

3.6.3 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΤΟ FME ΚΑΙ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΤΟΥ ΣΕ ΜΟΡΦΗ GML

Περιγράφεται η μεθοδολογική προσέγγιση που ακολουθήθηκε για την μετατροπή του αρχείου σε .gml, στο πρότυπο του CityGML.

3.6.3.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ FME

Το λογισμικό Feature Manipulation Engine (FME), αποτελεί μία μηχανή μετατροπής, η οποία δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να μετατρέπει δεδομένα, τα οποία διατηρούν και τη γεωμετρία και τις ιδιότητές τους, σε διαφορετικές μορφές αρχείων. Το FME είναι συμβατό με το CityGML, αλλά και με το Trimble SketchUp και παρέχει χρήσιμα εργαλεία και μετατροπείς τα οποία θα περιγραφούν παρακάτω.

3.6.3.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΤΟΥ ΑΡΧΕΙΟΥ .SKP ΣΕ .GML

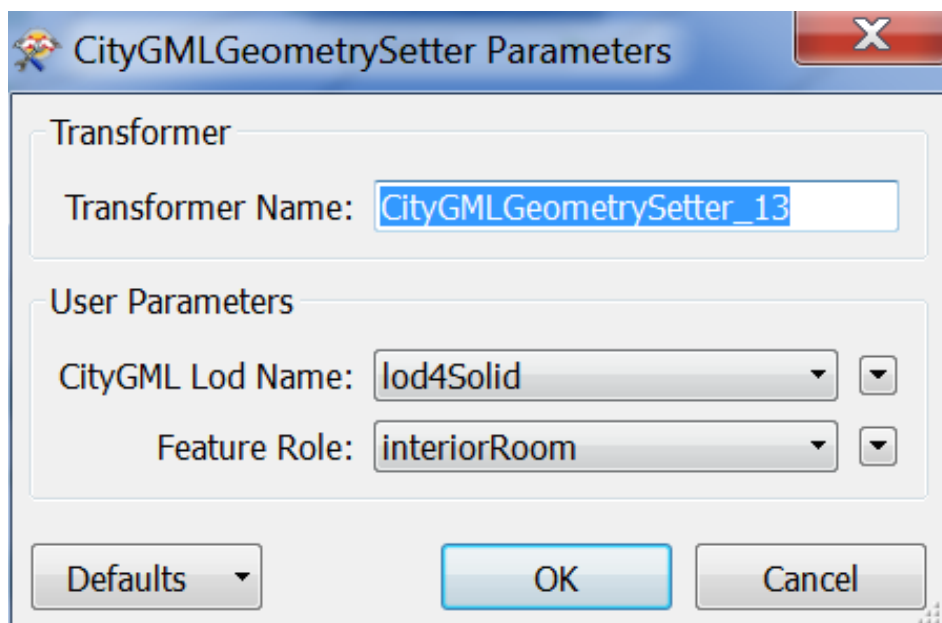
Σε αυτό το στάδιο περιγράφονται αναλυτικά οι λειτουργίες που χρησιμοποιήθηκαν για την ορθή μετατροπή ενός .skp αρχείου σε μορφή .gml.

- Αρχικά εισάγεται ολόκληρο το μοντέλο του Trimble SketchUp, με τη χρήση της αντίστοιχης εντολής διαβάσματος(reader), για τον συγκεκριμένο τύπο αρχείου.

- Στη συνέχεια, επιλέγεται ο μετατροπέας “Geometry Remover”, ο οποίος αφαιρεί την γεωμετρία του κτηρίου και τις σημασιολογικές του ιδιότητες.

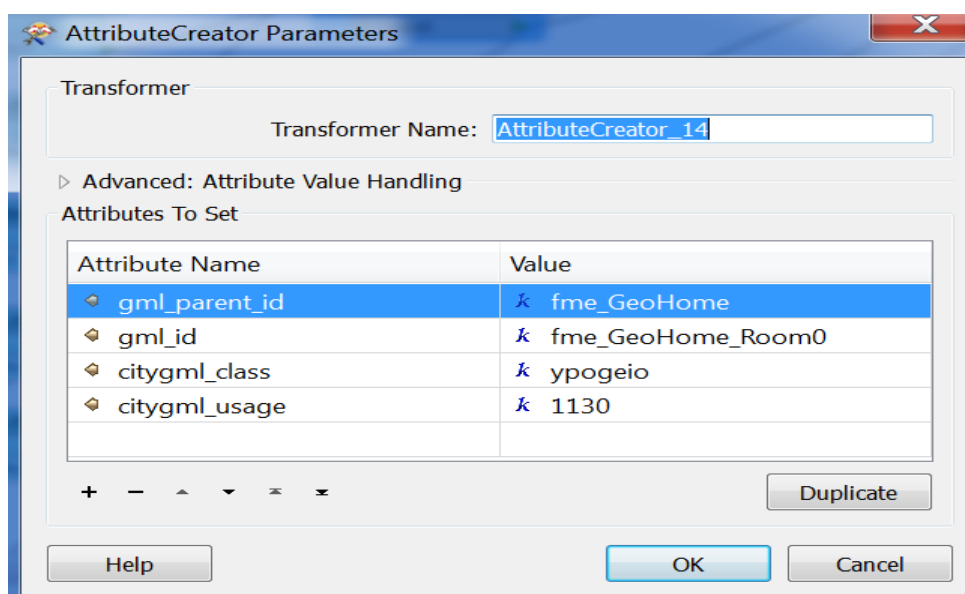
- Στο κτήριο υπάρχουν πέντε αυτόνομοι όροφοι. Για τον λόγο αυτό έγινε χρήση της λειτουργίας Room, έτσι ώστε κάθε όροφος να αντιστοιχεί σε ένα Room.

Μια παρατήρηση για το CityGML είναι η αδυναμία του για οποιονδήποτε άλλο χαρακτηρισμό για τον αριθμό των ορόφων. Εν συνεχεία, για τον κάθε όροφο χρησιμοποιήθηκε ο μετατροπέας “CityGMLGeometrySetter”. Ο συγκεκριμένος μετατροπέας, δίνει γεωμετρικές ιδιότητες βασισμένες στο CityGML, σε κάθε λειτουργία με την οποία συνδέεται. Στη συγκεκριμένη περίπτωση αφορά την λειτουργία Room. Οι γεωμετρικές ιδιότητες είναι οι εξής δύο: CityGML LOD και CityGML role. Για την πρώτη γίνεται η επιλογή LOD4SOLID, ενώ για την δεύτερη η επιλογή InteriorRoom. Εδώ αποτυπώνεται η σημασία της προσεχτικής μελέτης του CityGML, μιας και στην περίπτωση εισαγωγής διαφορετικού δείκτη σε ένα από τα δύο πεδία, ο μετατροπέας δεν τρέχει και δίνει σαν αποτέλεσμα σφάλμα.



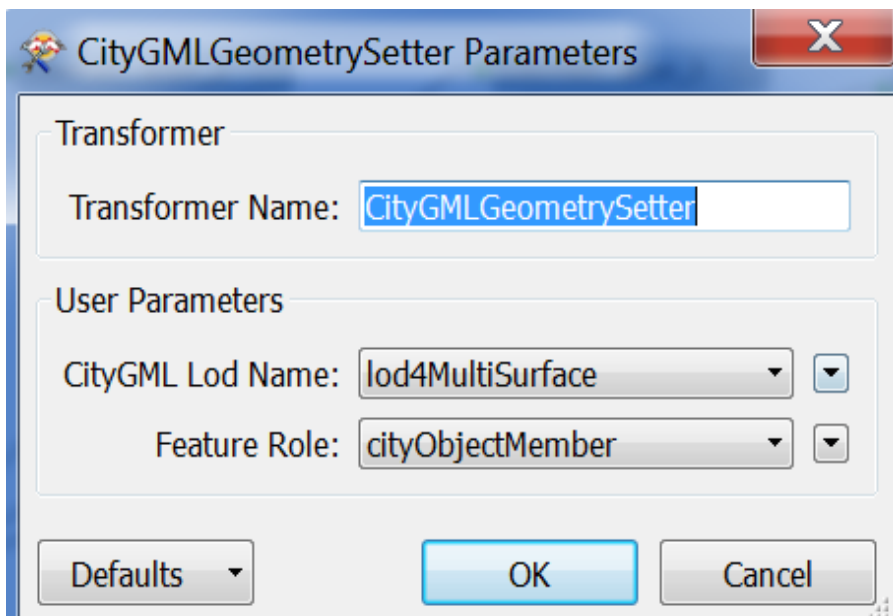
Εικόνα 3.8: Μετατροπέας CityGMLGeometrySetter

Το επόμενο βήμα, χρησιμοποιεί τον μετατροπέα AttributeCreator, ο οποίος χρησιμοποιείται για την προσθήκη ιδιοτήτων σε κάθε όροφο. Εδώ έχει πάλι μεγάλη σημασία η προσθήκη των σωστών ιδιοτήτων στον μετατροπέα. Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 2, η λειτουργία Room, έχει τις εξής ιδιότητες: class, function και usage. Στο συγκεκριμένο σημείο, γίνεται η εισαγωγή αυτού του είδους πληροφοριών για τον κάθε όροφο. Το τελικό βήμα, αφορά τη σύνδεση των 5 διαφορετικών Room, σε μία ενιαία λειτουργία που θα περιέχει ενσωματωμένα τα χαρακτηριστικά του κάθε ορόφου. Αυτό επιτυγχάνεται με τον εγγραφέα(writer)Room.



Εικόνα 3.9: Μετατροπέας Attribute Creator

Το τρίτο στάδιο της διαδικασίας είναι παρόμοιο με το δεύτερο, με την διαφορά ότι υλοποιείται για ολόκληρο το κτήριο και όχι για τους 5 ορόφους. Αυτό συμβαίνει για να διαχωριστεί η σημασιολογική έννοια του κτηρίου, μιας και οι λειτουργίες, τα χαρακτηριστικά και οι ιδιότητές του, είναι διαφορετικές από τις λειτουργίες, τα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες των δωματίων ή των επιφανειών. Το στάδιο αυτό, υλοποιείται ταυτόχρονα με το δεύτερο στάδιο, απλά χαρακτηρίζεται ως τρίτο για να περιγράψει τη διαδικασία. Χρησιμοποιούνται οι ίδιοι μετατροπείς με την σημαντική διαφορά πως στις γεωμετρικές ιδιότητες του "CityGMLGeometrySetter", χρησιμοποιούνται οι δείκτες LOD4MULTISURFACE και CityObjectMember. Η τελική σύνδεση και ενσωμάτωση των συγκεκριμένων ιδιοτήτων στο τελικό μοντέλο γίνεται με τη χρήση του εγγραφέα Building.

