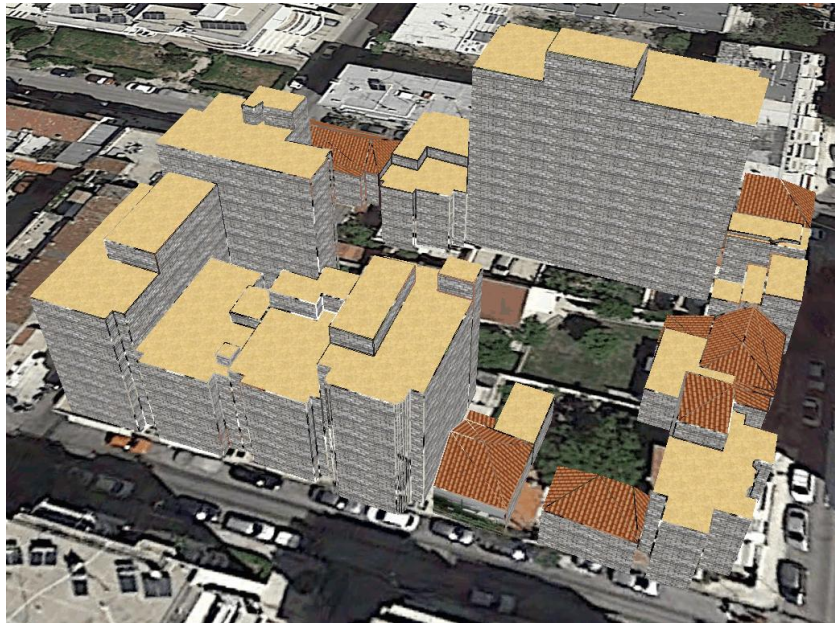




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ

ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ CITYGML ΠΡΟΤΥΠΟΥ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΠΡΕΚΑ ΔΗΜΗΤΡΑ

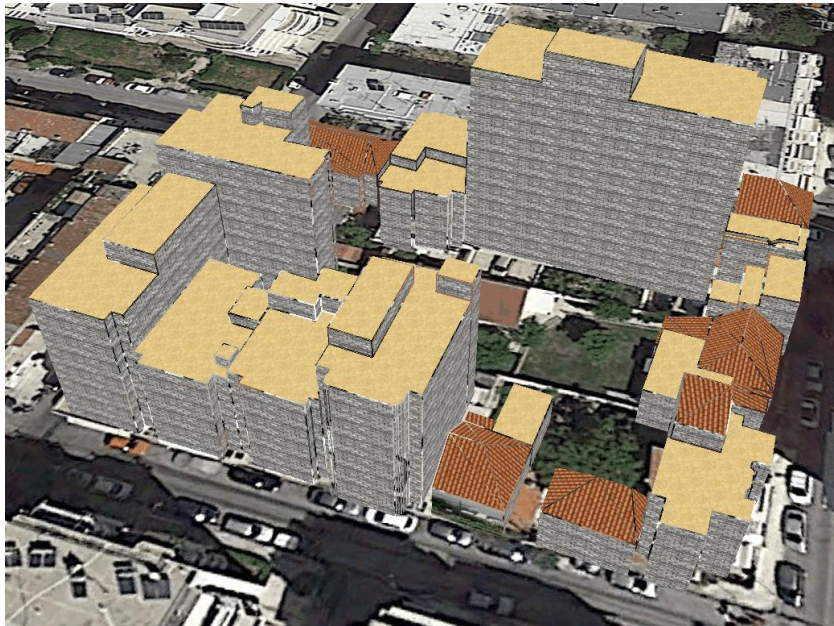
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ :
ΔΟΥΛΑΜΗΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ,
ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ

Αθήνα, Οκτώβριος 2015



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF RURAL AND SURVEYING ENGINEERING
DEPARTMENT OF TOPOGRAPHY

3D BUILDING MODELING USING THE CITYGML STANDARD



DIPLOMA THESIS
PREKA DIMITRA

SUPERVISOR :
DOULAMIS ANASTASIOS,
ASSISTANT PROFESSOR NTUA

Athens, October 2015

Copyright @ Δήμητρα Μ. Πρέκα, 2015

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση των προπτυχιακών σπουδών μου στη σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, θα ήθελα αρχικά να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Δουλάμη Αναστάσιο για την ανάθεση αυτής της διπλωματικής εργασίας, την αμέριστη βοήθειά του, την υποστήριξη και καθοδήγησή του αλλά και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης αυτής της εργασίας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον κ. Ιωαννίδη Χαράλαμπο, Καθηγητή Τομέα Τοπογραφίας ΕΜΠ, για τα δεδομένα που μου διέθεσε για περιοχή του Δήμου Καισαριανής, προκειμένου να υλοποιηθεί η εφαρμογή της παρούσας εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου και στα αγαπημένα μου πρόσωπα για την υπομονή και την υποστήριξή τους σε όλο το διάστημα των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	2
ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ	7
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	8
ABSTRACT	9
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. 3Δ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΟΛΕΩΝ	12
1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΤΗΣ 3Δ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΠΟΛΕΩΝ	12
1.2 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΓΕΩΧΩΡΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ	14
1.3 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΚΑΙ ΣΗΜΑΣΙΟΛΟΓΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. 3Δ ΜΟΝΤΕΛΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΥΠΑ	17
2.1 ΤΥΠΟΙ 3Δ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ.....	17
2.1.1 3Δ Μοντέλα από 3Δ σάρωση laser.....	17
2.1.2 3Δ Μοντέλα από πολλαπλές εικόνες.....	20
2.2 IFC.....	22
2.2.1 Η λογική του IFC.....	23
2.2.2 Αρχιτεκτονική δομή ενός μοντέλου IFC	23
2.2.3 Σχηματικές – διαγραμματικές αρχές ενός μοντέλου IFC	24
2.3 BIM	25
2.3.1 Στοιχεία ενός μοντέλου BIM.....	26
2.3.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα BIM.....	27
2.3.3 Εφαρμογές BIM.....	28
2.4 CITYGML	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. CITYGML	31
3.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΤΟΥ CITYGML.....	32
3.2 ΣΧΕΤΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ 3Δ ΑΡΧΕΙΩΝ	32
3.2.1 GML3	33
3.2.2 KML / COLLADA	34
3.3 ΣΤΟΧΟΣ ΤΟΥ CITYGML	34
3.4 ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΤΟΥ CITYGML.....	36
3.5 ΕΠΙΠΕΔΑ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑΣ LOD ΤΟΥ CITYGML	37
3.6 ΒΑΣΙΚΑ ΤΜΗΜΑΤΑ ΤΟΥ CITYGML.....	39
3.6.1 Σημασιολογία	39
3.6.2 Γεωμετρία.....	41
3.6.3 Τοπολογία.....	44
3.6.4 Εμφάνιση	45
3.7 ΚΥΡΙΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ CITYGML.....	46
3.7.1 Έξυπνες Πόλεις – Smart Cities.....	46

3.7.2 3D Κτηματολόγιο	50
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. CITYGML: 3D ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ ΟΤ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΚΑΙΣΑΡΙΑΝΗΣ ΣΕ LOD2.....	53
4.1 ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ.....	53
4.1.1 SketchUp	53
4.1.2 PostgreSQL / PostGIS	54
4.1.3 3DCityDB (The CityGML Database).....	56
4.2 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	57
4.3 ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	58
4.4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ	58
4.4.1 3D σχεδίαση στο SketchUp και εξαγωγή CityGML προτύπου.....	59
4.4.2 Δημιουργία βάσης δεδομένων στην PostgreSQL και δομής της κατά 3DCityDB πρότυπο	63
4.4.3 Οργάνωση της βάσης δεδομένων στην PostgreSQL μέσω της 3DCityDB.....	67
4.4.4 Εξαγωγή αρχείων CityGML και KML/COLLADA από την 3DCityDB....	71
4.5 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΙΝΑΚΩΝ ΤΟΥ SCHEMA “PUBLIC” ΚΑΤΑ 3DCITYDB ΠΡΟΤΥΠΟ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	74
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΧΩΡΙΚΑ ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ POSTGRESQL	79
5.1 ΑΠΛΑ ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ	80
5.2 ΧΩΡΙΚΑ ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ.....	82
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	90
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	92
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	96
1. ΤΥΠΟΙ ΕΞΑΓΟΜΕΝΩΝ ΑΡΧΕΙΩΝ KML/COLLADA	97
2. ΑΠΟΣΠΑΣΜΑ ΕΞΑΓΟΜΕΝΟΥ ΑΡΧΕΙΟΥ CITYGML ΓΙΑ 1 ΚΤΙΡΙΟ	99

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2–1: Νέφος σημείων εκκλησίας	18
Σχήμα 2–2: Βασικά μέρη ενός Τρισδιάστατου Σαρωτή Laser	19
Σχήμα 2–3: Νέφος σημείων & 3Δ μοντέλο πεζογέφυρας της Ραφήνας.....	20
Σχήμα 2–4: Αποτύπωμα της δέσμης laser στα 5 m, 35 m, 55 m	20
Σχήμα 2–5: Λήψη πολλαπλών εικόνων αντικειμένου με σύγκλιση αξόνων τους.....	21
Σχήμα 2–6: 3Δ μοντέλο εκκλησίας με υφή από εικόνες	21
Σχήμα 2–7: Αρχιτεκτονική δομή του IFC – Εννοιολογικά επίπεδα (Layers)	24
Σχήμα 2–8: MIT Koch Exterior Rendering	26
Σχήμα 2–9: Τομείς στους οποίους είναι δυνατή η χρήση BIM	29
Σχήμα 3–1: Σύνδεση διαφορετικών κλάδων με το 3Δ μοντέλο πόλης.....	35
Σχήμα 3–2: Δομή του CityGML.....	36
Σχήμα 3–3: XML schema ADE βασισμένο στο schema του CityGML.....	37
Σχήμα 3–4: Επίπεδα λεπτομέρειας LoDs του CityGML	37
Σχήμα 3–5: Επίπεδα λεπτομέρειας LoDs του CityGML	38
Σχήμα 3–6: UML διάγραμμα της κύριας ταξικής ιεραρχίας επιπέδων του CityGML	40
Σχήμα 3–7: UML διάγραμμα μοντέλου κτιρίου του CityGML	41
Σχήμα 3–8: UML διάγραμμα μοντέλου κτιρίου σε LoDs του CityGML.....	42
Σχήμα 3–9: Παράδειγμα δομής CityGML αρχείου για απλό κτίριο_1	43
Σχήμα 3–10: Παράδειγμα δομής CityGML αρχείου για απλό κτίριο_2	43
Σχήμα 3–11: Παράδειγμα δομής CityGML αρχείου για απλό κτίριο_3	44
Σχήμα 3–12: Τοπολογική σχέση μεταξύ σπιτιού και γκαράζ.....	45
Σχήμα 3–13: Libelium Smart World.....	47
Σχήμα 3–14: Αύξηση αστικού πληθυσμού 1953 - 2053	48
Σχήμα 3–15: Ανάγκες “κλειδί” για Έξυπνες Πόλεις	48
Σχήμα 3–16: Υπόσκαφα (αριστερά) & Ανώγειο (δεξιά).....	51
Σχήμα 3–17: Κτίριο με υπόγειο γκαράζ και τούνελ μετρό.....	51
Σχήμα 4–1: Google SketchUp 8	53
Σχήμα 4–2: Google SketchUp 8 – Plug-in “CityGML Editor 18”	54
Σχήμα 4–3: PostgreSQL 9.3: pgAdmin III & PostGIS 2.0.....	55
Σχήμα 4–4: 3DCityDB-Importer-Exporter-1.6 για PostGIS	57
Σχήμα 4–5: Περιοχή μελέτης – ΟΤ Δήμου Καισαριανής.....	57
Σχήμα 4–6: Δεδομένα: 3Δ σχέδιο κτιρίων περιοχής μελέτης (.dxf).....	58
Σχήμα 4–7: Εισαγωγή υποβάθρου Google Earth στο SketchUp για γεωαναφορά	59
Σχήμα 4–8: Εισαγωγή και προσαρμογή αρχείου .dxf στο SketchUp	60
Σχήμα 4–9: 3Δ σχεδίαση των κτιρίων της περιοχής μελέτης στο SketchUp	60
Σχήμα 4–10: Προσαρμογή υφών στις κτιριακές επιφάνειες στο SketchUp	61
Σχήμα 4–11: 3Δ σχεδιαστικό κτιριακό μοντέλο στο SketchUp	61
Σχήμα 4–12: Εξαγωγή CityGML προτύπου από το SketchUp.....	62
Σχήμα 4–13: Απόσπασμα εξαγόμενου αρχείου CityGML από το SketchUp.....	62
Σχήμα 4–14: Δημιουργία βάσης δεδομένων “OT_kaisariani_tex” στην PostgreSQL	63
Σχήμα 4–15: Βάση δεδομένων “OT_kaisariani_tex” στην PostgreSQL.....	64

Σχήμα 4–16: Δημιουργία δομής βάσης δεδομένων βάσει 3DCityDB_1.....	65
Σχήμα 4–17: Δημιουργία δομής βάσης δεδομένων βάσει 3DCityDB _2.....	65
Σχήμα 4–18: Δομή βάσης δεδομένων κατά 3DCityDB πρότυπο	66
Σχήμα 4–19: Connect & Generate Database Report #1.....	67
Σχήμα 4–20: Validate & Import XML.....	68
Σχήμα 4–21: Τμήμα πίνακα “cityobject” βάσης δεδομένων	68
Σχήμα 4–22: Πίνακας “address” βάσης δεδομένων	69
Σχήμα 4–23: Πίνακας “building” βάσης δεδομένων	69
Σχήμα 4–24: Πίνακας “address_to_building” βάσης δεδομένων	70
Σχήμα 4–25: Connect & Generate Database Report #2.....	70
Σχήμα 4–26: Preferences – Rendering_Building.....	71
Σχήμα 4–27: Preferences – Ballon_Building.....	72
Σχήμα 4–28: Map window - Bounding Box	72
Σχήμα 4–29: KML/COLLADA Export	73
Σχήμα 4–30: Παράδειγμα balloon κτιρίου βάσης δεδομένων _COLLADA	73
Σχήμα 4–31: KML/COLLADA-Footprint.....	74
Σχήμα 4–32: KML/COLLADA-Extruded.....	74
Σχήμα 4–33: KML/COLLADA-Geometry.....	74
Σχήμα 4–34: KML/COLLADA-COLLADA	74
Σχήμα 4–35: Schema “public” βάσης δεδομένων βάσει 3DCityDB.....	75
Σχήμα 4–36: Πίνακας “objectclass” βάσης δεδομένων	76
Σχήμα 4–37: Τμήμα πίνακα “cityobject” βάσης δεδομένων	76
Σχήμα 4–38: Τμήμα πίνακα “thematic_surface” βάσης δεδομένων.....	77
Σχήμα 4–39: Τμήματα πίνακα “surface_data” βάσης δεδομένων	77
Σχήμα 4–40: Τμήμα πίνακα “textureparam” βάσης δεδομένων.....	78
Σχήμα 4–41: Τμήμα πίνακα “spatial_ref_sys” βάσης δεδομένων	78
Σχήμα 4–42: Πίνακας “database_srs” βάσης δεδομένων	78
Σχήμα 5–1: Απλό ερώτημα και αποτελέσματα #1.....	80
Σχήμα 5–2: Απλό ερώτημα και αποτελέσματα #2.....	81
Σχήμα 5–3: Απλό ερώτημα και αποτελέσματα #3.....	81
Σχήμα 5–4: Χωρικό ερώτημα και αποτελέσματα #1	82
Σχήμα 5–5: Χωρικό ερώτημα και αποτελέσματα #2.....	83
Σχήμα 5–6: Χωρικό ερώτημα και αποτελέσματα #3.....	84
Σχήμα 5–7: Χωρικό ερώτημα και αποτελέσματα #4.....	85
Σχήμα 5–8: Χωρικό ερώτημα και αποτελέσματα #5.....	86
Σχήμα 5–9: Χωρικό ερώτημα και αποτελέσματα #6.....	87
Σχήμα 5–10: Χωρικό ερώτημα και αποτελέσματα #7.....	88
Σχήμα 5–11: Χωρικό ερώτημα και αποτελέσματα #8.....	89

ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ

3DCityDB	3D City DataBase
ADE	Application Domain Extensions
AEC / FM	Architecture, Engineering, Construction / Facilities Management
BIM	Building Information Modeling
CAD	Computer-Aided Design (Συστήματα Ηλεκτρονικής Σχεδίασης)
CityGML	City Geography Markup Language
COLLADA	COLLABorative Design Acitivity
CRS	Coordinate Reference System (Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς)
DTM	Digital Terrain Model (Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους)
GDI NRW	GeoData Insfracture: North Rhine Westphalia
GIS	Geographic Information Systems (Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών)
GML	Geography Markup Language
IAI	International Alliance of Interoperability
IFC	Industry Foundation Classes
ICT	Information and Communication Technologies (Τεχνολογία Πληροφοριών και Επικοινωνίας)
ISO	International Organization for Standardization (Διεθνής Οργανισμός Προτύπων)
KML	Keyhole Markup Language
LADM	Land Administration Domain Model
LIDAR	Light Detection And Ranging
LoD	Level of Detail (Επίπεδο λεπτομέρειας)
OGC	Open Geospatial Consortium (Ανοιχτή Γεωχωρική Κοινοπραξία)
R&D	Research & Development (Τμήμα Έρευνας & Ανάπτυξης)
Schema	Σχήμα
SIG 3D	Special Interest Group 3D
LS	Laser Scanner (Σαρωτής Λείζερ)
UML	Unified Modeling Language
W3DS	Web 3D Service
XML	eXtensible Markup Language
2Δ	Δισδιάστατος (2D)
3Δ	Τρισδιάστατος (3D)
ΕΕ	Ευρωπαϊκή Ένωση
ΟΤ	Οικοδομικό Τετράγωνο
ΣΔΒΔ	Συστήματα Διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων
ΣΓΠ	Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών
ΨΜΕ	Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Την τελευταία δεκαετία, η επιστημονική έρευνα εστιάζει όλο και περισσότερο προς την τρίτη διάσταση σε όλους τους τομείς, κυρίως σε επιστήμες που σχετίζονται με γεωγραφικές πληροφορίες και με την απεικόνιση φυσικών φαινομένων αλλά και της πολύπλοκης αστικής πραγματικότητας. Στο πεδίο της τρισδιάστατης (3Δ) απεικόνισης, έχουν σημειωθεί ραγδαίες εξελίξεις και δυναμική πρόοδος ειδικά σε αστικές εφαρμογές, ενώ οι τεχνικοί περιορισμοί στην χρήση της 3Δ πληροφορίας όλο και ελαχιστοποιούνται όσο εξελίσσεται η τεχνολογία. Έχουν ήδη αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές και πρότυπα 3Δ μοντελοποίησης, καθώς τυγχάνουν όλο και περισσότερης χρησιμότητας σε μεγάλο εύρος εφαρμογών. Ένα τέτοιο σύγχρονο πρότυπο αποτελεί το CityGML, το οποίο είναι ανοιχτό και επιτρέπει την κοινή χρήση και ανταλλαγή 3Δ μοντέλων πόλεων.

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, μελετώνται τα βασικά ζητήματα της 3Δ μοντελοποίησης χωρικών αντικειμένων και πόλεων και ιδιαίτερα τα βασικά στοιχεία και οι δυνατότητες του CityGML προτύπου, το οποίο αξιοποιείται, προκειμένου να παραχθεί ένα 3Δ μοντέλο 14 κτιρίων ενός Οικοδομικού Τετραγώνου (ΟΤ) στην περιοχή της Καισαριανής στην Αθήνα σε επίπεδο λεπτομέρειας LoD2 και μία αντίστοιχη σχεσιακή βάση δεδομένων. Επιπλέον, τα λογισμικά πακέτα που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση αυτή ήταν τα SketchUp, PostgreSQL και 3DCityDB.

ABSTRACT

During the last decade, scientific research is increasingly focusing on the third dimension in all fields and especially in sciences related to geographic information, the visualization of natural phenomena and the visualization of the complex urban reality. The field of 3D visualization has achieved rapid development and dynamic progress, especially in urban applications, while the technical restrictions on the use of 3D information tend to subside due to the advancements in technology. A variety of 3D modeling techniques and standards has already been developed, as they gain more traction in a wide range of applications. Such a modern standard is the CityGML, which is open and allows for sharing and exchanging of 3D city models.

Within the scope of this thesis, key issues for the 3D modeling of spatial objects and cities are studied and specifically the key elements and abilities of CityGML standard, which is used in order to produce a 3D model of 14 buildings that constitute a block at Kaisariani, Athens in LoD2 and the corresponding relational database. Furthermore, the software packages that were used in this application are SketchUp, PostgreSQL and 3DCityDB.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια, η τρισδιάστατη (3Δ) μοντελοποίηση χωρικών αντικειμένων αλλά και ολόκληρων πόλεων, γίνεται όλο και περισσότερο αναγκαία σε μεγάλο εύρος εφαρμογών, όπως για παράδειγμα εφαρμογές που σχετίζονται με τον αστικό σχεδιασμό, το 3Δ Κτηματολόγιο, τις Έξυπνες Πόλεις (Smart Cities) κ.ά. Τέτοιου είδους εφαρμογές βρίσκουν χρήση σε όλο και περισσότερους δήμους, πόλεις αλλά και ευρύτερες αγροτικές περιοχές. Πρόκειται για μία πολύπλοκη διαδικασία, η οποία περιλαμβάνει μία προσέγγιση οπτικοποίησης ετερογενών δεδομένων, όπως ψηφιακά διανυσματικά σχέδια, δισδιάστατα (2Δ) αλλά και 3Δ εικονικά δεδομένα, τοπογραφικές μετρήσεις κ.ά. αλλά και συνδυαστική χρήση διαφόρων λογισμικών προγραμμάτων.

Μέχρι σήμερα, για τις διάφορες ανάγκες, χωρικές και λειτουργικές, μίας πόλης, γινόταν ως επί το πλείστον χρήση αντίστοιχων 2Δ χαρτών και διαγραμμάτων, γεγονός που σε πολλές περιπτώσεις, όπως στο Κτηματολόγιο, προκαλούσε ασάφειες και προβλήματα, εφόσον οι χάρτες και τα διαγράμματα αναπαριστούν τον 3Δ κόσμο με 2Δ τρόπο [30]. Γι' αυτό τον λόγο, την προηγούμενη δεκαετία, πολλοί ερευνητές ασχολήθηκαν με τις διάφορες εναλλακτικές μεθοδολογίες, που ακολουθούνται σε περιπτώσεις 3Δ μοντελοποίησης του χώρου, από τη συλλογή δεδομένων για την σχεδίαση και την καταγραφή πληροφοριών χωρικών αντικειμένων έως την απεικόνισή τους με όσο το δυνατόν υψηλής ακρίβειας 3Δ μοντέλα. Τα μοντέλα αυτά σήμερα μπορούν να έχουν ταυτοχρόνως γεωμετρική, τοπολογική και σημασιολογική διάσταση.

Τις τελευταίες δεκαετίες, στον τομέα ειδικά των κατασκευών, η κοινή χρήση και ανταλλαγή πληροφοριών υπήρξε κινητήριος δύναμη στην ανάπτυξη της τεχνολογίας και εφαρμογών, με αποτέλεσμα να αναπτυχθούν τα κτιριακά πληροφοριακά μοντέλα BIM (Building Information Modeling) [1] και τα 3Δ μοντέλα γεωχωρικών πληροφοριών. Τα μοντέλα αυτά καθορίζουν χωρικά αντικείμενα με γεωμετρικές και σημασιολογικές εκπροσωπήσεις. Το IFC (Industry Foundation Classes) [10] και το CityGML (City Geography Markup Language) [7] είναι τα πιο γνωστά σημασιολογικά πρότυπα που χρησιμοποιούν τα παραπάνω 3Δ χωρικά μοντέλα του πραγματικού κόσμου.

Το CityGML αποτελεί το πιο σύγχρονο ανοιχτό μοντέλο κοινού ορισμού βασικών οντοτήτων και ιδιοτήτων ενός 3Δ μοντέλου πόλης και δίνει τη δυνατότητα αποθήκευσης και ανταλλαγής 3Δ μοντέλων πόλεων. Βασικό χαρακτηριστικό του CityGML είναι η 3Δ απεικόνιση της γεωμετρίας και των τοπολογικών σχέσεων των χωρικών αντικειμένων με ταυτόχρονη εκπροσώπηση διαφόρων θεματικών και σημασιολογικών ιδιοτήτων, ταξινομήσεων και ομαδοποιήσεων. Επιπλέον, όλα τα χωρικά αντικείμενα μπορούν να εκπροσωπηθούν από πέντε διαφορετικά επίπεδα λεπτομέρειας, τα Levels of Detail (LoD) [7], τα οποία ξεκινάνε από το LoD0 και φτάνουν στο LoD4, όπου σταδιακά αυξάνεται η ακρίβεια και η πολυπλοκότητα

δομής. Πολλά εθνικά μοντέλα τοπογραφίας και κτηματολογίου βασίζονται ήδη σε πρότυπο CityGML, όπως στη Γερμανία, την Ολλανδία, το Ηνωμένο Βασίλειο.

Σήμερα, πλήθος λογισμικών προγραμμάτων, που επιτρέπουν την εφαρμογή τεχνικών 3D μοντελοποίησης, είναι διαθέσιμα στο εμπόριο και κρίνεται σημαντική η μεταξύ τους διαλειτουργικότητα. Συνεπώς, η τάση σήμερα είναι η δημιουργία όλο και πιο λεπτομερών 3D μοντέλων σε πολλούς τομείς της επιστήμης, όπως στο κτηματολόγιο, τον κατασκευαστικό κλάδο, την αρχιτεκτονική, τη βιομηχανία των ηλεκτρονικών παιχνιδιών, του κινηματογράφου κ.ά.

Βασικό αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη και εφαρμογή μίας τεχνικής 3D μοντελοποίησης και απεικόνισης των 14 κτιρίων ενός ΟΤ του Δήμου Καισαριανής του Νομού Αττικής με τη χρήση του CityGML προτύπου σε επίπεδο λεπτομέρειας LoD2. Αναλυτικότερα, η διπλωματική εργασία αναπτύσσεται σε πέντε κεφάλαια ως εξής:

Στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας, μελετάται η ανάγκη για 3D σχεδιασμό πόλεων με περαιτέρω ανάλυση του ιστορικού της 3D μοντελοποίησης πόλεων, καθώς και της μοντελοποίησης γεωχωρικών πληροφοριών και των ειδών των μοντέλων αυτών.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, εξετάζονται ορισμένοι διαθέσιμοι τύποι 3D μοντέλων και προτύπων. Πιο συγκεκριμένα, αναλύονται τα δεδομένα, τα προϊόντα, οι ακρίβειες και τα πεδία εφαρμογών που βρίσκει χρήση η 3D σάρωση με laser, βασικά στοιχεία, πλεονεκτήματα, μειονεκτήματα και εφαρμογές των μοντέλων BIM αλλά και βασικά χαρακτηριστικά των προτύπων IFC και CityGML.

Το τρίτο κεφάλαιο, επικεντρώνεται στη μελέτη του CityGML. Γίνεται ιστορική του αναδρομή και στη συνέχεια περιγράφονται λεπτομερώς οι τύποι 3D αρχείων με τους οποίους σχετίζεται, ο στόχος του, η οργάνωση και δομή του και οι δυνατότητές τους.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, περιγράφεται αναλυτικά η μεθοδολογία 3D μοντελοποίησης 14 κτιρίων ενός ΟΤ στην περιοχή της Καισαριανής. Πιο συγκεκριμένα, η μεθοδολογία εστιάζει στη μοντελοποίηση του εξωτερικού κελύφους των κτιρίων σε επίπεδο λεπτομέρειας LoD2 χρησιμοποιώντας τα πρότυπα CityGML και 3DCityDB με ταυτόχρονη δημιουργία αντίστοιχης σχεσιακής βάσης δεδομένων PostgreSQL. Επιπλέον, περιγράφονται με λεπτομέρεια τα λογισμικά και τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν και την εφαρμογή αυτή, η περιοχή μελέτης, οι πίνακες της βάσης δεδομένων που δημιουργούνται κατά 3DCityDB πρότυπο αλλά και τα χωρικά ερωτήματα που τίθενται στη βάση δεδομένων με τα αντίστοιχα αποτελέσματά τους.

Στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο, παρατίθενται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη συγκεκριμένη μελέτη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. 3Δ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΟΛΕΩΝ

Με την ανάπτυξη της τρισδιάστατης (3Δ) γεωπληροφορικής, έχει σημειωθεί μεγάλη αύξηση του αριθμού των σημερινών εφαρμογών. Παραδείγματα αυτών των εφαρμογών είναι ο πολεοδομικός σχεδιασμός, η διαχείριση ακίνητης περιουσίας, η προσομοίωση του περιβάλλοντος, η διαχείριση καταστροφών, οι τηλεπικοινωνίες, η διαχείριση εγκαταστάσεων κλπ. 3Δ μοντέλα πόλεων χρησιμοποιούνται σήμερα σε διάφορους δημόσιους και ιδιωτικούς τομείς σε διαφορετικά συστήματα, διαφορετικά εννοιολογικά μοντέλα, διαφορετικές μορφές δεδομένων, διαφορετικά σχήματα δεδομένων, διαφορετικά επίπεδα λεπτομέρειας αλλά και σε διαφορετική ποιότητα. Επιπλέον, οι δυνατότητες των 3Δ μοντέλων ξεπερνούν την ακριβή οπτικοποίηση των 3Δ αντικείμενων. Σε ένα τέτοιο περιβάλλον, η ενσωμάτωση των διαφορετικών πηγών δεδομένων για τη δημιουργία πραγματικών 3Δ μοντέλων πόλεων γίνεται όλο και πιο δύσκολη.

Υπάρχουν δύο ειδών 3Δ μοντέλα πόλεων, τα σχεδίασης (design models) και τα πραγματικά μοντέλα (real world models). Τα μοντέλα σχεδίασης χρησιμοποιούνται συνήθως για σκοπούς του κατασκευαστικού τομέα της βιομηχανίας και συνηθίζουν να πληρούν τις απαιτήσεις του μέγιστου επιπέδου λεπτομέρειας της αρχιτεκτονικής, της μηχανικής και της κατασκευαστικής βιομηχανίας, Architecture, Engineering & Construction industry (AEC). Τα πραγματικά μοντέλα αποτελούν συστήματα γεωχωρικών πληροφοριών, τα οποία αντιπροσωπεύουν χωρικά αντικείμενα γύρω μας και χρησιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό σε εφαρμογές Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών - ΣΓΠ (Geographic Information Systems – GIS). Οι ερευνητικές προσπάθειες στον τομέα της AEC έχουν ως αποτέλεσμα την Μοντελοποίηση Κτιριακής Πληροφορίας (Building Information Modeling - BIM), μια διαδικασία που υποστηρίζει τη διαχείριση των πληροφοριών των κτιρίων σε όλο τον κύκλο ζωής τους και χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο στην AEC. Αποτελέσματα διαφόρων προσπαθειών ολοκλήρωσης του BIM και των γεωχωρικών μοντέλων δείχνουν ότι η 3Δ γεωμετρική πληροφορία μόνο δεν αρκεί και μπορεί να οδηγήσει σε γεωμετρική ασυνέπεια. Απαιτείται δηλαδή επιπλέον σημασιολογική πληροφορία. [5].

1.1 Ιστορικό της 3Δ Μοντελοποίησης Πόλεων

Όλο και περισσότερες εταιρίες σήμερα, χτίζουν εικονικά 3Δ μοντέλα πόλεων για διάφορα πεδία εφαρμογών, όπως για την πολεοδομία, την κινητή τηλεφωνία, τη διαχείριση καταστροφών, το 3Δ κτηματολόγιο, τον τουρισμό, την πλοήγηση οχημάτων, τη διαχείριση εγκαταστάσεων, τις προσομοιώσεις του περιβάλλοντος και τις Έξυπνες Πόλεις. Επιπλέον, κατά την εφαρμογή της ευρωπαϊκής οδηγίας για τον περιβαλλοντικό θόρυβο (European Environmental Noise Directive - EU END, 2002/49/EC), η 3Δ γεωπληροφορική και τα 3Δ μοντέλα πόλεων διαδραμάτισαν ένα σημαντικό ρόλο [7].

Τα 3D μοντέλα πόλεων είναι ψηφιακές αναπαραστάσεις της επιφάνειας της Γης και των χωρικών της αντικειμένων, που απαρτίζουν μία πόλη. Τα μοντέλα αυτά ευνοούν μια μεγάλη ποικιλία εφαρμογών, οι οποίες με τη σειρά τους δημιουργούν μία ζήτηση για λεπτομερή μοντέλα μιας συγκεκριμένης περιοχής ή ακόμα και ενός εστιασμένου κτιριακού μοντέλου. Σε τέτοια μοντέλα, η εκπροσώπηση και οι σχέσεις μεταξύ των χωρικών αντικειμένων θα πρέπει να είναι κατανοητές και μοντελοποιημένες [20]. Τα μοντέλα αυτού του είδους χωρίζονται σε δύο τύπους, τα σχεδίασης (design models) και τα πραγματικά (real world models). Τα μοντέλα σχεδίασης, από την μία πλευρά, έχουν σκοπό να καλύψουν τις ανάγκες της AEC βιομηχανίας και αυτά έχουν σχεδιαστεί για να εκπροσωπήσουν το ανώτατο επίπεδο λεπτομέρειας γεωμετρικής πληροφορίας. Από την άλλη πλευρά, τα πραγματικά μοντέλα αποτελούν συστήματα γεωχωρικών πληροφοριών, τα οποία εκπροσωπούν τα υπάρχοντα χωρικά αντικείμενα γύρω μας. Ως επί το πλείστον, χρησιμοποιούνται στα GIS.

Το μεγαλύτερο μέρος της προσπάθειας στο αντικείμενο της 3D μοντελοποίησης πόλεων, συμπεριλαμβανομένων των διαδικτυακών υπηρεσιών (Web Services), επικεντρώνεται στην αναπαράσταση γεωμετρικών μοντέλων. Όμως, συχνά παραβλέπεται η σημασιολογική και η τοπολογική διάσταση των μοντέλων. Ως εκ τούτου, τα μοντέλα αυτά χρησιμοποιούνται κυρίως για σκοπούς απεικόνισης και όχι τόσο για GIS εφαρμογές, στις οποίες υλοποιούνται θεματικά – χωρικά ερωτήματα, εργασίες ανάλυσης και εξαγωγή χωρικών δεδομένων. Επίσης, αυτά τα 3D μοντέλα πόλης και οι διαδικτυακές υπηρεσίες στερούνται διαλειτουργικότητας μεταξύ διαφορετικών λογισμικών, εγκαταστάσεων και χρηστών. Δεδομένου ότι η περιορισμένη δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης μοντέλων αναστέλλει την ευρύτερη χρήση των 3D μοντέλων πόλεων, έπρεπε να ληφθεί μία διαφορετική προσέγγιση της μοντελοποίησης, προκειμένου να καλυφθούν οι πληροφοριακές ανάγκες των διάφορων πεδίων εφαρμογής [7].

Η οπτικοποίηση σήμερα είναι αναμφισβήτητη στην κορυφή, όσον αφορά τις περισσότερες 3D εφαρμογές. Σημαντικά πεδία εφαρμογών, ωστόσο, θα επωφελούνταν από πλουσιότερα δεδομένα. Παραδείγματα τέτοιων πεδίων εφαρμογών είναι ο αστικός σχεδιασμός, η διαχείριση ακινήτων, η περιβαλλοντική προσομοίωση, η διαχείριση καταστροφών, οι τηλεπικοινωνίες κ. ά. Από τεχνική άποψη, προκειμένου να μπορούν επαναχρησιμοποιηθούν πληροφορίες για διάφορες εφαρμογές, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται κοινά πρότυπα. Εφαρμογές μπορούν στη συνέχεια να ενσωματωθούν με διαλειτουργικά 3D μοντέλα και να έχουν συμβατότητα με άλλες εφαρμογές. Για το σκοπό αυτό, έχει αναπτυχθεί το μοντέλο CityGML (City Geography Markup Language), ένα γεωχωρικό μοντέλο που αποτελείται επιπλέον από ένα σημασιολογικό μοντέλο πληροφοριών και ένα ανοιχτό πρότυπο. Έχει εφαρμοστεί σαν ένα σχήμα (schema) GML3 (Geography Markup Language 3). Είναι κατάλληλο για υπαίθριες δραστηριότητες, όπου τα αστικά αντικείμενα μπορούν να αναπαρασταθούν και να συνδεθούν με διάφορες χωρικές σχέσεις [21].

Η κοινή χρήση και η ανταλλαγή πληροφοριών στον τομέα των κατασκευών υπήρξε η κινητήριος δύναμη στην τεχνολογία και την ανάπτυξη εφαρμογών κατά την τελευταία δεκαετία. Στην παγκοσμιοποιημένη αγορά, η μοντελοποίηση της πληροφορίας αποτελεί μια σημαντική και αποδεκτή προσέγγιση στην εξέλιξη αυτή. Έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλούς βιομηχανικούς κλάδους σε τομείς της μηχανικής, συμπεριλαμβανομένης της AEC και της διαχείρισης εγκαταστάσεων, Facilities Management (FM). Η μοντελοποίηση της πληροφορίας αρχικά δημιουργήθηκε στα μέσα της δεκαετίας του 1980. Το περιβάλλον επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την έλλειψη επικοινωνίας μεταξύ των διαφόρων ενδιαφερόμενων χρηστών, κάτι που έχει αρνητικό αντίκτυπο στην αποτελεσματικότητα και τη λειτουργία της βιομηχανίας. Η έρευνα και ανάπτυξη, Research & Development (R&D) στον τομέα αυτό είχε ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη του BIM, προκειμένου να ενισχύσει τον κλάδο των κατασκευών και των επιμέρους αντικειμένων του [5].

Γενικά πρότυπα αναφοράς άρχισαν να υπάρχουν περίπου από το 1988. Ένα από τα αποτελέσματα της εργασίας του R&D υπήρξε το Industry Foundation Classes (IFC) στον τομέα του BIM, που ξεκίνησε το 1996 [10]. Το πρότυπο IFC δεν έχει να κάνει μόνο με μοντελοποίηση δομικών στοιχείων. Αντιπροσωπεύει επίσης διάφορες προηγμένες διαδικασίες και αναλύσεις, που βασίζονται στις χωρικές σχέσεις μεταξύ αυτών των δομικών στοιχείων. Αυτές οι διαδικασίες μπορεί να αποτελούν χρονοδιαγράμματα για τις δραστηριότητες, για τους χώρους, που συνδέουν διαφορετικά αντικείμενα (π.χ. τοίχοι, δοκάρια, οροφές, κλπ). Τα αντικείμενα αυτά αποτελούν οντότητες βάσης δεδομένων, οι οποίες χαρακτηρίζονται από διάφορες ιδιότητες, όπως όνομα, γεωμετρία, υλικά, και ούτω καθεξής.

Το BIM και τα 3D μοντέλα γεωχωρικών πληροφοριών θεωρούνται σήμερα μέσο για τον καθορισμό χωρικών αντικειμένων με γεωμετρικές και σημασιολογικές εκπροσωπήσεις. Το IFC και το CityGML είναι τα δύο πιο γνωστά σημασιολογικά πρότυπα για την αναπαράσταση των σχεδιασμών και των αντικειμένων του πραγματικού κόσμου αντίστοιχα.

1.2 Μοντελοποίηση Γεωχωρικών Πληροφοριών

Τα GIS χρησιμοποιούνται για τη μοντελοποίηση χωρικών αντικειμένων, που υπάρχουν ήδη στις αστικές και περιφερειακές περιοχές. Λίγα χρόνια πριν, τα GIS ήταν εντελώς διαφορετικά από τη σημερινή τους δομή. Καθώς ο κύριος σκοπός τους ήταν να καθορίσουν την αστική και περιφερειακή κλίμακα, τα γεωχωρικά μοντέλα δεν επικεντρώνονταν τόσο πολύ σε λεπτομέρειες [5]. Σήμερα, ωστόσο, είναι πολύ σημαντική η μοντελοποίηση διαφορετικά εστιασμένων περιοχών. Ως εκ τούτου, μία πραγματική 3D αναπαράσταση απαιτείται και προτιμάται σαφώς περισσότερο την τελευταία δεκαετία σε σχέση με την 2D / 2.5D αναπαράσταση. Μετά από αυτή την αλλαγή, δύο βασικά ζητήματα χρειάζεται να εξεταστούν ως προς την 3D αναπαράσταση του αστικού περιβάλλοντος. Πρώτον, θα πρέπει να κατασκευαστούν πιο προηγμένα γεωμετρικά και πληροφοριακά μοντέλα κτιρίων και δεύτερον, θα

πρέπει να αναπτυχθεί ένα πλαίσιο και κανόνες ενοποίησης μεταξύ των κτιριακών μοντέλων και των μοντέλων του γεωχωρικού περιβάλλοντος [5].

Ως αποτέλεσμα της ταχείας τεχνολογικής ανάπτυξης την τελευταία δεκαετία, τα γεωχωρικά μοντέλα έχουν γίνει πολύ σημαντικά πλέον για τη μοντελοποίηση του κόσμου γύρω μας. Οι εφαρμογές πάνω σε περιφερειακές ή αστικές περιοχές απαιτούν την μοντελοποίηση τεράστιων περιοχών. Ως εκ τούτου, τα γεωχωρικά μοντέλα χρησιμοποιούν απλουστευμένες αλλά αποτελεσματικές γεωμετρικές μεθόδους για την εκπροσώπηση ενός μεγάλου αριθμού χωρικών αντικειμένων [5].

Μία από τις μεγαλύτερες δυσκολίες στην μοντελοποίηση γεωχωρικών πληροφοριών είναι η συλλογή δεδομένων για τεράστιες περιφερειακές και αστικές περιοχές. Έχουν εντοπιστεί διάφορες προσεγγίσεις, που ασχολούνται με την απόκτηση επαρκών δεδομένων για την κατασκευή γεωχωρικών μοντέλων. Ορισμένες από αυτές παρουσιάζονται παρακάτω:

- Η πρώτη προσέγγιση αφορά την μέτρηση υπαρχόντων αντικειμένων και την κατασκευή 3D μοντέλων. Πληροφορίες σχετικά με υπάρχοντα χωρικά αντικείμενα, συμπεριλαμβανομένων των κτιρίων, μπορούν να συλλέγονται από απλές ή σύνθετες πηγές και στη συνέχεια, μπορούν να παράγονται 3D μοντέλα σύμφωνα με τις ανάγκες της εφαρμογής. Για ακριβείς μετρήσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες τεχνικές, όπως η 3D τεχνολογία σάρωσης laser και η φωτογραμμετρία.
- Η δεύτερη προσέγγιση αφορά τη μετατροπή 3D CAD (Computer-Aided Design - Συστήματα Ηλεκτρονικής Σχεδίασης), καθώς και 2D κτιριακών μοντέλων GIS σε γεωχωρικά μοντέλα.
- Η τρίτη προσέγγιση αφορά την απόκτηση μιας απλοποιημένης εικόνας (γεωμετρική και σημασιολογική) των κτιριακών μοντέλων από τα υπάρχοντα μοντέλα BIM. Καθώς τα BIMs είναι διαμορφωμένα σε ένα αντικειμενοστραφές περιβάλλον, η προσέγγιση αυτή είναι βιώσιμη μέσα από την εφαρμογή διαφόρων ερωτημάτων πάνω στα κτιριακά μοντέλα, ώστε να λαμβάνονται οι απαιτούμενες λεπτομέρειες σε χωρικό επίπεδο. Το βασικό θέμα στην προσέγγιση αυτή είναι η ανάγκη για πλήρη BIMs, τα οποία συνήθως είναι πολύ χρονοβόρα και δαπανηρά [5].

1.3 Γεωμετρικά και Σημασιολογικά Μοντέλα

Οι γεωχωρικές εφαρμογές είναι κυρίως βασισμένες σε χωρικά αντικείμενα, καθώς και σε τοπολογικές σχέσεις. Η πληροφορία των στοιχείων αυτών συνήθως κατατάσσεται σε δύο ομάδες, οι οποίες μπορούν να οριστούν ως τα ακόλουθα μοντέλα:

- Το Γεωμετρικό Μοντέλο (Geometric Model), που καθορίζει τα γεωμετρικά αντικείμενα και τον τύπο των στοιχείων.

- Το Σημασιολογικό Μοντέλο (Semantic Model), που καθορίζει τις οντότητες και τα μη χωρικά χαρακτηριστικά τους και τις σχέσεις μεταξύ των οντοτήτων.

Τα γεωμετρικά μοντέλα αποτελούνται από διαφορετικά χωρικά αντικείμενα (σημεία, γραμμές, πολύγωνα), των οποίων οι ιδιότητες εκπροσωπούνται. Αυτή η εκπροσώπηση βασίζεται συνήθως σε πρότυπα, όπως το ISO 19107 «Spatial Schema» [9] ή σε συγκεκριμένα γεωμετρικά μοντέλα. Τα σημασιολογικά μοντέλα, ωστόσο, αποτελούνται από καθορισμένες κατηγορίες για την εκπροσώπηση των χωρικών αντικειμένων στα εικονικά τρισδιάστατα 3D μοντέλα πόλων. Τα μοντέλα αυτά μπορούν επίσης να καθορίσουν τις χωρικές σχέσεις μεταξύ διαφορετικών αντικειμένων ή και τμημάτων αντικειμένων, όπως κτίρια, ψηφιακά μοντέλα εδάφους (ΨΜΕ), υδάτινες μάζες, δίκτυα μεταφορών, βλάστηση και γενικά οντότητες μία πόλης.

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι για να αποκτήσει κανείς πληροφορίες σχετικά με τα κτίρια και το γεωχωρικό περιβάλλον [7]. Από τη μία πλευρά, οι γεωμετρικές πληροφορίες μπορούν να ληφθούν από διάφορα σχέδια CAD, μετρώντας κτίρια με μεθόδους σάρωσης Laser ή με κλασικές τοπογραφικές μετρήσεις και με φωτογραμμετρικές τεχνικές. Από την άλλη πλευρά, οι σημασιολογικές πληροφορίες μπορούν να ληφθούν από σχέδια CAD ή να συλλεχτούν από επιτόπιες καταγραφές.

Μέχρι τα τελευταία χρόνια, η περισσότερη γεωμετρική πληροφορία σχετικά με τα κτίρια μοντελοποιούταν σε CAD μοντέλα σε δύο (2D) ή τρεις διαστάσεις (3D) αλλά χωρίς προσανατολισμό. Σε τέτοια περιβάλλοντα, η σημασιολογική αναπαράσταση δεν ήταν βασικής σημασίας. Αυτή η κατάσταση αλλάζει άρδην, ωστόσο, σε μεγάλο βαθμό χάρη στο BIM στον κλάδο της βιομηχανίας AEC [5].

