

# Διερεύνηση των δυνατοτήτων σημασιολογικής διαχείρισης 3D δεδομένων του CityEngine

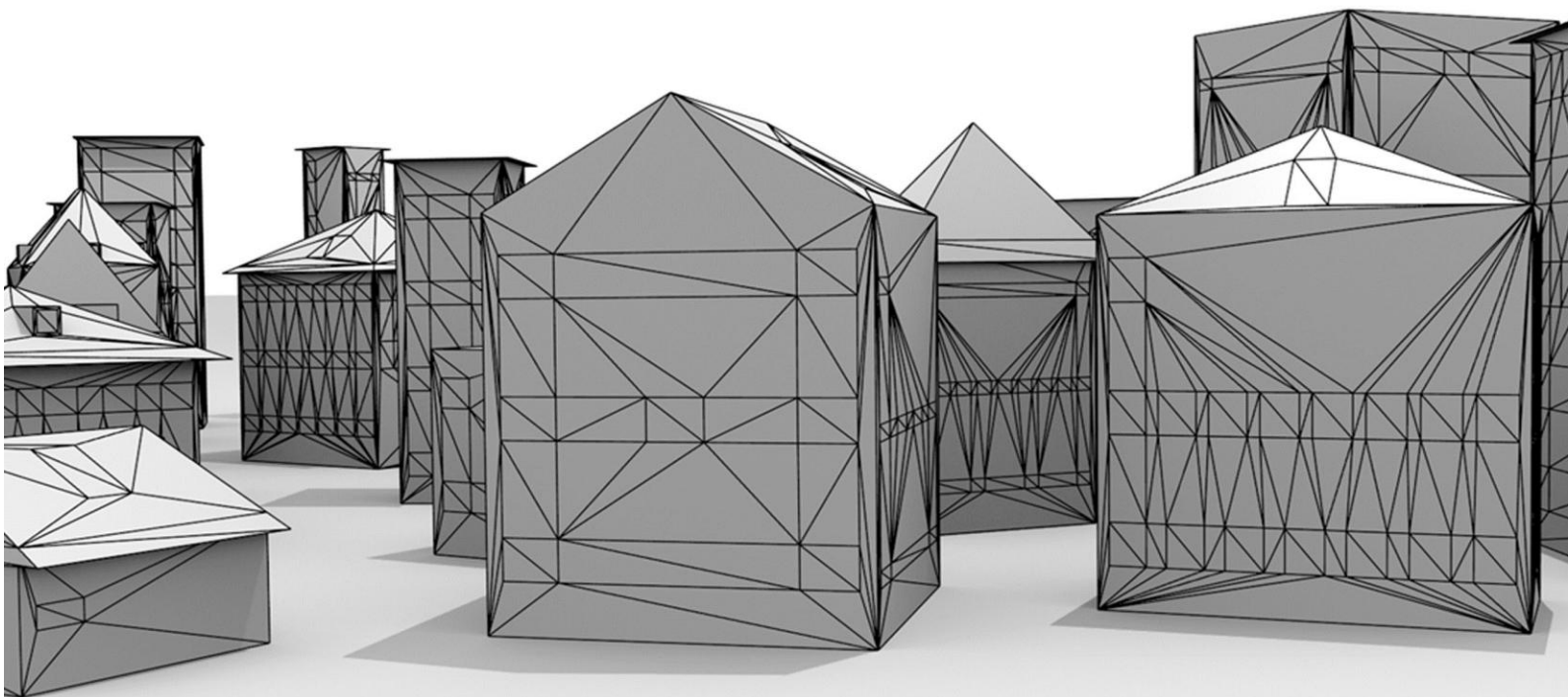
Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών  
Τομέας Τοπογραφίας-Κτηματολογίου



διπλωματική εργασία | Οκτώβριος 2015

Σώλου Δήμητρα

επιβλέπουσα: Δημοπούλου Έφη, αναπλ.καθηγήτρια Ε.Μ.Π







# Ευχαριστίες

---

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία πραγματοποιήθηκε στο τομέα Κτηματολογίου της σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και σηματοδοτεί της ολοκλήρωση των προπτυχιακών σπουδών μου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους ανθρώπους που συνέβαλαν σε αυτή την διπλωματική εργασία. Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα της διπλωματικής μου, κ. Έφη Δημοπούλου, για την καθοδήγηση της καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας και την εμπιστοσύνη της.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Τάσο Λαμπρόπουλο για την πολύτιμη βοήθεια του και τις συμβουλές του, πάνω σε όλα τα θέματα.

Ακόμη ένα μεγάλο ευχαριστώ στον Γιάννη Πισπιδίκη, για την προθυμία, τη βοήθεια του καθώς και τις πολύτιμες συμβουλές του σε θέματα προγραμματιστικά και βάσεων δεδομένων.

Οφείλω, ακόμα, να ευχαριστήσω την Εύα Τσιλιάκου για τη βοήθεια και την καθοδήγηση της γύρω από το CityEngine.

Τέλος δε μπορώ να παραλείψω την οικογένεια και τους φίλους μου για την υπομονή και τη συμπαράσταση τους όλο αυτό το διάστημα.



# Πρόλογος

---

Το σύστημα το οποίο κατοχυρώνει κάθε στιγμή την ακίνητη περιουσία και καταγράφει με ακρίβεια και συνέπεια τα δικαιώματα, τις ευθύνες και τους περιορισμούς γύρω από αυτή είναι το κτηματολόγιο. Το Εθνικό Κτηματολόγιο στην Ελλάδα βρίσκεται σε διαδικασία ολοκλήρωσης αλλά παράλληλα οι συνεχείς μεταβολές στις διεθνείς τάσεις στα συστήματα διαχείρισης γης απαιτούν την άμεση προσαρμογή του.

Τα τελευταία χρόνια στα συστήματα διαχείρισης της γης καθώς και στα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον γύρω από την τρίτη διάσταση και πως μπορεί η σύνθετη αστική δόμηση και οι επικαλυπτόμενες χρήσεις γης να ενταχθούν και να αναπαρασταθούν σε ένα τρισδιάστατο κτηματολογικό σύστημα. Προκύπτει, έτσι, η ανάγκη για τη δημιουργία εκτεταμένων τρισδιάστατων μοντέλων πόλεων, τα οποία θα χρησιμοποιούνται σε μια πληθώρα εφαρμογών, όπως η διαχείριση καταστροφών, η πλοήγηση και άλλα. Τα εικονικά 3D μοντέλα πόλης παρέχουν έναν μεγάλο όγκο πληροφοριών και έχουν σαν σκοπό να συγκεραστούν οι γεωμετρικές και τοπολογικές πληροφορίες με τις σημασιολογικές.

Το CityGML είναι ένα πρότυπο για τη δημιουργία και την ανταλλαγή τρισδιάστατων μοντέλων, το οποίο καλύπτει τους γεωμετρικούς, τους σημασιολογικούς και τους τοπολογικούς παράγοντες ενός μοντέλου. Βασικός σκοπός της δημιουργίας του ήταν να παρέχει ομοφωνία στον ορισμό των αντικειμένων και μια κοινή ορολογία, προκειμένου να διευκολύνεται η διαλειτουργικότητα μεταξύ διαφορετικών εφαρμογών.

Σήμερα, η διαλειτουργικότητα είναι μια αναγκαιότητα. Υπάρχει διαθέσιμος ένας μεγάλος αριθμός μοντέλων για διαφορετικές εφαρμογές, καθώς και πολλοί τύποι αρχείων και λογισμικά τα οποία υποστηρίζουν την τρισδιάστατη μοντελοποίηση. Επομένως θα πρέπει να είναι δυνατή η ενσωμάτωση και η ανταλλαγή μεταξύ τους.



# Περιεχόμενα

---

Ευχαριστίες.....	4
Πρόλογος .....	6
Περιεχόμενα .....	8
Κατάλογος Σχημάτων .....	11
Κατάλογος Πινάκων .....	13
Περίληψη .....	14
Abstract .....	16
1. Εθνικό Κτηματολόγιο .....	18
1.1 Νομοθετικό πλαίσιο .....	19
1.2 Έργο Εθνικού Κτηματολογίου.....	19
1.3 Πορεία Εθνικού Κτηματολογίου.....	20
1.4 Υποστηρικτικά έργα .....	23
1.5 Οφέλη Εθνικού Κτηματολογίου.....	27
1.6 Προβλήματα Εθνικού Κτηματολογίου .....	27
2. 3D Κτηματολόγιο .....	29
2.1 Ορισμοί - Βασικές έννοιες .....	29
2.2 Βασικές κατηγορίες που απαιτούν 3D Κτηματολόγιο .....	29
2.3 Ενσωμάτωση 3D δεδομένων σε 2D Κτηματολόγιο.....	31
2.4 3D μοντέλα πόλεων .....	32
2.5 Η Τρίτη διάσταση σε διεθνή πρότυπα .....	33
2.5.1 Σύστημα Land Administration Domain Model( L.A.D.M.) .....	33
2.5.2 INSPIRE (Infrastructure for Spatial Information in the European Community).....	35
3. Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών και Τρίτη Διάσταση .....	38
3.1 3D Μοντελοποίηση.....	39
3.2 Μοντελοποίηση στερεών .....	39
3.2.1 Boundary Representation (b-rep).....	40
3.2.2 Implicit Representation (Surfaces) .....	40
3.3 3D τύποι αρχείων .....	40
3.3.1 Collada .....	41
3.3.2 Geography Markup Language (GML) .....	41
3.3.3 Keyhole Markup Language (KML) .....	41
3.3.4 MultiPatch .....	42



3.4 Κανονιστική Μοντελοποίηση.....	42
3.4.1 Χαρακτηριστικά Κανονιστικής Μοντελοποίησης .....	43
3.4.2 Μοντελοποίηση με ComputerGeneratedArchitecture (CGA) Γραμματική.....	45
3.5 CityEngine .....	46
4. Το πρότυπο CityGML.....	48
4.1 Σημσιολογικά 3D μοντέλα πόλης .....	48
4.2 Μοντελοποίηση στο CityGML.....	49
4.3 Επίπεδα λεπτομέρειας του CityGML .....	50
4.4 Σημσιολογική Μοντελοποίηση .....	51
4.5 Θεματικά Μοντέλα.....	52
4.5.1 Κεντρικό Μοντέλο (Core Module) .....	53
4.5.2 Κτιριακό Μοντέλο (Building Model).....	55
4.5.2.1 Level of Detail 0.....	57
4.5.2.2 Level of Detail 1.....	57
4.5.2.3 Level of Detail 2 .....	58
4.5.2.4 Level of Detail 3 .....	58
4.5.2.5 Level of Detail 4 .....	59
4.6 Γεωμετρία.....	60
4.7 Τοπολογία.....	62
4.8 Απεικόνιση .....	63
4.9 Χωρική και σημσιολογική συνοχή .....	64
4.10 Ελεκτασιμότητα .....	65
4.11 Σχέση με άλλα 3D πρότυπα .....	65
4.11.1 Building Information Modelling / IndustryFoundationClasses .....	65
4.11.2 3D Computer Graphics and Geovisualisation / X3D & KML .....	66
4.11.3 European spatial data infrastructure .....	67
4.12 Η βάση 3D City Database (3DCityDB) .....	68
4.13 Εφαρμογές.....	68
5. Το 3D Cities Project .....	70
5.1 Εισαγωγή .....	70
5.2 Οι θεματικές ενότητες του 3DCity .....	73
5.2.1 Το Δομημένο Περιβάλλον (Built Environment) .....	73
5.2.2 Το Νομικό Περιβάλλον (Legal Environment) .....	73
5.2.3 Το Φυσικό Περιβάλλον (Natural Environment) .....	74
5.3 Αρχές Σχεδίασης.....	74
5.4 Περιεχόμενα του Μοντέλου .....	75

5.4.1 Γενικά Χαρακτηριστικά .....	75
5.4.2 AnnotatedSpace, Association, AttributeContainer .....	75
5.4.3 Built Environment .....	76
5.4.4 Legal Environment .....	82
5.4.5 Natural Environment.....	83
5.4.6 Basemap .....	84
6. 3D Cities: σημασιολογική διαχείριση δεδομένων του CityEngine. ....	86
6.1 Δεδομένα εφαρμογής .....	86
6.1.1 Δημιουργία του CityEngine μοντέλου .....	88
6.2 Μεθοδολογία.....	91
6.2.1 Εξαγωγή των CityEngine δεδομένων .....	92
6.2.2 Δημιουργία γεωβάσης του 3DCIM.....	93
6.2.3. Πύκνωση της γεωβάσης του 3DCIM.....	96
6.2.4 Εξαγωγή του τελικού CityGML μοντέλου. ....	97
6.2.5 Εισαγωγή του CityGML μοντέλου στην 3DCityDatabase & Εξαγωγή του σε KML.....	98
7. Συμπεράσματα .....	101
8. Παραρτήματα .....	103
Παράρτημα Α.....	103
A. Extensible Markup Language (XML).....	103
B. Unified Modeling Language (UML).....	103
9. Βιβλιογραφία .....	104

---

# Κατάλογος Σχημάτων

---

Εικόνα 1-Πορεία κτηματογράφησης για κάθε γενιά κτηματογράφησης.....	23
Εικόνα 2-Οι μόνιμοι σταθμοί του HEPOS .....	24
Εικόνα 3-Έγχρωμος ψηφιακός ορθοφωτοχάρτης. ....	25
Εικόνα 4-Οριοθέτηση δασών και δασικών εκτάσεων. ....	25
Εικόνα 5-Γραμμή Αιγιαλού.....	26
Εικόνα 6- Πλατεία Βαρβακειού αγοράς. Στον υπόγειο χώρο της πλατείας υπάρχει χώρος στάθμευσης. ....	30
Εικόνα 7-Ένα παράδειγμα στοάς κτιρίου πάνω από πεζοδρόμιο στην οδό Κορίνθου στη Πάτρα.....	30
Εικόνα 8-Ιδιοκτησιακά δικαιώματα σε πολλαπλά επίπεδα στη Σαντορίνη.....	31
Εικόνα 9- Βασικές οντότητες του LADM .....	34
Εικόνα 10-Έννοιες Boundary face string .....	35
Εικόνα 11-Τα παραρτήματα και οι Θεματικές ενότητες της οδηγίας INSPIRE. ....	36
Εικόνα 12- Η ανάλυση των στοιχείων του στερεού σύμφωνα με την b-Rep.....	40
Εικόνα 13- Τα στοιχεία στα οποία διαχωρίζεται ένα αντικείμενο και αποθηκεύεται ως Multipatch γεωμετρία.....	42
Εικόνα 14-Διαδικασία παραγωγής του τελικού 3D μοντέλου με χρήση CGA γραμματικής.....	45
Εικόνα 15-Εφαρμογή των CGA κανόνων γραμματικής.....	46
Εικόνα 16-Χρήση των κανόνων CGA για τη δημιουργία αστικής περιοχής, στην Πομπηία.....	46
Εικόνα 17-Τα στάδια δημιουργίας του 3D μοντέλου πόλης στο CityEngine.....	47
Εικόνα 18-Οι διαφορετικοί τομείς που συνδέει το CityGML. ....	49
Εικόνα 19- Δομή του CityGML για τη σημασιολογική μοντελοποίηση διαφορετικών θεματικών ενοτήτων. ....	49
Εικόνα 20- Τα πέντε διαφορετικά επίπεδα λεπτομέρειας (LoDs) του CityGML.....	50
Εικόνα 21-Διάγραμμα UML αναπαράστασης της ιεραρχίας των τάξεων του CityGML .....	52
Εικόνα 22-Το διάγραμμα UML του CityGML Core module.....	53
Εικόνα 23-Τοπολογικές σχέσεις των αντικειμένων στο CityGML σε σχέση με την επιφάνεια α)του εδάφους και β) του νερού.....	54
Εικόνα 24-Το ανώτερο επίπεδο ιεραρχίας του CityGML.....	55
Εικόνα 25-UML διάγραμμα που αναπαριστά μια απλοποιημένη μορφή του κτιριακού μοντέλου(Building model).....	56
Εικόνα 26-Κτίριο σε LoD0 δεξιά. Αριστερά η δομή των στοιχείων σε διάγραμμα UML. ....	57
Εικόνα 27-Κτίριο σε LoD1 δεξιά. Αριστερά η δομή των στοιχείων σε διάγραμμα UML. ....	57
Εικόνα 28-Κτίριο σε LoD2αριστερά.Δεξιά η δομή των στοιχείων σε διάγραμμα UML .....	58
Εικόνα 29-Κτίριο σε LoD3 αριστερά. Δεξιά η δομή των στοιχείων σε διάγραμμα UML .....	59
Εικόνα 30-Κτίριο σε LoD4 αριστερά. Δεξιά η δομή των στοιχείων σε διάγραμμα UML .....	59

Εικόνα 31-Παράδειγμα τοπολογικής σχέσης. Ένα κτίριο με δίπλα του χώρο στάθμευσης. ....	62
Εικόνα 32-Αναπαράσταση της τοπολογίας. Το κτίριο (s1) μοιράζεται την επιφάνεια (su1, μπλε) με το γκαράζ (s2). Η μπροστινή επιφάνεια του κτιρίου χωρίζεται σε δυο επιφάνειες (su1 και su2). Δεξιά το διάγραμμα δείχνει τη σχέση μεταξύ των αντικειμένων. ....	63
Εικόνα 33-Το 3D City Information Model υποστηρίζει πολλές εφαρμογές διαχείρισης, ανάλυσης και οπτικοποίησης 3D δεδομένων. ....	71
Εικόνα 34-Τα στοιχεία του Built Environment. ....	73
Εικόνα 35-Τα στοιχεία του Legal Environment. ....	73
Εικόνα 36-Τα στοιχεία του Natural Environment. ....	74
Εικόνα 37-Παράδειγμα του εργαλείου Annotation, για την επισήμανση στοιχείων στο τοίχο. ....	76
Εικόνα 38-Παράδειγμα των στοιχείων που περιλαμβάνει η τάξη Interiors. ....	78
Εικόνα 39-Παράδειγμα των στοιχείων που περιλαμβάνει η τάξη Installations. ....	78
Εικόνα 40-Παράδειγμα ενός δικτύου μεταφορών (Transport Network). ....	80
Εικόνα 41-Σχήματα που έχουν δημιουργηθεί στη CityEngine και απεικονίζουν ένα δίκτυο δρόμων. ....	81
Εικόνα 42-Παράδειγμα διαχωρισμού του χώρου σε ZoningDistricts, καθώς και παράδειγμα εφαρμογής επικάλυψης. ....	82
Εικόνα 43-Εδαφοτεμάχιο με πληροφορίες στο πεδίο Neighborhood. ....	83
Εικόνα 44-Παράδειγμα ορισμού του PrimaryLandCoverType και του SecondaryLandCoverType. ....	84
Εικόνα 45-Άποψη του μοντέλου της Κέρκυρας στο CityEngine. ....	87
Εικόνα 46-Άποψη του μοντέλου του Χαλανδρίου. ....	87
Εικόνα 47-Το δισδιάστατο αποτύπωμα του κτηρίου στο περιβάλλον του CityEngine. ....	88
Εικόνα 48-Τα χαρακτηριστικά (Objet Attributes) του αποτυπώματος του κτηρίου. ....	89
Εικόνα 49-Αριστερά το μοντέλο του κτηρίου. Δεξιά οι όψεις του μοντέλου είναι πλέον διαχωρισμένες στο περιβάλλον του CityEngine. ....	90
Εικόνα 50-Τα χαρακτηριστικά κάθε όψης του κτηρίου. ....	90
Εικόνα 51-Το διάγραμμα εργασιών της μεθοδολογίας. ....	91
Εικόνα 52-Η εξαγόμενη βάση από το CityEngine. ....	92
Εικόνα 53-Οι εξαγόμενες επιφάνειες από το CityEngine. ....	92
Εικόνα 54-Ο πίνακας χαρακτηριστικών στο ArcGIS για μια τυχαία επιφάνεια. Οι τιμές που είχαν καταχωρηθεί έχουν διατηρηθεί. ....	92
Εικόνα 55-Η γεωβάση του 3DCIM. ....	93
Εικόνα 56-Η αντιστοιχία μεταξύ των τύπων του CityGML και των τάξεων του 3DCIM. ....	94
Εικόνα 57-Η γεωβάση 3DCIM για το μοντέλο. ....	94
Εικόνα 58-Η οντότητα Building. ....	95
Εικόνα 59-Η οντότητα BuildingShell. ....	95
Εικόνα 60-Η οντότητα BuildingShellPart. ....	95
Εικόνα 61-Το περιεχόμενο της feature class Building. ....	96
Εικόνα 62- Το περιεχόμενο της feature class BuildingShell. ....	96
Εικόνα 63- Το περιεχόμενο της feature class BuildingShellPart. ....	96
Εικόνα 64-Το τελικό μοντέλο στο περιβάλλον του FZK Viewer. ....	97

Εικόνα 65-Αριστερά οι τάξεις της θεματικής τάξης Building του CityGML. Δεξιά μια άλλη άποψη του μοντέλου. ....	97
Εικόνα 66-Δημιουργία κενής βάσης δεδομένων στο περιβάλλον pgAdmin III.....	98
Εικόνα 67-Η καρτέλα Database του Importet/Exporter για τη σύνδεση της βάσης με την 3DCityDB.....	99
Εικόνα 68--Το μοντέλο του κτηρίου στο Google Earth. ....	99
Εικόνα 69-Το μοντέλο των κτηρίων στο Google Earth. ....	100

## Κατάλογος Πινάκων

---

Πίνακας 1-Προγράμματα Κτηματογράφησης στην Ελλάδα.....	22
Πίνακας 2- Τα στοιχεία που απεικονίζονται σε κάθε επίπεδο λεπτομέρειας (LoD)..	60
Πίνακας 3-Τα αρχεία που περιλαμβάνονται στο 3D City Project. ....	72

# Περίληψη

---

Τα τελευταία χρόνια με την ανάπτυξη της τεχνολογίας και την άρση αρκετών τεχνικών περιορισμών, η τρίτη διάσταση έρχεται στο προσκήνιο. Η πολυπλοκότητα της αστικής δόμησης και έντονη ανάγκη για διαχείριση της γης ενισχύουν τη χρησιμότητα ενός τρισδιάστατου κτηματολογικού συστήματος. Ωστόσο αν και υπάρχει μεγάλη πρόοδος στα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών και στην απεικόνιση σε τρεις διαστάσεις, δεν υπάρχει ένα ολοκληρωμένο τρισδιάστατο Κτηματολόγιο.

Τα γεωγραφικά συστήματα που έχουν αναπτυχθεί καθώς και οι διαφορετικές μέθοδοι τρισδιάστατης μοντελοποίησης επιτρέπουν την καλύτερη διαχείριση, οπτικοποίηση και διάχυση των πληροφοριών. Παρόλα αυτά χωρίς την ύπαρξη τυποποίησης και διαλειτουργικότητας οι δυνατότητες αυτές δεν μπορούν να αξιοποιηθούν. Για το λόγο αυτό αναπτύχθηκε το ανοιχτό πρότυπο τρισδιάστατης μοντελοποίησης, CityGML. Το συγκεκριμένο πρότυπο δεν περιλαμβάνει πληροφορίες μόνο για τις γεωμετρίες και την τοπολογία ενός μοντέλου πόλης, αλλά επικεντρώνεται στη σημασιολογική πληροφορία και σαν βασικό στόχο έχει να παρέχει μια κοινή ορολογία.

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία χωρίζεται σε δυο μέρη. Το πρώτο μέρος είναι το θεωρητικό και περιλαμβάνει ορισμένες βασικές, θεωρητικές έννοιες σχετικά με το Εθνικό Κτηματολόγιο και το τρισδιάστατο Κτηματολόγιο, τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών, τη τρισδιάστατη μοντελοποίηση στο περιβάλλον τους και πιο αναλυτικά τη κανονιστική μοντελοποίηση. Στη συνέχεια παραθέτονται τα βασικά χαρακτηριστικά του CityGML, οι αρχές μοντελοποίησης του και οι βασικές θεματικές ενότητες που περιλαμβάνει. Τέλος, γίνεται λόγος για το 3D Cities Project, ένα εργαλείο για τη σημασιολογική διαχείριση δεδομένων που προέκυψαν μέσω της κανονιστικής μοντελοποίησης.

Το δεύτερο κομμάτι της εργασίας, το πρακτικό, περιλαμβάνει μια εφαρμογή σημασιολογικής διαχείρισης ενός μοντέλου που προέκυψε με τη μέθοδο της κανονιστικής μοντελοποίησης. Η εφαρμογή υλοποιείται αρχικά στο λογισμικό της ESRI, το CityEngine και στη συνέχεια στο περιβάλλον του ArcGIS. Σαν τελικό ζητούμενο είναι ο εμπλουτισμός με σημασιολογική πληροφορία του αρχικού μοντέλου και στη συνέχεια η μετατροπή του σε μορφή CityGML. Η διαδικασία της διαχείρισης της σημασιολογικής πληροφορίας και η μετατροπή από τη μια μορφή στην άλλη πραγματοποιούνται με τη βοήθεια των εργαλείων του 3D Cities.



# Abstract

---

In recent years the development of technology and the lifting of several technical limitations, has brought the third dimension to the fore. The complexity of urban environments and the strong need for land administration, intensify the use of a three-dimensional cadastral system. Despite the progress in the field of the geographic information systems and 3D modeling, there is no digital 3D cadastre.

The existing geographic systems and the different methods of three-dimensional modeling allow better management, visualization and dissemination of information. Nevertheless, these opportunities cannot be fully exploited because of the absence of standardization and interoperability within these systems. Therefore, an international standard for 3D modeling was developed, the CityGML. This standard defines geometry and topology of a city model, but also focuses on semantic information. The aim of CityGML is to reach a common terminology.

This thesis is divided into two parts. The first part is theoretical and includes some basic concepts on the National Cadastre and the three-dimensional Cadastre, the GIS, the three-dimensional modeling in their environment and in more detail the procedural modeling. Additionally, the key features of CityGML are mentioned, its modeling principles and its core subjects. Finally, the 3D Cities Project, a tool for semantic data management. The second part, the practical one, describes an application for managing semantic information of a model created based on procedural modeling. The application is implemented initially in ESRI's software, CityEngine and then in the environment of ArcGIS. As a final goal is the enrichment of semantic information of the original model and then convert to CityGML format. The process of semantic information management and the conversion from one format to another is feasible with the tools of 3D Cities.





# 1. Εθνικό Κτηματολόγιο

---

Οι εξελίξεις των τελευταίων δεκαετιών, σε παγκόσμια κλίμακα, στους τομείς των χρήσεων και της διαχείρισης της γης και η αυξανόμενη πολυπλοκότητα των υποδομών, απαιτούν την καθιέρωση ολοκληρωμένων ψηφιακών κτηματολογικών συστημάτων. Τα κτηματολογικά συστήματα, ως εργαλεία ανάπτυξης πρέπει να διασφαλίζουν τα δικαιώματα επί της γης και παράλληλα να συμβαδίζουν με τις τεχνολογικές επιταγές και να εντάσσονται σε ένα ευρύτερο σύστημα διαχείρισης της γης.

Η Διεθνής Ομοσπονδία Τοπογράφων (International Federation of Surveyors, FIG) ορίζει το Κτηματολόγιο ως ένα σύστημα πληροφοριών γης, το οποίο ως επιφάνεια αναφοράς έχει το γεωτεμάχιο και περιλαμβάνει τα δικαιώματα, τους περιορισμούς και τις ευθύνες (3R-Rights, Restrictions, Responsibilities) στη γη. Συνήθως περιλαμβάνει τη γεωμετρική περιγραφή των γεωτεμαχίων καθώς και πληροφορίες σχετικά με τα δικαιώματα, τη κυριότητα, την αξία του και τις βελτιώσεις επί αυτού. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη φορολογία και για νομικούς σκοπούς (μεταβιβάσεις), να συμβάλλει στη διαχείριση της γης και το σχεδιασμό των χρήσεων γης και επιτρέπει την ολοκληρωμένη και βιώσιμη ανάπτυξη.

Ένα σύγχρονο σύστημα Κτηματολογίου μιας χώρας ή απλά ένα *Κτηματολόγιο* ορίζεται ως ένα γενικό, με δημόσιο χαρακτήρα σύστημα καταγραφής χωρικών πληροφοριών με γεωγραφική απεικόνιση, το οποίο εμπεριέχει πληροφορίες γεωγραφικές και περιγραφικές, με αμφιμονοσήμαντη αλληλεξάρτηση, σχετικές με όλα τα γεωτεμάχια ή γενικότερα τα ακίνητα της χώρας, κάθε κατηγορίας, μορφής ή χρήσης μετά των επ' αυτών νομικά αναγνωρισμένων και λοιπών εμπράγματων δικαιωμάτων κάθε ιδιωτικού ή δημόσιου προσώπου, κάθε μορφής ή κατηγορίας, οι οποίες έχουν αποδεικτική ισχύ και είναι ελαστικές, κατάλληλες, επαρκείς, στη σωστή κλίμακα (ακρίβεια), αξιόπιστες, διαθέσιμες και ενήμερες σε κάθε χρόνο, προκειμένου να εξυπηρετηθούν καλύτερα οι προκαθορισμένοι στόχοι και οι πολλαπλοί σκοποί σε κάθε τομέα εξυπηρέτησης (operation, management, policy) και σε κάθε επίπεδο διοίκησης (Ζεντέλης, 2011).

Το Εθνικό Κτηματολόγιο είναι ένα σύστημα πληροφοριών που καταγράφει τις νομικές και τεχνικές πτυχές για τα ακίνητα αλλά και τα εμπράγματα δικαιώματα επί αυτών. Η σύνταξη του είναι βασική προϋπόθεση για τη δημιουργία μιας αξιόπιστης σύγχρονης, αυτοματοποιημένης πληροφοριακής υποδομής για την ακίνητη περιουσία. Όλα τα στοιχεία του έχουν αποδεικτικό χαρακτήρα και διασφαλίζουν την μεγαλύτερη δυνατή δημοσιότητα και ασφάλεια των συναλλαγών (ktimatologio.gr, 2015).

Το Κτηματολόγιο στην Ελλάδα αναπτύσσεται, συντάσσεται και λειτουργεί υπό την ευθύνη της εταιρείας "Εθνικό Κτηματολόγιο και Χαρτογράφηση Α.Ε." (Ε.Κ.Χ.Α. Α.Ε.), με την παλαιότερη ονομασία "Κτηματολόγιο Α.Ε." .

## 1.1 Νομοθετικό πλαίσιο

Η εταιρεία λειτουργεί σύμφωνα με τους κανόνες της ιδιωτικής οικονομίας και διέπεται από τις διατάξεις του άρθρου 5 του Ν. 2229/1994, του κωδικοποιημένου Νόμου 2190/1920, του Ν.2308/1995 και του Ν. 2664/1998, όπως ισχύουν σήμερα. Οι δύο τελευταίοι νόμοι διέπουν τη σύνταξη και την τήρηση του Εθνικού Κτηματολογίου. Ο Ν.2308/1995 αναφέρεται στη διαδικασία της κτηματογράφησης, ενώ ο Ν. 2664/1998 στην τήρηση και τη λειτουργία του Κτηματολογίου. Οι παραπάνω νόμοι τροποποιήθηκαν διαδοχικά με τους νόμους 2508/1997, 3208/2003, 3127/2003, 3212/2003 3481/2006, 3983/2011 και πρόσφατα με τον νόμο 4164/2013. Οι τροποποιήσεις αυτές έγιναν προκειμένου να εξελιχθεί το θεσμικό πλαίσιο και να ανταποκρίνεται όσο το δυνατόν καλύτερα στις απαιτήσεις του Εθνικού Κτηματολογίου.

Με το νόμο 3899/17-12-2010 εντάχθηκαν στο πεδίο εφαρμογής του Κεφαλαίου Α του Ν. 3429/2005 "Δημόσιες Επιχειρήσεις και Οργανισμοί ΔΕΚΟ".

Μοναδικός μέτοχος της ΕΚΧΑ Α.Ε. είναι το Ελληνικό Δημόσιο και η εταιρεία εποπτεύεται από το Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής.

## 1.2 Έργο Εθνικού Κτηματολογίου

Πρόκειται για ένα σύστημα πολύ πιο σύγχρονο και ολοκληρωμένο από το παλαιό σύστημα των Υποθηκών και Μεταγραφών που υποστηρίζουν τα Υποθηκοφυλακεία. Συγκεκριμένα το Εθνικό Κτηματολόγιο, σύμφωνα με την επίσημη ιστοσελίδα της Ε.Κ.Χ.Α. Α.Ε.:

1. Καταγράφει με βάση το ακίνητο όλες τις πράξεις που δημιουργούν, μεταβιβάζουν, αλλοιώνουν ή καταργούν δικαιώματα επί των ακινήτων. Με αυτό το τρόπο η πληροφόρηση για το σύνολο των δικαιωμάτων που ενυπάρχουν σε κάθε ακίνητο γίνεται άμεσα, εύκολα και αξιόπιστα.
2. Εγγυάται τις νομικές πληροφορίες που καταγράφει. Στο σύστημα του Κτηματολογίου, η καταχώριση κάθε πράξης γίνεται μόνο μετά από ουσιαστικό έλεγχο νομιμότητας, δηλαδή καμία πράξη δεν καταχωρίζεται αν ο μεταβιβάζων δεν είναι ο φερόμενος στο κτηματολόγιο ως δικαιούχος, ούτως ώστε να εξασφαλίζεται η αξιοπιστία της καταγεγραμμένης πληροφορίας και να προστατεύονται οι συναλλασσόμενοι.
3. Καταγράφει και τη γεωγραφική περιγραφή (μορφή, θέση και μέγεθος του ακινήτου, με την ευθύνη και την εγγύηση του δημοσίου. Η θέση και τα όρια κάθε ακινήτου, η σχέση του με άλλα λόγια με τα όμορα ακίνητα είναι εξασφαλισμένη.
4. Αποκαλύπτει και καταγράφει συστηματικά τη Δημόσια ακίνητη περιουσία. Αξίζει να σημειωθεί πως το Ελληνικό Δημόσιο είναι ο μεγαλύτερος ιδιοκτήτης της ελληνικής επικράτειας. Πολλοί ιδιώτες έχουν καταχωρίσει χιλιάδες πράξεις στα Υποθηκοφυλακεία για περιοχές, όπως το Κερατσίνι, το Γαλάτσι, η Δραπετσώνα, οι οποίες επί χρόνια διεκδικούνται από το Δημόσιο.

5. Καταγράφει τα δικαιώματα από χρησικτησία. Η χρησικτησία, κυρίως στην επαρχία, αποτελεί τον πλέον συνηθισμένο τρόπο κτήσης κυριότητας όπου επικρατεί ο θεσμός των άτυπων μεταβιβάσεων.

### 1.3 Πορεία Εθνικού Κτηματολογίου

Η εξέλιξη της σύνταξης του Κτηματολογίου, σύμφωνα με την Έκθεση Πεπραγμένων για το έτος 2013, παρακολουθείται τόσο μέσω της έκτασης που κτηματογραφείται όσο και μέσω του πλήθους των δικαιωμάτων που καταγράφονται. Βέβαια, η παρακολούθηση των δικαιωμάτων είναι πιο χρήσιμος και έγκυρος τρόπος, καθώς η χωρική κατανομή και ο βαθμός πυκνότητας της κτηματολογικής πληροφορίας σε κάθε περιοχή δεν είναι ανάλογα της έκτασης που καλύπτεται. Αυτό πρακτικά σημαίνει πως σε μια αστική περιοχή υπάρχουν περισσότερα δικαιώματα σε μικρότερη έκταση, καθώς υπάρχει μεγαλύτερη συγκέντρωση ιδιοκτητών και ιδιοκτησιών, από ότι σε μια αγροτική περιοχή. Παράλληλα, οι δασικές εκτάσεις, οι ορεινοί όγκοι, στη ζώνη του αιγιαλού υπάρχουν λίγα διακριτά δικαιώματα, τα οποία κατά κανόνα ανήκουν στο Ελληνικό Δημόσιο.