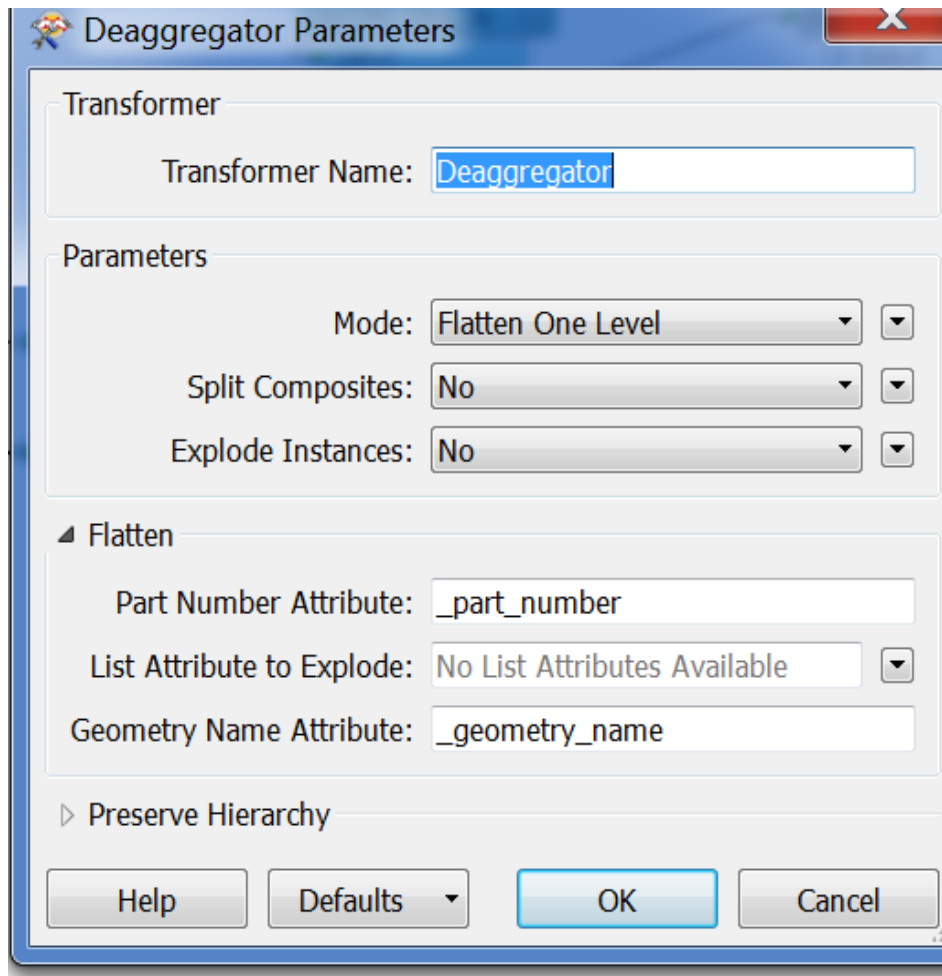


Εικόνα 3.10: Μετατροπέας CityGMLGeometrySetter

-Το τέταρτο στάδιο της διαδικασίας, αφορά τη δημιουργία της γεωμετρίας του μοντέλου και της απόδοσης των σημασιολογικών, τοπολογικών και γεωμετρικών χαρακτηριστικών του. Αρχικά γίνεται διάσπαση του μοντέλου σε επιμέρους κομμάτια με την χρήση του μετατροπέα "Deaggregator". Ο μετατροπέας αυτός ουσιαστικά εξυπηρετεί τον ίδιο σκοπό που εξυπηρετεί η εντολή "explode" στο AutoCAD. Ο λόγος που χρησιμοποιείται ο συγκεκριμένος μετατροπέας, είναι διότι η κάθε επιφάνεια του μοντέλου, πρέπει να αποκτήσει συγκεκριμένες ιδιότητες. Τον σκοπό αυτόν, εξυπηρετεί και

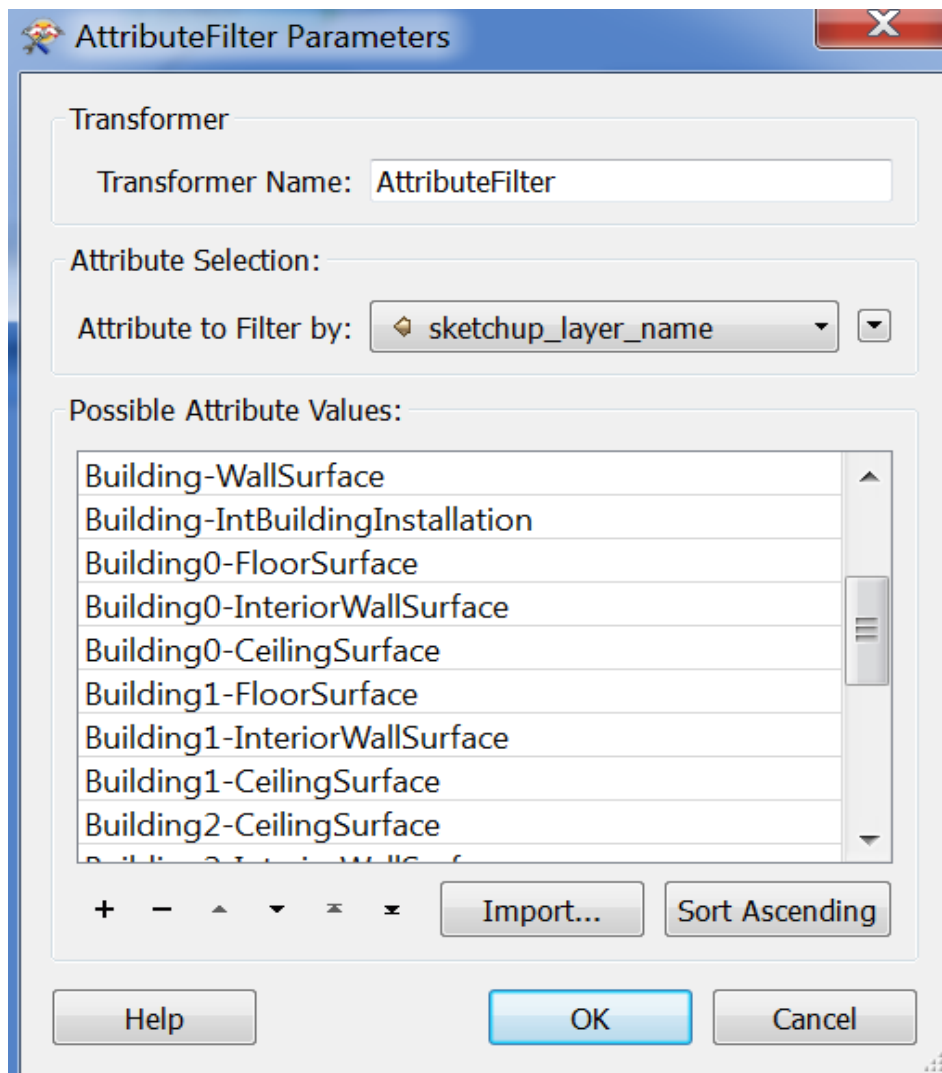
η

ο ορισμός των στρωμάτων κατα τη σχεδίαση στα πρότυπα του CityGML.



Εικόνα 3.11: Μετατροπέας Deaggregator

Γίνεται εξαγωγή και όχι αφαίρεση της γεωμετρίας με τον μετατροπέα “GeometryPropertyExtractor”, για να πραγματοποιηθεί ένας πρώτος έλεγχος στα πλαίσια της συμβατότητας της διαδικασίας με το πρότυπο του CityGML. Στη συνέχεια, όλα τα δεδομένα που περνούν επιτυχώς τον έλεγχο, ομαδοποιούνται ανά κατηγορία με τον μετατροπέα “AttributeFilter”. Είναι σημαντικό να ανφερθεί πως στο συγκεκριμένο μετατροπέα η εισαγωγή των ονομάτων θα πρέπει να είναι ακριβώς η ίδια με τα ονόματα των στρωμάτων κατα τη σχεδίαση του μοντέλου στο Trimble SketchUp.



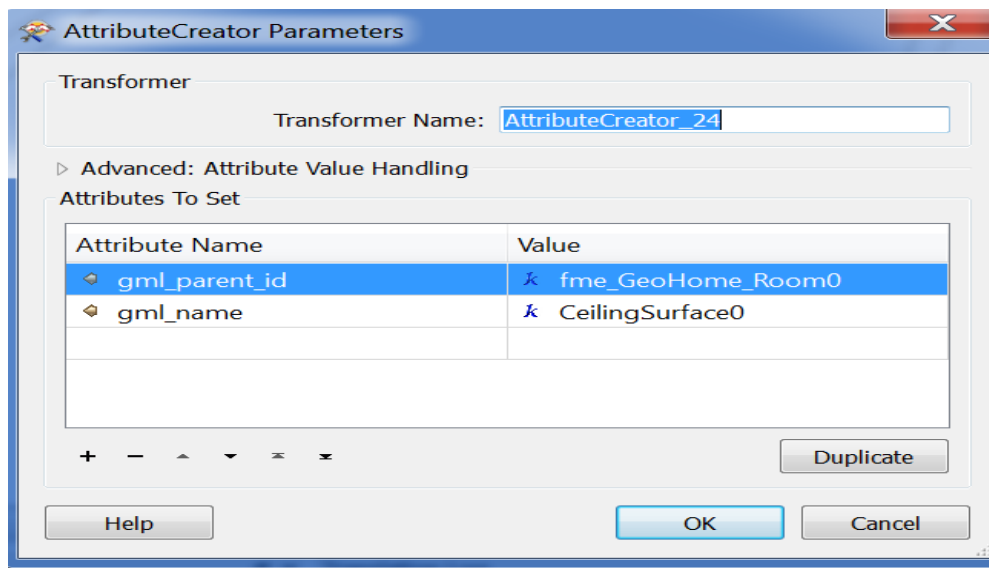
Εικόνα 3.12: Μετατροπέας AttributeFilter

Στη συνέχεια, αφού έχουν διαχωρισθεί οι επιφάνειες μέσω του μετατροπέα “CityGMLGeometrySetter”, δίνονται οι γεωμετρικές τους ιδιότητες. Στο κεφάλαιο 2, αναφέρονται αναλυτικά οι τύποι της γεωμετρίας που μπορεί να λάβει η κάθε επιφάνεια. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται αναλυτικά οι δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν.