Όσον αφορά το περιβάλλον έξω από τα κτίρια, τα γεωχωρικά μοντέλα έχουν γίνει σημαντικά για τη μοντελοποίηση και του εξωτερικού περιβάλλοντος. Τα GIS χρησιμοποιούνται για τη μοντελοποίηση χωρικών αντικειμένων που υπάρχουν ήδη στις αστικές και περιφερειακές περιοχές και χρησιμοποιούν απλουστευμένες μεθόδους για να αναπαραστήσουν ένα μεγάλο αριθμό χωρικών αντικειμένων. Αυτές οι μέθοδοι έχουν συνήθως ως αποτέλεσμα μία απλή γεωμετρική αναπαράσταση σε 2D ή 2.5D.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. 3Δ ΜΟΝΤΕΛΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΥΠΑ

Η εφαρμογή της παρούσας εργασίας σχετίζεται με την 3Δ μοντελοποίηση κτιρίων με τη χρήση του CityGML προτύπου [7]. Σήμερα όμως, υπάρχουν διάφοροι τύποι 3Δ μοντέλων αντικειμένων. Υπάρχουν τα 3Δ γεωμετρικά μοντέλα, τα οποία μπορούν να προκύπτουν από διάφορες μεθόδους, όπως τη 3Δ σάρωση με laser [23], τη λήψη πολλαπλών εικόνων [25] κ.ά. αλλά και τα 3Δ γεωμετρικά και σημασιολογικά μαζί μοντέλα κτιρίων, ακόμα και πόλεων, όπως τα μοντέλα BIM [1]. Τέτοιου είδους σύνθετα 3Δ μοντέλα ακολουθούν κάποια πρότυπα, όπως το IFC [10] και το CityGML.

Το BIM, μία ψηφιακή αναπαράσταση των φυσικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών μίας εγκατάστασης, χρησιμοποιείται σε πολλές πόλεις. Το OpenBIM είναι μία καθολική προσέγγιση στον συνεργατικό σχεδιασμό, την υλοποίηση και τη λειτουργία των κτιρίων βασισμένο σε ανοικτά πρότυπα. Πρόκειται για μια πρωτοβουλία της buildingSMART και αρκετών κορυφαίων προμηθευτών λογισμικών, που χρησιμοποιεί το ανοικτό buildingSMART μοντέλο δεδομένων, το οποίο είναι δομημένο σε buildingSMART διεθνείς θεμελιακές κλάσεις (*Foundation Classes*) για την οικοδομική βιομηχανία (*building Industry*), τις IFCs [35].

Σε εξέλιξη βρίσκονται εργασίες για την εναρμόνιση μεταξύ του ανοιχτού μοντέλου CityGML και του OpenBIM. Το πρότυπο CityGML γεμίζει ήδη ένα σημαντικό κενό στις υποδομές αστικών χωρικών δεδομένων. Παρέχει μια ανοιχτή κωδικοποίηση για πολλαπλά επίπεδα 3Δ λεπτομέρειας σχετικά με το δομημένο περιβάλλον. Οι διεθνείς θεμελιακές κλάσεις IFCs παρέχουν διαλειτουργικότητα με σχεδιαστικά συστήματα CAD, που περιέχουν περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με τις δομές και τα υλικά [35].

2.1 Τύποι 3Δ Γεωμετρικών Μοντέλων

Στην ενότητα αυτή, παρουσιάζονται τύποι 3Δ γεωμετρικών μοντέλων αντικειμένων από δύο διαφορετικές πηγές: την 3Δ σάρωση με laser και τη λήψη πολλαπλών εικόνων.

2.1.1 3Δ Μοντέλα από 3Δ σάρωση laser

Τα τελευταία χρόνια η χρήση των σαρωτών laser, Laser Scanners (LS), για την 3Δ αποτύπωση αντικειμένων και χώρων ενδιαφέροντος του Τοπογράφου Μηχανικού έχει εξαπλωθεί σημαντικά. Οι σαρωτές laser αποτελούν ένα υψηλής τεχνολογίας, αλλά και κόστους, εργαλείο που βελτιώνει και επιταχύνει τις παραδοσιακές εργασίες ενός Τοπογράφου Μηχανικού. Με τα νέα αυτά όργανα μπορεί να μετρηθεί και να ανακατασκευαστεί ο 3Δ χώρος αλλά και αντικείμενα διάφορων σχημάτων και μεγεθών και χωρίς περιορισμό θέσης και προσβασιμότητας γρήγορα και οικονομικά, αρκεί να είναι ορατά και εντός της εμβέλειας του σαρωτή.

Η σάρωση laser προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα, επαναπροσδιορίζοντας την έννοια των κάθε είδους αποτυπώσεων. Βασισμένη στην τεχνολογία LIDAR (Light Detection And Ranging), επιτρέπει, με την αποστολή ακτίνας φωτός και την αντίχρευση της ανάκλασής της επί του αντικειμένου, σε συνδυασμό με ένα μηχανισμό κατόπτρων, που εκτρέπουν την ακτίνα ώστε να σαρώνεται το αντικείμενο, την ταχύτερη συλλογή 3Δ μετρητικής (x, y, z) και ταυτόχρονα χρωματικής (τιμή ανακλαστικότητας: i - gray-scaled intensity ή RGB - true color) πληροφορίας, παράγοντας ένα “νέφος” ομοιόμορφα κατανεμημένων 3Δ έγχρωμων σημείων (point cloud) με την επιθυμητή πυκνότητα (ανάλυση) (Σχ. 2-1).



Σχήμα 2-1: Νέφος σημείων εκκλησίας
Πηγή: Αστρολάβος Τεχνική Ο.Ε., 2013

Αντίθετα με μία απλή αποτύπωση με τοπογραφικά όργανα στην οποία ο χειριστής επιλέγει τα σημεία τα οποία θα αποτυπώσει, με τους επίγειους σαρωτές laser, οι οποίοι μπορούν να θεωρηθούν ως εξειδικευμένοι αυτόματοι γεωδαιτικοί σταθμοί, ο χειριστής επιλέγει μόνο το τμήμα του αντικειμένου που επιθυμεί να σαρώσει αλλά και την πυκνότητα των σημείων (γωνιακό βήμα κατακόρυφα και οριζόντια) [30].

Ένας Laser Scanner αποτελείται από 4 βασικά τμήματα (Σχ. 2-2):

1. Τον Σαρωτή, που περιλαμβάνει:
 - τον πομπό ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας,
 - τον δέκτη ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, που λαμβάνει το επιστρεφόμενο σήμα,
 - την καταγραφική μονάδα, στην οποία καταγράφονται η επιστροφή του σήματος και ο χρόνος εκπομπής-λήψης,
 - το σύστημα των περιστρεφόμενων καθρεφτών, που κατευθύνει την δέσμη της ακτινοβολίας και

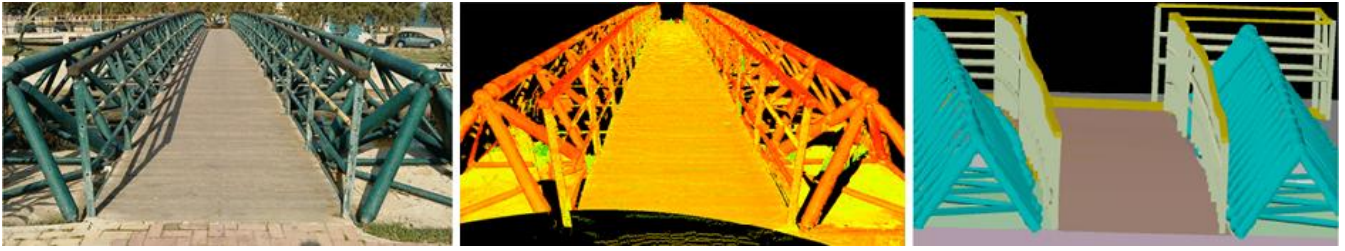
- το χρονόμετρο για την μέτρηση του χρόνου μετάβασης και επιστροφής του εκπεμπόμενου σήματος.
2. Την μονάδα ελέγχου, που αποτελείται από έναν φορητό υπολογιστή, στον οποίο είναι εγκαταστημένο το λογισμικό σάρωσης και επεξεργασίας των δεδομένων και διαχειρίζεται η διαδικασία της σάρωσης. Συνεπώς, ο χρήστης έχει την δυνατότητα οπτικής επαφής με τα δεδομένα της εκάστοτε σάρωσης σε πραγματικό χρόνο, έτσι ώστε να μπορεί να επέμβει σε περίπτωση που το αποτέλεσμα δεν τον ικανοποιεί.
 3. Την μπαταρία για την τροφοδοσία του συστήματος.
 4. Βασικά παρελκόμενα που συνοδεύουν το σύστημα, όπως τρίποδας για να τοποθετηθεί το όργανο και ειδικοί στόχοι σάρωσης.



Σχήμα 2-2: Βασικά μέρη ενός Τρισδιάστατου Σαρωτή Laser
Πηγή: Αναστασίου Α. Β., Πρέκα Δ., 2011

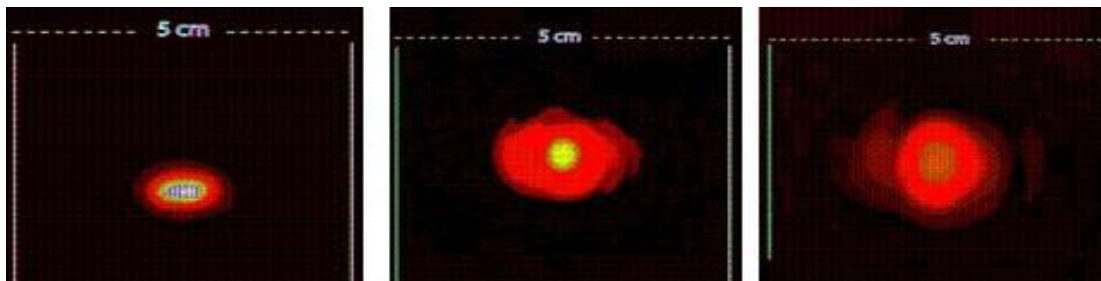
Τα δεδομένα, που προκύπτουν κατά τη σάρωση καταγράφονται αυτόματα στην καταγραφική μονάδα του σαρωτή δημιουργώντας ταυτόχρονα μία 3Δ απεικόνιση της λήψης σε πραγματικό χρόνο και μεταφέρονται στη μονάδα ελέγχου, όπου γίνεται η επεξεργασία τους.

Μετά από μια σάρωση τα προϊόντα, τα οποία μπορούν να προκύψουν είναι νέφος σημείων (point clouds) (Σχ. 2-3), πλέγμα τριγώνων (polygon meshes), εικόνες απόστασης (range images) και παραμετρικές επιφάνειες ή μοντέλα (Σχ. 2-3) [2].



Σχήμα 2-3: Νέφος σημείων & 3Δ μοντέλο πεζογέφυρας της Ραφήνας
Πηγή: Αναστασίου Α. Β., Πρέκα Δ., 2011

Η ακρίβεια των μετρήσεων είναι άμεσα συσχετισμένη με την απόσταση σαρωτή αντικειμένου, την ανακλαστικότητα των επιφανειών αλλά και το μέγεθος της κουκίδας του laser. Οι ακρίβειες, που είναι δυνατόν να επιτευχθούν στην αποτύπωση με σάρωση, είναι αρκετά υψηλές. Οι 3Δ σαρωτές laser έχουν τη δυνατότητα καταγραφής τεράστιου αριθμού σημείων σε σύντομο χρόνο, από μερικές χιλιάδες μέχρι και 500.000 σημεία ανά δευτερόλεπτο (ανάλογα με τη μέθοδο λειτουργίας τους), με ακρίβειες από 50μm μέχρι λίγα mm. Ειδικότερα, ο προσδιορισμός της τρισδιάστατης θέσης μεμονωμένων σημείων γίνεται με ακρίβεια της τάξης των $\pm 1-6$ mm για συνήθεις αποστάσεις των 50 m του αντικειμένου από τον σαρωτή. Όμως, η ακρίβεια βελτιώνεται σημαντικά όταν ακολουθήσει επεξεργασία των δεδομένων (νέφη σημείων) και γίνει μοντελοποίηση επιφάνειας με τιμές που ανέρχονται στα ± 2 mm, ενώ η ακρίβεια μέτρησης των γωνιών κυμαίνεται στα ± 60 mrad. Οι διαστάσεις της κουκίδας (spot) της δέσμης είναι 6 mm σε απόσταση 50 m, ενώ σε αποστάσεις μεγαλύτερες των 50 m η κουκίδα μεγαλώνει ανάλογα με την απόσταση (Σχ. 2-4) [26].

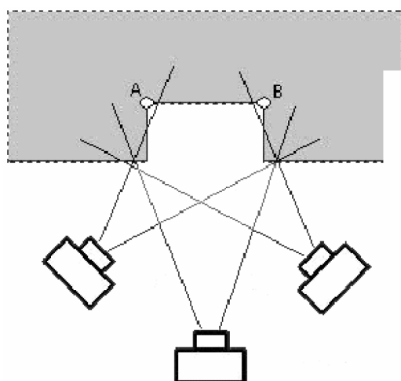


Σχήμα 2-4: Αποτύπωμα της δέσμης laser στα 5 m, 35 m, 55 m
Πηγή: Αποστολόπουλος Β., 2010

2.1.2 3Δ Μοντέλα από πολλαπλές εικόνες

Εξίσου δημοφιλής με την χρήση των Laser Scanners (LS) για την 3Δ μοντελοποίηση αντικειμένων είναι η 3Δ μοντελοποίηση με εικόνες. Μία κατάλληλη φωτογραμμετρική μέθοδος για την 3Δ μοντελοποίηση αντικειμένων είναι η πολυεικονική διαχείριση, η οποία μπορεί να υλοποιηθεί με χρήση αλγορίθμων συνόρθωσης δεσμών μέσω διαφόρων λογισμικών 3Δ μοντελοποίησης με βάση την εικόνα, όπως το PhotoModeler, το PhotoScan κ.ά. [25].

Κατά την προαναφερομένη μέθοδο της πολυεικονικής διαχείρισης με δέσμες, για το πρώτο στάδιο της συλλογής δεδομένων είναι αναγκαία η λήψη πολλαπλών εικόνων, των οποίων οι άξονες συγκλίνουν κατά 20° - 90° , ώστε το αντικείμενο που πρόκειται να ανακατασκευαστεί να είναι ορατό σε τουλάχιστον τρεις εικόνες (Σχ. 2-5). Η διαδικασία που ακολουθεί είναι η υλοποίηση μονοσκοπικών μετρήσεων ομόλογων σημείων σε πάνω από δύο επικαλυπτόμενες εικόνες και φωτοσταθερών (προαιρετικά για γεωαναφορά), ώστε με ταυτόχρονη συνόρθωση των δεσμών στη συνέχεια να προκύψει το μαθηματικό μοντέλο [25].



Σχήμα 2-5: Λήψη πολλαπλών εικόνων αντικειμένου με σύγκλιση αξόνων τους
Πηγή: Γεωργόπουλος Α., 2011

Με τη μέθοδο αυτή, μπορούν να παραχθούν διάφορα προϊόντα, όπως πλέγμα τριγώνων (TIN), ορθοαναγμένες εικόνες και 3Δ μοντέλα και αν είναι επιθυμητό από τον χρήστη και με υφή από τις εικόνες (Σχ. 2-6).



Σχήμα 2-6: 3Δ μοντέλο εκκλησίας με υφή από εικόνες
Πηγή: Γεωργόπουλος Α., 2011

Πρόκειται για μία μέθοδο οικονομική, με εύκολα στη χρήση λογισμικά για παραγωγή 2Δ και 3Δ προϊόντων με ταχύτητα και ακρίβεια. Επιπλέον τέτοιου είδους λογισμικά είναι συμβατά με σχεδιαστικά λογισμικά CAD αλλά και προγράμματα φωτορεαλισμού. Όσο για την ακρίβεια του τελικού 3Δ μοντέλου, μπορεί να

επιτευχθεί πολύ καλή ακρίβεια αλλά η τάξη αυτής εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως τον αριθμό εικόνων που έχουν ληφθεί, τον αριθμό φωτοσταθερών και ομόλογων σημείων αλλά και τα σφάλματα που προκύπτουν στα επιμέρους στάδια της διαδικασίας [25].

Για τη δημιουργία 3D μοντέλου ενός αντικειμένου, μπορεί να υπάρξει συνδυασμένη χρήση Φωτογραμμετρίας και σαρώσεων laser και πιο συγκεκριμένα, συνδυασμός δεδομένων από τις διαφορετικές αυτές πηγές, για παράδειγμα νέφος σημείων από σάρωση laser αλλά και εικόνες για το αντικείμενο αυτό.

2.2 IFC

Το Industry Foundation Classes (IFC), όπως είναι γνωστό σήμερα, αποτελεί ένα πρότυπο και δημιουργήθηκε αρχικά από τη χρήση θεμελιακών κλάσεων (*Foundation Classes*) για την οικοδομική βιομηχανία (*building Industry*). Το 1995, μια ευρωπαϊκή ερευνητική πρωτοβουλία συμφώνησε να χρησιμοποιήσει το IFC μοντέλο ως βάση για την αναπαράσταση της οικοδομικής βιομηχανίας μέσω ειδικών διαγραμμάτων κλάσεων [12]. Αυτά τα διαγράμματα συνήθως αναφέρονται σε μια γραφική αναπαράσταση των χωρικών αντικειμένων και των σχέσεών τους. Πρόκειται δηλαδή για ένα σύνολο οντοτήτων και των μεταξύ τους σχέσεων, που αποτελούν ένα σύνθετο διάγραμμα δεδομένων.

Σύμφωνα με το International Alliance of Interoperability (IAI), το IFC ορίζει στοιχεία δεδομένων, που αντιπροσωπεύουν τα τμήματα των κτιρίων και τις χωρικές τους σχέσεις [10]. Επιπλέον, περιέχει πληροφορίες σχετικές με τις χωρικές εκτάσεις των τμημάτων. Τα IFCs χρησιμοποιούνται από διάφορες εφαρμογές για μοντελοποίηση των κτιρίων και για κοινή χρήση πληροφοριών των τμημάτων των μοντέλων μεταξύ των χρηστών. Ένα schema IFC περιέχει ένα διάγραμμα κλάσης, το οποίο δείχνει τη σχέση μεταξύ των οντοτήτων. Περιλαμβάνει επίσης, μία ερμηνεύσιμη περιγραφή του διαγράμματος κλάσης με ορισμένους περιορισμούς επιτρέποντας τη δημιουργία εκτελέσιμων κωδικών, οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά την κοινή χρήση και ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των διάφορων εφαρμογών [5].

Εντός της σφαίρας επιρροής του IFC είναι σημαντικό, για να αποφευχθεί οποιαδήποτε παρεξήγηση, να σημειωθεί ότι το IFC δεν είναι ούτε μια εφαρμογή λογισμικού, ούτε μια συλλογή στοιχείων λογισμικού. Είναι ένα schema, που μπορεί να μετατραπεί σε έναν εκτελέσιμο κώδικα ή σε μια βιβλιοθήκη μιας γλώσσας προγραμματισμού, η οποία υποστηρίζει κοινή χρήση πληροφοριών και εκπροσώπηση. Αυτό αποτελεί σαφή απόδειξη της έννοιας της IFC ανάπτυξης, ως μία κοινοπραξία ανοιχτής βιομηχανίας και όχι ως ένα εμπορικό προϊόν για κάθε εταιρία [12]. Το IFC δεν αναπτύχθηκε για να παρέχει επαναχρησιμοποιήσιμα στοιχεία λογισμικού αλλά για να παρέχει ένα ανοιχτό βιομηχανικό πρότυπο δομών δεδομένων για τη συλλογή και την κοινή χρήση πληροφοριών.

2.2.1 Η λογική του IFC

Ο σκοπός του IFC είναι η εφικτή διαλειτουργικότητα μεταξύ εφαρμογών λογισμικού και κλάδων της AEC / FM (Architecture, Engineering, Construction / Facilities Management) βιομηχανίας. Μερικά βασικά στοιχεία του σκεπτικού του IFC είναι τα εξής:

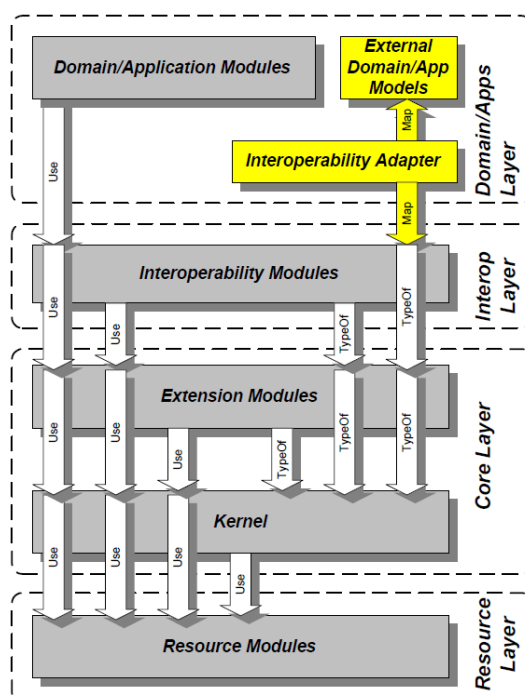
- Το μοντέλο IFC έχει σπονδυλωτή δομή, η οποία υποστηρίζει την καθοδήγηση μεταξύ των τμημάτων και των συστηματικών επεξεργασιών των διαφορετικών κλάσεων στα διαφορετικά τμήματα.
- Οι ευρέως αποδεκτές διεθνείς προδιαγραφές και οι ορισμοί δόμησης του IFC μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην ανάπτυξη του πυρήνα του λογισμικού, ο οποίος θα υποστηρίζει την κοινή χρήση και την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ διαφόρων εφαρμογών και κλάδων της AEC / FM βιομηχανίας.
- Καθιερώνεται ένα ανοιχτό πρότυπο, που θα επιτρέπει την ανάπτυξη περισσότερων προηγμένων εφαρμογών και κοινόχρηστων λύσεων και διαφορετικοί προμηθευτές λογισμικού μπορούν να επαναχρησιμοποιούν συστατικά του λογισμικού.
- Το μοντέλο είναι ευέλικτο και ενημερώνεται δυναμικά, ώστε να παρέχεται συμβατότητα μεταξύ διαφορετικών εκδόσεων του μοντέλου [10].
- Υπάρχει δυνατότητα συνεχούς συντήρησης και ανάπτυξης του μοντέλου.
- Αυξάνονται οι γνώσεις των χρηστών σχετικά με τις διαδικασίες στους τομείς δόμησης με την κοινή χρήση των μοντέλων τους, των εφαρμογών τους και των λύσεών τους. Αυτό βοηθά στο να έχουν διάφορες οργανώσεις ένα κοινό πρότυπο για χρήση, σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης ή κρίσεων και γρηγορότερη ανταπόκριση σε σχέση με διάφορες δράσεις, όπως επαναχρησιμοποίηση των κτιρίων, εκκένωση απομακρύνοντας ανθρώπους ή διευκόλυνση της μεταφοράς εξοπλισμού [5].

2.2.2 Αρχιτεκτονική δομή ενός μοντέλου IFC

Το αρχιτεκτονικό μοντέλο του IFC διαθέτει μια σπονδυλωτή δομή για την ανάπτυξη των τμημάτων του μοντέλου, τα “model schemas”. Υπάρχουν τέσσερα εννοιολογικά επίπεδα (layers) στα πλαίσια της αρχιτεκτονικής δομής, τα οποία χρησιμοποιούν μία αυστηρή ιεραρχία. Μέσα σε κάθε εννοιολογικό επίπεδο, ορίζεται μία σειρά από model schemas.

Το πρώτο εννοιολογικό επίπεδο (Σχ. 2-7), το Resource Level διαθέτει όλες τις Resource Classes (κλάσεις πόρων), οι οποίες χρησιμοποιούνται τοπικά στις κλάσεις των υψηλότερων επιπέδων. Το δεύτερο εννοιολογικό επίπεδο παρέχει τον πυρήνα (Core) του μοντέλου του έργου. Το Core Level περιέχει το Kernel και άλλες επεκτάσεις Core (Core Extensions). Περιλαμβάνει οντότητες και πηγές για όλες τις κλάσεις, που ορίζονται στα υψηλότερα επίπεδα. Το τρίτο εννοιολογικό επίπεδο διαθέτει μια σειρά μεμονωμένων schemas, που καθορίζουν τη διαλειτουργικότητα και

την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ διαφορετικών εφαρμογών, δηλαδή αντιπροσωπεύει κοινές αντιλήψεις μεταξύ πολλαπλών εφαρμογών και AEC τομέων της βιομηχανίας. Αυτό είναι το Interoperability Layer. Τέλος, το τέταρτο και υψηλότερο επίπεδο του μοντέλου του IFC είναι το Domain/Applications Layer. Αυτό διαθέτει ένα σύνολο στοιχείων προσαρμοσμένων για διάφορους AEC τομείς της βιομηχανίας, τα οποία ποικίλλουν ανάλογα με τα απαιτούμενα δεδομένα για διάφορα πεδία, όπως η ηλεκτρική ενέργεια, τα δομικά στοιχεία, η διαχείριση εγκατάστασης, οι έλεγχοι κτιρίων κλπ. Επιπλέον, αυτό το επίπεδο περιέχει ένα εξειδικευμένο μοντέλο “Adapter” (προσαρμογέα), έτσι ώστε να προσαρμόζει τα εξωτερικά μοντέλα που δεν είναι δομημένα κατά τις αρχές του IFC μοντέλου σε μοντέλα IFC [10].



Σχήμα 2-7: Αρχιτεκτονική δομή του IFC – Εννοιολογικά επίπεδα (Layers)
 Πηγή: IAI, 1999

2.2.3 Σχηματικές – διαγραμματικές αρχές ενός μοντέλου IFC

Οι αρχές αυτές έχουν σχεδιαστεί για τη διαχείριση της διαδικασίας στο Domain/Applications Layer. Έχουν δημιουργηθεί ως κοινές έννοιες για σκοπούς διαλειτουργικότητας μεταξύ διαφορετικών εφαρμογών και έχουν σχεδιαστεί στο Core Layer για την οργάνωση των κλάσεων και των πόρων (Σχ. 2-7).

- Στο Resource Layer, οι κλάσεις των πόρων (resources classes) μπορούν μόνο να αναφέρουν ή να χρησιμοποιούν άλλους πόρους.
- Στο Core Layer, οι κλάσεις του πυρήνα (core classes) μπορούν να χρησιμοποιούν άλλες κλάσεις πυρήνα σε ένα περιορισμένο βαθμό. Ωστόσο, μπορούν να αναφέρουν τις κλάσεις των χαμηλότερων επιπέδων χωρίς

περιορισμό. Δεν μπορούν να αναφέρουν ή να χρησιμοποιήσουν τις κλάσεις των υψηλότερων επιπέδων.

- Εντός του Core Layer, οι κλάσεις του πυρήνα (core classes) έχουν ένα πλεονέκτημα. Ως εκ τούτου, εκείνες μπορούν να αναφέρουν ή να χρησιμοποιούν τις κλάσεις Kernel (Kernel classes), αλλά όχι το αντίθετο.
- Στο Interoperability Layer, οι κλάσεις μπορούν να αναφέρουν ή να χρησιμοποιούν άλλες κλάσεις από το Core Layer και το Resource Layer, αλλά όχι από το Domain/Applications Layer.
- Στο Domain/Applications Layer, όλες οι κλάσεις μπορούν να αναφερθούν ή να χρησιμοποιηθούν από τα άλλα επίπεδα ή εντός του ίδιου του Domain/Applications Layer.

Γενικά λοιπόν, ισχύει ότι σε κάθε επίπεδο, μία κλάση μπορεί να αναφέρει ή να χρησιμοποιήσει μία κλάση του ίδιου ή χαμηλότερου επιπέδου αλλά δεν μπορεί να αναφέρει ή να χρησιμοποιήσει μία κλάση υψηλότερου επιπέδου. Αναφορές εντός του ίδιου επιπέδου πρέπει να σχεδιάζονται με μεγάλη προσοχή, ώστε να διατηρείται η σπονδυλωτή μορφή στο σχέδιο του μοντέλου [5].

2.3 BIM

Ο όρος “Building Information Modeling” (BIM) χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από τον αρχιτέκτονα αμερικανικής καταγωγής και αντιπρόεδρο για ένα διάστημα της εταιρείας του λογισμικού Autodesk, Phil Bernstein. Η τεχνολογία BIM εφαρμόστηκε πρώτη φορά το 1987 από την εταιρεία Graphisoft και σήμερα πια, αποτελεί παγκοσμίως αντικείμενο μεγάλης συζήτησης και ενδιαφέροντος στον τομέα σχεδιασμού, κατασκευής και διαχείρισης κτιρίων, τεχνικών έργων κλπ. [27].

Το BIM είναι ένα σύστημα 3D εκπροσώπησης μίας κατασκευής και πρόκειται για μία τεχνολογική μέθοδο βάσει της οποίας όλες οι σχετικές πληροφορίες, γεωμετρικές και σημασιολογικές, εμπεριέχονται σε ένα τρισδιάστατο ψηφιακό μοντέλο. Οι πληροφορίες αυτές αφορούν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της κατασκευής, τα επιμέρους στοιχεία που την απαρτίζουν, όπως τοίχους, οροφές κλπ, αλλά και τις χωρικές σχέσεις μεταξύ τους, καθώς και τις ιδιότητες των στοιχείων αυτών, πχ υλικό, λειτουργία, ενεργειακή συμπεριφορά κλπ. στους κλάδους της AEC / FM βιομηχανίας. Συνεπώς, ένα BIM “κουβαλάει” όλες τις πληροφορίες σε σχέση με ένα κτίριο, οι οποίες περιλαμβάνουν τα φυσικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά του αλλά και πληροφορίες σχετικά με τον κύκλο ζωής του.

Όλες οι παραπάνω πληροφορίες, καθώς και τα αποτελέσματά τους, είναι προσβάσιμες σε ένα ομαδικό περιβάλλον, όπου όλα τα μέλη της ομάδας αυτής μπορούν να παρέμβουν και να αναπτύξουν το μοντέλο περαιτέρω. Χαρακτηριστικό του BIM είναι η διαλειτουργικότητα, η ικανότητα δηλαδή δύο ή περισσότερων συστημάτων να ανταλλάσσουν, να αξιοποιούν και να επικαιροποιούν πληροφορίες χρησιμοποιώντας βέβαια τα ίδια πρότυπα. Τα δεδομένα συνήθως ανταλλάσσονται

μέσω του IFC, ένα πρότυπο ISO που περιγράφει ένα μοντέλο – προϊόν και τη μορφή ανταλλαγής δεδομένων για το οικιστικό περιβάλλον, που αναπτύχθηκε από την IAI. Με την μέθοδο BIM, επιτυγχάνεται η βελτιστοποίηση λειτουργιών με αποτέλεσμα την ταχύτερη, πιο ακριβή και προσοδοφόρα μελέτη, κατασκευή και διαχείριση κτιρίων σε διάφορες φάσεις του κύκλου ζωής τους.

Τα διαθέσιμα μοντέλα του BIM, που υπάρχουν σήμερα, αντιστοιχούν σε πιο πρόσφατες κατασκευές ή πρόσφατα προγραμματισμένες κατασκευές, μιας και η έννοια BIM είναι αρκετά σύγχρονη (Σχ. 2-8).



Σχήμα 2-8: MIT Koch Exterior Rendering
Πηγή: Hergunsel M. F., 2011

2.3.1 Στοιχεία ενός μοντέλου BIM

Ένα ολοκληρωμένο μοντέλο BIM αποτελείται από το BIM Model και το BIM Schema, όπου κατά τον Cerovsek:

- «Ένα BIM Model είναι μια ψηφιακή αναπαράσταση ενός εν ενεργεία υπαρκτού κτίσματος καθ' όλον τον κύκλο ζωής του κτίσματος - έργου. Μία φυσική, απτή εμφάνιση του κτίσματος από χρονικής απόψεως μπορεί να αναπαρασταθεί από τρεις κατηγορίες μοντέλου: “όπως ήταν”, “όπως είναι” ή “όπως θα είναι”.»
- «Ένα BIM Schema είναι μια μη - γλωσσολογική δομή 3D δεδομένων, που περιγράφει αφαιρέσεις γενικευμένων ιδιοτήτων μιας συλλογής πληροφοριών, που αφορούν κτίσματα.» [22]

Η μέθοδος BIM επεκτείνεται σε όλες τις φάσεις ζωής ενός έργου υποστηρίζοντας διάφορες υπηρεσίες αλλά και θέματα, που αφορούν την κατασκευή και τη διαχείριση λειτουργίας του έργου. Πιο συγκεκριμένα, μερικές από τις πιο διαδεδομένες λειτουργίες του BIM σήμερα είναι:

- Η προσομοίωση της κατασκευής (Building simulation). Τα μοντέλα BIM περιλαμβάνουν δεδομένα ως προς τα στοιχεία γεωμετρίας τους και δόμησής τους, τα οποία αποδίδονται με την ψηφιακή απεικόνισή τους.
- Η διαχείριση δεδομένων (Data management). Τα μοντέλα BIM περιλαμβάνουν και πληροφορίες περιγραφικής φύσεως, που δεν μπορούν να απεικονιστούν ψηφιακά, όπως αξίες, ιδιοκτησιακά δικαιώματα και υποχρεώσεις, χρήσεις γης κλπ.
- Η λειτουργία του κτιρίου (Building operation, Facility management). Αφορά εκείνα τα στοιχεία που περιλαμβάνονται σε ένα μοντέλο BIM, τα οποία είναι χρήσιμα όχι μόνο κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού και της κατασκευής ενός έργου, αλλά για όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του, καθώς δίνουν τη δυνατότητα να μειωθούν κόστη λειτουργίας, διαχείρισης, συντήρησης.

Το τελικό μοντέλο BIM περιλαμβάνει ένα πλήθος από όλες τις προαναφερόμενες πληροφορίες, ώστε να καθίσταται δυνατή η εκ των προτέρων διάγνωση και αποκατάσταση πιθανών προβλημάτων, που ενδέχεται να εμφανιστούν στην πορεία του έργου [27].

2.3.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα BIM

Η μέθοδος BIM σήμερα βρίσκει όλο και περισσότερο εφαρμογή σε διάφορους κλάδους εφόσον παρουσιάζει πολλά θετικά, όπως:

- Πρόκειται για ένα 3Δ μοντέλο, το οποίο εξασφαλίζει στον χρήστη μία ακριβή γεωμετρική και προσανατολισμένη αναπαράσταση και μία άμεση και εποπτική παρουσίαση του αντικειμένου.
- Τα μοντέλα BIM είναι πλούσια σε σημασιολογία. Διατηρούν ένα υψηλό επίπεδο λεπτομέρειας και σημασιολογικής πληροφορίας για τη δημιουργία των τμημάτων του κτιρίου και των χωρικών σχέσεων μεταξύ των στοιχείων του.
- Δίνεται η δυνατότητα μετάπτωσης από τις τρεις στις δύο διαστάσεις (3Δ σε 2Δ) αλλά και το αντίθετο (2Δ σε 3Δ).
- Από τις 2 διαστάσεις (2Δ) είναι δυνατή η αυτόματη παραγωγή κατόψεων και τομών είτε οριζόντιων είτε κατακόρυφων.
- Με οποιαδήποτε αλλαγή σε ένα σχέδιο ενημερώνονται ταυτόχρονα και όλα τα άλλα, με αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση στον χρόνο επεξεργασίας.
- Δίνεται η δυνατότητα παραμετρικού σχεδιασμού, όσον αφορά στοιχεία με παρόμοια χαρακτηριστικά, με αποτέλεσμα τη μείωση στον χρόνο σχεδιασμού.
- Τα διάφορα στοιχεία των κτιρίων μπορούν κι αυτά να αποδοθούν.
- Όπου υπάρχουν διάφορες φάσεις κατασκευής ή ανακατασκευής, υπάρχει η δυνατότητα παρουσίασης των διαφορετικών αυτών φάσεων.
- Μοντέλα BIM μπορούν να συνδεθούν με εξωτερικές βάσεις δεδομένων ή με 3Δ GIS [3].

Αν και διαδεδομένη πλέον η μέθοδος BIM, δεν παύει να παρουσιάζει και ορισμένα μειονεκτήματα, όπως:

- Εξαιτίας της πολυεπίπεδης πληροφορίας των μοντέλων, υπάρχει μεγάλος όγκος πληροφοριών, πράγμα που δυσκολεύει τη διαχείριση των αρχείων.
- Με την αυτόματη ανανέωση αλλαγών σε όλα τα σχετικά σχέδια, μειώνεται μεν ο χρόνος επεξεργασίας αλλά σε περίπτωση που γίνει λάθος, διορθώνεται δυσκολότερα, όσο περισσότεροι χρήστες εμπλέκονται στη διαχείριση του μοντέλου.
- Με την εμπλοκή πολλών και διαφορετικών χρηστών σε μοντέλα BIM εμφανίζονται συχνά προβλήματα ως προς τα πνευματικά δικαιώματα των μοντέλων αυτών.
- Για τα αντικείμενα που παρουσιάζουν πολύπλοκη γεωμετρία και πολύ ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, όπως τα μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς, υπάρχει δυσκολία στην ακριβή απόδοσή τους με τα υπάρχοντα λογισμικά BIM [3].

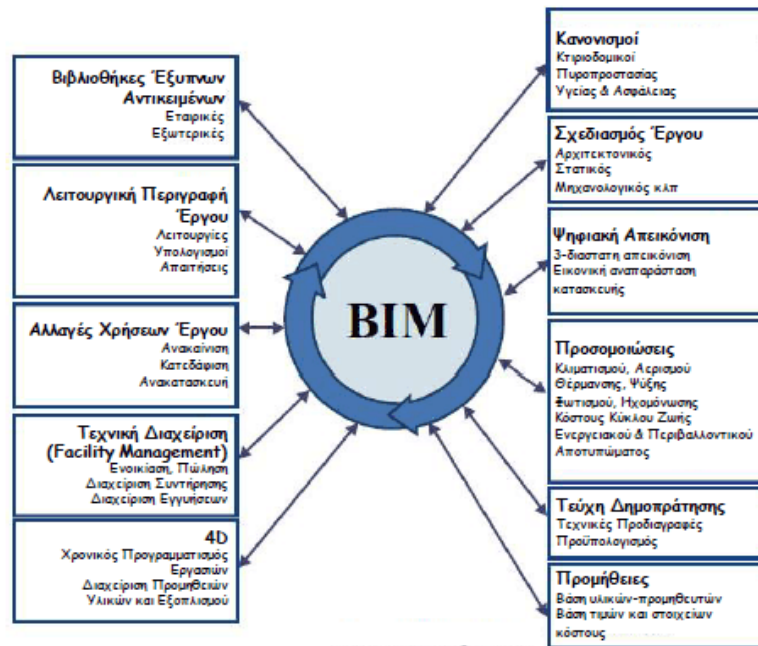
2.3.3 Εφαρμογές BIM

Η μέθοδος BIM μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλών ειδών εφαρμογές και ορισμένες από αυτές παρουσιάζονται παρακάτω:

- Οπτικοποίηση (Visualization). 3D απεικονίσεις των δεδομένων μπορούν εύκολα να παραχθούν και δίνουν στο αντικείμενο μία αναγνωρίσιμη εμφάνιση.
- Σχέδια κατασκευής (Fabrication drawings). Είναι εύκολο να δημιουργηθούν σχέδια για διάφορα κτιριακά συστήματα.
- Εγκληματολογική ανάλυση (Forensic analysis): Ένα μοντέλο BIM μπορεί εύκολα να προσαρμοστεί στο να απεικονίσει γραφικά πιθανές αστοχίες, διαρροές, σχέδια εκκένωσης κλπ.
- Διαχείριση εγκαταστάσεων (Facilities management). Οι υπηρεσίες διαχείρισης εγκαταστάσεων μπορούν να χρησιμοποιούν μοντέλα BIM για ανακαινίσεις, για σχεδιασμό χώρου και για εργασίες συντήρησης.
- Κοστολόγηση (Cost estimating): Λογισμικά BIM έχουν ενσωματωμένα χαρακτηριστικά κοστολόγησης. Οι ποσότητες των υλικών μπορούν να εξαχθούν και να αλλάξουν αυτόματα όταν γίνεται οποιαδήποτε αλλαγή στο μοντέλο.
- Αλληλουχία κατασκευής (Construction sequencing): Ένα μοντέλο BIM μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά στη δημιουργία παραγγελίας υλικών, προϊόντων και χρονοδιαγραμμάτων παράδοσης όλων των δομικών στοιχείων.
- Ανίχνευση συγκρούσεων και παρεμβολών (Conflict, interference and collision detection): Εφόσον τα μοντέλα BIM δημιουργούνται υπό κλίμακα και

αφορούν τον 3Δ χώρο, όλα τα κύρια συστήματα μπορούν να ελέγχονται οπτικά για τυχόν παρεμβολές. Αυτή η διαδικασία μπορεί να επαληθεύσει, για παράδειγμα, ότι οι σωληνώσεις δε διασταυρώνονται με δοκούς, αγωγούς ή τοίχους [1].

Το μέλλον του κατασκευαστικού κλάδου είναι ψηφιακό και το BIM είναι το μέλλον του σχεδιασμού και της μακροπρόθεσμης διαχείρισης εγκαταστάσεων. Οδηγείται από την τεχνολογία και από σαφείς διαδικασίες και αρχίζει να βρίσκει πλέον εφαρμογή σε πάρα πολλούς τομείς (Σχ. 2-9).



Σχήμα 2-9: Τομείς στους οποίους είναι δυνατή η χρήση BIM
 Πηγή: Γωνιανάκης Π. Β., 2014

2.4 CityGML

Το City Geography Markup Language (CityGML) είναι ένα ανοιχτό μοντέλο με δυνατότητα αποθήκευσης και ανταλλαγής εικονικών 3Δ μοντέλων πόλεων, το οποίο σχεδιάστηκε από την ομάδα Special Interest Group 3D (SIG 3D) της SDI North-Rhine-Westphalia και είναι ενσωματωμένο στις Υποδομές Χωρικών Δεδομένων σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα των οργανισμών ISO TC211 (International Organization for Standardization) και Open Geospatial Consortium (OGC).

Ο στόχος της ανάπτυξης του CityGML είναι η επίτευξη ενός κοινού ορισμού των βασικών οντοτήτων, ιδιοτήτων και μεταξύ τους σχέσεων ενός 3Δ μοντέλου πόλης, η βελτίωση της διαλειτουργικότητας των 3Δ αστικών μοντελοποιήσεων και η επίτευξη της κοινής κατανόησης και χρήσης δεδομένων των διαφορετικών 3Δ μοντέλων σε ένα ευρύ δίκτυο προμηθευτών και χρηστών. Το schema του μοντέλου CityGML βασίζεται στη γλώσσα GML, η οποία αποτελεί γραμματική version 3.1.1 (GML3) της

γλώσσας eXtensible Markup Language (XML) και αναφέρεται σε γεωγραφικά χαρακτηριστικά, στα οποία ενσωματώνονται διανυσματικά (vector) και ψηφιδωτά (raster) δεδομένα, αλλά πλέον και δεδομένα προερχόμενα από αισθητήρες. Βασικό χαρακτηριστικό του CityGML είναι ότι απεικονίζει μεν γραφικά τα μοντέλα πόλεων, αλλά εκπροσωπεί και διάφορες θεματικές και σημασιολογικές ιδιότητες, ταξινομήσεις και ομαδοποιήσεις. Το CityGML περιλαμβάνει ένα γεωμετρικό μοντέλο και ένα θεματικό μοντέλο. Το γεωμετρικό μοντέλο επιτρέπει τον αρμονικό και ομοιογενή καθορισμό των γεωμετρικών και τοπολογικών ιδιοτήτων των χωρικών αντικειμένων εντός των 3D μοντέλων πόλεων [7].

Βασικές παράμετροι της λογικής της ανάπτυξης του CityGML είναι:

- Η εξέταση των δυνατοτήτων για τη θέσπιση κοινών προτύπων και προδιαγραφών των βασικών οντοτήτων, ιδιοτήτων και σχέσεων ενός 3D μοντέλου πόλης. Αυτό μπορεί να βοηθήσει σημαντικά στην αποδοτική, βιώσιμη διατήρηση των 3D μοντέλων πόλεων. Επίσης, επιτρέπει την επαναχρησιμοποίηση των ίδιων δεδομένων σε διαφορετικά πεδία εφαρμογής.
- Ως ένα ανοικτό πρότυπο, το CityGML επιτρέπει τη συμβολή των χρηστών και την κοινή ανάπτυξη προτύπου με υψηλή δημιουργικότητα και προσαρμογή στις τοπικές χρήσεις. Αυτό ενθαρρύνει και προωθεί τη δημιουργία των χωρικών προτύπων γλωσσών για επανειλημμένα σενάρια και λύσεις, που είναι μεγάλης σημασίας GIS.
- Η ανάπτυξη του CityGML έχει ως στόχο την παροχή σημαντικών πληροφοριών για τις διάφορες περιπτώσεις της διαχείρισης κρίσεων και καταστροφών μέσω κοινών προτύπων. Μπορεί να παρέχει ενημερώσεις, καθώς και ευέλικτη πρόσβαση σε 3D μοντέλα πόλεων από διαφορετικές πηγές, αρχές και οργανώσεις σε τοπικό, περιφερειακό και παγκόσμιο επίπεδο, σύμφωνα με τις ανάγκες σε περίπτωση κρίσης ή ξεσπάσματος καταστροφής [5].

Αναλυτικότερη περιγραφή του προτύπου CityGML γίνεται στο επόμενο κεφάλαιο (βλ. Κεφάλαιο 3).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. CITYGML

Το City Geography Markup Language (CityGML) είναι ένα καινοτόμο και αντικειμενοστραφές μοντέλο πληροφοριών, βασισμένο στην γλώσσα XML κάνοντας κωδικοποιήσεις απαραίτητες για την αναπαράσταση, την αποθήκευση και την ανταλλαγή εικονικών τρισδιάστατων 3D μοντέλων πόλεων και τοπίων. Το CityGML είναι ένα κοινό μοντέλο πληροφοριών για την εκπροσώπηση και απεικόνιση 3D αστικών αντικειμένων και παρέχει ένα πρότυπο μοντέλο και ένα μηχανισμό για την περιγραφή 3D αντικειμένων σε σχέση με την γεωμετρία, την τοπολογία, τη σημασιολογία και την εμφάνισή τους και ορίζει πέντε διαφορετικά επίπεδα λεπτομέρειας, LoDs. Περιλαμβάνονται επίσης ιεραρχίες γενίκευσης μεταξύ θεματικών κατηγοριών, ομαδοποιήσεις, σχέσεις μεταξύ αντικειμένων και χωρικών ιδιοτήτων. Το CityGML είναι εξαιρετικά επεκτάσιμο και τα σύνολα δεδομένων μπορούν να περιλαμβάνουν διάφορες αστικές οντότητες, πέρα από τα κτίρια, τη βλάστηση, τις υδάτινες μάζες, τα μικροαντικείμενα των πόλεων και πολλά άλλα υποστηρίζοντας τη γενική τάση προς τη μοντελοποίηση, όχι μόνο μεμονωμένων κτιρίων αλλά και ολόκληρων τοποθεσιών, περιοχών, πόλεων, περιφερειών και χωρών.

Σε αντίθεση με άλλες μορφές 3D φορέων, το CityGML βασίζεται σε ένα πλούσιο, πληροφοριακό μοντέλο και σε συνδυασμό με τη γεωμετρία και το γραφικό περιεχόμενο, επιτρέπει στους χρήστες να χρησιμοποιούν και να μοιράζονται εικονικά 3D μοντέλα πόλεων και τοπίων για εξεζητημένες εργασίες ανάλυσης και απεικόνισης σε τομείς εφαρμογών, όπως σε περιβαλλοντικές προσομοιώσεις, εκτιμήσεις ζήτησης ενέργειας, διαχείριση του κύκλου ζωής πόλης, αστική διαχείριση εγκαταστάσεων, εκτίμηση ακινήτων, 3D κτηματολόγιο, διαχείριση καταστροφών, πλοήγηση πεζών, ρομποτική, εξαγωγή αστικών δεδομένων.