- *1<sup>η</sup> περίοδος (1995-2003)*

Το 1995 ιδρύεται η Κτηματολόγιο Α.Ε σύμφωνα με το νόμο 2308/1995, ο οποίος είναι και ο πρώτος νόμος που αφορά το Κτηματολόγιο. Την περίοδο αυτή το Κτηματολόγιο ξεκίνησε πιλοτικά. Αρχικά, ανατέθηκαν τρία πιλοτικά προγράμματα κτηματογράφησης σε διαφορετικές περιοχές ώστε να αποκτηθεί εμπειρία σε διαφορετικές συνθήκες. Τα προγράμματα αυτά αφορούν την καταγραφή 8,5 εκατομμυρίων στρεμμάτων και 6,7 εκατομμυρίων δικαιωμάτων σε 340 περιοχές της Ελλάδας (1η γενιά κτηματογράφησης). Τα προγράμματα αυτά ολοκληρώθηκαν και εκ τότε λειτουργεί κανονικά 96 κτηματολογικά γραφεία σε αυτές τις περιοχές.

- *2η περίοδος (2004-2009)*

Το 2006 ψηφίζεται και ο τρίτος νόμος σχετικός με το Κτηματολόγιο Ν. 3481/2006, ο οποίος εισήγαγε πολλές αλλαγές και μεταρρυθμίσεις στο θεσμικό πλαίσιο του έργου. Επιπλέον, στο πλαίσιο του Γ' ΚΠΣ με συγχρηματοδότηση από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, υιοθετήθηκε μια νέα διαχειριστική προσέγγιση αξιοποιώντας σε μεγάλο βαθμό τις οικονομίες κλίμακας καθώς και τις νέες τεχνολογίες.

Το 2007 το νέο πρόγραμμα αφορά 106 αστικούς ΟΤΑ στα όρια των δήμων Αττικής και Θεσσαλονίκης αλλά και πρωτεύουσες νομών, οι οποίες δεν είχαν κτηματογραφηθεί με τα προηγούμενα προγράμματα, και έχει διαχωριστεί σε δυο φάσεις με ξεχωριστές διαγωνιστικές διαδικασίες. Το γεγονός αυτό προκαλεί πρόσθετες καθυστερήσεις διότι η επιλογή των αναδόχων και η έκδοση των δικαστικών αποφάσεων αποτελούν χρονοβόρα διαδικασία.

Το πρόγραμμα αυτό θεωρείται και το σημαντικότερο έως τότε, καθώς αφορά 3,1 εκατομμύρια στρέμματα και 8 εκατομμύρια δικαιώματα. Αυτή είναι και η δεύτερη γενιά κτηματογράφησης, η οποία αφορά δήμους, τοπικά διαμερίσματα και κοινότητες, οι οποίες αποτελούν τα 2/3 του πληθυσμού της χώρας.

Η δεύτερη γενιά κτηματογραφήσεων είχε προγραμματιστεί να ολοκληρωθεί το 2010, λόγω όμως δυσμενών συνθηκών κάτι τέτοιο τελικά δεν επετεύχθη. Το 2012 με ανακοίνωσή της η ΕΚΧΑ Α.Ε. γνωστοποίησε ότι στις 33 περιοχές καταγράφηκαν 1,4 εκατομμύρια δικαιώματα για 700.000 δικαιούχους και η ένταξή τους στο σύστημα του Εθνικού Κτηματολογίου επρόκειτο να γίνει στις αρχές του 2013. Οι 22 περιοχές βρίσκονται σε διαδικασία επεξεργασίας δηλώσεων, ενώ για τις υπόλοιπες 52 η ανάρτηση τους επρόκειτο να γίνει εντός του 2013. Ο αρχικός στόχος, η λειτουργία δηλαδή του Κτηματολογίου στις 107 αυτές περιοχές, επαναπροσδιορίστηκε για το 2015.

- *3η περίοδος (2009)*

Το νέο πρόγραμμα που προκηρύσσεται αφορά 11 ΟΤΑ της Πάρνηθας και ζητούμενο είναι η κτηματογράφηση των περιοχών που επλήγησαν από τις πυρκαγιές τους με σκοπό τη προστασία τους από καταπατήσεις.

Σημαντικό, επίσης, είναι ότι το 2009 μια νέα νομοθετική ρύθμιση με υπουργική απόφαση στοχεύει στη διόρθωση των εγγράφων των ακινήτων.

- *4η περίοδος (2011)*

Εντός του 2011 και σύμφωνα με όσα προβλέπει το μνημόνιο, προκηρύσσεται κτηματογράφηση για 7.000.000 δικαιώματα. Η ΕΚΧΑ Α.Ε θέτει σε εφαρμογή δύο νέα προγράμματα τα οποία αφορούν:

- a) 268 περιαστικούς κυρίως ΟΤΑ για τους οποίους υπάρχει ήδη το απαραίτητο χαρτογραφικό υπόβαθρο για το σύνολο της υπό κτηματογράφησης περιοχής στο πλαίσιο του σχετικού έργου του Γ' ΚΠΣ. Το πρόγραμμα αυτό αφορά 2,6 εκατομμύρια δικαιώματα και η ολοκλήρωση του σημαίνει πως σε όλα τα μεγάλα αστικά κέντρα και τις αναπτυσσόμενες παράκτιες περιοχές το Κτηματολόγιο τίθεται σε λειτουργία.
- b) 10 νομούς της χώρας με εκτεταμένες αγροτικές εκτάσεις με αναδασμούς και διανομές, στις οποίες προβλέπεται να αξιοποιηθούν τα σχετικά δεδομένα που ψηφιοποιήθηκαν κατά την υλοποίηση του αντίστοιχου συγχρηματοδοτούμενου έργου του Γ' ΚΠΣ καθώς και τα στοιχεία του συστήματος αναγνώρισης αγροτεμαχίων και των δηλώσεων για γεωργικές επιδοτήσεις (LPIS). Το πρόγραμμα αφορούσε σε 4,4 εκατομμύρια δικαιώματα και 1024 προ-καποδιστριακούς ΟΤΑ.

- *5η περίοδος (2013)*

Με το πέρας του 2013, η συνολική εξέλιξη του έργου έχει ως εξής:

- ✓ Έχει ολοκληρωθεί η κτηματογράφηση και λειτουργεί Κτηματολόγιο για το 20,1 % των δικαιωμάτων της χώρας (περίπου 7.600.000 δικαιώματα).
- ✓ Η κτηματογράφηση για το 20,3% των δικαιωμάτων είναι σε εξέλιξη (7.700.000 δικαιώματα).

- ✓ Βρίσκεται σε εξέλιξη ο διαγωνισμός για την ανάθεση έργων κτηματογράφησης για το 59,6% των δικαιωμάτων της χώρας (22.500.000 δικαιώματα).

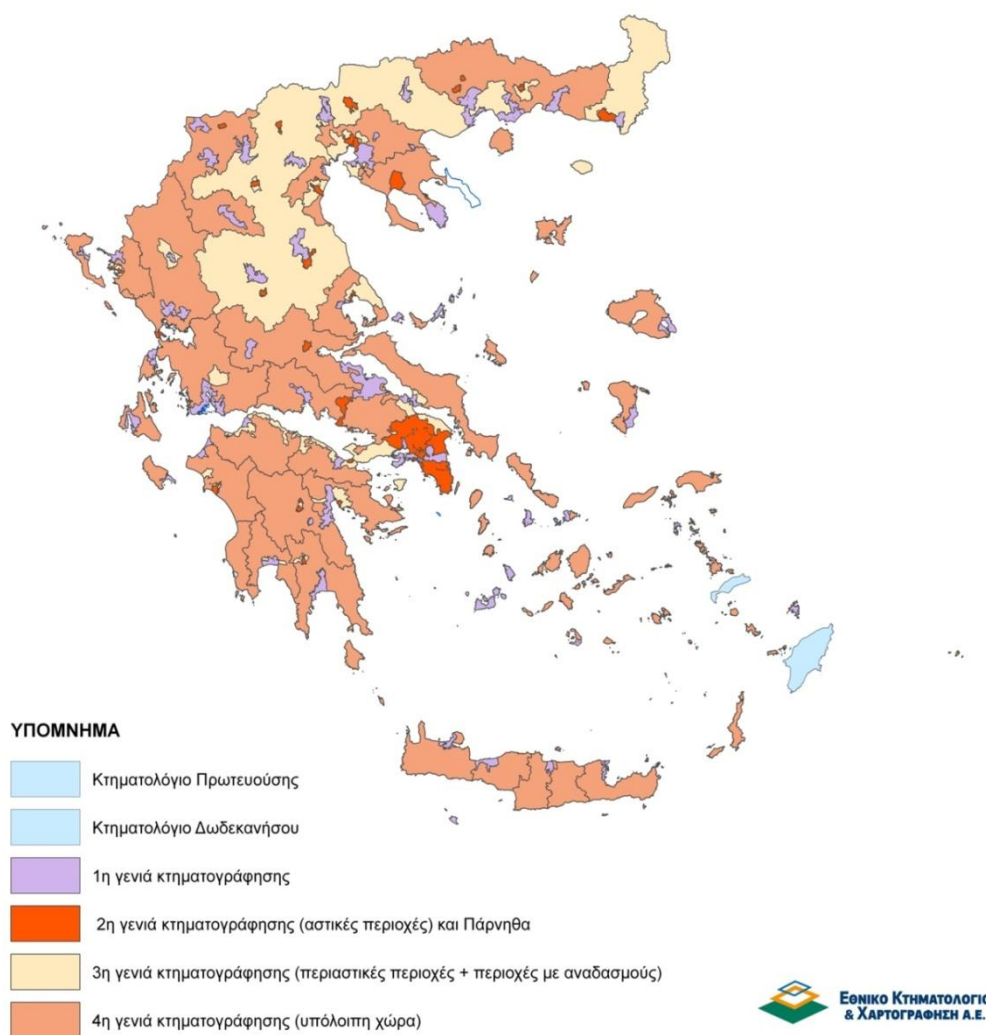
Εντός του 2013 ψηφίστηκε ο Ν. 4164/2013 περί συμπλήρωσης των διατάξεων του Ε.Κ. και άλλων ρυθμίσεων, με σκοπό τη βελτίωση των συνθηκών λειτουργίας και εφαρμογής του θεσμού του Κτηματολογίου. Προτείνονται, δηλαδή, αλλαγές επί της διαδικασίας κτηματογράφησης, αλλά και περιορισμός της γραφειοκρατίας για την καλύτερη εξυπηρέτηση του πολίτη.

Επιπρόσθετα, το 2013 προκηρύσσεται και η 4<sup>η</sup> γενιά κτηματογράφησης. Τα έργα στο πλαίσιο αυτής της κτηματογράφησης αφορούν το 65% της χώρας και την καταγραφή των υπόλοιπων 16 εκατομμυρίων δικαιωμάτων. Πρόκειται να καλύψει αγροτικές, νησιωτικές και ορεινές περιοχές με μικρούς οικισμούς και δασικές εκτάσεις, αλλά και αστικές περιοχές που συμπεριλήφθηκαν σε προηγούμενα προγράμματα κτηματογράφησης. Αποτελεί το μεγαλύτερο πρόγραμμα κτηματογράφησης καθώς τα δικαιώματα καλύπτουν το 42% των δικαιωμάτων της χώρας.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται συνοπτικά η εξέλιξη των προγραμμάτων κτηματογράφησης.

Προγράμματα Κτηματογράφησης	Χαρακτηριστικά περιοχών	Έκταση (στρέμματα)	Δικαιώματα
1 <sup>η</sup> γενιά Κτηματογράφησης (1995-1999)	πιλοτικά προγράμματα-διάσπαρτες περιοχές	8,5 εκατ.	6,7 εκατ.
2 <sup>η</sup> γενιά Κτηματογράφησης (2008)	Πρωτεύουσες Νομών-Δήμοι Αττικής & Θεσσαλονίκης Πάρνηθα	3,5 εκατ.	~8 εκατ.
3 <sup>η</sup> γενιά Κτηματογράφησης (2011)	Περιαστικές περιοχές Περιοχές αναδασμών	~34 εκατ.	~6,9 εκατ.
4 <sup>η</sup> γενιά Κτηματογράφησης (2013)	Υπόλοιπη χώρα	85 εκατ.	16 εκατ.

**Πίνακας 1-Προγράμματα Κτηματογράφησης στην Ελλάδα**



**Εικόνα 1-Πορεία κτηματογράφησης για κάθε γενιά κτηματογράφησης. (Πηγή: ΕΚΧΑ, 2013)**

Αναμφίλεκτα, η ολοκλήρωση του έργου έως το 2020 και η λειτουργία του Κτηματολογίου αποτελούν βασικό στόχο της ΕΚΧΑ Α.Ε. Ο στόχος αυτός είναι μεν φιλόδοξος αλλά εφικτός, καθώς η αποκτηθείσα εμπειρία, οι νέες τεχνολογίες και οι αλλαγές στο νομικό και θεσμικό πλαίσιο μπορούν να συμβάλλουν δραστικά προς αυτή την κατεύθυνση.

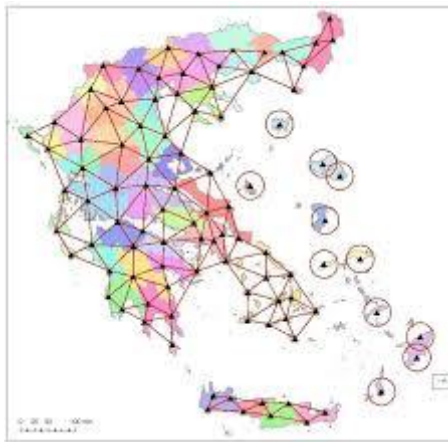
### **1.4 Υποστηρικτικά έργα**

Η διαδικασία της κτηματογράφησης πλαισιώνεται και από ένα πλήθος άλλων δράσεων και υποστηρικτικών έργων, τα οποία στοχεύουν στην διευκόλυνση της διαδικασίας και στη συγκέντρωση της απαιτούμενης πληροφορίας με τρόπο ομοιογενή, σύγχρονο και οργανωμένο. Σε αυτό το πλαίσιο υλοποιήθηκαν μεταξύ άλλων τα ακόλουθα έργα:

## I. Ανάπτυξη του Ελληνικού Συστήματος Εντοπισμού (HEPOS)

Το σύστημα HEPOS (HElIenic Positioning System) είναι ένα σύστημα το οποίο επιτρέπει τον προσδιορισμό θέσης με υψηλή ακρίβεια αξιοποιώντας το υφιστάμενο Παγκόσμιο Δορυφορικό Σύστημα Εντοπισμού (GPS). Αποτελείται από 98 μόνιμους σταθμούς αναφοράς και ένα κέντρο ελέγχου που βρίσκεται στις εγκαταστάσεις της Κτηματολόγιο Α.Ε. Το σύστημα HEPOS παρέχει ομοιογενείς, υψηλής ακρίβειας και οικονομικότερες μετρήσεις για την παραγωγή συμβατών μεταξύ τους χαρτών και πλέον χρησιμοποιείται από πολλούς δημόσιους φορείς.

Το HEPOS αποτελεί το υπόβαθρο για τις κτηματογραφίες που είναι σε εξέλιξη, και καλύπτει πλήρως από γεωδαιτικής άποψης τις ανάγκες σύνταξης και λειτουργίας του Κτηματολογίου.



Εικόνα 2-Οι μόνιμοι σταθμοί του HEPOS. (Πηγή: hepos.gr, 2015)

## II. Ψηφιοποίηση στοιχείων των διανομών και αναδασμών

Η ψηφιοποίηση των στοιχείων διανομών και αναδασμών του Υπουργείου Ανάπτυξης και Τροφίμων πραγματοποιείται με σάρωση των χαρτών και διανυσματοποίηση των γεωτεμαχίων που περιλαμβάνονται σε αυτούς. Στη συνέχεια γίνεται γεωαναφορά των τοπικών συντεταγμένων στο σύστημα HEPOS. Με αυτό το τρόπο συγκεντρώθηκαν κτηματολογικά στοιχεία για έκταση μεγαλύτερη από 36.000 km<sup>2</sup>.

## III. Δημιουργία ενιαίων χαρτογραφικών υποβάθρων

Το απαιτούμενο χαρτογραφικό υπόβαθρο για τις νέες κτηματογραφίες παράγεται από υψηλής διακριτικής ικανότητας και ακρίβειας ορθοανηγμένες εικόνες. Οι Ορθοφωτοχάρτες είναι το βασικό χαρτογραφικό υπόβαθρο του Εθνικού Κτηματολογίου. Για τις αστικές εκτάσεις παρήχθησαν έγχρωμοι ψηφιακοί ορθοφωτοχάρτες με μέγεθος εικονοστοιχείου (pixel) 20 cm. Για το σύνολο της Επικράτειας παρήχθησαν έγχρωμοι ψηφιακοί ορθοφωτοχάρτες με μέγεθος εικονοστοιχείου (pixel) 50 cm.



Επίσης, οι ορθοφωτοχάρτες αυτοί μπορούν να αποτελέσουν πρότυπο υπόβαθρο για άλλους δημόσιους ή ιδιωτικούς οργανισμούς που συλλέγουν, επεξεργάζονται και διαχειρίζονται χαρτογραφικά δεδομένα.

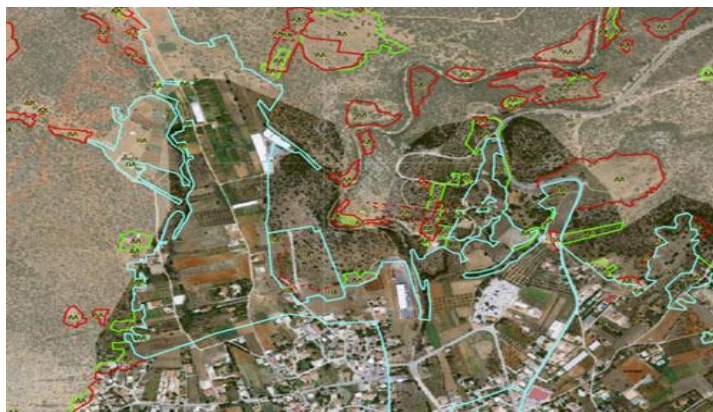


**Εικόνα 3-Έγχρωμος ψηφιακός ορθοφωτοχάρτης. (Πηγή: geoaserver.gr,2015)**

#### IV. Οριοθέτηση δασών και δασικών εκτάσεων

Το έργο αυτό χωρίζεται σε έξι συμβάσεις, οι οποίες καλύπτουν το σύνολο της χώρας, και σαν στόχο έχουν την οριοθέτηση των δασών και των δασικών εκτάσεων, συνολικής εκτιμώμενης έκτασης 95,3 εκατ. στρεμμάτων.

Αρχικά, πραγματοποιήθηκε μια προκαταρκτική οριοθέτηση με βάση αεροφωτογραφίες του 1945/1960 της Γεωγραφικής Υπηρεσίας του Στρατού και πρόσφατα χαρτογραφικά υπόβαθρα για το σύνολο της χώρας. Χρησιμοποιήθηκαν, επίσης, αεροφωτογραφίες μεγάλης κλίμακας που δημιουργούνται στο πλαίσιο του Γ' ΚΠΣ και πρόσφατο αεροφωτογραφικό υλικό του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων. Το παραγόμενο προϊόν θα αποτελέσει το πιο έγκυρο και ολοκληρωμένο υλικό για την κάλυψη της χώρας από δάση και δασικές εκτάσεις.



**Εικόνα 4-Οριοθέτηση δασών και δασικών εκτάσεων. (Πηγή: e-dasologos.gr, 2015)**

## V. Δημιουργία χαρτογραφικού υποβάθρου για τη χάραξη Αιγιαλού

Αντικείμενο του έργου είναι η δημιουργία έγχρωμων ορθοφωτοχαρτών πολύ υψηλής ευκρίνειας και ακρίβειας (απεικονίζονται αντικείμενα μεγέθους μέχρι και 20 cm) καθώς και χαρτών που απεικονίζουν με πολύ μεγάλη λεπτομέρεια το ανάγλυφο της επιφάνειας για μία ζώνη κατά μήκος των ακτογραμμών, καθώς και κατά μήκος των οχθών των ποταμών και λιμνών της χώρας.

Στόχος του έργου είναι η δημιουργία του απαραίτητου χαρτογραφικού υποβάθρου και η χάραξη της Προκαταρκτικής Οριογραμμής του Αιγιαλού, με ενιαίες προδιαγραφές και μορφή για το μεγαλύτερο μέρος της χώρας.

Το υπόβαθρο που παρήχθη καλύπτει το σύνολο της ακτογραμμής της χώρας, τους πλεύσιμους ποταμούς και τις μεγάλες λίμνες, δηλαδή περιοχές συνολικού μήκους 16.000 km σε ένα πλάτος 300 m. Η χρησιμότητα το έργου είναι πολύ σημαντική καθώς συμβάλλει άμεσα στη διαδικασία χάραξης του αιγιαλού και μειώνει το κόστος της αντίστοιχης διαδικασίας.



Εικόνα 5-Γραμμή Αιγιαλού. (Πηγή: [ktimatologio.gr](http://ktimatologio.gr), 2015)

## VI. Ψηφιοποίηση των κτηματολογικών γραφείων Ρόδου και Κω-Λέρου

Αντικείμενο αυτού του έργου είναι η ψηφιοποίηση, επεξεργασία και καταχώριση σε βάση δεδομένων των αναλογικών κτηματολογικών στοιχείων που τηρούνται από τα κτηματολογικά γραφεία Ρόδου και Κω Λέρου, που λειτουργούν υπό την αρμοδιότητα του Υπουργείου Δικαιοσύνης, σύμφωνα με τον Κτηματολογικό Κανονισμό Δωδεκανήσου. Το έργο αυτό αφορά στην προετοιμασία ένταξης του Κτηματολογίου Δωδεκανήσου στο Εθνικό Κτηματολόγιο.

## 1.5 Οφέλη Εθνικού Κτηματολογίου

Το Εθνικό Κτηματολόγιο εισάγει καινοτομίες, οι οποίες το καθιστούν ένα πραγματικά θεμελιώδες έργο για την Ελλάδα, που δημιουργεί πολύ σημαντικά οφέλη για τον πολίτη, την εθνική οικονομία και τη προστασία του περιβάλλοντος. Κάποια από τα οφέλη του είναι:

- Διασφάλιση και εγγύηση της ιδιοκτησίας.  
Το Κτηματολόγιο κατοχυρώνει την οριστική, χωρίς αμφισβητήσεις καταγραφή και κατοχύρωση της ιδιοκτησίας, τόσο των ιδιωτών όσο και του Δημοσίου. Εξασφαλίζει ασφάλεια για το δανεισμό μέσω υποθηκών και εγγυάται του αποτελέσματος των δικαστικών αποφάσεων σχετικά με τα δικαιώματα, συμπεριλαμβανομένου και του δικαιώματος επανάκτησης της γης.
- Διαμόρφωση της φορολογίας της γης και των ακινήτων και ανασυγκρότηση της γης.  
Η λειτουργία του Κτηματολογίου είναι μοχλός ανάπτυξης της αγοράς ακινήτων και κατά συνέπεια της εθνικής οικονομίας, καθώς παρέχει τη γνώση του "ποιός κατέχει τι και που".
- Δημιουργία αξιόπιστων καταγραφών και παρακολούθηση των χρήσεων γης.
- Βελτίωση του πολεοδομικού σχεδιασμού και την ανάπτυξη της υποδομής
- Υποστήριξη της διαχείρισης του περιβάλλοντος και αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών.
- Περιορισμός της γραφειοκρατίας και ενίσχυση της διαφάνειας.  
Οι διαδικασίες μεταβίβασης ακινήτων γίνονται απλούστερες, οι πολίτες διευκολύνονται αλλά ταυτόχρονα εξασφαλίζεται ασφάλεια στις συναλλαγές των ακινήτων.

## 1.6 Προβλήματα Εθνικού Κτηματολογίου

Το Κτηματολόγιο παρά τα πλεονεκτήματα που προσφέρει σαν θεσμός, έχει και ορισμένα μειονεκτήματα και προβλήματα, τα οποία εντοπίζονται στη σύνταξή του αλλά και στην ολοκλήρωση των κτηματογραφήσεων.

Αρχικά, ένα βασικό πρόβλημα στην πορεία του Κτηματολογίου είναι η έλλειψη της συνολικής εικόνας της Ελλάδας. Η απουσία ολοκληρωμένου Κτηματολογίου για το σύνολο της χώρας δεν συμβάλλει στην οικονομική ανάπτυξη και στην άσκηση ολοκληρωμένων πολιτικών γης.

Επιπλέον, η μακροχρόνια έλλειψη Κτηματολογίου και η συνακόλουθη ανάπτυξη υποκατάστατων μηχανισμών δημιουργεί δυσκολίες στη λειτουργία του θεσμού. Η έναρξη λειτουργίας του Κτηματολογίου με παράλληλη λειτουργία των ισχυόντων μηχανισμών δημιουργεί σημαντικά προβλήματα όταν δεν υπάρχει ενιαία υποδομή για την επικοινωνία μεταξύ τους και δεν γίνεται αξιοποίηση των πληροφοριών από κάθε επίπεδο της διοίκησης (Δημοπούλου, 2012).

Κάποια ειδικότερα προβλήματα (Δημοπούλου, 2012) που προκύπτουν κατά τη λειτουργία του Κτηματολογίου παραθέτονται παρακάτω:

- Ακίνητα "Άγνωστου ιδιοκτήτη" ή "Ανεντόπιστα"
- Αποκλίσεις στο εμβαδό
- Φυσική συνένωση γεωτεμαχίων
- Κ.Α.Ε.Κ. κοινής διόδου μεταξύ δυο γεωτεμαχίων
- Κ.Α.Ε.Κ. τμημάτων "Κοινόχρηστων Χώρων" σε γεωτεμάχια με κάθετες ιδιοκτησίες
- Διοικητικές πράξεις στο Ε.Κ. (πράξεις εφαρμογής, διανομές, αναδασμοί)
- Οριοθέτηση γραμμών αιγιαλού και παραλίας
- Παράνομες κατατμήσεις

Το Εθνικό Κτηματολόγιο αξιοποιεί τις σύγχρονες τεχνολογίες, την αποκτηθείσα εμπειρία καθώς και τη βοήθεια εξωτερικών εμπειρογνομόνων προκειμένου να ξεπεραστούν τα προβλήματα αυτά που εμφανίζονται στη λειτουργία του Κτηματολογίου.

## 2. 3D Κτηματολόγιο

---

Η τεκμηρίωση της ιδιοκτησιακής κατάστασης υλοποιείται σήμερα με βάση το σχέδιο του Εθνικού Κτηματολογίου. Το Εθνικό Κτηματολόγιο συντάσσεται με βάση το εδαφοτεμάχιο, άρα η τεκμηρίωση αυτή βασίζεται στις δυο διαστάσεις των πραγματικών αντικειμένων, και συνακόλουθα οι κτηματολογικές καταγραφές είναι δισδιάστατες. Ωστόσο η πραγματικότητα υποδεικνύει την ανάγκη για καταγραφή των τρισδιάστατων υποδομών, γεγονός που περιορίζει σημαντικά την πρακτικότητα και τη χρησιμότητα των 2D κτηματολογικών δεδομένων που χρησιμοποιούνται σήμερα.

Ο βασικός σκοπός δεν είναι μόνο να οριστεί ένα τρισδιάστατο (3D) Κτηματολογικό Σύστημα αλλά επίσης να διατηρηθεί και η νομική ισχύς του. Τονίζεται πως το 3D Κτηματολόγιο δεν είναι απλά ένα 3D χωρικό μοντέλο, αλλά είναι πολυδιάστατο και αρκετά σύνθετο (Billen και Zlatanova, 2001). Ο τελικός στόχος, δηλαδή, είναι το τρισδιάστατο Κτηματολόγιο να αποδοθεί ως ένα πλήρες τρισδιάστατο μοντέλο της πραγματικότητας, το οποίο θα περιγράφει πολυεπίπεδους τίτλους και χρήσεις γης, με τα πολύπλοκα δικαιώματα, τους περιορισμούς και τις υποχρεώσεις τους.

### 2.1 Ορισμοί - Βασικές έννοιες

Το τρισδιάστατο Κτηματολόγιο θα καθορίζει τη θέση του γεωτεμαχίου καθώς και τα όριά του στις τρεις διαστάσεις. Επίσης, το 3D Κτηματολόγιο θα απαιτεί λύσεις για οργάνωση και διαχείριση 3D και πολυεπίπεδης πληροφορίας (Behamu και Doysner, 2003). Μια πλήρης τρισδιάστατη κτηματολογική εγγραφή σημαίνει την εισαγωγή της έννοιας των (περιουσιακών) δικαιωμάτων στον τρισδιάστατο χώρο (Stoter και Salzman, 2001). Το τρισδιάστατο Κτηματολογικό Μοντέλο μπορεί να θεωρηθεί ένα 2D μοντέλο, όπου μπορεί να κρατηθεί ο 2D καθορισμός του αντικειμένου και να προστεθούν μερικές τρισδιάστατες επεκτάσεις (Billen και Zlatanova, 2001).

### 2.2 Βασικές κατηγορίες που απαιτούν 3D Κτηματολόγιο

Γενικά, είναι πολλές οι περιπτώσεις όπου κρίνεται αναγκαία η καταγραφή τρισδιάστατης πληροφορίας, όχι ως περιγραφικό στοιχείο αλλά ως μια οντότητα με γεωμετρική αναπαράσταση, ιδιαίτερα στον αστικό πυκνοδομημένο ιστό.

Ενδεικτικά παραδείγματα τέτοιων περιπτώσεων είναι (Δημοπούλου, 2006):

- Επικαλυπτόμενοι ιδιόκτητοι και κοινόχρηστοι χώροι

Κοινόχρηστοι χώροι, όπως για παράδειγμα πλατείες και ελεύθεροι χώροι, επικαλύπτονται πολύ συχνά από υπερκείμενες κατασκευές. Το φαινόμενο αυτό είναι αρκετά κοινό και οφείλεται στη σύνθετη ανάπτυξη του χώρου και την πυκνή δόμηση του. Τέτοια παραδείγματα είναι:

- ο δημόσιες ιδιοκτησίες πάνω από ιδιωτικές, όπως ιδιωτικοί υπόγειοι χώροι στάθμευσης κάτω από πλατείες



**Εικόνα 6- Πλατεία Βαρβακειών αγοράς. Στον υπόγειο χώρο της πλατείας υπάρχει χώρος στάθμευσης. (Πηγή: naftemporiki.gr, 2015)**

- στοές μεταλλείων που δεν συνδέονται με το υπερκείμενο εδαφοτεμάχιο
- δημόσιες εκτάσεις που καταλαμβάνονται από για παράδειγμα από δρόμους με ιδιωτικά υπερκείμενα εδαφοτεμάχια ή κατασκευές
- ανώγεια σε νησιωτικές ή άλλες περιοχές που διατηρούν παραδοσιακά αρχιτεκτονικά στοιχεία και τα οποία βρίσκονται πάνω από κοινοτικές οδούς
- κοινόχρηστα δίκτυα υποδομών κοινής ωφέλειας κάτω από ιδιωτικά ακίνητα
- στοές ιδιωτικών κτιρίων επί κοινόχρηστου πεζοδρομίου, εντός όμως του περιγράμματος των κτιρίων.



**Εικόνα 7-Ένα παράδειγμα στοάς κτιρίου πάνω από πεζοδρόμιο στην οδό Κορίνθου στη Πάτρα. (Πηγή: patratora.gr, 2015)**

- Ιδιωτικά ιδιοκτησιακά δικαιώματα σε πολλαπλά επίπεδα

Σε πολλές περιπτώσεις οι ιδιοκτησίες έχουν διαμορφωθεί με τέτοιο τρόπο ούτως ώστε υπάρχουν πολλές επικαλύψεις καθ' ύψος. Το φαινόμενο αυτό συναντάται σε πολλά νησιά και παραδοσιακούς οικισμούς όπου το έντονο ανάγλυφο οδηγεί σε τέτοιους σχηματισμούς, τέτοιο παράδειγμα είναι η Σαντορίνη. Εκτός από τη μορφολογία του εδάφους, το ισχύον εθνικό δίκαιο επιτρέπει τη δημιουργία τέτοιων ιδιοκτησιών.



**Εικόνα 8-Ιδιοκτησιακά δικαιώματα σε πολλαπλά επίπεδα στη Σαντορίνη. (Πηγή: [en.wikipedia.org](http://en.wikipedia.org), 2015)**

- Μη συμβατική ανάπτυξη ακινήτων επί γεωτεμαχίου

Σε πολλά ακίνητα γίνεται ασύμμετρη χρήση του όγκου του κτιρίου. Οι μεζονέτες ή ειδικές κατασκευές όπως οι σοφίτες, τα πατάρια και οι στέγες, είναι ορισμένα παραδείγματα αυτής της μη συμβατικής χρήσης και καθώς δεν είναι δυνατή η περιγραφή από μια δισδιάστατη κάτοψη απαιτείται τρισδιάστατη καταγραφή του όγκου τους.

### **2.3 Ενσωμάτωση 3D δεδομένων σε 2D Κτηματολόγιο**

Η τεκμηρίωση των ιδιοκτησιακών αντικειμένων στον τρισδιάστατο χώρο είναι συνάρτηση πολλών και μάλιστα διαφορετικών, για την κάθε χώρα, συνιστωσών. Πρωταρχικός παράγοντας προσδιορισμού του ιδιοκτησιακού καθεστώτος ενός αντικειμένου σε μια χώρα είναι το νομικό πλαίσιο το οποίο καλύπτει τις διάφορες ιδιοκτησίες. Φυσικά, το νομικό πλαίσιο μπορεί να είναι το ίδιο ή παραπλήσιο για κάποιες χώρες, ή να είναι τελείως διαφορετικό για κάποιες άλλες. Το γεγονός αυτό δυσκολεύει αρκετά τον προσδιορισμό μιας κοινής λύσης τεκμηρίωσης των ιδιοκτησιακών αντικειμένων στον τρισδιάστατο χώρο σε παγκόσμιο επιστημονικό επίπεδο.

Επίσης, καθοριστική είναι η εξέλιξη της τεχνολογίας και επομένως των δυνατοτήτων που καλύπτουν οι τεχνικές λύσεις. Συχνά τα μοντέλα λύσεων που προσδιορίζονται δεν επαρκούν για την πλήρη κάλυψη των στοιχείων του πραγματικού κόσμου. Η ανεπάρκεια των τεχνικών λύσεων έχει σαν αποτέλεσμα την αδυναμία στον προσδιορισμό των ιδιοκτησιακών αντικειμένων στον τρισδιάστατο χώρο που μπορεί να συμβαίνει ακόμη και αν το νομικό πλαίσιο δεν εμφανίζει καμία έλλειψη ή αδυναμία. Τέλος, σημαντική είναι και η συμβολή του οικονομικού παράγοντα και γενικότερα του παράγοντα κόστους (χρόνος, χρήμα κ.λπ.) σε οποιαδήποτε λύση.

Οι προσεγγίσεις που παρουσιάζονται σε διεθνές επίπεδο για το τρισδιάστατο Κτηματολόγιο έχουν ως στόχο την εύρεση μιας λύσης που να είναι πρακτική από κτηματολογική και τεχνική άποψη. Οι περισσότεροι ερευνητές ξεκινούν την

εφαρμογή μιας λύσης πρώτα από την αναπαράσταση των φυσικών αντικειμένων στον τρισδιάστατο χώρο, ώστε στη συνέχεια να βελτιωθεί και η δυνατότητα πρόσβασης των πληροφοριών στις πιο σύνθετες καταστάσεις.

Για την επιτυχή μετάβαση από ένα 2D Κ σε ένα 3D Κ απαιτείται η προσθήκη των τρισδιάστατων δεδομένων στη Βάση Δεδομένων, η οποία περιείχε δεδομένα δύο διαστάσεων. Σύμφωνα με μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί για το πώς υλοποιείται αυτή η ενσωμάτωση έχει προκύψει ότι στηρίζεται στη συλλογή και επεξεργασία τρισδιάστατων δεδομένων, στην μοντελοποίηση και αποθήκευσή τους στο υφιστάμενο σύστημα διαχείρισης δισδιάστατων δεδομένων και στην οπτική αναπαράσταση των δεδομένων καθώς και στη δυνατότητα υποβολής χωρικών ερωτήσεων σε αυτά.