	<u>WallSurface</u>	<u>CeilingSurface</u>	<u>InteriorWallSurface</u>
<u>CityGMLlodname</u>	Lod2MultiSurface	Lod4MultiSurface	Lod4MultiSurface
<u>Feature Role</u>	boundedBy	boundedBy	boundedBy
	<u>RoofSurface</u>	<u>FloorSurface</u>	<u>Room</u>
<u>CityGMLlodname</u>	Lod4MultiSurface	Lod4MultiSurface	Lod4Solid
<u>Feature Role</u>	boundedBy	boundedBy	interiorROOM
	<u>Building</u>	<u>Window</u>	<u>Door</u>
<u>CityGMLlodname</u>	Lod4MultiSurface	Lod4MultiSurface	Lod4MultiSurface
<u>Feature Role</u>	CityObjectMember	opening	opening
	<u>BuildingFurniture</u>	<u>IntBuildingInstallation</u>	
<u>CityGMLlodname</u>	Lod4Geometry	Lod4Geometry	
<u>Feature Role</u>	IntFurniture	IntBuildingInst	

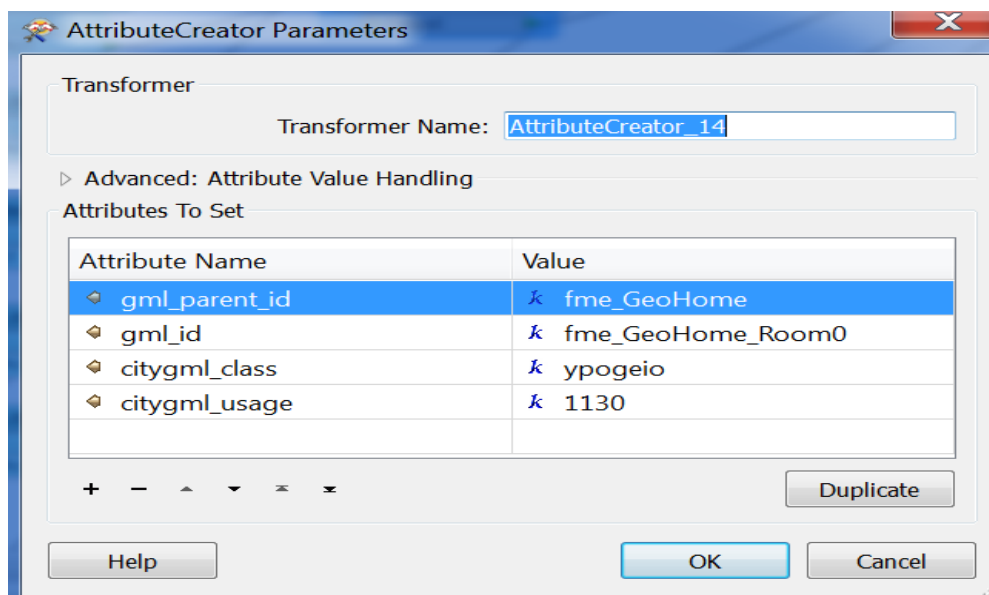
Πίνακας 3.1: Οι δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη μετατροπή

-Ακολουθεί η χρήση του μετατροπέα AttributeCreator, προκειμένου να δοθούν συγκεκριμένες ιδιότητες στις επιφάνειες. Σε αυτό το βήμα, γίνεται και η σύνδεση των επιφανειών με τους αντίστοιχους ορόφους. Η σύνδεση αυτή επιτυγχάνεται δίνοντας συγκεκριμένες ταυτότητες(parent_id) στις επιφάνειες, οι οποίες έχουν την τιμή των ταυτοτήτων(id), κάθε ορόφου.



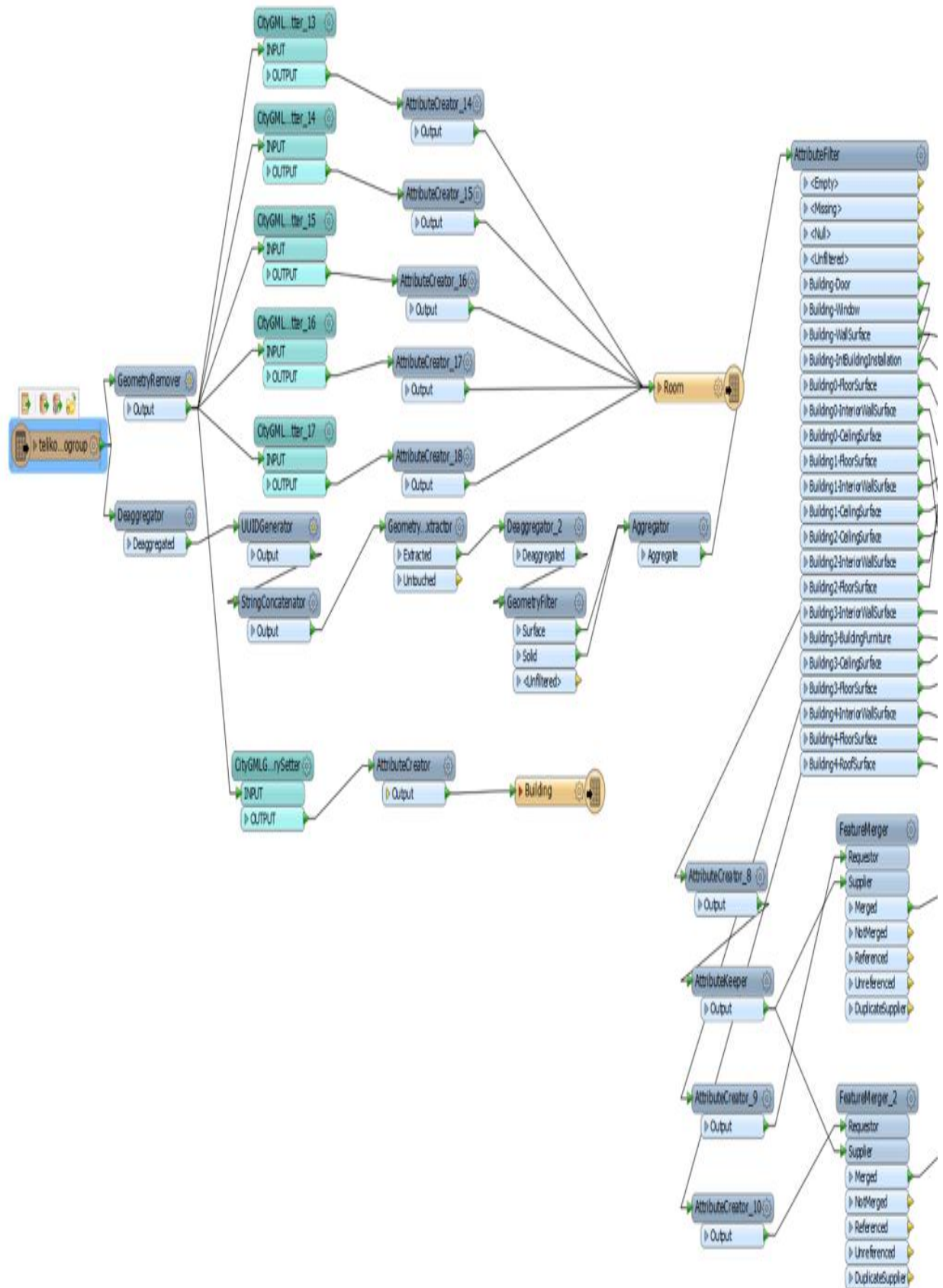
Εικόνα 3.13: Μετατροπές AttributeCreator

Στη συνέχεια, ο κάθε όροφος συνδέεται ακριβώς με τον ίδιο τρόπο. Η τιμή της ταυτότητας του(gml_parent_id), αντιστοιχεί στην τιμή της πρωτεύουσας ταυτότητας του κτηρίου(gml_id).