Το CityGML χρησιμοποιείται σε πολλά έργα παγκοσμίως. Στα προγράμματα Υποδομής Εθνικών Χωρικών Δεδομένων (National Spatial Data Infrastructure) στην Ολλανδία, τη Γερμανία, τη Γαλλία, τη Μαλαισία, το Αμπό Ντάμπι και άλλες χώρες, το CityGML παρέχει μία σημαντική πλατφόρμα για τη μετάβαση από δισδιάστατα (2D) σε 3D δεδομένα. Επίσης παίζει σημαντικό ρόλο στη γεφύρωση των Μοντέλων Αστικών Πληροφοριών (Urban Information Models) με τα μοντέλα BIM για τη βελτίωση της διαλειτουργικότητας μεταξύ των πληροφοριακών συστημάτων, που χρησιμοποιούνται στο σχεδιασμό, την κατασκευή και τη λειτουργία των κτιρίων και των έργων.

Το CityGML είναι αντιληπτό ως ένα ανοικτό μοντέλο δεδομένων, είναι βασισμένο σε γλώσσα μορφής XML και υλοποιείται ως μία δομή του Geography Markup Language 3 (GML3), το επεκτάσιμο διεθνές πρότυπο για την ανταλλαγή χωρικών δεδομένων, που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο του Open Geospatial Consortium (OGC) και του προτύπου ISO TC211. Επειδή το CityGML βασίζεται στο GML, μπορεί να

χρησιμοποιηθεί με όλη την οικογένεια του GML, η οποία είναι συμβατή με τις OGC διαδικτυακές υπηρεσίες για την πρόσβαση, την επεξεργασία και την καταλογογράφηση δεδομένων, όπως την Web Feature Service, την Web Processing Service και την Catalog Service. Το CityGML είναι ένα ανοιχτό πρότυπο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ελεύθερα [33].

3.1 Ιστορική αναδρομή του CityGML

Το CityGML είναι ένα μοντέλο με δυνατότητα αποθήκευσης και ανταλλαγής 3D πόλεων, όπου η πρώτη του έκδοση κυκλοφόρησε από την OGC το 2008, ενώ η δεύτερη τον Απρίλιο του 2012. Έχει αναπτυχθεί από το 2002 από τα μέλη της ομάδας Special Interest Group 3D (SIG 3D) των Υποδομών Χωρικών Δεδομένων (GeoData Infrastructure) της North Rhine Westphalia (GDI NRW) στη Γερμανία. Η GDI NRW έχει δραστηριοποιηθεί στην OGC από το 1999. Η SIG 3D είναι μια ανοιχτή ομάδα που αποτελείται από περισσότερες από 70 εταιρείες, δήμους, και ερευνητικά ιδρύματα από τη Γερμανία, τη Μεγάλη Βρετανία, την Ελβετία και την Αυστρία, που εργάζονται για την ανάπτυξη και την εμπορική εκμετάλλευση των διαλειτουρικών 3D μοντέλων και την χωρική οπτικοποίηση. Τα διαφορετικά επιστημονικά πεδία εφαρμογής των μελών περιλαμβάνουν κτηματολόγιο, πολεοδομία, περιβαλλοντικές και εκπαιδευτικές προσομοιώσεις, μηχανική, αρχιτεκτονική, γραφικά υπολογιστών, γεωπληροφορική, τουρισμό και τηλεπικοινωνίες. Ένα προϊόν των δραστηριοτήτων της SIG 3D είναι ένα προτεινόμενο πρότυπο Web 3D Service (W3DS), μια υπηρεσία 3D ενσάρκωσης σε αρχεία μορφής X3D και KML/COLLADA.

Ένα υποσύνολο του CityGML έχει εφαρμοστεί με επιτυχία και έχει αξιολογηθεί στο έργο “Pilot 3D” του GDI NRW το 2005. Οι συμμετέχοντες προέρχονταν από όλη τη Γερμανία και ανέδειξαν σενάρια σχεδιασμού πόλης και τουριστικές εφαρμογές. Σήμερα, το επίσημο 3D μοντέλο της πόλης του Βερολίνου βασίζεται στο μοντέλο δεδομένων CityGML και χρησιμοποιεί το CityGML ως μορφότυπο ανταλλαγής μεταξύ βάσεων δεδομένων, συντακτών και συστημάτων παρουσίασης. Επίσης, τα 3D μοντέλα πόλης των πόλεων Στουτγάρδη, Μπόχουμ, Έσσεν, Ντόρτμουντ, Κολωνία και Βόννη βασίζονται στο μοντέλο CityGML.

Μέχρι τις αρχές του 2006, ένα έργο CityGML στα πλαίσια της Ευρωπαϊκής Έρευνας Χωρικών Δεδομένων (European Spatial Data Research – EuroSDR) άρχισε να επικεντρώνεται στην ευρωπαϊκή εναρμόνιση των 3D μοντέλων πόλεων. Από τον Ιούνιο έως το Δεκέμβριο του 2006, το CityGML ήταν ενεργό και αξιολογήθηκε στην ακτίνα CAD / GIS / BIM της OpenGIS Web Services Testbed #4 (OWS-4) [7].

3.2 Σχετικοί Τύποι 3D Αρχείων

Γενικά υπάρχει μεγάλη ποικιλία από τύπους αρχείων για ανταλλαγή 3D δεδομένων, όπως BIM/IFC, GML, X3D, KML/COLLADA, SHP, DXF, VRML κ.ά. Στην ενότητα αυτή, εξετάζονται αναλυτικότερα δύο ευρέως διαδεδομένοι τύποι αρχείων,

που σχετίζονται άμεσα με την εφαρμογή της παρούσας εργασίας, το GML3 και το KML/COLLADA.

3.2.1 GML3

Το Geography Markup Language (GML), γνωστό και ως πρότυπο ISO 19136, είναι ένα διεθνές πρότυπο για την έκφραση, αποθήκευση και ανταλλαγή χωρικών δεδομένων, αποτελεί γραμματική της eXtensible Markup Language (XML) και εκδόθηκε από την OGC. Το GML χρησιμεύει ως γλώσσα μοντελοποίησης για γεωγραφικά συστήματα, καθώς και ως μια ανοιχτή μορφή ανταλλαγής για γεωγραφικές συναλλαγές στο διαδίκτυο.

Το GML περιλαμβάνει ένα σύνολο πρωτογενών τύπων, που συνδυάζονται για την υλοποίηση schemas και οι τύποι αυτοί περιλαμβάνουν: χαρακτηριστικά, γεωμετρία, συστήματα αναφοράς συντεταγμένων, τοπολογία, χρόνο, δυναμικά χαρακτηριστικά, εικονιστικά δεδομένα – γεωγραφικές εικόνες, μονάδες μέτρησης, διευθύνσεις, παρατηρήσεις, κανόνες παρουσίασης, στυλ χαρτών κλπ. Η ικανότητα να ενσωματώνει όλες τις μορφές των γεωγραφικών πληροφοριών είναι το κλειδί για τη σημασία της χρησιμότητας του GML.

Η έκδοση 3, GML3 κυκλοφόρησε το 2003, όπου πάνω σε αυτή την τρέχουσα σταθερή έκδοση 3.1.1 βασίζεται το CityGML. Πολλά εθνικά μοντέλα τοπογραφίας και κτηματολογίου βασίζονται ήδη σε πρότυπα της οικογένειας ISO 191xx και σε GML, όπως στη Γερμανία, το Ηνωμένο Βασίλειο, την Ολλανδία.

Ορισμένοι στόχοι σχεδιασμού του GML3 είναι οι εξής:

- Η δημιουργία ενός ανοικτού πλαισίου για τον καθορισμό των χωρικών μοντέλων δεδομένων.
- Η δυνατότητα μεταφοράς και αποθήκευσης των schemas και των συνόλων δεδομένων.
- Η υποστήριξη schemas, π.χ. schemas GML καθορίζουν συγκεκριμένες μορφές ανταλλαγής, όπως το CityGML.
- Η υποστήριξη καταναμημένων χωρικών schemas και συνόλων δεδομένων.
- Η δυνατότητα δημιουργίας υποσυνόλων του GML3.
- Η διευκόλυνση της διαλειτουργικότητας στα πλαίσια του χειρισμού των χωρικών δεδομένων.

Το GML3 διαθέτει σπονδυλωτή δομή και έχει δυνατότητες αντικειμενοστραφούς μοντελοποίησης (γενίκευση / εξειδίκευση και ομαδοποιήσεις). Υποστηρίζει και απλές και πολύπλοκες γεωμετρίες, δηλαδή 0Δ (σημεία), 1Δ (ευθείες, γραμμές, καμπύλες, τόξα), 2Δ (επίπεδες και μη επιφάνειες) και 3Δ (όγκους και σύνθεση διαφόρων γεωμετριών). Επιπλέον, το GML3 περιλαμβάνει τοπολογία, συστήματα αναφοράς συντεταγμένων και χρονικά και καλύψεις από εικόνες, χάρτες και Triangulated

Irregular Network (TINs), δυναμικά χαρακτηριστικά, μονάδες μέτρησης, διευθύνσεις, μεταδεδομένα και πολλά άλλα και είναι σχεδιασμένο, ώστε να μπορεί να επεκταθεί σημασιολογικά [13].

3.2.2 KML / COLLADA

Το Keyhole Markup Language (KML) είναι μια σημειογραφία XML για την έκφραση γεωγραφικού σχολιασμού και την οπτικοποίηση εντός διαδικτύου σε 2Δ χάρτες και 3Δ προγράμματα περιήγησης της Γης. Το KML αναπτύχθηκε για χρήση με το Google Earth, το οποίο ονομάστηκε αρχικά Keyhole Earth Viewer. Δημιουργήθηκε από την Keyhole Inc, η οποία εξαγοράστηκε από την Google το 2004. Το KML έγινε ένα διεθνές πρότυπο της OGC το 2008. Το Google Earth ήταν το πρώτο ικανό πρόγραμμα για θέαση και γραφική επεξεργασία αρχείων KML. Το αρχείο KML καθορίζει μια σειρά από χαρακτηριστικά (σημεία περιοχών, εικόνες, πολύγωνα, 3Δ μοντέλα, περιγραφές κειμένου κλπ.) προς εμφάνιση στο Google Earth ή σε οποιοδήποτε άλλο γεωχωρικό λογισμικό εφαρμόζοντας την κωδικοποίηση KML. Το KML μοιράζεται μερικά στοιχεία από την ίδια γραμματική που χρησιμοποιεί και το GML [42].

Το COLLABorative Design Activity (COLLADA) είναι μια μορφή αρχείου ανταλλαγής για διαδραστικές 3Δ εφαρμογές. Το διαχειρίζεται η κοινοπραξία μη κερδοσκοπικής τεχνολογίας, η Khronos Group και έχει υιοθετηθεί από τον ISO ως μία δημόσια διαθέσιμη προδιαγραφή, ISO/PAS 17506. Το COLLADA αποτελεί ένα ανοιχτό πρότυπο schema XML για την ανταλλαγή ψηφιακών στοιχείων μεταξύ διαφόρων γραφικών εφαρμογών λογισμικού. Η μορφή αυτού του αρχείου προήλθε από την Sony και χρησιμοποιείτο στο Playstation. Πλέον η Google χρησιμοποιεί συχνά το COLLADA για 3Δ αντικείμενα (Google Earth, Google SketchUp) και γι' αυτό η χρήση του ολοένα και αυξάνεται. Επιπλέον, έχει δυνατότητα περιγραφής γεωμετρίας, τοπολογίας και υφής αλλά δε διαθέτει σημασιολογική πληροφορία.

Οι τύποι αρχείων KML και COLLADA συχνά χρησιμοποιούνται συγχωνευμένα ως KML/COLLADA, όπως στο Google Earth και στο Google SketchUp. Τα αρχεία KML πολύ συχνά διανέμονται σε αρχεία KMZ, τα οποία είναι συμπιεσμένα αρχεία KML με .kmz επέκταση και τα οποία μπορούν πρόσθετα να περιέχουν αρχεία COLLADA, πληροφορίες υφών και άλλα γραφικά και εικονίδια [31].

3.3 Στόχος του CityGML

Ο στόχος της ανάπτυξης του CityGML ήταν η επίτευξη ενός κοινού ορισμού και κατανόησης των βασικών οντοτήτων, χαρακτηριστικών και σχέσεων μέσα σε ένα 3Δ μοντέλο πόλης. Παρέχοντας ένα βασικό μοντέλο με οντότητες, οι οποίες σχετίζονται με πολλούς κλάδους, το μοντέλο πόλης μπορεί να γίνει ένας κεντρικός κόμβος πληροφοριών, στον οποίο διαφορετικές εφαρμογές μπορούν να επισυνάψουν στον τομέα τους συγκεκριμένες πληροφορίες (Σχ. 3-1). Το σημασιολογικό 3Δ μοντέλο

πόλης επομένως, ως κεντρικός κόμβος πληροφοριών, συνδέει διαφορετικούς κλάδους εναρμονίζοντας την ανταλλαγή πληροφοριών με τις οντότητές του [14].



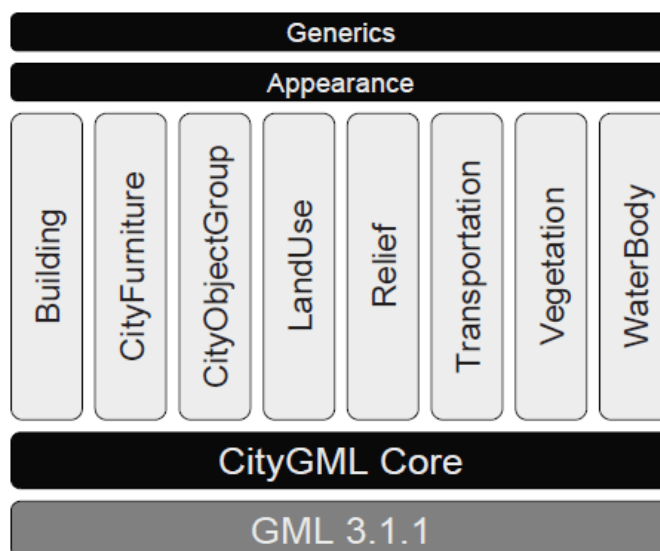
Σχήμα 3–1: Σύνδεση διαφορετικών κλάδων με το 3Δ μοντέλο πόλης
Πηγή: Kolbe T.H., 2009

Κάποιοι πιο εξειδικευμένοι από τους στόχους του CityGML είναι οι ακόλουθοι:

1. Η ίδρυση υψηλού βαθμού σημασιολογικής και συντακτικής διαλειτουργικότητας:
 - Δυνατότητα πολυλειτουργικής χρήσης των 3Δ μοντέλων.
 - Καθορισμός ενός κοινού μοντέλου πληροφοριών (οντολογία).
 - 3Δ γεωβάση δεδομένων.
2. Η εκπροσώπηση 3Δ τοπογραφίας:
 - 3Δ σχήματα, κυρίως επιφάνειες και όγκοι.
 - Καθορισμός των πιο αντιπροσωπευτικών τύπων των χαρακτηριστικών, που χρησιμοποιούνται σε μία ευρεία ποικιλία εφαρμογών.
3. Η καταλληλότητα για υποδομές χωρικών δεδομένων:
 - Χαρτογράφηση σε κατάλληλη μορφή ανταλλαγής, GML3.
 - Δυνατότητα σύνδεσης κάθε χαρακτηριστικού του CityGML με πιο εξειδικευμένα, λειτουργικά μοντέλα / εξωτερικές πηγές δεδομένων.
4. Να είναι απλό στη χρήση για διάφορες εφαρμογές.
 - Καλά καθορισμένη σημασιολογία για τους τύπους των χαρακτηριστικών.
 - Υποσύνολο GML3 γεωμετριών (χωρίς καμπύλες γραμμές, επιφάνειες). Αυτό έχει ως πλεονέκτημα να είναι άμεσα διαχειρίσιμο μέσα σε 3Δ γεωβάσεις [13].

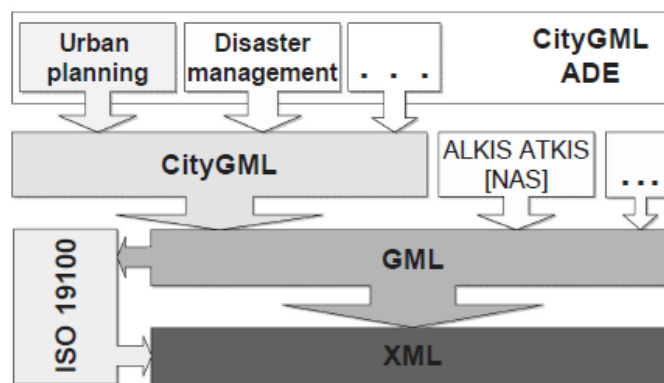
3.4 Οργάνωση του CityGML

Το CityGML είναι λειτουργικά χωρισμένο σε ενότητες (Σχ. 3-2). Οι κάθετες ενότητες αντιστοιχούν στα ονόματα των διαφορετικών θεματικών μοντέλων (κτίρια, αντικείμενα της πόλης, χρήσεις γης, ανάγλυφο, μεταφορά, βλάστηση, υδάτινες μάζες). Οι οριζόντιες ενότητες (CityGML Core, Appearance, Generics) αντιστοιχούν στις δομές, που είναι συναφείς ή που μπορούν να εφαρμοστούν σε όλες τις κάθετες θεματικές ενότητες.



Σχήμα 3-2: Δομή του CityGML
Πηγή: Kolbe T.H., 2009

Αντικείμενα πέρα από τα προαναφερόμενα θεματικά μοντέλα, τα οποία δεν μοντελοποιούνται ακόμη ρητώς, μπορούν να αναπαρασταθούν χρησιμοποιώντας την κατηγορία των γενικών αντικειμένων και ιδιοτήτων, Generics. Πρόσθετα, επεκτάσεις του μοντέλου δεδομένων CityGML, που εφαρμόζονται σε συγκεκριμένα πεδία εφαρμογής, μπορούν να υλοποιούνται με τη χρήση των επεκτάσεων Application Domain Extensions (ADE) (Σχ. 3-3), όπως GeoBIM (για συμπλήρωση λεπτομερούς πληροφορίας από BIM/IFC), Noise (για ανάλυση θορύβου), Utility Networks (για δίκτυα υποδομών), Facility Management (για διαχείριση εγκαταστάσεων), Hydro (για ανάλυση πλημμύρων).



Σχήμα 3-3: XML schema ADE βασισμένο στο schema του CityGML
 Πηγή: Kolbe T.H., 2009

Χωρικά αντικείμενα ίδιου σχήματος, που εμφανίζονται πολλές φορές σε διάφορες θέσεις, όπως π.χ. δέντρα, μπορούν επίσης να μοντελοποιηθούν ως πρότυπα και να χρησιμοποιηθούν πολλές φορές στο μοντέλο της πόλης. Αντικείμενα, που δεν αποτελούνται γεωμετρικά από κλειστά στερεά σχήματα, μπορούν να σφραγιστούν, ώστε να υπολογιστεί ο όγκος τους (π.χ. υπόγειες διαβάσεις πεζών, σήραγγες, υπόστεγα αεροπλάνων). Τα αντικείμενα αυτά μπορούν να σφραγιστούν χρησιμοποιώντας την κατηγορία ClosureSurfaces. Η έννοια TerrainIntersectionCurve εισάγεται για να ενσωματώσει 3Δ αντικείμενα στο ΨΜΕ στη σωστή τους θέση, προκειμένου να αποφευχθεί βύθιση ή υπερύψωση π.χ. κτιρίων σε σχέση με το έδαφος [7].

3.5 Επίπεδα λεπτομέρειας LoD του CityGML

Το CityGML διαφοροποιείται σε 5 συνεχόμενα επίπεδα λεπτομέρειας Level of Detail (LoD), τα LoD0, LoD1, LoD2, LoD3 και LoD4 (Σχ. 3-4 και 3-5). Όσο μεγαλώνει το LoD, τόσο πιο λεπτομερή γίνονται τα αντικείμενα του μοντέλου ως προς τη γεωμετρία τους και τη θεματική τους διαφοροποίηση και απεικονίζονται με μεγαλύτερη ακρίβεια και πολυπλοκότητα δομής. Πολλά αρχεία CityGML μπορούν, χωρίς όμως να χρειάζεται, να περιέχουν πολλαπλές αναπαραστάσεις για κάθε αντικείμενο σε διαφορετικά LoDs ταυτόχρονα.



Σχήμα 3-4: Επίπεδα λεπτομέρειας LoDs του CityGML
 Πηγή: GeoConnexion International Magazine, 2015

Πιο συγκεκριμένα, το μοντέλο LoD0 αφορά το χαμηλότερο επίπεδο λεπτομέρειας. Αντιστοιχεί ουσιαστικά σε ένα 2,5Δ μοντέλο αναγλύφου, ΨΜΕ, πάνω στο οποίο μπορεί να προσαρμοστεί μία αεροφωτογραφία ή ένας χάρτης και με το LoD0 απεικονίζεται ένα τοπίο.

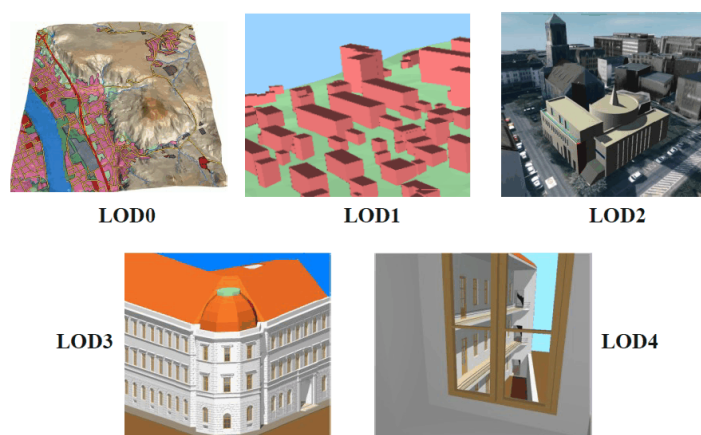
Το μοντέλο LoD1 περιλαμβάνει πρισματικά κτίρια με επίπεδες στέγες και χωρίς δομή σε αυτές και με αυτό απεικονίζεται γενικά μία πόλη.

Αντίθετα, το μοντέλο LoD2 διαφοροποιεί τη δομή της οροφής των κτιρίων, καθώς και τις επιφάνειές τους θεματικά, επίσης μπορεί να αναπαραστήσει και βλάστηση και αντιστοιχεί σε μεγαλύτερες κτιριακές εγκαταστάσεις, όπως μπαλκόνια και σκάλες. Με το μοντέλο LoD2 δηλαδή, απεικονίζονται συνοικίες μίας πόλης.

Στο μοντέλο LoD3 απεικονίζονται αρχιτεκτονικά μοντέλα με μεγάλη λεπτομέρεια ως προς τη δομή των τοίχων, των οροφών, των μπαλκονιών κλπ. και σε αυτές τις δομές μπορούν να απεικονιστούν υφές υψηλής ανάλυσης. Επιπλέον, απεικονιζόμενο στοιχείο ενός μοντέλου LoD3 είναι και η βλάστηση με σχετικά μεγάλη λεπτομέρεια.

Τέλος, ένα μοντέλο LoD4 ολοκληρώνει ένα μοντέλο LoD3 με την προσθήκη εσωτερικής δομής 3Δ αντικειμένων, δηλαδή σε κτίρια απεικονίζονται δωμάτια, εσωτερικές σκάλες, πόρτες, έπιπλα κλπ [7].

Τα LoDs σε συνδυασμό με το εξειδικευμένο περιεχόμενο των πληροφοριών τους και τις ακρίβειές τους αποτελούν ουσιαστικά κατηγορίες ποιότητας. Μόνο με το όνομα του LoD ενός συνόλου δεδομένων CityGML ή των αντικειμένων ενός συνόλου δεδομένων CityGML μπορεί κανείς αμέσως να αντιληφθεί την κατηγορία ποιότητας του συνόλου δεδομένων του 3Δ μοντέλου πόλης. Η κατηγορία LoD κάνει τα σύνολα δεδομένων συγκρίσιμα και τόσο ο πάροχος όσο και ο πελάτης - χρήστης παίρνει μία ιδέα για το βαθμό λεπτομέρειας, την πολυπλοκότητα και την ακρίβεια των δεδομένων. Πέρα από τα κτίρια, η έννοια LoD ισχύει και για τις άλλες κλάσεις αντικειμένων [14].



Σχήμα 3-5: Επίπεδα λεπτομέρειας LoDs του CityGML
Πηγή: Gröger G., Kolbe T. H., Czerwinski A., Nagel C., 2008

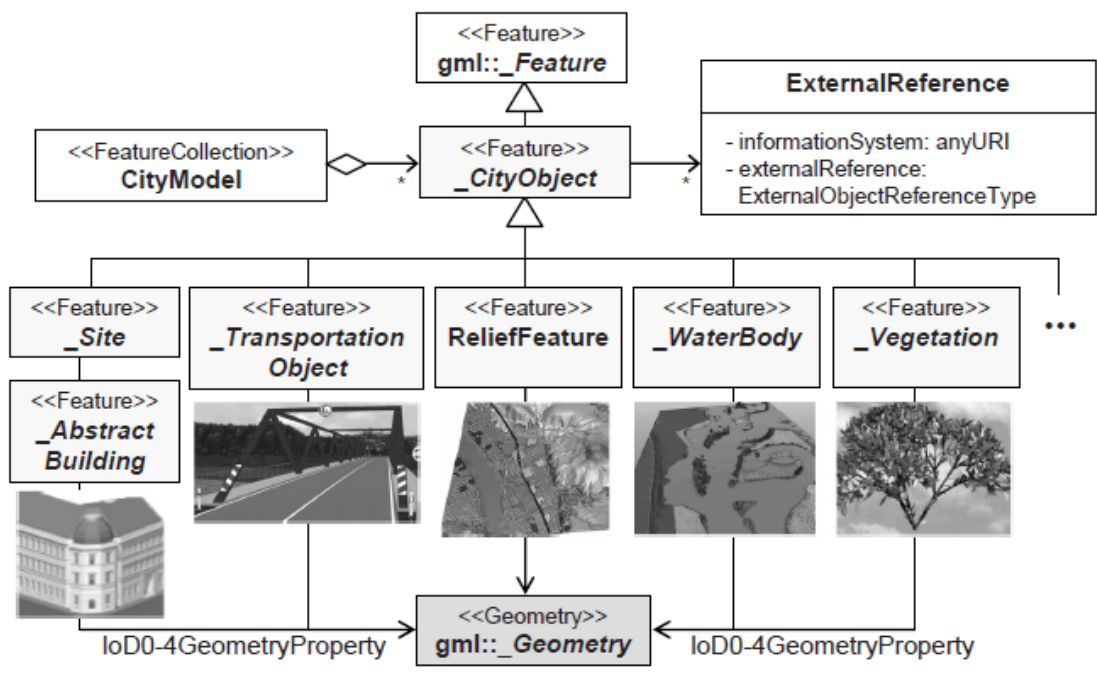
3.6 Βασικά τμήματα του CityGML

Το CityGML αντιπροσωπεύει τέσσερα διαφορετικά τμήματα των εικονικών 3Δ μοντέλων πόλεων, δηλαδή τη σημασιολογία, τη γεωμετρία, την τοπολογία και την εμφάνιση.

3.6.1 Σημασιολογία

Το σημασιολογικό μοντέλο CityGML χρησιμοποιεί το πρότυπο ISO 19100 για την μοντελοποίηση των γεωγραφικών χαρακτηριστικών. Σύμφωνα με το πρότυπο ISO 19109 τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά είναι αφαιρέσεις των πραγματικών αντικειμένων [11]. Έχουν μοντελοποιηθεί κατά κλάσεις, οι οποίες τυπικά προσδιορίζονται με Unified Modeling Language (UML) σημειογραφία [19]. Τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά μπορούν να έχουν έναν αυθαίρετο αριθμό χωρικών και μη χωρικών ιδιοτήτων. Το CityGML παρέχει ορισμούς κλάσεων, κανονιστικές ρυθμίσεις και εξηγήσεις σημασιολογίας για τα πιο σημαντικά γεωγραφικά χαρακτηριστικά εντός εικονικών 3Δ μοντέλων πόλης, συμπεριλαμβανομένων των κτιρίων, των ΨΜΕ, των υδάτινων μαζών, της βλάστησης και των αντικειμένων της πόλης.

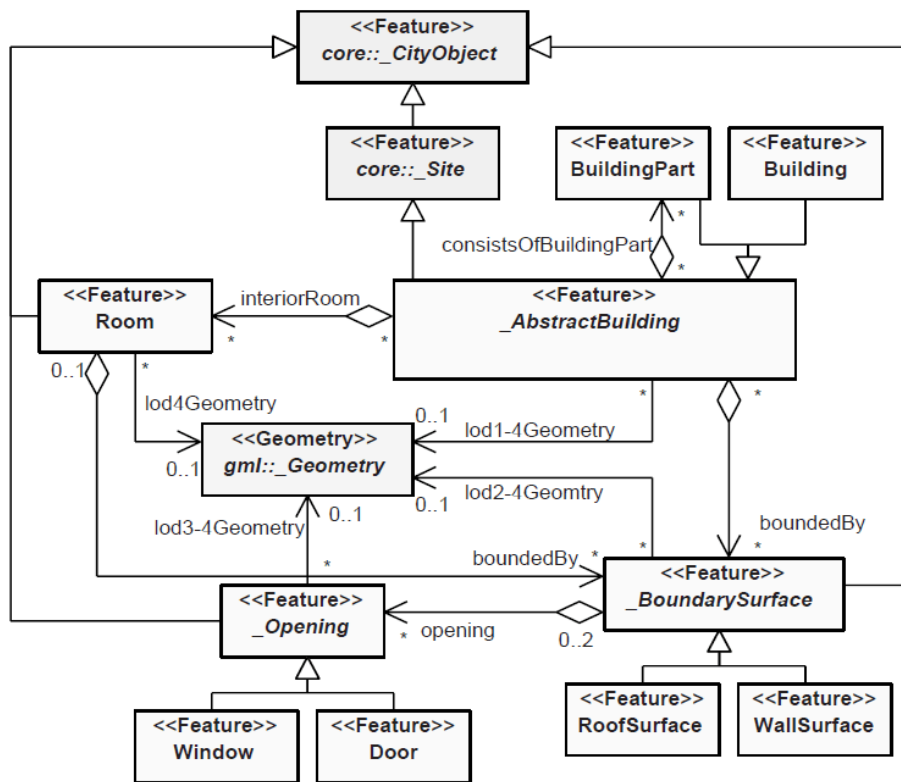
Στο CityGML υπάρχει μία κύρια ταξική ιεραρχία επιπέδων (Σχ. 3-6). Η βασική κλάση όλων των θεματικών κατηγοριών είναι η αφηρημένη κλάση CityObject. Κληρονομεί το όνομα των ιδιοτήτων, την περιγραφή και το gml:id από την GML υπερκλάση και παρέχει τις επιπλέον ιδιότητες creationDate και terminationDate, προκειμένου να μοντελοποιήσει τις διαφορετικές καταστάσεις των αντικειμένων βάσει των χρονικών περιόδων. Κάθε CityObject μπορεί να συνδέεται με αντικείμενα σε άλλα σύνολα δεδομένων ή εξωτερικές βάσεις δεδομένων από έναν αυθαίρετο αριθμό των ExternalReferences. Τα CityObjects μπορούν να συγκεντρωθούν για να δημιουργηθεί ένα CityModel, το οποίο είναι μια υποκατηγορία της υπερκλάσης FeatureCollection. Οι υποκατηγορίες του CityObject ανήκουν σε διαφορετικές θεματικές περιοχές, εντός των οποίων καθορίζονται τα αντίστοιχα στοιχεία.



Σχήμα 3-6: UML διάγραμμα της κύριας ταξικής ιεραρχίας επιπέδων του CityGML
 Πηγή: Kolbe T.H., 2009

Η βασική κλάση του μοντέλου ενός κτιρίου είναι η AbstractBuilding, από την οποία προέρχονται οι δύο μη αφηρημένες κλάσεις Building και BuildingPart. Αυτές οι τρεις κλάσεις ακολουθούν το γενικό σύνθετο μοτίβο σχεδιασμού. Ένα Building ή BuildingPart περιγράφεται από προαιρετικές ιδιότητες, που κληρονομούνται από το AbstractBuilding, όπως λειτουργία, χρήση, κλάση, έτος κατασκευής και κατεδάφισης, τύπος οροφής, μετρημένο ύψος, αριθμός και ξεχωριστά ύψη ορόφων πάνω και κάτω από το έδαφος. Στο Building και τα BuildingParts μπορούν να εκχωρηθούν πολλαπλές ταχυδρομικές διευθύνσεις.

Όσον αφορά το LoD2, οι επιφάνειες των Buildings και των BuildingParts μπορούν να παρασταθούν ως σημασιολογικά αντικείμενα. Το BoundarySurface είναι η αφηρημένη υπερκλάση αυτών των θεματικών αντικειμένων έχοντας ως υποκατηγορίες το RoofSurface, WallSurface, GroundSurface, ClosureSurface κλπ. Μιας και προέρχονται επίσης από την κλάση CityObject, κληρονομούν τις ιδιότητές του και τις σχέσεις του. Σε LoD3 και LoD4, ανοίγματα σε επιφάνειες μπορούν να εκπροσωπηθούν από ξεκάθαρες θεματικές ιδιότητες των κλάσεων Window ή Door. Μόνο σε LoD4, τα κτίρια επιτρέπεται να έχουν Rooms (Σχ. 3-7).



Σχήμα 3–7: UML διάγραμμα μοντέλου κτιρίου του CityGML
 Πηγή: Kolbe T.H., 2009

Ο καθορισμός αυτού του μοντέλου δεδομένων περιορίζει τον τρόπο, με τον οποίο μπορούν να εκπροσωπηθούν τα κτίρια σε ένα μοντέλο πόλης. Σε συνδυασμό με τους κανονιστικούς ορισμούς των κλάσεων των γνωρισμάτων, αυτό έχει αντίκτυπο στον τρόπο με τον οποίο θα πρέπει να καταχωρούνται και να δομούνται τα δεδομένα. Αυτό κάνει επικερδές το να αναπτυχθούν νέες εφαρμογές, που αξιοποιούν τη σημασιολογική πληροφορία και τη δομή των CityObjects [14].

3.6.2 Γεωμετρία

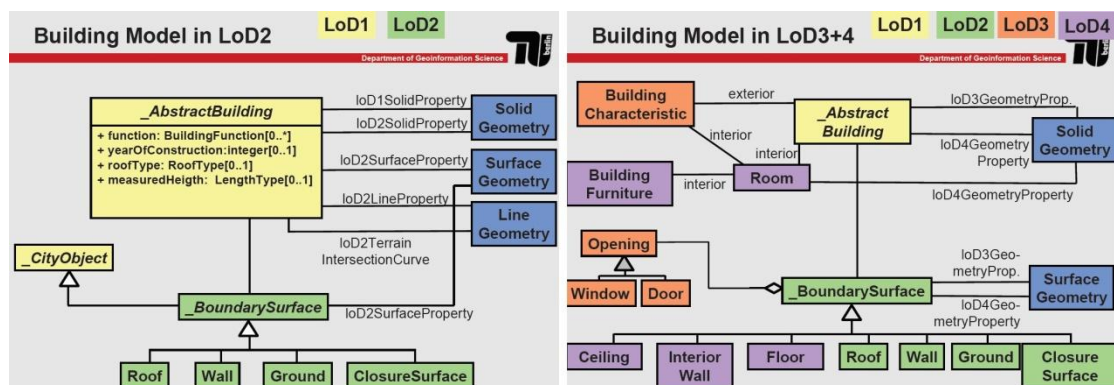
Το CityGML χρησιμοποιεί ένα υποσύνολο του μοντέλου γεωμετρίας GML3, το οποίο είναι μια υλοποίηση του προτύπου ISO 19107. Σύμφωνα με το πρότυπο ISO 19107 και το GML3, οι γεωμετρίες των γεωγραφικών χαρακτηριστικών εκπροσωπούνται ως αντικείμενα που έχουν μια ταυτότητα και περαιτέρω γεωμετρικές υποδομές. Το GML3 παρέχει κλάσεις για 0Δ έως 3Δ για απλές και σύνθετες γεωμετρίες. Το κάθε στερεό (με όγκο) οριοθετείται από μία κλειστή επιφάνεια. Στην περίπτωση όπου για παράδειγμα οι επιφάνειες των κτιρίων δεν είναι κλειστές ή περιέχουν πρόσθετες επιφάνειες, οι οποίες δεν ανήκουν στο όριο του όγκου, π.χ. μία προεξοχή οροφής, τότε η γεωμετρία σχεδόν όλων των θεματικών χαρακτηριστικών μπορεί να εκπροσωπηθεί είτε από τα MultiSurfaces είτε από τα Solids.

Όλες οι συντεταγμένες πρέπει να ανήκουν σε ένα παγκόσμιο σύστημα αναφοράς συντεταγμένων, Coordinate Reference System (CRS) και δεν επιτρέπεται κανένας

τοπικός μετασχηματισμός. Τα 3Δ CRS αναφέρονται σε γεωγραφικά ή παγκόσμια προβολικά συστήματα αναφοράς. Το GML3 υποστηρίζει σύνθετα 2Δ+1Δ CRS με διαφορετικά συστήματα αναφοράς για επιπεδομετρία (x, y) και υψομετρία συντεταγμένες (z) αντίστοιχα. Γενικά, τα CRS καθορίζουν το πλαίσιο για τις συντεταγμένες του πραγματικού κόσμου και συχνά διαφέρουν για διαφορετικές χώρες ή ακόμα και περιοχές. Ωστόσο, η σύνδεση της κάθε γεωμετρίας με ένα CRS διευκολύνει την ενσωμάτωση των συνόλων δεδομένων και αποφεύγεται η αναζήτηση του αντίστοιχου γεωδαιτικού συστήματος προς εφαρμογή και οι διάφοροι μετασχηματισμοί συντεταγμένων (Σχ. 3-9).

Το πλεονέκτημα της ύπαρξης μόνο απόλυτων συντεταγμένων είναι ότι κάθε γεωμετρικό αντικείμενο ανήκει σε ένα ακριβώς σταθερό μέρος στο χώρο. Αυτό επιτρέπει την εύκολη δημιουργία και διατήρηση χωρικών ευρετηρίων σε γεωβάσεις ή συστήματα γεωπληροφορικής. Στην πραγματικότητα, εμπορικές και ανοικτού κώδικα Συστήματα Διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων (ΣΔΒΔ), όπως Oracle Spatial ή PostGIS, υποστηρίζουν τόσο γεωμετρικά μοντέλα του GML όσο και διαφορετικά CRS. Επιπλέον, προκειμένου να μπορούν να επαναχρησιμοποιούνται αντικείμενα σε μία πόλη, όπως φανοστάτες, το CityGML παρέχει μία επέκταση γεωμετρίας, την ImplicitGeometry. Χαρακτηριστικά με ImplicitGeometries μπορούν να ανακτηθούν από ένα GIS ή από μία χωρική βάση δεδομένων. Το CityGML περιορίζεται σε μη καμπυλωτές γεωμετρίες, καθώς οι καμπυλωτές συχνά δεν μπορούν να είναι διαχειρίσιμες από GIS ή χωρικά ΣΔΒΔ, εκτός κι αν προσεγγιστούν ως πολυεδρικές επιφάνειες.

Σύμφωνα με το πρότυπο ISO 19109, τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά μπορούν να ενταχθούν σε περισσότερες από μία χωρικές ιδιότητες. Αυτό γενικά χρησιμοποιείται στο CityGML, όπου οι περισσότερες κλάσεις χαρακτηριστικών, όπως AbstractBuilding ή Room, έχουν διαφορετικές γεωμετρίες για διαφορετικά LoDs από πολλά σύνολα (π.χ. lod1Solid, lod2Solid, lod3Solid) έως κοινή γεωμετρική κλάση (π.χ. Solid) (Σχ. 3-8) [14].



Σχήμα 3-8: UML διάγραμμα μοντέλου κτιρίου σε LoDs του CityGML
Πηγή: Kolbe T.H., 2007

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<CityModel xmlns="http://www.citygml.org/citygml/1/0/0" ...further namespaces omitted>
  <gml:name>Cologne</gml:name>
  <gml:boundedBy>
    <gml:Envelope>
      <srsName="urn:ogc:def:crs,crs:EPSG:6.12:31466,crs:EPSG:6.12:5783">
        <gml:pos> 5659800.0 2561800.0 15.9 </gml:pos>
        <gml:pos> 5662200.0 2564200.0 95.7</gml:pos>
      </gml:Envelope>
    </gml:boundedBy>
  <!-- now come the CityObjects like Buildings, DTM, Roads etc. -->
  <cityObjectMember>
    <Building gml:id="Building0815">
      <!-- shown on following slides -->
    </Building>
  </cityObjectMember>
  <!-- more CityObjects here -->
</CityModel >

```

Combined horizontal and vertical CRS

Bounding volume of the whole city model

Σχήμα 3–9: Παράδειγμα δομής CityGML αρχείου για απλό κτίριο_1
 Πηγή: Kolbe T.H., 2007

```

...
<Building gml:id="Building0815">
  <gml:name>My nice building</gml:name>
  <externalReference>
    <informationSystem>http://www.adv-online.de</informationSystem>
    <externalObject>
      <uri>urn:adv:oid:DEHE123400007001</uri>
    </externalObject>
  </externalReference>
  <function>1012</function>
  <yearOfConstruction>1985</yearOfConstruction>
  <roofType>3100</roofType>
  <measuredHeight uom="m">8.0</measuredHeight>
  <lod2Solid>
    <!-- geometry (for Level of Detail 2) see next slide -->
  </lod2Solid>
</Building>
...

```

Σχήμα 3–10: Παράδειγμα δομής CityGML αρχείου για απλό κτίριο_2
 Πηγή: Kolbe T.H., 2007