Αρχικά λοιπόν, η τρισδιάστατη χωρική πληροφορία, αφού συλλεχθεί, πρέπει να υποστεί ορισμένες τροποποιήσεις και γενικεύσεις, έτσι ώστε να προκύψει το εξωτερικό μέρος του τρισδιάστατου αντικείμενου, δίχως τις εσωτερικές του λεπτομέρειες. Επιπλέον, σημαντικό είναι να καθοριστεί η υψομετρική αφετηρία, πάνω στην οποία θα δομηθούν όλα τα 2D και 3D αντικείμενα. Η υψομετρική αυτή αφετηρία θα αποτελέσει το σημείο για τη συσχέτιση των 2D και 3D δεδομένων. Τα τρισδιάστατα αντικείμενα θα αποθηκευτούν, είτε ως αντικείμενα που προέκυψαν από αφαιρετική διαδικασία ενός 3D σχεδίου CAD, είτε ως πολύεδρα, σφαίρες, κύλινδροι, είτε ως τετράεδρα.

Για την ενσωμάτωση 3D κτηματολογικών εγγραφών στο ισχύον κτηματολογικό μοντέλο απαιτείται η προσθήκη του ύψους σε κάθε κορυφή. Με αυτό τον τρόπο το ύψος δεν αποτελεί μόνο ένα περιγραφικό χαρακτηριστικό στη Β.Δ., αλλά δημιουργείται το στερεό που πρόκειται να απεικονιστεί στον 3D χώρο.

Η ενσωμάτωση 3D αντικειμένων στη βάση επιτρέπει τη διεξαγωγή ερωτήσεων, που να συνδυάζουν χαρακτηριστικές ιδιότητες, τόσο των 2D όσο και των 3D δεδομένων. Για παράδειγμα μπορεί να γίνει αναζήτηση όλων των γεωτεμαχίων που τέμνουν ή εφάπτονται με ένα συγκεκριμένο αντικείμενο του χώρου. Η τοπολογία σε αυτή τη περίπτωση δεν υλοποιείται απευθείας αλλά μέσω χωρικών συσχετίσεων.

Τέλος, σοβαρά υπόψη θα πρέπει να ληφθούν τόσο οι αναγκαίες μεταβολές που θα προκύψουν από μια πλήρως τρισδιάστατη λύση στις παρούσες μεθοδολογίες εργασιών αλλά και ακόμη περισσότερο στην παρούσα νομοθεσία που είναι ένας σημαντικός παράγοντας για το σχέδιο του Κτηματολογίου.

## **2.4 3D μοντέλα πόλεων**

Η τρισδιάστατη απεικόνιση των πόλεων γίνεται ολοένα και πιο δημοφιλής και επιτυγχάνεται με μεγαλύτερη ακρίβεια μέσω δορυφορικών λήψεων (π.χ. Google maps, Bing maps κ.α.). Αυτό είχε και σαν αποτέλεσμα την εξέλιξη των τεχνικών απεικόνισης. Τα τρισδιάστατα μοντέλα πόλεων έχουν χρησιμότητα σε ποικιλία εφαρμογών, κυρίως στο αστικό περιβάλλον, όπως για παράδειγμα σε εφαρμογές σχεδιασμού, πλοήγησης ή και σε περιπτώσεις διαχείρισης καταστροφών.



Τα έργα μεγάλης κλίμακας απαιτούν τρισδιάστατη πληροφορία για τη διαμόρφωση και την υλοποίηση αναπτυξιακών έργων, όπως ο αστικός σχεδιασμός, η διοικητική μέριμνα μεγάλων τμημάτων γης, η προβολή οικοπέδων και ακινήτων προς πώληση και πολλές άλλες εφαρμογές. Τα νέα αυτά δεδομένα και απαιτήσεις επιτάσσουν την εξέλιξη του συστήματος του Κτηματολογίου, τόσο νομικά όσο και τεχνικά.

Τα ΣΓΠ παρέχουν ποικίλα εργαλεία για την αποθήκευση και την καταγραφή της 3D πληροφορίας σε μια 2,5D βάση αναπαράστασης της πραγματικότητας. Η απόκτηση της τρισδιάστατης πληροφορίας μπορεί να γίνει είτε με GPS γρήγορα και οικονομικά είτε με φωτογραμμετρικές μεθόδους. Υπάρχει η δυνατότητα από συνεχόμενες επικαλυπτόμενες αεροφωτογραφίες να γίνει εξαγωγή 3D πληροφορίας και κατόπιν να ανακατασκευαστούν τα κτήρια. Από τα στερεοζεύγη αυτά μπορεί κανείς να εντοπίσει το περίγραμμα των κτηρίων αλλά και το υψόμετρό τους.

Ένα σοβαρό θέμα που τίθεται ακόμη είναι, ότι εκτός από την εξέταση των μοντέλων, πρέπει να εξεταστεί και η συλλογή των τρισδιάστατων στοιχείων. Σήμερα γίνεται ολοένα και ευκολότερη η συλλογή στοιχείων σε τρεις διαστάσεις (με τη βοήθεια του GPS). Ωστόσο, θα απαιτηθεί τεράστιος κόπος για την συλλογή των κτηματολογικών δεδομένων στις τρεις διαστάσεις.

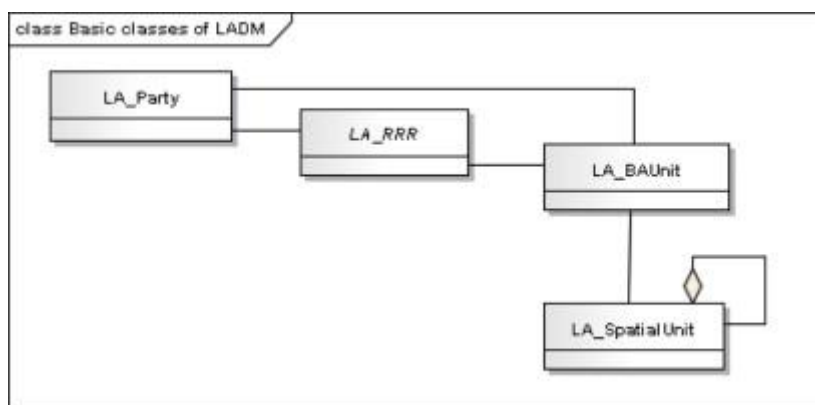
Στα τρισδιάστατα σχεδιαστικά πακέτα προγραμμάτων (CAD), η πλήρως τρισδιάστατη αναπαράσταση καθιερώνεται καλύτερα. Ενώ όμως πολλά είναι τα τρισδιάστατα συστήματα διαμόρφωσης (AutoCAD, CATIA, QCAD) που έχουν αναπτυχθεί για τον υψηλής ποιότητας σχεδιασμό (CAD), τα συστήματα αυτά έχουν τους περιορισμούς τους για τις γεω-επιστημονικές (geoscientific) εφαρμογές. Συγκεκριμένα, τα συστήματα αυτά αναπτύσσονται αρχικά για τις απεικονίσεις, οι οποίες δεν υποστηρίζουν την ανάλυση ή τα χωρικά ερωτήματα στα στοιχεία. Επιπλέον, τα συστήματα CAD έχουν περιορισμένες δυνατότητες για τη διαχείριση των στοιχείων (Raper και Kelk, 1991). Βέβαια, όλο και περισσότερο τα λογισμικά των GIS προσφέρουν τις τρισδιάστατες ρεαλιστικές απεικονίσεις που εκμεταλλεύονται την τεχνολογία CAD. Με βάση τα παραπάνω είναι εμφανές ότι το τρισδιάστατο μοντέλο συσχετίζεται συχνά μόνο με τη τρισδιάστατη απεικόνιση ενώ η τρισδιάστατη χωρική ερώτηση, ένα από τα βασικά ζητήματα ενός λειτουργικού τρισδιάστατου GIS, υποτιμάται συχνά.

## **2.5 Η Τρίτη διάσταση σε διεθνή πρότυπα**

Πολλές είναι οι χώρες που αντιμετωπίζουν την πολυπλοκότητα των τρισδιάστατων καταστάσεων και για αυτό οι μέθοδοι που υιοθετούνται διαφέρουν από χώρα σε χώρα και εξαρτώνται από τις θεσμικές πτυχές και το νομικό σύστημα κάθε μιας. Οι διαφορετικές αυτές μέθοδοι εμφανίζονται σε διεθνή πρότυπα και πρότυπα, όχι μόνο στα ήδη υπάρχοντα αλλά και σε νέα. Από τα πιο σημαντικά είναι το Land Administration Domain Model (LADM) και η Ευρωπαϊκή Οδηγία INSPIRE.

### *2.5.1 Σύστημα Land Administration Domain Model (L.A.D.M.)*

Το LADM είναι ένα περιγραφικό πρότυπο, το οποίο δημιουργήθηκε προκειμένου να παρέχει επίσημη γλώσσα για τη περιγραφή των συστημάτων διαχείρισης της γης. Το LADM είναι ένα περιγραφικό μοντέλο και όχι ένα κανονιστικό πρότυπο. Είναι πιστοποιημένο διεθνώς ως πρότυπο ISO το 2012 από το Διεθνή Οργανισμό Πιστοποίησης. Πιο αναλυτικά το LADM παρέχει ένα μοντέλο αναφοράς που εξυπηρετεί δυο σκοπούς. Αρχικά, παρέχει μια βάση για την ανάπτυξη και βελτίωση αποτελεσματικών συστημάτων διαχείρισης γης, που βασίζεται σε Αρχιτεκτονική Model Driven (Model Driven Architecture). Επιπλέον επιτρέπει στους εμπλεκόμενους φορείς, τόσο σε εθνικό όσο και σε διεθνές επίπεδο, να επικοινωνούν βάσει της κοινής γλώσσας οντοτήτων που ορίζεται από το μοντέλο. Οι τέσσερις βασικές οντότητες του φαίνονται στην εικόνα που ακολουθεί:



**Εικόνα 9- Βασικές οντότητες του LADM (Πηγή: Christiaan Lemmen, Peter van Oosterom, Rohan Bennet, 2015)**

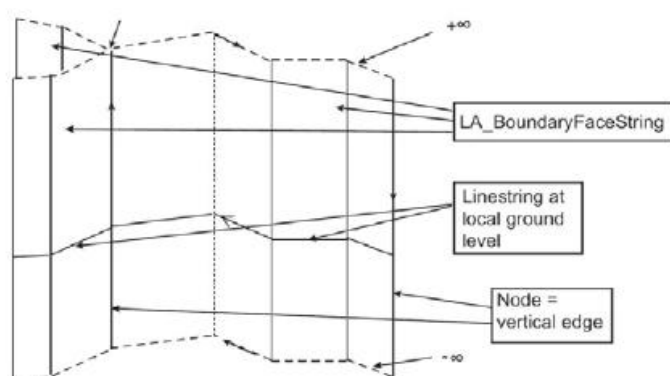
Οι τέσσερις αυτές ομάδες του εννοιολογικού μοντέλου είναι:

1. Πρόσωπα (LA\_Party)
2. Δικαιώματα, υποχρεώσεις και περιορισμούς (LA\_RRR)
3. Βασικές Διοικητικές Μονάδες (LA\_BAUnit)
4. Χωρικές πηγές (LA\_SpatialUnit)

Στην ομάδα προσώπων η βασική οντότητα LA\_Party, αντιπροσωπεύει ένα φυσικό πρόσωπο ή έναν οργανισμό (νομικό πρόσωπο) που διαδραματίζει κάποιο ρόλο σε μια δικαιοπραξία. Η οντότητα LA\_RRR είναι κύρια οντότητα της διοικητικής ομάδας μαζί με την LA\_BAUnit. Η οντότητα LA\_RRR χωρίζεται σε τρεις υπό-οντότητες τις LA\_Right, LA\_Restriction, LA\_Responsibility. Μια Βασική Διοικητική Μονάδα (Basic Administrative Unit ή BAUnit) είναι μια διοικητική οντότητα, η οποία αποτελείται από μηδέν ή περισσότερες χωρικές μονάδες (γεωτεμάχια), στην οποία αντιστοιχούν μοναδικά και ομοιογενή δικαιώματα, περιορισμοί ή ευθύνες. Η ομάδα χωρικής αναφοράς έχει σαν βασική οντότητα την LA\_SpatialUnit. Μια χωρική μονάδα (spatial unit) μπορεί να αναπαρασταθεί ως κείμενο, ως σημείο ή ως γραμμή και αναπαριστά μια ξεχωριστή περιοχή γης (ή νερού), ή πιο συγκεκριμένα, έναν ξεχωριστό όγκο του χώρου. Οι χωρικές μονάδες είναι δομημένες με τέτοιο τρόπο που να υποστηρίζουν την δημιουργία και τη διαχείριση των βασικών διοικητικών μονάδων.

Όσον αφορά στην απεικόνιση, τα 3D τεμάχια μπορούν να αναπαρασταθούν με όγκους χωρίς κάθετα όρια. Σε αυτές τις περιπτώσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι σειρές διαχωριστικής επιφάνειας (boundary face strings) ως απεικονίσεις ορίων, με τις οποίες μπορούμε να περιγράψουμε πολλαπλά πραγματικά 3D αντικείμενα, όπως για παράδειγμα αντικείμενα με φαρδύτερο άνω από κάτω μέρος με αυτές τις γραμμές.

Το LADM περιλαμβάνει επίσης ρυθμίσεις μεικτών χωρικών προφίλ (mixed spatial profile configuration), όπου μεταξύ αυτών υπάρχει και ένα προφίλ βασισμένο σε 3D τοπολογία. Αυτό το προφίλ περιλαμβάνει καθαρά 3D τοπολογική δομή, ενώ η περίπτωση της τριδιάστατης χωρικής μονάδας δίνεται σε ενημερωτικό παράρτημα του LADM.



Εικόνα 10- Έννοιες Boundary face string (Πηγή: LADM, 2012)

### 2.5.2 INSPIRE (Infrastructure for Spatial Information in the European Community)

Καθώς την τελευταία δεκαετία γίνεται πολύς λόγος για τις περιβαλλοντικές πολιτικές, το 2001 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή προώθησε την πρωτοβουλία INSPIRE, με την οποία θέλησε να συνεισφέρει στην ανάπτυξη της Ευρωπαϊκής Υποδομής Χωρικών Δεδομένων. Ο σκοπός της υποδομής αυτής είναι να επιτρέψει στους χρήστες του δημοσίου τομέα σε ευρωπαϊκό, εθνικό και τοπικό επίπεδο να μοιράζονται εύκολα και με διαλειτουργικό τρόπο, χωρικά δεδομένα από ένα ευρύ φάσμα πηγών για την εκτέλεση ενός μεγάλου φάσματος δημοσίων έργων. Η οδηγία INSPIRE τέθηκε σε ισχύ το 2007 και θα εφαρμοστεί σε διάφορα στάδια, ενώ απαιτείται η πλήρης εφαρμογή της το 2020.

Οι 34 θεματικές ενότητες της οδηγίας είναι οργανωμένες σε τρία παραρτήματα (εικόνα 11) και περιλαμβάνουν τους βασικούς κανόνες εφαρμογής.

<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ I</b>	3. Έδαφος
1. Συστήματα συντεταγμένων	4. Χρήσεις γης
2. Συστήματα γεωγραφικού κανόνα	5. Ανθρώπινη υγεία και ασφάλεια
3. Τοπωνύμια	6. Επιχειρήσεις κοινής ωφελείας και κρατικές υπηρεσίες
4. Διοικητικές ενότητες	7. Εγκαταστάσεις παρακολούθησης του περιβάλλοντος
5. Διευθύνσεις	8. Εγκαταστάσεις παραγωγής και βιομηχανικές εγκαταστάσεις
6. Γεωτεμάχια κτηματολογίου	9. Γεωργικές εγκαταστάσεις και εγκαταστάσεις υδατοκαλλιέργειας
7. Δίκτυα μεταφορών	10. Κατανομή πληθυσμού - δημογραφία
8. Υδρογραφία	11. Ζώνες διαχείρισης/ περιορισμού/ ρύθμισης εκτάσεων και μονάδες αναφοράς
9. Προστατευόμενες τοποθεσίες	12. Ζώνες φυσικών κινδύνων
	13. Ατμοσφαιρικές συνθήκες
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II</b>	14. Μετεωρολογικά γεωγραφικά χαρακτηριστικά
1. Ύψομετρία	15. Ωκεανογραφικά γεωγραφικά χαρακτηριστικά
2. Κάλυψη γης	16. Θαλάσσιες περιοχές
3. Ορθοφωτογραφία	17. Βιογεωγραφικές περιοχές
4. Γεωλογία	18. Ενδιαιτήματα και βιότοποι
	19. Κατανομή ειδών
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ III</b>	20. Ενεργειακοί πόροι
1. Στατιστικές μονάδες	21. Ορυκτοί πόροι
2. Κτίρια	

**Εικόνα 11-Τα παραρτήματα και οι Θεματικές ενότητες της οδηγίας INSPIRE. (Πηγή: Ψωμαδάκη Στυλιανή, 2014)**

Οι βασικές αρχές στις οποίες στηρίζεται η οδηγία INSPIRE, σύμφωνα με την ιστοσελίδα της, είναι:

- Τα δεδομένα θα πρέπει να συλλέγονται μια φορά και για αυτό η αποθήκευσή τους να είναι αποτελεσματική.
- Θα πρέπει να συνδυάζονται χωρικές πληροφορίες από διαφορετικές πηγές σε ευρωπαϊκό επίπεδο και να μοιράζονται σε πολλούς χρήστες και εφαρμογές.
- Θα πρέπει οι πληροφορίες που συλλέγονται σε ένα επίπεδο/ κλίμακα να μοιράζονται σε όλα τα επίπεδα/ κλίμακες. Για παράδειγμα τα πιο λεπτομερή για έρευνες, ενώ τα πιο γενικά για στρατηγικούς σκοπούς.
- Όλες οι γεωγραφικές πληροφορίες πρέπει να είναι άμεσα διαθέσιμες και να εξασφαλίζεται η διαφάνεια στα πλαίσια της καλής διακυβέρνησης.
- Η εύρεση και η διάθεση των διαθέσιμων γεωγραφικών πληροφοριών πρέπει να γίνεται εύκολα. Επιπλέον, πρέπει να γίνονται γνωστά πως μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να καλύψουν μια συγκεκριμένη ανάγκη αλλά και υπό ποιες προϋποθέσεις μπορούν να αποκτηθούν και να χρησιμοποιηθούν.

Εφόσον, λοιπόν, κάθε χώρα οφείλει να προσαρμοστεί στην οδηγία INSPIRE, αυτό συνεπάγεται και την υιοθέτηση των κανόνων αυτών και στο πεδίο του Κτηματολογίου. Τα γεωτεμάχια του Κτηματολογίου περιλαμβάνονται στο ρώτο παράρτημα της οδηγίας και περιγράφουν χαρακτηριστικά που πρέπει να ισχύουν στα κτηματολογικά τεμάχια (Cadastral Parcels). Άλλο ένα εναρμονισμένο θεματικό επίπεδο είναι αυτό των κτηρίων (Buildings).

Οι βασικές οντότητες της οδηγίας για τα Κτηματολογικά τεμάχια είναι οι εξής: CadastralParcel, CadastralZoning, CadastralBoundary, BasicPropertyUnit. Η βασική οντότητα CadastralParcel αφορά τα κτηματολογικά τεμάχια και τις ιδιότητές τους, η οντότητα Cadastral Zoning χρησιμοποιείται για την υποδιαίρεση της εθνικής Επικράτειας, ενώ η οντότητα CadastralBoundary καταγράφει τη θέση και τα όρια των κτηματολογικών τεμαχίων, ενώ τέλος, η οντότητα BasicPropertyUnit είναι οι βασικές μονάδες ιδιοκτησίας που καταγράφονται στα μητρώα ή σε άλλα συστήματα.

Όσον αφορά τα κτήρια, οι οντότητες `Building` και `BuildingParts` περιέχουν χαρακτηριστικά όπως η ημερομηνία κατασκευής, ανακαίνισης ή κατεδάφισης, το ύψος, ο αριθμός ορόφων, η όψη τους και η τρέχουσα χρήση. Ένα κτίριο (`Building`) θεωρείται ως ένα σύνολο κτιριακών μονάδων (`BuildingParts`). Αυτοί οι δυο τύποι χαρακτηριστικών διαθέτουν το ίδιο σύνολο ιδιοτήτων που περιέχονται στο τύπο χαρακτηριστικών `AbstractBuilding`. Η κατηγορία `OtherConstruction` χρησιμοποιείται για διαφορετικές κατασκευές, όπως γέφυρες και σήραγγες, οι οποίες δεν θεωρούνται κτήρια.

Τέλος, αξίζει να γίνει λόγος για τη συσχέτιση ανάμεσα στο LADM και στο INSPIRE. Καθώς αναπτύσσονταν ταυτόχρονα, μέσω της κοινής εργασίας ήταν δυνατόν να επιτευχθεί συνοχή του LADM και του INSPIRE. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα την αντιστοιχία των εννοιών και συμβατούς ορισμούς για τις κοινές έννοιες. Ωστόσο τα δύο πρότυπα έχουν διαφορετικά πεδία εφαρμογής. Η οδηγία INSPIRE εστιάζει σε περιβαλλοντικά θέματα, ενώ το σύστημα LADM υποστηρίζει πολλούς διαφορετικούς τομείς εφαρμογών. Παρόλα αυτά όμως μια χώρα είναι δυνατό να συμμορφώνεται και με τις δυο οδηγίες.

Η απόδειξη της συμβατότητας των δυο προτύπων τεκμηριώνεται στο έγγραφο ISO 19152 (παράρτημα G), το οποίο περιλαμβάνει μια εκδοχή του INSPIRE βασισμένη στο LADM, που φανερώνει ότι η ανάπτυξη του INSPIRE ταιριάζει με αυτή του LADM. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχουν τέσσερις κατηγορίες στο σύστημα LADM που είναι σχετικές με την οδηγία INSPIRE:

- `LA_Parcel` σαν βάση για το `CadastralParcel`,
- `LA_BAUnit` σαν βάση για το `BasicPropertUnit`,
- `LA_FaceString` σαν βάση για το `CadastralBoundary`,
- `LA_SpatialUnitSet` σαν βάση για το `CadastralZoning`.

### 3. Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών και Τρίτη Διάσταση

---

Οι χωρικοί προβληματισμοί και οι χωρικές αναζητήσεις είναι βασικές προϋποθέσεις των περισσότερων ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Σε λιγότερο από τρεις δεκαετίες η τεχνολογία των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Geographic Information Systems) έχει αλλάξει τον τρόπο θεώρησης αλλά και την προοπτική του χάρτη πληροφοριών που περιλαμβάνει.

Στο περιβάλλον των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών και με τη βοήθεια εξειδικευμένων λειτουργιών και δυνατοτήτων, χωρικές οντότητες και φαινόμενα αντιστοιχίζονται και αναπαριστώνται γραφικά ως σημεία, γραμμές ή επιφάνειες, που μέσα από την απάντηση χωρικών ερωτημάτων και τη διεξαγωγή χωρικών επεξεργασιών παράγουν νέα πληροφορία στο πλαίσιο της γεωγραφικής ανάλυσης. Το πιο σημαντικό στοιχείο αυτών των συστημάτων είναι ότι συνδέουν την χωρική πληροφορία με περιγραφική (μη χωρική), ενώ ταυτόχρονα υποστηρίζουν και τοπολογία με τη μορφή ενός συνόλου γεωμετρικών κανόνων.

Μέχρι πρόσφατα τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών είχαν η δυνατότητα αναπαράστασης των δεδομένων σε δύο διαστάσεις. Οι ραγδαίες εξελίξεις όμως στο πεδίο της τρισδιάστατης απεικόνισης καθιστούν την ανάγκη για τρισδιάστατα συστήματα απεικόνισης επιτακτικότερη. Ειδικά στο αστικό περιβάλλον, για εφαρμογές πλοήγησης λόγου χάρη, η πρόσβαση του ευρύ κοινού σε τρισδιάστατη πληροφορία είναι πλέον πολύ διαδεδομένη. Απ' την άλλη μεριά, η επεξεργασία και η απεικόνιση της τρισδιάστατης πληροφορίας στα συστήματα Ηλεκτρονικής Σχεδίασης (Computer Aided Design – CAD) δεν είναι κάτι καινούργιο, αλλά έχουν σχεδιαστεί για διαφορετικές εφαρμογές σε σχέση με τα ΣΓΠ. Τα συστήματα αυτά εστιάζουν κυρίως στην αποτελεσματική επεξεργασία και την απεικόνιση της 3D πληροφορίας, ενώ τα ΣΓΠ υποστηρίζουν εκτός από χωρική και σημασιολογική πληροφορία.

Το ερώτημα, όμως, παραμένει: Γιατί είναι δύσκολο να συνδυαστούν τα συστήματα Ηλεκτρονικής Σχεδίασης και τα ΓΣΠ; Το μεγαλύτερο πρόβλημα δημιουργείται εξαιτίας των διαφορετικών τύπων δεδομένων που χρησιμοποιεί το κάθε σύστημα. Αυτοί οι διαφορετικοί τύποι έχουν σαν αποτέλεσμα την απώλεια δεδομένων. Για παράδειγμα κατά τη μετάβαση από CAD σε GIS υπάρχουν απώλειες στις γεωμετρικές των σχημάτων, ενώ κατά την αντίθετη διαδικασία μπορεί να χαθεί σημασιολογική πληροφορία.

Η επιτυχία, λοιπόν, των 3D ΣΓΠ εξαρτάται από την ανάπτυξη αποτελεσματικών και διαλειτουργικών τρισδιάστατων μοντέλων. Προφανώς δεν είναι δυνατό να υπάρχει ένα μοντέλο που θα εξυπηρετεί όλες τις εφαρμογές, αλλά είναι εφικτό να δημιουργηθεί ένα το οποίο θα αποτελεί αναφορά για πολλές εφαρμογές.

### 3.1 3D Μοντελοποίηση

Η τρισδιάστατη μοντελοποίηση είναι μια διαδικασία ανάπτυξης μιας μαθηματικής απεικόνισης τρισδιάστατης επιφάνειας ενός αντικειμένου μέσω εξειδικευμένου λογισμικού. Τα 3D μοντέλα αναπαριστούν ένα 3D αντικείμενο χρησιμοποιώντας ένα σύνολο σημείων στον 3D χώρο, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με διάφορες γεωμετρίες, όπως τρίγωνα, γραμμές, καμπύλες επιφάνειες κ.α. Ένα μοντέλο μπορεί να δημιουργηθεί είτε χειροκίνητα είτε με χρήση αλγορίθμων (κανονιστική μοντελοποίηση).

Τα τρισδιάστατα μοντέλα διακρίνονται σε δυο κατηγορίες, ανάλογα με το περιεχόμενο της αναπαράστασης τους. Πιο συγκεκριμένα:

i. Στερεά Μοντέλα (Solid model)

Τα μοντέλα αυτά ορίζουν τον όγκο του αντικειμένου που απεικονίζεται. Είναι τα πιο ρεαλιστικά αλλά ταυτόχρονα και τα πιο δύσκολα να δημιουργηθούν. Χρησιμοποιούνται πολύ συχνά για προσομοιώσεις στην ιατρική και τη μηχανική.

ii. Μοντέλα Ορίων/ Κελύφους (Shell/Boundary model)

Τα μοντέλα αυτά αναπαριστούν την επιφάνεια (όριο) του αντικειμένου και όχι τον όγκο του. Είναι πιο εύκολα στη χρήση τους από τα στερεά μοντέλα και για αυτό η χρήση τους σε γραφικά υπολογιστών και σε ηλεκτρονικά παιχνίδια είναι πολύ διαδεδομένη.

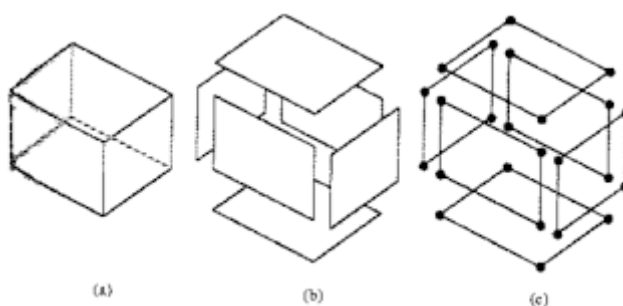
Έχουν αναπτυχθεί πολλά διαφορετικά είδη μοντέλων ανάλογα με την εφαρμογή την οποία στοχεύουν να εξυπηρετήσουν. Υπάρχουν μοντέλα τα οποία χρησιμοποιούνται για γεωμετρική μοντελοποίηση και τα οποία επικεντρώνονται σε τοπολογικά σωστές σχέσεις και έχουν επιφάνειες καλά ορισμένες. Μια άλλη κατηγορία μοντέλων έχει αναπτυχθεί για τη διαχείριση δεδομένων, τη διατήρηση ιδιοτήτων και τη διατύπωση χωρικών ερωτημάτων. Τέλος, μια άλλη ομάδα μοντέλων εστιάζουν στην ρεαλιστική απεικόνιση με αποτέλεσμα να παρέχουν ποικίλα εργαλεία για γρήγορη μοντελοποίηση.

### 3.2 Μοντελοποίηση στερεών

Οι τρόποι μοντελοποίησης στερεών αναλύονται σε ένα πεπερασμένο αριθμό λειτουργιών που αφορούν τα θεμελιακά στοιχεία των στερεών. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο δεν επαρκεί ένας τρόπος μοντελοποίησης για όλους τους τύπους στερεών. Έτσι, έχουν αναπτυχθεί διαφορετικοί τρόποι μοντελοποίησης των στερεών και επιπλέον η μετάβαση από το ένα μοντέλο στο άλλο γίνεται εύκολα. Οι πιο διαδεδομένες τεχνικές για τη δημιουργία και την αναπαράσταση στερεών μοντέλων είναι: η Parameterized Primitive Instancing, η Spatial Occupancy Enumeration, η Cell Decomposition, η Boundary Representation, η Surface Mesh Modeling, η Constructive Solid Geometry, η Sweeping, η Implicit Representation και η Parametric and Feature-based Modeling. Εδώ, θα σχολιαστούν περαιτέρω η Boundary Representation και η Implicit Representation, καθώς αυτά ενσωματώνονται στο γεωμετρικό μοντέλο του CityGML.

### 3.2.1 Boundary Representation (b-rep)

Η Αναπαράσταση Ορίων (Boundary Representation ή B-rep) απεικονίζει ένα στερεό χρησιμοποιώντας τα όρια της επιφάνειάς του. Το στερεό δηλαδή απεικονίζεται ως ένα σύνολο ενωμένων στοιχείων. Τα μοντέλα που παράγονται μέσω αυτής της διαδικασίας έχουν συγκεκριμένη γεωμετρία αλλά και τοπολογία. Βασικά τοπολογικά στοιχεία του μοντέλου αποτελούν οι κορυφές του, οι ακμές και τα πρόσωπα από τα οποία παράγεται ένα πολύεδρο (3D). Επιπρόσθετα, η θέση κάθε σημείου εκφράζεται ως προς τη θέση του σε σχέση με το όριο του στερεού, καθώς οι επιφάνειες ορίζουν το εσωτερικό και το εξωτερικό μέρος του στερεού. Γενικά, η B-rep μπορεί να είναι είτε απλή, όπως επίπεδες επιφάνειες και ευθείες ακμές, είτε σύνθετη, όπως καμπύλες επιφάνειες και ακμές (Foley et al., 1996). Είναι μια χρήσιμη προσέγγιση για εφαρμογές 3D Κτηματολογίου και είναι η πιο διαδεδομένη για την παρουσίαση 3D αντικειμένων σε ΣΓΠ.



Εικόνα 12- Η ανάλυση των στοιχείων του στερεού σύμφωνα με την b-Rep. (Πηγή: [graphicon.ru](http://graphicon.ru), 2015)

### 3.2.2 Implicit Representation (Surfaces)

Με τη μέθοδο αυτή ορίζεται ένα σύνολο σημείων  $X$ , τα οποία σε κάθε σημείο του χώρου επαληθεύουν μια ορισμένη συνάρτηση. Με άλλα λόγια το σύνολο  $X$  ορίζεται από όλα εκείνα τα σημεία τα οποία ικανοποιούν τη συνάρτηση. Για παράδειγμα, αν έχεις την εξίσωση  $f(x) = ax + by + cz + d$ , τότε οι συνθήκες  $f(x) = 0$ ,  $f(x) > 0$ ,  $f(x) < 0$ , αντιπροσωπεύουν τα σημεία επί της επιφάνειας και σημεία εκατέρωθεν της επιφάνειας αντίστοιχα. Οι συνθήκες αυτές, βέβαια, μπορεί να είναι πιο πολύπλοκες, αλλά αναλύονται σε πιο απλές.

## 3.3 3D τύποι αρχείων

Με τη ραγδαία ανάπτυξη των 3D τεχνολογιών το εύρος των 3D τύπων αρχείων διευρύνθηκε αρκετά, επιτρέποντας την αποθήκευση και την ανταλλαγή των 3D δεδομένων. Κάποιοι από τους τύπους αυτούς έχουν αναπτυχθεί ως πρότυπα από διεθνείς οργανισμούς (VRML, IFC, CityGML), άλλα έγιναν αποδεκτά ως πρότυπα εξαιτίας της ευρείας χρήσης του (KML), ενώ άλλα έγιναν πρότυπα λόγω της ευρείας αποδοχής τους από χρήστες και προμηθευτές λογισμικού (SHP, DXF, COLLADA, 3D PDF). Στη συνέχεια αναλύονται οι πιο διαδεδομένοι τύποι αρχείων.



### 3.3.1 Collada

Ο τύπος COLLADA (COLLABorate Design Activity) είναι ένα ανοιχτό πρότυπο και ορίζει ένα XML σχήμα για τη μεταφορά τρισδιάστατων στοιχείων μεταξύ διαφορετικών εφαρμογών και λογισμικών πακέτων, τα οποία διαφορετικά δεν θα ήταν συμβατά (khrnos.org, 2015). Η μη κερδοσκοπική ομάδα Khrnos διαχειρίζεται αυτό το πρότυπο. Επίσης, η COLLADA κωδικοποιεί εικονικές σκηνές και προσφέρει τη δυνατότητα για περιγραφή της γεωμετρίας, της τοπολογίας και της υφής, αλλά δεν διαθέτει σημασιολογική πληροφορία. Η Google χρησιμοποιεί αυτό το πρότυπο συχνά (είναι ο πυρήνας όλων το 3D αντικειμένων στο Google Earth και ένα βασικό μέρος του Google SketchUp), κάτι που το έχει καταστήσει αρκετά δημοφιλές.

### 3.3.2 Geography Markup Language (GML)

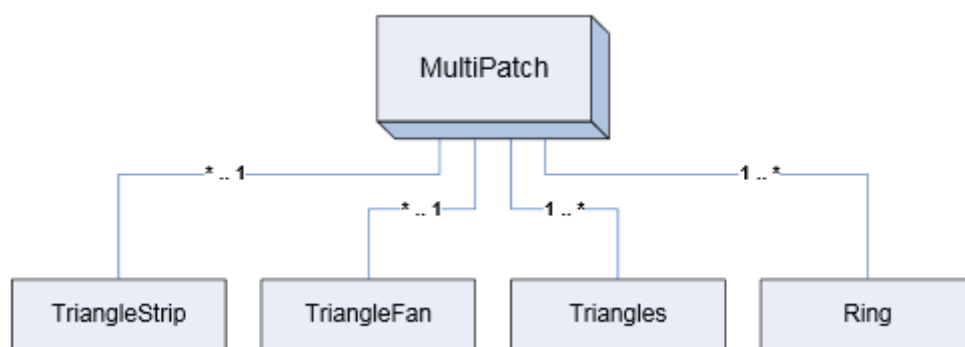
Ο τύπος GML (Geography Markup Language) είναι μια XML δομή για την απεικόνιση γεωγραφικής πληροφορίας, ο οποίος δημιουργήθηκε από την OGC (Open Geospatial Consortium). Η GML χρησιμοποιείται σαν γλώσσα μοντελοποίησης στα γεωγραφικά συστήματα αλλά και σαν πρότυπο για την ανταλλαγή δεδομένων. Ένα GML αρχείο περιγράφεται από ένα GML σχήμα. Αυτό επιτρέπει στους χρήστες και στους δημιουργούς να περιγράφουν γενικά γεωγραφικά σύνολα δεδομένων, τα οποία περιέχουν σημεία, γραμμές και πολύγωνα (opengeospatial.com, 2015). Το γεωμετρικό μοντέλο της GML βασίζεται στο πρότυπο ISO 19107 και επομένως παρέχει κλάσεις για γεωμετρικά θεμελιώδη στοιχεία από 0D έως 3D, για σύνθετες γεωμετρίες από 1D έως 3D (πχ. CompositeSurface) και για συσώματα γεωμετριών από 0D έως 3D (πχ. MultiSurface ή MultiSolid). Επίσης, η GML είναι αναγνωρισμένη σαν πρότυπο ISO (ISO 19136:2007). Η τελευταία έκδοση της GML, η GML3, διαθέτει μια σπονδυλωτή δομή, η οποία επιτρέπει την επιλογή επιμέρους σχημάτων ή σχήματος, τα οποία χρειάζονται σε μια δεδομένη εφαρμογή. Τέλος, η GML3 υποστηρίζει χωρικά και χρονικά συστήματα αναφοράς, τοπολογία, δυναμικά χαρακτηριστικά, μονάδες μέτρησης, μεταδεδομένα και είναι σχεδιασμένο ώστε να υποστηρίζει και σημασιολογική πληροφορία.