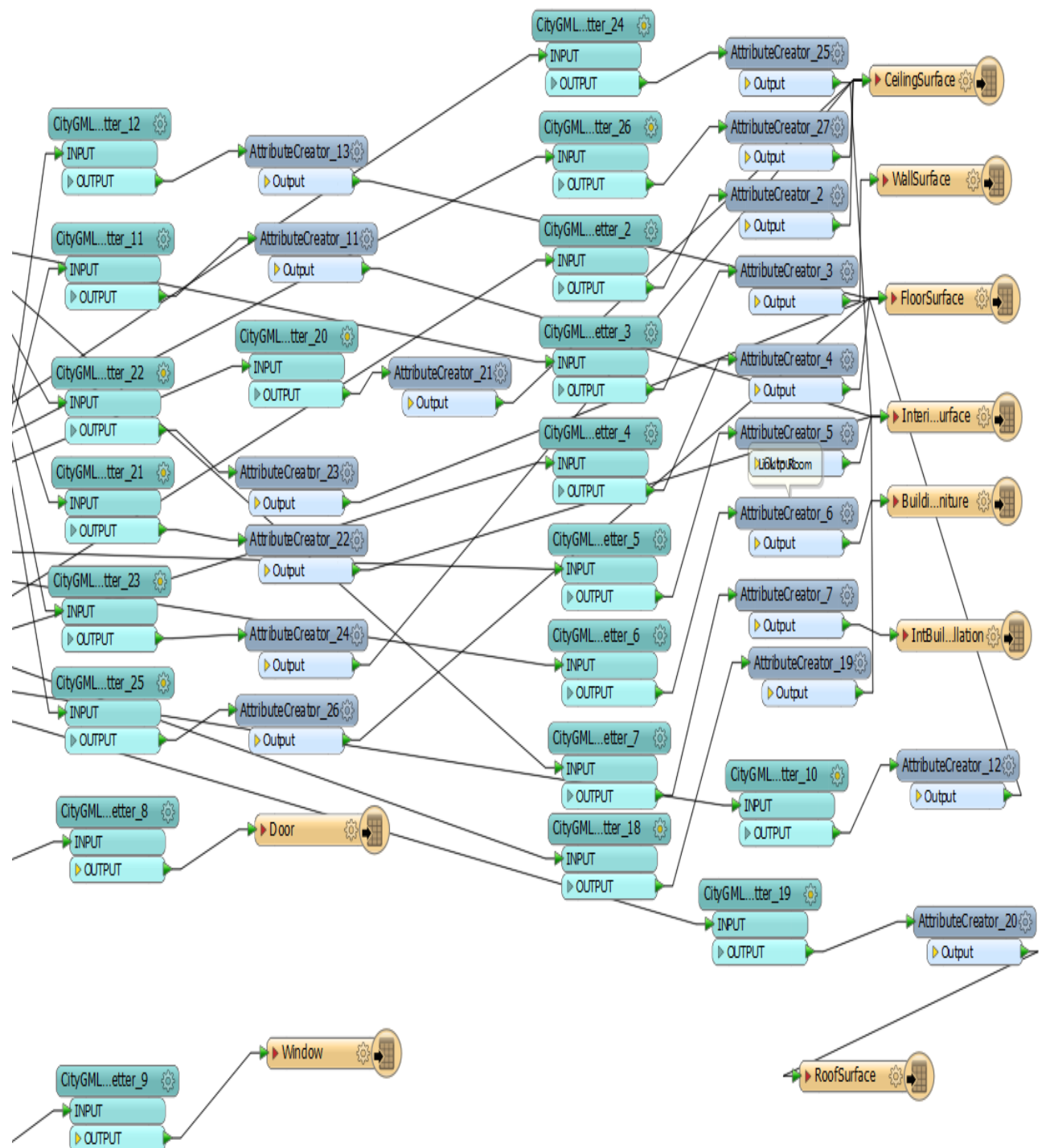


Εικόνα 3.14: Μετατροπές AttributeCreator

Το τελευταίο βήμα, είναι η εισαγωγή των αντίστοιχων εγγραφών(writers) για κάθε λειτουργία. Στην παρακάτω φωτογραφία, παρουσιάζεται το περιβάλλον εργασίας που περιγράφηκε παραπάνω.



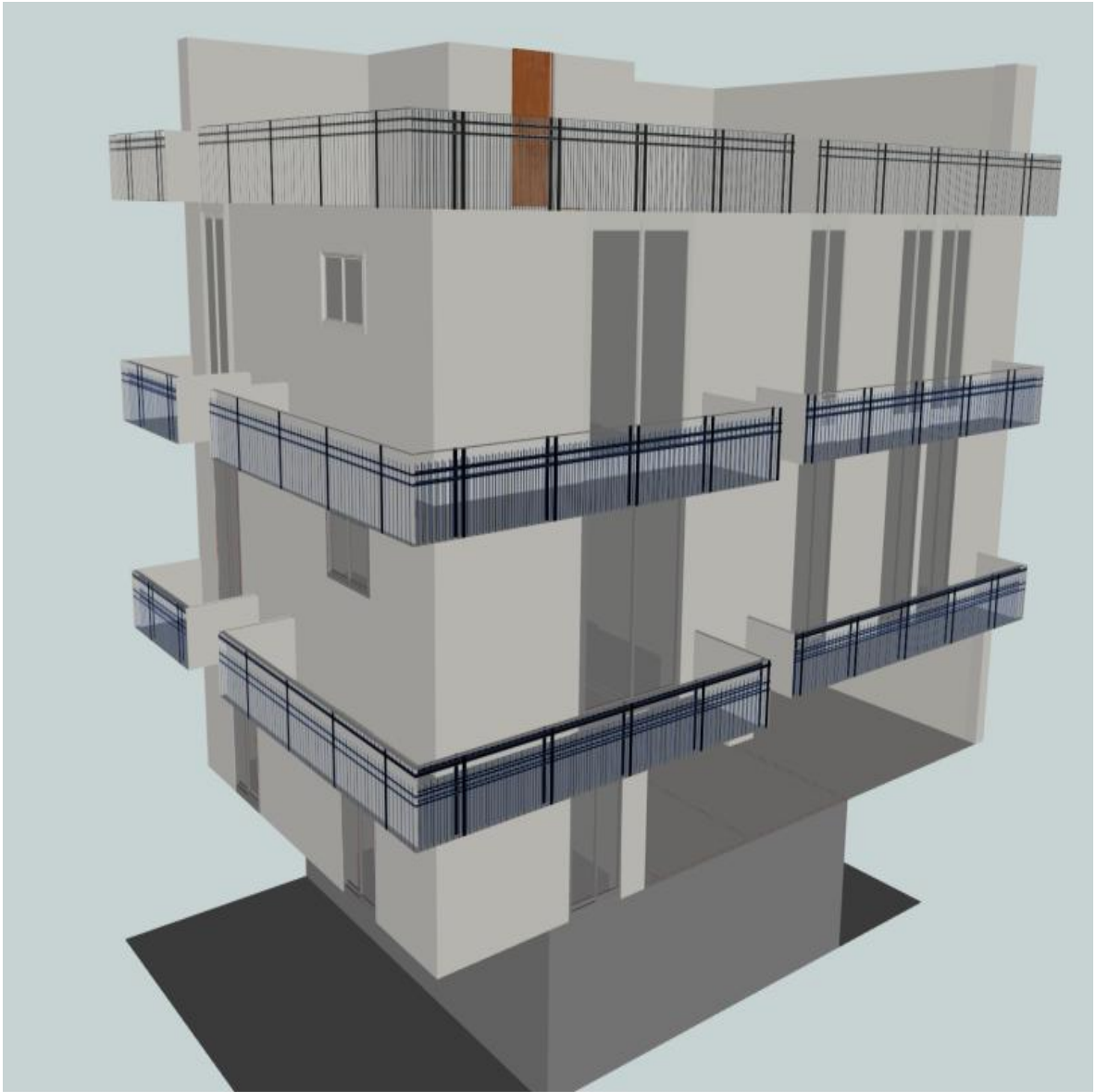
Εικόνα 3.15: FME workbench(part 1)



Εικόνα 3.16: FME workbench(part 2)

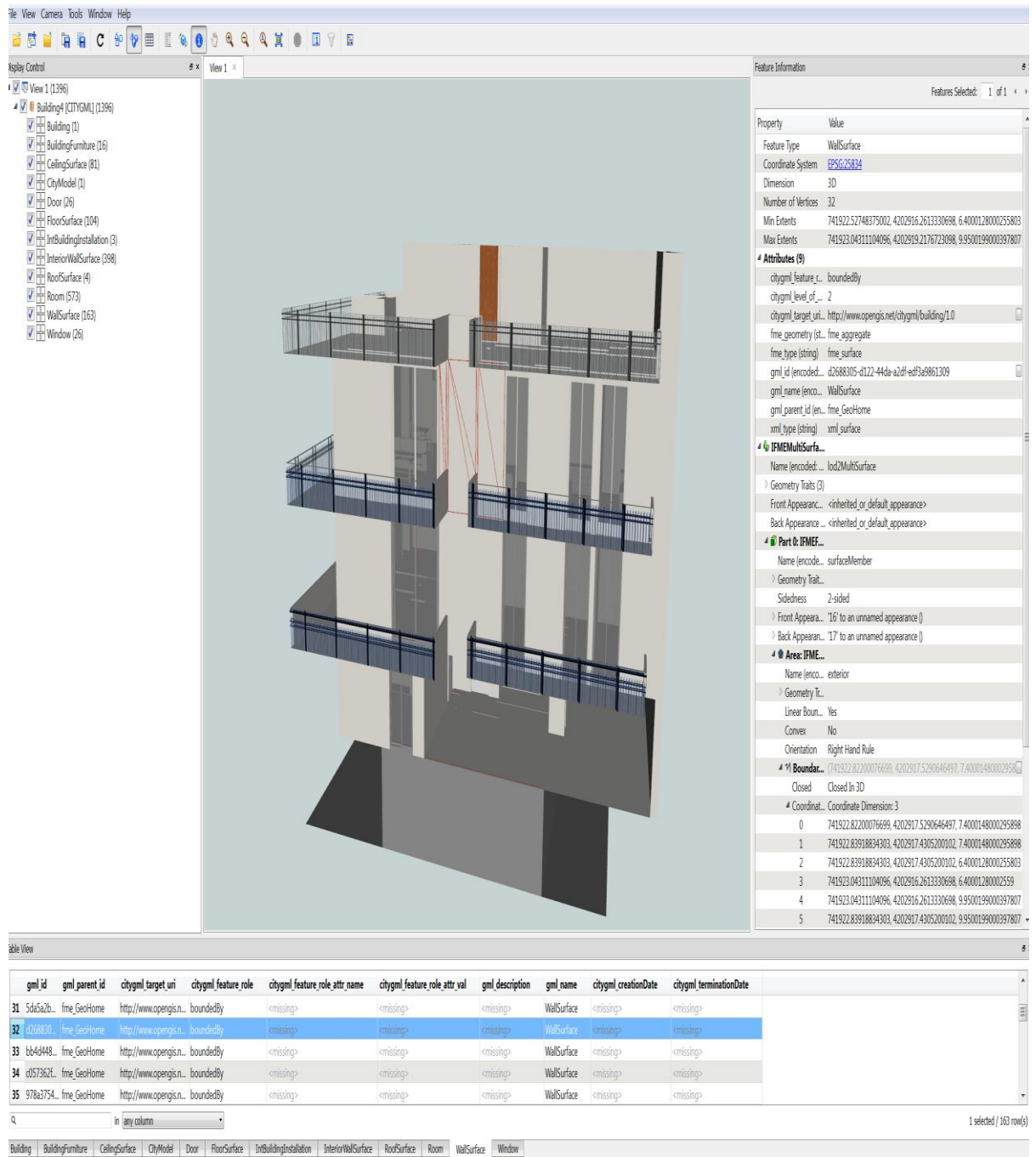
3.6.3.3 ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΤΟ FME DATA INSPECTOR

Παρουσιάζεται το μοντέλο, όπως προκύπτει από την εκτέλεση της παραπάνω διαδικασίας, στο FME Data Inspector.



Εικόνα 3.17: Το μοντέλο στο FMEData Inspector

Η επιλογή ενός τυχαίου μέρους του κτηρίου και η απεικόνιση των ιδιοτήτων του.



Εικόνα 3.18: Μέρος του κτηρίου στο FME Data Inspector

Αναλυτικότερα, η απεικόνιση μόνο του δεύτερου ορόφου.