```

<!-- continued from previous slide -->
<lod2Solid>
  <gml:Solid gml:id="solid0815" >
    <gml:exterior>
      <gml:CompositeSurface>
        <gml:surfaceMember>
          <gml:Polygon gml:id="polygon4711">
            <gml:exterior>
              <gml:LinearRing>
                <gml:pos> 5660398.399 2562509.711 41.79 </gml:pos>
                <gml:pos> 5660402.019 2562514.546 41.79 </gml:pos>
                .....
              </gml:LinearRing>
            </gml:exterior>
          </gml:Polygon>
        </gml:surfaceMember>
      <!-- further surfaces of the solid; closing tags omitted due to limited space -->
    </gml:exterior>
  </gml:Solid>

```

Please note that geometries are objects that can have IDs



Σχήμα 3–11: Παράδειγμα δομής CityGML αρχείου για απλό κτίριο_3
 Πηγή: Kolbe T.H., 2007

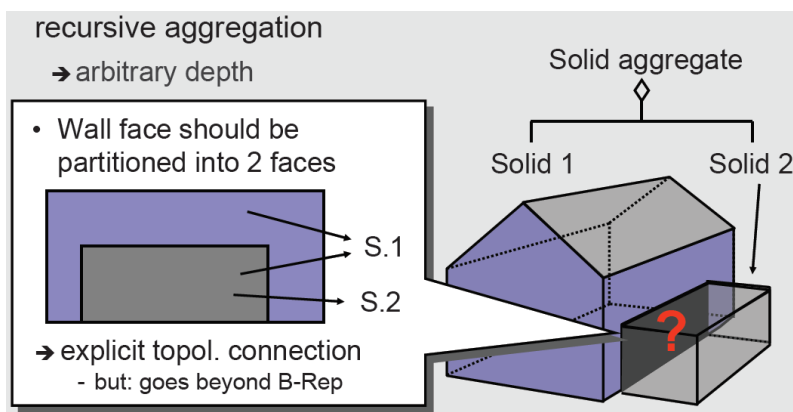
3.6.3 Τοπολογία

Για πολλές εφαρμογές, η τοπογραφική ορθότητα της γεωμετρίας των αντικειμένων είναι ζωτικής σημασίας. Για παράδειγμα, οι επιφάνειες, που οριοθετούν ένα κτίριο, πρέπει να κλείνουν μεταξύ τους, έτσι ώστε να είναι εφικτό να υπολογιστεί ο όγκος του κτιρίου. Επιπλέον, τα στερεά των όμορων αντικειμένων, όπως τα BuildingParts, πρέπει να εφάπτονται αλλά το εσωτερικό τους δεν επιτρέπεται να διεισδύει το ένα στο άλλο διότι ο χώρος μπορεί να καταλαμβάνεται μόνο από ένα φυσικό αντικείμενο. Όλοι αυτοί οι κανόνες για τα αντικείμενα και τη γεωμετρία τους σε σχέση με τον χώρο αποτελούν τους τοπολογικούς κανόνες.

Στο παρελθόν, διαφορετικά πλαίσια έχουν παρουσιαστεί για την εκπροσώπηση της 3Δ τοπολογίας. Ωστόσο, τα περισσότερα από αυτά προτείνουν μία γεωμετρική - τοπολογική δομή, όπου οι συντεταγμένες αποθηκεύονται μόνο για τους κόμβους ή τα σημεία που συνδέονται με τους κόμβους. Υψηλότερης τάξης διαστάσεων στοιχεία κατασκευάζονται επομένως με τη σύνδεση χαμηλότερης τάξης διαστάσεων. Με τον τρόπο αυτό, κόμβοι, άκρα και όψεις μπορούν να είναι κοινά για διαφορετικά στοιχεία, προκειμένου να κατασκευάσουν πολύπλοκα σχήματα.

Το τοπολογικό μοντέλο του προτύπου ISO 19107 και του GML3 ακολουθεί την γραμμή της πλήρους αποσύνθεσης τοπολογικών στοιχείων η διαστάσεων σε στοιχεία (n-1) διαστάσεων, τα οποία πάλι με τη σειρά τους αποσυντίθενται στο επίπεδο των κόμβων (0Δ). Επιπλέον, απαιτείται κατάλληλη αντιστοιχία των τοπολογικών

ιδιοτήτων από το GML3 στο schema εφαρμογής του CityGML, δηλαδή εκτός από τις γεωμετρικές ιδιότητες, όπως lod1Solid έως lod4Solid της κατηγορίας Building, θα πρέπει να προστεθούν στο μοντέλο δεδομένων και τοπολογικές ιδιότητες, όπως lod1TopoSolid έως lod4TopoSolid. Υπάρχουν πολλές περιπτώσεις που δεν είναι απαραίτητο να αποσυντεθεί ένα 3D σχήμα κτιρίου μέχρι το επίπεδο των κόμβων, ώστε να καθοριστεί η τοπολογική σύνδεση μεταξύ π.χ. ενός σπιτιού με το γκαράζ του, αλλά αρκεί να επαναχρησιμοποιηθεί η κοινή επιφάνεια του τοίχου του σπιτιού και του γκαράζ (Σχ. 3-12) [14].



Σχήμα 3-12: Τοπολογική σχέση μεταξύ σπιτιού και γκαράζ
 Πηγή: Kolbe T.H., 2007

3.6.4 Εμφάνιση

Οι πληροφορίες και ιδιότητες σχετικά με την εμφάνιση μίας επιφάνειας θεωρούνται κι αυτές, πέρα από την σημασιολογία και τις χωρικές - γεωμετρικές ιδιότητες, αναπόσπαστο μέρος των εικονικών 3D μοντέλων πόλεων. Οι εμφανίσεις (Appearances) απεικονίζουν χαρακτηριστικά των επιφανειών, όπως αυτά εμφανίζονται σε συγκεκριμένους αισθητήρες, όπως RGB ή υπέρυθρες (IR) κάμερες. Οι εμφανίσεις μπορούν να χρησιμεύσουν και για οπτικοποίηση και για εργασίες ανάλυσης. Σε κάθε επιφάνεια μπορούν να εκχωρηθούν πολλές εμφανίσεις, για παράδειγμα καταγραφή άλλης RGB υφής μίας επιφάνειας κτιρίου το καλοκαίρι και άλλης το χειμώνα. Οι διαφορετικές αυτές υφές της ίδιας επιφάνειας μπορούν να αντιστοιχηθούν σε διαφορετικά θέματα, ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν και οι δύο κατάλληλα στο CityGML (multi-texturing).

Τα δεδομένα εμφάνισης δίνονται από εικόνες υφών ή από καθορισμένα υλικά, όπως υιοθετήθηκαν από X3D και COLLADA. Το CityGML παρέχει διαφορετικούς τρόπους για το πώς τα δεδομένα raster αντιστοιχούνται στις επιφάνειες. Τα GeoreferencedTextured για παράδειγμα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να περιγράψουν την εμφάνιση μη κατακόρυφων επιφανειών με γεωαναφορά. Επιπλέον, τα ParameterizedTextures χρησιμοποιούν είτε συντεταγμένες της υφής για κάθε επιφάνεια, πάνω στην οποία πρέπει να χαρτογραφηθεί ή μία μήτρα προβολής. Αυτή

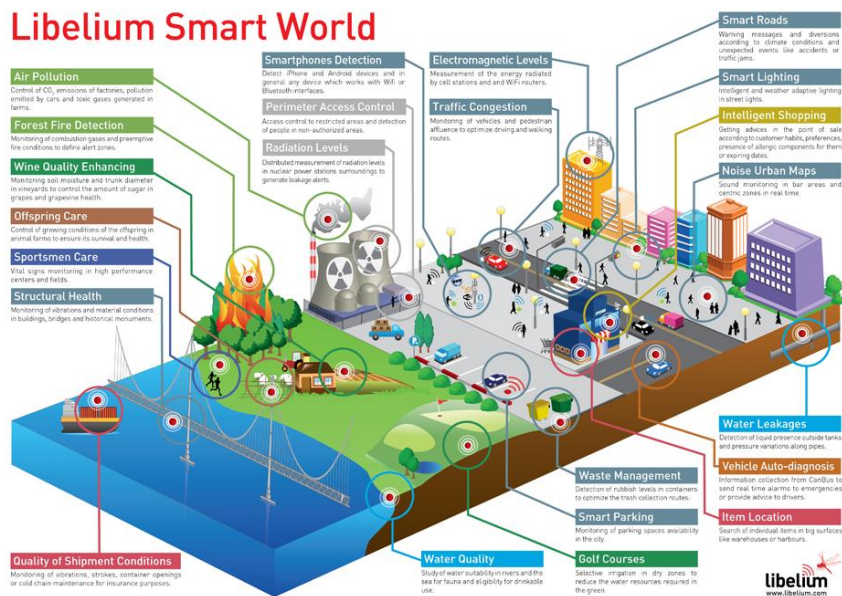
μπορεί να υπολογιστεί από τον εξωτερικό προσανατολισμό της κάμερας και την εστιακή απόσταση, που σχετίζονται με την εικόνα της υψής [14].

3.7 Κύριες χρήσεις του CityGML

Σήμερα, ένας αυξανόμενος αριθμός εφαρμογών, όπως περιβαλλοντικές και εκπαιδευτικές προσομοιώσεις, αστικός σχεδιασμός και διαχείριση εγκαταστάσεων, διαχείριση καταστροφών και ασφάλεια της πατρίδας και προσωπική πλοήγηση απαιτούν πρόσθετες πληροφορίες σχετικά με τα αντικείμενα της πόλης. Δύο από τις πιο διαδεδομένες εφαρμογές που βρίσκει χρήση το CityGML είναι οι Έξυπνες Πόλεις (Smart Cities) και το 3D Κτηματολόγιο.

3.7.1 Έξυπνες Πόλεις – Smart Cities

Μια Έξυπνη Πόλη, Smart City, χρησιμοποιεί ψηφιακές τεχνολογίες ή τεχνολογίες πληροφοριών και επικοινωνιών, Information and Communication Technologies (ICT) για τη βελτίωση της ποιότητας και των επιδόσεων των αστικών υπηρεσιών, τη μείωση του κόστους και της κατανάλωσης των πόρων και τη σύνδεση της πόλης αυτής με τους πολίτες της με πιο αποτελεσματικό και δραστήριο τρόπο. Η ανάπτυξη των Έξυπνων Πόλεων έχει δηλαδή ως βασικό στόχο τη βιωσιμότητά τους. Οι τομείς που έχει αναπτύξει η τεχνολογία της Έξυπνης Πόλης σχετίζονται εκτός από αστικές δομές, επιπλέον με κυβερνητικές υπηρεσίες, αστικές διαδικασίες και ροές, όπως η κίνηση των πεζών, οι υπηρεσίες αποχέτευσης της πόλης, η κίνηση του αέρα εντός και μεταξύ των κτιρίων, οι λειτουργίες των ΜΜΜ, καθώς επίσης και με ενέργεια, υγειονομική περίθαλψη, επικοινωνίες, ύδατα και απόβλητα. Οι Έξυπνες Πόλεις απαιτούν πρότυπα, τα οποία επιτρέπουν να αλληλεπιδρούν εύκολα τα δεδομένα και οι εφαρμογές. Οι εφαρμογές της Έξυπνης Πόλης αναπτύχθηκαν με στόχο να βελτιώσουν τη διαχείριση των αστικών ροών και να επιτρέψουν σε πραγματικό χρόνο την πρόσβαση σε δεδομένα. Στο μέλλον, είναι σίγουρο πως θα υπάρξει μεγάλη ανάπτυξη ψηφιακών μικρόκοσμων πάνω από τα αστικά τοπία, που θα παρέχουν έξυπνες εμπειρίες για τις διάφορες αστικές υπηρεσίες στο τεράστιο πλήθος των ανθρώπων εκείνων, που θα αλληλεπιδρούν καθημερινά με αυτού του είδους τα περιβάλλοντα.

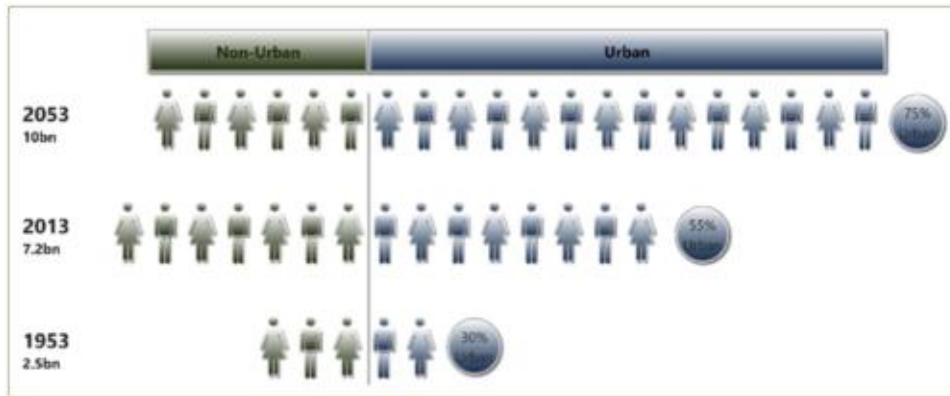


Σχήμα 3-13: Libelium Smart World
Πηγή: Libelium Company, 2015

Η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) έχει κάνει προσπάθειες χάραξης μίας στρατηγικής, για την επίτευξη μίας “έξυπνης” αστικής ανάπτυξης για τις μητροπολιτικές πόλεις-περιφέρειές της. Η ΕΕ έχει αναπτύξει μια σειρά από προγράμματα στο πλαίσιο του “Europe’s Digital Agenda”. Το 2010, υπογράμμισε την εστίασή της στην ενίσχυση των καινοτομιών και των επενδύσεων στον τομέα των υπηρεσιών ICT για τον σκοπό της βελτίωσης των δημόσιων υπηρεσιών και της ποιότητας ζωής. Παραδείγματα Έξυπνων Πόλεων, πόλεων όπου έχουν εφαρμοστεί τα αντίστοιχα προγράμματα, είναι το Σαουθάμπτον, το Άμστερνταμ, η Βαρκελώνη και η Στοκχόλμη [42].

Οι σχετικές εφαρμογές όμως για τις Έξυπνες Πόλεις βρίσκονται στα πρόθυρα άνθησης σε όλο τον κόσμο (Λονδίνο, Ινδονησία, Ντουμπάι, Κίνα κ.ά.). Πρόκειται για εφαρμογές διαδικτυακές και σε πραγματικό χρόνο, που αφορούν τα μεγάλα δεδομένα, ώστε να επιτευχθούν πιο έξυπνες εμπειρίες για τους διαχειριστές της πόλης αλλά και για τους ίδιους τους πολίτες.

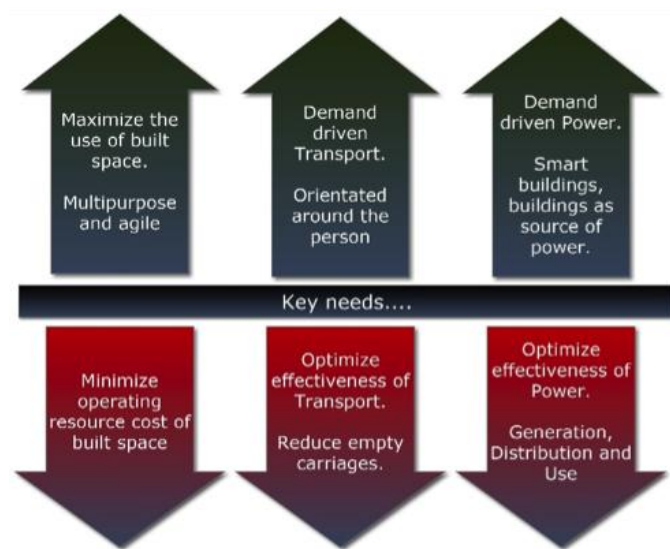
Ωθηση στη δημιουργία των Έξυπνων Πόλεων αποτέλεσε η γενική πρόβλεψη σχετικά με τον παγκόσμιο πληθυσμό. Η πρόβλεψη αυτή δείχνει ότι ο παγκόσμιος πληθυσμός θα φτάσει μέχρι το 2053 μεταξύ 9,5 και 11 δισεκατομμύρια και ότι το 75% του πληθυσμού αυτού θα αστικοποιηθεί. Δεδομένου ότι ο αστικός πληθυσμός έφτανε τα 850 εκατομμύρια το 1953, με την πρόβλεψη ότι θα φτάσει τα 7,5 δισεκατομμύρια το 2053, σημειώνεται μία αύξηση του αστικού πληθυσμού μέσα σε 100 χρόνια μεγαλύτερη του 800%. Συνεπώς, οι πόλεις του μέλλοντος θα χρειαστεί να κρατήσουν 800% περισσότερους ανθρώπους απ’ ό, τι οι πόλεις της μεταπολεμικής εποχής και μάλιστα με σημαντικά λιγότερη κατανάλωση πόρων ανά πολίτη (Σχ. 3-14).



Σχήμα 3-14: Αύξηση αστικού πληθυσμού 1953 - 2053
 Πηγή: *Πόλεις και Πολιτικές (Citybranding), 2014*

Βάσει λοιπόν των νέων αναγκών, είναι απαραίτητο να αναπτυχθούν αποτελεσματικές τεχνικές, που θα βοηθήσουν στην διαχείριση των σύγχρονων πόλεων και πρέπει να γίνουν κάποιες προσπάθειες (Σχ. 3-15) με βάση τις τρεις βασικές διαστάσεις μίας πόλης, δηλαδή τους ανθρώπους, τον χώρο και τον σκοπό, ώστε να κατευθυνθούμε προς την λογική των Έξυπνων Πόλεων, όπως για παράδειγμα:

- Να υπάρχουν περιοχές με μικτή διαμόρφωση, δηλαδή σε ένα κατοικημένο προάστιο να υπάρχει ενσωματωμένη και εμπορική ή βιομηχανική περιοχή, ώστε να μη χρειάζεται οι άνθρωποι να ταξιδεύουν από την κατοικία τους στον χώρο εργασίας τους.
- Οι αστικές μεταφορές να επικεντρώνονται στην μετακίνηση των ανθρώπων κατά το βέλτιστο τρόπο, αντί στην μετακίνηση των μέσων με χρονοδιάγραμμα.
- Να χτιστούν πηγές ενέργειας προς παροχή, αντί προς κατανάλωση [44].



Σχήμα 3-15: Ανάγκες “κλειδί” για Έξυπνες Πόλεις
 Πηγή: *Πόλεις και Πολιτικές (Citybranding), 2014*

Ένας κατάλληλος τρόπος για να ξεκινήσει η εκπλήρωση των παραπάνω απαιτήσεων είναι να αναπτυχθεί ένα ανοιχτό, που να καλύπτει όλη την πόλη, 3D μοντέλο αστικών δεδομένων που θα ενσωματώνει διαφορετικές πηγές διαθέσιμων χωρικών σχετικών δεδομένων, τόσο γεωχωρικά δεδομένα όσο και δεδομένα σχετικά με το δομημένο περιβάλλον, συμπεριλαμβανομένων δεδομένων αισθητήρων με την τοποθεσία και τις ετικέτες ώρας. Το μοντέλο δεδομένων γίνεται το ανοιχτό μέσο επικοινωνίας, όπου όλοι οι δράστες της πόλης, τα σύνολα δεδομένων και οι τεχνολογίες χρησιμοποιούνται για να αλληλεπιδρούν.

Τα οικονομικά οφέλη των εφαρμογών βάσει προτύπων έχουν τεκμηριωθεί επανειλημμένως και περιλαμβάνουν:

- Χαμηλότερα κόστη κεφαλαίου.
- Μεγαλύτερη οικονομική ανάπτυξη.
- Βελτιωμένο εμπόριο.
- Ταχύτερη καινοτομία.
- Ωφέλιμα κοινωνικά αποτελέσματα (π.χ. δημόσια ασφάλεια).
- Υποστήριξη της βιωσιμότητας.

Όλα αυτά τα οφέλη είναι οι οδηγοί των προγραμμάτων υποδομής χωρικών δεδομένων στην Ευρώπη, την Ασία και τη Μέση Ανατολή, που χρησιμοποιούν το CityGML Encoding Standard για αστική μοντελοποίηση. Το CityGML είναι ένα κοινό μοντέλο πληροφοριών για την εκπροσώπηση των 3D αστικών αντικειμένων: 3D γεωμετρία, 3D τοπολογία, σημασιολογία και εμφάνιση των αστικών οντοτήτων. Επιπλέον, παρέχει τη μοναδική ουδέτερη πλατφόρμα για τη μετάβαση από την παραδοσιακή 2D υποδομή χωρικών δεδομένων σε μία 3D υποδομή χωρικών δεδομένων, η οποία υποστηρίζει πολλές αστικές δραστηριότητες. Το CityGML επιτρέπει στους χρήστες να μοιράζονται 3D προσομοιώσεις πόλεων και μοντέλα τοπίων για εξελιγμένες αναλύσεις και διάφορες άλλες εργασίες. Η εναρμόνιση μεταξύ του OpenBIM και του CityGML θα διαδραματίσει βασικό ρόλο σε Έξυπνες Πόλεις και την αειφόρο ανάπτυξη σε όλο τον κόσμο [35].

Παρακάτω παρουσιάζονται ορισμένα παραδείγματα υπηρεσιών των Έξυπνων Πόλεων, που μπορούν να παρέχονται με τη βοήθεια του CityGML:

- Υπηρεσία για την ακριβή εκτίμηση του ηλιακού ενεργειακού δυναμικού σε επίπεδο κτιρίου.
- Βελτιωμένη ένταξη σε ανθρώπους μεγάλης ηλικίας και με προβλήματα κινητικότητας μέσα από μια φιλική προσωπική εξυπηρέτηση δρομολόγησης, που θα λαμβάνει υπόψη τον λεπτομερή πολεοδομικό σχεδιασμό, τα χαρακτηριστικά και τα εμπόδια μέσα στην πόλη.
- Η παρακολούθηση του περιβάλλοντος μέσω χαρτογράφησης του περιβαλλοντικού θορύβου σε πραγματικό χρόνο και της θέλησης για

συμμετοχή των πολιτών στις υπηρεσίες μόχλευσης, οι οποίοι ενεργούν ως καταναεμημένοι αισθητήρες σε όλη την πόλη μετρώντας επίπεδα θορύβου μέσω των κινητών τηλεφώνων τους.

- Και πολλά άλλα [18].

3.7.2 3Δ Κτηματολόγιο

Σήμερα, η τεκμηρίωση πληροφορίας των ιδιοκτησιακών αντικειμένων πραγματοποιείται βάσει του θεσμικού πλαισίου του Εθνικού Κτηματολογίου, σύμφωνα με το οποίο, η τεκμηρίωση αυτή βασίζεται στις δύο διαστάσεις (2Δ) των κτηματολογικών καταγραφών των γεωτεμαχίων, με αποτέλεσμα να υπάρχουν κενά στην πλήρη απεικόνιση όλων των ιδιοκτησιακών δικαιωμάτων. Γι' αυτό, η ανάγκη καταγραφής των ιδιοκτησιακών αντικειμένων στον 3Δ χώρο, γίνεται όλο και πιο επιτακτική, εφόσον υπάρχουν πολλά κτίρια και άλλες κατασκευές που βρίσκονται πάνω και κάτω από την επιφάνεια της γης. Ο βασικός σκοπός είναι μεν να οριστεί ένα 3Δ Κτηματολογικό Σύστημα αλλά διατηρώντας το Κτηματολόγιο τη νομική του ισχύ. Το 3Δ Κτηματολόγιο δεν είναι απλά ένα 3Δ χωρικό μοντέλο, καθώς πρόκειται για ένα πολυδιάστατο και αρκετά πολύπλοκο μοντέλο.

Το 3Δ Κτηματολόγιο καθορίζει τη θέση του γεωτεμαχίου ορίζοντας τα όριά του στις τρεις διαστάσεις αλλά επιπλέον, οργανώνει και διαχειρίζεται την 3Δ και πολυεπίπεδη πληροφορία. Η εισαγωγή της έννοιας των δικαιωμάτων στον 3Δ χώρο αποτελεί μία πλήρη 3Δ κτηματολογική εγγραφή [29].

Το σύγχρονο αυτό σύστημα του 3Δ Κτηματολογίου παρέχει καλύτερα μέσα για την ορθολογική διαχείριση του δομημένου περιβάλλοντος. Με το 3Δ Κτηματολόγιο εκπροσωπείται καλύτερα και με μεγαλύτερη ακρίβεια η εξελισσόμενη πραγματικότητα, εφόσον με τον τρόπο αυτό αντανακλάται η υπάρχουσα κατάσταση όλων των ιδιοκτησιακών δικαιωμάτων, συμπεριλαμβανομένου του μείγματος ιδιωτικής και δημόσιας περιουσίας [4].

Η αυξανόμενη πολυπλοκότητα των υποδομών και η αύξηση των πυκνοδομημένων περιοχών απαιτούν μία πιο ρεαλιστική αναπαράσταση της πραγματικότητας. Οι 2Δ κτηματολογικές εγγραφές παρέχουν μεν μία ορθή καταγραφή και αναπαράσταση του νομικού ιδιοκτησιακού καθεστώτος αλλά σε έναν περιορισμένο βαθμό. Συνεπώς, στο 3Δ Κτηματολόγιο η τρίτη διάσταση, η οποία στο 2Δ Κτηματολόγιο αποτελούσε μόνο ένα περιγραφικό στοιχείο σε έναν πίνακα δεδομένων, αποτελεί πλέον μία γεωμετρική πραγματικότητα. Το 3Δ Κτηματολόγιο έρχεται να δώσει δηλαδή λύσεις σε περιπτώσεις σύνθετης χρήσης του χώρου, καθώς απεικονίζει την πραγματικότητα με μεγαλύτερη ακρίβεια και με τον καλύτερο δυνατό τρόπο, ακόμα και για περιπτώσεις μη συμβατικής ανάπτυξης του δομημένου περιβάλλοντος, με ταυτόχρονη πολυεπίπεδη κατανομή δικαιωμάτων. Η 3Δ ψηφιακή πληροφορία προσφέρει καλύτερες δυνατότητες για ποιοτικούς ελέγχους και ταυτοχρόνως διευκολύνει την

ενσωμάτωση και ανταλλαγή της πληροφορίας μέσα και μεταξύ των κτηματολογικών γραφείων και των δήμων [28].

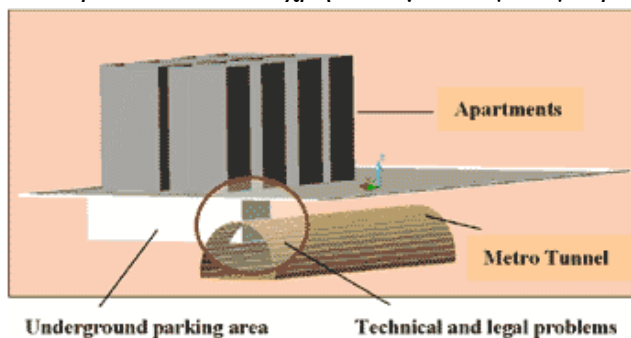
Παρακάτω παρουσιάζονται ενδεικτικά παραδείγματα με ανάγκη για 3Δ καταγραφές του όγκου ή των πολλαπλών επιπέδων, κυρίως στον αστικό πυκνοδομημένο χώρο:

- Πολλαπλή χρήση του χώρου με κατασκευές η μία πάνω από την άλλη (π.χ. τομή σιδηροδρομικού και οδικού δικτύου) αλλά και περιπτώσεις, όπου εμπλέκονται ιδιόκτητοι με κοινόχρηστους χώρους (π.χ. ιδιόκτητα ακίνητα, πάνω ή κάτω απ' τα οποία διέρχονται δρόμοι).
- Σύνθετα δίκτυα υπόγειων υποδομών.
- Ιδιοκτησιακά δικαιώματα σε πολλαπλά επίπεδα (π.χ. υπόσκαφα) (Σχ. 3-16).



Σχήμα 3-16: Υπόσκαφα (αριστερά) & Ανώγειο (δεξιά)
Πηγή: Dimopoulou E., Gavanas I., Zentelis P., 2006

- Πολυεπίπεδα κτίρια πολλαπλών χρήσεων με υπόγεια γκαράζ (Σχ. 3-17).



Σχήμα 3-17: Κτίριο με υπόγειο γκαράζ και τούνελ μετρό
Πηγή: MDPI – Open Access Publishing, 2008

- Δικαιώματα που διαμορφώνονται εντός του χώρου (π.χ. μεζονέτες, πατάρια καταστημάτων) [4].

Μία από τις απαιτήσεις σήμερα ως προς τα κτηματολογικά συστήματα είναι η εισαγωγή της 3Δ εγγραφής. Τεχνικά αυτό μπορεί να υλοποιηθεί σε εννοιολογικό επίπεδο από το Land Administration Domain Model (LADM) και από το CityGML OGC Standard.

Η οπτικοποίηση επομένως της τρίτης διάστασης μπορεί να υπάρξει εφαρμόζοντας το LADM, το οποίο εγκρίθηκε επισήμως ως ένα διεθνές πρότυπο ISO 19152. Το LADM περιλαμβάνει ένα αφηρημένο εννοιολογικό σχήμα με βασικά πακέτα που σχετίζονται με:

1. μέρη,
2. βασικές διοικητικές μονάδες, δικαιώματα, υποχρεώσεις και περιορισμούς,
3. χωρικές ενότητες (αγροτεμάχια, νομικούς χώρους κτιρίων και υπηρεσιών κοινής ωφελείας).

Το LADM υποστηρίζει την καταχώρηση των νομικών στοιχείων και αποτελεί ένα μοντέλο, το οποίο είναι επεκτάσιμο, ώστε να ανταποκρίνεται στις ειδικές απαιτήσεις της διαχείρισης γης σε μια χώρα.

Υπάρχουν πολλές μορφές για την αποθήκευση και την απεικόνιση των χωρικών δεδομένων, ωστόσο συνήθως επικεντρώνονται μόνο στην περιγραφή της γεωμετρίας. Όμως, το μοντέλο CityGML, το οποίο παρέχει ένα γεωγραφικό πληροφοριακό μοντέλο για αστικά τοπία, δεν εκπροσωπεί μόνο το σχήμα και τη γραφική εμφάνιση των 3Δ αντικειμένων μίας πόλης, αλλά ασχολείται επίσης με την εκπροσώπηση των σημασιολογικών και θεματικών ιδιοτήτων, των ταξινομήσεων και ομαδοποιήσεων. Για το λόγο αυτό, έχει εφαρμοστεί το πρότυπο για 3Δ αναπαράσταση των κτιρίων. Στο πλαίσιο των κτηματολογικών απαιτήσεων, το CityGML δεν περιέχει χαρακτηριστικά που περιγράφουν τις νομικές πληροφορίες σχετικά με τα χωρικά αντικείμενα. Το πρότυπο CityGML με την τρέχουσα κατάστασή του δεν έχει τις δυνατότητες να χτίσει 3Δ κτηματολογικό σύστημα. Το πρόβλημα αυτό, μπορεί να λυθεί με την ενσωμάτωση του LADM και του CityGML σε εννοιολογικό επίπεδο. Συνεπώς, το CityGML παρέχει ένα ευέλικτο εννοιολογικό μοντέλο, το οποίο μπορεί να προσαρμοστεί στον LAD (Land Administration Domain - Τομέα Διαχείρισης Γης), ιδιαίτερα για την υποστήριξη των χωρικών εννοιών, που απαιτούνται για κτηματολογικά συστήματα.

Η πρακτική εφαρμογή του μοντέλου CityGML-LADM ADE καταδεικνύει τα οφέλη της παροχής των σχέσεων μεταξύ των χωρικών αντικειμένων από τον νομικό και φυσικό κόσμο. Η εικόνα για την τρίτη διάσταση των φυσικών αντικειμένων βοηθά στην κατανόηση της θέσης και του μεγέθους των νομικών χώρων, μιας και είναι σημαντικό στο πλαίσιο της ανάπτυξης των πολλαπλών κτηματολογικών συστημάτων [6].

Επειδή ακριβώς στο CityGML υπάρχει υποστήριξη της σημασιολογίας, των αντικειμένων, των ιδιοτήτων και της γεωαναφοράς, το CityGML αποδίδει με βέλτιστο τρόπο σε εφαρμογές του 3Δ κτηματολογίου. Επιπλέον, το CityGML είναι μία καλή επιλογή για εφαρμογές του 3Δ κτηματολογίου διότι επιτρέπει καλής ποιότητας 3Δ απεικόνιση, καθώς και διαδικτυακή χρήση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. CITYGML: 3Δ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ ΟΤ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΚΑΙΣΑΡΙΑΝΗΣ ΣΕ LOD2

Αντικείμενο της εφαρμογής της παρούσας εργασίας είναι η δημιουργία και η οπτικοποίηση ενός 3Δ μοντέλου με τη χρήση CityGML προτύπου ενός Οικοδομικού Τετραγώνου (ΟΤ) του Δήμου Καισαριανής. Από αυτό το ΟΤ μοντελοποιήθηκαν τα κτίρια του, τα οποία είναι 14, σε επίπεδο λεπτομέρειας LoD2.

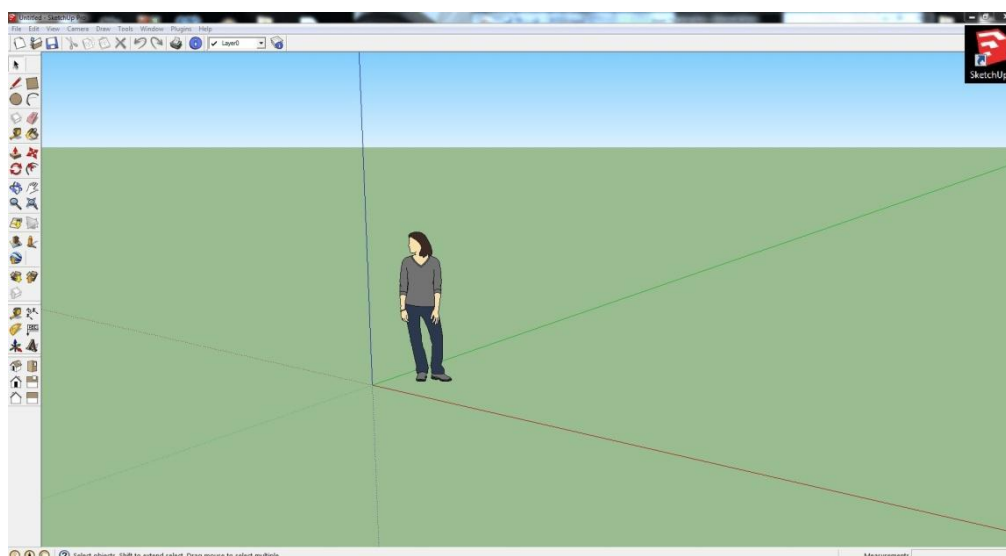
4.1 Λογισμικά

Προκειμένου να υλοποιηθεί η εφαρμογή, χρησιμοποιήθηκαν διάφορα λογισμικά, όπως Google SketchUp 8, PostgreSQL, 3D City Database (3DCityDB), Google Earth.

Πιο συγκεκριμένα, σχεδιάστηκαν 3Δ τα κτίρια στο σχεδιαστικό πακέτο SketchUp, ακολούθησε εξαγωγή του σχεδιασμού σε αρχείο GML κατά CityGML πρότυπο, το οποίο στη συνέχεια αξιοποιήθηκε σε βάση δεδομένων της PostgreSQL και τέλος, μέσω της διασύνδεσης της PostgreSQL με την 3Δ γεωβάση δεδομένων 3DCityDB δημιουργήθηκε το CityGML μοντέλο και εξήχθησαν τα ζητούμενα αρχεία CityGML αλλά και KML/COLLADA, μέσω των οποίων υλοποιείται η 3Δ οπτικοποίηση των κτιρίων του ΟΤ.

4.1.1 SketchUp

Το SketchUp είναι ένα σχεδιαστικό πρόγραμμα (Σχ. 4-1), που χρησιμοποιείται για 3Δ μοντελοποίηση για ένα μεγάλο φάσμα εφαρμογών, όπως για αρχιτεκτονικό, μηχανολογικό σχέδιο κ.ά., τον κινηματογράφο, τον σχεδιασμό βιντεοπαιχνιδιών και γενικά για τον σχεδιασμό του φυσικού κόσμου.

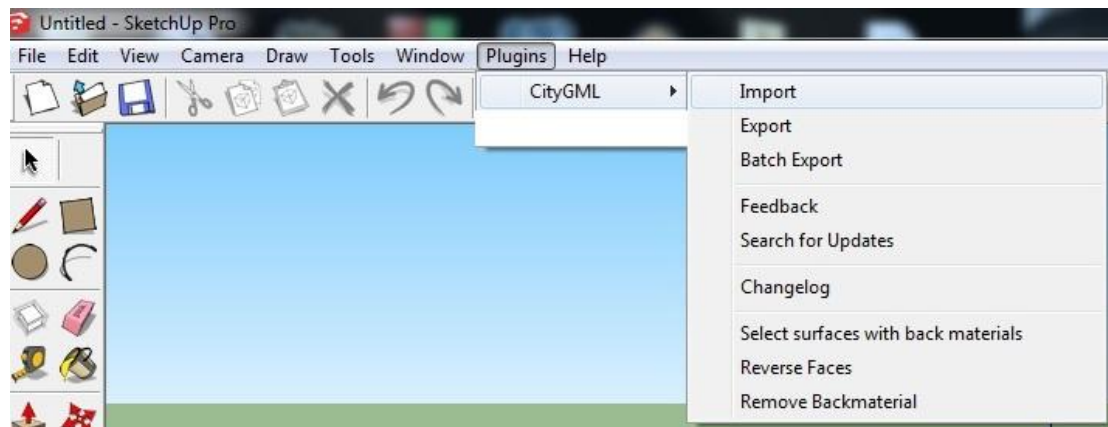


Σχήμα 4-1: Google SketchUp 8
Πηγή: Google SketchUp 8, 2015

Διαθέτει μία βιβλιοθήκη ανοιχτού κώδικα μοντέλων συνόλων τμημάτων, όπως παράθυρα, πόρτες, αυτοκίνητα, την 3D Warehouse, στην οποία οι χρήστες μπορούν να συνεισφέρουν μοντέλα. Το πρόγραμμα περιλαμβάνει λειτουργικότητα της διάταξης του σχεδίου, επιτρέπει την απόδοση των επιφανειών σε διάφορα στυλ, υποστηρίζει plug-in προγράμματα για επιπλέον δυνατότητες και είναι εφικτή και η γεωαναφορά των μοντέλων μέσα από υπόβαθρα του Google Earth.

Το SketchUp ανήκει σήμερα στην Trimble Navigation, μία εταιρεία χαρτογράφησης, τοπογραφίας και εξοπλισμού και υπηρεσιών πλοήγησης. Το πρόγραμμα ήταν ανεξάρτητο από το 2000 έως το 2006, ενώ από το 2006 έως το 2012 ανήκε στην Google [42].

Ένα ελεύθερο plug-in πρόγραμμα, που χρειάζεται για την εφαρμογή, είναι το “CityGML_Editor_18.zip” (Σχ. 4-2), το οποίο επιτρέπει την εισαγωγή, την ανάγνωση, την επεξεργασία, όπως τον καθορισμό του είδους κάθε σχεδιασμένης επιφάνειας (CityGML Surfacetype) σε έδαφος (GroundSurface), οροφή (RoofSurface) ή τοίχο (WallSurface) για επίπεδο λεπτομέρειας LoD2, και την εξαγωγή αρχείων CityGML με στοιχεία κτιρίων. Επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί η έκδοση Google SketchUp 8 στην εφαρμογή γιατί είναι ελεύθερη και γιατί έχει συμβατότητα με το plug-in πρόγραμμα “CityGML Editor 18” [34].



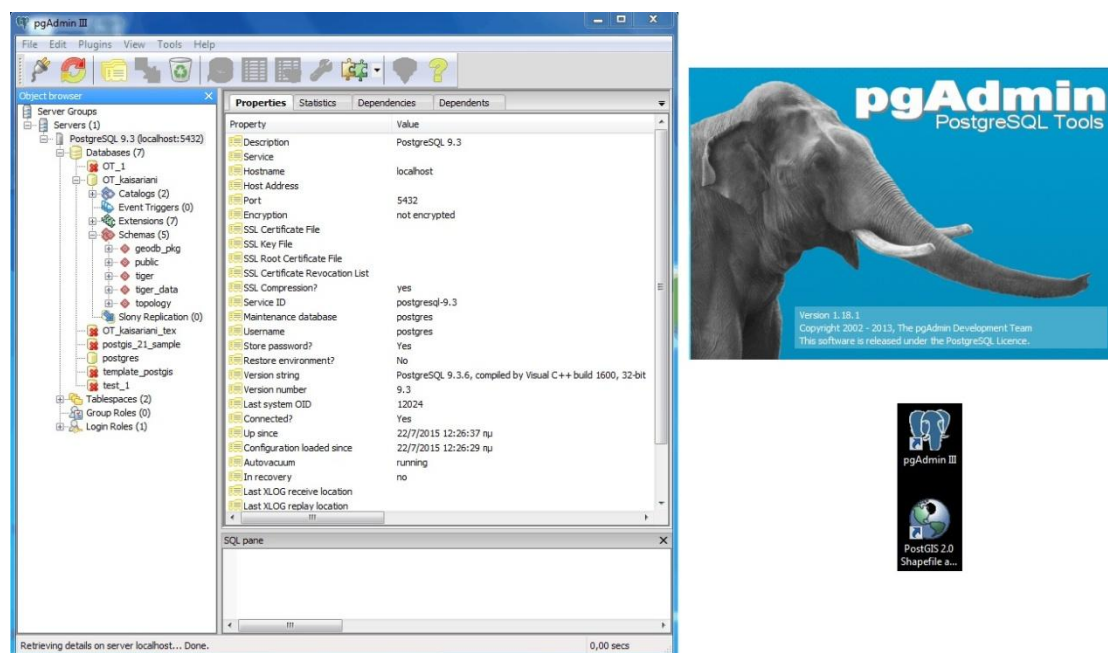
Σχήμα 4-2: Google SketchUp 8 – Plug-in “CityGML Editor 18”
Πηγή: Google SketchUp 8, 2015

4.1.2 PostgreSQL / PostGIS

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

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

Με τη χωρική βάση δεδομένων PostgreSQL εγκαθίσταται και παρέχεται ένα λογισμικό, το pgAdmin III (Σχ. 4-3). Το pgAdmin III είναι ουσιαστικά ένα εργαλείο διαχείρισης της βάσης δεδομένων, το οποίο χρησιμοποιείται από τον χρήστη (client), ώστε να καθίσταται δυνατή η αλληλεπίδρασή του με την βάση δεδομένων PostgreSQL, η οποία λειτουργεί ως υπηρεσία (service) και δεν έχει η ίδια ένα γραφικό περιβάλλον διεπαφής με τον χρήστη. Συνεπώς, το pgAdmin III προσφέρει ένα γραφικό περιβάλλον για την ανάπτυξη σύνθετων βάσεων δεδομένων μέσω της διατύπωσης ερωτημάτων σε SQL και έχει ως στόχο την απλούστευση των διαδικασιών για τον χρήστη.



Σχήμα 4-3: PostgreSQL 9.3: pgAdmin III & PostGIS 2.0
Πηγή: PostgreSQL 9.3, 2015

Η PostgreSQL είναι συμβατή με ACID, συμπεριλαμβάνει τους περισσότερους SQL92 και SQL99 τύπους δεδομένων, υποστηρίζει αποθήκευση μεγάλων δυαδικών αντικειμένων (binary) και διαθέτει περιβάλλοντα προγραμματισμού για διάφορες γλώσσες προγραμματισμού, όπως C, C++, Java, Net, Perl, Python, Ruby, Tcl, ODBC κ.ά. Επιπλέον, τρέχει σε πολλά λειτουργικά συστήματα, όπως Windows, Linux, UNIX. Η PostgreSQL μπορεί να χειριστεί φόρτο εργασίας μικρών εφαρμογών μέχρι και μεγάλων διαδικτυακών εφαρμογών που διαχειρίζονται πολλοί χρήστες ταυτόχρονα. Επιπλέον, χειρίζεται σύνθετα χωρικά ερωτήματα SQL χρησιμοποιώντας πολλές μεθόδους εύρεσης, που δεν είναι διαθέσιμες σε άλλες βάσεις δεδομένων. Υποστηρίζει λειτουργίες και αποθηκευμένες διαδικασίες και διαθέτει και ένα μεγάλο αριθμό επεκτάσεων, που έχουν γραφτεί από τρίτους.

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

Η PostgreSQL αναπτύσσεται πάνω από δύο δεκαετίες και πιο συγκεκριμένα ξεκίνησε να εφαρμόζεται ως σχέδιο POSTGRES το 1986 και από τότε έχει αρκετά σημαντικές διανομές. Το αρχικό πακέτο POSTGRES γράφτηκε στο Πανεπιστήμιο Μπέρκλεϋ στην Καλιφόρνια των ΗΠΑ και πλέον αποτελεί την πιο προχωρημένη βάση δεδομένων ανοιχτού κώδικα [42].

4.1.3 3DCityDB (The CityGML Database)

Η 3D City Database (3DCityDB) είναι μία ελεύθερη γεωβάση δεδομένων, η οποία μπορεί να αποθηκεύσει, να εκπροσωπήσει και να διαχειριστεί 3D μοντέλα πόλεων στα πλαίσια μίας προτυποποιημένης χωρικής σχεσιακής βάσης δεδομένων.

Το μοντέλο της βάσης αυτής δεδομένων περιλαμβάνει πλούσια σημασιολογία των αντικειμένων, ιεραρχική δομή και αστικά αντικείμενα διαφόρων κλιμάκων, τα οποία πέρα από την οπτικοποίηση, διευκολύνουν και σύνθετες εργασίες μοντελοποίησης και ανάλυσης των GIS. Πιο συγκεκριμένα, υποστηρίζει πέντε διαφορετικά επίπεδα λεπτομέρειας, LoDs. Άλλες επιπλέον δυνατότητες της 3DcityDB είναι η εμφάνιση δεδομένων, πέρα από 3D γεωμετρίες, η εκπροσώπηση γενικών και πρωτότυπων αντικειμένων, η διαχείριση πολύπλοκων ΨΜΕ αλλά και μεγάλων αεροφωτογραφιών, η διασύνδεση με την διαδικτυακή υπηρεσία Web Feature Service (WFS) και η λειτουργία της είτε με Oracle Spatial είτε με PostGIS.

Το πακέτο που επιλέχθηκε προς εγκατάσταση και πάνω στο οποίο εκπονήθηκε η εργασία, είναι το 3DCityDB-Importer-Exporter-1.6 για PostGIS (Σχ. 4-4) και όχι για Oracle. Με τη βάση δεδομένων 3DCityDB εγκαθίσταται και παρέχεται ένα πρόσθετο εργαλείο, το 3DCityDB-Importer-Exporter. Το 3DCityDB-Importer-Exporter παρέχει πλήρη υποστήριξη για CityGML και έχει τη δυνατότητα να εξάγει μοντέλα σε τύπους αρχείων CityGML αλλά και KML/COLLADA, με τα οποία γίνεται δυνατή η οπτικοποίηση των στοιχείων της βάσης σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, όπως το Google Earth, το ArcGIS κ.ά. Επιπλέον δυνατότητές του είναι η ανάγνωση και γραφή εγγράφων CityGML, η επεξεργασία με υψηλή απόδοση λόγω του πολυδιάστατου προγραμματισμού που διαθέτει, η έγκριση αρχείων CityGML ως προς την XML δομή τους και ο καθορισμός συστημάτων συντεταγμένων από τον χρήστη. Το schema της 3DCityDB είναι βασισμένο στο CityGML πρότυπο.

Η 3DCityDB και το εργαλείο της Importer-Exporter αναπτύχθηκε από το Ινστιτούτο Γεωδαισίας και Γεωπληροφορικής, Institute for Geodesy and Geoinformation Science

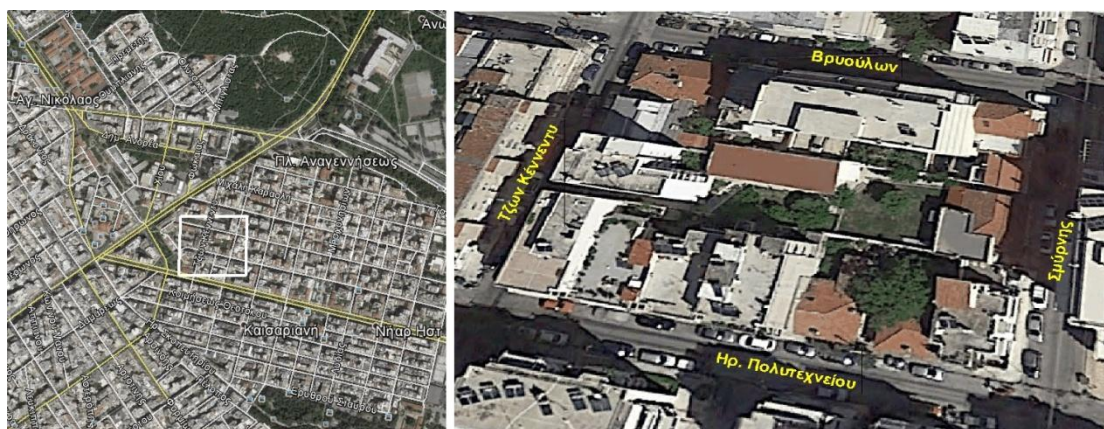
(IGG) στο Τεχνικό Πανεπιστήμιο του Βερολίνου, Technische Universität Berlin στη Γερμανία [32].



Σχήμα 4-4: 3DCityDB-Importer-Exporter-1.6 για PostGIS
Πηγή: 3DCityDB 1.6.0 (The CityGML Database), 2015

4.2 Περιοχή Μελέτης

Η περιοχή μελέτης, στην οποία βασίζεται η παρούσα εφαρμογή της εργασίας, είναι ένα ΟΤ του Δήμου Καισαριανής (Σχ. 4-5), το οποίο περικλείεται από τις οδούς Τζων Κέννεντυ (δυτικά), Βρυούλων (βόρεια), Σμύρνης (ανατολικά) και Ηρώων Πολυτεχνείου (νότια).

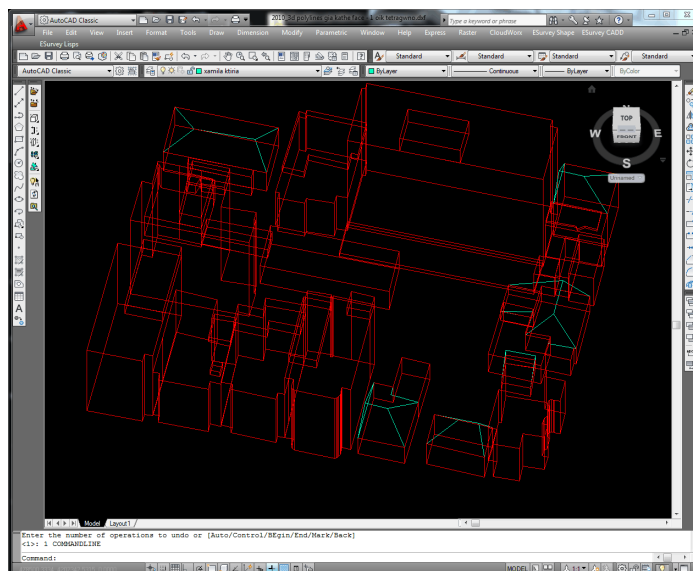


Σχήμα 4-5: Περιοχή μελέτης – ΟΤ Δήμου Καισαριανής
Πηγή: Google Earth, 2015

Το ΟΤ αποτελείται από 14 κτίρια εκ των οποίων τα περισσότερα έχουν χρήση κατοικία. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχουν πέντε μονοκατοικίες, οχτώ πολυκατοικίες και ένα συνεργείο μοτοσυκλετών και η μία από τις πολυκατοικίες έχει στο ισόγειο πλυντήριο αυτοκινήτων. Επίσης, άλλα κτίρια είναι πλακοσκεπή, άλλα κεραμοσκεπή και άλλα έχουν και τα δύο είδη οροφής. Οι όροφοι των 14 αυτών κτιρίων κυμαίνονται από ένας έως επτά, ενώ τα ύψη τους από 6 μ. έως 24 μ. Όλα αυτά τα στοιχεία για κάθε ένα κτίριο του συγκεκριμένου ΟΤ πρόκειται να καταγραφούν σε μία βάση δεδομένων σε στάδιο της εφαρμογής που αναφέρεται στη συνέχεια της εργασίας.

4.3 Δεδομένα

Για την εφαρμογή χρησιμοποιήθηκε ένα 3Δ σχέδιο των κτιρίων του ΟΤ του Δήμου Καισαριανής, που αποτελεί την περιοχή μελέτης, το οποίο διατέθηκε σε μορφή αρχείου .dxf (Σχ. 4-6) από τον κ. Ιωαννίδη Χ., Καθηγητή Τομέα Τοπογραφίας ΕΜΠ.



Σχίμα 4–6: Δεδομένα: 3Δ σχέδιο κτιρίων περιοχής μελέτης (.dxf)
Πηγή: AutoCAD 2011, 2015

Από το σχέδιο αυτό αξιοποιήθηκε η γεωμετρία και οι 3 διαστάσεις των κτιρίων, καθώς και οι τοπολογικές τους σχέσεις, προκειμένου να σχεδιαστούν τα κτίρια ορθά βάσει όλων αυτών των παραμέτρων στο λογισμικό SketchUp, στο πρώτο στάδιο της εφαρμογής.

4.4 Μεθοδολογική Προσέγγιση

Στην ενότητα αυτή, γίνεται αναλυτική καταγραφή της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε, προκειμένου να υλοποιηθεί η εφαρμογή. Περιγράφεται κάθε ένα στάδιο που οδηγεί στο τελικό αποτέλεσμα της εφαρμογής, δηλαδή τη δημιουργία ενός 3Δ μοντέλου CityGML των 14 κτιρίων ενός ΟΤ του Δήμου Καισαριανής.

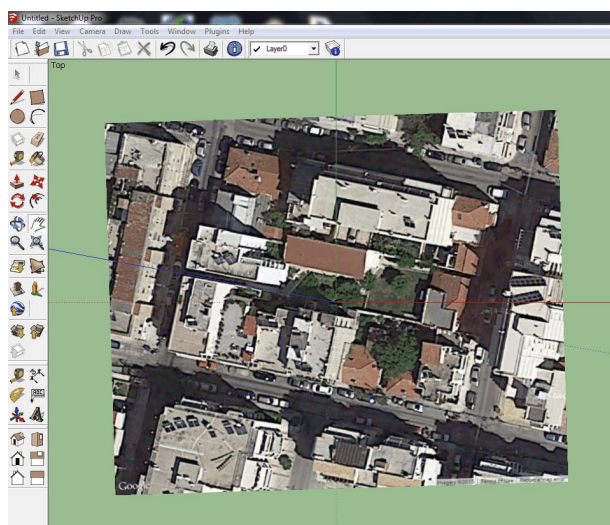
Αρχικά, σχεδιάστηκαν 3Δ τα κτίρια του ΟΤ στο SketchUp βάσει της πληροφορίας που αντλήθηκε από τα δεδομένα (το προαναφερόμενο αρχείο .dxf, βλ. ενότητα 4.3) και από το ίδιο λογισμικό έγινε εξαγωγή του 3Δ αυτού σχεδιασμού σε πρότυπο CityGML μέσω δηλαδή κατάλληλου αρχείου GML. Στη συνέχεια, αφού πρώτα δημιουργήθηκε μία νέα βάση δεδομένων στην PostgreSQL καθώς και η δομή της κατά 3DCityDB πρότυπο, ακολούθησε γέμισμα της βάσης δεδομένων με πληροφορία για τα κτίρια μέσω του 3DCityDB πακέτου και με τη βοήθεια του εξαγόμενου αρχείου GML από προηγούμενο στάδιο. Τέλος, πάλι μέσω της 3DCityDB, έγινε η εξαγωγή των τελικών αρχείων CityGML (βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2) και

KML/COLLADA (βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1) που αφορούν τα 14 αυτά κτίρια του ΟΤ του Δήμου Καισαριανής.

4.4.1 3Δ σχεδίαση στο SketchUp και εξαγωγή CityGML προτύπου

Σε αυτό το αρχικό στάδιο, έγινε η 3Δ σχεδίαση των 14 κτιρίων της περιοχής μελέτης με τη βοήθεια του σχεδιαστικού πακέτου Google SketchUp 8 και εισήχθησαν καταλλήλως πληροφορίες που αφορούν το εξωτερικό μέρος των κτιρίων αυτών. Η μοντελοποίηση CityGML έγινε για επίπεδο λεπτομέρειας LoD2, συνεπώς η πληροφορία για τα κτίρια που εισήχθηκε στο στάδιο αυτό του σχεδιασμού, αφορά πιο συγκεκριμένα τη γεωμετρία τους σε τρεις διαστάσεις, τη θέση τους (γεωαναφορά), το είδος της κάθε κτιριακής επιφάνειας (έδαφος, τοίχος, οροφή), καθώς και την υφή κάθε μίας επιφάνειας από αυτές. Επιπλέον, μέσω του ίδιου λογισμικού και με τη βοήθεια του ελεύθερου plug-in προγράμματος “CityGML Editor 18”, έγινε η εξαγωγή του 3Δ μοντέλου σε πρότυπο CityGML.

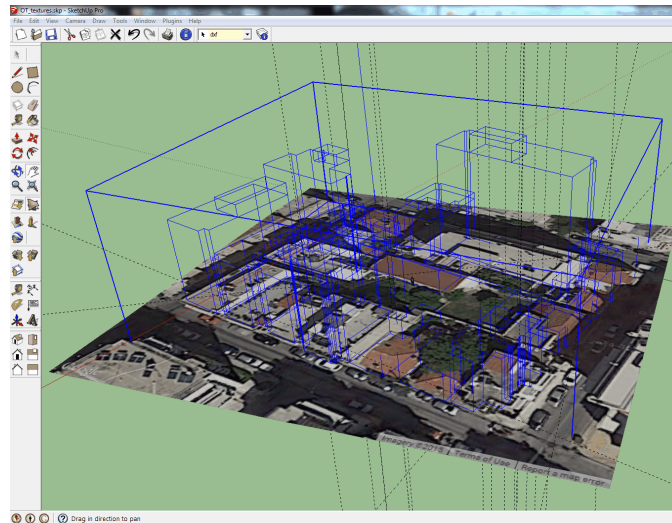
Στο σχεδιαστικό πρόγραμμα SketchUp, δίνεται η δυνατότητα σχεδιασμού με γεωαναφορά εισάγοντας στο σχεδιαστικό του περιβάλλον κατάλληλο απόσπασμα από το Google Earth ως υποβάθρο για τον σχεδιασμό (Σχ. 4-7). Αυτό ήταν και το πρώτο βήμα του σταδίου αυτού, η εισαγωγή δηλαδή αποσπάσματος από το Google Earth με την περιοχή ενδιαφέροντος στο σχεδιαστικό περιβάλλον, προκειμένου να έχει η σχεδίαση γεωαναφορά.



Σχήμα 4-7: Εισαγωγή υποβάθρου Google Earth στο SketchUp για γεωαναφορά
Πηγή: Google SketchUp 8, 2015

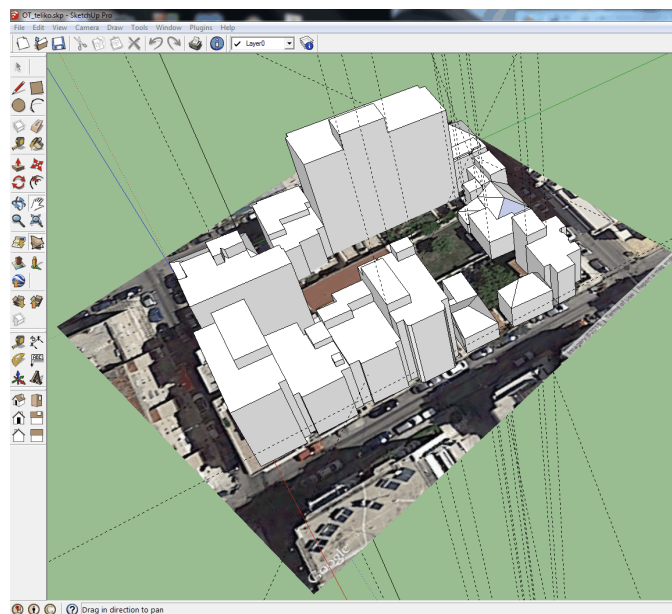
Έπειτα έγινε στο σχεδιαστικό αυτό περιβάλλον εισαγωγή των δεδομένων (βλ. ενότητα 4.3), δηλαδή του αρχείου .dxf με την 3Δ σχεδίαση των κτιρίων από περιβάλλον του λογισμικού AutoCAD (Σχ. 4-8). Χρειάστηκε να γίνει αλλαγή κλίμακας αλλά και μετατόπιση αυτού του εισαγόμενου 3Δ σχεδιαστικού μοντέλου με

τα κατάλληλα εργαλεία του SketchUp, ώστε να τοποθετηθεί στη σωστή θέση και με τις πραγματικές του διαστάσεις βάσει του υποβάθρου Google Earth.



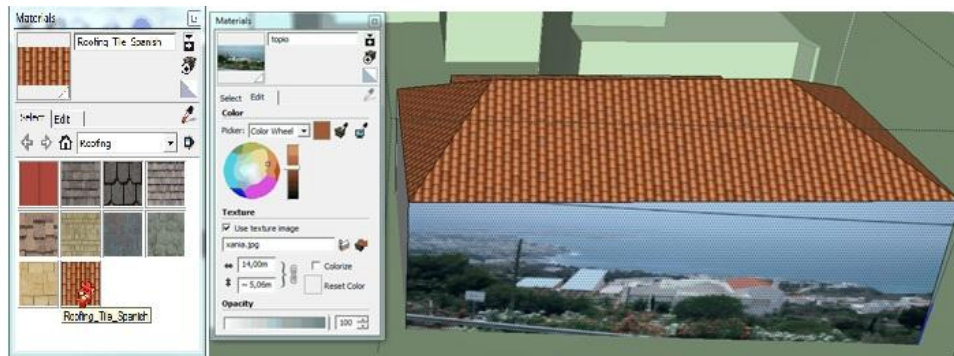
Σχήμα 4–8: Εισαγωγή και προσαρμογή αρχείου .dxf στο SketchUp
Πηγή: Google SketchUp 8, 2015

Χρησιμοποιώντας λοιπόν το 3D εισαγόμενο σχεδιαστικό μοντέλο ως “καλούπι” και αξιοποιώντας με την καλύτερη δυνατή προσέγγιση τη γεωμετρία των κτιρίων, τις διαστάσεις τους και τις μεταξύ τους σχέσεις, όπως προκύπτουν από αυτό, ακολούθησε ο 3D σχεδιασμός των κτιρίων της περιοχής μελέτης στο περιβάλλον του SketchUp (Σχ. 4-9).



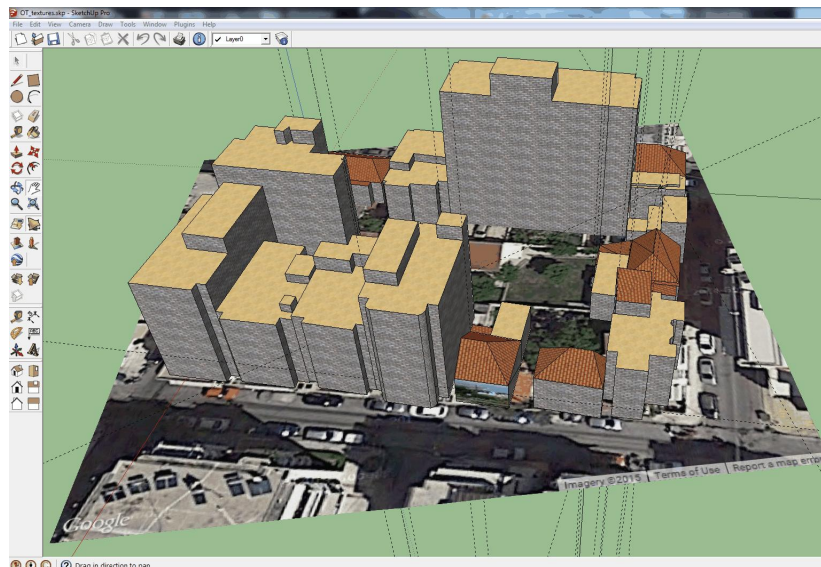
Σχήμα 4–9: 3D σχεδίαση των κτιρίων της περιοχής μελέτης στο SketchUp
Πηγή: Google SketchUp 8, 2015

Μετά από την 3Δ σχεδίαση των κτιρίων της περιοχής μελέτης, ακολούθησε ο προσδιορισμός του είδους κάθε μίας κτιριακής επιφάνειας (CityGML Surfacetype) με τη βοήθεια του plug-in προγράμματος “CityGML Editor 18”. Η επιλογή του είδους κάθε κτιριακής επιφάνειας έγινε μεταξύ τριών εναλλακτικών για επίπεδο λεπτομέρειας LoD2: έδαφος (GroundSurface), οροφή (RoofSurface) ή τοίχος (WallSurface). Σε κάθε κτιριακή επιφάνεια επίσης προσαρμόστηκε υφή (texture) (Σχ. 4-10). Οι υφές των επιφανειών είτε επιλέχθηκαν από έτοιμες επιλογές του ίδιου του λογισμικού, όπως για παράδειγμα κεραμίδια για ορισμένες οροφές, είτε επιλέχθηκε να προσαρμοστεί καταλλήλως ένα αρχείο εικόνας.



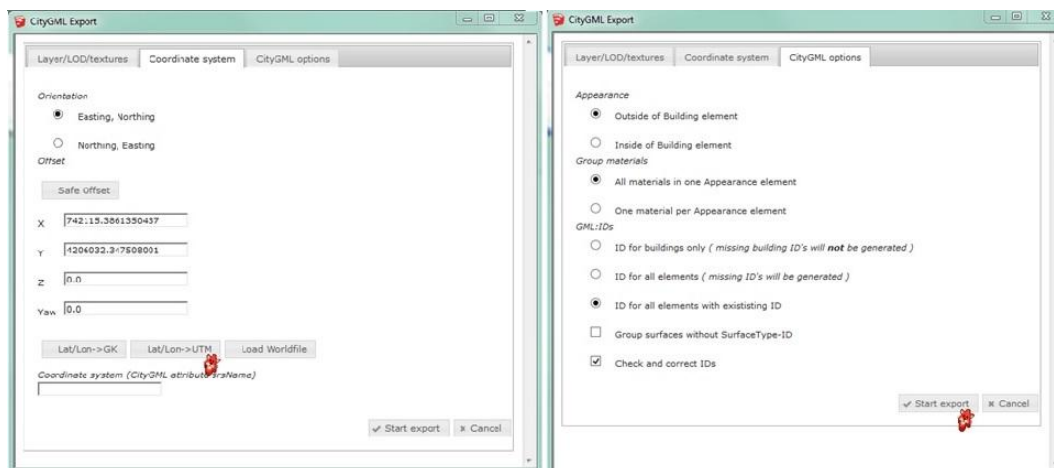
Σχήμα 4-10: Προσαρμογή υφών στις κτιριακές επιφάνειες στο SketchUp
Πηγή: Google SketchUp 8, 2015

Αφού ολοκληρώθηκε και η διαδικασία αυτή, συλλέχθηκαν όλες οι επιφάνειες κάθε κτιρίου ξεχωριστά και ορίστηκαν ως ένα αντικείμενο-κτίριο συνοδευόμενα από έναν κωδικό ID με την επιλογή του SketchUp “Make Component”, ώστε κατά την εξαγωγή του CityGML προτύπου να είναι διακριτό το κάθε κτίριο και οι επιφάνειες από τις οποίες αποτελείται κάθε ένα από αυτά.



Σχήμα 4-11: 3Δ σχεδιαστικό κτιριακό μοντέλο στο SketchUp
Πηγή: Google SketchUp 8, 2015

Μετά την ολοκλήρωση του σχεδιασμού του 3Δ κτιριακού μοντέλου της περιοχής μελέτης (Σχ. 4-11), έγινε η εξαγωγή του σε CityGML πρότυπο σε επίπεδο λεπτομέρειας LoD2 με τη βοήθεια του ελεύθερου plug-in προγράμματος “CityGML Editor 18”. Κατά τη διαδικασία αυτή της εξαγωγής, ορίστηκαν διάφορες παράμετροι (Σχ. 4-12), όπως το επίπεδο λεπτομέρειας του μοντέλου CityGML, τα επίπεδα σχεδίασης (Layers) που πρόκειται να εξαχθούν, το σύστημα συντεταγμένων, καθώς και παράμετροι που αφορούν την εμφάνιση των κτιρίων, τους κωδικούς τους κ.ά.



Σχήμα 4–12: Εξαγωγή CityGML προτύπου από το SketchUp
 Πηγή: Google SketchUp 8, 2015

Αποτέλεσμα της παραπάνω διαδικασίας ήταν η εξαγωγή του σχεδιασμένου 3Δ κτιριακού μοντέλου στο SketchUp σε CityGML πρότυπο, εξάγοντας συγκεκριμένα ένα αρχείο XML που ακολουθεί τους κανόνες του προτύπου GML3 (Σχ. 4-13) και ενός φακέλου με εικόνες των υφών που έχουν χρησιμοποιηθεί κατά τη σχεδίαση.

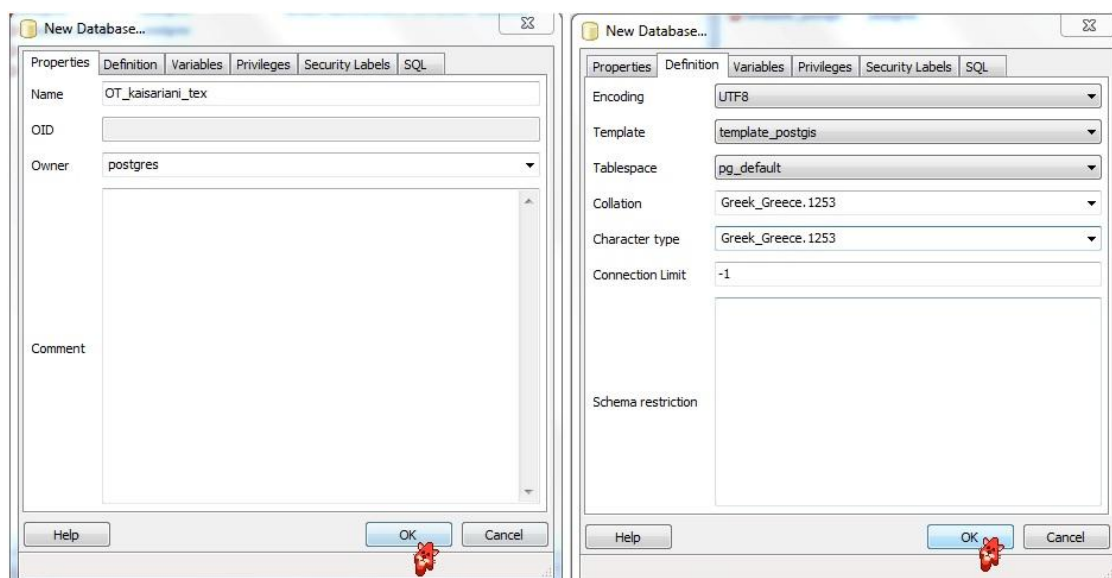
```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8" ?>
<!-- Exported with Google SketchUp CityGML-Plugin < version 1.8 Build 5842 >
<core:CityModel xmlns:core="http://www.opengis.net/citygml/1.0" xmlns:gen="ht
<core:cityObjectMember>
<blgd:Building>
<blgd:boundedBy>
<blgd:WallSurface>
<blgd:lod2MultiSurface>
<gml:MultiSurface>
<gml:surfaceMember>
<gml:Polygon gml:id="_OT_textures_BD.1_PG.2">
<gml:exterior>
<gml:LinearRing gml:id="_OT_textures_BD.1_PG.2_LR.1">
<gml:posList srsDimension="3">
742093.711821386 4206061.08817771 -1.67216250195015
742092.211254083 4206054.18457545 -1.67216250195015
742092.211254083 4206054.18457545 2.72970656660888
742093.711821386 4206061.08817771 2.72970656660888
742093.711821386 4206061.08817771 -1.67216250195015
</gml:posList>
</gml:LinearRing>
</gml:exterior>
</gml:Polygon>
</gml:surfaceMember>
</gml:MultiSurface>
</blgd:lod2MultiSurface>
</blgd:WallSurface>
</blgd:boundedBy>
```

Σχήμα 4–13: Απόσπασμα εξαγόμενου αρχείου CityGML από το SketchUp
 Πηγή: Google SketchUp 8, 2015

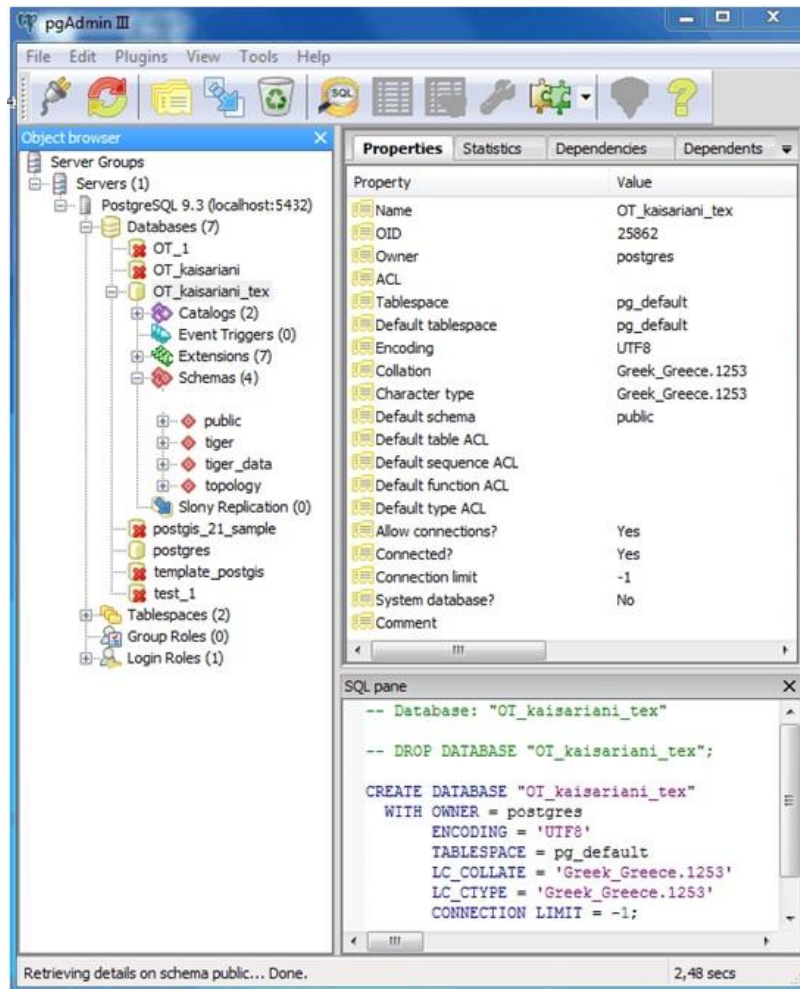
4.4.2 Δημιουργία βάσης δεδομένων στην PostgreSQL και δομής της κατά 3DCityDB πρότυπο

Το στάδιο αυτό αναφέρεται στη διαδικασία δημιουργίας μίας νέας βάσης δεδομένων στην PostgreSQL με τη χρήση προτύπου (template), η οποία πρόκειται να εμπλουτιστεί σε επόμενα στάδια με όλη την απαραίτητη χωρική και περιγραφική πληροφορία ως προς τα κτίρια της περιοχής μελέτης. Επίσης αναφέρεται στη δημιουργία της δομής της βάσης αυτής κατά 3DCityDB πρότυπο.

Αρχικά λοιπόν, δημιουργήθηκε στην PostgreSQL με τη βοήθεια του εργαλείου της, pgAdmin III, μία νέα βάση δεδομένων, η “OT_kaisariani_tex”, με τη χρήση προτύπου “template_postgis” (Σχ. 4-14 & 4-15), το οποίο είναι ενισχυμένο με τις λειτουργίες και τις συναρτήσεις της PostGIS, κατάλληλες για την επεξεργασία των χωρικών δεδομένων.



Σχήμα 4-14: Δημιουργία βάσης δεδομένων “OT_kaisariani_tex” στην PostgreSQL
Πηγή: PostgreSQL 9.3 (pgAdmin III), 2015



Σχήμα 4-15: Βάση δεδομένων “OT_kaisariani_tex” στην PostgreSQL
 Πηγή: PostgreSQL 9.3 (pgAdmin III), 2015

Στη συνέχεια, δημιουργήθηκε η δομή της βάσης δεδομένων “OT_kaisariani_tex” βάσει του προτύπου της 3DCityDB. Πιο συγκεκριμένα, με τη διαδικασία αυτή, δημιουργούνται επιπλέον 44 προτυποποιημένοι πίνακες (tables) διαφόρων χωρικών οντοτήτων στην υπάρχουσα βάση δεδομένων “OT_kaisariani_tex” στο schema “public” κατά 3DCityDB πρότυπο.

Για να επιτευχθεί η προαναφερόμενη διαδικασία, πρέπει να μεταφερθεί το αρχείο psql.exe και ορισμένα απαραίτητα συνοδευτικά αρχεία μορφής .dll από τον φάκελο εγκατάστασης του πακέτου PostgreSQL στον φάκελο εγκατάστασης του πακέτου 3DCityDB και πιο συγκεκριμένα στον φάκελο εκείνο, όπου περιλαμβάνονται ήδη τα αρχεία CREATE_DB.sql και CREATE_GEODB_PKG.sql. Τα δύο αυτά αρχεία .sql, καθώς και το psql.exe, πρέπει να βρίσκονται στον ίδιο φάκελο διότι εκτελούνται όλα μαζί, προκειμένου να δημιουργηθούν οι πίνακες βάσει της 3DCityDB στην υπάρχουσα βάση δεδομένων “OT_kaisariani_tex”.

Τα παραπάνω αρχεία εκτελέστηκαν μέσω του cmd.exe με την εξής εντολή: “psql -h localhost -p 5432 -d OT_kaisariani_tex -U postgres -f CREATE_DB.sql” (Σχ. 4-16

& 4-17). Κατά την εκτέλεση της εντολής αυτής ζητείται SRID (Spatial Reference Identifier) και SRSName-EPSG code (European Petroleum Survey Group). Το SRID είναι μία μοναδική τιμή και αντιστοιχεί σε ένα χωρικό σύστημα αναφοράς βάσει του ελλειψοειδούς που χρησιμοποιείται, το οποίο είναι το παγκόσμιο γεωδαιτικό WGS84. Επομένως, για την περιοχή μελέτης, που βρίσκεται στην Αθήνα, χρησιμοποιήθηκε SRID=32634 (WGS84 / UTM zone 34N). Ένα Σύστημα Συντεταγμένων (CRS-Coordinate Reference System) καθορίζει τη γεωμετρία κάθε στοιχείου, που περιγράφεται σε ένα GML αρχείο. Το SRSName, το οποίο είναι χαρακτηριστικό και συνδεδεμένο με ένα γεωμετρικό αντικείμενο, καθορίζει το CRS του αντικειμένου. Η EPSG αποτελεί μία ελεύθερη βάση δεδομένων με πρότυπους κώδικες για συστήματα συντεταγμένων, σημεία αναφοράς (datum), ελλειψοειδή κ.ά. και η βάση αυτή χρησιμοποιείται από πολλά προγράμματα και έργα, που σχετίζονται με GIS. Ο κωδικός EPSG, που χρησιμοποιήθηκε για περιοχή της Αθήνας, την Καισαριανή, είναι ο 32634 (WGS84 / UTM zone 34N).