### 3.3.3 Keyhole Markup Language (KML)

Ο τύπος αρχείων KML (Keyhole Markup Language) χρησιμοποιείται για την απεικόνιση γεωγραφικών δεδομένων σε διαδικτυακούς δισδιάστατους και τρισδιάστατους χάρτες, όπως το Google στο οποίο βρίσκει κυρίως εφαρμογή. Το KML αναπτύχθηκε από την Keyhole Inc. για το Google Earth, το οποίο ήταν και το πρώτο πρόγραμμα που είχε τη δυνατότητα να "διαβάσει" και να επεξεργαστεί τα KML αρχεία. Το KML αναγνωρίστηκε σαν πρότυπο της OGC το 2008. Τα KML αρχεία συχνά ομαδοποιούνται σε ένα συμπιεσμένο KMZ αρχείο, το οποίο μπορεί πρόσθετα να περιέχει 3D μοντέλα COLLADA, επικαλύψεις υφών και άλλα γραφικά και εικονίδια. Τα πρότυπα KML και COLLADA, πολλές φορές αναφέρονται μαζί γιατί χρησιμοποιούνται συγχωνευμένα από το Google Earth και το Google SketchUp.

### 3.3.4 MultiPatch

Ο τύπος αρχείων Multipatch είναι μια γεωμετρία η οποία χρησιμοποιείται ως απεικόνιση των ορίων τρισδιάστατων αντικειμένων και δημιουργήθηκε από την εταιρεία ESRI το 1997 για τα ΓΣΠ. Τα τρισδιάστατα αντικείμενα αναλύονται σε μικρότερα μέρη, τριγωνικά, δακτυλίους κλπ, ώστε να συνθέσουν την Multipatch γεωμετρία, να γίνει η αποθήκευσή τους και να είναι δυνατή η ανταλλαγή τους μεταξύ μη-GIS λογισμικών πακέτων, όπως το Collada και το SketchUp (ESRI, 2008). Η γεωμετρία αυτή αρχικά δημιουργήθηκε διότι πολλά 3D ΣΓΠ υστερούν σε λειτουργίες που σχετίζονται με την τοπολογία, πχ διατύπωση χωρικών ερωτημάτων, 3D αναλύσεων κ.α. Ο τύπος αυτός δεν είναι κάτι άλλο πέρα από ένα ειδικό shapefile που αποθηκεύει τα θεμελιώδη (τριγωνικά) στοιχεία από τα οποία αποτελείται ένα 3D αντικείμενο σε μια προσωπική γεωβάση (ESRI, 1998). Με άλλα λόγια, για ένα 3D χαρακτηριστικό θα υπάρξει μόνο ένα πεδίο γεωμετρίας στον πίνακα ιδιοτήτων, πολύπλοκα δηλαδή χαρακτηριστικά γεωμετρίας αποθηκεύονται ως μια ενιαία εγγραφή.



Εικόνα 13- Τα στοιχεία στα οποία διαχωρίζεται ένα αντικείμενο και αποθηκεύεται ως Multipatch γεωμετρία. (The Multipatch geometry type, 2008)

Επίσης, η γεωμετρία Multipatch μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για απλά αντικείμενά, όπως μια σφαίρα ή ένας κύβος, είτε για πιο σύνθετα, όπως ισοεπιφάνειες, κτήρια και δέντρα, ενώ τέλος, αποθηκεύει πληροφορίες για την υφή, τη διαφάνεια, τη φωτεινότητα και το χρώμα των τρισδιάστατων αντικειμένων επιτρέποντας έτσι την ρεαλιστική τους αναπαράσταση.

## 3.4 Κανονιστική Μοντελοποίηση

Η κανονιστική μοντελοποίηση (Procedural Modeling) είναι ένας γενικός όρος, ο οποίος περιλαμβάνει ένα πλήθος τεχνικών μοντελοποίησης τρισδιάστατων μοντέλων και προσθήκης υφών σε αυτά σε περιβάλλον ηλεκτρονικών υπολογιστών, αναπτύσσοντας και χρησιμοποιώντας σύνολα κανόνων. Τέτοιες τεχνικές

κανονιστικής μοντελοποίησης είναι τα L-systems, τα fractals και το generative modeling, καθώς εφαρμόζουν αλγόριθμους για την παραγωγή σκηνών (scenes).

Τα κανονιστικά μοντέλα έχουν τη δυνατότητα να δημιουργούν μεγάλες σκηνές από ένα μικρό σύνολο κανόνων. Σε αντίθεση με τις υπόλοιπες τεχνικές μοντελοποίησης που απαιτούν αλγόριθμους για τη διαχείριση και την αποθήκευση των δεδομένων σε κάποιο στάδιο της διαδικασίας, η κανονιστική μοντελοποίηση εστιάζει στη δημιουργία του μοντέλου από ένα σύνολο κανόνων, παρά στη επεξεργασία του μοντέλου με συμβολή του χρήστη. Επιπρόσθετα, η κανονιστική μοντελοποίηση εφαρμόζεται όταν είναι περίπλοκο και χρονοβόρο να δημιουργηθεί ένα τρισδιάστατο μοντέλο χρησιμοποιώντας γενικές τεχνικές 3D μοντελοποίησης ή όταν απαιτούνται πιο εξειδικευμένα εργαλεία. Σε αυτές τις περιπτώσεις αναπτύσσονται κατάλληλοι κανόνες και αλγόριθμοι για τη δημιουργία του μοντέλου και όχι γενικά 3D μοντέλα.

Τα κανονιστικά μοντέλα χρησιμοποιούνται πολύ συχνά στα ηλεκτρονικά παιχνίδια και στον κινηματογράφο. Ο λόγος για τον οποίο προτιμούνται τα συγκεκριμένα μοντέλα είναι ότι διευκολύνουν την ανάπτυξη μεγάλων και πολύπλοκων τρισδιάστατων μοντέλων. Κάποια από τα λογισμικά τα οποία υποστηρίζουν την κανονιστική μοντελοποίηση είναι τα: Acrogora, BRL-CAD, Bryce, CityEngine, Derivate Touch Designer, Generative Modelling Language, Grome, Houdini, HyperFun, Softimage, Terragen και 3D Max.

#### *3.4.1 Χαρακτηριστικά Κανονιστικής Μοντελοποίησης*

Ορισμένες από τις πιο κοινές λειτουργίες που συναντώνται στα λογισμικά εργαλεία κανονιστικής μοντελοποίησης είναι:

- Θεμελιώδη Σχήματα (Primitive Shapes)

Πολλά αντικείμενα του πραγματικού κόσμου αποτελούνται από βασικά σχήματα, όπως σημεία, γραμμές, τρίγωνα, σφαίρες, κύβοι, κύλινδροι, κώνοι κλπ. Οι απλές αυτές μορφές γεωμετρίας νοούνται ως θεμελιώδη σχήματα. Περίπλοκα μοντέλα μπορούν να αναλυθούν και να αποδομηθούν σε αυτά τα βασικά σχήματα και αντίστροφα, συνδυάζοντας αυτά τα βασικά σχήματα μπορεί να προκύψει ένα περίπλοκο τρισδιάστατο μοντέλο. Τα εργαλεία μοντελοποίησης θα πρέπει να έχουν λειτουργίες για τη δημιουργία αυτών των θεμελιωδών σχημάτων (Rotenberg, 2005).

- Εξώθηση (Extrude)

Η εξώθηση είναι μια πολύ χρήσιμη διαδικασία, καθώς με αυτό το τρόπο μπορούν να προκύψουν πολλές τρισδιάστατες δομές. Αναλυτικότερα, η διαδικασία αυτή δημιουργεί μια επιφάνεια ενώνοντας τα αντίγραφα της αρχικής γραμμής που έγινε εξώθηση.

- Αντιγραφή (Copy)

Ένα από τα βασικότερα εργαλεία μοντελοποίησης είναι η λειτουργία της αντιγραφής. Η δημιουργία του μοντέλου ολοκληρώνεται εύκολα και γρήγορα,

καθώς το τελικό προϊόν αποτελείται από πολλά αντίγραφα απλούστερων σχημάτων.

- Boolean λειτουργίες

Οι λειτουργίες Boolean χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό τομών, ενώσεων και αφαιρέσεων. Με αυτό τον τρόπο είναι δυνατή η παραγωγή τρισδιάστατων σχημάτων με χρήση αυτών των πράξεων σε θεμελιώδη σχήματα.

- Lofting

Υπάρχει και η λειτουργία lofting για τη δημιουργία επιφανειών από ένα σύνολο γραμμών ή καμπύλων. Η πιο κοινή εφαρμογή των lofting εργαλείων είναι για τη δημιουργία σχημάτων αυτοκινήτων, αεροπλάνων ή πλοίων.

- Τυχειότητα (Randomness)

Η λειτουργία αυτή βασίζεται στη χρήση αλγορίθμων παραγωγής ψευδό-τυχαίων αριθμών, μιας και οι υπολογιστές δεν έχουν τη δυνατότητα παραγωγής πραγματικών τυχαίων αριθμών. Η χρήση τους είναι ευρεία στην κανονιστική μοντελοποίηση ούτως ώστε τα μοντέλα να έχουν ποικιλία και φυσικότητα (Rotenberg, 2005). Μια απλή γεννήτρια τυχαίων αριθμών παράγει τη ζητούμενη ακολουθία, η οποία βασίζεται στην αρχική τιμή που έχει οριστεί. Στην περίπτωση που αλλάξει η αρχική τιμή και επαναληφθεί η ακολουθία, το μοντέλο ανακατασκευάζεται αυτόματα και το αποτέλεσμα είναι διαφορετικό από το αρχικό.

- Πεδία ύψους (Height fields)

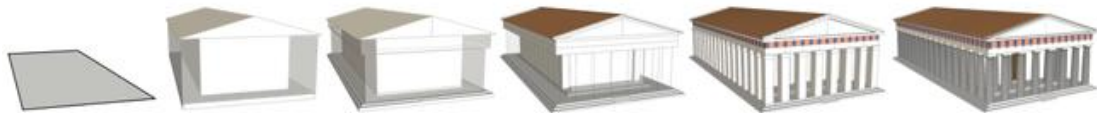
Τα τοπία συχνά κατασκευάζονται ως πεδία ύψους (heightfields). Ως πεδίο ύψους νοείται ένα πλέγμα στο επίπεδο του εδάφους και σε κάθε σημείο του πλέγματος έχει αποθηκευτεί μια τιμή ύψους. Τα δεδομένα αυτά, ουσιαστικά, είναι αποθηκευμένα με τον ίδιο τρόπο που αποθηκεύεται η τιμή του χρώματος σε ένα pixel. Τα πεδία ύψους είναι μια δομή που αποθηκεύει επαρκώς τα δεδομένα που προσδιορίζουν το σχήμα της επιφάνειας απαιτείται, όμως, η μετατροπή τους σε ένα τριγωνικό πλέγμα για την απόδοση τους.

- Θόρυβος (Noise)

Μια άλλη μορφή τυχειότητας στην κανονιστική μοντελοποίηση είναι ο θόρυβος, ο οποίος σε ορισμένες περιπτώσεις είναι χρήσιμος. Ο θόρυβος αναφέρεται ως οι ανεπιθύμητες παραμορφώσεις που ενυπάρχουν σε σύνολα δεδομένων και δεν είναι απόλυτα τυχαία η διασπορά του, καθώς μπορεί να συμβεί δυο διπλανά σημεία να έχουν την ίδια τιμή. Συνδυάζοντας δυο διαφορετικά μοτίβα θορύβου μπορεί κανείς να εξάγει πιο περίπλοκα μοτίβα.

### 3.4.2 Μοντελοποίηση με ComputerGeneratedArchitecture (CGA) Γραμματική

Η CGA (Computer Generated Architecture) γραμματική είναι μια γλώσσα προγραμματισμού, η οποία χρησιμοποιείται για τη παραγωγή πολύπλοκων μοντέλων μέσω κανόνων. Οι κανόνες αυτοί εξελίσσουν επαναληπτικά ένα σχέδιο δημιουργώντας όλο και περισσότερες λεπτομέρειες. Οι κανόνες αυτοί λειτουργούν σε σχήματα τα οποία αποτελούνται από μια γεωμετρία σε ένα τοπικά προσανατολισμένο και οριοθετημένο πλαίσιο (bounding box), το λεγόμενο πεδίο εφαρμογής. Επιπλέον, ένας κανόνας περιλαμβάνει όλες τις απαραίτητες παραμέτρους και πληροφορίες, οι οποίες μπορούν να τροποποιηθούν και να επαναχρησιμοποιηθούν σε διαφορετική μοντελοποίηση. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η διαδικασία: αριστερά απεικονίζεται το αρχικό σχήμα ενώ δεξιά το τελικό μοντέλο που δημιουργείται.



**Εικόνα 14-Διαδικασία παραγωγής του τελικού 3D μοντέλου με χρήση CGA γραμματικής. (Πηγή: esri.com, 2015)**

Σε ηλεκτρονικά παιχνίδια και σε ταινίες, όπου απαιτούνται εκτεταμένα τρισδιάστατα μοντέλα σε μικρό χρόνο και με το μικρότερο δυνατό κόστος, η χρήση CGA γραμματικής είναι πολύ χρήσιμη (Muller et al, 2006). Μια ακόμα χρήση είναι στην παραγωγή του κελύφους των κτιρίων με υψηλή ακρίβεια και γεωμετρικές λεπτομέρειες, καθώς και των δρόμων, των τοποθεσιών και της βλάστησης. Τα 3D μοντέλα που βασίζονται σε τέτοιες γραμματικές, εφαρμόζονται σε αστική κλίμακα και αναπαριστούν όσο το δυνατόν πληρέστερα την πραγματικότητα, διευκολύνοντας με αυτό τον τρόπο το μελλοντικό σχεδιασμό.

Σημαντικό πλεονέκτημα των CGA grammar είναι ο ιεραρχικός τρόπος δόμησης του μοντέλου. Με βάση αυτή τη δομή, για τα κτίρια κατασκευάζεται πρώτα ένα ογκομετρικό μοντέλο και στη συνέχεια αυτό εμπλουτίζεται με περισσότερα χαρακτηριστικά, όπως η πρόσοψη, οι όροφοι, τα ανοίγματα, μέσω της επαναληπτικής διαδικασίας που αναφέρθηκε προηγούμενα.

Η διαδικασία που ακολουθείτε για τη δημιουργία του μοντέλου είναι, αρχικά με βάση τους κανόνες παραγωγής προκύπτει ένα ογκομετρικό μοντέλο μάζας (building mass model) και κατόπιν διαμορφώνονται όλες οι λεπτομέρειες του μοντέλου. Το τρισδιάστατο μοντέλο του κτιρίου προκύπτει μέσω της εφαρμογής του κανόνα παραγωγής στο αποτύπωμα του (footprint). Ο ίδιος κανόνας μπορεί να εφαρμοστεί ταυτόχρονα σε πολλά αποτυπώματα με αποτέλεσμα να διαμορφωθεί μια αστική περιοχή.



Εικόνα 15-Εφαρμογή των CGA κανόνων γραμματικής. (Πηγή: Muller et al, 2006)



Εικόνα 16-Χρήση των κανόνων CGA για τη δημιουργία αστικής περιοχής, στην Πομπηία. (Πηγή: Muller et al, 2006)

Οι κανόνες γραμματικής CGA έχουν ενταχθεί στο πρόγραμμα CityEngine, το οποίο θα αναλυθεί στην επόμενη ενότητα σε ένα πρώτο επίπεδο, καθώς τα αρχικά δεδομένα της παρούσας διπλωματικής προέκυψαν από μοντελοποίηση στο περιβάλλον εργασίας του.

### 3.5 CityEngine

Το CityEngine αναπτύχθηκε στο Πολυτεχνείο της Ζυρίχης (ETH-Zurich) από τον Pascal Muller κατά τη διάρκεια του διδακτορικού του. Ο Muller ανέπτυξε μια σειρά πρωτοποριακών τεχνικών για την κανονιστική μοντελοποίηση 3D αρχιτεκτονικών περιεχομένων και κατέληξε στη δημιουργία του CityEngine. Το 2008 η πρώτη εμπορική έκδοση του κυκλοφόρησε από την εταιρεία Procedural Inc. και χρησιμοποιήθηκε από επαγγελματίες στον αστικό σχεδιασμό, στην αρχιτεκτονική, στην ανάπτυξη παιχνιδιών και στα GIS.

Το CityEngine είναι ένα λογισμικό για τρισδιάστατη απεικόνιση και εξειδικεύεται στη δημιουργία 3D αστικού περιβάλλοντος, σύμφωνα με τη προσέγγιση της CGA γραμματικής. Το πρόγραμμα αυτό δημιουργεί αστικά τοπία από το μηδέν με βάση τους κανόνες παραγωγής. Οι κανόνες αυτοί επιτρέπεται να μεταβάλλονται και να ανανεώνονται από τους χρήστες, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα για νέες σχεδιαστικές προοπτικές. Ένας κανονιστικός κανόνας στο CityEngine αποθηκεύεται ως .cga αρχείο και λειτουργεί σαν μια ιεραρχική πρωτότυπη γλώσσα προγραμματισμού.

Η δημιουργία του μοντέλου στο περιβάλλον του CityEngine ακολουθεί την εξής διαδικασία: αρχικά, δημιουργείται το οδικό δίκτυο, είτε σχεδιάζοντας το με το εργαλείο «grow streets», είτε με εισαγωγή χαρτών και δεδομένων, από το Openstreetmap για παράδειγμα, ή σε μορφή Shapefile ή από βάσεις δεδομένων. Κατόπιν, δημιουργούνται τα οικοδομικά τετράγωνα, τα οποία υποδιαιρούνται σε τεμάχια, προκειμένου τελικά να προκύψουν τα ίχνη των κτιρίων. Υπάρχει και η δυνατότητα τα ίχνη των κτιρίων να εισαχθούν στο πρόγραμμα είτε σε μορφή shapefile είτε σε μορφή CAD σχεδίων είτε από το openstreetmap και να συνοδεύονται από πληροφορία για τα ύψη των κτιρίων. Για να αξιοποιηθεί η πληροφορία για τη τρίτη διάσταση, θα δημιουργηθούν οι όγκοι των κτιρίων, με εφαρμογή του κανόνα εξώθησης (extrude). Με βάση του κανόνες CGA ορίζεται κάθε κτίριο, το οποίο έχει τη δυνατότητα να τροποποιηθεί ανάλογα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής και τις ανάγκες του χρήστη ή είναι δυνατή η χειρωνακτική προσαρμογή των παραμέτρων, συμβάλλοντας έτσι στον επανασχεδιασμό και τη βελτίωση του αρχικού μοντέλου.



Εικόνα 17-Τα στάδια δημιουργίας του 3D μοντέλου πόλης στο CityEngine. (Πηγή: esri.com, 2015)

## 4. Το πρότυπο CityGML

---

Το CityGML είναι ένα μοντέλο ανοικτών δεδομένων (open data model) και ένας τύπος βασισμένος στην XML (Extensible Markup Language) για την αποθήκευση και την ανταλλαγή τρισδιάστατων μοντέλων πόλεων. Είναι ένα σχήμα εφαρμογής για την Geography Markup Language version 3.1.1 (GML3), το διεθνές πρότυπο για την ανταλλαγή χωρικών δεδομένων που έχουν εκδοθεί από την Open Geospatial Consortium (OGC) και την ISO TC211.

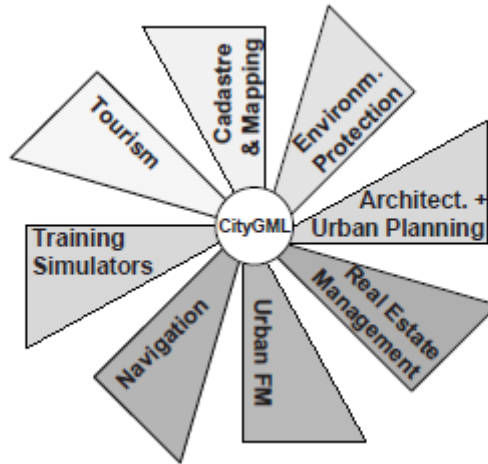
### 4.1 Σημσιολογικά 3D μοντέλα πόλης

Στο παρελθόν έχουν χρησιμοποιηθεί εικονικά 3D μοντέλα πόλεων για την οπτικοποίηση ή τη γραφική εξερεύνηση αστικών τοπίων. Στις μέρες μας ένας αυξανόμενος αριθμός εφαρμογών, όπως αστικός σχεδιασμός, διαχείριση εγκαταστάσεων, περιβαλλοντική και εκπαιδευτική προσομοίωση, διαχείριση κινδύνων και ασφάλεια σε επίπεδο διαμερίσματος αλλά και προσωπική πλοήγηση απαιτεί επιπρόσθετη πληροφορία για τα αντικείμενα της πόλης, τα οποία πρέπει να αναπαριστώνται με συγκεκριμένο τρόπο. Τα σημασιολογικά τρισδιάστατα μοντέλα πόλης απαρτίζονται εκτός από τους χωρικούς και τους γραφικούς παράγοντες, από την οντολογική δομή, που περιλαμβάνει θεματικά επίπεδα, χαρακτηριστικά καθώς και τις μεταξύ τους σχέσεις. Επομένως τα αντικείμενα του χώρου αποσυντίθενται στα μέρη από τα οποία αποτελούνται σύμφωνα με λογικά κριτήρια και δομές, όπως αυτές τις συναντά κανείς στον πραγματικό κόσμο. Παραδείγματος χάριν, ένα κτίριο χωρίζεται σε διαφορετικά κτιριακά μέρη, όπως όροφοι, χώροι στάθμευσης, χώρος στάθμευσης κλπ.

Η δημιουργία σημασιολογικού μοντέλου απαιτεί την ύπαρξη κατάλληλων 3d δεδομένων. Από οικονομική άποψη, το σημασιολογικό μοντέλο πόλης έχει νόημα εάν τα δεδομένα, και ιδιαίτερα οι σημασιολογικές πληροφορίες, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διαφορετικές εφαρμογές. Αυτό, ωστόσο, απαιτεί την ύπαρξη ενός κοινού μοντέλου πληροφοριών μεταξύ των διαφόρων χρηστών και για κάθε εφαρμογή.

Αυτή είναι και η ουσία και ο σκοπός ανάπτυξης του CityGML, να θέσει δηλαδή έναν κοινό ορισμό των οντοτήτων, των χαρακτηριστικών και των σχέσεων μέσα σε ένα τρισδιάστατο μοντέλο πόλης. Παρέχοντας ένα βασικό μοντέλο με οντότητες το οποίο να καλύπτει πολλούς κλάδους, το μοντέλο πόλης μπορεί να αποτελέσει ένα κεντρικό άξονα πάνω στον οποίο στηρίζονται διαφορετικές εφαρμογές.



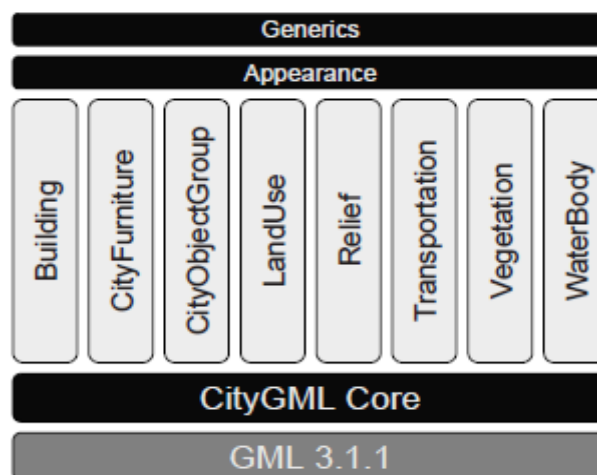


Εικόνα 18-Οι διαφορετικοί τομείς που συνδέει το CityGML. (Πηγή: Kolbe, 2008)

## 4.2 Μοντελοποίηση στο CityGML

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω το CityGML είναι ένα διεθνές πρότυπο για την ανταλλαγή και την αναπαράσταση σημασιολογικών 3D πόλεων. Το βασικό του χαρακτηριστικό είναι ότι αναπαριστά τέσσερις διαφορετικές πτυχές, τη γεωμετρία, τη σημασιολογία, τη τοπολογία και τη εμφάνιση/απεικόνιση. Επιπρόσθετα, όλα τα αντικείμενα μπορούν να απεικονιστούν σε πέντε διαφορετικά επίπεδα λεπτομέρειας (LoDo to LoD4 με αύξουσα ακρίβεια και πολυπλοκότητα).

Το CityGML οργανώνεται σε ενότητες (modules). Οι κάθετες ενότητες στο σχήμα που ακολουθεί, παρέχουν τον ορισμό διαφορετικών θεματικών μοντέλων (building, relief, city furniture, land use, water body, transportation), ενώ οι οριζόντιες (CityGML core, appearance, generics) ορίζουν δομές που μπορεί να εφαρμοστούν σε όλα τα παραπάνω θεματικά μοντέλα. Με αυτή τη δομή επιτρέπεται τόσο η διατήρηση διαφόρων εφαρμογών όσο και η επέκταση των θεματικών μοντέλων.

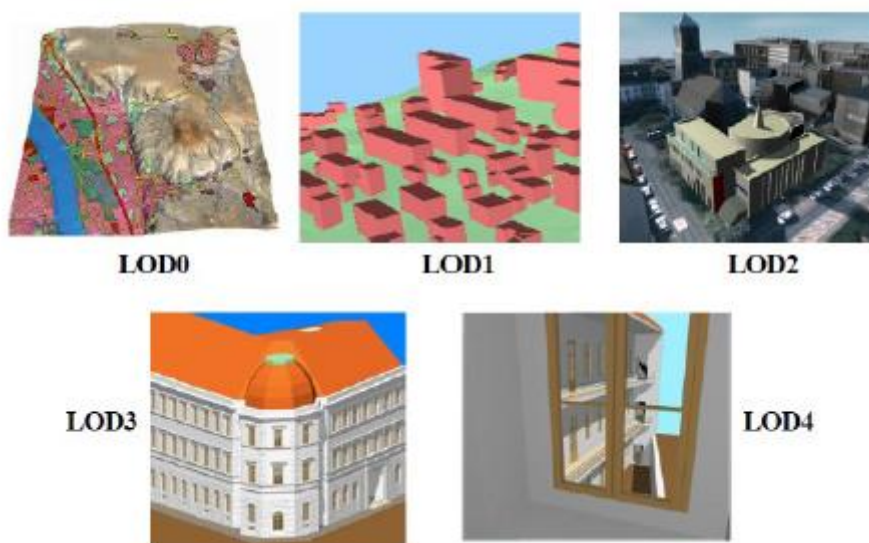


Εικόνα 19- Δομή του CityGML για τη σημασιολογική μοντελοποίηση διαφορετικών θεματικών ενότητων. (Πηγή: Kolbe, 2008)

### 4.3 Επίπεδα λεπτομέρειας του CityGML

Το CityGML περιλαμβάνει πέντε διαδοχικά επίπεδα λεπτομέρειας (LOD), όπου τα αντικείμενα όσο αυξάνεται το επίπεδο λεπτομέρειας τόσο πιο πολύ διαφοροποιούνται ως προς τη γεωμετρία τους αλλά και ως προς τη θεματική τους απεικόνιση. Τα LODs αντανakλούν ανεξάρτητες διαδικασίες συλλογής δεδομένων με διαφορετικές απαιτήσεις εφαρμογής. Ακόμα, τα LODs διευκολύνουν την αποτελεσματική οπτικοποίηση και ανάλυση των δεδομένων. Στο περιβάλλον του CityGML το ίδιο αντικείμενο είναι δυνατόν να απεικονίζεται σε διαφορετικά επίπεδα λεπτομέρειας ταυτόχρονα, επιτρέποντας με αυτό το τρόπο την ανάλυση και την απεικόνιση του ίδιου αντικειμένου σε διαφορετούμενα επίπεδα ευκρίνειας.

Το πιο αδρό επίπεδο λεπτομέρειας, το LOD0, είναι ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DTM) 2.5 διαστάσεων. Μια 2.5 γεωμετρία περιλαμβάνει μόνο το αποτύπωμα του κτηρίου. Αντικείμενα, όπως πχ κτήρια, απεικονίζονται από ένα οριζόντιο πολύγωνο είτε στο επίπεδο της σκελής είτε στο επίπεδο του εδάφους. Για επιφανειακά στοιχεία όπως η χρήση γης, το LoD0 παρέχει τις λιγότερες λεπτομέρειες. Αντικείμενα όπως δρόμοι ή ποτάμια απεικονίζονται ως γραμμές. Υδάτινα στοιχεία μεγάλου μεγέθους απεικονίζονται από 2.5D επιφάνειες. Στο LOD1 αντικείμενα όγκου (κτήρια, βλάστηση κλπ) αναπαριστώνται ως ένα μοντέλο όγκων χωρίς στέγες. Τα στοιχεία μεταφορών απεικονίζονται από επιφάνειες 2.5D, ενώ τα υδάτινα στοιχεία από στερεά ή από επιφάνειες 2.5D. Στο LOD2 ένα κτήριο διαθέτει σκελή καθώς και άλλα μέρη, όπως μπαλκόνια και σκάλες. Τα αντικείμενα βλάστησης απεικονίζονται με περισσότερες λεπτομέρειες, για τα στερεά υδάτινα στοιχεία η επιφάνεια του νερού διαχωρίζεται θεματικά από τον πυθμένα. Το LOD3 δίνει με μεγάλη λεπτομέρεια το σχήμα των αντικειμένων. Για τα κτήρια, τις γέφυρες και τα τούνελ εντάσσονται τα ανοίγματα ως θεματικά αντικείμενα. Όσον αφορά τα κτήρια, απεικονίζει το αρχιτεκτονικό μοντέλο και δίνει με μεγαλύτερη λεπτομέρεια τους τοίχους, τις στέγες, τις πόρτες και τα παράθυρα. Το LOD4 συμπληρώνει το LOD3 για κάθε αντικείμενο το οποίο διαθέτει εσωτερικά στοιχεία. Στην περίπτωση των κτήριακών αντικειμένων προστίθενται μέρη του κτηρίου, όπως δωμάτια, σκάλες και έπιπλα.



Εικόνα 20- Τα πέντε διαφορετικά επίπεδα λεπτομέρειας (LoDs) του CityGML. (Πηγή: Groeger, 2012)

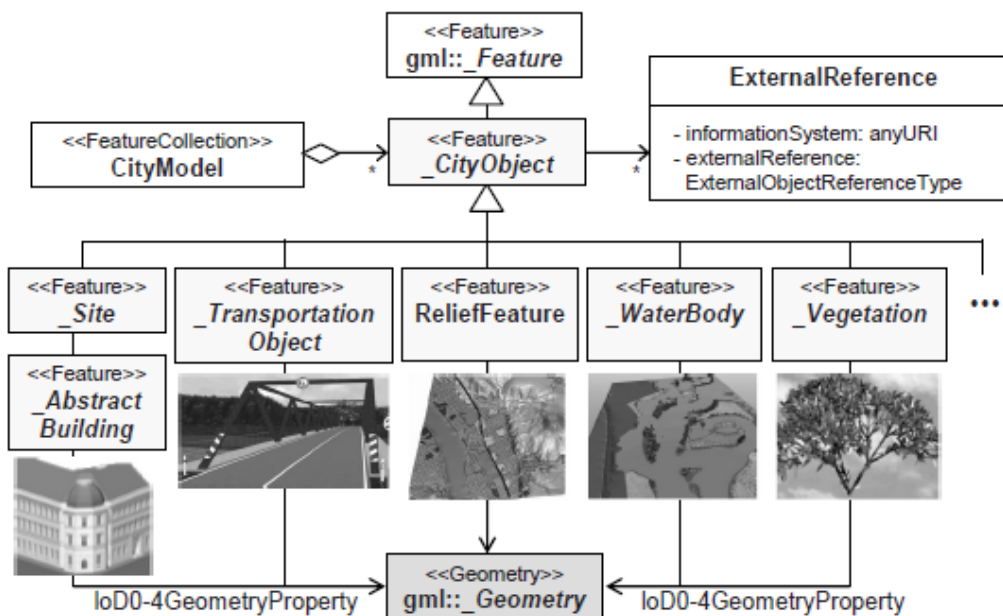
Η κατηγοριοποίηση των μοντέλων με βάση αυτά τα πέντε επίπεδα λεπτομέρειας μπορεί να είναι είτε πολύ αδρά είτε περιοριστικά. Παρόλα αυτά όμως, ο ορισμένος αριθμός των LODs, καθώς και οι συγκεκριμένες πληροφορίες, το περιεχόμενο και η ακρίβεια του, καθορίζουν και περιγράφουν ένα δεδομένο επίπεδο ακρίβειας. Έτσι αναφέροντας μόνο το LOD ενός συνόλου δεδομένων CityGML, γίνεται άμεσα αντιληπτή η ακρίβεια του συγκεκριμένου συνόλου. Το επίπεδο λεπτομέρειας κάνει δυο διαφορετικά σύνολα δεδομένων συγκρίσιμα και τόσο ο κατασκευαστής όσο και ο χρήστης έχουν μια εικόνα της ακρίβειας, της πολυπλοκότητας και της ανάλυσης. Τα συγκεκριμένα επίπεδα λεπτομέρειας εφαρμόζονται σε όλα τα θεματικά χαρακτηριστικά.

#### 4.4 Σημασιολογική Μοντελοποίηση

Το σημασιολογικό μοντέλο του CityGML υιοθετεί το πρότυπο ISO 19100 για τη μοντελοποίηση γεωγραφικών χαρακτηριστικών. Σύμφωνα με το πρότυπο ISO 19109 τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά είναι αφαιρέσεις του πραγματικού κόσμου. Η μοντελοποίηση των δεδομένων γίνεται σε κλάσεις, οι οποίες προηγούμενα έχουν καθοριστεί μέσω της UML (Unified Modeling Language). Τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά δύνανται να έχουν ένα τυχαίο αριθμό χωρικών και μη χωρικών χαρακτηριστικών. Οι αρχές της αντικειμενοστραφούς μοντελοποίησης μπορούν να εφαρμοστούν προκειμένου να δημιουργηθούν οι σωστές ιεραρχίες.

Το CityGML παρέχει τους ορισμούς των τάξεων, κανονιστικές ρυθμίσεις καθώς και επεξηγήσεις της σημασιολογίας για τα σημαντικότερα γεωγραφικά στοιχεία που συναντώνται στα περισσότερα 3D μοντέλα πόλης, όπως τα κτίρια, το ψηφιακό μοντέλο εδάφους, νερά, βλάστηση και αστικός εξοπλισμός.

Η τάξη CityObject είναι η βασική τάξη, η οποία κληρονομεί ορισμένα χαρακτηριστικά, όπως όνομα (name), περιγραφή (description) και ταυτότητα (gml:id), από την υπέρ-κλάση (superclass) της GML, Feature, και διαθέτει επιπρόσθετα χαρακτηριστικά όπως ημερομηνία δημιουργίας (creationDate) και τερματισμού (terminationDate), παρουσιάζοντας καταστάσεις του αντικειμένου σε διάφορες φάσεις. Επίσης, κάθε CityObject μπορεί να συνδέεται με εξωτερικές βάσεις δεδομένων ή με άλλες συλλογές δεδομένων (datasets) μέσω ενός πλήθους εξωτερικών αναφορών (External References), οι οποίες περιλαμβάνουν πρόσθετα χαρακτηριστικά ή αναπαραστάσεις του αντικειμένου από το πεδίο του κτηματολογίου ή άλλων εφαρμογών. Με τη συγκέντρωση όλων των CityObject μπορεί να δημιουργηθεί ένα μοντέλο που ονομάζεται CityModel, το οποίο είναι υπό-κλάση της υπέρ-κλάσης της GML FeatureCollection.