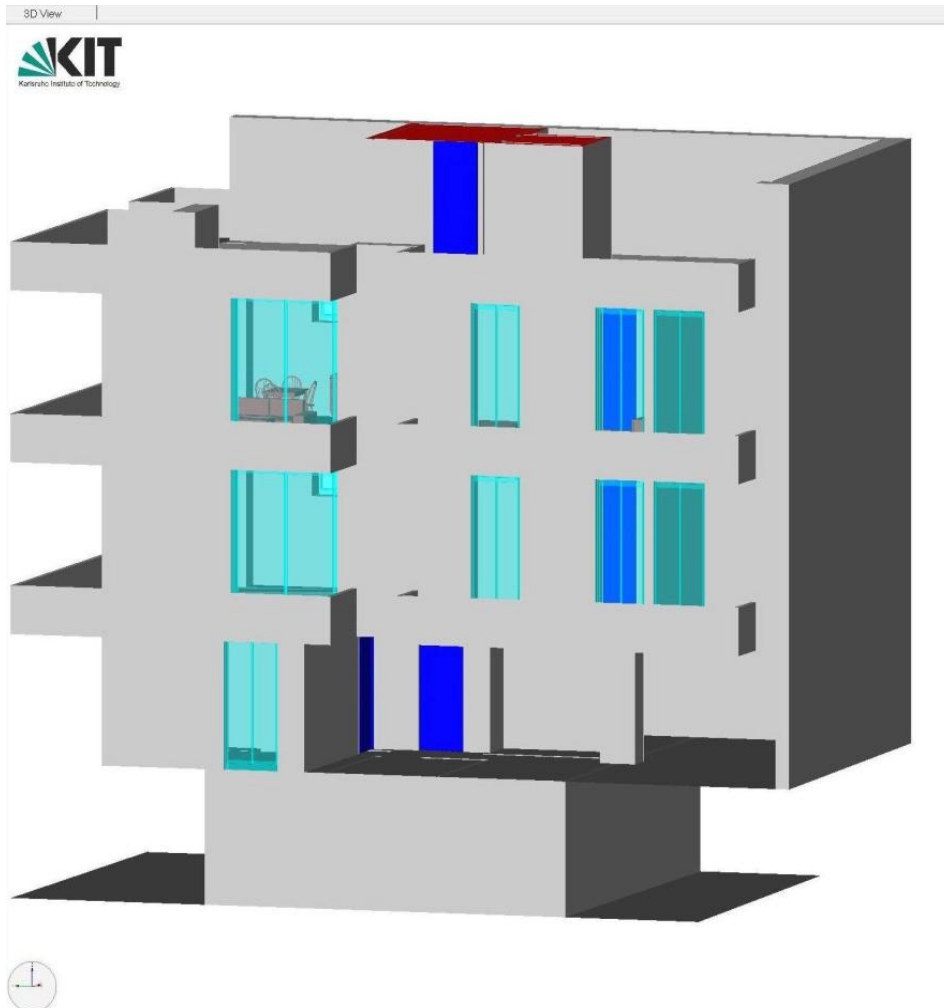
The screenshot displays a 3D visualization of a building's second floor within a software interface. On the left, a tree view lists various building components such as Building (1), CeilingSurface (27), CityModel (1), Door (9), FloorSurface (37), IntBuildingInstallation (1), InteriorWallSurface (124), WallSurface (35), and Window (10). The central 3D view shows a perspective of the second floor with a red wireframe bounding box. On the right, a property panel for the selected feature (WallSurface) lists attributes like coordinate system (EPSG:80013), dimension (3D), and various IDs. At the bottom, a table view provides a structured list of these features.

gml id	gml_parent_id	citygml_target_uri	citygml_feature_role	citygml_feature_role_attr_name	citygml_feature_role_attr_val	gml_description	gml_name	citygml_creationDate	citygml_terminationDate
26	727d210... fme_GeoHome	http://www.opengis.n...	boundedBy	<missing>	<missing>	<missing>	WallSurface	<missing>	<missing>
27	b787d44... fme_GeoHome	http://www.opengis.n...	boundedBy	<missing>	<missing>	<missing>	WallSurface	<missing>	<missing>
28	b1f087c8... fme_GeoHome	http://www.opengis.n...	boundedBy	<missing>	<missing>	<missing>	WallSurface	<missing>	<missing>
29	8282ba9... fme_GeoHome	http://www.opengis.n...	boundedBy	<missing>	<missing>	<missing>	WallSurface	<missing>	<missing>
30	56558e89... fme_GeoHome	http://www.opengis.n...	boundedBy	<missing>	<missing>	<missing>	WallSurface	<missing>	<missing>

Εικόνα 3.19: Απεικόνιση του δεύτερου ορόφου

3.6.3.4 ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΤΟ FZK VIEWER

Ακολουθεί η απεικόνιση του τελικού GML αρχείου και σε ένα περιβάλλον διαφορετικό του FME, το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως και ονομάζεται FZK Viewer.

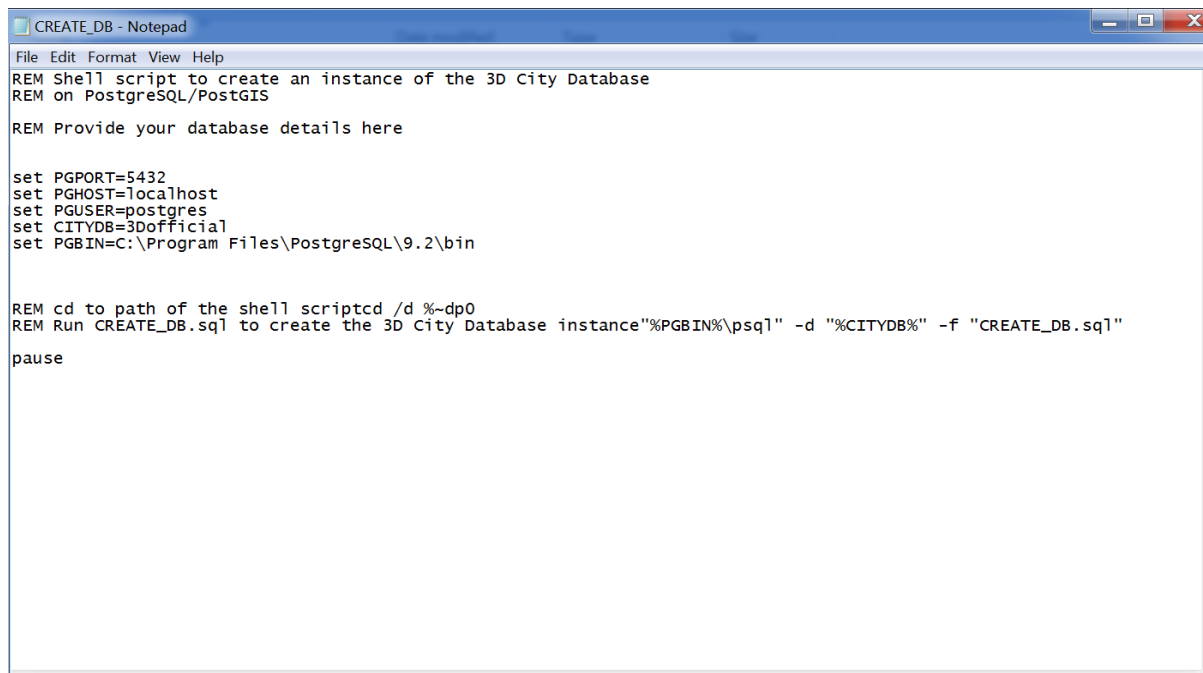


Εικόνα 3.20: Απεικόνιση του μοντέλου στο FZK Viewer

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

4.1: ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ 3DcityDB

Η 3DcityDB, η επίσημη βάση δεδομένων του CityGML, υλοποιείται μέσω της PostgreSQL. Πιο συγκεκριμένα, η χωρική επέκταση της PostGIS, εισάγεται στην PostgreSQL. Το επόμενο βήμα είναι η σύνδεση της 3DcityDB με την PostgreSQL. Αρχικά, ορίζονται συγκεκριμένες παράμετροι, όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



```
CREATE_DB - Notepad
File Edit Format View Help
REM Shell script to create an instance of the 3D City Database
REM on PostgreSQL/PostGIS
REM Provide your database details here

set PGPORT=5432
set PGBIN=localhost
set PGUSER=postgres
set CITYDB=3Dofficial
set PGBIN=C:\Program Files\PostgreSQL\9.2\bin

REM cd to path of the shell scriptcd /d %~dp0
REM Run CREATE_DB.sql to create the 3D City Database instance"%PGBIN%\psql" -d "%CITYDB%" -f "CREATE_DB.sql"
pause
```