```

Administrator: C:\Windows\system32\cmd.exe - psql -h localhost -p 5432 -d OT_kaisariani_tex -U ...
Microsoft Windows [Version 6.1.7601]
Copyright (c) 2009 Microsoft Corporation. All rights reserved.

C:\Users\dimitra>cd..
C:\Users>cd..
C:\>cd Program Files <x86>
C:\Program Files <x86>>cd 3DCityDB-Importer-Exporter
C:\Program Files <x86>\3DCityDB-Importer-Exporter>cd 3dcitydb
C:\Program Files <x86>\3DCityDB-Importer-Exporter\3dcitydb>cd postgis
C:\Program Files <x86>\3DCityDB-Importer-Exporter\3dcitydb\postgis>psql -h local
host -p 5432 -d OT_kaisariani_tex -U postgres -f CREATE_DB.sql
SET
Please enter a valid SRID (e.g., 3068 for DHDN/Soldner Berlin): 32634
Please enter the corresponding SRSName to be used in GML exports (e.g., urn:ogc:
def:crs,crs:EPSG::3068,crs:EPSG::5783): urn:ogc:def:crs,crs:EPSG::32634,crs:EPSG
::32634

```

Σχήμα 4-16: Δημιουργία δομής βάσης δεδομένων βάσει 3DCityDB_1
 Πηγή: cmd.exe, 2015

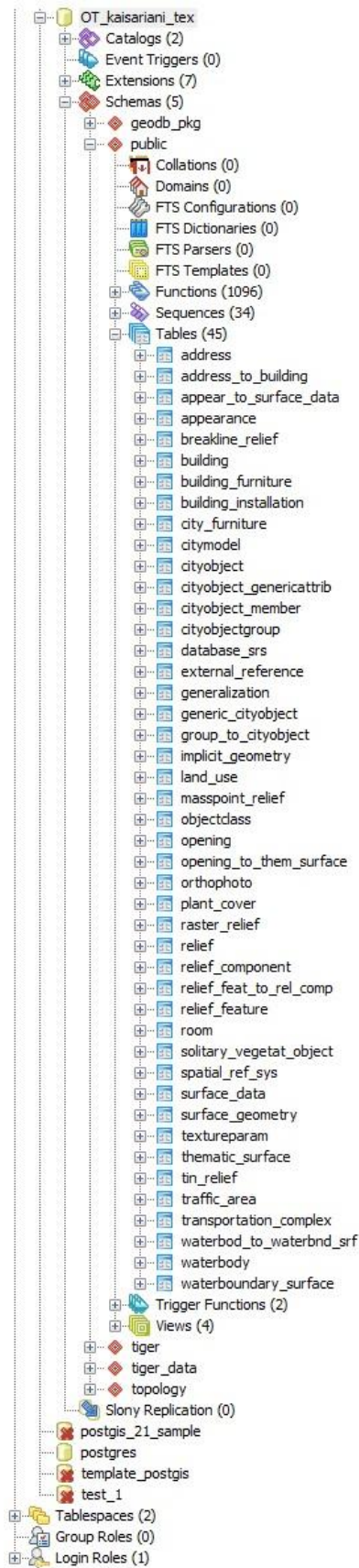
```