Εικόνα 21-Διάγραμμα UML αναπαράστασης της ιεραρχίας των τάξεων του CityGML (Πηγή: Kolbe, 2008)

Οι υπό-κλάσεις του CityObject ανήκουν σε διαφορετικές θεματικές κατηγορίες και καθορίζονται από τις αντίστοιχες ενότητες (modules).

## 4.5 Θεματικά Μοντέλα

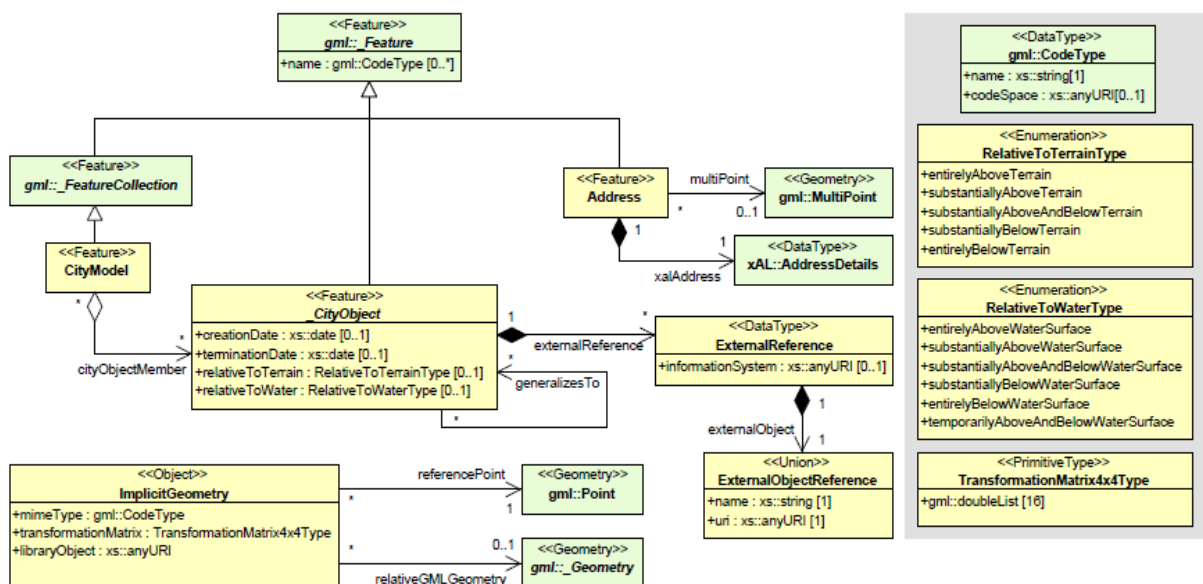
Σύμφωνα με την OGC (Open Geospatial Consortium) τα θεματικά μοντέλα του CityGML έχουν δομηθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να καλύπτουν όλους τους σημαντικούς τύπους αντικειμένων που συναντώνται σε ένα εικονικό 3D μοντέλο πόλης και καλύπτουν ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών. Τα θεματικά μοντέλα έχουν σαν αφετηρία τους τις κεντρικές τάξεις \_Feature και \_FeatureCollection, όπως αυτές ορίζονται από το ISO 19109 και τη GML3 για την αναπαράσταση των χωρικών αντικειμένων και των συσχετίσεων τους.

Στόχος των θεματικών μοντέλων είναι να επιτευχθεί μεγάλος βαθμός διαλειτουργικότητας μεταξύ διαφορετικών εφαρμογών. Επιλέγοντας το κατάλληλο θεματικό μοντέλο, τη σημασιολογική πληροφορία που το συνοδεύει και αποδίδοντας το σε μορφή UML με βάση τη GML3, διαφορετικές εφαρμογές μπορούν να στηριχτούν πάνω σε ένα καλά ορισμένο σύνολο χαρακτηριστικών, ιδιοτήτων και τύπων δεδομένων και να έχουν συγκεκριμένη ερμηνεία. Για την ανταλλαγή αντικειμένων και/ή χαρακτηριστικών τα οποία δεν υπάρχουν αυστηρά καθορισμένα στο μοντέλο του CityGML, έχουν δημιουργηθεί η τάξη των γενικών αντικειμένων (Generic City Objects) καθώς και ο μηχανισμός ADE (Application Domain Extension) (Κεφάλαιο 4.10).

Κάθε πεδίο του θεματικού μοντέλου του CityGML καλύπτεται από μια ξεχωριστή επεκταμένη ενότητα (extension module). Θα έλεγε κανείς πως οι ενότητες αυτές τέμνουν κάθετα το συνολικό θεματικό μοντέλο του CityGML, όπως φαίνεται και στην εικόνα 20, και άρα κάθε μια από αυτές εξαρτάται και στηρίζεται στη βασική ενότητα του CityGML, το Core module. Η ενότητα Core περιλαμβάνει τις βασικές αρχές και τα θεμελιώδη στοιχεία του μοντέλου δεδομένων του CityGML. Έτσι κάθε εφαρμογή εστιάζει σε μια ή περισσότερες θεματικές ενότητες σε συνδυασμό με την ενότητα Core σύμφωνα με τις ανάγκες και το πεδίο κάθε εφαρμογής. Στην ανανεωμένη έκδοση του CityGML, την CityGML 2.0, περιλαμβάνονται δεκατρείς θεματικές ενότητες: Appearance, Bridge, Building, CityFurniture, CityObjectGroup, Generics, LandUse, Relief, Transportation, Tunnel, Vegetation, WaterBody και TexturedSurface. Συνδυασμοί των θεματικών μοντέλων ονομάζονται CityGML profiles.

#### 4.5.1 Κεντρικό Μοντέλο (Core Module)

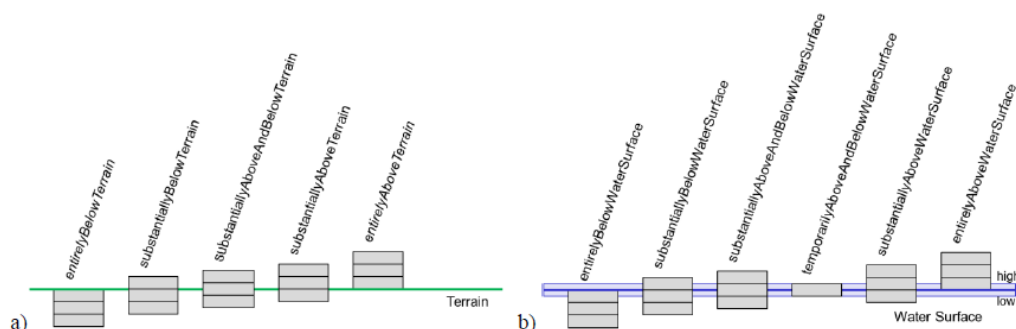
Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η ενότητα Core του CityGML ορίζει τις βασικές αρχές και συστατικά μέρη του μοντέλου του CityGML. Αρχικά, λοιπόν, το Core Module παρέχει όλες τις αφηρημένες βασικές τάξεις, στις οποίες στηρίζονται οι θεματικές ενότητες του CityGML μέσω επεκτάσεων. Βέβαια εκτός από το αφηρημένο περιεχόμενο, το Core module περιλαμβάνει και βασικές μορφές δεδομένων και θεματικές τάξεις, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολλές επεκταμένες ενότητες. Το παρακάτω διάγραμμα σε μορφή UML απεικονίζει τη μορφή της ενότητας CityGML Core.



Εικόνα 22-Το διάγραμμα UML του CityGML Core module. (Πηγή: Groeger et al., 2012)

Με βάση την ιεραρχική δομή του CityGML βασική τάξη του είναι η αφηρημένη τάξη `_CityObject`, όπως περιγράφηκε παραπάνω. Επιπλέον υπάρχουν δυο ποιοτικά χαρακτηριστικά, το `relativeToTerrain` και το `relativeToWater`, για να προσδιορίσουν τη θέση του στοιχείου σε σχέση με την επιφάνεια του εδάφους και του νερού

αντίστοιχα. Η πιθανές τοπολογικές σχέσεις φαίνονται στην παρακάτω εικόνα. Και τα δυο χαρακτηριστικά μπορούν να δημιουργήσουν απλά χωρικά ερωτήματα.



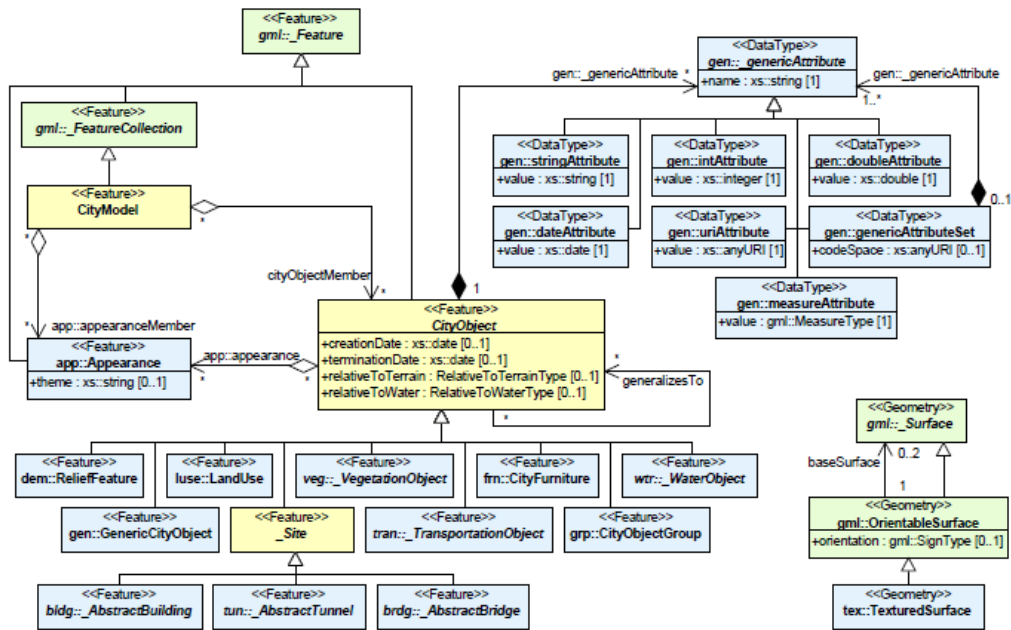
**Εικόνα 23-Τοπολογικές σχέσεις των αντικειμένων στο CityGML σε σχέση με την επιφάνεια α) του εδάφους και β) του νερού. (Πηγή: Groeger et al., 2012)**

Η τάξη `_CityObject` είναι υπό-κλάση της τάξης `Feature` της GML και επομένως "κληρονομεί" τα μεταδεδομένα και το όνομα από την κλάση `_GML`. Η ιδιότητα της γενίκευσης `generalizesTo` της `_CityObject` μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να συσχετίσει μεταξύ τους στοιχεία, τα οποία απεικονίζουν το ίδιο αντικείμενο αλλά σε διαφορετικά επίπεδα λεπτομέρειας.

Οι θεματικές κατηγορίες μπορεί να έχουν και περαιτέρω υποκατηγορίες, χαρακτηριστικά και γεωμετρία. Τα στοιχεία των συγκεκριμένων υποκλάσεων του `_CityObject` μπορούν να συγκεντρωθούν σε ένα `CityModel`, το οποίο είναι ένα σύνολο στοιχείων με προαιρετικά μεταδεδομένα. Γενικά, κάθε στοιχείο έχει τα χαρακτηριστικά `class`, `usage`, `function`, εκτός αν ορίζεται διαφορετικά. Το χαρακτηριστικό `class` χρησιμοποιείται μια μόνο φορά, ενώ τα `usage` και `function` περισσότερες. Το χαρακτηριστικό `class` επιτρέπει την ιεράρχηση των στοιχείων πέρα από αυτή που ορίζει το `_CityObject`. Για παράδειγμα, ένα κτίριο εντάσσεται αρχικά στη κλάση `bldg:Building` της `_CityObject`. Μια περαιτέρω κατηγοριοποίηση, όμως, πχ ανάλογα με τη χρήση σε οικιστική ή εμπορική, μπορεί να γίνει με το χαρακτηριστικό `class` της τάξης `bldg:Building`. Το χαρακτηριστικό `function` αναφέρεται συνήθως στη θεσμοθετημένη χρήση του αντικειμένου, ενώ το χαρακτηριστικό `usage` στην πραγματική χρήση του. Οι πιθανές τιμές των τριών χαρακτηριστικών, `class`, `usage`, `function`, ορίζονται από λίστες κωδικών (`code lists`), οι οποίες βασίζονται στο `Simple Dictionary Profile` της GML 3.1.1.

Εκτός από τις θεματικές κατηγορίες, η ενότητα `core` παρέχει τον όρο των `ImplicitGeometries`, ως βελτίωση του γεωμετρικού μοντέλου της GML 3, ο οποίος αναλύεται στη συνέχεια στην ενότητα 4.6.

Το υψηλότερο επίπεδο ιεραρχίας του θεματικού μοντέλου του CityGML φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Οι υποκλάσεις του `_CityObject` αποτελούν τα διαφορετικά πεδία ενός μοντέλου και αντιστοιχούν στις δεκατρείς επεκταμένες θεματικές ενότητες. Το πρόθεμα στο όνομα κάθε τάξης δηλώνει την θεματική ενότητα στην οποία ανήκει.



Εικόνα 24-Το ανώτερο επίπεδο ιεραρχίας του CityGML. (Πηγή: Groeger et al., 2012)

Οι τάξεις GenericCityObject και \_genericAttribute, που ορίζονται εντός της ενότητας Generics (βλ. κεφάλαιο 4.10), επιτρέπουν την μοντελοποίηση και την ανταλλαγή είτε τρισδιάστατων αντικειμένων, τα οποία δεν καλύπτονται από κάποια θεματική ενότητα του CityGML, είτε χαρακτηριστικών, τα οποία δεν απεικονίζονται στο συγκεκριμένο πρότυπο.

Οι πληροφορίες για την απεικόνιση των επιφανειών περιέχονται στη τάξη Appearance της ενότητας Appearance του CityGML. Σε αντίθεση με άλλες θεματικές ενότητες, η ενότητα Appearance δεν προέρχεται από την τάξη \_CityObject αλλά από την \_Feature της GML. Στοιχεία τόσο της \_CityObject όσο και της Appearance μπορούν να ενταχθούν σε τυχαία σειρά σε ένα CityModel, χρησιμοποιώντας τα στοιχεία cityObjectMember και appearanceMember, τα οποία ανήκουν στο γκρουπ gml:featureMember. Η ιδιότητα appearance είναι διαθέσιμη στο \_CityObject και στις θεματικές τάξεις του, εφόσον υποστηρίζεται η ενότητα Appearance (Groeger, Kolbe, Nagel, Haefele, 2012).

Χάριν της πληρότητας, η τάξη TexturedSurface απεικονίζεται στη παραπάνω εικόνα. Αυτή η προσέγγιση στην απεικόνιση πρόκειται να απορριφθεί στις μελλοντικές εκδόσεις του CityGML, μιας και οι πληροφορίες που περιέχει αυτή η τάξη μπορούν να ενταχθούν στην ενότητα Appearance χωρίς απώλειες.

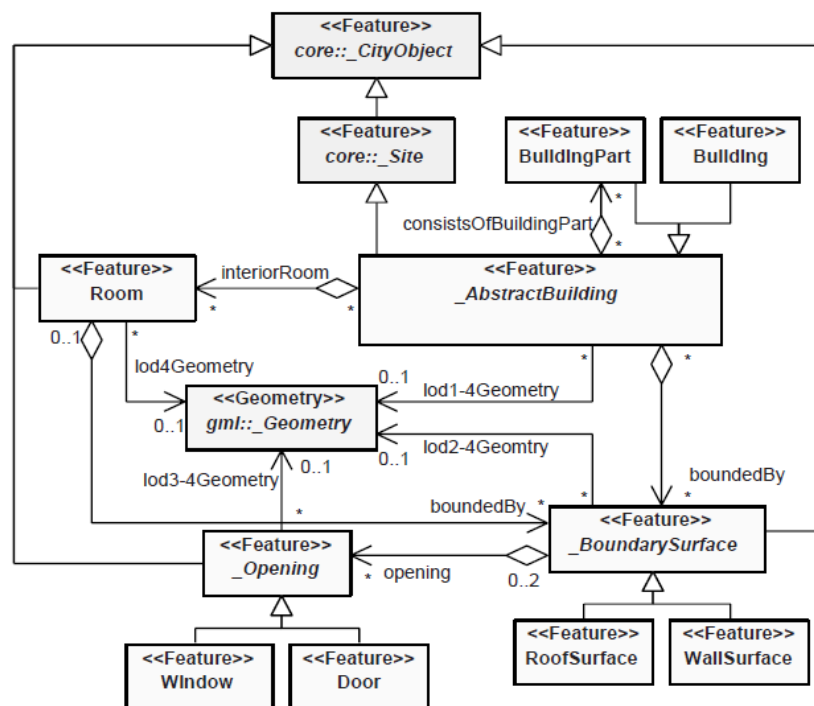
#### 4.5.2 Κτιριακό Μοντέλο (Building Model)

Το κτιριακό μοντέλο είναι το πιο σημαντικό στοιχείο του CityGML. Χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση των κτιρίων και των συστατικών μερών τους, τόσο γεωμετρικά όσο και σημασιολογικά.

Τα κτίρια καθώς και τα υπόλοιπα μέρη τους (δωμάτια, τοίχοι, πόρτες, παράθυρα κλπ) έχουν κοινά χαρακτηριστικά τα όποια τα "κληρονομούν" από τη βασική τάξη

του CityGML, την CityObject. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι: η ημερομηνία κατασκευής, η ημερομηνία κατεδάφισης, εξωτερική αναφορά σε άλλο σύστημα πληροφοριών. Επιπρόσθετα, όλα τα στοιχεία κληρονομούν το όνομα, τη περιγραφή και ορισμένα μέτα-δεδομένα από αντίστοιχες τάξεις GML.

Η κεντρική κλάση του Κτιριακού Μοντέλου (Building Model) είναι η AbstractBuilding από την οποία προκύπτουν δύο άλλες κλάσεις η Building και η BuildingPart. Οι τρεις αυτές κλάσεις ακολουθούν το εξής γενικό μοτίβο σχεδιασμού: ένα Building περιέχει BuildingParts. Μία οντότητα Building ή BuildingPart περιγράφεται από ορισμένα επιπλέον χαρακτηριστικά, τα οποία «κληρονομεί» από την κλάση AbstractBuilding, όπως λειτουργία, χρήση, έτος κατασκευής και κατεδάφισης, τύπος στέγης, μετρημένο ύψος, αριθμός ορόφων πάνω και κάτω από το έδαφος και διευθύνσεις.



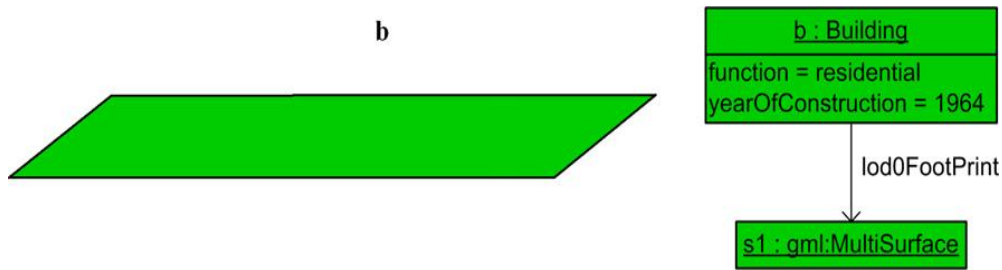
Εικόνα 25-UML διάγραμμα που αναπαριστά μια απλοποιημένη μορφή του κτιριακού μοντέλου(Building model). (Πηγή: Kolbe, 2008)

Στη συνέχεια παρουσιάζονται για κάθε επίπεδο λεπτομέρειας, από 0 έως 4, τα χαρακτηριστικά και οι σχέσεις του κτιριακού μοντέλου. Το επίπεδο λεπτομέρειας 0 εισήχθη στην έκδοση 2.0 του CityGML. Επίσης ένα κτίριο μπορεί ταυτόχρονα να απεικονιστεί σε διαφορετικά LoD. Η γεωμετρία των μοντέλων γίνεται πιο λεπτομερής όσο αυξάνεται το επίπεδο λεπτομέρειας. Γενικά το CityGML παρέχει μια ελευθερία όσον αφορά τις απεικονίσεις, καθώς δεν υπάρχουν αυστηροί κανόνες οι οποίοι να καθορίζουν τι είδους σημασιολογική πληροφορία περιλαμβάνει κάθε επίπεδο λεπτομέρειας.



#### 4.5.2.1 Level of Detail 0

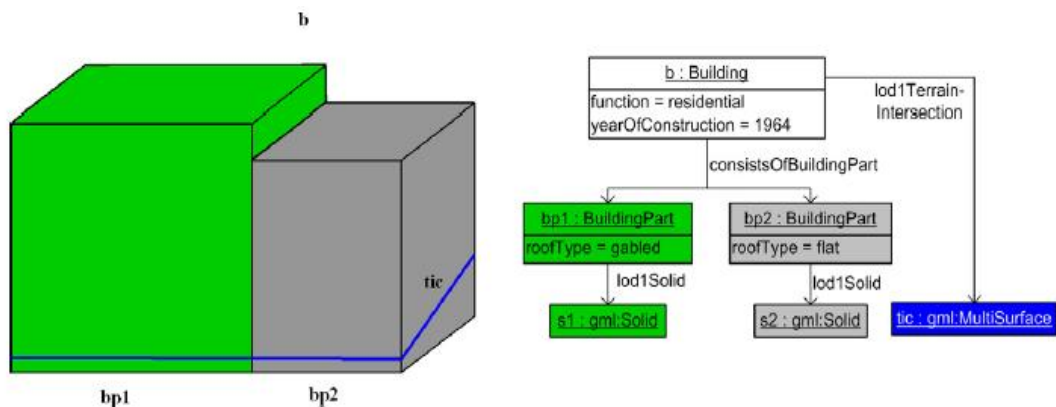
Ένα κτίριο σε LoDo απεικονίζεται ως πολύγωνο 2.5 διαστάσεων είτε στο επίπεδο της σκεπής είτε στο επίπεδο του εδάφους.



Εικόνα 26-Κτίριο σε LoDo δεξιά. Αριστερά η δομή των στοιχείων σε διάγραμμα UML. (Πηγή: Groeger, 2012)

#### 4.5.2.2 Level of Detail 1

Στο LoD1 ένα κτίριο μπορεί να απεικονιστεί είτε ως στερεό είτε ως πολλαπλές επιφάνειες. Καθώς ένα κτίριο αποτελείται από διάφορα μέρη (BuildingParts) υπάρχει η δυνατότητα κάθε μέρος του να έχει διαφορετικά γεωμετρικά (π.χ. ύψος) και θεματικά (π.χ. έτος κατασκευής) χαρακτηριστικά. Τα χαρακτηριστικά ενός BuildingPart αναφέρονται στο συγκεκριμένο μέρος, ενώ τα χαρακτηριστικά του Building αναφέρονται σε όλα τα μέρη (BuildingParts) από τα οποία αυτό αποτελείται. Στην εικόνα που ακολουθεί το κτίριο b αποτελείται από δύο μέρη bp1 και bp2. Κάθε μέρος έχει διαφορετικό τύπο σκεπής και αναπαρίστανται ως στερεά (η αντίστοιχη σχέση είναι Lod1Solid). Ο τύπος της σκεπής αναφέρεται στην πραγματικότητα και όχι σε αυτή που απεικονίζεται στο συγκεκριμένο επίπεδο λεπτομέρειας. Η επιφάνεια ανάμεσα στα δύο κτίρια απεικονίζεται χρησιμοποιώντας τοπολογικούς όρους. Ο όρος Terrain Intersection Curve (TIC) αντιπροσωπεύει τη γραμμή όπου το εξωτερικό όριο του κτιρίου εφάπτεται στην επιφάνεια του εδάφους.

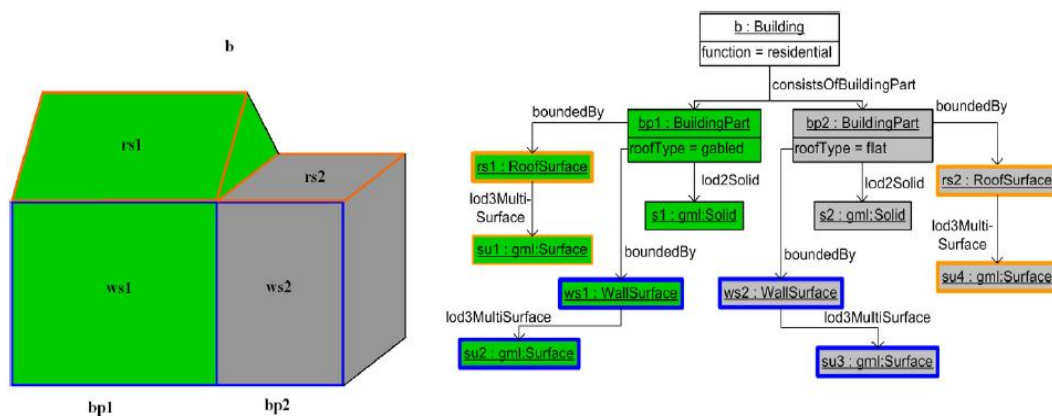


Εικόνα 27-Κτίριο σε LoD1 δεξιά. Αριστερά η δομή των στοιχείων σε διάγραμμα UML. (Πηγή: Groeger, 2012)

### 4.5.2.3 Level of Detail 2

Στο επίπεδο λεπτομέρειας δυο προστίθεται μια γενικευμένη απεικόνιση της στέγης. Επιπρόσθετα οι εξωτερικές επιφάνειες το κτιρίου απεικονίζονται ως θεματικά χαρακτηριστικά. Οι τοίχοι απεικονίζονται ως WallSurfaces, η οροφή ως RoofSurface, ενώ το ισόγειο δάπεδο του κτιρίου ως GroundSurface. Στο παράδειγμα που ακολουθεί η επιφάνεια rs1 της σκεπής του κτιρίου bp1 και η επιφάνεια rs2 της σκεπής του bp2 είναι χαρακτηριστικά με επιφανειακή γεωμετρία. Το ίδιο ισχύει και για τους τοίχους ws1 και ws2.

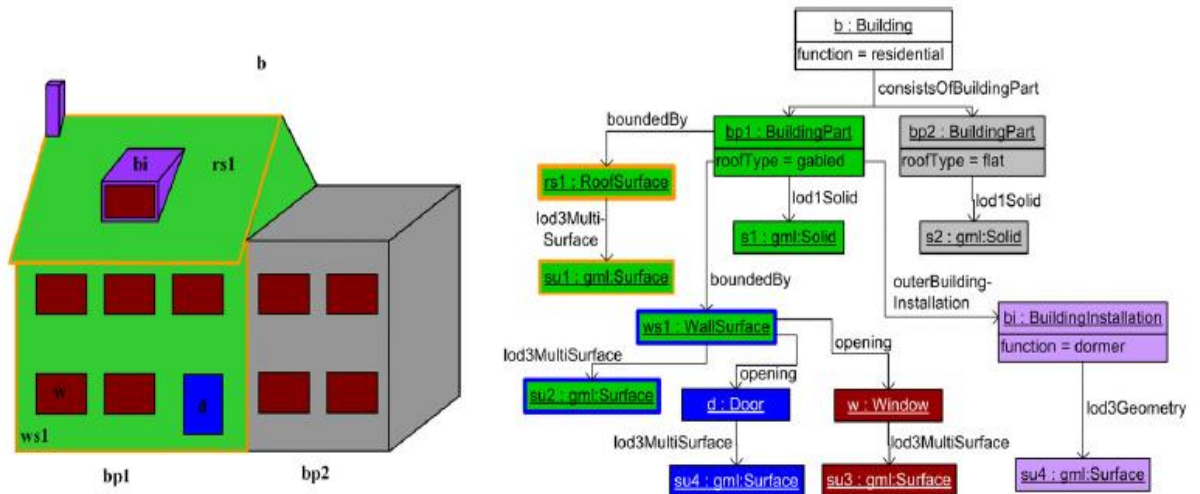
Για κτίρια το οποία δεν είναι κλειστά, όπως αποθήκες ή αχυρώνες, χρησιμοποιείται η ιδιότητα ClosureSurface προκειμένου να εξασφαλιστεί η απεικόνιση του ως ένα γεωμετρικά κλειστό στερεό. Οι ClosureSurfaces επειδή δεν ανταποκρίνονται σε κάποιο στοιχείο της πραγματικότητας χρησιμοποιούνται μόνον όταν χρειάζεται να υπολογιστεί ο όγκος του συγκεκριμένου αντικειμένου. Στην δεύτερη έκδοση του CityGML δυο νέοι τύποι θεματικών επιφανειών έχουν προστεθεί στις θεματικές επιφάνειες του εξωτερικού κελύφους των κτιρίων, των τούνελ και των γεφυρών, η OuterCeilingSurface και η OuterFloorSurface. Υπερ-κλάση των παραπάνω θεματικών επιφανειών, Roofsurface, WallSurface, GroundSurface, ClosureSurface, είναι η κλάση BoundarySurface.



Εικόνα 28-Κτίριο σε LoD2αριστερά.Δεξιά η δομή των στοιχείων σε διάγραμμα UML (Πηγή: Groeger, 2012)

### 4.5.2.4 Level of Detail 3

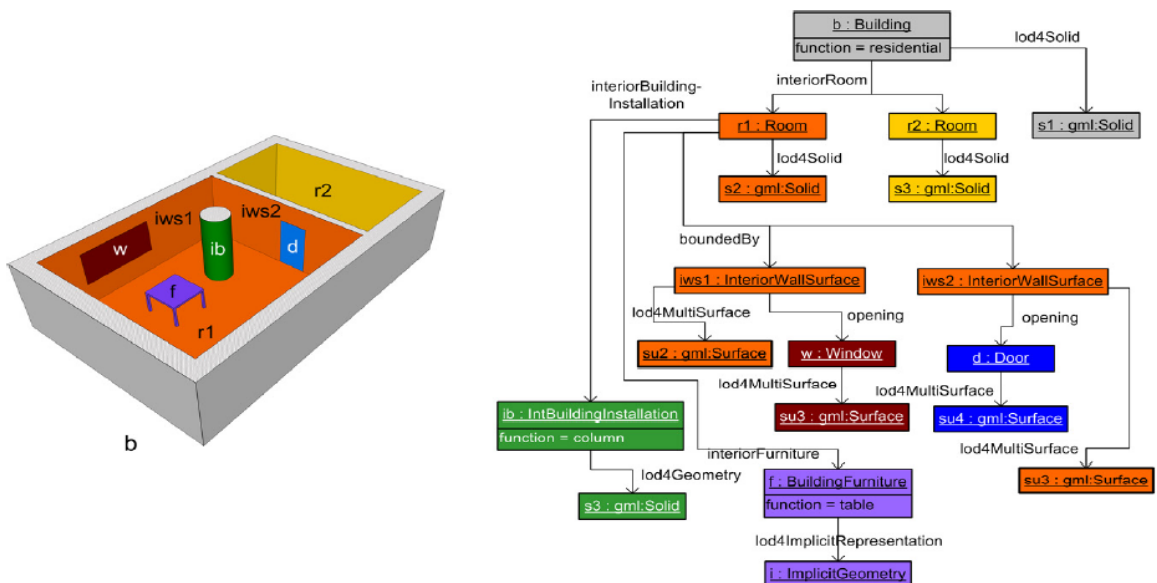
Αν επεκταθεί το επίπεδο 2 προσθέτοντας ανοίγματα (πόρτες, παράθυρα), λεπτομέρειες στη σκεπή (βεράντες, σοφίτες, καμινάδες) και στην πρόσοψη, τότε προκύπτει το επίπεδο λεπτομέρειας 3. Τα αντικείμενα αυτά αναπαρίστανται ως χαρακτηριστικά με τα δικά τους χαρακτηριστικά και γεωμετρία. Στην εικόνα παρακάτω φαίνεται ένα κτίριο με παράθυρα w, πόρτα d, και σοφίτα bi, η οποία αποδίδεται ως BuildingInstallation με τη λειτουργία dormer (σοφίτα). Τα παράθυρα και η πόρτα αποδίδονται στην επιφάνεια του τοίχου και της σκεπής στην οποία ανήκουν, αντίστοιχα, ενώ η σοφίτα στο κομμάτι του κτιρίου που ανήκει.



Εικόνα 29-Κτίριο σε LoD3 αριστερά. Δεξιά η δομή των στοιχείων σε διάγραμμα UML (Πηγή: Groeger, 2012)

#### 4.5.2.5 Level of Detail 4

Στο επίπεδο λεπτομέρειας 4 προστίθενται εσωτερικά στοιχεία του κτιρίου. Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνεται ένα κτίριο *b*, το εξωτερικό σχήμα του οποίου δίνεται από το στερεό *s1*, το οποίο διαθέτει δυο δωμάτια *r1* και *r2*. Η γεωμετρία κάθε δωματίου αποδίδεται από τα στερεά *s2* και *s3* αντίστοιχα. Το δωμάτιο 1 περιέχει εσωτερικές επιφάνειες τοίχου (InteriorWallSurface, *iws1*, *iws2*) οι οποίες έχουν τα ανοίγματα *w* και *d*. Η κολώνα αποδίδεται ως InteriorBuildingInstallation *ib* και με στερεή γεωμετρία *s3*, ενώ το τραπέζι *f* αποδίδεται ως BuildingFurniture με γεωμετρία implicit.



Εικόνα 30-Κτίριο σε LoD4 αριστερά. Δεξιά η δομή των στοιχείων σε διάγραμμα UML (Πηγή: Groeger, 2012)

Ξεκινώντας από το επίπεδο λεπτομέρειας 2 οι εξωτερικές επιφάνειες των οντοτήτων Building και BuildingPart μπορούν να απεικονιστούν ως σημασιολογικά αντικείμενα. κ.α. Καθώς όλες προέρχονται από την τάξη CityObject έχουν ορισμένα χαρακτηριστικά και σχέσεις. Στο επίπεδο λεπτομέρειας 3 και 4 ανοίγματα στην εξωτερική επιφάνεια αντιπροσωπεύονται αποκλειστικά από τα θεματικά στοιχεία της τάξης Window ή Door. Μόνο στο επίπεδο 4 επιτρέπεται να υπάρχουν δωμάτια, Rooms.

Objects	LoD1	LoD2	LoD3	LoD4
BuildingFurniture	--	--	--	x
CeilingSurface	--	--	--	√
ClosureSurface	--	--	--	√
Door	--	--	√	x
FloorSurface	--	--	--	√
GroundSurface	√	√	√	√
IntBuildingInstallation	--	--	--	x
InteriorWallSurface	--	--	--	x
RoofSurface	√	√	√	√
Room	--	--	--	x
RoomInstallation	--	--	x	x
WallSurface	√	√	√	√
Window	--	--	x	x
the objects except buildings	x	x	x	x

**Πίνακας 2- Τα στοιχεία που απεικονίζονται σε κάθε επίπεδο λεπτομέρειας (LoD). (Πηγή: Groeger, 2012)**

## 4.6 Γεωμετρία

Το CityGML χρησιμοποιεί ένα υποσύνολο του γεωμετρικού μοντέλου της GML3 το οποίο είναι μια εφαρμογή του προτύπου ISO19107 "Spatial Schema". Σύμφωνα με τα παραπάνω οι γεωμετρίες των γεωγραφικών στοιχείων απεικονίζονται σαν αντικείμενα τα οποία υποδιαιρούνται και σε μικρότερα τμήματα. Σύνθετες γεωμετρίες, όπως η CompositeSurface πρέπει να είναι τοπολογικά συνδεδεμένες και να έχουν ίδια μορφή με μια πρωτογενή ίδιων διαστάσεων, π.χ. Surface. Ενιαία γεωμετρικά σύνολα, όπως τα MultiSurface ή MultiSolid, δεν επιβάλλουν τοπολογικούς περιορισμούς και για αυτό το λόγο τα συστατικά τους μέρη μπορούν να εισχωρούν το ένα στο άλλο ή να αποκόπτονται. Επιπλέον η GML3 έχει την δίνει τη δυνατότητα υιοθέτησης ενός συστήματος αναφοράς 2D + 1D, το οποίο θα διαθέτει διαφορετικά συστήματα αναφοράς για τις γεωγραφικές συντεταγμένες (x,y) και για τις υψομετρικές (z). Γενικά, η ρητή συσχέτιση κάθε γεωμετρίας με ένα σύστημα αναφοράς διευκολύνει την ενσωμάτωση συνόλων δεδομένων με την εφαρμογή του αντίστοιχου γεωδαιτικού datum και του συστήματος αναφοράς.