Εικόνα 4.1.: Ορισμός αρχικών παραμέτρων

Στη συνέχεια, εκτελείται το παραπάνω αρχείο, όπου ορίζεται και το σύστημα αναφοράς στη βάση δεδομένων. Για τη συγκεκριμένη διπλωματική, το σύστημα αναφοράς είναι το crs:EPSG::25834, το οποίο είναι συμβατό με τον ελλαδικό χώρο.

```

C:\Windows\system32\cmd.exe

C:\Users\George\Desktop\3DCityDB-3.0.0-postgis\PostgreSQL\SQLScripts>set CITYDB=3Dofficial

C:\Users\George\Desktop\3DCityDB-3.0.0-postgis\PostgreSQL\SQLScripts>set PGBIN=C:\Program Files\PostgreSQL\9.2\bin

C:\Users\George\Desktop\3DCityDB-3.0.0-postgis\PostgreSQL\SQLScripts>REM cd to path of the shell script

C:\Users\George\Desktop\3DCityDB-3.0.0-postgis\PostgreSQL\SQLScripts>cd /d C:\Users\George\Desktop\3DCityDB-3.0.0-postgis\PostgreSQL\SQLScripts\

C:\Users\George\Desktop\3DCityDB-3.0.0-postgis\PostgreSQL\SQLScripts>REM Run CREATE_DB.sql to create the 3D City Database instance

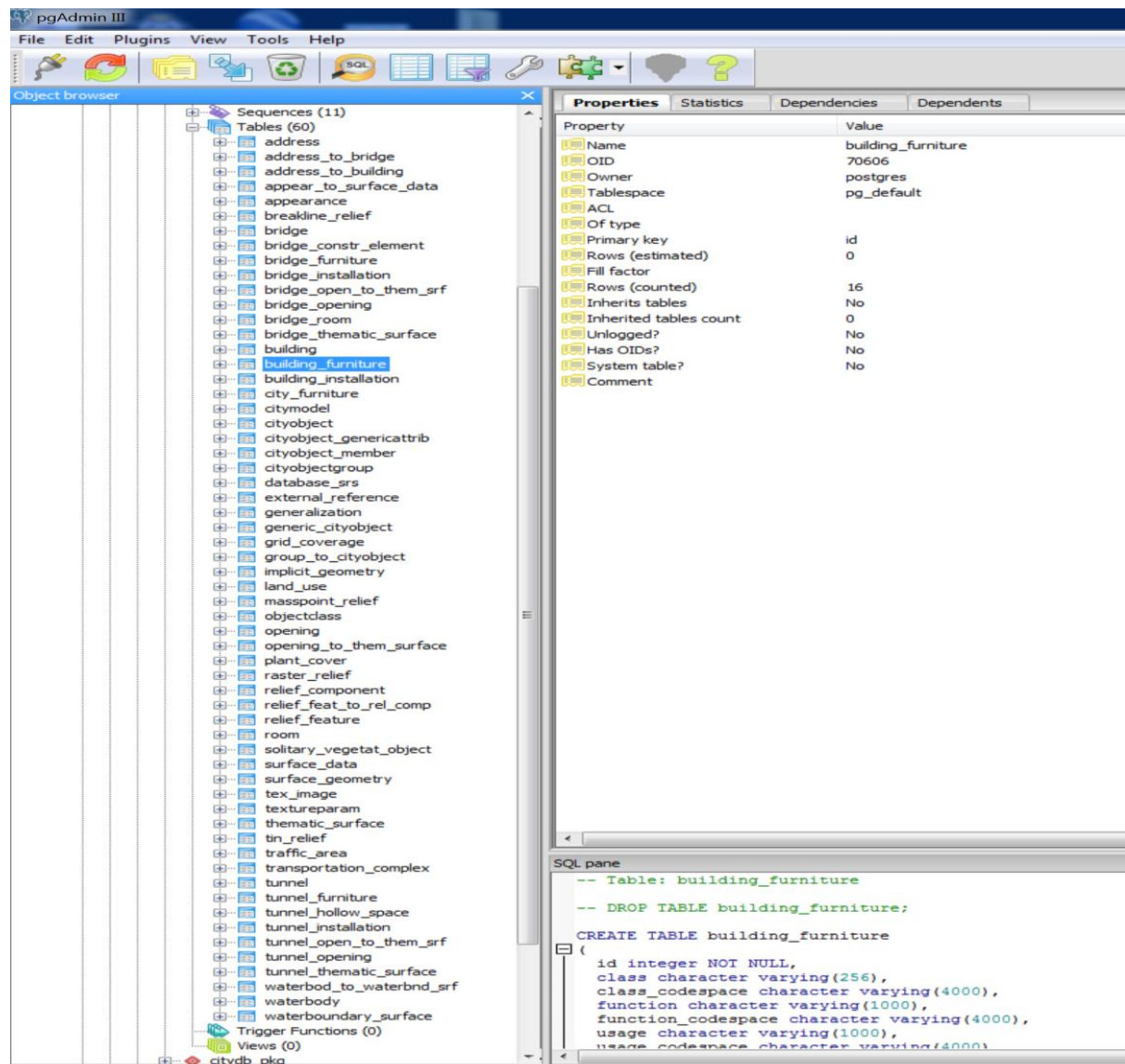
C:\Users\George\Desktop\3DCityDB-3.0.0-postgis\PostgreSQL\SQLScripts>"C:\Program Files\PostgreSQL\9.2\bin\psql" -d "3Dofficial" -f "CREATE_DB.sql"
Password:
Default footer is off.
SET

Please enter a valid SRID (e.g., 3068 for DHDN/Soldner Berlin): 25834
Please enter the corresponding SRSName to be used in GML exports (e.g., urn:ogc:def:crs:crs:EPSG::3068,crs:EPSG::5783): crs:EPSG::25834_

```

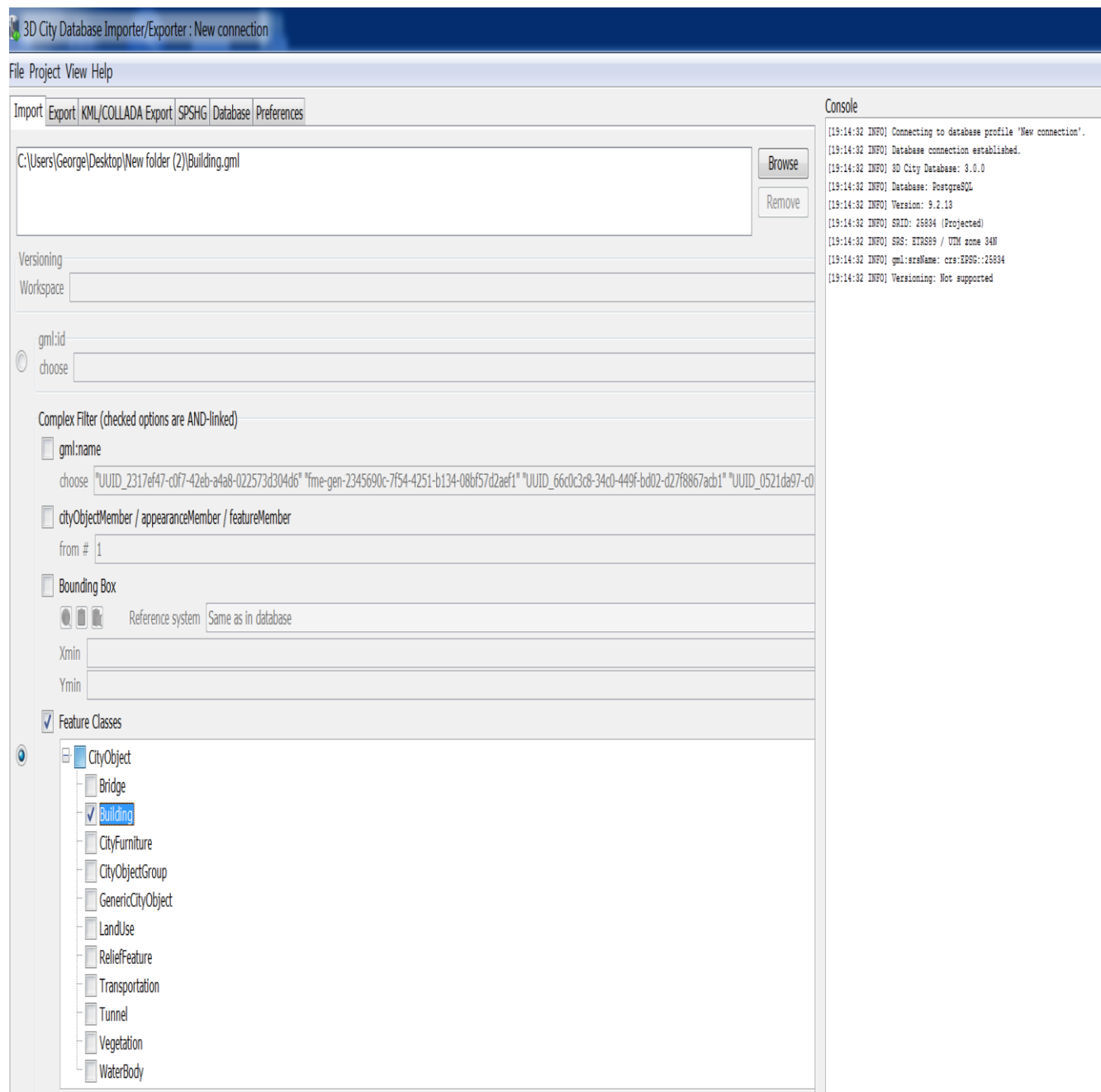
Εικόνα 4.2: Εκτέλεση του αρχείου και εισαγωγή συστήματος αναφοράς

Τέλος, δημιουργείται η βάση δεδομένων που ακολουθεί στο παρακάτω σχήμα. Υπάρχουν 60 πίνακες, οι οποίοι ουσιαστικά ανταποκρίνονται στο πρότυπο του CityGML. Ανάλογα με το είδος και την πολυπλοκότητα του μοντέλου, ο κάθε πίνακας έχει συγκεκριμένες εγγραφές. Για την ακριβή κατανόησή τους, απαιτείται η γνώση για το πρότυπο του CityGML, μιας και υπάρχει συγκεκριμένη σχέση μεταξύ των πινάκων, η οποία αν εντοπιστεί διευκολύνει σε μεγάλο βαθμό τη διαδικασία. Ένα παράδειγμα είναι η σχέση της λειτουργίας Room με τις λειτουργίες Boundary Surfaces. Ο χρήστης πρέπει να είναι σε θέση να γνωρίζει, απο ποιες επιφάνειες ορίζεται η λειτουργία Room, έτσι ώστε τα αντίστοιχα queries που θα εκτελέσει να του δώσουν σαν αποτέλεσμα τις σωστές γεωμετρίες, προκειμένου να οπτικοποιηθούν στη συνέχεια.



Εικόνα 4.3: Παρουσίαση της βάσης δεδομένων

Στη συνέχεια, χρησιμοποιείται το λογισμικό 3dcitydb importer/exporter, το οποίο επιτρέπει την εισαγωγή και την εξαγωγή ενός CityGML αρχείου, στη βάση δεδομένων. Η συνεπής αντιστοίχιση των οντοτήτων στο CityGML αρχείο, με τις οντότητες που υποστηρίζει το CityGML, είναι κομβικής σημασίας, αφού οι σχέσεις μεταξύ των στοιχείων πρέπει να είναι σαφώς καθορισμένες, έτσι ώστε να εκτελεστούν σωστά τα ερωτήματα που θέτει ο χρήστης στη βάση δεδομένων(queries).



Εικόνα 4.4: Εισαγωγή του CityGML αρχείου στη βάση δεδομένων

Ακολουθεί παράδειγμα της επιτυχούς εισαγωγής των ιδιοτήτων του μοντέλου, όπως οι χρήσεις γης, στη βάση δεδομένων.