CREATE FUNCTION
CREATE FUNCTION
DROP TABLE
CREATE TABLE
CREATE FUNCTION
CREATE FUNCTION
CREATE FUNCTION
CREATE FUNCTION
CREATE FUNCTION
CREATE FUNCTION
CREATE FUNCTION
CREATE FUNCTION
CREATE FUNCTION
3DCityDB creation complete!
C:\Program Files <x86>\3DCityDB-Importer-Exporter\3dcitydb\postgis>

```

Σχήμα 4-17: Δημιουργία δομής βάσης δεδομένων βάσει 3DCityDB_2
 Πηγή: cmd.exe, 2015

Με την παραπάνω διαδικασία, επιτεύχθηκε η δημιουργία της δομής της βάσης δεδομένων “OT_kaisariani_tex” κατά 3DCityDB / CityGML πρότυπο (Σχ. 4-18). Πλέον, στη βάση δεδομένων “OT_kaisariani_tex” υπάρχουν 5 schemas αντί για 4, με επιπλέον το schema το “geodb_pkg”, και στο schema “public” υπάρχουν 45 πίνακες (tables) αντί για 1, που υπήρχε αρχικά κατά τη δημιουργία της βάσης δεδομένων.

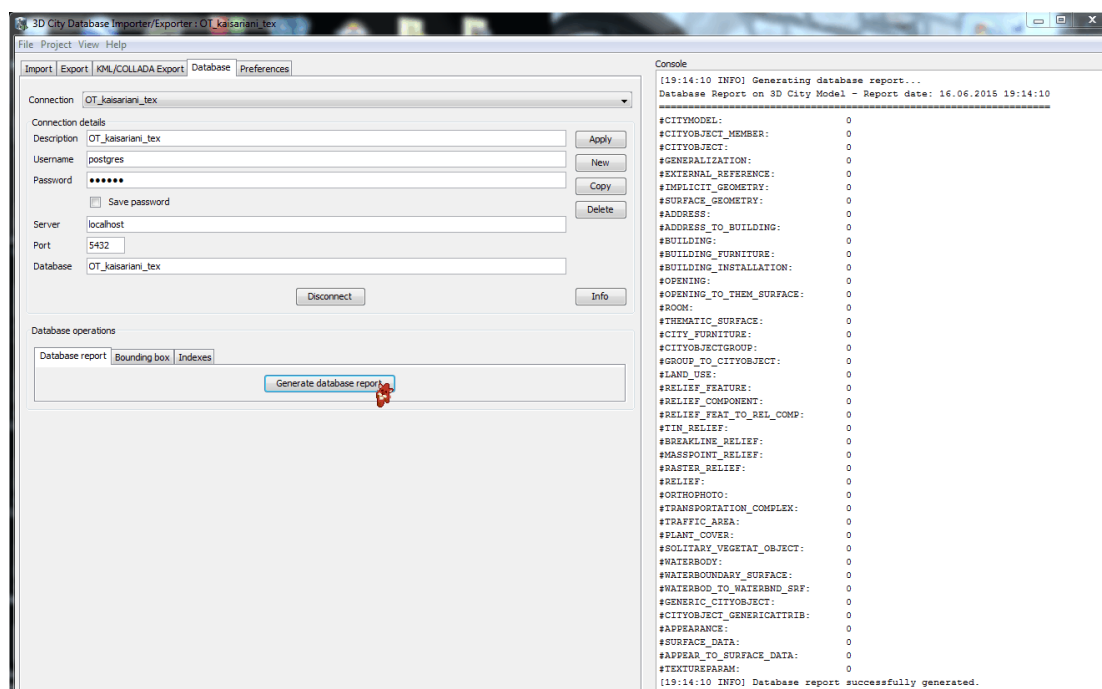


Σχήμα 4–18: Δομή βάσης δεδομένων κατά 3DCityDB πρότυπο
 Πηγή: PostgreSQL 9.3 (pgAdmin III), 2015

4.4.3 Οργάνωση της βάσης δεδομένων στην PostgreSQL μέσω της 3DCityDB

Σε αυτό το στάδιο, περιγράφεται η διαδικασία οργάνωσης της βάσης δεδομένων στην PostgreSQL μέσω της 3DCityDB. Το στάδιο αυτό της οργάνωσης της βάσης δεδομένων “OT_kaisariani_tex” περιλαμβάνει τη διασύνδεση της PostgreSQL με τη 3DCityDB και τη διαδικασία εκείνη, κατά την οποία εμπλουτίζεται η βάση δεδομένων με όλη την απαραίτητη χωρική και περιγραφική πληροφορία ως προς τα κτίρια της περιοχής μελέτης.

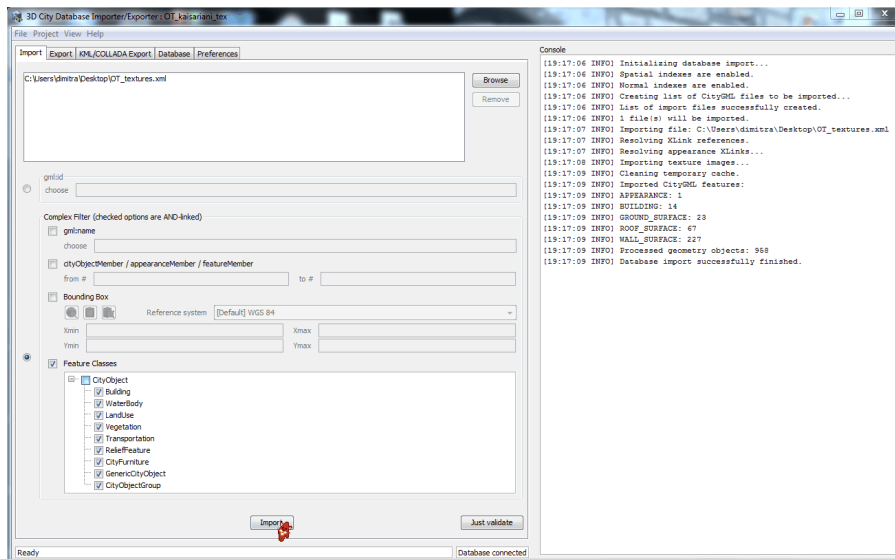
Όπως προαναφέρθηκε, στο στάδιο αυτό προηγήθηκε η διασύνδεση του πακέτου 3DCityDB με την PostgreSQL και πιο συγκεκριμένα, με τη βάση δεδομένων της, την “OT_kaisariani_tex”, όπως έχει διαμορφωθεί μέχρι τώρα. Η επικοινωνία της 3DCityDB με την βάση δεδομένων “OT_kaisariani_tex” της PostgreSQL επιτεύχθηκε με το βασικό εργαλείο 3DCityDB-Importer-Exporter της βιβλιοθήκης του πακέτου 3DCityDB. Αφού πρώτα λοιπόν καθορίστηκαν τα στοιχεία σύνδεσης με τη βάση δεδομένων, έγινε η σύνδεση (Connect) και έπειτα δημιουργήθηκε μία έκθεση της βάσης δεδομένων (Generate Database Report) (Σχ. 4-19). Στην έκθεση αυτή παρουσιάζεται ο αριθμός των στοιχείων κάθε οντότητας. Στην προκειμένη φάση, όλες οι οντότητες περιλαμβάνουν μηδενικά στοιχεία, καθώς η βάση δεδομένων είναι ακόμα άδεια από οποιαδήποτε χωρική και περιγραφική πληροφορία των κτιρίων της περιοχής μελέτης.



Σχήμα 4-19: Connect & Generate Database Report #1
Πηγή: 3DCityDB-Importer-Exporter-1.6 (PostGIS), 2015

Ακολούθησε, με τη βοήθεια του εργαλείου 3D-Importer-Exporter, η εισαγωγή του XML αρχείου στη βάση δεδομένων “OT_kaisariani_tex”, το οποίο εξήχθη σε

προηγούμενο στάδιο από το SketchUp (βλ. ενότητα 4.4.1). Το XML αυτό αρχείο είναι διαμορφωμένο σε CityGML πρότυπο και σε αυτό περιγράφονται χωρικά χαρακτηριστικά των κτιρίων (γεωμετρίας, θέσης κ.ά.) της περιοχής μελέτης, όπως προέκυψαν από τον 3Δ σχεδιασμό τους στο SketchUp. Πρώτα, ελέγχθηκε και εγκρίθηκε (Validate) το XML αρχείο ως προς τη δομή και το περιεχόμενό του και στη συνέχεια, έγινε η εισαγωγή των στοιχείων του στα αντίστοιχα πεδία των οντοτήτων-πινάκων της βάσης δεδομένων “OT_kaisariani_tex” (Import) (Σχ. 4-20).



Σχήμα 4-20: Validate & Import XML

Πηγή: 3DCityDB-Importer-Exporter-1.6 (PostGIS), 2015

Πλέον, οι πίνακες της βάσης δεδομένων “OT_kaisariani_tex” έχουν εμπλουτιστεί με χωρικά στοιχεία, τα οποία έχουν αντληθεί από το XML αρχείο και παρακάτω παρουσιάζεται ένα παράδειγμα τμήματος από τον πίνακα “cityobject” της βάσης (Σχ. 4-21).

id [PK] serial	class_id integer	gmlid character varying	gmlid_codespace character varying	envelope geometry(PolygonZ,32634)	creation_date date	termination_date date	last_modification_date date	updating_person character varying	reason_for_update character varying	lineage character varying	xml_source text
1	26	UUID_8a186ba5-5	UUID	01030000a07a7f00000100c	2015-06-16		2015-06-16	postgres			
2	26	UUID_402e8f5f-5	UUID	01030000a07a7f00000100c	2015-06-16		2015-06-16	postgres			
3	26	UUID_1566ab08-5	UUID	01030000a07a7f00000100c	2015-06-16		2015-06-16	postgres			
4	26	UUID_4528b803-6	UUID	01030000a07a7f00000100c	2015-06-16		2015-06-16	postgres			
5	34	UUID_f3ec754d-6	UUID	01030000a07a7f00000100c	2015-06-16		2015-06-16	postgres			
6	34	UUID_b1102ae8-6	UUID	01030000a07a7f00000100c	2015-06-16		2015-06-16	postgres			
7	34	UUID_cc909009-6	UUID	01030000a07a7f00000100c	2015-06-16		2015-06-16	postgres			
8	34	UUID_de3f01a0-6	UUID	01030000a07a7f00000100c	2015-06-16		2015-06-16	postgres			
9	34	UUID_5f117dec-6	UUID	01030000a07a7f00000100c	2015-06-16		2015-06-16	postgres			
10	34	UUID_fc114f2c-6	UUID	01030000a07a7f00000100c	2015-06-16		2015-06-16	postgres			
11	34	UUID_51799ff5-6	UUID	01030000a07a7f00000100c	2015-06-16		2015-06-16	postgres			
12	34	UUID_47ef9ab9-6	UUID	01030000a07a7f00000100c	2015-06-16		2015-06-16	postgres			
13	34	UUID_0ebaed22-6	UUID	01030000a07a7f00000100c	2015-06-16		2015-06-16	postgres			
14	34	UUID_ee474cb9-6	UUID	01030000a07a7f00000100c	2015-06-16		2015-06-16	postgres			
15	34	UUID_d0fa11f2-6	UUID	01030000a07a7f00000100c	2015-06-16		2015-06-16	postgres			
16	34	UUID_1f1113ee-6	UUID	01030000a07a7f00000100c	2015-06-16		2015-06-16	postgres			
17	34	UUID_e038d760-6	UUID	01030000a07a7f00000100c	2015-06-16		2015-06-16	postgres			
18	34	UUID_160d8ea7-6	UUID	01030000a07a7f00000100c	2015-06-16		2015-06-16	postgres			
19	34	UUID_98ed8bd9-6	UUID	01030000a07a7f00000100c	2015-06-16		2015-06-16	postgres			
20	34	UUID_606b22a4-6	UUID	01030000a07a7f00000100c	2015-06-16		2015-06-16	postgres			
21	34	UUID_6488b26c-6	UUID	01030000a07a7f00000100c	2015-06-16		2015-06-16	postgres			
22	34	UUID_997413ca-6	UUID	01030000a07a7f00000100c	2015-06-16		2015-06-16	postgres			
23	34	UUID_a23c9ac3-6	UUID	01030000a07a7f00000100c	2015-06-16		2015-06-16	postgres			
24	34	UUID_1f9543d6-6	UUID	01030000a07a7f00000100c	2015-06-16		2015-06-16	postgres			
25	33	UUID_5a2b0a6e-6	UUID	01030000a07a7f00000100c	2015-06-16		2015-06-16	postgres			

Σχήμα 4-21: Τμήμα πίνακα “cityobject” βάσης δεδομένων

Πηγή: PostgreSQL 9.3 (pgAdmin III), 2015

Πέρα από τη χωρική πληροφορία σχετικά με τα 14 κτίρια της περιοχής μελέτης, έγινε εισαγωγή στη βάση δεδομένων και της περιγραφικής τους πληροφορίας. Η περιγραφική πληροφορία για κάθε κτίριο έγινε χειροκίνητα στα αντίστοιχα πεδία της βάσης δεδομένων “OT_kaisariani_tex” και η πληροφορία αυτή αφορά συγκεκριμένα:

- Τις διευθύνσεις των κτιρίων στον πίνακα “address” (Σχ. 4-22).

	id [PK] serial	street character varying(1000)	house_number character vari	po_box character vai	zip_code character vai	city character vai	state character vai	country character vai	multi_point geometry(Mu	xal_source text
1	1	Vrioulon	12		161 21	Kaisariani	Attiki	Greece		
2	2	Vrioulon	14		161 21	Kaisariani	Attiki	Greece		
3	3	Vrioulon	16-18		161 21	Kaisariani	Attiki	Greece		
4	4	Smirnis	21		161 21	Kaisariani	Attiki	Greece		
5	5	Smirnis	19		161 21	Kaisariani	Attiki	Greece		
6	6	Iroon Politexniou	11		161 21	Kaisariani	Attiki	Greece		
7	7	Iroon Politexniou	9		161 21	Kaisariani	Attiki	Greece		
8	8	Iroon Politexniou	7		161 21	Kaisariani	Attiki	Greece		
9	9	Iroon Politexniou	5		161 21	Kaisariani	Attiki	Greece		
10	10	Iroon Politexniou	3		161 21	Kaisariani	Attiki	Greece		
11	11	Iroon Politexniou	1		161 21	Kaisariani	Attiki	Greece		
12	12	Tzon Kennenti	16		161 21	Kaisariani	Attiki	Greece		
13	13	Tzon Kennenti	18		161 21	Kaisariani	Attiki	Greece		
14	14	Tzon Kennenti	20		161 21	Kaisariani	Attiki	Greece		
*										

Σχήμα 4–22: Πίνακας “address” βάσης δεδομένων
 Πηγή: PostgreSQL 9.3 (pgAdmin III), 2015

- Διάφορα στοιχεία των κτιρίων, όπως περιγραφή, χρήση, είδος οροφής, μετρημένο ύψος, όροφοι πάνω από το έδαφος στον πίνακα “building” (Σχ. 4-23).

	id [PK] serial	name character	name_codes character vai	building_pare integer	building_root integer	description character varyi	class character	function character vai	usage character varying(1000)	year_of_cons date	year_of_dem date	roof_type character varying(25)	measured_he double precis	stores_above numeric(8,0)
1	1				1	monokatoikia	1		katoikia			keramoskepis & pl	6.12	1
2	2				2	polikatoikia	1		katoikia			plakoskepis & ker	11.03	2
3	3				3	polikatoikia	3		katoikia			plakoskepis & pl	6.21	1
4	4				4	monokatoikia	1		katoikia			keramoskepis & pl	6.21	1
5	56				56	polikatoikia	6		katoikia			plakoskepis	24.11	7
6	87				87	monokatoikia	1		katoikia			keramoskepis	6.69	1
7	92				92	monokatoikia	2		katoikia			plakoskepis & ker	10.9	2
8	121				121	polikatoikia	3		katoikia			plakoskepis	12.35	3
9	133				133	monokatoikia	1		katoikia			keramoskepis	6.39	1
10	179				179	polikatoikia	4		katoikia			plakoskepis	16.36	4
11	202				202	polikatoikia	3		katoikia			plakoskepis	11.41	3
12	240				240	polikatoikia	4		katoikia & plintirio			plakoskepis	16.67	4
13	254				254	polikatoikia	4		katoikia			plakoskepis	19.67	5
14	281				281	sinergio moto	2		sinergio moto			plakoskepis	7.1	2
*														

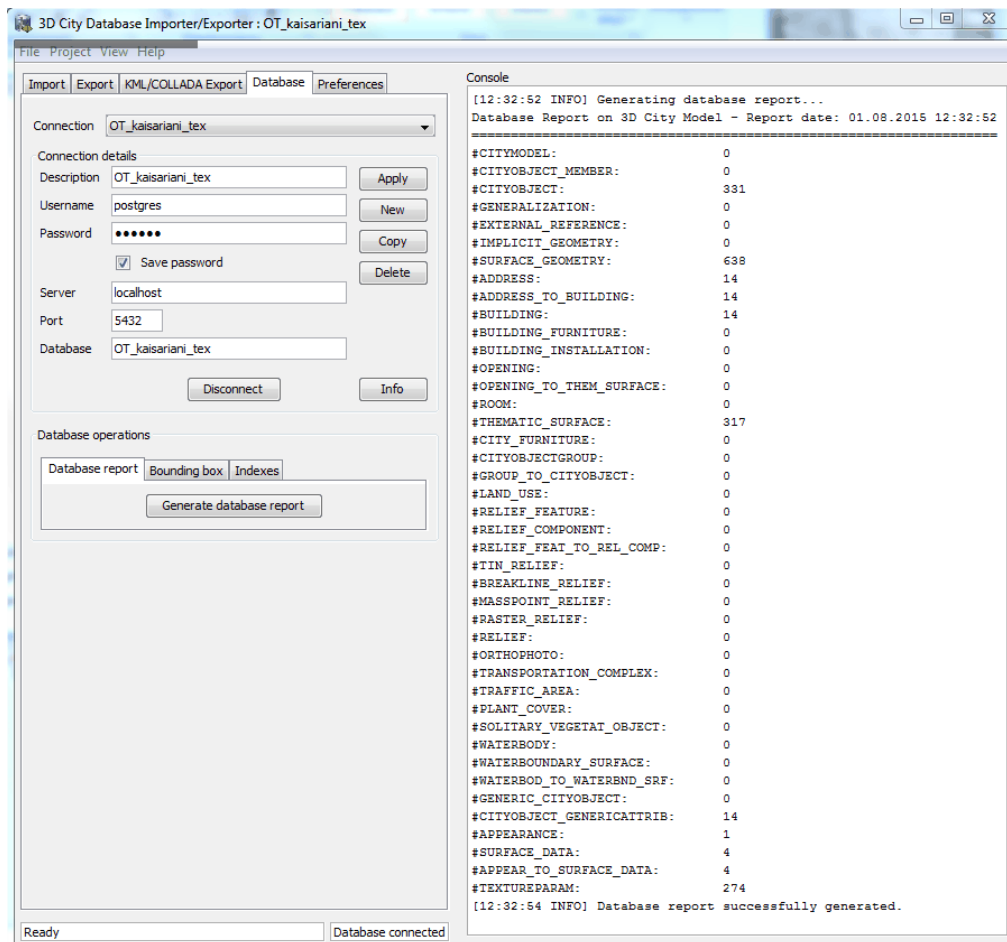
Σχήμα 4–23: Πίνακας “building” βάσης δεδομένων
 Πηγή: PostgreSQL 9.3 (pgAdmin III), 2015

- Αντιστοίχιση κωδικών κτιρίων με κωδικούς διευθύνσεων στον πίνακα “address_to_building” (Σχ. 4-24).

	building_id [PK] integer	address_id [PK] integer
1	1	5
2	2	6
3	3	2
4	4	1
5	56	3
6	67	7
7	92	4
8	121	10
9	133	8
10	179	9
11	202	11
12	240	12
13	254	13
14	281	14
*		

Σχήμα 4-24: Πίνακας “address_to_building” βάσης δεδομένων
Πηγή: PostgreSQL 9.3 (pgAdmin III), 2015

Εφόσον λοιπόν έγινε μεταβολή της βάσης δεδομένων “OT_kaisariani_tex” με τη συμπλήρωση στοιχείων στους πίνακές της, έγινε εκ νέου σύνδεση (Connect) της 3DCityDB με την ανανεωμένη πλέον βάση δεδομένων της PostgreSQL. Πλέον, στην έκθεση της βάσης δεδομένων (Generate database report) παρουσιάζονται οντότητες με μη μηδενικά στοιχεία (Σχ. 4-25).

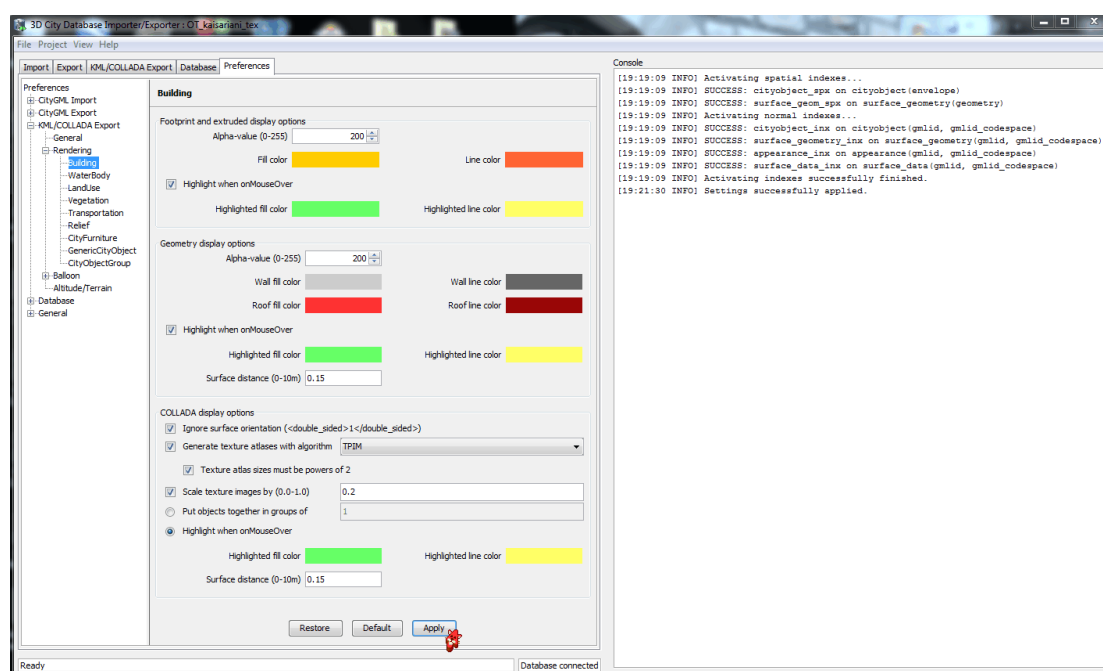


Σχήμα 4-25: Connect & Generate Database Report #2
Πηγή: 3DCityDB-Importer-Exporter-1.6 (PostGIS), 2015

4.4.4 Εξαγωγή αρχείων CityGML και KML/COLLADA από την 3DCityDB

Στο τελικό αυτό βήμα, με τη βοήθεια του εργαλείου 3DCityDB-Importer-Exporter, έγινε η εξαγωγή των επιθυμητών αρχείων CityGML (βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2), βάσει της δομής του προτύπου GML3, και αρχείων KML/COLLADA (βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1), στα οποία πρόκειται να απεικονιστούν στην εφαρμογή Google Earth 3D τα κτίρια της βάσης δεδομένων “OT_kaisariani_tex”.

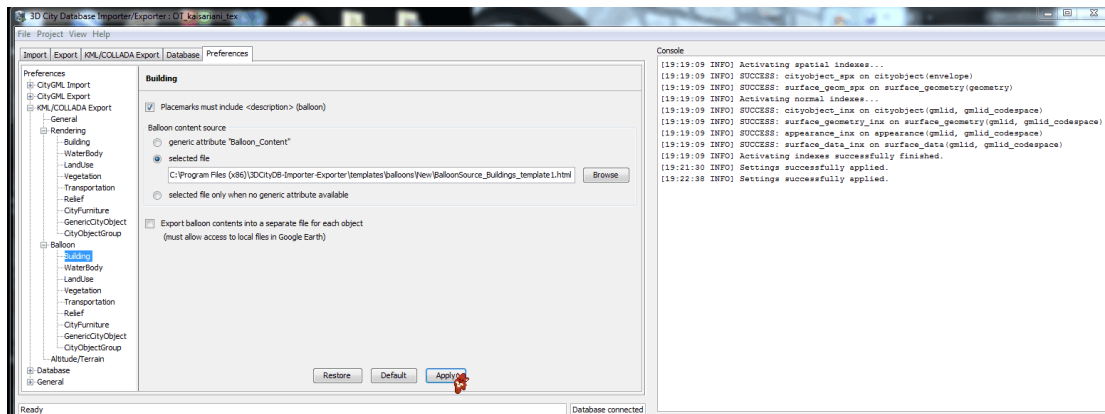
Πριν γίνει η εξαγωγή των αρχείων, ορίστηκαν πρώτα ορισμένες παράμετροι απεικόνισης για την εξαγωγή αυτή. Αρχικά, καθορίστηκαν χρώματα με τα οποία πρόκειται να απεικονίζονται τμήματα των κτιρίων (τοιχος, οροφή κ.ά.) της περιοχής μελέτης, καθώς και άλλα μεγέθη απεικόνισης ως προς τη γεωμετρία, την ακρίβεια κ.ά. (Σχ. 4-26).



Σχήμα 4-26: Preferences – Rendering_Building
Πηγή: 3DCityDB-Importer-Exporter-1.6 (PostGIS), 2015

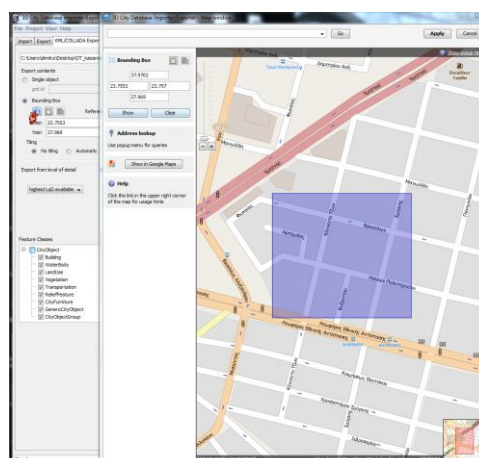
Επιπλέον, επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί ένα συμπληρωματικό εργαλείο για την οπτικοποίηση περιγραφικής πληροφορίας των κτιρίων, αντλούμενη από την βάση δεδομένων, το Μπαλόني (Balloon). Πιο συγκεκριμένα, επιλέγοντας στο εξαγόμενο αρχείο KML/COLLADA ένα από τα κτίρια που απεικονίζονται 3D, υπάρχει η δυνατότητα εμφάνισης πληροφοριών για το κτίριο αυτό σε Balloon. Για την εμφάνιση των Balloons επιλέχθηκε ένας από τους προτυποποιημένους τύπους εμφάνισης (Σχ. 4-27), στον οποίο εμφανίζονται συγκεκριμένα για κάθε κτίριο ο κωδικός, η διεύθυνση (Address), το επίπεδο λεπτομέρειας (LoD), το όνομα (Name), η κατηγορία (Class), η λειτουργία (Function), η χρήση (Usage), το είδος οροφής (Roof type), το μετρημένο ύψος (Measured height), οι όροφοι πάνω και κάτω από το έδαφος

(Storeys above/below ground) και έτος κατασκευής και κατεδάφισης (Year of construction/demolition) (Σχ. 4-30).

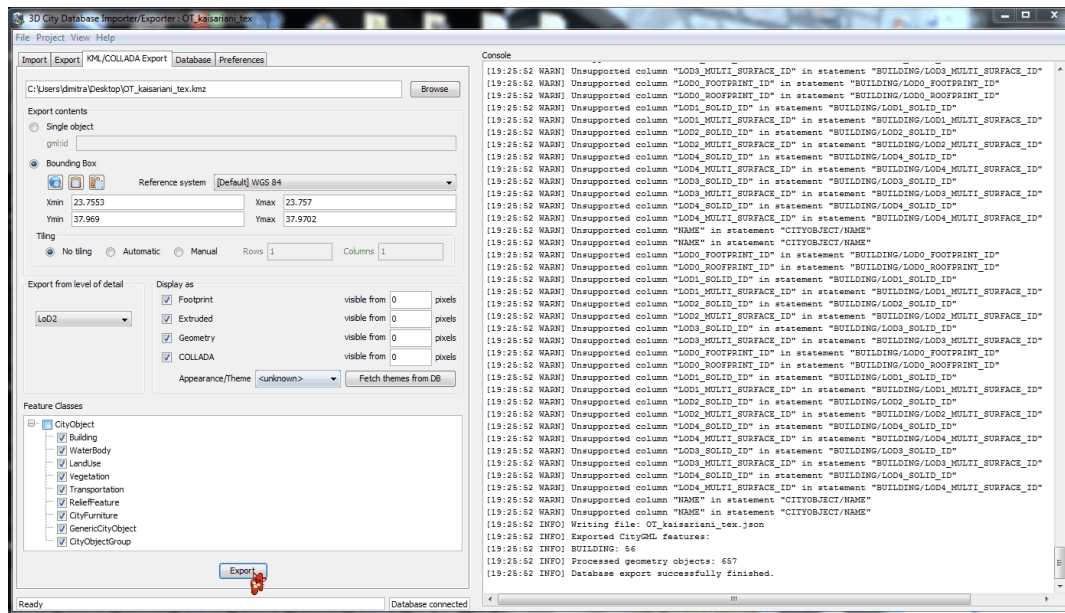


Σχήμα 4-27: Preferences – Ballon_Building
 Πηγή: 3DCityDB-Importer-Exporter-1.6 (PostGIS), 2015

Τέλος, επιλέχθηκε η περιοχή εκείνη, εντός της οποίας πρόκειται να απεικονιστούν τα κτίρια 3Δ στα εξαγόμενα αρχεία KML/COLLADA (Σχ. 4-28) αλλά και το τι ακριβώς θα οπτικοποιούν τα εξαγόμενα αυτά αρχεία (Footprint, Extruded, Geometry, COLLADA). Με την επιλογή “Footprint”, στο εξαγόμενο αρχείο απεικονίζεται η προβολή του κτιρίου στην επιφάνεια της γης, ενώ επιλέγοντας “Extruded”, απεικονίζεται το κτίριο πρισματικά, σαν “τραβηγμένο” δηλαδή από την προβολή του στην επιφάνεια της γης με ύψος τόσο, όσο είναι καταχωρημένο στη βάση δεδομένων και με επίπεδη στέγη. Σε περίπτωση επιλογής του “Geometry”, στο εξαγόμενο αρχείο απεικονίζεται η αναλυτική γεωμετρία του εδάφους και των τμημάτων του κτιρίου (τοίχος, οροφή κ.ά.), καθώς και ο διαφορετικός χρωματισμός ανά είδος επιφάνειας, ενώ η επιλογή του “COLLADA”, ολοκληρώνει την επιλογή του “Geometry” με την πρόσθετη υποστήριξη απεικόνισης των υφών στις επιφάνειες των αντικειμένων. Στην παρούσα εφαρμογή, επιλέχθηκε να εξαχθούν και οι 4 προαναφερόμενες μορφές απεικόνισης των 14 κτιρίων της βάσης δεδομένων “OT_kaisariani_tex” (Σχ. 4-29).

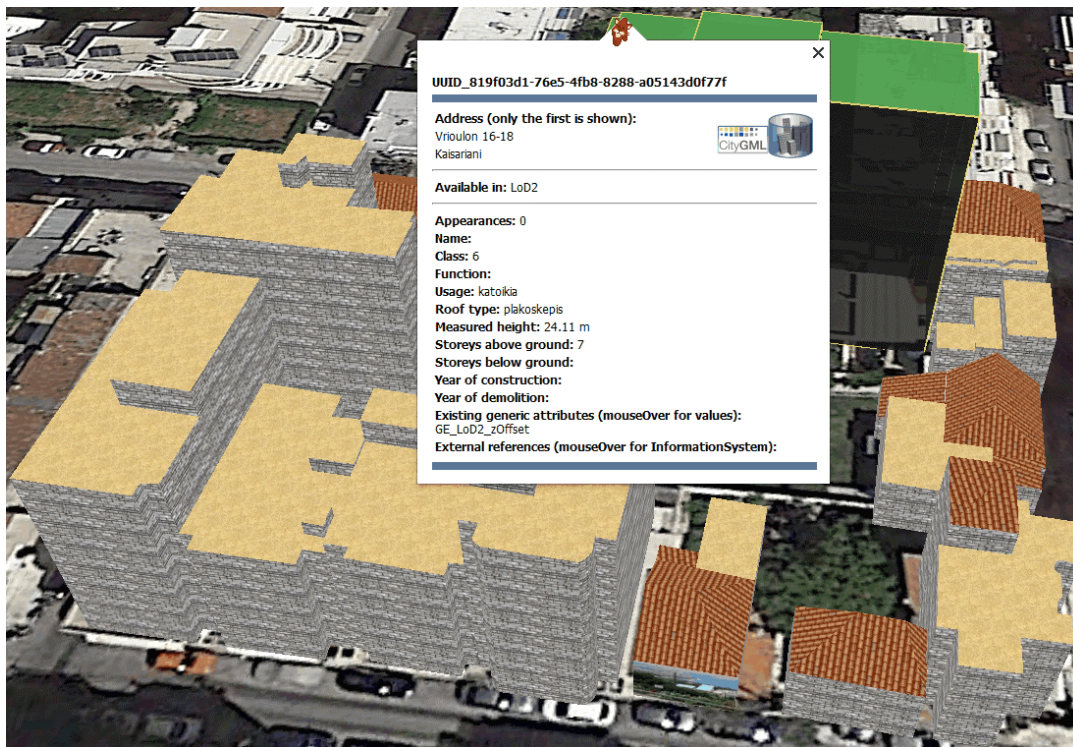


Σχήμα 4-28: Map window - Bounding Box
 Πηγή: 3DCityDB-Importer-Exporter-1.6 (PostGIS), 2015



Σχήμα 4-29: KML/COLLADA Export
Πηγή: 3DCityDB-Importer-Exporter-1.6 (PostGIS), 2015

Παρακάτω παρουσιάζονται οι 4 μορφές απεικόνισης των κτιρίων των εξαγόμενων αρχείων KML/COLLADA (Footprint, Extruded, Geometry, COLLADA) της περιοχής μελέτης (Σχ. 4-31 – 4-34), δηλαδή του ΟΤ του Δήμου Καισαριανής της βάσης δεδομένων “OT_kaisariani_tex” στην εφαρμογή Google Earth (βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1).



Σχήμα 4-30: Παράδειγμα balloon κτιρίου βάσης δεδομένων COLLADA
Πηγή: Google Earth, 2015



Σχήμα 4-31: KML/COLLADA-Footprint
Πηγή: Google Earth, 2015



Σχήμα 4-32: KML/COLLADA-Extruded
Πηγή: Google Earth, 2015



Σχήμα 4-33: KML/COLLADA-Geometry
Πηγή: Google Earth, 2015

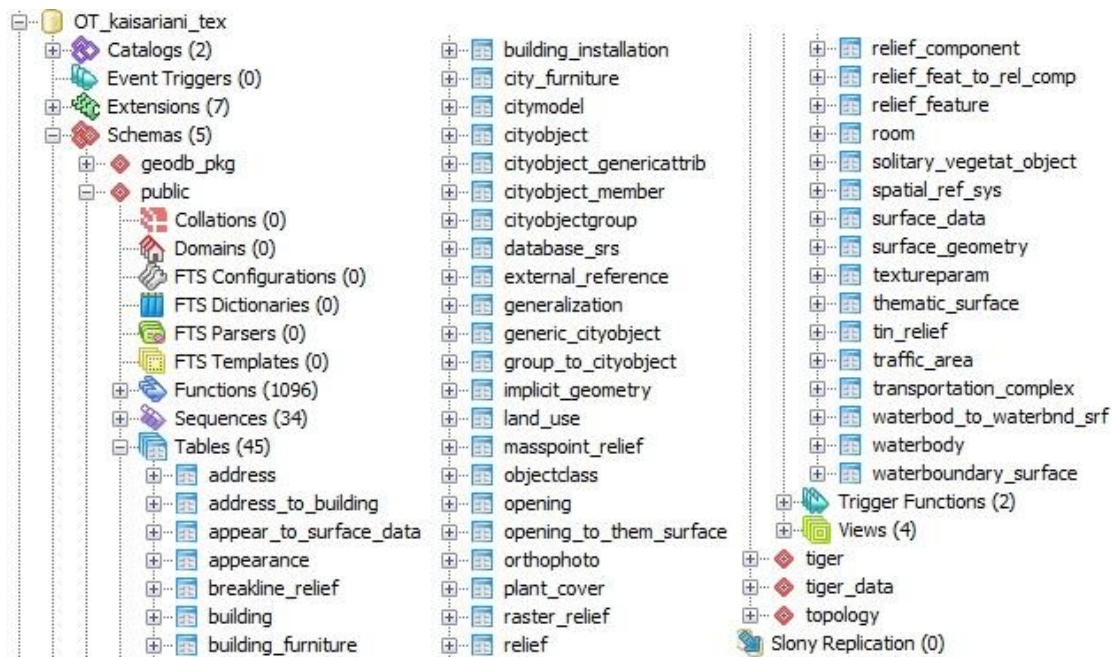


Σχήμα 4-34: KML/COLLADA-COLLADA
Πηγή: Google Earth, 2015

4.5 Περιγραφή Πινάκων του Schema “Public” κατά 3DCityDB Πρότυπο της Βάσης Δεδομένων

Στην ενότητα αυτή, γίνεται περιγραφή του schema “public” της βάσης δεδομένων “OT_kaisariani_tex”, όπως έχει διαμορφωθεί κατά το πρότυπο της 3DCityDB. Κατά το 3DCityDB πρότυπο, το οποίο είναι συμβατό με το πρότυπο του CityGML, η βάση δεδομένων και πιο συγκεκριμένα το schema της, “public”, έχει εμπλουτιστεί με οντότητες-πίνακες (Tables) που αφορούν γενικά μία πόλη σε οποιοδήποτε επίπεδο λεπτομέρειας LoD είναι διαμορφωμένη (Σχ. 4-35).

Στην παρούσα εφαρμογή, το επίπεδο λεπτομέρειας της μοντελοποιημένης περιοχής μελέτης είναι LoD2 και μοντελοποιήθηκαν μόνο τα κτίρια της. Επομένως, οι πίνακες της βάσης δεδομένων “OT_kaisariani_tex”, οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν και τέθηκαν σε επεξεργασία, ήταν περιορισμένοι και αφορούσαν μόνο τα κτίρια και πιο συγκεκριμένα, το εξωτερικό τους μέρος και τη θέση τους και όχι άλλες θεματικές κατηγορίες, όπως αντικείμενα της πόλης, χρήσεις γης, ανάγλυφο, μεταφορά, βλάστηση και υδάτινες μάζες. Οι πιο σημαντικοί από τους πίνακες αυτούς, πρόκειται να περιγραφούν στην ενότητα αυτή.



Σχήμα 4-35: Schema “public” βάσης δεδομένων βάσει 3DCityDB
 Πηγή: PostgreSQL 9.3 (pgAdmin III), 2015

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στην ενότητα 4.4.3, οι πίνακες που χρησιμοποιήθηκαν για εισαγωγή περιγραφικής πληροφορίας χειροκίνητα είναι οι “address”, “building” και “address_to_building”. Στον πίνακα “address” (Σχ. 4-22) καταχωρούνται διευθύνσεις, στις οποίες συμπεριλαμβάνονται οδός, νούμερο, Τ.Κ., πόλη, νομός και χώρα και η κάθε διεύθυνση αντιστοιχεί σε έναν κωδικό (id). Στον πίνακα “building” (Σχ. 4-23) καταχωρούνται διάφορα στοιχεία που αφορούν κάθε ένα κτίριο, όπως όνομα, περιγραφή, κατηγορία, λειτουργία, χρήση, έτος κατασκευής και κατεδάφισης, μετρημένο ύψος, όροφοι πάνω και κάτω από το έδαφος, καθώς και ύψη των ορόφων πάνω και κάτω από το έδαφος και σε κάθε ένα κτίριο αντιστοιχεί και ένα id. Όσον αφορά τον πίνακα “address_to_building” (Σχ. 4-24), σε αυτόν καταχωρούνται σε μία στήλη τα id των κτιρίων και σε δεύτερη στήλη γίνεται αντιστοιχία τους με τα id των διευθύνσεων.

Ο πίνακας “objectclass” (Σχ. 4-36) αποτελεί μία λίστα 60 συνολικά κατηγοριών αντικειμένων “classname”, που μπορούν να υπάρχουν σε ένα 3Δ μοντέλο CityGML. Στη λίστα αυτή, οι κυρίαρχες κατηγορίες για την παρούσα εφαρμογή είναι οι “Building” (id=26), “RoofSurface” (id=33), “WallSurface” (id=34) και “GroundSurface” (id=35).

	id [PK] integer	classname character varying(256)	superclass_id integer	31	30	CeilingSurface	29
1	0	Undefined		32	31	InteriorWallSurface	29
2	1	Object		33	32	FloorSurface	29
3	2	_AbstractFeature	1	34	33	RoofSurface	29
4	3	_CityObject	2	35	34	WallSurface	29
5	4	LandUse	3	36	35	GroundSurface	29
6	5	GenericCityObject	3	37	36	ClosureSurface	29
7	6	_VegetationObject	3	38	37	_Opening	3
8	7	SolitaryVegetationObject	6	39	38	Window	37
9	8	PlantCover	6	40	39	Door	37
10	9	WaterBody	3	41	40	BuildingFurniture	3
11	10	_WaterBoundarySurface	3	42	41	Room	3
12	11	WaterSurface	10	43	42	_TransportationComplex	22
13	12	WaterGroundSurface	10	44	43	Track	42
14	13	WaterClosureSurface	10	45	44	Railway	42
15	14	ReliefFeature	3	46	45	Road	42
16	15	_ReliefComponent	3	47	46	Square	42
17	16	TINRelief	15	48	47	TrafficArea	22
18	17	MassPointRelief	15	49	48	AuxiliaryTrafficArea	22
19	18	BreaklineRelief	15	50	49	FeatureCollection	2
20	19	Raster	15	51	50	Appearance	2
21	20	Orthophoto	3	52	51	_SurfaceData	2
22	21	CityFurniture	3	53	52	_AbstractTexture	51
23	22	_TransportationObject	3	54	53	X3DMaterial	51
24	23	CityObjectGroup	3	55	54	ParameterizedTexture	52
25	24	_AbstractBuilding	3	56	55	GeoreferencedTexture	52
26	25	BuildingPart	24	57	56	TextureParametrization	1
27	26	Building	24	58	57	CityModel	49
28	27	BuildingInstallation	3	59	58	Address	2
29	28	IntBuildingInstallation	3	60	59	ImplicitGeometry	1
30	29	_BoundarySurface	3	*			

Σχήμα 4-36: Πίνακας “objectclass” βάσης δεδομένων
 Πηγή: PostgreSQL 9.3 (pgAdmin III), 2015

Ένας σημαντικός πίνακας είναι ο “cityobject” (Σχ. 4-37), οποίος αναφέρεται σε κάθε ένα από τα 14 κτίρια της περιοχής μελέτης αλλά και σε κάθε μία από τις επιφάνειες, από τις οποίες αποτελούνται. Η κάθε γραμμή αναφέρεται σε ένα αντικείμενο, στο οποίο αντιστοιχίζεται ο κωδικός της κατηγορίας του “class_id” από τον πίνακα “objectclass”, ένα κωδικοποιημένο όνομα “gmlid”, το γεωμετρικό ανάπτυγμα του “envelope geometry”, η ημερομηνία δημιουργίας του και τροποποίησής του, καθώς και ο χρήστης που το ενημερώνει.

	id [PK] serial	class_id integer	gmlid character varying(256)	gmlid_codesj character vai	envelope geometry(PolygonZ,32634)	creation_date date	termination_date	last_modifica date	updating_person character varyin	reason_for character	lineage character	xml_source text
1	1	26	UUID_9a19eba5-31aa-422a-b751-1a2f232f7807	UUID	01030000A07A7F0000010000	2015-06-16		2015-06-16	postgres			
2	2	26	UUID_402e8f5f-ff6f-4657-a0b0-5ba8dc99e435	UUID	01030000A07A7F0000010000	2015-06-16		2015-06-16	postgres			
3	3	26	UUID_1566ab08-5b3b-46bb-983e-c0d66b609e1a	UUID	01030000A07A7F0000010000	2015-06-16		2015-06-16	postgres			
4	4	26	UUID_4528b893-e1b5-4b51-b21f-bc8025d9fcd4	UUID	01030000A07A7F0000010000	2015-06-16		2015-06-16	postgres			
5	5	34	UUID_f3ec754d-ca86-402f-8bb2-14915b17d3b5	UUID	01030000A07A7F0000010000	2015-06-16		2015-06-16	postgres			
6	6	34	UUID_b1102ae8-894e-4821-9273-380942c2e8b0	UUID	01030000A07A7F0000010000	2015-06-16		2015-06-16	postgres			
7	7	34	UUID_cc909009-d2b3-4940-8047-8d0cbee8a475	UUID	01030000A07A7F0000010000	2015-06-16		2015-06-16	postgres			
8	8	34	UUID_de3fba10-9c8c-41a3-a464-b8938a0fccf0	UUID	01030000A07A7F0000010000	2015-06-16		2015-06-16	postgres			
9	9	34	UUID_5f117dec-ce7d-4524-8fcf-242976f98a0e	UUID	01030000A07A7F0000010000	2015-06-16		2015-06-16	postgres			
10	10	34	UUID_fc114f2c-7630-4a9a-b97f-dce038f433b0	UUID	01030000A07A7F0000010000	2015-06-16		2015-06-16	postgres			
11	11	34	UUID_51799ff5-6c70-449d-abf7-f7f06d5b39f2	UUID	01030000A07A7F0000010000	2015-06-16		2015-06-16	postgres			
12	12	34	UUID_47ef8ab9-b038-4ad6-89ab-334af40b3f1c	UUID	01030000A07A7F0000010000	2015-06-16		2015-06-16	postgres			
13	13	34	UUID_0ebaed22-ad6a-4fac-a83b-e2ebf1cf45d8	UUID	01030000A07A7F0000010000	2015-06-16		2015-06-16	postgres			
14	14	34	UUID_ee74cb9-84d0-4ace-af1f-4d929e92aac1	UUID	01030000A07A7F0000010000	2015-06-16		2015-06-16	postgres			
15	15	34	UUID_d0fa11f2-7902-425f-9546-36939903cbd8	UUID	01030000A07A7F0000010000	2015-06-16		2015-06-16	postgres			
16	16	34	UUID_1f1113ee-3788-4d66-803c-708845ac8d23	UUID	01030000A07A7F0000010000	2015-06-16		2015-06-16	postgres			
17	17	34	UUID_038ad760-88aa-4f28-83f9-1cf665333f1f	UUID	01030000A07A7F0000010000	2015-06-16		2015-06-16	postgres			
18	18	34	UUID_160d8ea7-c3fb-4b20-9e60-c0515a0daf1c	UUID	01030000A07A7F0000010000	2015-06-16		2015-06-16	postgres			
19	19	34	UUID_98e8b8d9-75ae-47a2-ba88-4207152d32f6	UUID	01030000A07A7F0000010000	2015-06-16		2015-06-16	postgres			
20	20	34	UUID_606b22a4-0c60-4379-bb60-340eb5f6219a	UUID	01030000A07A7F0000010000	2015-06-16		2015-06-16	postgres			
21	21	34	UUID_6488b26c-9a46-42db-804b-58299b268d50	UUID	01030000A07A7F0000010000	2015-06-16		2015-06-16	postgres			
22	22	34	UUID_997413ca-f978-4ec5-af3c-3cd89f17dc27	UUID	01030000A07A7F0000010000	2015-06-16		2015-06-16	postgres			
23	23	34	UUID_a23c9ac3-1063-4f43-1b77-4d8a0ae26404	UUID	01030000A07A7F0000010000	2015-06-16		2015-06-16	postgres			
24	24	34	UUID_1f9543d6-964c-435c-914a-9371489ec661	UUID	01030000A07A7F0000010000	2015-06-16		2015-06-16	postgres			
25	25	33	UUID_5a2b0af6-a8f0-4fff-8939-f97a11a9b8ee	UUID	01030000A07A7F0000010000	2015-06-16		2015-06-16	postgres			

Σχήμα 4-37: Τμήμα πίνακα “cityobject” βάσης δεδομένων
 Πηγή: PostgreSQL 9.3 (pgAdmin III), 2015

Στον πίνακα “thematic_surface” (Σχ. 4-38), κάθε γραμμή αντιστοιχεί σε κάθε μία από τις επιφάνειες των κτιρίων και για κάθε μία αναφέρεται το είδος της (τοίχος, οροφή, έδαφος) “type” και το id του κτιρίου “building_id” από τον πίνακα “building”, στο οποίο ανήκει.

	id [PK] serial	name character var	name_codespace character varying	description character var	type character var	building_id integer	room_id integer	lod2_multi_surface_id integer	lod3_multi_si integer	lod4_multi_si integer
1	5				WallSurface	3		2		
2	6				WallSurface	4		1		
3	7				WallSurface	2		4		
4	8				WallSurface	3		19		
5	9				WallSurface	1		5		
6	10				WallSurface	4		6		
7	11				WallSurface	1		7		
8	12				WallSurface	4		8		
9	13				WallSurface	1		9		
10	14				WallSurface	4		10		
11	15				WallSurface	1		11		
12	16				WallSurface	4		14		
13	17				WallSurface	1		12		
14	18				WallSurface	1		13		
15	19				WallSurface	1		16		
16	20				WallSurface	4		15		
17	21				WallSurface	2		17		
18	22				WallSurface	1		18		
19	23				WallSurface	4		20		
20	24				WallSurface	4		21		
21	25				RoofSurface	4		22		
22	26				RoofSurface	4		23		
23	27				RoofSurface	4		24		
24	28				WallSurface	3		26		
25	29				RoofSurface	4		25		

Σχήμα 4-38: Τμήμα πίνακα “thematic_surface” βάσης δεδομένων
Πηγή: PostgreSQL 9.3 (pgAdmin III), 2015

Σχετικά με τις υφές (textures) των επιφανειών των κτιρίων, υπάρχουν οι πίνακες “surface_geometry”, surface_data” και “textureparam”. Κάθε γραμμή του πίνακα “surface_geometry” αναφέρεται στην γεωμετρία τμήματος κάθε κτιριακής επιφάνειας. Στον πίνακα “surface_data” (Σχ. 4-39), η κάθε γραμμή του αναφέρεται στο δεδομένο που έχει χρησιμοποιηθεί για την οπτικοποίηση της υφής των κτιριακών επιφανειών και στη συγκεκριμένη περίπτωση τα δεδομένα αυτά “tex_image_uri” είναι συνολικά 4 αρχεία .jpg, εικόνες.

	id [PK] serial	gmlid character varying(256)	gmlid_codespace character varying	name character	name_cod character	descri chara	is_front numeric(1,0)	type character varying(30)
1	1	UUID_96103baa-c87b-4245-90e3-080833e16dde	UUID				1	ParameterizedTexture
2	2	UUID_2b21ea83-c30b-475e-8dd4-a8ef73d483ce	UUID				1	ParameterizedTexture
3	3	UUID_4a303515-5989-4b8b-8ef9-7e8d826980d1	UUID				1	ParameterizedTexture
4	4	UUID_a5981723-3a20-4f54-8c2f-f53934b1f9b6	UUID				1	ParameterizedTexture
*								

tex_image_uri character varying(4000)	tex_image bytea	tex_mime_ty character var	tex_texture character vai	tex_wrap_m character vai	tex_border_c character vai	gt_prefer_wc numeric(1,0)	gt_orientatio character vai	gt_reference geometry(Po
/textures/xania.jpg	<binary data>			wrap				
/textures/Roofing_Tile_Spanish.jpg	<binary data>			wrap				
/textures/Stone_Brushed_Khaki.jpg	<binary data>			wrap				
/textures/Brick_Tumbled.jpg	<binary data>			wrap				

Σχήμα 4-39: Τμήματα πίνακα “surface_data” βάσης δεδομένων
Πηγή: PostgreSQL 9.3 (pgAdmin III), 2015

Όσον αφορά τον πίνακα “textureparam” (Σχ. 4-40), η πληροφορία που περιέχει αφορά, για κάθε τμήμα κτιριακής επιφάνειας “surface_geometry_id” από τον πίνακα “surface_geometry”, τις συντεταγμένες θέσης του αρχείου υφής

“texture_coordinates”, καθώς και το id του αρχείου .jpg “surface_data_id”, που χρησιμοποιείται, από τον πίνακα “surface_data”.

	surface_geometry_id [PK] integer	is_texture numeric(1, character)	world_to character	texture_coordinates character varying(4000)	surface_data [PK] integer
1	320	1		2.10722259042968 0.0397041787590206 2.12101053975495 0.0375657997474357 2.20171759823279 3.94743049036723 2.4	
2	321	1		-1.20984155291705 0.18196710969339 -1.14300509709398 0.183655440441212 -1.1677155669787 4.0965385789926 4	
3	322	1		-0.307406337444997 0.203502118905102 -0.039455751465932 0.211537045930534 -0.0626872173348792 4.1243100469 4	
4	323	1		-2.05843657956554 0.0500892047843767 -1.39145524013808 0.102771490690128 -1.46866710286183 4.01291857210671 4	
5	324	1		-1.1083009705227 0.1814385029397 -0.315299534910468 0.203686542155256 -0.342743481544006 4.11649681157345 4	
6	325	1		1.91051778179528 0.0609412201431668 2.11408338592739 0.044773563579442 2.19172097386173 3.95488692575332 4	
7	326	1		0.07791338698989428 5.72475900606872 0.0336993184617077 0.211457891019884 1.08055158496247 0.177872100353302 4	
8	327	1		-0.220812179299197 0.194936527951844 -0.144614279099821 0.201060493005865 -0.223175976264063 4.111100022760 4	
9	328	1		1.06696480110338 0.185138026109606 2.53937869303798 0.147338388919736 2.56449139664658 4.06021128408531 1.0 4	
10	329	1		0.0266821261660684 0.21058669852205 0.316855692675162 0.187886656324541 0.393328735312215 4.09809181466228 4	
11	330	1		2.5372896203154 0.146418266278034 3.11940762237202 0.131250676558519 3.14489588384147 4.04411385834763 2.56 4	
12	331	1		0.261008336866026 0.192370553458389 1.12255826214394 0.125357994018317 1.198594301057 4.03559718097462 0.33 4	
13	332	1		-3.12457489296757 0.125606506321968 -2.5355768118388 0.141992412952913 -2.5627904181413 4.05480911753763 4	
14	333	1		1.12052708276663 0.125554617311928 1.82011014434106 0.0711642666267649 1.8961123514706 3.9814061444826 1.19 4	
15	334	1		-2.44552132990621 0.15343047842723 -1.95635948576222 0.165251179568913 -1.9799856131408 4.07816079540723 4	
16	335	1		-1.97635394276722 0.224558299180456 -0.0944430462922592 0.27543514201577 -0.106924505443492 2.1221687576721 4	
17	336	1		-1.90609042852709 0.0629184566464336 -1.70387706623524 0.0788058774441417 -1.78068042708203 3.9889851393632 4	
18	337	1		-1.93191843754187 0.168306272079104 -1.76094278094004 0.172219687737114 -1.78333333205123 4.08515867757269 4	
19	338	1		-0.942027419493873 0.221423754068651 -0.859351961270467 0.220641794939584 -0.85009141325219 4.133793264865 4	
20	339	1		0.17378865389178 0.205168424068977 0.242410676325872 0.202249980665321 0.284007718976802 4.11456075940754 4	
21	340	1		-1.76061678744541 0.162790622959085 -1.34157367590076 0.174629702588983 -1.36921045527108 4.08743454298109 4	
22	341	1		-2.13336906769614 0.0367758968616822 -2.08668997157328 0.0406250234280814 -2.16729134937052 3.9504984941276 4	
23	342	1		-2.047678907214447 0.075296767794974 -1.98941520726459 0.0792044111030193 -2.05499111706928 3.99020122591953 4	
24	343	1		-0.763382741118414 0.206099339249075 -0.691474007638465 0.206703526771013 -0.699693742395178 4.119864223212 4	
25	344	1		0.640090185534905 0.18421471312591 0.717095229028229 0.180804243107902 0.760412404594503 4.09304035235484 0 4	

Σχήμα 4-40: Τμήμα πίνακα “textureparam” βάσης δεδομένων
Πηγή: PostgreSQL 9.3 (pgAdmin III), 2015

Τέλος, ενδιαφέρον αποτελούν οι πίνακες που αφορούν το σύστημα συντεταγμένων, κατά το οποίο υλοποιείται η εφαρμογή. Ο πίνακας “spatial_ref_sys” (Σχ. 4-41) αποτελεί ουσιαστικά μία πλήρη λίστα με όλα τα χωρικά συστήματα συντεταγμένων SRID που υποστηρίζει, ενώ στον πίνακα “database_srs” (Σχ. 4-42), είναι καταχωρημένο το επιλεγθέν για την βάση δεδομένων “OT_kaisariani_tex” SRID, που για τη συγκεκριμένη περιοχή μελέτης στην Αθήνα είναι 32634 (WGS84 / UTM zone 34N), όπως έχει προαναφερθεί στην ενότητα 4.4.2.

	srid [PK] integer	auth_name character varying(256)	auth_srid integer	srttext character varying(2048)	proj4text character varying(2048)
3813	32631	EPSG	32631	PROJCS["WGS 84 / UTM zone 31N"]	+proj=utm +zone=31 +datum=WGS84 +units=m +no_defs
3814	32632	EPSG	32632	PROJCS["WGS 84 / UTM zone 32N"]	+proj=utm +zone=32 +datum=WGS84 +units=m +no_defs
3815	32633	EPSG	32633	PROJCS["WGS 84 / UTM zone 33N"]	+proj=utm +zone=33 +datum=WGS84 +units=m +no_defs
3816	32634	EPSG	32634	PROJCS["WGS 84 / UTM zone 34N"]	+proj=utm +zone=34 +datum=WGS84 +units=m +no_defs
3817	32635	EPSG	32635	PROJCS["WGS 84 / UTM zone 35N"]	+proj=utm +zone=35 +datum=WGS84 +units=m +no_defs
3818	32636	EPSG	32636	PROJCS["WGS 84 / UTM zone 36N"]	+proj=utm +zone=36 +datum=WGS84 +units=m +no_defs
3819	32637	EPSG	32637	PROJCS["WGS 84 / UTM zone 37N"]	+proj=utm +zone=37 +datum=WGS84 +units=m +no_defs

Σχήμα 4-41: Τμήμα πίνακα “spatial_ref_sys” βάσης δεδομένων
Πηγή: PostgreSQL 9.3 (pgAdmin III), 2015

	srid [PK] integer	gml_srs_name character varying(1000)
1	32634	urn:ogc:def:crs,crs:EPSG::32634,crs:EPSG::32634
*		

Σχήμα 4-42: Πίνακας “database_srs” βάσης δεδομένων
Πηγή: PostgreSQL 9.3 (pgAdmin III), 2015

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΧΩΡΙΚΑ ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ POSTGRESQL

Στην ενότητα αυτή, γίνεται αναφορά της δυνατότητας σύνταξης απλών και χωρικών ερωτημάτων στη βάση δεδομένων PostgreSQL και υλοποιούνται στη συνέχεια διάφορα τέτοια παραδείγματα.

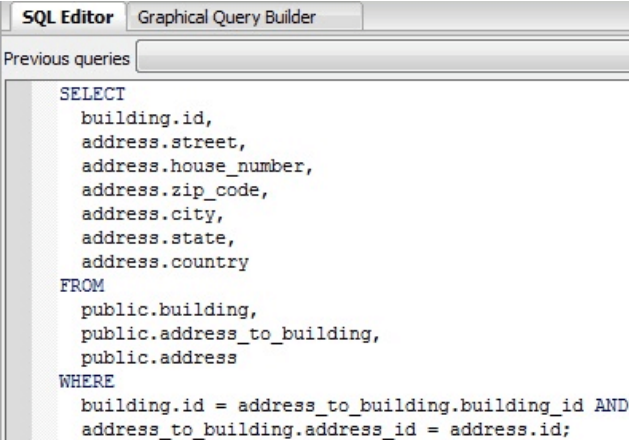
Η σχεσιακή βάση δεδομένων PostgreSQL συνοδεύεται από ένα σημαντικό εργαλείο, το PostGIS, το οποίο δίνει τη δυνατότητα για χωρικές πράξεις σε αυτή. Η PostGIS υποστηρίζει τη χρήση ειδικών χωρικών τελεστών, όπως distance, length, perimeter, area κ.ά., προκειμένου να είναι δυνατό να συνταχθούν χωρικά ερωτήματα και συναρτήσεις. Επεκτείνει δηλαδή γενικά την PostgreSQL, ώστε να μπορεί να ερωτά, να αποθηκεύει και να διαχειρίζεται χωρικά δεδομένα. Επιπλέον, υποστηρίζει ποικίλους τύπους στοιχείων, όπως σημεία, γραμμές, πολύγωνα κ.ά. και ένα πολύ μεγάλο αριθμό συστημάτων συντεταγμένων.

Για σύνταξη απλών ερωτημάτων μπορούν να εφαρμοστούν όλοι οι τυπικοί τελεστές SQL. Οι περισσότερες συναρτήσεις με χωρική λειτουργικότητα, που υποστηρίζονται από την PostGIS, ξεκινούν με το πρόθεμα “ST” (Spatial Type). Γενικά, τα σκέλη της σύνταξης ενός ερωτήματος είναι τρία: η επιλογή (SELECT) των στηλών εκείνων, από τις οποίες είναι επιθυμητό να εξαχθεί πληροφορία στα αποτελέσματα, η αναφορά των πινάκων (FROM), από τους οποίους επιλέγονται οι προαναφερόμενες στήλες και η έκφραση των διαφορών συνθηκών (WHERE).

5.1 Απλά Ερωτήματα

Στην ενότητα αυτή, παρουσιάζονται τρία παραδείγματα σύνταξης απλών ερωτημάτων στη βάση δεδομένων “OT_kaisariani_tex”, καθώς και τα αποτελέσματά τους (Data Output).

1. “Ποια είναι τα κτίρια της βάσης δεδομένων και ποιες οι διευθύνσεις τους;”
Αυτό είναι το πιο απλό ερώτημα, που μπορεί να τεθεί στη βάση δεδομένων. Το αποτέλεσμα είναι η εμφάνιση των id των κτιρίων της βάσης δεδομένων με τη διεύθυνσή τους (Σχ. 5-1).