Ογκομετρικές γεωμετρίες μοντελοποιούνται σύμφωνα με την Boundary Representation, όπου κάθε όγκος αναπαρίσταται ως στερεό το οποίο περικλείεται από μια κλειστή επιφάνεια (συνήθως μια CompositeSurface). Οι επιφάνειες αυτές δεν πρέπει να επικαλύπτονται, να εισχωρούν η μια στην άλλη ή να περιέχουν τρύπες. Σε αυτή τη περίπτωση οι συντεταγμένες πρέπει να εντάσσονται σε ένα παγκόσμιο

σύστημα αναφοράς και δεν επιτρέπονται οι μετασχηματισμοί σε τοπικό επίπεδο. Τα τρισδιάστατα συστήματα αναφοράς αναφέρονται είτε σε γεωγραφικά είτε σε προβολικά συστήματα αναφοράς.

Η επιλογή ενός απόλυτου συστήματος αναφοράς εξασφαλίζει ότι κάθε γεωμετρία θα βρίσκεται σε ένα σταθερό σημείο στο χώρο. Αυτό επιτρέπει τη δημιουργία και τη διατήρηση χωρικών ευρετηρίων σε μια γεωβάση ή σε γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών. Στην πραγματικότητα, εμπορικά ή ανοιχτά λογισμικά Συστήματα Διαχείρισης Σχεσιακών Βάσεων Δεδομένων (RDBMS), όπως η Oracle Spatial ή η PostGIS, υποστηρίζουν σε μεγάλο βαθμό το γεωμετρικό μοντέλο της GML καθώς και διαφορετικά συστήματα συντεταγμένων. Ωστόσο, ένα μειονέκτημα τους είναι ότι δεν μπορούν να επαναχρησιμοποιήσουν ορισμούς σχημάτων, όπως τα scenegraphs και η CSG (Constructive Solid Geometry). Για παράδειγμα, αν ένα αστικό μοντέλο περιέχει 100 δέντρα ή λάμπες, και τα 100 διαφορετικά μεταξύ τους, τότε θα πρέπει να δημιουργηθούν 100 διαφορετικές αλλά όμοιες γεωμετρίες. Προκειμένου να ξεπεραστεί αυτό το μειονέκτημα το CityGML παρέχει μια επέκταση του γεωμετρικού μοντέλου της GML3, το οποίο ονομάζεται ImplicitGeometry. Οι ImplicitGeometries αναφέρονται στη γεωμετρία ενός σχήματος σε ένα τοπικό σύστημα αναφοράς και επιπλέον διαθέτουν ένα πίνακα μετατροπής και ένα σταθερό σημείο σε ένα παγκόσμιο σύστημα αναφοράς. Οι πραγματικές συντεταγμένες υπολογίζονται με πολλαπλασιασμό των τοπικών συντεταγμένων με τον πίνακα μετατροπής και στη συνέχεια προσθέτοντας τις συντεταγμένες του σταθερού σημείου. Η ιδέα αυτή χρησιμοποιείται στο CityGML για την απεικόνιση αντικειμένων κτίρια, εξοπλισμός πόλης ή βλάστηση.

Βασικός στόχος του CityGML είναι η ευρεία αποδοχή του και για το λόγο αυτό θέτει περιορισμό σε γεωμετρίες που περιέχουν καμπύλες (curved geometries), μιας και τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) αλλά και άλλα χωρικά συστήματα διαχείρισης βάσεων δεδομένων συνήθως δεν μπορούν να τις διαχειριστούν. Επομένως, καμπύλες επιφάνειες του πραγματικού κόσμου προσεγγίζονται από πολυεδρικές και επίπεδες επιφάνειες (Kolbe, 2008).

Σύμφωνα με το ISO 19109 μία ή και παραπάνω χωρικές οντότητες μπορούν να αντιστοιχηθούν σε ένα γεωγραφικό στοιχείο. Στο περιβάλλον του CityGML αυτό χρησιμοποιείται ευρέως καθώς στις περισσότερες κλάσεις, όπως AbstractBuilding, Room κ.α., αντιστοιχίζονται γεωμετρίες διαφορετικές για κάθε επίπεδο λεπτομέρειας μέσω πολλαπλών συσχετίσεων (π.χ. lod1Solid, lod2Solid, lod3Solid κ.ο.κ.) σε μια γεωμετρική κλάση (π.χ. Solid).

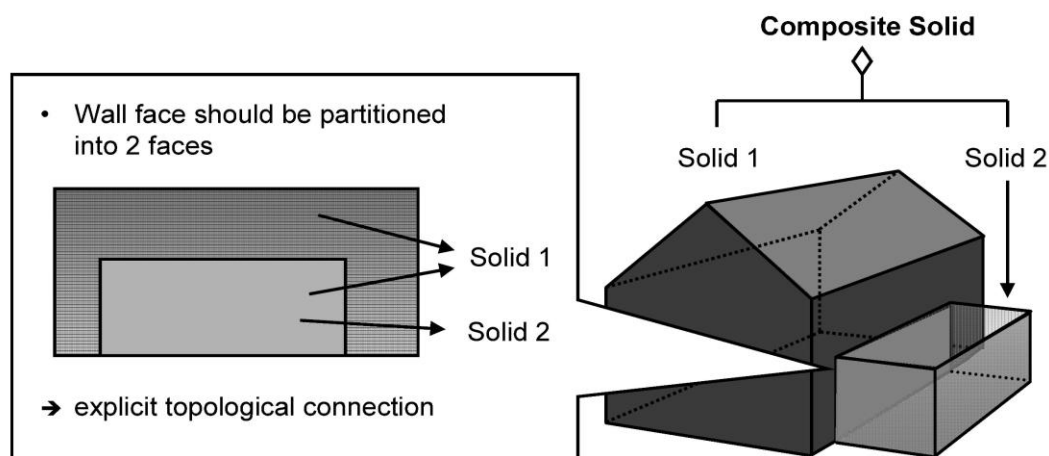
Για ένα δεδομένο μοντέλο πόλης δεν είναι γνωστό κατά πόσο τα δεδομένα είναι τοπολογικά ορθά. Για παράδειγμα, εάν οι εξωτερικές επιφάνειες ενός κτιρίου είναι κλειστές ή αν εμπεριέχουν επιπλέον επιφάνειες οι οποίες όμως να μην ανήκουν στον εξωτερικό όγκο (π.χ. μια σκεπή). Για αυτό το λόγο η γεωμετρία σχεδόν όλων των θεματικών κλάσεων απεικονίζονται είτε ως Solids είτε ως MultiSurfaces. Βασική διαφορά ανάμεσα στους δύο τρόπους απεικόνισης είναι ότι ενώ οι MultiSurfaces μπορούν να είναι μια απεριόριστη συλλογή επιφανειών στο 3D χώρο, τα Solids πρέπει να περικλείονται από μια κλειστή επιφάνεια.

## 4.7 Τοπολογία

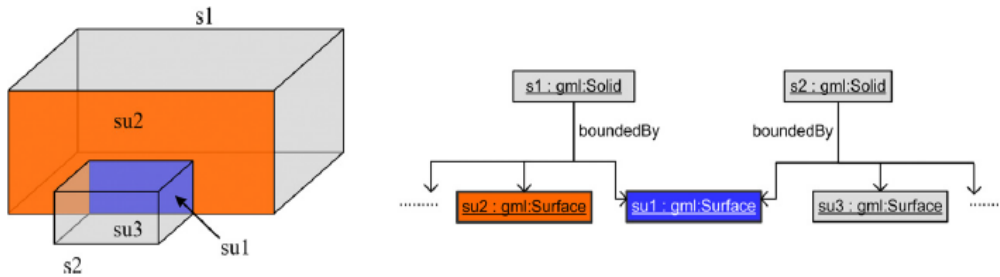
Για μεγάλο αριθμό εφαρμογών η τοπολογική ορθότητα των δεδομένων είναι ιδιαίτερα σημαντική. Παραδείγματος χάριν, οι επιφάνειες που περικλείουν ένα κτίριο πρέπει να δημιουργούν ένα κλειστό πολύγωνο, έτσι ώστε να είναι δυνατό να υπολογιστεί ο όγκος του. Επίσης, στερεές οντότητες αντικειμένων που είναι το ένα δίπλα στο άλλο επιτρέπεται να ακουμπούν αλλά όχι να εισέρχεται το ένα στο άλλο. Σε περιπτώσεις πλοήγησης στο εσωτερικό χώρων, τα δωμάτια πρέπει να είναι τοπολογικά συνδεδεμένα προκειμένου να μπορεί να σχεδιαστεί μια διαδρομή.

Στο παρελθόν, έχουν παρουσιαστεί πολλά διαφορετικά πλαίσια αναπαράστασης της τρισδιάστατης τοπολογίας. Η πλειοψηφία αυτών προτείνει μια γεωμετρική-τοπολογική δομή, όπου οι συντεταγμένες αποθηκεύονται στους κόμβους ή στα σημεία τα οποία συνδέονται με τους κόμβους. Έτσι, κατασκευάζονται βασικά στοιχεία μεγαλύτερων διαστάσεων από στοιχεία μικρότερων διαστάσεων. Με αυτό τον τρόπο, κόμβοι, πλευρές και όψεις μπορούν να ανήκουν από κοινού σε διαφορετικά βασικά στοιχεία προκειμένου εν συνεχεία να προκύπτουν πιο σύνθετα σχήματα. Με αυτό τον τρόπο αποφεύγονται τα κενά και οι διατμήσεις.

Το τοπολογικό μοντέλο που υιοθετεί το πρότυπο ISO 19107 και η GML3 ακολουθεί τη διαδικασία της πλήρους αποσύνθεσης ενός  $n$ -διαστάσεων βασικού στοιχείου σε  $(n-1)$  διαστάσεων σχήμα. Το οποίο στη συνέχεια αναλύεται σε επίπεδο κόμβων (OD). Κάθε τέτοια βασικό στοιχείο αποκτά μοναδική ταυτότητα και γίνεται αντικείμενο. Επιπρόσθετα, η τοπολογική αναπαράσταση σε GML απαιτεί την ύπαρξη κατάλληλων τοπολογικών ιδιοτήτων στο σχήμα του CityGML. Αυτό, πρακτικά, σημαίνει ότι στο σχήμα του CityGML εκτός από τις γεωμετρικές ιδιότητες, όπως `lod1Solid` έως `lod4Solid` της κλάσης `Building`, θα πρέπει να προστεθούν και τοπολογικές ιδιότητες, όπως `lod1TopoSolid` έως `lod4TopoSolid`.



Εικόνα 31-Παράδειγμα τοπολογικής σχέσης. Ένα κτίριο με δίπλα του χώρο στάθμευσης. (Πηγή: Kolbe, 2008)



**Εικόνα 32-Αναπαράσταση της τοπολογίας. Το κτίριο (s1) μοιράζεται την επιφάνεια (su1, μπλε) με το γκαράζ (s2). Η μπροστινή επιφάνεια του κτιρίου χωρίζεται σε δυο επιφάνειες (su1 και su2). Δεξιά το διάγραμμα δείχνει τη σχέση μεταξύ των αντικειμένων. (Πηγή: Groeger, 2012)**

Παρατηρώντας κανείς την παραπάνω εικόνα κατανοεί πως είναι απαραίτητο να αποσυνθέσει το κτίριο σε κόμβους ώστε να καθορίσει την τοπολογική σχέση ανάμεσα στο κτίριο και στο χώρο στάθμευσης. Αρκεί, λοιπόν, να χρησιμοποιηθεί δυο φορές η κοινή τους επιφάνεια. Αυτό υλοποιείται ορίζοντας τη γεωμετρία της επιφάνειας σύμφωνα με τον προσδιορισμό της στερεής γεωμετρίας είτε του κτιρίου είτε του χώρου στάθμευσης. Στην αναπαράσταση του άλλου στερεού η επιφάνεια αυτή θα συμπεριλαμβάνεται ως αναφορά (και όχι σαν τιμή) και έτσι δημιουργείται η συσχέτιση μεταξύ των δυο στερών.

## 4.8 Απεικόνιση

Πληροφορίες σχετικά με την εμφάνιση μιας επιφάνειας, όπως παρατηρούμενες ιδιότητες στην επιφάνεια θεωρούνται αναπόσπαστο κομμάτι των τρισδιάστατων εικονικών μοντέλων μαζί με τις χωρικές και τις σημασιολογικές ιδιότητες του. Η θεματική κατηγορία Appearance περιλαμβάνει δεδομένα για τις επιφάνειες όπως αυτά εμφανίζονται σε RGB ή υπέρυθρους (IR) αισθητήρες μηχανών. Επιπλέον, η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει και δεδομένα τα οποία δεν είναι ορατά με το μάτι, όπως για παράδειγμα η υπέρυθη ακτινοβολία, οι εκπομπές θορύβων ή ηλιακής ακτινοβολίας, η καταπόνηση από σεισμό κ.α. Τα δεδομένα αυτά εντάσσονται σε κατηγορίες οι οποίες ονομάζονται themes και επομένως τα δεδομένα απεικόνισης χρησιμεύουν τόσο για οπτικοποίηση όσο και για ανάλυση.

Σε κάθε επιφάνεια είναι δυνατό να αντιστοιχούν παραπάνω από μια απεικονίσεις, π.χ. μια εικόνα πρόσοψης ενός κτιρίου καλοκαίρι και άλλη μια χειμώνα. Κάθε απεικόνιση θα πρέπει να αντιστοιχίζεται σε ένα θέμα, όπως “summer RGB theme” ή “winter IR theme”, έτσι ώστε τα να διευκολύνεται κάποιος που επιθυμεί να δει το ίδιο αντικείμενο σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Η αλλαγή θέματος, πρακτικά σημαίνει αντικατάσταση των υλικών της επιφάνειας και των υφών. Με τη χρήση Θεμάτων (themes) η ύπαρξη πολλών υφών είναι δυνατή και στο περιβάλλον του CityGML.

Τα απαραίτητα δεδομένα για τη δημιουργία της απεικόνισης δίνονται είτε από εικόνες που δείχνουν την υφή είτε ορίζοντας το υλικό (ενσωματώνονται από X3D και

COLLADA δεδομένα). Το CityGML προσφέρει διαφορετικούς τρόπους απεικόνισης των κανονικοποιημένων δεδομένων στις επιφάνειες: GeoreferencedTextures χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν την εμφάνιση μη κάθετων επιφανειών. Με αυτό το τρόπο μια ορθοφωτογραφία μαζί με τη γεωαναφορά της μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να περιγραφεί η επιφάνεια ενός πλήθους σκελών. Ο υπολογισμός της έκτασης των υφών από το 2D αποτύπωμα στην αντίστοιχη 3D επιφάνεια έγκειται στο λογισμικό οπτικοποίησης.

Οι ParameterizedTextures χρησιμοποιούν είτε συγκεκριμένες συντεταγμένες για κάθε επιφάνεια είτε ένα πίνακα προβολής. Ο πίνακας αυτός μπορεί να προσδιοριστεί από τον εξωτερικό προσανατολισμό της φωτογραφικής μηχανής και το εστιακό μήκος και να συσχετιστεί με την εικόνα υψής. Οι τρισδιάστατες επιφάνειες μπορούν απλά να αναφέρονται στην εικόνα όπου η επιφάνεια τους απεικονίζεται καλύτερα. Τα υπόλοιπα υπολογίζονται με βάση αυτές τις πληροφορίες από λογισμικά οπτικοποίησης.

#### **4.9 Χωρική και σημασιολογική συνοχή**

Το πρότυπο ISO19109 για την μοντελοποίηση των γεωγραφικών χαρακτηριστικών συνεπάγεται μια διπλή δομή των θεματικών κλάσεων (feature classes) καθώς και ορισμένες χωρικές ιδιότητες (με βάση τις γεωμετρικές και τις τοπολογικές κλάσεις του ISO19107). Στο περιβάλλον του CityGML αντικείμενα όπως επί παραδείγματι τα κτίρια μπορούν να διαχωριστούν και με βάση τη θεματική τους δομή σε BuildingParts, Roms, WallSurfaces, αλλά και με βάση τη γεωμετρική τους δομή σε CompositeSolids τα οποία αποτελούνται από Solids και αυτά περικλείονται από CompositeSurfaces.

Η ύπαρξη συνοχής ανάμεσα στα χωρικά και τα θεματικά δεδομένα των διάφορων αντικειμένων είναι καθοριστικής σημασίας. Αυτό, πρακτικά σημαίνει ότι κάθε σύνθετο αντικείμενο συσχετίζεται με ένα σύνθετο γεωμετρικό αντικείμενο και σε κάθε θεματικό συνθετικό του αντιστοιχίζεται και μια γεωμετρία (ως μικρότερες δομές της αρχικής σύνθετης γεωμετρίας). Για παράδειγμα, ένα κτίριο έχει μια στερεή γεωμετρία σε επίπεδο λεπτομέρειας LoD2. Το κτίριο διαχωρίζεται σε θεματικές επιφάνειες, όπως WallSurface, RoofSurface κ.λπ., και επομένως οι σχετικές γεωμετρίες θα πρέπει να αναφέρονται στη γεωμετρία αυτών των επιφανειών που αποτελούν το εξωτερικό κέλυφος του κτιρίου. Ένα σύνολο δεδομένων με συνοχή έχει το πλεονέκτημα ότι κάθε γεωμετρικό αντικείμενο "γνωρίζει" τι ρόλο παίζει και επιπλέον κάθε θεματικό χαρακτηριστικό "γνωρίζει" τη θέση του.

Το CityGML παρέχει ευελιξία σχετικά με τη συνοχή των χωρικών και σημασιολογικών χαρακτηριστικών. Μπορεί να δημιουργεί πλήρως συνεκτικά σύνολα δεδομένων αλλά και σύνολα δεδομένων όπου είτε τα σημασιολογικά αντικείμενα είτε τα γεωμετρικά είναι πιο σωστά δομημένα.



## 4.10 Ελεγκτασιμότητα

Το CityGML έχει σχεδιαστεί σαν ένα παγκόσμιο τοπογραφικό μοντέλο πληροφοριών που ορίζει τις τάξεις χωρικών στοιχείων (feature classes) και χαρακτηριστικά τα οποία είναι χρήσιμα σε μεγάλο αριθμό εφαρμογών. Ωστόσο, σε πολλές πρακτικές εφαρμογές είναι απαραίτητο να αποθηκεύονται και να ανταλλάσσονται επιπλέον χαρακτηριστικά ή ακόμα και 3D αντικείμενα τα οποία δεν ανήκουν στις προκαθορισμένες τάξεις.

Σε αυτές τις περιπτώσεις το CityGML παρέχει δυο διαφορετικούς τρόπους επέκτασης. Ο πρώτος είναι η χρήση γενικών αντικειμένων (GenericCityObjects) και γενικών χαρακτηριστικών (GenericAttributes), τα οποία περιλαμβάνονται στην ενότητα Generics. Οι δυο αυτές τάξεις, GenericCityObject και GenericAttribute, επιτρέπουν τη μοντελοποίηση και την ανταλλαγή τρισδιάστατων αντικειμένων, τα οποία δεν εντάσσονται σε κάποια άλλη θεματική ενότητα ή έχουν χαρακτηριστικά τα οποία δεν μπορούν να απεικονιστούν στο πλαίσιο του CityGML. Κάθε CityObject μπορεί να έχει ένα τυχαίο αριθμό επιπρόσθετων γενικών χαρακτηριστικών (generic attribute). Για κάθε γενικό χαρακτηριστικό ενός αντικειμένου το όνομα, ο τύπος και η τιμή πρέπει να καθορίζονται εντός του CityGML. Στα GenericCityObject αντιστοιχίζονται τυχαίες γεωμετρίες ή ImplicitGeometries για κάθε LoD. Η έννοια των GenericCityObject και GenericAttribute θα πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο σε περιπτώσεις που δεν υπάρχει κατάλληλη θεματική ενότητα (Groeger, Kolbe, Nagel, Haefele, 2012).

Ο δεύτερος τρόπος επέκτασης είναι μέσω του Τομέα Εφαρμογής Επεκτάσεων (Application Domain Extension, ADE) βάση του οποίου εισάγονται νέες ιδιότητες σε υφιστάμενες κατηγορίες του μοντέλου δεδομένων όπως για παράδειγμα ο αριθμός των κατοίκων ενός κτιρίου. Η επέκταση ADE πρέπει να ορίζεται απαραίτητως μέσω XML σχήματος και αυτό είναι που διαφοροποιεί το πρώτο τρόπο από τον δεύτερο. Το πλεονέκτημα αυτού του τρόπου είναι ότι η επέκταση είναι συγκεκριμένη εξ αρχής. Περισσότερα του ενός ADE μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα μόνο σύνολο δεδομένων.

## 4.11 Σχέση με άλλα 3D πρότυπα

Τα εικονικά τρισδιάστατα μοντέλα πόλεων δεν εξετάζονται μόνο από τη σκοπιά των συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών. Άλλοι τομείς, όπως η αρχιτεκτονική, η μηχανική, οι κατασκευές, η γραφιστική, έχουν αναπτύξει διάφορα άλλα πρότυπα για την απεικόνιση και την ανταλλαγή τρισδιάστατων μοντέλων πόλης. Παρακάτω αναφέρεται η σχέση του CityGML με ορισμένα τέτοια πρότυπα.

### 4.11.1 Building Information Modelling / IndustryFoundationClasses

Το Κτιριακό Μοντέλο Πληροφοριών (Building Information Model, BIM) χρησιμοποιείται στη μοντελοποίηση αντικειμένων και διαδικασιών στους κλάδους της αρχιτεκτονικής, των κατασκευών, της μηχανικής και της διαχείρισης εγκαταστάσεων (AEC/FM, CAAD). Όπως και στο CityGML έτσι και εδώ τα διάφορα θεματικά αντικείμενα απεικονίζονται με τις τρισδιάστατες χωρικές ιδιότητες τους και τις αλληλοσυσχετίσεις μεταξύ τους. Τα δεδομένα ανταλλάσσονται μέσω των Industry Foundation Classes (IFC), ένα πρότυπο ISO το οποίο περιγράφει το μοντέλο και τη

μορφή ανταλλαγής των δεδομένων για το ανθρωπογενές περιβάλλον όπως έχει αναπτυχθεί από το International Alliance for Interoperability (IAI).

Το IFC προσφέρει ένα λεπτομερές σημασιολογικό μοντέλο για την τρισδιάστατη αναπαράσταση κτιρίων χρησιμοποιώντας κατασκευαστικά στοιχεία, όπως δοκοί, τοίχοι κ.α. Όπως στην GML έτσι και στο IFC, η γεωμετρία θεωρείται ως χωρική ιδιότητα των σημασιολογικών αντικειμένων. Το IFC διαθέτει ένα πολύ ευέλικτο γεωμετρικό μοντέλο αλλά δεν υποστηρίζουν συστήματα αναφοράς, επομένως δεν είναι δυνατή η γεωαναφορά, προς το παρόν.

Μιας και αντικείμενο του IFC είναι αποκλειστικά τα κτίρια, δεν περιλαμβάνονται σε αυτό τοπογραφικά στοιχεία, όπως ανάγλυφο, βλάστηση, υδάτινοι όγκοι κ.α. Τα στοιχεία αυτά μοντελοποιούνται και συμπεριλαμβάνονται στο IFC μόνο ως generics.

Το IFC είναι ένα σημασιολογικό μοντέλο όπως και το CityGML, με διαφορετικό ωστόσο αντικείμενο και κλίμακα. Μοντέλα IFC μπορούν να μετατραπούν σε CityGML σε διαφορετικά επίπεδα λεπτομέρειας διατηρώντας πολλές από τις σημασιολογικές πληροφορίες. Γεωμετρικές της μορφής CSG (Constructive Solid Geometry) πρέπει να μετατρέπονται και αναπαριστώνται με τη μέθοδο της αναπαράστασης των ορίων (Boundary Representation, BRep). Με αυτό τον τρόπο IFC αντικείμενα μπορούν να ενσωματωθούν στο περιβάλλον ενός μοντέλου πόλης εντός ενός ΓΣΠ ή μιας χωρικής βάσης δεδομένων και να υπόκεινται σε θεματικά και χωρικά ερωτήματα.

Η δημιουργία IFC αντικειμένων από δεδομένα CityGML είναι ένα πεδίο για περαιτέρω έρευνα στο μέλλον, διότι από το μοντέλο του CityGML τα τρισδιάστατα στοιχεία όγκου θα πρέπει να ανακατασκευαστούν. Παρόλα αυτά το CityGML είναι ένα ενδιάμεσο βήμα στην αυτόματη δημιουργία IFC μοντέλων γιατί οι κλάσεις του CityGML όπως οι WallSurface, RoofSurface, κ.α. είναι πιο κοντά στα παρατηρούμενα φωτογραμμετρικά στοιχεία ή στις γεωδαιτικές μετρήσεις, από τα συστατικά στοιχεία του μοντέλου IFC.

#### *4.11.2 3D Computer Graphics and Geovisualisation / X3D & KML*

Το CityGML λειτουργεί σαν συμπληρωματικό προτύπων, όπως τα X3D, VRML και COLLADA, σε περιπτώσεις τρισδιάστατης γραφικής σχεδίασης, ή του KML σε περιπτώσεις απεικόνισης.

Τα πρότυπα αυτά οπτικοποιούν επαρκώς τρισδιάστατα μοντέλα και παρέχουν τη δυνατότητα διαδραστικότητας με αυτά. Τόσο στο X3D όσο και στο KML μπορούν να χρησιμοποιηθούν γεωαναφερμένες συντεταγμένες. Παρόλο που θεωρητικά είναι δυνατή η ανταλλαγή σημασιολογικής πληροφορίας με το X3D ή το KML, κανένα από τα δυο δεν ορίζει τον τρόπο με τον οποίο αναπαριστώνται σύνθετα γεωγραφικά χαρακτηριστικά και οι μεταξύ τους σχέσεις.

Το CityGML είναι μια μορφή δεδομένων από την οποία μπορούν εύκολα να προκύψουν X3D και KML δεδομένα. Ωστόσο το CityGML δεν έχει σαν αντικείμενο την πλήρη οπτικοποίηση μοντέλων αλλά η σημασιολογική πληροφορία που το

εμπλουτίζει μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να διαχωρίσει αντικείμενα και να δημιουργήσει τρισδιάστατα γραφικά σχήματα, ιδιότητες απεικόνισης και υλικά.

#### *4.11.3 European spatial data infrastructure*

Το INSPIRE (Infrastructure for Spatial Information in the European Community) είναι μια πρωτοβουλία της ευρωπαϊκής επιτροπής, η οποία έχει σαν στόχο τη δημιουργία υποδομών για την επίτευξη της διαλειτουργικότητας των χωρικών δεδομένων του δημόσιου τομέα. Κοινά σημασιολογικά μοντέλα για 34 θεματικές κατηγορίες σχεδιάζονται από Thematic Working Groups για να επιτευχθεί η ανταλλαγή δεδομένων. Το κτιριακό μοντέλο, λοιπόν, του INSPIRE έχει άμεση σχέση με το CityGML. Η μελέτη των διαθέσιμων μοντέλων δεδομένων, της διαθεσιμότητας των δεδομένων και των εφαρμογών που έχουν ήδη υλοποιηθεί, οδήγησε στην υιοθέτηση τριών αρχών για το κτιριακό μοντέλο.

- i. Ευελιξία του μοντέλου. Δεδομένου ότι οι εφαρμογές του συγκεκριμένου μοντέλου ποικίλουν καθώς και η διαθεσιμότητα των δεδομένων, το μοντέλο θα πρέπει να διέπεται από ευελιξία.
- ii. Τρισδιάστατη απεικόνιση των κτιρίων. Η 3D απεικόνιση των κτιρίων χρησιμοποιείται σε εφαρμογές όπως η χαρτογράφηση της ηχορύπανσης, της ηλιακής ακτινοβολίας ή ο εντοπισμός εναέριων εμποδίων.
- iii. Διεύρυνση του όρου building. Σε πολλές από τις εφαρμογές ως κτίριο νοείται εκτός από το κέλυφος του και οποιαδήποτε επιπλέον κατασκευή διαθέτει, όπως για παράδειγμα κεραίες και καμινάδες.

Για να μπορούν να εφαρμοστούν αυτές οι αρχές το κτιριακό μοντέλο χωρίζεται στα εξής τέσσερα προφίλ: το core2D, το extended2D, το core3D, το extended3D. Η γεωμετρία των 2D προφίλ ορίζεται από 2D πολύγωνα ενώ η 3D γεωμετρία υιοθετείται από το CityGML. Στοιχεία όπως η τάξη Building και BuildingPart, οι εξωτερικές συνδέσεις, και χαρακτηριστικά, όπως RoofType, measureHeight, YearOfConstruction, Number of storeys, έχουν ενσωματωθεί στο μοντέλο του INSPIRE. Ωστόσο, δυο επεκτάσεις στο μοντέλο του CityGML, έγιναν πρώτα στο μοντέλο του INSPIRE και έπειτα ενσωματώθηκαν στο CityGML. Αρχικά, στο προφίλ extended3D η θεματική κατηγορία BoundarySurfaces περιλαμβάνει δυο χαρακτηριστικά επιπλέον, το materialOfRoof και το materialOfFacade. Η επέκταση αυτή έγινε διότι το INSPIRE εστιάζει σε περιβαλλοντικές εφαρμογές και επομένως τα δυο αυτά χαρακτηριστικά είναι σημαντικά. Έπειτα, το μοντέλο του CityGML έχει επεκταθεί ώστε να συμπεριλαμβάνει και κατασκευές οι οποίες δεν θεωρούνται σαν κτίριο.

Γενικά, η εναρμόνιση των δυο μοντέλων και η αμφίδρομη μετάβαση από το ένα στο άλλο είναι ένα σημαντικό ζήτημα. Η ανάπτυξη ενός INSPIRE-ADE για το CityGML είναι κάτι που θα συμβάλει στη μετάβαση από το ένα μοντέλο στο άλλο.

## 4.12 Η βάση 3D City Database (3DCityDB)

Η 3D City Database είναι μια ελεύθερη βάση δεδομένων για την αποθήκευση, την αναπαράσταση και τη διαχείριση εικονικών τρισδιάστατων μοντέλων πόλης. Το μοντέλο της βάσης στηρίζεται στα πρότυπα χωρικών σχεσιακών βάσεων. Η 3D CityDatabase περιλαμβάνει και επιπλέον εργαλεία για την σημασιολογική διαχείριση, την ιεραρχική δόμηση των δεδομένων και την αναπαράσταση τους σε πολλαπλά επίπεδα λεπτομέρειας, ενώ διευκολύνει την μοντελοποίηση σε περιβάλλον GIS. Το σχήμα της βάσης έχει οριστεί με βάση το πρότυπο CityGML. Η 3DCityDB υποστηρίζει τα συστήματα Oracle και PostgreSQL με την επέκταση PostGIS. Τα δυο αυτά συστήματα είναι Συστήματα Διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων (Database Managing System- DBMS) και παρέχουν ολοκληρωμένη υποστήριξη για τρισδιάστατα χωρικά δεδομένα.

Κάποια από τα χαρακτηριστικά της 3DCityDB είναι:

- Πολύπλοκα θεματικά μοντέλα
- Πέντε επίπεδα λεπτομέρειας
- Υποστήριξη πολλαπλών αναπαραστάσεων
- Σύνθετα ψηφιακά μοντέλα εδάφους
- Αναπαράσταση των γενικών (Generic) και πρωτότυπων τρισδιάστατων αντικειμένων
- Ευέλικτες 3D γεωμετρίες
- Διαχείριση μεγάλων αεροφωτογραφιών

Ωστόσο, το βασικότερο εργαλείο της 3DCityDB είναι το Importer/Exporter. Το εργαλείο αυτό χρησιμοποιείται για την εισαγωγή και εξαγωγή CityGML αρχείων, ενώ ακόμα παρέχει τη δυνατότητα εξαγωγής τους σε μορφή KML και COLLADA.

## 4.13 Εφαρμογές

Το CityGML χρησιμοποιείται ήδη σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Για παράδειγμα η χαρτογράφηση της ηχορύπανσης στην πολιτεία North-Rhine Westphalia στη Γερμανία έχει βασιστεί σε δεδομένα CityGML, περίπου 8.6 εκατομμύρια κτίρια σε LoD1, δρόμοι και σιδηροδρομικά δίκτυα σε LoD0 και ψηφιακό μοντέλο εδάφους σε LoD1. Προκειμένου να υλοποιηθεί η προσομοίωση των ηχητικών εκπομπών, δημιουργήθηκε ένα συγκεκριμένο ADE με τον τίτλο Noise ADE. Το Noise ADE επεκτείνει τις τάξεις χωρικών στοιχείων του CityGML και συμπεριλαμβάνει δεδομένα σχετικά με τον αριθμό των αυτοκινήτων κατά τη διάρκεια της μέρας και της νύχτας, τον τύπο του οδοστρώματος και το υλικό του. Επιπλέον, δημιουργήθηκε ένας ακόμα τύπος χαρακτηριστικού που αντιπροσωπεύει τοίχους προστασίας από τον ήχο. Η συγκεκριμένη εφαρμογή είναι διαθέσιμη διαδικτυακά μέσω Web Feature Service (WFS).

Πολλοί δήμοι έχουν αρχίσει να δημιουργούν και να ανταλλάσσουν 3D μοντέλα πόλεων σύμφωνα με το πρότυπο του CityGML. Τα μοντέλα αυτά χρησιμοποιούνται ευρέως σε περιπτώσεις αστικού σχεδιασμού και τουρισμού. Πόλεις όπως το

Βερολίνο, η Στουτγάρδη, το Μόναχο, η Φρανκφούρτη, το Ντίσελντορφ, έχουν δημιουργήσει 3D μοντέλα με βάση το πρότυπο του CityGML.

Σε συνδυασμό με το μοντέλο IFC έχει χρησιμοποιηθεί σε σενάριο εθνικής ασφάλειας, προκειμένου να προσδιοριστεί η βέλτιστη τοποθεσία νοσοκομείο μετά από έκρηξη βόμβας. Γενικά, το CityGML είναι πολύ χρήσιμο σε περιπτώσεις διαχείρισης κινδύνου (π.χ. σχεδιασμός διαδρόμου διαφυγής σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης). Ένα πρόσθετο πλεονέκτημα που προσφέρουν είναι η προσομοίωση περιπτώσεων καταστροφών, όπως της πλημμύρας ή σεισμού. Επίσης, σημαντική είναι η χρήση αυτής της δυνατότητας για την εκπαίδευση ειδικευόμενων ατόμων σε τέτοιες περιστάσεις (π.χ. προσωπικού πυροσβεστικής υπηρεσίας ή ομάδας διάσωσης).

Ο τομέας της 3D χαρτογραφίας δεν είναι ιδιαίτερα ανεπτυγμένος λόγω της έλλειψης σημασιολογικών μοντέλων στο παρελθόν. Οι πληροφορίες για τις τάξεις των αντικειμένων καθώς και τα θεματικά χαρακτηριστικά θεωρούνται ως προαπαιτούμενο για την εφαρμογή συμβολισμού και γενίκευσης. Το CityGML προσφέρει επάρκεια δεδομένων τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν για μια μη φωτο-ρεαλιστική απόδοση.