The screenshot shows the pgAdmin III interface. On the left, the 'Object browser' displays a tree view of database objects. The main window shows the 'Edit Data' view for a PostgreSQL table. The table has the following columns and data:

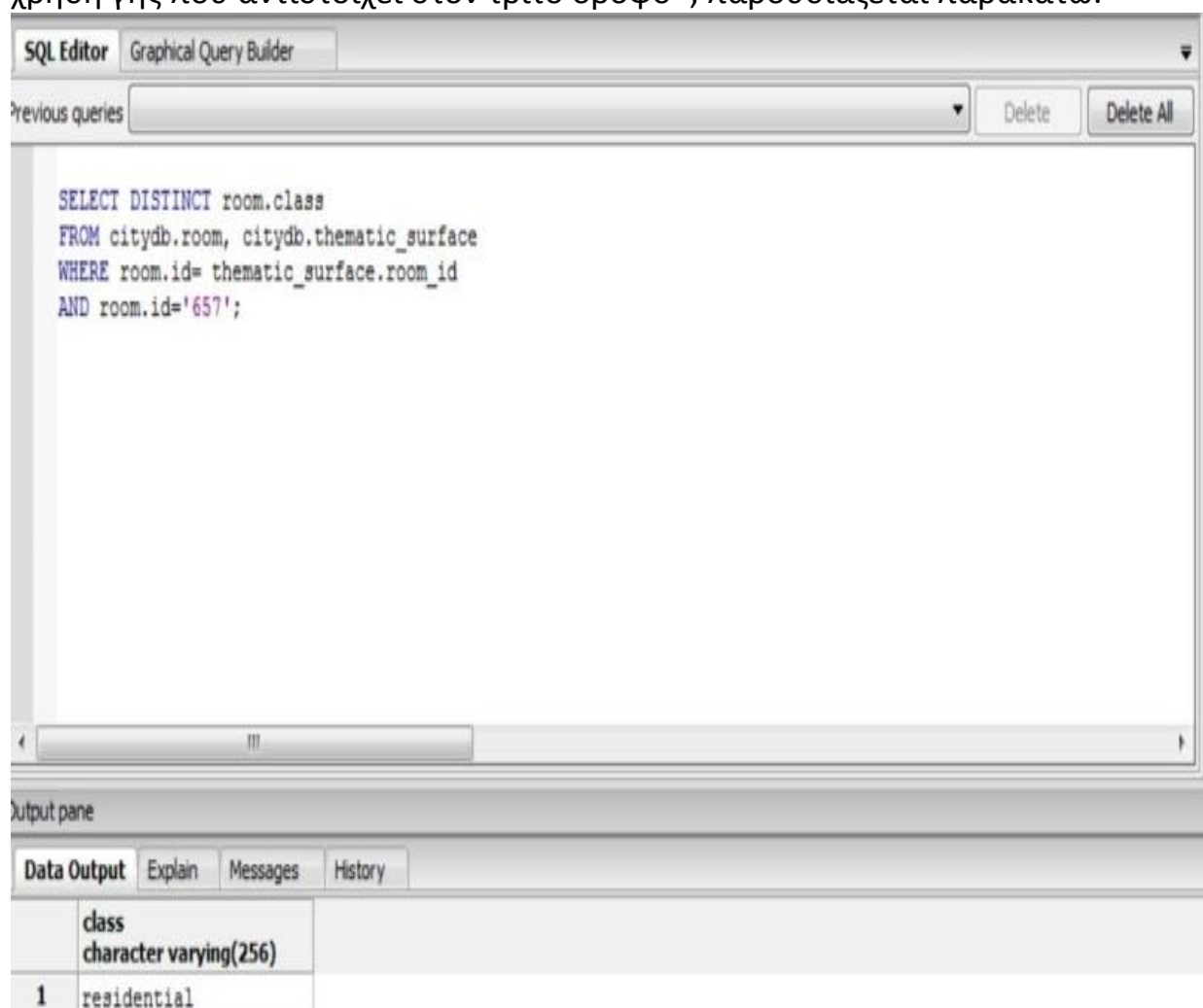
	id [PK] integer	class character vai	class_codesp character vai	function character vai	function_codesp character vai	usage character vai	usage_codesp character vai	building_id integer	lod4_multi_s integer	lod4_solid_id integer
	157	607	katoikia					1		13790
	158	608	katoikia					1		13792
	159	609	katoikia					1		13794
	160	610	katoikia					1		13796
	161	611	katoikia					1		13798
	162	612	katoikia					1		13800
	163	613	katoikia					1		13802
	164	614	katoikia					1		13804
	165	615	katoikia					1		13806
	166	616	katoikia					1		13808
	167	617	katoikia					1		13810
	168	618	katoikia					1		13812
	169	619	katoikia					1		13814
	170	620	katoikia					1		13816
	171	621	katoikia					1		13818
	172	622	katastima					1		13820
	173	779	katastima					1		14134
	174	780	katastima					1		14136
	175	781	katastima					1		14138
	176	782	katastima					1		14140
	177	783	katastima					1		14142
	178	784	katastima					1		14144
	179	785	katastima					1		14146
	180	786	katastima					1		14148
	181	787	katastima					1		14150
	182	788	katastima					1		14152
	183	789	katastima					1		14154
	184	790	katastima					1		14156
	185	791	katastima					1		14158
	186	792	katastima					1		14160

Εικόνα 4.5: Παράδειγμα χρήσεων γης στη βάση δεδομένων

4.2 Querying-ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ

Τα ερωτήματα σε μία βάση δεδομένων, υλοποιούν γεωμετρικά δεδομένα, όπως σημεία, γραμμές και πολύγωνα και αποτυπώνουν τις χωρικές τους σχέσεις. Υπάρχουν ποικίλα παραδείγματα για τη χρήση ερωτημάτων σε εφαρμογές τρισδιάστατης μοντελοποίησης, όπως είναι για παράδειγμα, ερωτήματα που αφορούν την απεικόνιση ενός χώρου σε ηλεκτρονικά παιχνίδια ή ερωτήματα που παρέχουν πληροφορίες για χωρική ανάλυση σε δεδομένα προγραμμάτων BIM.

Τα ερωτήματα που αφορούν τις χρήσεις γης ή τα μέρη του κτηρίου, εκτελέστηκαν μέσω του “SQL editor”. Το αποτέλεσμα της ερώτησης “ βρες τη χρήση γης που αντιστοιχεί στον τρίτο όροφο”, παρουσιάζεται παρακάτω.



The screenshot shows an SQL Editor window with the following SQL query:

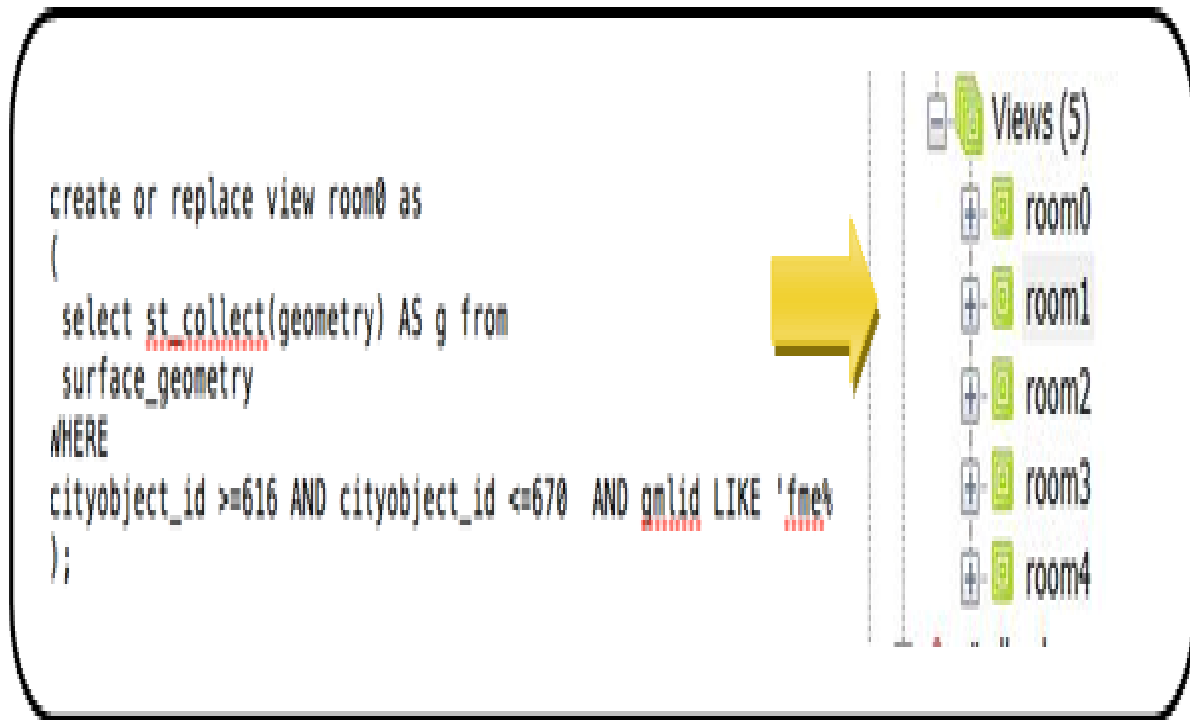
```
SELECT DISTINCT room.class
FROM citydb.room, citydb.thematic_surface
WHERE room.id= thematic_surface.room_id
AND room.id='657';
```

Below the query editor is an output pane with tabs for Data Output, Explain, Messages, and History. The Data Output tab is active, showing the following result:

	class
1	residential

Εικόνα 4.6: Παράδειγμα Querying

Το επόμενο παράδειγμα σε ερώτημα SQL, εξάγει τις όψεις του προηγούμενου ερωτήματος, δηλαδή εξάγει την οπτική απεικόνιση κάθε ορόφου ξεχωριστά. Οι γεωμετρίες των ορόφων είναι δυνατό να εξάγονται σε διαφορετικές μορφές, όπως GML, KML, X3D.



Εικόνα 4.7: Παράδειγμα Querying

4.3 ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ

Παρουσιάζεται η οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων σε τρία διαφορετικά λογισμικά.