```
SELECT
  building.id,
  address.street,
  address.house_number,
  address.zip_code,
  address.city,
  address.state,
  address.country
FROM
  public.building,
  public.address_to_building,
  public.address
WHERE
  building.id = address_to_building.building_id AND
  address_to_building.address_id = address.id;
```

	id integer	street character varying(1000)	house_number character varying(256)	zip_code character varying(256)	city character varying(256)	state character varying(256)	country character varying(256)
1	1	Smirnis	19	161 21	Kaisariani	Attiki	Greece
2	2	Iroon Politexniou	11	161 21	Kaisariani	Attiki	Greece
3	3	Vrioulon	14	161 21	Kaisariani	Attiki	Greece
4	4	Vrioulon	12	161 21	Kaisariani	Attiki	Greece
5	56	Vrioulon	16-18	161 21	Kaisariani	Attiki	Greece
6	87	Iroon Politexniou	9	161 21	Kaisariani	Attiki	Greece
7	92	Smirnis	21	161 21	Kaisariani	Attiki	Greece
8	121	Iroon Politexniou	3	161 21	Kaisariani	Attiki	Greece
9	133	Iroon Politexniou	7	161 21	Kaisariani	Attiki	Greece
10	179	Iroon Politexniou	5	161 21	Kaisariani	Attiki	Greece
11	202	Iroon Politexniou	1	161 21	Kaisariani	Attiki	Greece
12	240	Tzon Kennenti	16	161 21	Kaisariani	Attiki	Greece
13	254	Tzon Kennenti	18	161 21	Kaisariani	Attiki	Greece
14	281	Tzon Kennenti	20	161 21	Kaisariani	Attiki	Greece

Σχήμα 5-1: Απλό ερώτημα και αποτελέσματα #1

Πηγή: PostgreSQL 9.3 (pgAdmin III), 2015

2. “Ποια κτίρια έχουν μετρημένο ύψος πάνω από 10 μ. και ποιες οι διευθύνσεις τους;”
Άλλο ένα απλό ερώτημα, που μπορεί να τεθεί στη βάση δεδομένων. Το αποτέλεσμα είναι η εμφάνιση των id των κτιρίων με μετρημένο ύψος μεγαλύτερο από 10 μ., το ύψος τους σε μ. και η διεύθυνσή τους (Σχ. 5-2).

SQL Editor								
Graphical Query Builder								
Previous queries								
<pre> SELECT building.id, building.measured_height, address.street, address.house_number, address.zip_code, address.city, address.state, address.country FROM public.building, public.address_to_building, public.address WHERE building.id = address_to_building.building_id AND address_to_building.address_id = address.id AND building.measured_height >= 10; </pre>								
Data Output	Explain	Messages	History					
id	measured_height	street	house_number	zip_code	city	state	country	
integer	double precision	character varying(1000)	character varying(256)	character varying(256)	character varying(256)	character varying(256)	character varying(256)	
1	2	11.03	Iroon Politexniou	11	161 21	Kaisariani	Attiki	
2	56	24.11	Vrioulon	16-18	161 21	Kaisariani	Attiki	
3	92	10.9	Smirnis	21	161 21	Kaisariani	Attiki	
4	121	12.35	Iroon Politexniou	3	161 21	Kaisariani	Attiki	
5	179	16.36	Iroon Politexniou	5	161 21	Kaisariani	Attiki	
6	202	11.41	Iroon Politexniou	1	161 21	Kaisariani	Attiki	
7	240	16.67	Tzon Kennenti	16	161 21	Kaisariani	Attiki	
8	254	19.67	Tzon Kennenti	18	161 21	Kaisariani	Attiki	

Σχήμα 5-2: Απλό ερώτημα και αποτελέσματα #2
 Πηγή: PostgreSQL 9.3 (pgAdmin III), 2015

3. “Τι χρήση έχει το κτίριο με τη διεύθυνση Τζων Κέννεντυ 16;”

Αυτό είναι ένα τελευταίο παράδειγμα απλού ερωτήματος στη βάση δεδομένων, του οποίου το αποτέλεσμα είναι η χρήση του κτιρίου εκείνου, που βρίσκεται στη διεύθυνση Τζων Κέννεντυ 16 (Σχ. 5-3).

SQL Editor	
Graphical Query Builder	
Previous queries	
<pre> SELECT building.usage FROM public.building, public.address_to_building, public.address WHERE building.id = address_to_building.building_id AND address_to_building.address_id = address.id AND address.street = 'Tzon Kennenti' AND address.house_number = '16'; </pre>	
Data Output	Explain
	Messages
	History
usage	character varying(1000)
1	katoikia & plintirio autokiniton

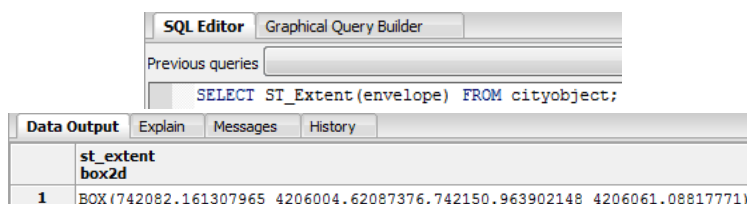
Σχήμα 5-3: Απλό ερώτημα και αποτελέσματα #3
 Πηγή: PostgreSQL 9.3 (pgAdmin III), 2015

5.2 Χωρικά Ερωτήματα

Στην ενότητα αυτή, παρουσιάζονται οχτώ παραδείγματα σύνταξης χωρικών ερωτημάτων στη βάση δεδομένων “OT_kaisariani_tex” και τα αποτελέσματά τους.

1. “Ποιο είναι το πλαίσιο οριοθέτησης της μοντελοποιημένης περιοχής μελέτης της βάσης δεδομένων;”

Για το ερώτημα αυτό, εφαρμόστηκε η χωρική συνάρτηση “ST_Extent” στην στήλη “envelope”, η οποία αφορά το γεωμετρικό ανάπτυγμα των αντικειμένων και βρίσκεται στον πίνακα “cityobject”. Αποτέλεσμα της χωρικής αυτής συνάρτησης είναι η εμφάνιση των συντεταγμένων (X, Y) σε μ. του βορειοδυτικού και του νοτιοανατολικού άκρου ενός νοητού πλαισίου (BOX), το οποίο περιλαμβάνει την μοντελοποιημένη περιοχή μελέτης (Σχ. 5-4).



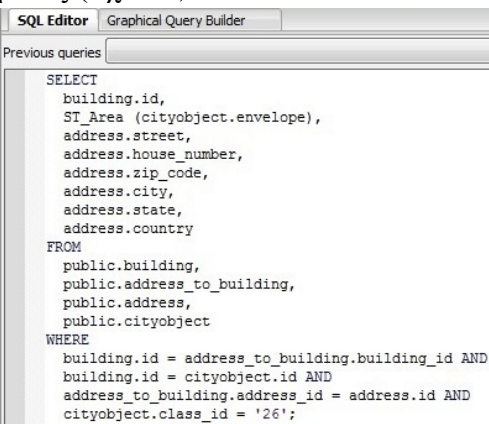
The screenshot shows a SQL Editor window with a query and its results. The query is: `SELECT ST_Extent(envelope) FROM cityobject;`. The results are displayed in a table with columns `st_extent` and `box2d`. The first row shows the result: `BOX(742082.161307965 4206004.62087376,742150.963902148 4206061.08817771)`.

	st_extent	box2d
1		BOX(742082.161307965 4206004.62087376,742150.963902148 4206061.08817771)

Σχήμα 5-4: Χωρικό ερώτημα και αποτελέσματα #1

Πηγή: PostgreSQL 9.3 (pgAdmin III), 2015

2. “Ποιο είναι το εμβαδό και η διεύθυνση των κτιρίων της βάσης δεδομένων;”
- Όπως και στο προηγούμενο χωρικό ερώτημα (1), έτσι και σε αυτό, εφαρμόστηκε στην στήλη “envelope” (γεωμετρικό ανάπτυγμα αντικειμένων) του πίνακα “cityobject” η χωρική συνάρτηση “ST_Area” και μία από τις συνθήκες είναι το “class_id” του πίνακα “cityobject” να είναι ίσο με “26”, δηλαδή το αντικείμενο να αντιστοιχεί σε κτίριο. Αποτέλεσμα είναι η εμφάνιση των id των κτιρίων της βάσης δεδομένων με το εμβαδό τους σε μ² και τη διεύθυνσή τους (Σχ. 5-5).



```

SELECT
  building.id,
  ST_Area (cityobject.envelope),
  address.street,
  address.house_number,
  address.zip_code,
  address.city,
  address.state,
  address.country
FROM
  public.building,
  public.address_to_building,
  public.address,
  public.cityobject
WHERE
  building.id = address_to_building.building_id AND
  building.id = cityobject.id AND
  address_to_building.address_id = address.id AND
  cityobject.class_id = '26';

```

Data Output	id integer	st_area double precision	street character varying(1000)	house_number character varying(256)	zip_code character varying(256)	city character varying(256)	state character varying(256)	country character varying(256)
1	2	128.871168825109	Iroon Politexniou	11	161 21	Kaisariani	Attiki	Greece
2	1	179.773348423205	Smirnis	19	161 21	Kaisariani	Attiki	Greece
3	133	127.624474993111	Iroon Politexniou	7	161 21	Kaisariani	Attiki	Greece
4	4	159.732647165985	Vrioulon	12	161 21	Kaisariani	Attiki	Greece
5	56	400.346472917367	Vrioulon	16-18	161 21	Kaisariani	Attiki	Greece
6	202	162.162045990783	Iroon Politexniou	1	161 21	Kaisariani	Attiki	Greece
7	92	186.152893206395	Smirnis	21	161 21	Kaisariani	Attiki	Greece
8	281	87.5522463255078	Tzon Kennenti	20	161 21	Kaisariani	Attiki	Greece
9	240	219.961784174097	Tzon Kennenti	16	161 21	Kaisariani	Attiki	Greece
10	3	157.086428919361	Vrioulon	14	161 21	Kaisariani	Attiki	Greece
11	87	55.8240081820629	Iroon Politexniou	9	161 21	Kaisariani	Attiki	Greece
12	121	155.863543097628	Iroon Politexniou	3	161 21	Kaisariani	Attiki	Greece
13	179	190.75414452183	Iroon Politexniou	5	161 21	Kaisariani	Attiki	Greece
14	254	201.654520459952	Tzon Kennenti	18	161 21	Kaisariani	Attiki	Greece

Σχήμα 5-5: Χωρικό ερώτημα και αποτελέσματα #2
 Πηγή: PostgreSQL 9.3 (pgAdmin III), 2015

3. “Ποιο είναι το άθροισμα των εμβαδών των κτιρίων της βάσης δεδομένων σε εκτάρια ανά οδό;”

Σε αυτό το χωρικό ερώτημα, εφαρμόστηκε στην στήλη “envelope” (γεωμετρικό ανάπτυγμα αντικειμένων) του πίνακα “cityobject” η χωρική συνάρτηση “sum(ST_Area)/1000”, ώστε το αποτέλεσμα να είναι η εμφάνιση του αθροίσματος των εμβαδών των κτιρίων της βάσης δεδομένων σε εκτάρια ανά οδό, “GROYP BY address.street”. Επιπλέον, μία από τις συνθήκες είναι το “class_id” του πίνακα “cityobject” να είναι ίσο με “26”, ώστε να χρησιμοποιηθούν τα εμβαδά των αντικειμένων εκείνων, που αντιστοιχούν σε κτίρια (Σχ. 5-6).

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

```

SELECT
  address.street,
  sum(ST_Area(cityobject.envelope))/10000 AS hectares
FROM
  public.address_to_building,
  public.address,
  public.cityobject
WHERE
  address_to_building.address_id = address.id AND
  cityobject.id = address_to_building.building_id AND
  cityobject.class_id = '26'
GROUP BY address.street;

```

The results are displayed in a table with the following data:

	street character varying(1000)	hectares double precision
1	Vrioulon	0.0717165549002712
2	Smirnis	0.03659262416296
3	Tzon Kennenti	0.0509168550959556
4	Iroon Politexniou	0.0821099385610525

Σχήμα 5-6: Χωρικό ερώτημα και αποτελέσματα #3
 Πηγή: PostgreSQL 9.3 (pgAdmin III), 2015

4. “Να ταξινομηθούν τα κτίρια της βάσης δεδομένων με τις διευθύνσεις τους βάσει των εμβαδών τους κατά φθίνουσα σειρά.”

Για να εκτελεστεί το χωρικό αυτό ερώτημα, εφαρμόστηκε στην στήλη “envelope” (γεωμετρικό ανάπτυγμα αντικειμένων) του πίνακα “cityobject” η χωρική συνάρτηση “ST_Area”. Το αποτέλεσμα είναι η εμφάνιση των id των κτιρίων της βάσης δεδομένων μαζί με το εμβαδό τους σε μ² και τη διεύθυνσή τους με σειρά εμφάνισης από το κτίριο με το μεγαλύτερο εμβαδό προς το κτίριο με το μικρότερο, “ORDER BY area_m2 DESC”. Για αντίθετη ταξινόμηση, η εντολή που χρειάζεται αντίστοιχα είναι η “ORDER BY area_m2”. Ομοίως με προηγούμενα παραδείγματα χωρικών ερωτημάτων, μία από τις συνθήκες είναι το “class_id” του πίνακα “cityobject” να είναι ίσο με “26”, ώστε να χρησιμοποιηθούν τα εμβαδά των αντικειμένων εκείνων, που αντιστοιχούν σε κτίρια (Σχ. 5-7).

```

SQL Editor Graphical Query Builder
Previous queries
SELECT
  building.id,
  ST_Area (cityobject.envelope) AS area_m2,
  address.street,
  address.house_number,
  address.zip_code,
  address.city,
  address.state,
  address.country
FROM
  public.building,
  public.address_to_building,
  public.address,
  public.cityobject
WHERE
  building.id = address_to_building.building_id AND
  building.id = cityobject.id AND
  address_to_building.address_id = address.id AND
  cityobject.class_id = '26'
ORDER BY area_m2 DESC;

```

Data Output	id integer	area_m2 double precision	street character varying(1000)	house_number character varying(256)	zip_code character varying(256)	city character varying(256)	state character varying(256)	country character varying(256)
1	56	400.346472917367	Vrioulon	16-18	161 21	Kaisariani	Attiki	Greece
2	240	219.961784174097	Tzon Kennenti	16	161 21	Kaisariani	Attiki	Greece
3	254	201.654520459952	Tzon Kennenti	18	161 21	Kaisariani	Attiki	Greece
4	179	190.75414452183	Iroon Politexniou	5	161 21	Kaisariani	Attiki	Greece
5	92	186.152893206395	Smirnis	21	161 21	Kaisariani	Attiki	Greece
6	1	179.773348423205	Smirnis	19	161 21	Kaisariani	Attiki	Greece
7	202	162.162045990783	Iroon Politexniou	1	161 21	Kaisariani	Attiki	Greece
8	4	159.732647165985	Vrioulon	12	161 21	Kaisariani	Attiki	Greece
9	3	157.086428919361	Vrioulon	14	161 21	Kaisariani	Attiki	Greece
10	121	155.863543097628	Iroon Politexniou	3	161 21	Kaisariani	Attiki	Greece
11	2	128.871168825109	Iroon Politexniou	11	161 21	Kaisariani	Attiki	Greece
12	133	127.624474993111	Iroon Politexniou	7	161 21	Kaisariani	Attiki	Greece
13	281	87.5522463255078	Tzon Kennenti	20	161 21	Kaisariani	Attiki	Greece
14	87	55.8240081820629	Iroon Politexniou	9	161 21	Kaisariani	Attiki	Greece

Σχήμα 5-7: Χωρικό ερώτημα και αποτελέσματα #4
 Πηγή: PostgreSQL 9.3 (pgAdmin III), 2015

5. “Ποιο είναι το κτίριο της βάσης δεδομένων με το μέγιστο εμβαδό και ποια η διεύθυνσή του;”

Το χωρικό αυτό ερώτημα, εφαρμόστηκε κατά τον ίδιο ακριβώς τρόπο με το χωρικό ερώτημα του προηγούμενου παραδείγματος (4) με μόνη πρόσθετη εντολή την “LIMIT 1”, ώστε το αποτέλεσμα να είναι η εμφάνιση μόνο ενός id, δηλαδή του κτιρίου εκείνου της βάσης δεδομένων με το μέγιστο εμβαδό μαζί με η διεύθυνσή του (Σχ. 5-8).

The screenshot shows the SQL Editor interface with a query and its results. The query is as follows:

```

SELECT
  building.id,
  ST_Area (cityobject.envelope) AS area_m2,
  address.street,
  address.house_number,
  address.zip_code,
  address.city,
  address.state,
  address.country
FROM
  public.building,
  public.address_to_building,
  public.address,
  public.cityobject
WHERE
  building.id = address_to_building.building_id AND
  building.id = cityobject.id AND
  address_to_building.address_id = address.id AND
  cityobject.class_id = '26'
ORDER BY area_m2 DESC
LIMIT 1;

```

The results are shown in a table with the following columns and data:

id	area_m2	street	house_number	zip_code	city	state	country	
integer	double precision	character varying(1000)	character varying(256)	character varying(256)	character varying(256)	character varying(256)	character varying(256)	
1	56	400.346472917367	Vrioulon	16-18	161 21	Kaisariani	Attiki	Greece

Σχήμα 5-8: Χωρικό ερώτημα και αποτελέσματα #5
 Πηγή: PostgreSQL 9.3 (pgAdmin III), 2015

6. “Ποια κτίρια της βάσης δεδομένων απέχουν λιγότερο από 12 μ. από το 2Δ σημείο A(742110, 4206040) και ποιες είναι οι διευθύνσεις τους;”

Για να εκτελεστεί το χωρικό αυτό ερώτημα, εφαρμόστηκε στην στήλη “envelope” (γεωμετρικό ανάπτυγμα αντικειμένων) του πίνακα “cityobject” και στο σημείο A του ερωτήματος η χωρική συνάρτηση “ST_Distance” ως εξής: “ST_Distance (cityobject.envelope, ST_GeomFromText (‘POINT (742110 4206040)’, 32634)) < 12”, όπου “32634” το SRID της βάσης δεδομένων (βλ. ενότητα 4.4.2). Επίσης, μία από τις συνθήκες είναι το “class_id” του πίνακα “cityobject” να είναι ίσο με “26”, ώστε να χρησιμοποιηθούν τα αντικείμενα εκείνα, που αντιστοιχούν σε κτίρια. Το αποτέλεσμα είναι η εμφάνιση των id των κτιρίων της βάσης δεδομένων μαζί με τη διεύθυνσή τους, που βρίσκονται σε απόσταση μικρότερη των 12 μ. από το σημείο A (Σχ. 5-9).

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

```

SELECT
  building.id,
  address.street,
  address.house_number,
  address.zip_code,
  address.city,
  address.state,
  address.country
FROM
  public.building,
  public.address_to_building,
  public.address,
  public.cityobject
WHERE
  building.id = address_to_building.building_id AND
  building.id = cityobject.id AND
  address_to_building.address_id = address.id AND
  cityobject.class_id = '26' AND
  ST_Distance(cityobject.envelope, ST_GeomFromText('POINT(742110 4206040)', 32634)) < 12;

```

The results are displayed in a table with the following columns: id, street, house_number, zip_code, city, state, and country.

	id integer	street character varying(1000)	house_number character varying(256)	zip_code character varying(256)	city character varying(256)	state character varying(256)	country character varying(256)
1	4	Vrioulon	12	161 21	Kaisariani	Attiki	Greece
2	56	Vrioulon	16-18	161 21	Kaisariani	Attiki	Greece
3	281	Tzon Kennenti	20	161 21	Kaisariani	Attiki	Greece
4	3	Vrioulon	14	161 21	Kaisariani	Attiki	Greece
5	254	Tzon Kennenti	18	161 21	Kaisariani	Attiki	Greece

Σχήμα 5-9: Χωρικό ερώτημα και αποτελέσματα #6
 Πηγή: PostgreSQL 9.3 (pgAdmin III), 2015

7. “Ποια κτίρια της βάσης δεδομένων απέχουν λιγότερο από 12 μ. από το 3Δ σημείο B(742110, 4206040, 3) και ποιες είναι οι διευθύνσεις τους;”

Το χωρικό αυτό ερώτημα, εφαρμόστηκε κατά τον ίδιο ακριβώς τρόπο με το χωρικό ερώτημα του προηγούμενου παραδείγματος (6) με τη διαφορά ότι εδώ δίνεται 3Δ σημείο, οπότε και οι αποστάσεις που πρέπει να υπολογιστούν είναι και αυτές 3Δ. Συνεπώς, σε αυτή την περίπτωση η χωρική συνάρτηση, που εφαρμόζεται αντίστοιχα, είναι η “ST_3DDistance” ως εξής: “ST_3DDistance (cityobject.envelope, ST_GeomFromEWKT ('SRID=32634; POINTZ (742110 4206040 3))) < 12”. Το αποτέλεσμα είναι η εμφάνιση των id των κτιρίων της βάσης δεδομένων μαζί με τη διεύθυνσή τους, που βρίσκονται σε 3Δ απόσταση μικρότερη των 12 μ. από το 3Δ σημείο B (Σχ. 5-10).

```

SQL Editor Graphical Query Builder
Previous queries
SELECT
  building.id,
  address.street,
  address.house_number,
  address.zip_code,
  address.city,
  address.state,
  address.country
FROM
  public.building,
  public.address_to_building,
  public.address,
  public.cityobject
WHERE
  building.id = address_to_building.building_id AND
  building.id = cityobject.id AND
  address_to_building.address_id = address.id AND
  cityobject.class_id = '26' AND
  ST_3DDistance(cityobject.envelope, ST_GeomFromEWKT ('SRID=32634;POINTZ(742110 4206040 3)')) < 12;

```

Data Output	Explain	Messages	History				
	id integer	street character varying(1000)	house_number character varying(256)	zip_code character varying(256)	city character varying(256)	state character varying(256)	country character varying(256)
1	4	Vrioulon	12	161 21	Kaisariani	Attiki	Greece
2	56	Vrioulon	16-18	161 21	Kaisariani	Attiki	Greece
3	3	Vrioulon	14	161 21	Kaisariani	Attiki	Greece
4	254	Izon Kennenti	18	161 21	Kaisariani	Attiki	Greece

Σχήμα 5-10: Χωρικό ερώτημα και αποτελέσματα #7
 Πηγή: PostgreSQL 9.3 (pgAdmin III), 2015

8. “Ποια κτίρια της βάσης δεδομένων επικαλύπτονται με το πλαίσιο εκείνο, που έχει στο βορειοδυτικό του άκρο Γ συντεταγμένες (742110, 4206040) και στο νοτιοανατολικό του άκρο Δ συντεταγμένες (742150, 4206061) και ποιες είναι οι διευθύνσεις τους;”

Στο τελευταίο αυτό παράδειγμα χωρικού ερωτήματος, εφαρμόστηκαν δύο εναλλακτικές συνθήκες:

- ο η “envelope && ‘BOX3D(742110 4206040,742150 4206061)’::box3d” και
- ο η “envelope && ST_MakeEnvelope(742110, 4206040, 742150, 4206061, 32634)”, όπου “32634” το SRID της βάσης δεδομένων (βλ. ενότητα 4.4.2).

Όπως και σε προηγούμενα παραδείγματα χωρικών ερωτημάτων, μία επιπλέον συνθήκη που χρησιμοποιήθηκε, είναι το “class_id” του πίνακα “cityobject” να είναι ίσο με “26”, ώστε να χρησιμοποιηθούν τα αντικείμενα εκείνα, που αντιστοιχούν σε κτίρια. Το αποτέλεσμα είναι η εμφάνιση των id των κτιρίων της βάσης δεδομένων, που επικαλύπτονται με το πλαίσιο του ερωτήματος, μαζί με τη διεύθυνσή τους και είναι ίδιο κατά την εφαρμογή και των δύο προαναφερόμενων εναλλακτικών συνθηκών (Σχ. 5-11).

```

SQL Editor Graphical Query Builder
Previous queries
SELECT
  building.id,
  address.street,
  address.house_number,
  address.zip_code,
  address.city,
  address.state,
  address.country
FROM
  public.building,
  public.address_to_building,
  public.address,
  public.cityobject
WHERE
  building.id = address_to_building.building_id AND
  building.id = cityobject.id AND
  address_to_building.address_id = address.id AND
  cityobject.class_id = '26' AND
  envelope && 'BOX3D(742110 4206040, 742150 4206061)'::box3d;

```

ή εναλλακτικά:

```
envelope && ST_MakeEnvelope(742110, 4206040, 742150, 4206061, 32634);
```

	id	street	house_number	zip_code	city	state	country
	integer	character varying(1000)	character varying(256)	character varying(256)	character varying(256)	character varying(256)	character varying(256)
1	56	Vrioulon	16-18	161 21	Kaisariani	Attiki	Greece
2	92	Smirnis	21	161 21	Kaisariani	Attiki	Greece
3	3	Vrioulon	14	161 21	Kaisariani	Attiki	Greece

Σχήμα 5-11: Χωρικό ερώτημα και αποτελέσματα #8
 Πηγή: PostgreSQL 9.3 (pgAdmin III), 2015

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σήμερα, λόγω των αυξανόμενων αναγκών για την αντιμετώπιση χωρικών ζητημάτων και σε συνδυασμό με την τεχνολογική εξέλιξη, αναπτύσσονται δυναμικά και με ταχύ ρυθμό όλο και περισσότερες τεχνολογίες και τεχνικές δημιουργίας 3D μοντέλων πόλεων, τα οποία μπορούν να φτάσουν να αντιπροσωπεύουν με μεγάλη ακρίβεια την πραγματικότητα. Η μεγάλη ακρίβεια των αποτελεσμάτων απεικόνισης εξαρτάται από το είδος και την ποιότητα των δεδομένων αλλά και από την ύπαρξη δυνατότητας άμεσης διασύνδεσης και συνδυασμού διαφορετικών λογισμικών και τεχνολογιών για τον σκοπό αυτό.

Τα 3D χωρικά δεδομένα βρίσκουν χρησιμότητα σε μεγάλο εύρος εφαρμογών και ειδικά σε εφαρμογές που αφορούν την αναπαράσταση πόλεων. Η διαθεσιμότητα των χωρικών δεδομένων αυξάνεται σταθερά, καθώς όλο και περισσότεροι δήμοι αποφασίζουν να δημιουργήσουν εικονικά 3D μοντέλα πόλεων. Οι απαιτήσεις επομένως της σύγχρονης πραγματικότητας μπορούν να ικανοποιηθούν από 3D γεωμετρικά, τοπολογικά και σημασιολογικά μοντέλα και με επιπλέον δυνατότητα απόδοσης υφών των επιφανειών των χωρικών αντικειμένων αλλά και διαχείρισης αντίστοιχης σχεσιακής χωρικής βάσης δεδομένων.

Το CityGML είναι τόσο ένα σημασιολογικό μοντέλο, που καθορίζεται από ένα τυπικό μοντέλο δομής δεδομένων, όσο και μια μορφή ανταλλαγής για εικονικά 3D μοντέλα πόλεων και τοπίων. Το μοντέλο δεδομένων του CityGML αποτελείται από τρία κύρια μέρη: 1) τον πυρήνα του μοντέλου με καλά καθορισμένα επίπεδα λεπτομέρειας (LoDs), κατηγορίες, χωρικές και θεματικές ιδιότητες και σχέσεις μεταξύ των χωρικών οντοτήτων, 2) τα GenericCityObjects και γενικές ιδιότητες, που επιτρέπουν την επέκταση δεδομένων του CityGML "on the fly" και 3) ADEs, που διευκολύνουν τη συστηματική επέκταση για συγκεκριμένα πεδία εφαρμογών. Το CityGML μπορεί να διαχειριστεί και απλά αντικείμενα αλλά και αντικείμενα με περίπλοκες θεματικές και χωρικές δομές. Το CityGML λειτουργεί επίσης συμπληρωματικά με τα πρότυπα απεικόνισης, όπως τα X3D και KML. Ενώ αυτά σχετίζονται με την παρουσίαση, τη συμπεριφορά και την αλληλεπίδραση των 3D μοντέλων, το CityGML επικεντρώνεται στην ανταλλαγή των αντίστοιχων αστικών πληροφοριών, που βρίσκονται πίσω από τα 3D αντικείμενα. Τέλος, το CityGML βρίσκει χρησιμότητα πλέον σε μεγάλο εύρος εφαρμογών 3D απεικόνισης μοντέλων πόλεων, όπως στο 3D Κτηματολόγιο και τις Έξυπνες Πόλεις (Smart Cities).

Στην παρούσα εργασία, μελετήθηκε μία συγκεκριμένη τεχνική 3D κτιριακής μοντελοποίησης βάσει CityGML προδιαγραφών σε επίπεδο λεπτομέρειας LoD2 με έναν συνδυασμό εμπορικών διαθέσιμων συστημάτων λογισμικού. Το πρώτο σε χρήση λογισμικό για την εφαρμογή αυτή, το Google SketchUp 8, δίνει τη δυνατότητα του εύκολου 3D σχεδιασμού του εξωτερικού μέρους κτιρίων, της εισαγωγής εικόνων υφής στις διάφορες επιφάνειές τους και με γεωαναφορά λόγω του μεγάλου πλήθους

σχεδιαστικών εργαλείων και του υποβάθρου της Google Earth που διαθέτει αντίστοιχα. Επιπλέον, σε συνδυασμό με το ελεύθερο plug-in πρόγραμμα, το CityGML Editor 18, μπορεί να χαρακτηριστεί το είδος της κάθε σχεδιασμένης επιφάνειας σε έδαφος, τοίχο ή οροφή για επίπεδο λεπτομέρειας LoD2 αλλά και να εξαχθεί μετασχηματισμένο το σχεδιασμένο 3D μοντέλο σε αρχείο GML με CityGML προδιαγραφές. Συνεπώς, υπάρχει συμβατότητα μεταξύ του σχεδιαστικού πακέτου SketchUp και αρχείων CityGML προτύπου για επίπεδο λεπτομέρειας LoD2 και η δυνατότητα εύκολης μετάβασης από ένα 3D σχεδιασμένο μοντέλο σε ένα αρχείο συμβατό CityGML.

Συμβατότητα υπάρχει επίσης μεταξύ αρχείων CityGML και της σχεσιακής βάσης δεδομένων PostgreSQL με δομή κατά 3DCityDB πρότυπο. Με τη χρήση του εργαλείου του 3DCityDB, το 3DCityDB-Importer-Exporter, μπορεί να οριστεί η σημασιολογία των αντικειμένων και μάλιστα να φτάσει το ανώτατο επίπεδο λεπτομέρειας ενός 3D μοντέλου, το LoD4, εφόσον υποστηρίζει και τα πέντε διαφορετικά επίπεδα λεπτομέρειας. Το λογισμικό πακέτο 3DCityDB διαθέτει πολυδιάστατο προγραμματισμό, με αποτέλεσμα να έχει τη δυνατότητα να εισάγει, να διαβάσει, να εγκρίνει ως προς τη δομή, να γράφει και να εξάγει αρχεία CityGML μετά από ενδεχόμενη επεξεργασία της αντίστοιχης βάσης χωρικών δεδομένων PostgreSQL αλλά και να εξάγει αρχεία τύπου KML/COLLADA, μέσω των οποίων καθίσταται δυνατή η 3D αναπαράσταση των χωρικών αντικειμένων της αντίστοιχης βάσης δεδομένων σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, όπως το Google Earth, το ArcGIS κ.ά.

Με ένα σημαντικό εργαλείο της σχεσιακής βάσης δεδομένων PostgreSQL, το PostGIS, δίνεται η δυνατότητα σύνταξης απλών και χωρικών ερωτημάτων σε αυτή και αντίστοιχα διαχείρισης χωρικών δεδομένων και υλοποίησης χωρικών πράξεων σε αυτή. Συνεπώς, μέσα από την προαναφερόμενη διαδικασία, εκτός από την υποστήριξη της 3D απεικόνισης, επιπλέον, χωρικά ερωτήματα, χωρική ανάλυση και άλλες αντίστοιχες λειτουργίες διευκολύνουν την άμεση πρόσβαση σε δεδομένα και τη διαχείρισή τους, καθώς και την ενσωμάτωση διαφόρων 3D χωρικών δεδομένων και πληροφοριών με διαφορετικά επίπεδα λεπτομέρειας LoDs.

Με την παραπάνω τεχνική μοντελοποίησης, βάσει του διεθνούς προτύπου CityGML, επιτυγχάνεται η δημιουργία ενός 3D κτιριακού μοντέλου σε επίπεδο λεπτομέρειας LoD2 μέσω ελεύθερων λογισμικών. Το CityGML στοχεύει στην αναπαράσταση και ανταλλαγή 3D μοντέλων πόλεων με γεωμετρική, σημασιολογική και τοπολογική πληροφορία και ενισχύει τη διαλειτουργικότητα μεταξύ διαφόρων λογισμικών. Η διαδικασία της παραπάνω τεχνικής μοντελοποίησης βέβαια, κρίνεται σχετικά περίπλοκη ως προς τη χρήση πολλαπλών λογισμικών προγραμμάτων που πρέπει να χρησιμοποιηθούν και ο χρόνος σχετικά μεγάλος ως προς την ολοκλήρωσή της. Η εξοικείωση όμως, με τα λογισμικά που χρησιμοποιούνται και τις προγραμματιστικές τεχνικές ελαχιστοποιεί σταδιακά τον χρόνο που απαιτείται για την παραγωγή 3D μοντέλων και ιδιαίτερα αν υπάρχει επανάληψη κτιριακού μοτίβου στο μοντέλο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Διεθνής:

1. Azhar, S., Hein, M., Sketo, B., (2008). *Building Information Modeling (BIM): Benefits, Risks and Challenges*, Auburn University, Auburn, Alabama, United States.
2. Bornaz, L., Rinaudo, F., (2004). *Terrestrial Laser Scanner Data Processing*, Commission V, WG V/4, Dipartimento di Georisorse e Territorio – Politecnico di Torino, Torino, Italy.
3. Bregianni, A., (2013). *BIM Development for Cultural Heritage Management*, Diploma Thesis, School of Rural & Surveying Engineering – National Technical University of Athens, School of Architecture – Politecnico di Milano, Athens, Greece.
4. Dimopoulou, E., Gavanas, I., Zentelis, P., (2006). *3D Registrations in the Hellenic Cadastre*, XXIII FIG Congress, Shaping the Change, Munich, Germany.
5. El-Mekawy, M., (2010). *Intergrating BIM and GIS for 3D City Modelling – The Case of IFC and CityGML*, Licentiate Thesis, Department of Urban Planning and Environment – Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, Sweden.
6. Gózdź, K., Pachelski, W., Van Oosterom, P., Coors, V., (2014). *The Possibilities of Using CityGML for 3D Representation of Buildings in the Cadastre*, 4th International Workshop on 3D Cadastres, Dubai, United Arab Emirates.
7. Gröger, G., Kolbe, T. H., Czerwinski, A., Nagel, C., (2008). *OpenGIS[®] City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard*, Open Geospatial Consortium Inc., OGC 08-007r1, Version 1.0.0.
8. Hergunsel, M. F., (2011). *Benefits of Building Information Modeling for Construction Managers and BIM Based Scheduling*, A Thesis, Degree of Master of Science in Civil Engineering - Worcester Polytechnic Institute, Worcester, United Kingdom.
9. Herring, J. R., (2001). *The OpenGIS[®] Abstract Specification – Topic 1: Feature Geometry (ISO 19107 Spatial Schema)*, 01-101, Version 5, Open GIS Consortium Inc, Wayland, United States.
10. International Alliance of Interoperability (IAI), (1999). *IFC Object Model Architecture Guide – Enabling Interoperability in the AEC/FM Industry*, Industry Foundation Classes, Release 2.0, Virginia, United States.
11. ISO 19109, (2005). *Geographic Information – Rules for Application Schema*, International Standard, First Edition, Geneva, Switzerland.
12. Karola, A., Lahtela, H., Hänninen, R., Hitchcock, R., Chen, Q., Dajka, S., Hangström, K., (2002). *BSPRO COM-Server – Interoperability between*

- Software Tools Using Industrial Foundation Classes*», Energy and Buildings, Elsevier B.V., Vol. 34, No. 9, pp. 901-907, Amsterdam, The Netherlands.
13. Kolbe, T. H., (2007). *CityGML Tutorial*, 1st Joint Workshop on the Sino-Germany Bundle Project, Interoperation of 3D Urban Geoinformation, Institute for Geodesy and Geoinformation Science - Technische Universität Berlin, Urumqi, China.
 14. Kolbe, T. H., (2009). *Representing and Exchanging 3D City Models with CityGML*, Institute for Geodesy and Geoinformation Science - Technische Universität Berlin, Berlin, Germany.
 15. Kolbe, T. H., König, G., Nagel, C., Stadler, A., (2009). *3D-Geo-Database for CityGML*, Documentation, Version 2.0.1, Institute for Geodesy and Geoinformation Science - Technische Universität Berlin, Berlin, Germany.
 16. Kolbe, T. H., Yao, Z., Herreruella, J., Nagel, C., Kunde, F., Willkomm, P., Hudra, G., (2013). *3D City Database for CityGML – 3D City Database Version 2.0.2 to 2.1.0, Importer/Exporter Version 1.3.0 to 1.6.0*, Addendum to the 3D City Database Documentation, Version 2.0.1, Technische Universität München, Technische Universität Berlin, virtualcitySYSTEMS, M.O.S.S., Germany.
 17. Kunde, F., Asche, H., Kolbe, T. H., Nagel, C., Herreruella, J., König, G., (2013). *3D City Database for CityGML – 3D City Database Version 2.0.6-postgis, Importer/Exporter Version 1.5.0-postgis*. Tutorial, Release Version, Department of Geography - University of Potsdam, Institute for Geodesy and Geoinformation Science - Technische Universität Berlin, Germany.
 18. Prandi, F., De Amicis, R., Piffer, S., Soave, M., Cadzow, S., Gonzalez Boix, E., D' Hont, E., (2013). *Using CityGML to Deploy Smart-City Services for Urban Ecosystems*, 29th Urban Data Management Symposium, Commission VI, WG VI/4, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-4/W1, London, United Kingdom.
 19. Rumbaugh, J., Jacobson, I., Booch, G., (1999). *The Unified Modeling Language Reference Manual*, Addison-Wesley, United States.
 20. Stadler, A., Kolbe, T. H., (2007). *Spatio-Semantic Coherence in the Integration of 3D City Models*, 5th International ISPRS Symposium, Commission II, WG II/7, Spatial Data Quality, Institute for Geodesy and Geoinformation Science – Technische Universität, Enschede, The Netherlands.
 21. Zhu, Q., Li, F., Zhang, Y., (2005). *Unified Representation of Three Dimensional City Models*, ISPRS Workshop on Service and Application of Spatial Data Infrastructure, XXXVI, 4/W6, Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing - Wuhan University, Hangzhou, China.

Ελληνική:

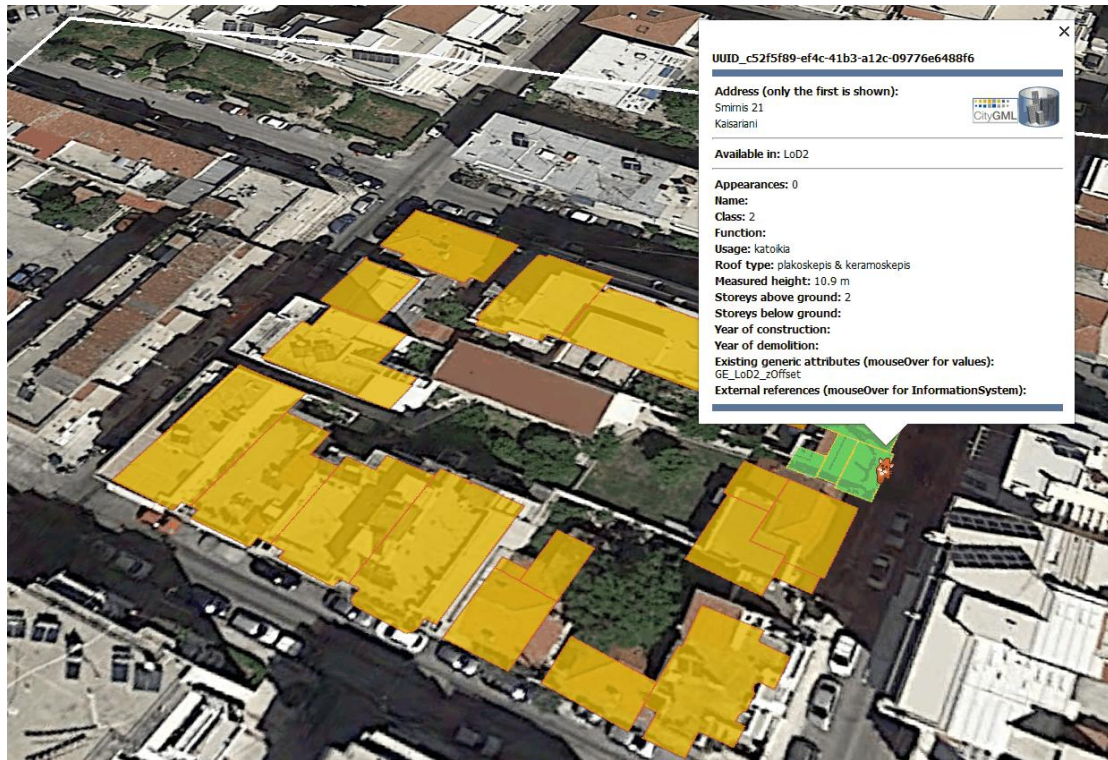
22. Αναγνωστόπουλος, Γ., (2012). *Χώρος_Χρόνος_Χρήμα – Building Information Management & Revit*, Ερευνητική Εργασία, Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
23. Αναστασίου, Α. Β., Πρέκα, Δ., (2011). *Η Χρήση της Τρισδιάστατης Σάρωσης στις Τοπογραφικές Αποτυπώσεις*», Πτυχιακή Εργασία, Τμήμα Τοπογραφίας – Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Αθήνας, Αθήνα.
24. Αποστολόπουλος, Β., (2010). *Υπολογισμός της Υπερεκσκαφής στο Μέτωπο Σήραγγας με τη Χρήση Επίγειου Σαρωτή Laser – Εφαρμογή στην υπό Διάνοιξη Σήραγγα Τεμπών T1*, Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Διατμηματικό Πρόγραμμα Γεωπληροφορικής - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
25. Γεωργόπουλος, Α., (2011). *Αναπτύγματα Επιφανειών – 3D Μοντέλα*, Διάλεξη Μαθήματος: Αποτυπώσεις Μνημείων, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
26. Γκίκας, Β., Καραμήτσος, Σ., Κώτσης, Ι., (2007). *Χρήση Τρισδιάστατου Σαρωτή Laser στην αποτύπωση διατομών σηράγγων*», ΤΕΕ, Ι, Τεύχος 1-2, Αθήνα.
27. Γωνιανάκης, Π. Β., (2014). *Παρουσίαση της μεθόδου ΠΟΚ* (BIM) και πρακτική εφαρμογή της για τον προγραμματισμό έργου, με χρήση του προγράμματος Synchro*, Διπλωματική Εργασία, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
28. Κωστή, Β., (2014). *Κανονιστική Μοντελοποίηση στο Τρισδιάστατο Κτηματολόγιο με Εφαρμογή σε Λεπτομερές 3D Κτηριακό Μοντέλο*, Διπλωματική Εργασία, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
29. Ντόκου, Α., (2004). *Χωρικές Διαδικασίες Τεκμηρίωσης Τρισδιάστατης Πληροφορίας Ιδιοκτησιακών Αντικειμένων*, Αειχώρος, Τόμος 3, Τεύχος 2, σελ. 134-153, Θεσσαλονίκη.
30. Ξινόγαλος, Μ., (2010), *Αποτυπώσεις Έργων Διαδρόμου μέσω Συστημάτων Σάρωσης Laser*, ATM. 199, σελ. 28-29, Αθήνα.
31. Τσιλιάκου, Ε., (2013). *Κανονιστική Μοντελοποίηση στο 3D Κτηματολόγιο – Εφαρμογή στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου*», Διπλωματική Εργασία, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Διαδικτυακοί τόποι:

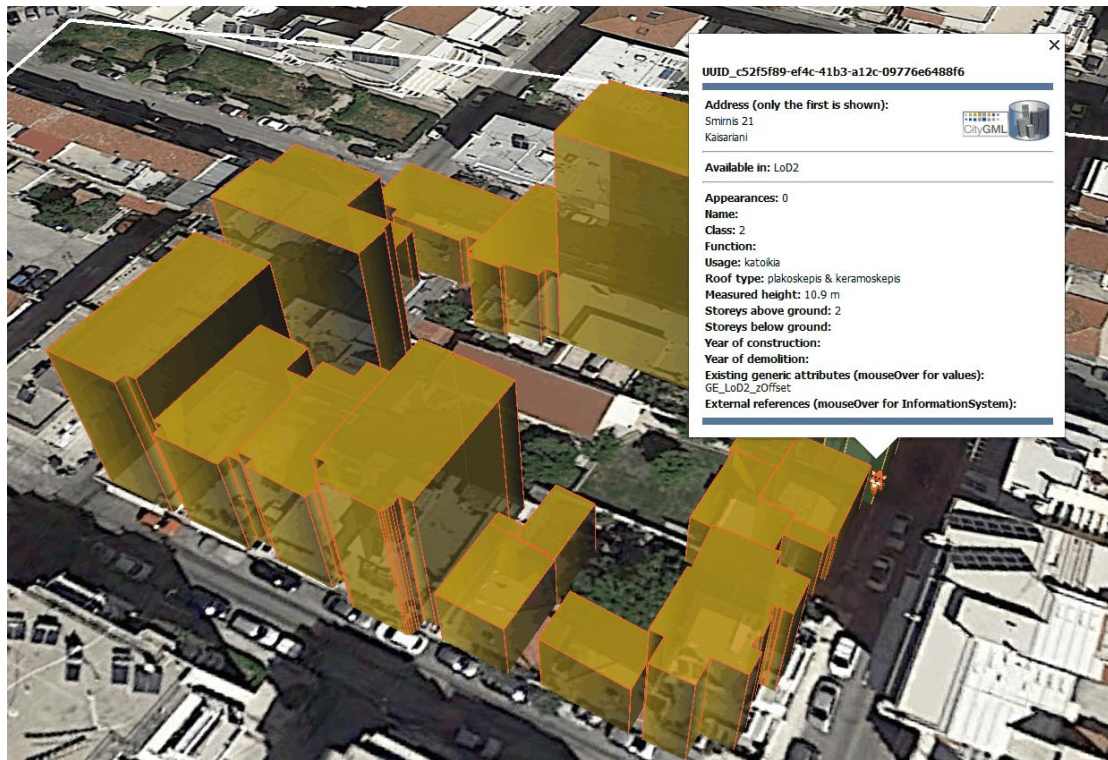
32. 3DCityDB (The CityGML Database).
<http://www.3dcitydb.org/3dcitydb/welcome/>
33. CityGML Homepage. <http://www.citygml.org/>
34. CityGML-Toolchain. <http://www.citygml.de/index.php/home.html/>
35. GeoConnexion International Magazine. <http://www.geoconnexion.com/> .
OGC WORLD, (2015). *The Foundation for Smart Cities*.
36. Libelium Company. <http://www.libelium.com/>
37. MDPI – Open Access Publishing. <http://www.mdpi.com/>
38. OGC (Open Geospatial Consortium). <http://www.opengeospatial.org/>
39. PostgreSQL. <http://postgresql.gr/>
40. PostgreSQL Tutorial. <http://www.postgresqltutorial.com/>
41. SketchUp. <http://www.sketchup.com/>
42. Wikipedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page/
43. Αστρολάβος Τεχνική Ο.Ε. <http://www.astrolabe.gr/>
44. Πόλεις και Πολιτικές: για την Ανταγωνιστική Ταυτότητα των Πόλεων.
<http://www.citybranding.gr/>
Κυπράκη, Κ., Παναγοπούλου, Α., (2014). *Εξυπνες Πόλεις: Πώς η Ψηφιακή Τεχνολογία θα Τοποθετήσει τους Πολίτες στο Κέντρο του Ενδιαφέροντος*.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

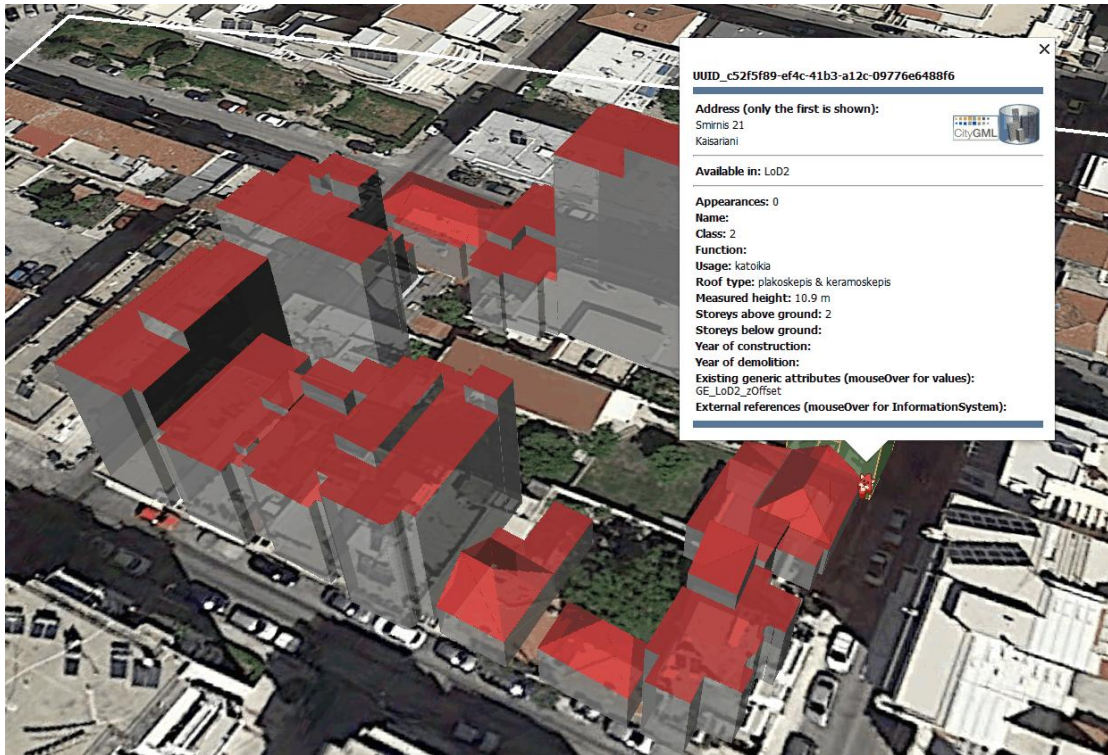
1. Τύποι Εξαγόμενων Αρχείων KML/COLLADA



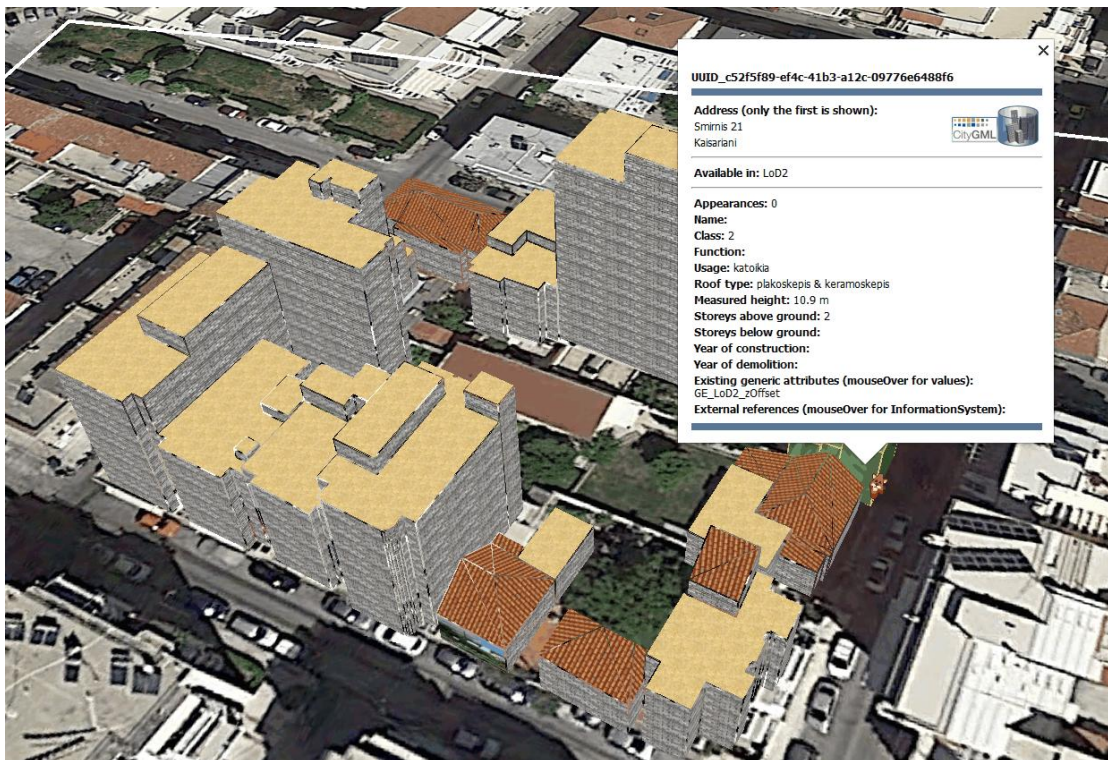
Σχήμα 1: Αρχείο KML/COLLADA_Footprint με Ballon ενός κτιρίου
Πηγή: Google Earth, 2015



Σχήμα 2: Αρχείο KML/COLLADA_Extruded με Ballon ενός κτιρίου
Πηγή: Google Earth, 2015



Σχήμα 3: Αρχείο KML/COLLADA_Geometry με Ballon ενός κτιρίου
 Πηγή: Google Earth, 2015



Σχήμα 4: Αρχείο KML/COLLADA_COLLADA με Ballon ενός κτιρίου
 Πηγή: Google Earth, 2015

2. Απόσπασμα Εξαγόμενου Αρχείου CITYGML για 1 Κτίριο