Τέλος, ο συνδυασμός του με το Κτηματολόγιο είναι κομβικής σημασίας (Kolbe, 2009). Χάρη στις διαφορετικές οντότητες που ενσωματώνει το CityGML είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί σε πολλές εφαρμογές, και μια από αυτές είναι το Κτηματολόγιο. Οι τρόποι μοντελοποίησης καθώς και η δυνατότητα σύνδεσης με εξωτερικές βάσεις δεδομένων που παρέχει το CityGML, δίνουν τη δυνατότητα να αντλούνται περισσότερες πληροφορίες για τα στοιχεία ενός ακινήτου και τα δικαιώματα που ασκούνται επί αυτού, και επομένως να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βασική δομή στο πλαίσιο ανάπτυξης 3D Κτηματολογίου και τρισδιάστατων συστημάτων διαχείρισης γης.

## 5. Το 3D Cities Project

---

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται το ArcGIS 3D City Information Model (3DCIM), οι ενότητες που περιλαμβάνει και το περιεχόμενο κάθε μιας και οι αρχές σχεδίασης που το διέπουν. Το 3DCIM δεν είναι τίποτα άλλο παρά ένα μοντέλο πληροφοριών της ESRI, το οποίο εξυπηρετεί τις ανάγκες για διαχείριση, ανάλυση και οπτικοποίηση δεδομένων. Με το 3DCIM, τα τρισδιάστατα μοντέλα πόλεων μπορούν να ενταχθούν στο περιβάλλον του ArcGIS και του CityEngine, για να εξυπηρετήσουν πολλές εφαρμογές. Το CityGML και το 3DCIM είναι συμπληρωματικά. Επομένως, η διαλειτουργικότητα μεταξύ τους είναι κρίσιμη και αντικείμενο αυτής της εργασίας είναι να διερευνηθούν όλες οι δυνατότητες που προσφέρει το 3D Cities, ώστε να είναι συμβατό με το CityGML.

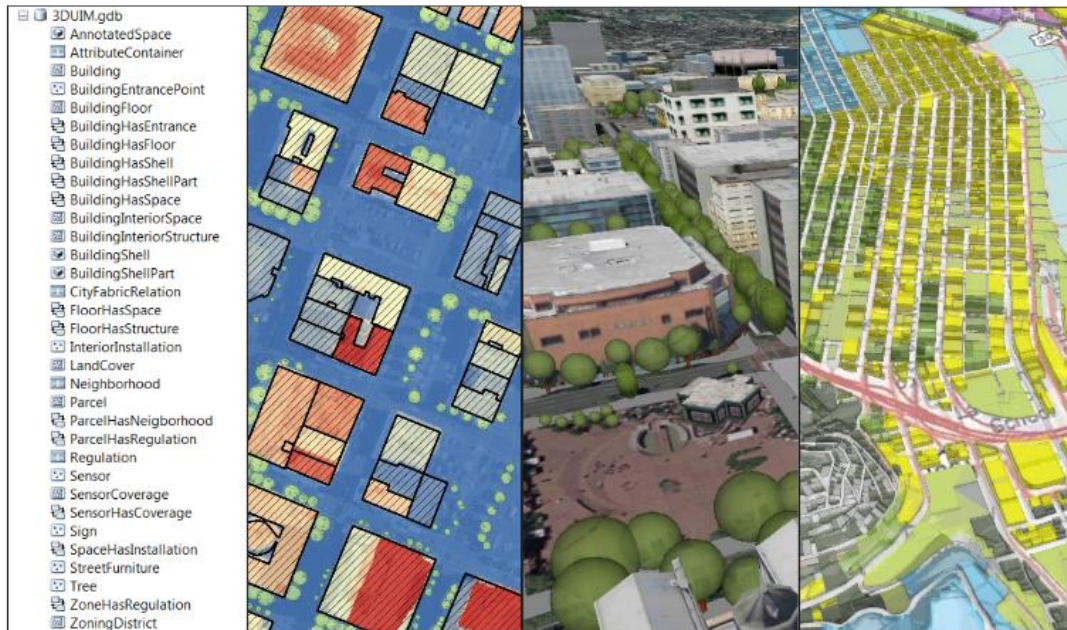
Το Μάρτιο του 2014 κυκλοφόρησε η πρώτη έκδοση του 3DCIM για το ArcGIS 10.2.

### 5.1 Εισαγωγή

Το 3D Cities, σύμφωνα με την ESRI, είναι μια συλλογή εργαλείων και ροής εργασιών (Workflows) για την εισαγωγή, τη δημιουργία και τη διαχείριση χαρακτηριστικών στοιχείων του αστικού χώρου. Οι ροές εργασιών που περιγράφονται μέσα στο project του 3D Cities πλαισιώνουν μια μεθοδολογία για την οπτικοποίηση και την ανάλυση τρισδιάστατων δεδομένων που έχουν προέλθει από δισδιάστατα στοιχεία χρησιμοποιώντας Li-DAR δεδομένα.

Το πρότυπο 3D Cities περιλαμβάνει τα ακόλουθα στοιχεία:

- i. Εργαλεία για την εισαγωγή υπάρχοντων GIS δεδομένων και κανονισμών χρήσεων γης.
- ii. Χάρτη με δυνατότητα παρέμβασης του χρήστη και μοντέλα για τον προσδιορισμό του ύψους των στοιχείων και την ανύψωση των επιφανειακών μοντέλων.
- iii. Project στο περιβάλλον του CityEngine για όγκους κτιρίων που σαν βάση έχουν γεωτεμάχια και κανονιστικές προσόψεις κτιρίων από δισδιάστατα αποτυπώματα.



**Εικόνα 33-Το 3D City Information Model υποστηρίζει πολλές εφαρμογές διαχείρισης, ανάλυσης και οπτικοποίησης 3D δεδομένων. (Πηγή: esri.com, 2015)**

Βασικός πυλώνας του 3D City προτύπου είναι η δομή των δεδομένων, η οποία καθορίζεται από μια πρότυπη γεωβάση που περιλαμβάνει το μοντέλο πληροφοριών του 3D City. Η γεωβάση αυτή αποθηκεύει χαρακτηριστικά και σχέσεις μεταξύ τους, με σκοπό τη μοντελοποίηση των δεδομένων σε διαφορετικές κλίμακες και σε τρεις θεματικές ενότητες:

1. Δομημένο περιβάλλον (Built environment), η οποία περιλαμβάνει αποτυπώματα, κελύφη, εσωτερικά στοιχεία και κατασκευές (πχ. αστικός εξοπλισμός).
2. Νομικό περιβάλλον (Legal environment), η οποία περιλαμβάνει ιδιοκτησία, χρήσεις γης και περιορισμούς.
3. Φυσικό περιβάλλον (Natural environment) η οποία περιλαμβάνει χαρακτηριστικά καλύψεων γης.

Οι παραπάνω θεματικές ενότητες αναλύονται περισσότερο στη συνέχεια.

Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται όλα τα αρχεία που περιλαμβάνει το 3D City Project.

Template Directory	Αντικείμενο	Περιγραφή
\Information Model	3D Cities -1.3- schema.xml	ένα αρχείο shema σε XML για την γεωβάση 3D Cities
	DataDictionary-1.3- schema.html	Τεκμηρίωση της γεωβάσης του μοντέλου πληροφοριών 3D Cities με περιγραφή των τάξεων των στοιχείων, των πινάκων, των σχέσεων και περιγραφών για κάθε μια.
	Overview of the 3D Cities Information Model.pdf	Εισαγωγή στο μοντέλο του 3D Cities και περιγραφή των θεματικών ενοτήτων, των τάξεων και των αρχών σχεδιασμού.
\My3DCity	My3DCity.gdb	Μια κενή γεβάση
\Samples\Portland	3DCity.gdb	Μια γεωβάση με παραδείγματα στοιχείων από τη πόλη του Portland, OR.
	3DCityAnalysis.gdb	Μια γεωβάση με αποτελέσματα ανάλυσης από το workflow Zoning.
	BaseLayersEditing.gdb	Μια γεωβάση προς επεξεργασία με παραδειγματικά δεδομένα από τη πόλη του Portland για να χρησιμοποιηθούν στο Workflow 2D City Base Layers.
	\CityEngine	Παράδειγμα project στο CityEngine για το Portland, το οποίο περιέχει τα θεματικά επίπεδα του 3D City και τους κανόνες του CityEngine.
	\PortlandExample	Μια συλλογή από shapfiles για το Portland, τα οποία μπορούν να εισαχθούν στο μοντέλο με το 3D City Maintenance Workflow.
\Workflows	3DCityBaseLayers	Ένας χάρτης με το θεματικό επίπεδο Base, εργαλεία επεξεργασίας καθώς και ο Attribute Assistant για το ArcMap, για τη δημιουργία τρισδιάστατων αντικειμένων (κτίρια, δέντρα κα.)
	3DCityMaintenance	Σύνολο βάσης δεδομένων και ETL εργαλείων για την εισαγωγή στοιχείων στην 3D City γεωβάση με σκοπό τη διαμόρφωση του σχήματος και την εισαγωγή δισδιάστατης και τρισδιάστατης πληροφορίας.
	3DCitySolar	Σύνολο εργαλείων για την ανάλυση και την οπτικοποίηση των ηλιακών δυνατοτήτων των σκελών των 3D κτιρίων.
	3DCityZoningDesigner	Μια εφαρμογή για την ενσωμάτωση των κανονισμών κάθε ζώνης και οπτικοποίηση των δυνατοτήτων ανάπτυξης.

Πίνακας 3-Τα αρχεία που περιλαμβάνονται στο 3D City Project. (Πηγή: [esri.com](http://esri.com), 2015)

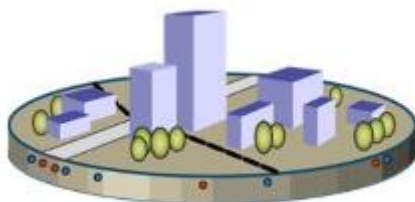


## 5.2 Οι θεματικές ενότητες του 3DCity

Το 3D City, όπως αναφέρθηκε και προηγούμενα, είναι μια συλλογή χαρακτηριστικών, δικτύων και επιφανειών. Παρόλα αυτά η δομή των δεδομένων του μπορεί να πάρει πολύ απλή και κατανοητή μορφή εάν τα στοιχεία αυτά χωριστούν σε τρεις θεματικές ενότητες, το δομημένο περιβάλλον, το νομικό περιβάλλον και το φυσικό περιβάλλον. Στη συνέχεια αναλύεται κάθε μια από αυτές τις ενότητες.

### 5.2.1 Το Δομημένο Περιβάλλον (*Built Environment*)

Το δομημένο περιβάλλον αποτελείται από χαρακτηριστικά και δίκτυα τα οποία δημιουργήθηκαν από ανθρώπους και διαχειρίζονται από αυτούς. Τα χαρακτηριστικά αυτά συμπεριλαμβάνουν μεταξύ άλλων κατασκευές (όπως κτίρια, γέφυρες, σήραγγες κ.α.), δίκτυα κοινής ωφέλειας, μεταφορικά δίκτυα (υπέργεια και υπόγεια), εγκαταστάσεις (πχ. αστικός εξοπλισμός, αισθητήρες) και αστικό πράσινο.



Εικόνα 34-Τα στοιχεία του Built Environment. (Πηγή: [esri.com](http://esri.com), 2015)

### 5.2.2 Το Νομικό Περιβάλλον (*Legal Environment*)

Τα χαρακτηριστικά που ανήκουν στο Νομικό περιβάλλον περιλαμβάνουν χρήσεις γης, περιορισμούς που έχουν τα ακίνητα, καθώς και ιδιοκτησιακά όρια. Τα στοιχεία αυτά οργανώνονται σε ζώνες (Land Use Zones), οι οποίες έχουν μια ένθετη δομή (ζώνες που είναι εντός και επικαλύπτουν τους περιορισμούς ευρύτερων ζωνών) και περιέχουν τόσο δισδιάστατα όσο και τρισδιάστατα χαρακτηριστικά, όπως για παράδειγμα το επιτρεπόμενο ύψος των κτιρίων. Οι περιορισμοί αυτοί αποθηκεύονται σε πίνακες και εφαρμόζονται, επίσης, και στα όρια των γεωτεμαχίων.



Εικόνα 35-Τα στοιχεία του Legal Environment. (Πηγή: [esri.com](http://esri.com), 2015)

### 5.2.3 Το Φυσικό Περιβάλλον (Natural Environment)

Το Φυσικό περιβάλλον περιλαμβάνει όλα τα στοιχεία που υπάρχουν, πάνω ή κάτω από την επιφάνεια της γης. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει καλύψεις γης, όπως περιοχές Natura, βιοτόπους και υδάτινους όγκους, υπέργεια και υπόγεια γεωλογικά στοιχεία, τη ατμόσφαιρα, το κλίμα, ακόμα και τον καιρό.



Εικόνα 36-Τα στοιχεία του Natural Environment. (Πηγή: [esri.com](http://esri.com), 2015)

## 5.3 Αρχές Σχεδίασης

Το 3D Cities Information Model πρέπει να είναι συμπαγές και απλό ώστε να ανταποκρίνεται σε μεγάλη ποικιλία εφαρμογών, να είναι εύκολα κατανοητό και να δέχεται εύκολα καινούργια δεδομένα. Οι βασικές αρχές που διέπουν τη σχεδίαση του είναι: η απλότητα, η συμβατότητα, η επεκτασιμότητα και η χρησιμότητα.

Το 3DCIM επιβάλλεται να είναι απλό, καθώς δεν δημιουργήθηκε για να αντικαταστήσει κάποιο άλλο μοντέλο πληροφοριών, τα σύνολα δεδομένων του θα πρέπει να είναι διαθέσιμα και να ανταποκρίνονται σε παγκόσμιας κλίμακας 3D εφαρμογές. Επιπλέον, επειδή τα μοντέλα δεδομένων αναπτύσσονται με πολύ γρήγορους ρυθμούς θα πρέπει να εξασφαλίζεται η μεταξύ τους επικοινωνία και η διαλειτουργικότητα. Αυτή είναι και η δεύτερη αρχή που διέπει το σχεδιασμό του 3DCIM, η συμβατότητα (compatibility) με άλλα πρότυπα. Αυτό με άλλα λόγια σημαίνει ότι οι παράγοντες που μοιράζονται το 3DCIM και τα άλλα πρότυπα θα πρέπει να έχουν όσες λιγότερες ασυμβατότητες είναι δυνατόν. Ακόμη, το 3DCIM θα πρέπει να περιέχει αρκετές πληροφορίες, ώστε όχι μόνο να είναι σε θέση να εισάγονται δεδομένα σε αυτό αλλά να μπορούν να εξαγονται πάλι (roundtrip interoperability). Μια ακόμα αρχή που χαρακτηρίζει το 3DCIM είναι η επεκτασιμότητα (extensibility). Το 3DCIM είναι ένα πρότυπο το οποίο προσφέρει λύσεις και μοντέλα δεδομένων, τα οποία ανταποκρίνονται στα βασικά χαρακτηριστικά της τρισδιάστατης μοντελοποίησης. Το μοντέλο, που έχει ήδη δομηθεί, αφήνει στους χρήστες το περιθώριο ώστε να το ενσωματώσουν σε τοπικές εφαρμογές, να το επεκτείνουν και μέσα από αυτή τη διαδικασία να εξελιχθεί περαιτέρω. Τελευταία αρχή σχεδίασης του μοντέλου 3D Cities είναι η χρησιμότητα. Αυτό σημαίνει πως το μοντέλο θα πρέπει να ανταποκρίνεται στην αυξανόμενη ζήτηση και στις ανάγκες των χρηστών του. Για αυτό θα πρέπει να είναι σε άμεση σύνδεση με τις παγκόσμιες τάσεις στην τρισδιάστατη μοντελοποίηση και να εξελίσσεται μέσα από την προσφορά των χρηστών. Όπως φαίνεται η έννοια της χρησιμότητας μπορεί να παρερμηνευτεί και να μεταφραστεί ως επεκτασιμότητα, κάτι όμως που είναι λανθασμένο καθώς πρόκειται για δυο διαφορετικές έννοιες.

## 5.4 Περιεχόμενα του Μοντέλου

Σε αυτή την ενότητα περιγράφονται το σχήμα αλλά και η δομή του μοντέλου του 3D Cities, όπως οργανώνεται στις τρεις θεματικές ενότητες, Built, Legal, Natural Environment.

### 5.4.1 Γενικά Χαρακτηριστικά

Όλες οι τάξεις χαρακτηριστικών (feature classes) περιλαμβάνουν κάποια γενικά χαρακτηριστικά (Generic attributes), τα οποία είναι:

- ✓ beginLifespan: περιλαμβάνει το πότε δημιουργήθηκε το αντίστοιχο στοιχείο
- ✓ endLifespan: περιλαμβάνει το πότε σταμάτησε να υπάρχει ένα στοιχείο
- ✓ attribution: η προέλευση αυτού του χαρακτηριστικού
- ✓ name: το όνομα του στοιχείου
- ✓ description: μια περιγραφή του στοιχείου
- ✓ status: η κατάσταση του στοιχείου (σχεδιασμένο, υπό κατασκευή, χτισμένο κα.)
- ✓ [classname]FID: ένας κωδικός για το συγκεκριμένο στοιχείο. Ο κωδικός αυτός είναι μοναδικός για κάθε στοιχείο.

Η δομή αυτή διευκολύνει τη σύνδεση των στοιχείων, τόσο εντός της βάσης δεδομένων όσο και στις εφαρμογές. Για παράδειγμα, το αντικείμενο Regulation μπορεί να σχετίζεται τόσο με το στοιχείο ZoningDistrict όσο και με το στοιχείο Parcel. Επιπρόσθετα, σχεδόν όλες οι τάξεις στοιχείων και ορισμένες τάξεις αντικειμένων έχουν δύο πεδία, τα οποία ακολουθούν τη δομή type/subtype. Ο όρος type αναφέρεται σε ένα κωδικό συνηθέστερα, ενώ ο όρος subtype είναι της μορφής string και μπορεί να έχει οποιαδήποτε τιμή.

### 5.4.2 AnnotatedSpace, Association, AttributeContainer

Το μοντέλο 3DCIM περιέχει πολλές γενικές τάξεις, οι οποίες επιτρέπουν την προσαρμογή του σε διαφορετικές εφαρμογές χωρίς να χρειάζεται να πραγματοποιηθούν αλλαγές στο μοντέλο. Μια τέτοια τάξη είναι η τάξη AnnotatedSpace, η οποία σε σύγκριση με την τάξη Annotation δεν λειτουργεί απλά σαν επικέτα με πληροφορίες για την εμφάνιση και τη τοποθεσία. Η τάξη αυτή λειτουργεί σαν "δοχείο" για την καταχώριση πληροφοριών σε κάθε τοποθεσία ή περιοχή εντός του τρισδιάστατου μοντέλου, είτε σε επιφάνεια είτε σε κτίριο είτε σε κάποιο όγκο. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποθήκευση σχολίων, σημειώσεων, συζητήσεων, αποτελεσμάτων ανάλυσης, συνδέσμων σε επιπλέον πηγές και άλλα.

Προαιρετικά, η τάξη AnnotatedSpace μπορεί να συσχετιστεί με οποιοδήποτε άλλο στοιχείο στο μοντέλο, όπως τα Buildings ή τα TransportNetworkElements.



Εικόνα 37-Παράδειγμα του εργαλείου Annotation, για την επισήμανση στοιχείων στο τοίχο. (Πηγή: [esri.com](http://esri.com), 2015)

Μια δεύτερη γενική τάξη, η *CityFabricRelation*, επεκτείνει το μοντέλο χωρίς να το καθιστά πιο περίπλοκο. Η τάξη αυτή επιτρέπει την ύπαρξη σχέσεων *partOf*, τη δημιουργία αθροισμάτων, τις πολλαπλές απεικονίσεις και τις χωρικές σχέσεις. Ο μηχανισμός αυτός χρησιμοποιείται επικουρικά στις γεωβάσεις, όπου υπάρχουν ασθενείς συσχετίσεις. Ένα μειονέκτημα της χρήσης της συγκεκριμένης τάξης είναι ότι το σύστημα διαχείρισης της βάσης δεδομένων δεν μπορεί να εγγυηθεί την αναφορική ακεραιότητα και επιπλέον για κάποια ερωτήματα θα πρέπει να έχει προηγηθεί κάποια επεξεργασία.

Η τρίτη τάξη ονομάζεται *AttributeContainer* και χρησιμοποιείται για τη μεταφορά των αρχικών δεδομένων στο μοντέλο του 3D Cities. Αυτό είναι απαραίτητο βήμα σε περιπτώσεις όπου κατά την επεξεργασία στοιχείων, όπως κτίρια, είναι αναγκαίο να διατηρηθούν οι ιδιότητες τους. Ένα παράδειγμα χρήσης αυτής της τάξης είναι η εισαγωγή στο μοντέλο του 3DCIM ένα μοντέλο *CityGML*, η επεξεργασία του στο περιβάλλον του *CityEngine* και η εξαγωγή του και πάλι σε μορφή *CityGML*, συμπληρωμένο με σημασιολογική και άλλης μορφής πληροφορία.

#### 5.4.3 Built Environment

Το δομημένο περιβάλλον (*Built Environment*) αποτελείται από όλες τις κατασκευές και τα δίκτυα που αποτελούν το ανθρωπογενές περιβάλλον. Σε αυτή την ενότητα περιλαμβάνονται τα εξής χαρακτηριστικά: *Buildings*, *Interiors*, *Installations*, *Transport Networks*, *Trees and other vegetation objects*. Τα στοιχεία αυτά αναλύονται στη συνέχεια.

##### ➤ Buildings

Τα κτήρια είναι το κεντρικό χαρακτηριστικό σε ένα αστικό περιβάλλον. Από τη σκοπιά του 3DCIM το στοιχείο *Building* έχει ένα σύνολο χαρακτηριστικών τα οποία περιγράφουν την εξωτερική του μορφή καθώς και το αποτύπωμα του στο έδαφος, όπως το συνολικό ύψος, τον τύπο της σκεπής, τον αριθμό των ορόφων πάνω και κάτω από το έδαφος, τον τύπο του κτιρίου αλλά και τη χρήση του. Η πληροφορία για την τρισδιάστατη απεικόνιση του αποθηκεύεται στις τάξεις *BuildingShell* και

BuildingShellPart. Ένα Building μπορεί να έχει παραπάνω από ένα BuildingShells, τα οποία να προέρχονται από διαφορετικές πηγές. Η τάξη BuildingShells είναι υδατοστεγή και αποτελούν μια ολοκληρωμένη αναπαράσταση του κτηρίου. Ωστόσο για πολλές εφαρμογές το μοντέλο αυτό δεν είναι το κατάλληλο και για αυτό το λόγο το 3DCIM παρέχει τη δυνατότητα χρήσης της τάξης BuildingShellParts. Η τάξη αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε σε συνδυασμό είτε αντί της τάξης BuildingShell, ώστε να αποθηκεύονται ξεχωριστά τα διάφορα μέρη του κτιρίου, όπως οι τοίχοι, η οροφή κ.λπ. Για την επεξήγηση του ρόλου κάθε BuildingShellPart στοιχείου χρησιμοποιούνται τύποι, όπως complete, wall, roof, ground κι άλλα. Τόσο η τάξη BuildingShell όσο και η BuildingShellPart διαθέτουν το χαρακτηριστικό protectionLevel, το οποίο χρησιμοποιείται για την προστασία των δεδομένων από αντιγραφή.

Επιπλέον, ένα κτήριο διαθέτει πολλά ακόμα χαρακτηριστικά, όπως για παράδειγμα σημειακά σύμβολα που αντιπροσωπεύουν εισόδους, τα BuildingEntrancePoint, αλλά και πολυγωνικά σύμβολα, τα BuildingRidgeLine, τα οποία χρησιμοποιούνται για να απεικονίσουν οριογραμμές.

#### ➤ Interiors

Ο εσωτερικός χώρος για τους ανθρώπους είναι εξίσου χρήσιμος με τον εξωτερικό. Επομένως η αναπαράσταση του είναι εξίσου σημαντική με την αναπαράσταση του εξωτερικού. Το μοντέλο Interior του 3DCIM εστιάζει στους χώρους των κτιρίων, στις λειτουργίες τους και στα δίκτυα μετακινήσεων τα οποία συνδέουν τους χώρους αυτούς. Έχει άμεση σύνδεση με το Local Government Information Model.

Το κεντρικό στοιχείο του μοντέλου Interior ονομάζεται BuildingInteriorSpace, το οποίο μπορεί να είναι είτε ένα δωμάτιο είτε μέρος ενός δωματίου είτε ακόμα ένας αγωγός ή άξονας, που διαπερνά πολλά επίπεδα. Μπορεί, επίσης, να είναι ένας όγκος ο οποίος δεν περιορίζεται σε ένα επίπεδο.

Η τάξη BuildingFloor είναι οργανική δομή σε ένα κτίριο (Building). Η τάξη αυτή μπορεί να αποτελείται από πολλά μέρη, όπως πολλά διαφορετικά συνδεδεμένα και μη μέρη σε ένα επίπεδο. Επίσης, δεν αντιπροσωπεύει ένα λεπτομερές σχέδιο του πατώματος, δεν περιλαμβάνει δηλαδή πόρτες και τοίχους οι οποίοι βρίσκονται πάνω στο πάτωμα. Τα στοιχεία αυτά συμπεριλαμβάνονται στην τάξη BuildingInteriorStructure και έχουν άμεση σύνδεση με το στοιχείο Floor. Επιπλέον, η τάξη BuildInteriorStructures διαθέτει και περιγραφική πληροφορία, όπως το ύψος και το υλικό κατασκευής.



**Εικόνα 38-Παράδειγμα των στοιχείων που περιλαμβάνει η τάξη Interiors. (Πηγή: esri.com, 2015)**

Μια άλλη τάξη είναι η InteriorInstallations, η οποία περιλαμβάνει στοιχεία όπως συσκευές, ράφια, τραπέζια κ.α. και συνδέεται συνήθως με την τάξη BuildingInteriorSpace.

Τέλος, τα δίκτυα περιλαμβάνονται στο εσωτερικό μοντέλο και έχουν συσχετίσεις με το BuildingInteriorSpace. Κάποιοι τύποι δικτύων εσωτερικού χώρου είναι οι διάδρομοι, ο ανεγκυστήρας, οι ράμπες και οι σκάλες.

#### ➤ Installations

Η τάξη Installation αναφέρεται σε διαφορετικούς τύπους αντικειμένων που βρίσκονται σε δημόσιους χώρους, σε ιδιωτικούς ή στο εσωτερικό των κτιρίων και περιλαμβάνει στοιχεία όπως πινακίδες, αστικό εξοπλισμό και αισθητήρες, τα οποία αναπαρίστανται σημειακά.



**Εικόνα 39-Παράδειγμα των στοιχείων που περιλαμβάνει η τάξη Installations. (Πηγή: esri.com, 2015)**

Η τάξη StreetFurniture είναι μια συλλογή από αντικείμενα και τμήματα εξοπλισμού, τα οποία βρίσκονται σε οδούς κάθε κλίμακας και εξυπηρετούν διάφορους σκοπούς. Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει μεταξύ άλλων παγκάκια, διαζώματα κυκλοφορίας, ταχυδρομικά κουτιά, λάμπες φωτισμού, σιντριβάνια, κάδους απορριμμάτων, και δημόσια γλυπτά. Οι πινακίδες κυκλοφορίας καθώς και οι σηματοδότες εντάσσονται

σε ξεχωριστή τάξη, η οποία ονομάζεται Sign και συνδέεται με τουλάχιστον ένα στοιχείο της τάξης TransportNetworkElement. Για το καθορισμό του σωστού τύπου, οι έγκυρες τιμές ορίζονται από το πεδίο StreetFurnitureDomain με βάση το Local Government Information Model.

Η τάξη Sensor μπορεί να αναπαριστά μια μεγάλη γκάμα αισθητήρων, από μετεωρολογικούς σταθμούς μέχρι κάμερες παρακολούθησης και ανιχνευτές κίνησης. Ένα στοιχείο Sensor έχει σαν πληροφορία τον τύπο του, ο οποίος υποδηλώνει τα φαινόμενα που παρατηρεί, μια μορφή feed (πχ. ως MIME τύπος) και ένα τύπο feed, το οποίο δείχνουν την περιοδικότητα και άλλα χαρακτηριστικά των στοιχείων που καταγράφονται. Καταχωρούνται επίσης πληροφορίες για την τοποθεσία απ την οποία αποκτήθηκαν τα δεδομένα.

Τέλος, η τάξη Sensor διαθέτει την τάξη SensorCoverage, η οποία είναι μια πολυγωνική τάξη και περιλαμβάνει την περιοχή την οποία καλύπτει ο αισθητήρας.

#### ➤ Transport Networks

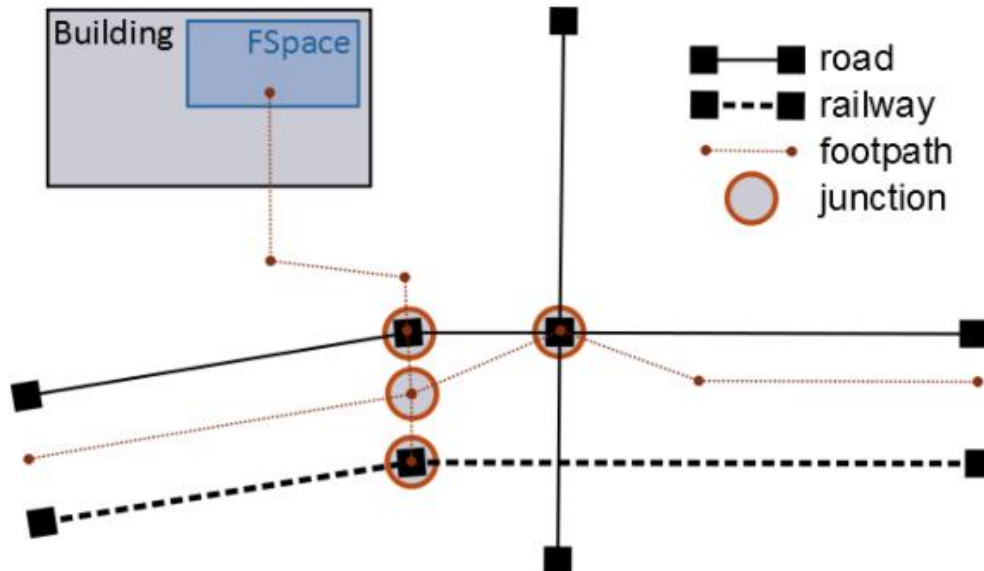
Οι διάφοροι τύποι δικτύων μεταφοράς, όπως δρόμοι, σιδηρόδρομοι και πεζόδρομοι, περιπλέκονται στη καθημερινότητα μιας πόλης και αυτό επιτρέπει στους κατοίκους να επιλέγουν το τρόπο μετακίνησης τους. Τα εσωτερικά και τα εξωτερικά δίκτυα είναι ρητά συνδεδεμένα, και η πληροφορία του ύψους διατηρείται για όλα τα στοιχεία του δικτύου.

Τα δίκτυα μεταφορών στο πλαίσιο το 3DCIM μοντελοποιούνται ως ένα σύνολο δεδομένων δικτύου (Network Dataset), το οποίο περιλαμβάνει ακμές, διασταυρώσεις, και προαιρετικά στροφές. Τα στοιχεία TransportNetworkElement αντιπροσωπεύουν τις ακμές του δικτύου. Κάθε TransportNetworkElement στοιχείο αντιπροσωπεύει ένα κομμάτι ενός τύπου, πχ ενός δρόμου, ή μιας λεωφόρου, ή ενός ποδηλατοδρόμου ή ενός πεζοδρομίου. Χρησιμοποιείται μια μόνο τάξη χαρακτηριστικών για όλους τους τύπους μετακινήσεων, μειώνοντας έτσι τον αριθμό των τάξεων και δίνοντας έμφαση τη διασύνδεση των δικτύων σε μια πόλη. Συνίσταται να μοντελοποιούνται ξεχωριστά λωρίδες μόνο εάν είναι και στη πραγματικότητα διαχωρισμένες, για παράδειγμα με διάζωμα ή με νησίδα. Αυτό διευκολύνει την περαιτέρω διαδικασία επεξεργασίας και δημιουργίας κανονιστικών απεικονίσεων τμήματος του μεταφορικού δικτύου.

Για την τάξη TransportNetworkElements τα βασικά πεδία περιλαμβάνουν την επιτρεπόμενη κατεύθυνση, το όνομα, την ιεραρχία του δικτύου, τη σημασιολογική κατηγοριοποίηση του, καθώς και πληροφορίες προτίμησης. Οι πληροφορίες προτίμησης αποθηκεύονται σε μια τάξη object η οποία ονομάζεται TransportElementPreference και συνδυάζει ένα τρόπο μετακίνησης, με ένα τμήμα δικτύου και ένα κωδικό προτίμησης, όπως Απαγόρευση, Αποφυγή: Υψηλή/Μέτρια/Χαμηλή, Προτίμηση: Υψηλή/Μέτρια/Χαμηλή.

Η τάξη TransportNetworkNodes περιλαμβάνει τα στοιχεία που αντιπροσωπεύουν διασταυρώσεις σε ένα δίκτυο. Σε μια διασταύρωση ο χρήστης μπορεί να αλλάξει τη μορφή του δικτύου αν δυο ετερογενή TransportNetworkElements συνδέονται. Αν μια δεδομένη μορφή μετακίνησης συνδέεται άμεσα με άλλη, πχ. αυτοκίνητο με τρένο, τότε δεν εξάγεται κάποιο συγκεκριμένο συμπέρασμα αυθαίρετα, αλλά θα πρέπει να οριστεί κατά την είσοδο των δεδομένων από τους χρήστες. Η τάξη

TransportNetworkNode διαθέτει πολλά χαρακτηριστικά, τα οποία περιγράφουν τη μορφή της με ακριβή τρόπο, όπως για παράδειγμα ο τύπος (πλατεία, σταυροδρόμι, διασταύρωση "τριφύλλι").

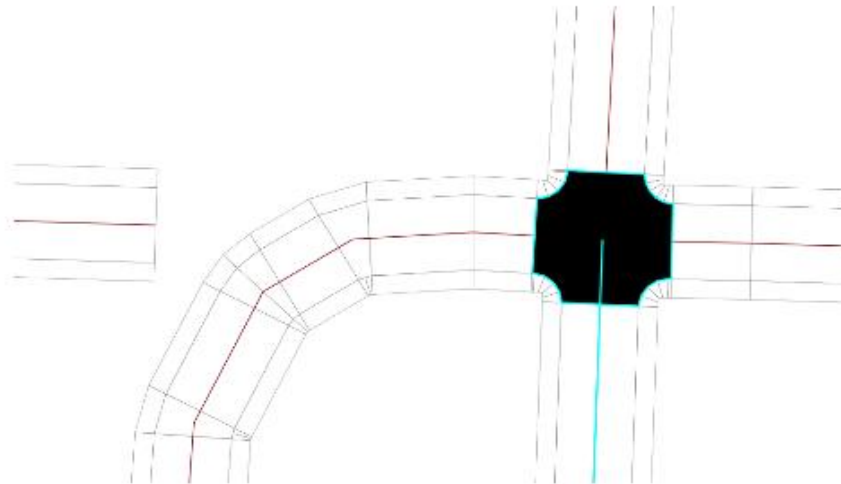


Εικόνα 40-Παράδειγμα ενός δικτύου μεταφορών (Transport Network). (Πηγή: [esri.com](http://esri.com), 2015)

Στο παράδειγμα δικτύου που φαίνεται στην παραπάνω εικόνα, κάποιος μπορεί να μετακινείται επί του δρόμου, να εισέρχεται σε ένα κτίριο και συγκεκριμένα σε ένα `BuildingInteriorSpace` και στη συνέχεια να εξέρχεται αυτού και να πηγαίνει στη στάση του τρένου προκειμένου να φτάσει στο τελικό προορισμό του. Για τα πεζοδρόμια, τους ποδηλατοδρόμους και τους δρόμους, θα πρέπει να τοποθετηθούν σημεία διασταυρώσεων σε κάθε μορφής διάβαση.

Όλα τα `TransportNetworkElements` μπορούν να έχουν ένα ή παραπάνω `NetworkElementRepresentation` αντικείμενα. Τα αντικείμενα αυτά ακολουθούν τον ίδιο τρόπο μοντελοποίησης με τα `BuildingShells`, με μια όμως διαφορά: τα `NetworkElementRepresentation` μπορούν να προκύψουν είτε από ένα `TransportNetworkElement` είτε από πολλά, πχ. ένα κόμβο. Η εικόνα που ακολουθεί δείχνει δυο σχετικά παραδείγματα.