4.3.1 ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΣΤΟ QGIS

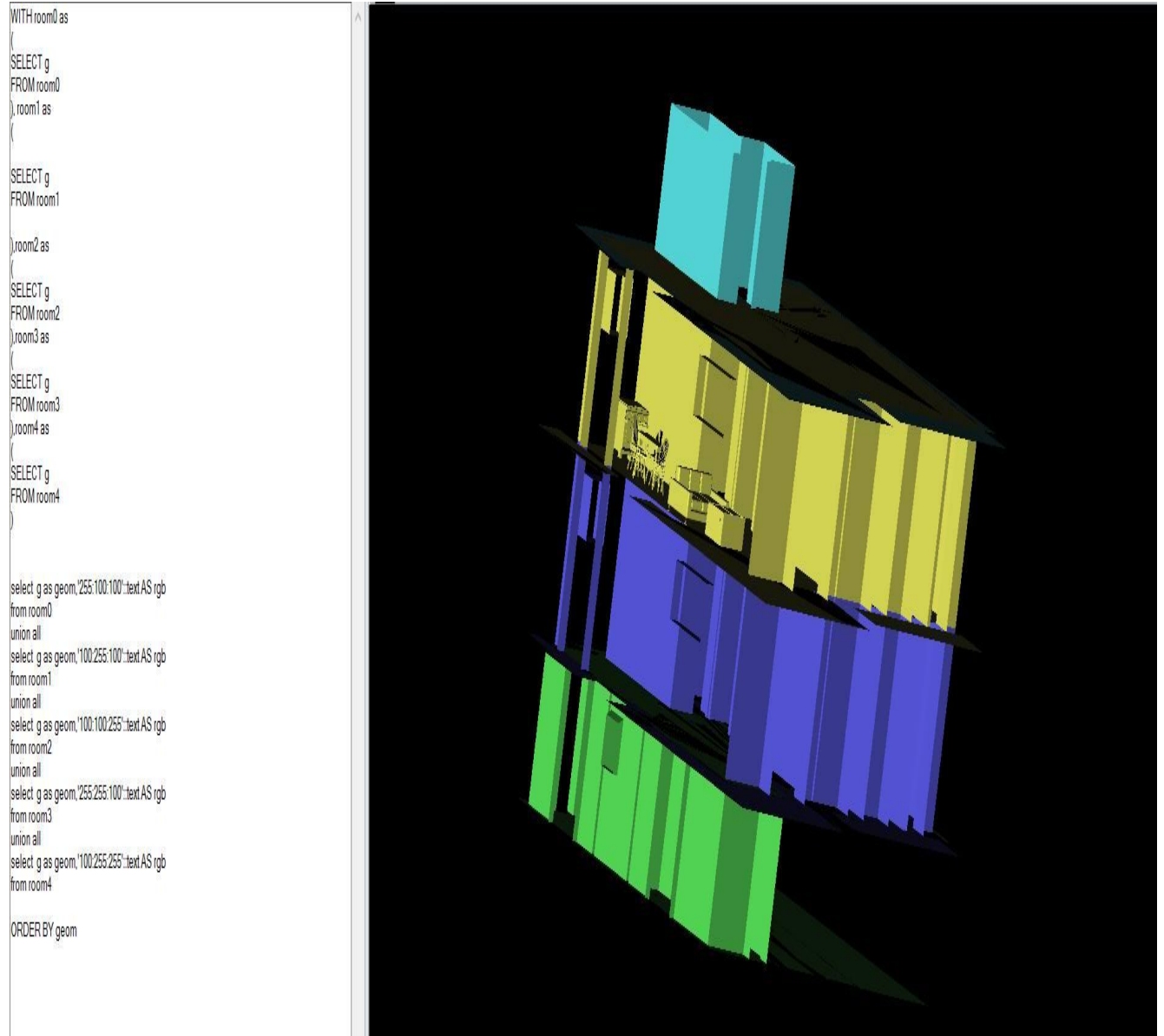
Είναι δυνατόν να οπτικοποιηθούν οι όψεις των ερωτημάτων τόσο σε δύο όσο και σε τρεις διαστάσεις. Όσον αφορά την προσέγγιση των δύο διαστάσεων, η βάση δεδομένων συνδέθηκε με το QGIS, το οποίο είναι και αυτό λογισμικό ανοιχτού κώδικα. Στο παρακάτω σχήμα, η διςδιάστατη απεικόνιση του τρίτου ορόφου, παρουσιάζεται χρησιμοποιώντας διαφορετικά επίπεδα διαφάνειας για ακριβέστερη οπτική απόδοση.



Εικόνα 4.8: Οπτικοποίηση σε δύο διαστάσεις στο Qgis

4.3.2 ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΣΤΟ PG3DVIEWER

Όσον αφορά την τρισδιάστατη προσέγγιση, το κτήριο οπτικοποιήθηκε μέσω ενός λογισμικού που αποτελεί επέκταση της PostgreSQL, το pg3DViewer και ο κάθε όροφος αναπαρίσταται με διαφορετικό χρώμα.



Εικόνα 4.9: Οπτικοποίηση σε τρεις διαστάσεις μέσω του pg3dviewer

4.3.3 ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΣΤΟ Google Earth

Παρουσιάζεται η εξαγωγή του αρχείου σε .KML μορφή μέσω του 3DCityDB Importer/Exporter.



Εικόνα 4.10: Οπτικοποίηση στο Google Earth

4.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την συγκεκριμένη εφαρμογή, είναι τα εξής:

1) Το Trimble SketchUp είναι ένα αξιόπιστο εργαλείο για κτηματολογικούς ή αρχιτεκτονικούς σκοπούς, αλλά όχι το ίδιο για ενεργειακούς. Το FME είναι ένα ευέλικτο πρόγραμμα, το οποίο υποστηρίζει πλήρως το πρότυπο του CityGML. Οι πληροφορίες των οντοτήτων διατηρούν ένα υψηλό επίπεδο όσον αφορά τη σημασιολογία και την τοπολογία τους κατά τη διάρκεια της μετατροπής.

2) Η συγκεκριμένη εφαρμογή μπορεί να χαρακτηριστεί ως εφαρμογή ελάχιστου κόστους. Όλα τα λογισμικά, από τις βάσεις δεδομένων μέχρι το FME διατίθενται δωρεάν στο ευρύ κοινό. Όσον αφορά την προαπαιτούμενη γνώση, είναι σημαντικό ο χρήστης να έχει κατανοήσει σε βάθος τη λειτουργία του CityGML, αλλά και να έχει μια στοιχειώδη γνώση βάσεων δεδομένων και ερωτημάτων σε μορφή SQL.

3) Ένα θέμα υπό έρευνα, αφορά τον τρόπο που το CityGML ορίζει τους ορόφους. Δε φαίνεται να υπάρχει ξεκάθαρος ορισμός τους, κάτι που παρακάμφθηκε στην εφαρμογή με τη χρήση της λειτουργίας Room, σαν ένας ολόκληρος όροφος.

4.5 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Στο μέλλον, μία επέκταση της εφαρμογής, μπορεί να περιλαμβάνει ένα ολόκληρο οικοδομικό τετράγωνο ή και περισσότερα, έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί μία κτηματολογική ανάλυση σε παραπάνω από ένα κτήρια, να αποτυπωθούν οι χρήσεις γης και ενδεχομένως να γίνει μία τρισδιάστατη εκτίμηση αξιών. Στη συνέχεια, σκοπός είναι το αρχείο να ανέβει στο διαδίκτυο και ο χρήστης να είναι σε θέση να δει τις πληροφορίες που θέλει για το κάθε κτήριο, από το υλικό των τοίχων, μέχρι το εσωτερικό τους πάχος.

Τέλος, θα ερευνηθεί μία ενδεχόμενη συνεργασία μεταξύ του SketchUp με το IFC, δημιουργώντας έτσι μία εφαρμογή η οποία θα καλύπτει δεκάδες κλάδους τρισδιάστατης πληροφορίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Aien, A., Rajabifard, A., Kalantari, M. and Williamson, I.[2011]. Aspects of 3D Cadastre- A Case Study in Victoria. FIG Working Week 2011.
- Dimopoulou, E., Tsiliakou , E., Kosti, V., Floros, G. and Labropoulos, T. [2014]. Investigating Integration Possibilities Between 3D Modeling Techniques. In Proceedings of 9th International 3D GeoInfo Conference [3D GeoInfo], Nov. 2014, Dubai, United Arab Emirates.
- Floros, G., Tsiliakou, E., Kitsakis, D., Pispidikis, I. and Dimopoulou, E.[2015].Investigating semantic functionality of 3D geometry for land administration. In Proceedings of 10th International 3D GeoInfo Conference[3DGeoInfo], Nov. 2015, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Gozdz, K., Pachelski, W.,Van Oosterom, P., the Netherlands and Volker Coors.[2014].The Possibilities of Using CityGML for 3D Representation of Buildings in the Cadastre. 4 th International Workshop on 3D Cadastres 9-11 November 2014, Dubai, United Arab Emirates.
- OGC City Geography Markup Language [CityGML]:En- coding Standard.[2012] . Editors: Gröger, G., Kolbe, H.,T., Claus, N., Karl-Heinz, H.
- Isikdag, U., Horhammer, M., Zlatanova, S., Kathmann, R., & Van Oosterom, P. J. M. [2014]. Semantically rich 3D building and cadastral models for valuation. In Proceedings 4th International Workshop on 3D Cadastres, 9-11 November 2014, Dubai, United Arab Emirates. International Federation of Surveyors [FIG].
- Kalantari, M. and Rajabifard, A.[2014]. A Roadmap to Accomplish 3D Cadastres. 4 th International Workshop on 3D Cadastres 9-11 November 2014, Dubai, United Arab Emirates.
- Manta, D. [2015]. The development of CityGML Model and integration of energy data in a building. Diploma thesis for National Technical University of Athens.
- Rajabifard, A.[2014].3D Cadastres and Beyond. 4 th International Workshop on 3D Cadastres 9-11 November 2014, Dubai, United Arab Emirates.
- Karki, S., Mcdougall, K. and Thompson, R.[2010]. An Overview of 3d Cadastre from a Physical Land Parcel and a Legal Property Object Perspective. Sydney, Australia, 11-16 April 2010.FIG Congress.
- Rönsdorf, C.,Wilson, D. and Stoter, J. Integration of Land Administration Domain Model with CityGML for 3D Cadastre. 4th International Workshop on 3D Cadastres, 2014, Dubai, United Arab Emirates.

Van Oosterom, P., Lemmen, C. and Uitermark, H., ISO 19152:2012. [2013]. Land Administration Domain Model published by ISO. Abuja, Nigeria, 6 – 10 May 2013, FIG Working Week 2013.

Zentelis, P. [2011]. "περί ΚΤΗΜΑΤΩΝ ΛΟΓΟΣ και ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ". Papasotiriou Publications, Athens 2011.