```
1 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="yes"?>
2 <!-- Written by 3D City Database Importer/Exporter, version "1.6-postgis-b1" -->
3 <!-- IGG, Technische Universität Berlin, Germany, http://www.igg.tu-berlin.de/ -->
4 <CityModel xmlns="http://www.opengis.net/citygml/1.0" xmlns:tran="http://www.opengis.net/citygml/transportation/1.0" xmlns:
5 <cityObjectMember>
6 <bldg:Building gml:id="UUID_805b5a6b-e595-4041-a317-02e33f9120ed">
7 <gml:description>polikatoikia</gml:description>
8 <gml:boundedBy>
9 <gml:Envelope srsName="urn:ogc:def:crs:EPSG:7.9:4326" srsDimension="3">
10 <gml:lowerCorner>23.75607752556683 37.96946952934287 0.0721473960789183</gml:lowerCorner>
11 <gml:upperCorner>23.756206815419155 37.96959478214834 12.4253951435158</gml:upperCorner>
12 </gml:Envelope>
13 </gml:boundedBy>
14 <creationDate>2015-06-16</creationDate>
15 <gen:stringAttribute name="GE_LoD2_zOffset">
16 <gen:value>Auto|126.41989510392108|16.06.2015 19:25:50</gen:value>
17 </gen:stringAttribute>
18 <bldg:class>3</bldg:class>
19 <bldg:usage>katoikia</bldg:usage>
20 <bldg:roofType>plakoskepisi</bldg:roofType>
21 <bldg:measuredHeight uom="urn:ogc:def:uom:UCUM:m">12.35</bldg:measuredHeight>
22 <bldg:storeysAboveGround>3</bldg:storeysAboveGround>
23 <bldg:lod2MultiSurface>
24 <gml:MultiSurface gml:id="UUID_c86c8e24-e3c5-440e-a646-d012576341ff">
25 <gml:surfaceMember>
26 <gml:Polygon gml:id="UUID_3c10c6fe-18d6-4de5-8553-0af2899f4310">
27 <gml:exterior>
28 <gml:LinearRing gml:id="UUID_3c10c6fe-18d6-4de5-8553-0af2899f4310_0">
29 <gml:posList srsDimension="3">23.75620642651575 37.96958438784532 0.0721473960789185
30 23.756148219637925 37.9695961560728 0.0721473960789183
31 23.75620642651575 37.96958438784532 0.0801488176295102
32 23.75620642651575 37.96958438784532 0.0721473960789185</gml:posList>
33 </gml:LinearRing>
34 </gml:exterior>
35 </gml:Polygon>
36 </gml:surfaceMember>
37 </gml:MultiSurface>
38 </bldg:lod2MultiSurface>
39 <bldg:boundedBy>
40 <bldg:WallSurface gml:id="UUID_649f29c1-7c6f-4adb-8dc9-74001bed66be">
41 <gml:boundedBy>
42 <gml:Envelope srsName="urn:ogc:def:crs:EPSG:7.9:4326" srsDimension="3">
43 <gml:lowerCorner>23.756147830742766 37.96958576176928 0.0721473960789183</gml:lowerCorner>
44 <gml:upperCorner>23.756206815419155 37.96959478214834 12.4253951435158</gml:upperCorner>
45 </gml:Envelope>
46 </gml:boundedBy>
47 <creationDate>2015-06-16</creationDate>
48 <bldg:lod2MultiSurface>
49 <gml:MultiSurface gml:id="UUID_d6730a7c-3d91-4f5e-823b-8ffc69ab84a7">
50 <gml:surfaceMember>
51 <gml:Polygon gml:id="UUID_563e6fc0-27e0-443b-a674-901130746fa7">
52 <gml:exterior>
53 <gml:LinearRing gml:id="UUID_563e6fc0-27e0-443b-a674-901130746fa7_0">
```

- Σειρά 6: gmlid του κτιρίου, “UUID_805b5a6b-...”.
- Σειρά 7: Περιγραφή του κτιρίου, “polikatoikia”.
- Σειρά 10-11: Συντεταγμένες πλαισίου οριοθέτησης του κτιρίου του νοτιοδυτικού του άκρου (lowerCorner) και του βορειοανατολικού του άκρου (upperCorner).
- Σειρά 18-22: Κατηγορία “3”, χρήση “katoikia”, τύπος οροφής “plakoskepisi”, μετρημένο ύψος “12.35” και όροφοι πάνω από το έδαφος “3” του κτιρίου.
- Σειρά 40: gmlid επιφάνειας τοίχου κτιρίου (WallSurface), “UUID_649f29c1-...”.
- Σειρά 43-44: Συντεταγμένες πλαισίου οριοθέτησης του τοίχου του νοτιοδυτικού του άκρου (lowerCorner) και του βορειοανατολικού του άκρου (upperCorner).

```

54         <gml:posList srsDimension="3">23.75620642651575 37.96958438784532 12.4253951435158
55         23.75620642651575 37.96958438784532 0.0801488176295102
56         23.756148219637925 37.9695961560728 0.0721473960789183
57         23.756148219637925 37.9695961560728 12.4253951435158
58         23.75620642651575 37.96958438784532 12.4253951435158</gml:posList>
59     </gml:LinearRing>
60 </gml:exterior>
61 </gml:Polygon>
62 </gml:surfaceMember>
63 </gml:MultiSurface>
64 </bldg:lod2MultiSurface>
65 </bldg:WallSurface>
66 </bldg:boundedBy>
67 <bldg:boundedBy>
68 <bldg:WallSurface gml:id="UUID_6813097a-03a3-4cbb-8167-0c9f0e6f2845">
69 <gml:boundedBy>
70 <gml:Envelope srsName="urn:ogc:def:crs:EPSG:7.9:4326" srsDimension="3">
71 <gml:lowerCorner>23.756092196253242 37.969469185363934 0.0721473960789185</gml:lowerCorner>
72 <gml:upperCorner>23.75615832884029 37.96948131790913 10.5540036612034</gml:upperCorner>
73 </gml:Envelope>
74 </gml:boundedBy>
75 <creationDate>2015-06-16</creationDate>
76 <bldg:lod2MultiSurface>
77 <gml:MultiSurface gml:id="UUID_be4ba197-0d08-4a75-bf6f-c3b494481138">
78 <gml:surfaceMember>
79 <gml:Polygon gml:id="UUID_63c5cb2c-cb2d-4e5a-b0a2-031a2215d1b5">
80 <gml:exterior>
81 <gml:LinearRing gml:id="UUID_63c5cb2c-cb2d-4e5a-b0a2-031a2215d1b5_0_">
82 <gml:posList srsDimension="3">23.756092707737306 37.969482856529226 0.0721473960789185
83 23.756157817344086 37.96946764674459 0.0721473960789185
84 23.756157817344086 37.96946764674459 10.5540036612034
85 23.756092707737306 37.969482856529226 10.5540036612034
86 23.756092707737306 37.969482856529226 0.0721473960789185</gml:posList>
87 </gml:LinearRing>
88 </gml:exterior>
89 </gml:Polygon>
90 </gml:surfaceMember>
91 </gml:MultiSurface>
92 </bldg:lod2MultiSurface>
93 </bldg:WallSurface>
94 </bldg:boundedBy>
95 <bldg:boundedBy>
96 <bldg:WallSurface gml:id="UUID_279fadaa-7cbc-4f75-8d3f-8b80b32b303a">
97 <gml:boundedBy>
98 <gml:Envelope srsName="urn:ogc:def:crs:EPSG:7.9:4326" srsDimension="3">
99 <gml:lowerCorner>23.756157817344086 37.96946764674459 0.0721473960789185</gml:lowerCorner>
100 <gml:upperCorner>23.756160490977038 37.96947556437041 10.5540036612034</gml:upperCorner>
101 </gml:Envelope>
102 </gml:boundedBy>
103 <creationDate>2015-06-16</creationDate>
104 <bldg:lod2MultiSurface>
105 <gml:MultiSurface gml:id="UUID_5e65d5be-a077-4d0d-bbc3-8f5301f50295">
106 <gml:surfaceMember>

```

- Σειρές 9, 42, 70 & 98: EPSG projection “4326” – WGS 84.
- Σειρά 68 & 96: gmlid επιφανειών τοίχων κτιρίου (WallSurface), “UUID_6813097a-...” & “UUID_279fadaa-...” αντίστοιχα.
- Σειρά 71-72 & 99-100: Συντεταγμένες πλαισίων οριοθέτησης των επιφανειών τοίχων αντίστοιχα του νοτιοδυτικού τους άκρου (lowerCorner) και του βορειοανατολικού τους άκρου (upperCorner).

```

107 <gml:Polygon gml:id="UUID_089943aa-94a9-4a35-bbfc-699e29ea84f0">
108   <gml:exterior>
109     <gml:LinearRing gml:id="UUID_089943aa-94a9-4a35-bbfc-699e29ea84f0_0_">
110       <gml:posList srsDimension="3">23.756157817344086 37.96946764674459 0.0721473960789185
111         23.756160490977038 37.96947556437041 0.0721473960789185
112         23.756160490977038 37.96947556437041 10.5540036612034
113         23.756157817344086 37.96946764674459 10.5540036612034
114         23.756157817344086 37.96946764674459 0.0721473960789185</gml:posList>
115     </gml:LinearRing>
116   </gml:exterior>
117 </gml:Polygon>
118 </gml:surfaceMember>
119 </gml:MultiSurface>
120 </bldg:lod2MultiSurface>
121 </bldg:WallSurface>
122 </bldg:boundedBy>
123 <bldg:boundedBy>
124   <bldg:WallSurface gml:id="UUID_b7037821-3ee6-447b-a091-570c92f988b7">
125     <gml:boundedBy>
126       <gml:Envelope srsName="urn:ogc:def:crs:EPSG:7.9:4326" srsDimension="3">
127         <gml:lowerCorner>23.756078419017083 37.96949340998512 0.0721473960789186</gml:lowerCorner>
128         <gml:upperCorner>23.756107525961543 37.969588343271155 12.4253951435158</gml:upperCorner>
129       </gml:Envelope>
130     </gml:boundedBy>
131     <creationDate>2015-06-16</creationDate>
132     <bldg:lod2MultiSurface>
133       <gml:MultiSurface gml:id="UUID_b8501d3f-b1fd-42bc-baa7-9c9f113833fa">
134         <gml:surfaceMember>
135           <gml:Polygon gml:id="UUID_7fb3b59b-435f-423e-8906-221d3fb93fb2">
136             <gml:exterior>
137               <gml:LinearRing gml:id="UUID_7fb3b59b-435f-423e-8906-221d3fb93fb2_0_">
138                 <gml:posList srsDimension="3">23.756107525961543 37.969588343271155 0.0721473960789186
139                   23.756078419017083 37.96949340998512 0.0721473960789186
140                   23.756078419017083 37.96949340998512 10.5540036612034
141                   23.756099984614064 37.96956374693753 10.5540036612034
142                   23.756099984614064 37.96956374693753 12.4253951435158
143                   23.756107525961543 37.969588343271155 12.4253951435158
144                   23.756107525961543 37.969588343271155 0.0721473960789186</gml:posList>
145               </gml:LinearRing>
146             </gml:exterior>
147           </gml:Polygon>
148         </gml:surfaceMember>
149       </gml:MultiSurface>
150     </bldg:lod2MultiSurface>
151   </bldg:WallSurface>
152 </bldg:boundedBy>
153 <bldg:boundedBy>
154   <bldg:WallSurface gml:id="UUID_e97b5497-6a99-473b-b4ec-ba8d67b476d6">
155     <gml:boundedBy>
156       <gml:Envelope srsName="urn:ogc:def:crs:EPSG:7.9:4326" srsDimension="3">
157         <gml:lowerCorner>23.75607828895077 37.96948993350108 0.0721473960789186</gml:lowerCorner>
158         <gml:upperCorner>23.7560954476178 37.96949301072053 10.5540036612034</gml:upperCorner>
159       </gml:Envelope>

```

- Σειρά 124 & 154: gmlid επιφανειών τοίχων κτιρίου (WallSurface), “UUID_b7037821-...” & “UUID_e97b5497-...” αντίστοιχα.
- Σειρές 126 & 156: EPSG projection “4326” – WGS 84.
- Σειρά 127-128 & 157-158: Συντεταγμένες πλαισίων οριοθέτησης των επιφανειών τοίχων αντίστοιχα του νοτιοδυτικού τους άκρου (lowerCorner) και του βορειοανατολικού τους άκρου (upperCorner).

```

160 </gml:boundedBy>
161 <creationDate>2015-06-16</creationDate>
162 <bldg:lod2MultiSurface>
163   <gml:MultiSurface gml:id="UUID_00f3deda-676a-479c-bb0b-c2d522599515">
164     <gml:surfaceMember>
165       <gml:Polygon gml:id="UUID_68d654d9-985b-46d5-a0b3-558ec59dfd26">
166         <gml:exterior>
167           <gml:LinearRing gml:id="UUID_68d654d9-985b-46d5-a0b3-558ec59dfd26_0_">
168             <gml:posList srsDimension="3">23.756078419017083 37.96949340998512 0.0721473960789186
169               23.756095317550685 37.96948953423655 0.0721473960789186
170               23.756095317550685 37.96948953423655 10.5540036612034
171               23.756078419017083 37.96949340998512 10.5540036612034
172               23.756078419017083 37.96949340998512 0.0721473960789186</gml:posList>
173           </gml:LinearRing>
174         </gml:exterior>
175       </gml:Polygon>
176     </gml:surfaceMember>
177   </gml:MultiSurface>
178 </bldg:lod2MultiSurface>
179 </bldg:WallSurface>
180 </bldg:boundedBy>
181 <bldg:boundedBy>
182   <bldg:WallSurface gml:id="UUID_ded646a6-104f-4a4a-b398-e3926e5181ee">
183     <gml:boundedBy>
184       <gml:Envelope srsName="urn:ogc:def:crs:EPSG:7.9:4326" srsDimension="3">
185         <gml:lowerCorner>23.756092707737306 37.969482856529226 0.0721473960789185</gml:lowerCorner>
186         <gml:upperCorner>23.756095317550685 37.96948953423655 10.5540036612034</gml:upperCorner>
187       </gml:Envelope>
188     </gml:boundedBy>
189     <creationDate>2015-06-16</creationDate>
190     <bldg:lod2MultiSurface>
191       <gml:MultiSurface gml:id="UUID_0cf2e906-5198-4beb-a607-54dc4f9e7d55">
192         <gml:surfaceMember>
193           <gml:Polygon gml:id="UUID_c65ac341-4e54-40f1-ba4f-e9b7ef7705a5">
194             <gml:exterior>
195               <gml:LinearRing gml:id="UUID_c65ac341-4e54-40f1-ba4f-e9b7ef7705a5_0_">
196                 <gml:posList srsDimension="3">23.756095317550685 37.96948953423655 0.0721473960789186
197                   23.756092707737306 37.969482856529226 0.0721473960789185
198                   23.756092707737306 37.969482856529226 10.5540036612034
199                   23.756095317550685 37.96948953423655 10.5540036612034
200                   23.756095317550685 37.96948953423655 0.0721473960789186</gml:posList>
201                 </gml:LinearRing>
202               </gml:exterior>
203             </gml:Polygon>
204           </gml:surfaceMember>
205         </gml:MultiSurface>
206       </bldg:lod2MultiSurface>
207     </bldg:WallSurface>
208   </bldg:boundedBy>
209 </bldg:boundedBy>
210   <bldg:WallSurface gml:id="UUID_a1326c0b-e02f-4794-ad13-d349c0202ea4">
211     <gml:boundedBy>
212       <gml:Envelope srsName="urn:ogc:def:crs:EPSG:7.9:4326" srsDimension="3">

```

- Σειρά 182 & 210: gmlid επιφανειών τοίχων κτιρίου (WallSurface), “UUID_ded646a6-...” & “UUID_a1326c0b-...” αντίστοιχα.
- Σειρές 184 & 212: EPSG projection “4326” – WGS 84.
- Σειρά 185-186 & 213-214: Συντεταγμένες πλαισίων οριοθέτησης των επιφανειών τοίχων αντίστοιχα του νοτιοδυτικού τους άκρου (lowerCorner) και του βορειοανατολικού τους άκρου (upperCorner).


```

213     <gml:lowerCorner>23.75610723602963 37.96958059391914 0.0721473960789185</gml:lowerCorner>
214     <gml:upperCorner>23.756144352147825 37.96958747980546 12.4253951435158</gml:upperCorner>
215   </gml:Envelope>
216 </gml:boundedBy>
217 <creationDate>2015-06-16</creationDate>
218 <bldg:lod2MultiSurface>
219   <gml:MultiSurface gml:id="UUID_d94e39b0-3a88-4bcd-8e1c-91186ccda9cd">
220     <gml:surfaceMember>
221       <gml:Polygon gml:id="UUID_9e6cc397-8e19-4c7a-aecc-2f6b47cbc5b6">
222         <gml:exterior>
223           <gml:LinearRing gml:id="UUID_9e6cc397-8e19-4c7a-aecc-2f6b47cbc5b6_0">
224             <gml:posList srsDimension="3">23.75614406221205 37.96957973045369 0.0721473960789185
225               23.756107525961543 37.969588343271155 0.0721473960789186
226               23.756107525961543 37.969588343271155 12.4253951435158
227               23.75614406221205 37.96957973045369 12.4253951435158
228               23.75614406221205 37.96957973045369 0.0721473960789185</gml:posList>
229           </gml:LinearRing>
230         </gml:exterior>
231       </gml:Polygon>
232     </gml:surfaceMember>
233   </gml:MultiSurface>
234 </bldg:lod2MultiSurface>
235 </bldg:WallSurface>
236 </bldg:boundedBy>
237 <bldg:boundedBy>
238   <bldg:WallSurface gml:id="UUID_bfeac8f2-b92c-4fc0-9edb-a7f9f24a6836">
239     <gml:boundedBy>
240       <gml:Envelope srsName="urn:ogc:def:crs:EPSG:7.9:4326" srsDimension="3">
241         <gml:lowerCorner>23.75614406221205 37.96957973045369 0.0721473960789183</gml:lowerCorner>
242         <gml:upperCorner>23.756148219637925 37.9695961560728 12.4253951435158</gml:upperCorner>
243       </gml:Envelope>
244     </gml:boundedBy>
245     <creationDate>2015-06-16</creationDate>
246     <bldg:lod2MultiSurface>
247       <gml:MultiSurface gml:id="UUID_010a9ef1-0cac-4faf-9d17-5c90ba5d07e0">
248         <gml:surfaceMember>
249           <gml:Polygon gml:id="UUID_ea3fccc8-5bcf-4fbc-be5d-79940854ecb4">
250             <gml:exterior>
251               <gml:LinearRing gml:id="UUID_ea3fccc8-5bcf-4fbc-be5d-79940854ecb4_0">
252                 <gml:posList srsDimension="3">23.756148219637925 37.9695961560728 0.0721473960789183
253                   23.75614406221205 37.96957973045369 0.0721473960789185
254                   23.75614406221205 37.96957973045369 12.4253951435158
255                   23.756148219637925 37.9695961560728 12.4253951435158
256                   23.756148219637925 37.9695961560728 0.0721473960789183</gml:posList>
257                 </gml:LinearRing>
258               </gml:exterior>
259             </gml:Polygon>
260           </gml:surfaceMember>
261         </gml:MultiSurface>
262       </bldg:lod2MultiSurface>
263     </bldg:WallSurface>
264   </bldg:boundedBy>
265 </bldg:boundedBy>

```

- Σειρά 238: gmlid επιφάνειας τοίχου κτιρίου (WallSurface), “UUID_bfeac8f2-...”.
- Σειρά 240: EPSG projection “4326” – WGS 84.
- Σειρά 241-242: Συντεταγμένες πλαισίου οριοθέτησης της επιφάνειας τοίχου του νοτιοδυτικού του άκρου (lowerCorner) και του βορειοανατολικού του άκρου (upperCorner).

```

266 <bldg:WallSurface gml:id="UUID_0c64260a-8791-476f-9964-f724b47253a6">
267   <gml:boundedBy>
268     <gml:Envelope srsName="urn:ogc:def:crs:EPSG:7.9:4326" srsDimension="3">
269       <gml:lowerCorner>23.7561514781714 37.969555981941305 10.5540036612034</gml:lowerCorner>
270       <gml:upperCorner>23.756197204192695 37.969563495060584 12.4253951435158</gml:upperCorner>
271     </gml:Envelope>
272   </gml:boundedBy>
273   <creationDate>2015-06-16</creationDate>
274   <bldg:lod2MultiSurface>
275     <gml:MultiSurface gml:id="UUID_c8ddaa44-7cc2-4444-9b0e-4ea6fdd87816">
276       <gml:surfaceMember>
277         <gml:Polygon gml:id="UUID_4a7a4020-65c5-4e1a-ab92-977e0601c06d">
278           <gml:exterior>
279             <gml:LinearRing gml:id="UUID_4a7a4020-65c5-4e1a-ab92-977e0601c06d_0">
280               <gml:posList srsDimension="3">23.75615179910176 37.9695645596949 10.5540036612034
281                 23.75619688325707 37.969554917307306 10.5540036612034
282                 23.75619688325707 37.969554917307306 12.4253951435158
283                 23.75615179910176 37.9695645596949 12.4253951435158
284                 23.75615179910176 37.9695645596949 10.5540036612034</gml:posList>
285             </gml:LinearRing>
286           </gml:exterior>
287         </gml:Polygon>
288       </gml:surfaceMember>
289     </gml:MultiSurface>
290   </bldg:lod2MultiSurface>
291 </bldg:WallSurface>
292 </bldg:boundedBy>
293 <bldg:boundedBy>
294   <bldg:WallSurface gml:id="UUID_ac05b953-ad8c-4279-bda7-0ded5c0a5f5f">
295     <gml:boundedBy>
296       <gml:Envelope srsName="urn:ogc:def:crs:EPSG:7.9:4326" srsDimension="3">
297         <gml:lowerCorner>23.75616042757544 37.96947386978715 0.0721473960789184</gml:lowerCorner>
298         <gml:upperCorner>23.756170624652928 37.96947532676235 10.5540036612034</gml:upperCorner>
299       </gml:Envelope>
300     </gml:boundedBy>
301     <creationDate>2015-06-16</creationDate>
302     <bldg:lod2MultiSurface>
303       <gml:MultiSurface gml:id="UUID_4e3942af-803b-4087-a05f-7d7db2abaaac">
304         <gml:surfaceMember>
305           <gml:Polygon gml:id="UUID_8da411b5-20d1-4128-a49e-d04d9c1413be">
306             <gml:exterior>
307               <gml:LinearRing gml:id="UUID_8da411b5-20d1-4128-a49e-d04d9c1413be_0">
308                 <gml:posList srsDimension="3">23.756160490977038 37.96947556437041 0.0721473960789185
309                   23.7561705612511 37.969473632179096 0.0721473960789184
310                   23.7561705612511 37.969473632179096 10.5540036612034
311                   23.756160490977038 37.96947556437041 10.5540036612034
312                   23.756160490977038 37.96947556437041 0.0721473960789185</gml:posList>
313                 </gml:LinearRing>
314             </gml:exterior>
315           </gml:Polygon>
316         </gml:surfaceMember>
317       </gml:MultiSurface>
318     </bldg:lod2MultiSurface>

```

- Σειρά 266 & 294: gmlid επιφανειών τοίχων κτιρίου (WallSurface), “UUID_0c64260a-...” & “UUID_ac05b953-...” αντίστοιχα.
- Σειρές 268 & 296: EPSG projection “4326” – WGS 84.
- Σειρά 269-270 & 297-298: Συντεταγμένες πλαισίων οριοθέτησης των επιφανειών τοίχων αντίστοιχα του νοτιοδυτικού τους άκρου (lowerCorner) και του βορειοανατολικού τους άκρου (upperCorner).

```

319 </bldg:WallSurface>
320 </bldg:boundedBy>
321 <bldg:boundedBy>
322 <bldg:WallSurface gml:id="UUID_d007c492-960c-4c32-8f8d-f0d09c0ccf44">
323 <gml:boundedBy>
324 <gml:Envelope srsName="urn:ogc:def:crs:EPSG:7.9:4326" srsDimension="3">
325 <gml:lowerCorner>23.75614891984192 37.9695526467709 10.5540036612034</gml:lowerCorner>
326 <gml:upperCorner>23.75615179910176 37.9695645596949 12.4253951435158</gml:upperCorner>
327 </gml:Envelope>
328 </gml:boundedBy>
329 <creationDate>2015-06-16</creationDate>
330 <bldg:lod2MultiSurface>
331 <gml:MultiSurface gml:id="UUID_9795f2f5-5f56-406f-b6b0-d3b0d88c54bf">
332 <gml:surfaceMember>
333 <gml:Polygon gml:id="UUID_ddcab442-a9f6-4820-9fd5-79175887e00f">
334 <gml:exterior>
335 <gml:LinearRing gml:id="UUID_ddcab442-a9f6-4820-9fd5-79175887e00f_0_">
336 <gml:posList srsDimension="3">23.75614891984192 37.9695526467709 10.5540036612034
337 23.75615179910176 37.9695645596949 10.5540036612034
338 23.75615179910176 37.9695645596949 12.4253951435158
339 23.75614891984192 37.9695526467709 12.4253951435158
340 23.75614891984192 37.9695526467709 10.5540036612034</gml:posList>
341 </gml:LinearRing>
342 </gml:exterior>
343 </gml:Polygon>
344 </gml:surfaceMember>
345 </gml:MultiSurface>
346 </bldg:lod2MultiSurface>
347 </bldg:WallSurface>
348 </bldg:boundedBy>
349 <bldg:boundedBy>
350 <bldg:WallSurface gml:id="UUID_7f10aaed-fc05-4440-b694-cbae62fb5755">
351 <gml:boundedBy>
352 <gml:Envelope srsName="urn:ogc:def:crs:EPSG:7.9:4326" srsDimension="3">
353 <gml:lowerCorner>23.756099612571482 37.96955380288023 10.5540036612034</gml:lowerCorner>
354 <gml:upperCorner>23.756149291891138 37.969562590827785 12.4253951435158</gml:upperCorner>
355 </gml:Envelope>
356 </gml:boundedBy>
357 <creationDate>2015-06-16</creationDate>
358 <bldg:lod2MultiSurface>
359 <gml:MultiSurface gml:id="UUID_c1404c13-df18-45e3-875b-3ea2786c9c63">
360 <gml:surfaceMember>
361 <gml:Polygon gml:id="UUID_1637b1c2-a5f3-4203-9f71-0afa2715a058">
362 <gml:exterior>
363 <gml:LinearRing gml:id="UUID_1637b1c2-a5f3-4203-9f71-0afa2715a058_0_">
364 <gml:posList srsDimension="3">23.756099984614064 37.96956374693753 10.5540036612034
365 23.75614891984192 37.9695526467709 10.5540036612034
366 23.75614891984192 37.9695526467709 12.4253951435158
367 23.756099984614064 37.96956374693753 12.4253951435158
368 23.756099984614064 37.96956374693753 10.5540036612034</gml:posList>
369 </gml:LinearRing>
370 </gml:exterior>
371 </gml:Polygon>

```

- Σειρά 322 & 350: gmlid επιφανειών τοίχων κτιρίου (WallSurface), “UUID_d007c492-...” & “UUID_7f10aaed-...” αντίστοιχα.
- Σειρές 324 & 352: EPSG projection “4326” – WGS 84.
- Σειρά 325-326 & 353-354: Συντεταγμένες πλαισίων οριοθέτησης των επιφανειών τοίχων αντίστοιχα του νοτιοδυτικού τους άκρου (lowerCorner) και του βορειοανατολικού τους άκρου (upperCorner).

```

372     </gml:surfaceMember>
373     </gml:MultiSurface>
374   </bldg:lod2MultiSurface>
375 </bldg:WallSurface>
376 </bldg:boundedBy>
377 <bldg:boundedBy>
378   <bldg:WallSurface gml:id="UUID_d6accab6-bc46-4ba4-bdf2-c9fdeaa96822">
379     <gml:boundedBy>
380       <gml:Envelope srsName="urn:ogc:def:crs:EPSG:7.9:4326" srsDimension="3">
381         <gml:lowerCorner>23.7561705612511 37.969473632179096 0.0721473960789184</gml:lowerCorner>
382         <gml:upperCorner>23.75620642651575 37.96958438784532 12.4253951435158</gml:upperCorner>
383       </gml:Envelope>
384     </gml:boundedBy>
385     <creationDate>2015-06-16</creationDate>
386   <bldg:lod2MultiSurface>
387     <gml:MultiSurface gml:id="UUID_1a8c2554-f758-4e33-bf37-35062e2d30dd">
388       <gml:surfaceMember>
389         <gml:Polygon gml:id="UUID_3c4d65b0-e348-42d7-90b4-ec4d17b16708">
390           <gml:exterior>
391             <gml:LinearRing gml:id="UUID_3c4d65b0-e348-42d7-90b4-ec4d17b16708_0">
392               <gml:posList srsDimension="3">23.7561705612511 37.969473632179096 0.0721473960789184
393                 23.75620642651575 37.96958438784532 0.0721473960789185
394                 23.75620642651575 37.96958438784532 0.0801488176295102
395                 23.75620642651575 37.96958438784532 12.4253951435158
396                 23.75619688325707 37.969554917307306 12.4253951435158
397                 23.75619688325707 37.969554917307306 10.5540036612034
398                 23.7561705612511 37.969473632179096 10.5540036612034
399                 23.7561705612511 37.969473632179096 0.0721473960789184</gml:posList>
400             </gml:LinearRing>
401           </gml:exterior>
402         </gml:Polygon>
403       </gml:surfaceMember>
404     </gml:MultiSurface>
405   </bldg:lod2MultiSurface>
406 </bldg:WallSurface>
407 </bldg:boundedBy>
408 <bldg:boundedBy>
409   <bldg:RoofSurface gml:id="UUID_93701adb-6741-4e1f-bc8f-98ba8653c01d">
410     <gml:boundedBy>
411       <gml:Envelope srsName="urn:ogc:def:crs:EPSG:7.9:4326" srsDimension="3">
412         <gml:lowerCorner>23.75607752556683 37.96946952934287 10.5540036612034</gml:lowerCorner>
413         <gml:upperCorner>23.756197204192695 37.969563495060584 10.5540036612034</gml:upperCorner>
414       </gml:Envelope>
415     </gml:boundedBy>
416     <creationDate>2015-06-16</creationDate>
417   <bldg:lod2MultiSurface>
418     <gml:MultiSurface gml:id="UUID_b22c6001-5bf8-43d1-bc21-31a7185300e0">
419       <gml:surfaceMember>
420         <gml:Polygon gml:id="UUID_f405653f-935f-4cfb-90da-6145114a6fab">
421           <gml:exterior>
422             <gml:LinearRing gml:id="UUID_f405653f-935f-4cfb-90da-6145114a6fab_0">
423               <gml:posList srsDimension="3">23.7561705612511 37.969473632179096 10.5540036612034
424                 23.75619688325707 37.969554917307306 10.5540036612034

```

- Σειρά 378: gmlid επιφάνειας τοίχου κτιρίου (WallSurface), “UUID_d6accab6-...”.
- Σειρές 380 & 411: EPSG projection “4326” – WGS 84.
- Σειρά 381-382: Συντεταγμένες πλαισίου οριοθέτησης της επιφάνειας τοίχου του νοτιοδυτικού του άκρου (lowerCorner) και του βορειοανατολικού του άκρου (upperCorner).
- Σειρά 409: gmlid επιφάνειας οροφής κτιρίου (RoofSurface), “UUID_93701adb-...”.
- Σειρά 412-413: Συντεταγμένες πλαισίου οριοθέτησης της επιφάνειας οροφής του νοτιοδυτικού του άκρου (lowerCorner) και του βορειοανατολικού του άκρου (upperCorner).

```

425 23.75615179910176 37.9695645596949 10.5540036612034
426 23.75614891984192 37.9695526467709 10.5540036612034
427 23.756099984614064 37.96956374693753 10.5540036612034
428 23.756078419017083 37.96949340998512 10.5540036612034
429 23.756095317550685 37.96948953423655 10.5540036612034
430 23.756092707737306 37.969482856529226 10.5540036612034
431 23.756157817344086 37.96946764674459 10.5540036612034
432 23.756160490977038 37.96947556437041 10.5540036612034
433 23.7561705612511 37.969473632179096 10.5540036612034</gml:posList>
434 </gml:LinearRing>
435 </gml:exterior>
436 </gml:Polygon>
437 </gml:surfaceMember>
438 </gml:MultiSurface>
439 </bldg:lod2MultiSurface>
440 </bldg:RoofSurface>
441 </bldg:boundedBy>
442 <bldg:boundedBy>
443 <bldg:RoofSurface gml:id="UUID_3668979a-420d-4e68-b7ac-19c087fe1bdb">
444 <gml:boundedBy>
445 <gml:Envelope srsName="urn:ogc:def:crs:EPSG:7.9:4326" srsDimension="3">
446 <gml:lowerCorner>23.756099612571482 37.96955380288023 12.4253951435158</gml:lowerCorner>
447 <gml:upperCorner>23.756206815419155 37.96959478214834 12.4253951435158</gml:upperCorner>
448 </gml:Envelope>
449 </gml:boundedBy>
450 <creationDate>2015-06-16</creationDate>
451 <bldg:lod2MultiSurface>
452 <gml:MultiSurface gml:id="UUID_8373bd5e-a2bd-429a-b341-c63fb9a2bea3">
453 <gml:surfaceMember>
454 <gml:Polygon gml:id="UUID_9eba0ad0-a9da-4b6e-9d5e-697a2931812b">
455 <gml:exterior>
456 <gml:LinearRing gml:id="UUID_9eba0ad0-a9da-4b6e-9d5e-697a2931812b_0">
457 <gml:posList srsDimension="3">23.756107525961543 37.969588343271155 12.4253951435158
458 23.756099984614064 37.96956374693753 12.4253951435158
459 23.75614891984192 37.9695526467709 12.4253951435158
460 23.75615179910176 37.9695645596949 12.4253951435158
461 23.75619688325707 37.969554917307306 12.4253951435158
462 23.75620642651575 37.96958438784532 12.4253951435158
463 23.756148219637925 37.9695961560728 12.4253951435158
464 23.75614406221205 37.96957973045369 12.4253951435158
465 23.756107525961543 37.969588343271155 12.4253951435158</gml:posList>
466 </gml:LinearRing>
467 </gml:exterior>
468 </gml:Polygon>
469 </gml:surfaceMember>
470 </gml:MultiSurface>
471 </bldg:lod2MultiSurface>
472 </bldg:RoofSurface>
473 </bldg:boundedBy>
474 <bldg:boundedBy>
475 <bldg:GroundSurface gml:id="UUID_e6222156-5008-4df9-91e1-fb7486d2b96c">
476 <gml:boundedBy>
477 <gml:Envelope srsName="urn:ogc:def:crs:EPSG:7.9:4326" srsDimension="3">

```

- Σειρά 443: gmlid επιφάνειας οροφής κτιρίου (RoofSurface), “UUID_3668979a-...”.
- Σειρές 445 & 477: EPSG projection “4326” – WGS 84.
- Σειρά 446-447: Συντεταγμένες πλαισίου οριοθέτησης της επιφάνειας οροφής του νοτιοδυτικού του άκρου (lowerCorner) και του βορειοανατολικού του άκρου (upperCorner).
- Σειρά 475: gmlid επιφάνειας εδάφους κτιρίου (GroundSurface), “UUID_e6222156-...”.
- Σειρά 478-479: Συντεταγμένες πλαισίου οριοθέτησης της επιφάνειας εδάφους του νοτιοδυτικού του άκρου (lowerCorner) και του βορειοανατολικού του άκρου (upperCorner).

```

478     <gml:lowerCorner>23.75607752556683 37.96946952934287 0.0721473960789183</gml:lowerCorner>
479     <gml:upperCorner>23.756206815419155 37.96959478214834 0.0721473960789186</gml:upperCorner>
480   </gml:Envelope>
481 </gml:boundedBy>
482 <creationDate>2015-06-16</creationDate>
483 <bldg:lod2MultiSurface>
484   <gml:MultiSurface gml:id="UUID_2d849e1c-81d6-4644-97db-916807272c47">
485     <gml:surfaceMember>
486       <gml:Polygon gml:id="UUID_f3accbba-4c00-4a80-bb55-f288d5bea6f8">
487         <gml:exterior>
488           <gml:LinearRing gml:id="UUID_f3accbba-4c00-4a80-bb55-f288d5bea6f8_0">
489             <gml:posList srsDimension="3">23.756148219637925 37.9695961560728 0.0721473960789183
490               23.75620642651575 37.96958438784532 0.0721473960789185
491               23.7561705612511 37.969473632179096 0.0721473960789184
492               23.756160490977038 37.96947556437041 0.0721473960789185
493               23.756157817344086 37.96946764674459 0.0721473960789185
494               23.756092707737306 37.969482856529226 0.0721473960789185
495               23.756095317550685 37.96948953423655 0.0721473960789186
496               23.756078419017083 37.96949340998512 0.0721473960789186
497               23.756107525961543 37.969588343271155 0.0721473960789186
498               23.75614406221205 37.96957973045369 0.0721473960789185
499               23.756148219637925 37.9695961560728 0.0721473960789183</gml:posList>
500           </gml:LinearRing>
501         </gml:exterior>
502       </gml:Polygon>
503     </gml:surfaceMember>
504   </gml:MultiSurface>
505 </bldg:lod2MultiSurface>
506 </bldg:GroundSurface>
507 </bldg:boundedBy>
508 <bldg:address>
509   <Address>
510     <xal:Address>
511       <xal:AddressDetails>
512         <xal:Country>
513           <xal:CountryName>Greece</xal:CountryName>
514           <xal:Locality Type="Town">
515             <xal:LocalityName>Kaisariani</xal:LocalityName>
516             <xal:Thoroughfare Type="Street">
517               <xal:ThoroughfareNumber>3</xal:ThoroughfareNumber>
518               <xal:ThoroughfareName>Iroon Politexniou</xal:ThoroughfareName>
519             </xal:Thoroughfare>
520             <xal:PostalCode>
521               <xal:PostalCodeNumber>161 21</xal:PostalCodeNumber>
522             </xal:PostalCode>
523           </xal:Locality>
524         </xal:Country>
525       </xal:AddressDetails>
526     </xal:Address>
527   </Address>
528 </bldg:address>
529 </bldg:Building>
530 </cityObjectMember>

```

- Σειρά 513: Χώρα που βρίσκεται το κτίριο, “Greece”.
- Σειρά 515: Πόλη που βρίσκεται το κτίριο, “Kaisariani”.
- Σειρά 517: Νούμερο διεύθυνσης που βρίσκεται το κτίριο, “3”.
- Σειρά 518: Όνομα οδού που βρίσκεται το κτίριο, “Iroon Politexniou”.
- Σειρά 521: TK περιοχής στην οποία βρίσκεται το κτίριο, “161 21”.

```

8310 <app:appearanceMember>
8311 <app:Appearance gml:id="UUID_d9cbf977-e8fd-4c32-ae12-99c7f8b92fd6">
8312 <app:surfaceDataMember>
8313 <app:ParameterizedTexture gml:id="UUID_c6e71063-4a19-4a56-ba6d-f76b5bf99a42">
8314 <app:imageURI>appearance/tex1.jpg</app:imageURI>
8315 <app:wrapMode>wrap</app:wrapMode>
8316 <app:target uri="#UUID_1536d10f-3aa7-4623-9d13-e7499fa3e93a">
8317 <app:TexCoordList>
8318 <app:textureCoordinates ring="#UUID_1536d10f-3aa7-4623-9d13-e7499fa3e93a_0">0.0264119441978589 0.0810365235764338
8319 0.467893646942084 0.0329371461187293
8320 0.478481849007082 0.778207372024207
8321 0.0370001462628565 0.826306749481912
8322 0.0264119441978589 0.0810365235764338</app:textureCoordinates>
8323 </app:TexCoordList>
8324 </app:target>
8325 <app:target uri="#UUID_e37e87fd-5511-4d37-a59b-f06589cd029d">
8326 <app:TexCoordList>
8327 <app:textureCoordinates ring="#UUID_e37e87fd-5511-4d37-a59b-f06589cd029d_0">-0.981762003459946 0.0182130470224638
8328 -2.69800003141516E-4 0.125060153650314
8329 -0.0126204704569722 0.99508753064182
8330 -0.994112673913773 0.88824042401397
8331 -0.981762003459946 0.0182130470224638</app:textureCoordinates>
8332 </app:TexCoordList>
8333 </app:target>
8334 </app:ParameterizedTexture>
8335 </app:surfaceDataMember>
8336 <app:surfaceDataMember>
8337 <app:ParameterizedTexture gml:id="UUID_f73aeb8f-76b8-412b-abe7-f2c52fc03eb3">
8338 <app:imageURI>appearance/tex2.jpg</app:imageURI>
8339 <app:wrapMode>wrap</app:wrapMode>
8340 <app:target uri="#UUID_876b7f65-1521-4d25-9901-2765947fcd71">
8341 <app:TexCoordList>
8342 <app:textureCoordinates ring="#UUID_876b7f65-1521-4d25-9901-2765947fcd71_0">-1.33099179163018 -7.24593838806627
8343 -0.98508896927511 -7.10002491778691
8344 -1.87317160347949 -2.86344200908929
8345 -2.17045516108253 -3.05821930069537
8346 -1.33099179163018 -7.24593838806627</app:textureCoordinates>
8347 </app:TexCoordList>
8348 </app:target>
8349 <app:target uri="#UUID_a78115a3-0d8c-43d7-b383-39f5d368fd4b">
8350 <app:TexCoordList>
8351 <app:textureCoordinates ring="#UUID_a78115a3-0d8c-43d7-b383-39f5d368fd4b_0">1.1208692444424 -0.15700294725051
8352 3.9092515750394 -2.59369986547679
8353 3.77640436066536 -0.506212481766994
8354 1.1208692444424 -0.15700294725051</app:textureCoordinates>
8355 </app:TexCoordList>
8356 </app:target>

```

Απόσπασμα CityGML αρχείου για την εμφάνιση-υφές των κτιριακών επιφανειών του 3D μοντέλου

- Σειρά 8313: gmlid τύπου υφής (ParametrizedTexture), “UUID_c6e71063-...”.
- Σειρά 8314: Αρχείο τύπου υφής (ImageURI), “appearance/tex1.jpg”.
- Σειρά 8316 & 8325: Κωδικοί (uri) επιφανειών προσαρμογής του τύπου υφής “UUID_c6e71063-...” αντίστοιχα, “#UUID_1536d10f_” και “#UUID_e37e87fd”
- Σειρά 8318-8322 & 8327-8331: Περιμετρικές συντεταγμένες επιφανειών προσαρμογής του τύπου υφής “UUID_c6e71063-...” αντίστοιχα.
- Σειρά 8337: gmlid τύπου υφής (ParametrizedTexture), “UUID_f73aeb8f-...”.
- Σειρά 8338: Αρχείο τύπου υφής (ImageURI), “appearance/tex2.jpg”.
- Σειρά 8340 & 8349: Κωδικοί (uri) επιφανειών προσαρμογής του τύπου υφής “UUID_f73aeb8f-...” αντίστοιχα, “#UUID_876b7f65_” και “#UUID_a78115a3”
- Σειρά 8342-8346 & 8351-8354: Περιμετρικές συντεταγμένες επιφανειών προσαρμογής του τύπου υφής “ UUID_f73aeb8f-...-...” αντίστοιχα.