**Εικόνα 41-Σχήματα που έχουν δημιουργηθεί στη CityEngine και απεικονίζουν ένα δίκτυο δρόμων. (Πηγή: esri.com, 2015)**

Στο πρώτο παράδειγμα, η επιλεγμένη διασταύρωση εξαρτάται από τα τέσσερα μέρη δρόμου και αντιπροσωπεύει ένα τμήμα από το καθένα από αυτά τα μέρη. Είναι, επομένως μια κοινή αναπαράσταση για τα στοιχεία αυτά. Στο δεύτερο παράδειγμα, στην αριστερή πλευρά υπάρχουν κόμβοι στο δρόμο οι οποίοι οδηγούν στη δημιουργία νέων σχημάτων για τη βελτίωση της γεωμετρίας της απεικόνισης.

Οι γέφυρες και σήραγγες ανήκουν, επίσης, στη τάξη `TransportElementRepresentation`. Στο περιβάλλον του 3DCIM τα στοιχεία αυτά χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για οπτικοποίηση, καθώς το μοντέλο του 3DCIM δεν είναι σε θέση να αντικαταστήσει τα πιο λεπτομερή μοντέλα, όπως τα CAD και τα BIM, τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως για την απεικόνιση αυτών των κατασκευών καθώς και για άλλες εφαρμογές. Μια σήραγγα χρειάζεται τρύπες στο επίπεδο της επιφάνειας για να απεικονιστεί, κάτι που ακόμα παραμένει θολό.

➤ **Trees and other individual vegetation objects**

Τα δέντρα καθώς και τα υπόλοιπα φυτά που υπάρχουν σε μια πόλη, επηρεάζουν έντονα την εμφάνιση της. Το μοντέλο για τις φυτεύσεις σε μια πόλη εστιάζει σε κάποια βασικά χαρακτηριστικά, όπως ο τύπος, η οικογένεια ή το είδος στο οποία ανήκει, το ύψος, η ηλικία και η διάμετρος του κορμού του.

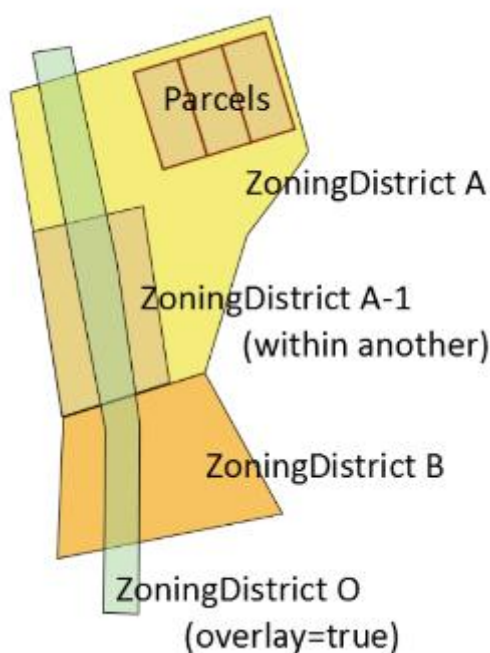
Γενικά, συνίσταται μικρά στοιχεία, όπως για παράδειγμα τα λουλούδια να μην διαχειρίζονται μεμονωμένα, αλλά να περιλαμβάνονται στη τάξη του `LandCover`.

#### 5.4.4 Legal Environment

Το Νομικό περιβάλλον (Legal Environment) περιλαμβάνει τα ιδιοκτησιακά δικαιώματα του αστικού χώρου και παρέχει ένα λεπτομερές μοντέλο για τις χρήσεις γης αλλά και τους πολεοδομικούς περιορισμούς που τίθενται σε κάθε ζώνη.

##### ➤ Zoning

Η τάξη ZoningDistricts περιγράφει επιφάνειες, οι οποίες ορίζουν την υπάρχουσα ή τη μελλοντική χρήση γης και παρέχουν πλήρη κάλυψη της περιοχής ενδιαφέροντος. Τα στοιχεία της τάξης αυτής αποθηκεύονται με δυο τρόπους. Αρχικά, αν μια ZoningDistrict εντάσσεται σε μια άλλη τότε όποιοι περιορισμοί ορίζονται σε αυτή επικαλύπτουν αυτούς που ορίζονται στην "εξωτερική" ZoningDistrict ή προστίθενται στους ισχύοντες περιορισμούς. Σύμφωνα με το δεύτερο τρόπο, αν μια ZoningDistrict επικαλύπτει μια άλλη, στο στοιχείο overlay της οποίας αντιστοιχεί η τιμή true, τότε οι περιορισμοί της επικαλύπτουσας ζώνης προστίθενται στη λίστα των έγκυρων παραμέτρων ως εναλλακτικές. Η επικάλυψη ζωνών χρησιμοποιείται κυρίως για την καταχώριση πρόσθετων χρήσεων γης ή για τη περιγραφή επιφανειών με πολλαπλές χρήσεις.



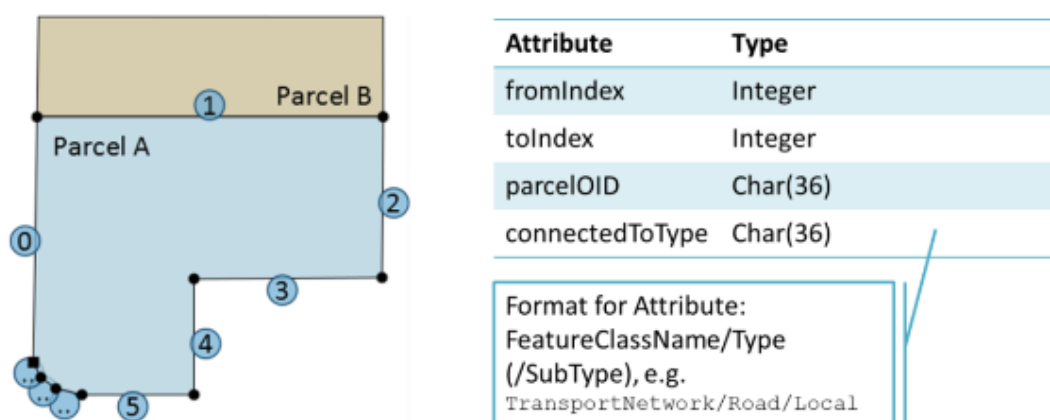
**Εικόνα 42-Παράδειγμα διαχωρισμού του χώρου σε ZoningDistricts, καθώς και παράδειγμα εφαρμογής επικάλυψης. (Πηγή: esri.com, 2015)**

Η τάξη ZoningDistrict περιλαμβάνει το χαρακτηριστικό density, το οποίο είναι μια float τιμή χωρίς μονάδες με εύρος από 0 έως 1. Χρησιμοποιείται για να υποδεικνύει υψηλή, χαμηλή ή μέτρια πυκνότητα. Πολλές φορές οι ζώνες περιέχουν και πληροφορία ύψους με τα χαρακτηριστικά fromz και toz, τα οποία περιλαμβάνουν το όριο πάνω από το οποίο η ζώνη είναι έγκυρη.

Κεντρικό στοιχείο της τάξης ZoningDistrict είναι το σύνολο των κανόνων, Regulations, οι οποίοι που ισχύουν σε καθεμία. Οι Regulations έχουν έναν constraintAspect συνδεδεμένο με το πεδίο ConstraintAspect (height, eaveHeight, siteCoverage, GFA, plotRatio, cubicIndex, levelsAboveGround/ BelowGround, setbackFront/Side/Rear, skyviewAngle και άλλα). Διαθέτουν ένα constraintOperator (min, max, avg, equal) και μια τιμή, που μαζί ορίζουν ένα ακριβές όριο για τον συγκεκριμένο παράγοντα. Ένας Regulation μπορεί επίσης να διαθέτει ένα borderCondition για να υποδεικνύει ότι αυτός ο περιορισμός είναι έγκυρος μόνο εάν το όριο του εδαφοτεμαχίου πληροί μια συγκεκριμένη τοπολογική συνθήκη, όπως για παράδειγμα να βρίσκεται δίπλα σε ένα δρόμο ή σε ένα εδαφοτεμάχιο διαφορετικής χρήσης.

➤ Parcels

Η τάξη Parcels περιέχει τα ιδιοκτησιακά δικαιώματα της γης ή άλλων χωρικών μονάδων και παρέχει πληροφορίες, όπως η διεύθυνση και το ιδιοκτησιακό καθεστώς. Στα χαρακτηριστικά αυτής της τάξης περιλαμβάνεται ο τύπος, οποίος αναφέρεται είτε σε ιδιοκτησία γης, είτε σε ιδιοκτησία κτιρίου είτε σε ιδιοκτησία χωρικής μονάδας. Τα τεμάχια (Parcels) ιδιοκτησίας γης είναι η οντότητα στη οποία αντιστοιχίζονται οι περιορισμοί που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα. Επίσης, τα εδαφοτεμάχια συνδέονται και με γειτονικά αντικείμενα, μέσω του πεδίου Neighborhood, τα οποία περιγράφουν τα χαρακτηριστικά των στοιχείων που συνορεύουν με κάθε πλευρά του υπό εξέταση εδαφοτεμαχίου.



Εικόνα 43-Εδαφοτεμάχιο με πληροφορίες στο πεδίο Neighborhood. (Πηγή: [esri.com](http://esri.com), 2015)

### 5.4.5 Natural Environment

➤ Land Cover

Τα στοιχεία που περιλαμβάνονται στην τάξη LandCover χρησιμοποιούνται προκειμένου να περιγράψουν χαρακτηριστικά του φυσικού τοπίου, όπως δάση, υδάτινους ή ορεινούς όγκους και υγροτόπους. Η συγκεκριμένη τάξη περιλαμβάνει τα χαρακτηριστικά PrimaryLandCoverType και SecondaryLandCoverType, τα οποία

ακολουθούν μια προκαθορισμένη ιεράρχηση καλύψεων γης (άγωνα γη, καλλιεργήσιμη γη, δάση, στάσιμα νερά, θαμνώδης εκτάσεις, χείμαρροι και άλλα).

Τα στοιχεία της τάξης LandCover έχουν το χαρακτηριστικό density (πυκνότητα), το οποίο αναφέρεται στο ποσοστό κάλυψης μιας περιοχής από μια κατηγορία χρήσης γης (PrimaryLandCoverType), καθώς και το χαρακτηριστικό subtype, το οποίο αναφέρεται στο συγκεκριμένο τύπο κάλυψης, πχ. λουλούδια. Ένα τελευταίο χαρακτηριστικό της τάξης αυτή είναι το maxZextent, το οποίο αναφέρεται στο μέγιστο ύψος (για θετικές τιμές) ή στο μέγιστο βάθος (για αρνητικές τιμές) ενός στοιχείου.

Μεμονωμένα στοιχεία βλάστησης στο 3DCIM δεν υποστηρίζονται. Αντί αυτού, αν πρόκειται να απεικονιστούν θάμνοι ή συστάδες δέντρων τότε αυτό υλοποιείται μέσω του ορισμού μιας κατάλληλης τάξης LandCover. Παρακάτω φαίνεται πως ορίζονται ο PrimaryLandCoverType και ο SecondaryLandCoverType.

```
primaryLandCoverType: "forest",  
secondaryLandCoverType: "shrub",  
density: 0.6  
maximumHeight: 35
```

**Εικόνα 44-Παράδειγμα ορισμού του PrimaryLandCoverType και του SecondaryLandCoverType. (Πηγή: esri.com, 2015)**

Σύμφωνα με τη παραπάνω εικόνα, πρόκειται για μια δασική περιοχή, πυκνότητας 60%, με δέντρα ύψους μέχρι 35 (οι μονάδες εξαρτώνται από τις μονάδες του υπομετρικού συστήματος), ενώ το υπόλοιπο είναι καλυμμένο με θάμνους.

#### 5.4.6 Basemap

Η κατηγορία Basemap είναι ένα σύνολο θεματικών επιπέδων τα οποία χρησιμοποιούνται για την απεικόνιση της μορφής του εδάφους. Συνήθως είναι ορθοφωτοχάρτες και αποτελούν τη βάση για τη δημιουργία των υπολοίπων στοιχείων του μοντέλου.

##### ➤ Terrain

Η μορφολογία του εδάφους απεικονίζεται με δυο τρόπους, είτε ως κανονικοποιημένο (raster) θεματικό επίπεδο, είτε ως TIN. Τα επίπεδα TIN έχουν το πλεονέκτημα ότι αποδίδουν ικανοποιητικά γραμμές αλλαγής κλίσης, ενώ τα raster επίπεδα είναι πιο εύκολα διαχειρίσιμα. Ωστόσο, ανάλογα με την απόσταση του κανάβου ενός raster αρχείου, ενδέχεται στη διαδικασία της δειγματοληψίας να υπάρχουν σημαντικά λάθη και παραλείψεις. Όσον αφορά το 3DCIM για raster θεματικά επίπεδα προτείνεται η μέγιστη οριζόντια απόσταση να είναι 10 μέτρα, το μέγιστο σφάλμα σημείων του κανάβου κατά την κάθετο να είναι 0,2 μέτρα, ενώ το κάθετο σφάλμα των σημείων του κανάβου μεταξύ τους να είναι 1 μέτρο.

➤ Orthoimagery and Base maps

Για ρεαλιστική και υψηλής ευκρίνειας οπτικοποίηση συστήνεται η χρήση ορθοφωτοχαρτών.

Εναλλακτικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν κανονικοποιημένα χαρτογραφικά υπόβαθρα υψηλής ανάλυσης, τα οποία περιλαμβάνουν δίκτυα μεταφορών, καθώς και πληροφορίες για τις χρήσεις και τις καλύψεις γης, χωρίς όμως ονοματολογία. Αν δεν υπάρχουν διαθέσιμοι ορθοφωτοχάρτες, εναλλακτικές αποτελούν χάρτες καλύψεων γης, οι οποίοι αναπαριστούν το γήινο ανάγλυφο είτε με τη μέθοδο της σκίασης ανάγλυφου είτε με τη μέθοδο των χρωματικών κλιμάκων.

## 6. 3D Cities: σημασιολογική διαχείριση δεδομένων του CityEngine.

---

Στο κεφάλαιο αυτό εξετάζεται η δυνατότητα εμπλουτισμού ενός μοντέλου που προέκυψε μέσω κανονιστικής μοντελοποίησης με την απαραίτητη σημασιολογική πληροφορία που το πλαισιώνει, κάνοντας χρήση του εργαλείου 3DCities. Τα τρισδιάστατα μοντέλα που δημιουργήθηκαν με CGA κανόνες στο περιβάλλον του λογισμικού CityEngine απεικονίζουν, το μεν πρώτο τμήμα της παλιάς πόλης της Κέρκυρας, ενώ το δεύτερο ένα κτήριο στη περιοχή του Χαλανδρίου. Ωστόσο τα δυο αυτά μοντέλα ακολουθούν διαφορετικές προσεγγίσεις μοντελοποίησης χρησιμοποιώντας το ίδιο λογισμικό. Συνδυάζοντας, λοιπόν, τις θεωρητικές γνώσεις που αναλύθηκαν παραπάνω αξιολογείται η μεθοδολογία αυτή ως προς τις δυνατότητες που προσφέρει για τη προσθήκη σημασιολογικής πληροφορίας στα δυο κανονιστικά μοντέλα. Ουσιαστικά, κύριος σκοπός της παρούσας εφαρμογής είναι η διερεύνηση της χρήσης των εργαλείων του 3D Cities Project για τη σημασιολογική διαχείριση ενός κανονιστικού μοντέλου και στη συνέχεια η μετατροπή τους σε ένα μοντέλο σύμφωνο με το πρότυπο του CityGML. Τέλος, για την ολοκληρωμένη διαχείριση του μοντέλου το μοντέλο εισάγεται στην 3DCityDatabase και εξάγεται σε μορφή KML. Ο τύπος αυτός αρχείων βρίσκει κυρίως εφαρμογή στο Google Earth και επομένως τα τελικό παράγωγο αρχείο απεικονίζονται στο περιβάλλον του Google Earth.

### 6.1 Δεδομένα εφαρμογής

Αρχική ιδέα για την υλοποίηση της συγκεκριμένης εφαρμογής ήταν να χρησιμοποιηθούν δυο μοντέλα από παλαιότερες διπλωματικές εργασίες, οι οποίες ακολούθησαν δυο διαφορετικές προσεγγίσεις μοντελοποίησης, προκειμένου να εξεταστούν σε όλο το δυνατό εύρος τους οι δυνατότητες σημασιολογικής διαχείρισης κανονιστικών μοντέλων.

Σύμφωνα με τη πρώτη προσέγγιση εξετάζεται αν με περιορισμένο αριθμό μοντέλων μπορεί να δημιουργηθεί ένα μέρος μιας πόλης. Η προσέγγιση αυτή εφαρμόστηκε σε κομμάτι της παλιάς πόλης της Κέρκυρας και η απεικόνιση αφορά το κέλυφος των κτηρίων με όλη την τρισδιάστατη πληροφορία που περιλαμβάνουν (Τράνακα, 2014). Στην εικόνα (Εικόνα 34) φαίνεται το μοντέλο που δημιουργήθηκε.



Εικόνα 45-Άποψη του μοντέλου της Κέρκυρας στο CityEngine. (Τράνακα, 2014)

Στη δεύτερη προσέγγιση γίνεται απεικόνιση ενός κτηρίου στο Χαλάνδρι με απόδοση και του εσωτερικού του μέρους (Κωστή, 2014). Οι κανόνες για αυτό το μοντέλο δημιουργήθηκαν από το χρήστη και όχι με χρήση του Facade Wizard.



Εικόνα 46-Άποψη του μοντέλου του Χαλανδρίου. (Κωστή, 2014)

Μετά από εκτενή έρευνα και δοκιμές, διαπιστώθηκε πως δεν ήταν δυνατή η αξιοποίηση των δυο παραπάνω μοντέλων. Το πρόβλημα στα συγκεκριμένα μοντέλα ήταν ο τρόπος με τον οποίο έχουν δημιουργηθεί οι γεωμετρίες τους με βάση τους κανόνες μοντελοποίησης. Πιο αναλυτικά, κατά την εξαγωγή των μοντέλων αυτά αποθηκεύονται ως Multipatch, μια μορφή γεωμετρίας που όπως αναφέρθηκε διαχωρίζει ένα στερεό σε πολλά μικρά κομμάτια. Επιπλέον, το λογισμικό CityEngine δεν έχει τη δυνατότητα να υποστηρίξει σημασιολογική πληροφορία. Πρόκειται για ένα λογισμικό με στόχο την τρισδιάστατη αναπαράσταση κτηρίων, επομένως περιορίζεται στη γεωμετρική αναπαράσταση τους και δεν υποστηρίζει την

σημασιολογία πίσω από κάθε γεωμετρία ούτε την ιεραρχική σημασιολογική δομή των στοιχείων ενός μοντέλου. Επομένως, από κάθε multipatch γεωμετρία απουσιάζει η απαραίτητη σημασιολογική πληροφορία, αν πρόκειται δηλαδή για τοίχο, παράθυρο, οροφή ή έδαφος, και συνακόλουθα δεν είναι δυνατή η αντιστοίχιση τους στις θεματικές ενότητες του CityGML.

Για τους παραπάνω λόγους θεωρήθηκε ως βέλτιστο να δημιουργηθεί εξαρχής ένα μοντέλο χωρίς εξωτερικές λεπτομέρειες με βάση τα πρότυπα που ορίζει το 3D Cities Information Model και κατ' επέκταση το CityGML.

Η οργάνωση της όλης εφαρμογής πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια των εξής προγραμμάτων:

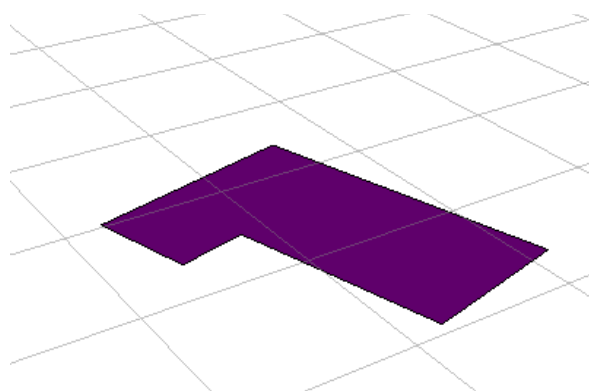
- *CityEngine*, για την εξαγωγή των αρχικών δεδομένων σε μορφή Esri File Geodatabase.
- *ArcGIS* της εταιρείας ESRI, και ειδικά με τα ArcMap και ArcCatalog.
- *FZKViewer*, για την προβολή και οπτικοποίηση του CityGML μοντέλου.

Όπως προαναφέρθηκε η παρούσα εφαρμογή εστιάζει στη σημασιολογική διαχείριση των παραπάνω δεδομένων και στη δημιουργία του CityGML μοντέλου. Για να γίνει αυτό χρησιμοποιήθηκαν τα εργαλεία που παρέχει το 3D Cities Project, στο περιβάλλον του ArcGIS.

### 6.1.1 Δημιουργία του *CityEngine* μοντέλου

Για τη διερεύνηση, λοιπόν, των δυνατοτήτων σημασιολογικής διαχείρισης κανονιστικών μοντέλων δημιουργήθηκε ένα μοντέλο σε επίπεδο λεπτομέρειας δύο (LoD2), χωρίς εξωτερικά στοιχεία και υφές.

Αρχικά, για τη δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου απαιτείται η εισαγωγή του περιγράμματος του κτηρίου. Στο πλαίσιο της παρούσας εφαρμογής χρησιμοποιήθηκε το δισδιάστατο αποτύπωμα του κτηρίου στο Χαλάνδρι. Το ψηφιοποιημένο αποτύπωμα εισήχθη σε μορφή Shapefile στο περιβάλλον του CityEngine.



Εικόνα 47-Το δισδιάστατο αποτύπωμα του κτηρίου στο περιβάλλον του CityEngine.



Τα χαρακτηριστικά που περιέχονται στο δισδιάστατο αποτύπωμα αποδόθηκαν με βάση το πρότυπο του 3DCities. Η πληροφορία του αποτυπώματος καταχωρείται στην τάξη Building της 3DCitydatabase, επομένως γίνεται εύκολα κατανοητό πως τα δυο αυτά στοιχεία βρίσκονται σε άμεση σχέση μεταξύ τους και είναι απαραίτητο να περιέχουν τις ίδιες πληροφορίες. Για αυτό το λόγο τα στοιχεία του δισδιάστατου αποτυπώματος είναι όμοια με αυτά της τάξης Building. Από τα στοιχεία αυτά συμπληρώνονται αυτά για τα οποία υπάρχει πληροφορία από τη διπλωματική εργασία (Κωστή, 2014).

Object Attributes	
Attribution	citygml/Buildi...
BuildingFID	Building
Description	
Name	
OBJECTID	1
Status	Completed
TotalHeight	14
beginLifespan	
eaveHeight	0
endLifespan	
levelsAboveGround	5
levelsBelowGround	1
roofform	
subtype	
type	
usage	

Εικόνα 48-Τα χαρακτηριστικά (Objet Attributes) του αποτυπώματος του κτηρίου

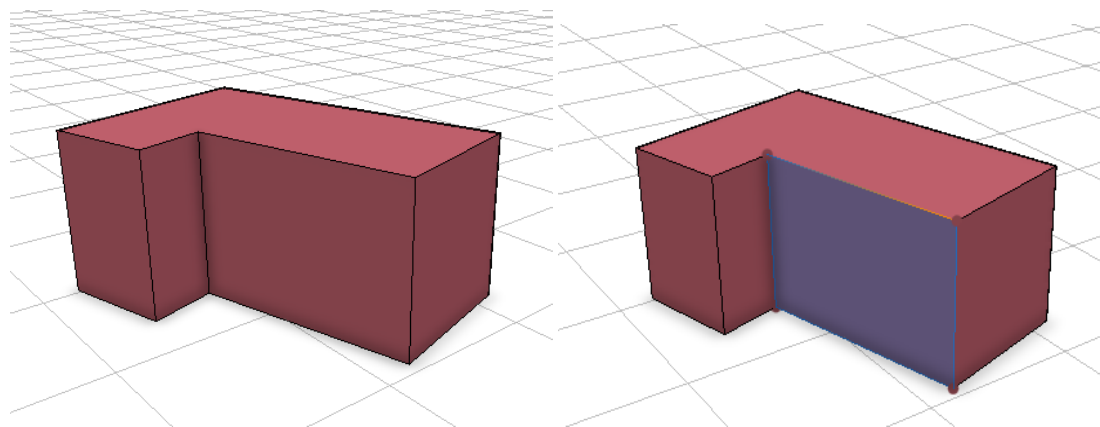
Στη συνέχεια με εφαρμογή ενός κανόνα εξώθησης δημιουργείται ένας όγκος με ύψος όσο το ύψος του κτηρίου.

```
/**
 * File: extrude.cga
 * Created: 24 Oct 2015 16:03:22 GMT
 * Author: user
 */
version "2015.1"
```

```
attr height = 14
@StartRule
```

```
Lot --> extrude(height)
```

Το συγκεκριμένο μοντέλο είναι ένας ενιαίος όγκος. Για το λόγο αυτό με την εντολή Sperate Faces ο όγκος αυτός διαχωρίζεται περαιτέρω στις όψεις από τις οποίες αποτελείται. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.



**Εικόνα 49-Αριστερά το μοντέλο του κτηρίου. Δεξιά οι όψεις του μοντέλου είναι πλέον διαχωρισμένες στο περιβάλλον του CityEngine.**

Όπως και για το αποτύπωμα του κτηρίου, έτσι και για τις όψεις συμπληρώνονται τα χαρακτηριστικά σύμφωνα με την 3DCitydatabase και συγκεκριμένα με βάση την τάξη BuildingShellParts. Τα χαρακτηριστικά αυτά φαίνονται στην επόμενη εικόνα.

Object Attributes	
Attribution	citygml/Walls...
BuildingFID	Building
BuildingShellPartFID	WallSurface/...
Description	
Name	
OBJECTID	6
generator	
shellFID	
type	

**Εικόνα 50-Τα χαρακτηριστικά κάθε όψης του κτηρίου.**

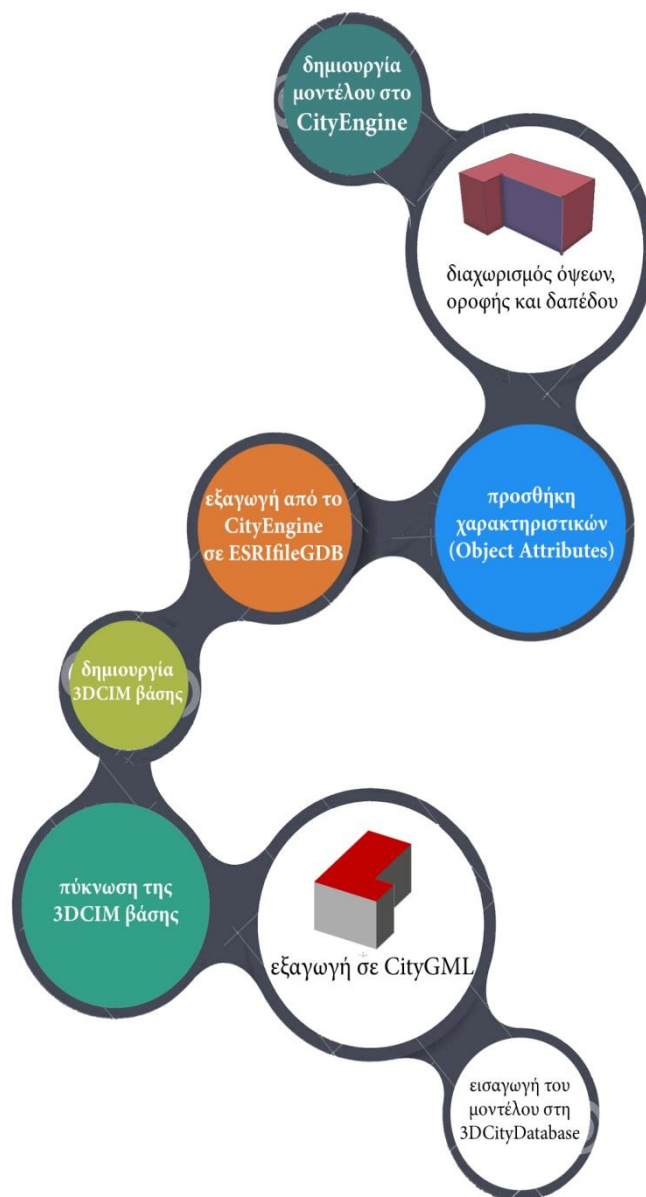
Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να τονιστεί πως οι επιφάνειες που αποτελούν την σκεπή και το πάτωμα του κτηρίου συμπληρώνονται διαφορετικά. Πιο συγκεκριμένα στα πεδία Attribution και BuildingShellPart καταχωρούνται αντίστοιχα οι τιμές RoofSurface και GroundSurface.

## 6.2 Μεθοδολογία

Στην ενότητα αυτή περιγράφεται ο τρόπος εργασίας, πρώτα, για τη σημασιολογική διαχείριση των μοντέλων, και στη συνέχεια, για τη δημιουργία του CityGML μοντέλου. Η προσέγγισή που ακολουθήθηκε αφορά σε τέσσερα κυρίως μεθοδολογικά βήματα:

- A. Εξαγωγή των CityEngine δεδομένων.
- B. Δημιουργία γεωβάσης του 3DCIM(3D City geodatabase)
- C. Πύκνωσή της με τα κατάλληλα δεδομένα.
- D. Εξαγωγή του μοντέλου.

Τα παραπάνω βήματα παρουσιάζονται και στο διάγραμμα εργασιών που ακολουθεί, ενώ στη συνέχεια τα βήματα αυτά αναλύονται περαιτέρω.

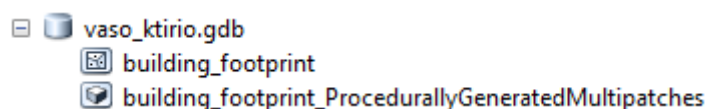


Εικόνα 51-Το διάγραμμα εργασιών της μεθοδολογίας

### 6.2.1 Εξαγωγή των CityEngine δεδομένων

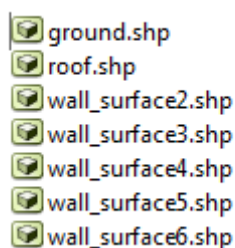
Το πρώτο βήμα της διαδικασίας είναι η εξαγωγή των δεδομένων από το CityEngine. Η εξαγωγή των δεδομένων έγινε σε μορφή Esri FileGDB, καθώς κρίθηκε η πιο κατάλληλη για τη διατήρηση σημασιολογικής πληροφορίας και για την διαλειτουργικότητα με το 3D Cities Project και το πρότυπο CityGML. Οι υπόλοιπες επιλογές εξαγωγής που προσφέρει το CityEngine (OBJ Wavefront, FBX Autodesk, DAE COLLADA, KML, RIB, VOB), στην πλειοψηφία τους δεν διατηρούν τη σημασιολογική πληροφορία. Οι τάξεις στοιχείων (feature classes) της εξαγόμενης Esri FileGDB περιέχουν Multipatch τάξεις στοιχείων, οι οποίες έχουν την ίδια γεωμετρία και υφές, με αυτές που έχουν εφαρμοστεί στο CityEngine μέσω των CGA κανόνων.

Αρχικά, λοιπόν, εξάγεται το μοντέλο που έχει δημιουργηθεί στο περιβάλλον του CityEngine σε γεωβάση. Η βάση αυτή περιέχει, όπως φαίνεται και στην εικόνα που ακολουθεί, το δισδιάστατο αποτύπωμα του κτηρίου καθώς και το τρισδιάστατο μοντέλο σε μορφή Multipatch.



Εικόνα 52-Η εξαγόμενη βάση από το CityEngine.

Κατόπιν, εξάγονται ξεχωριστά οι όψεις του κτηρίου σε μορφή Shapefile με πληροφορία για τη τρίτη διάσταση. Τα στοιχεία είναι:



Εικόνα 53-Οι εξαγόμενες επιφάνειες από το CityEngine.

Κατά την εξαγωγή των θεματικών επιπέδων διαπιστώνεται, στο περιβάλλον του ArcGIS στον πίνακα χαρακτηριστικών (Attribute Table) πως διατηρούνται όλα τα χαρακτηριστικά που είχαν καταχωρηθεί στο CityEngine.

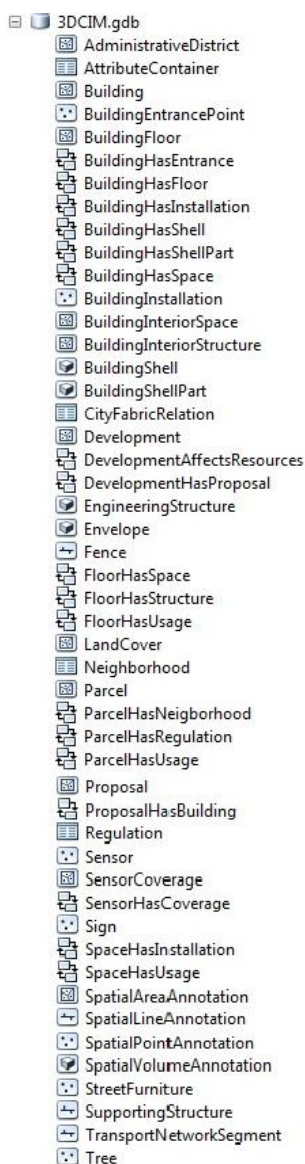
wall_surface2														
Name_2	BldngShlP	Dscrptn	ttrbtn	ruleFile	startRule	name	BldngFD	generator	shellFID	type	height	randomSeed	OBJECTID	
	WallSurface/wall2		citygml/WallSurface/lo2Multisurface	rules/extrude.cga	Lot	Shape 1_2	Building				10	-683521	2	

Εικόνα 54-Ο πίνακας χαρακτηριστικών στο ArcGIS για μια τυχαία επιφάνεια. Οι τιμές που είχαν καταχωρηθεί έχουν διατηρηθεί.

### 6.2.2 Δημιουργία γεωβάσης του 3DCIM

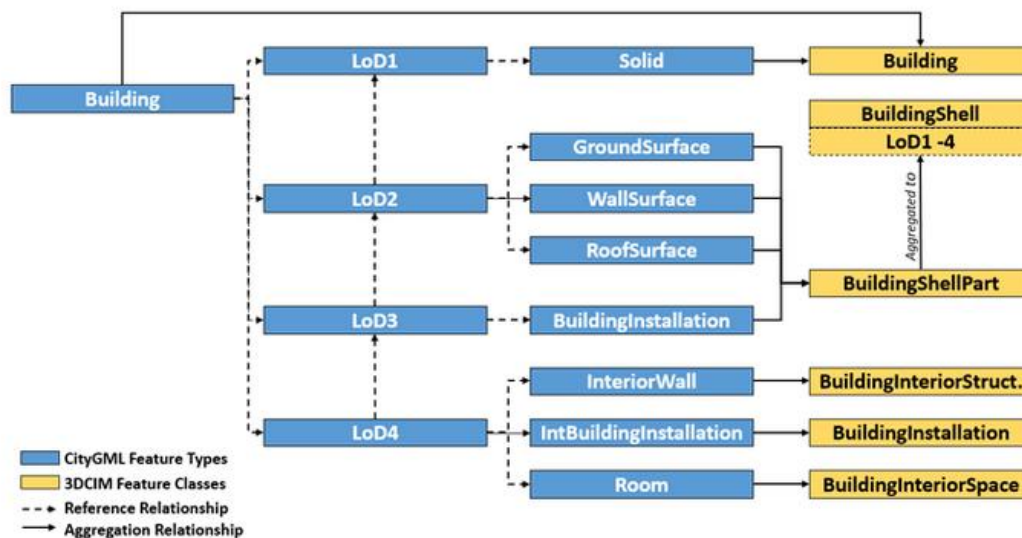
Το δεύτερο βήμα για την προσθήκη της σημασιολογική πληροφορίας είναι η δημιουργία της γεωβάσης σύμφωνα με το πρότυπο του 3DCIM. Η βάση αυτή εξυπηρετεί την αποθήκευση των δεδομένων του CityEngine, την σωστή αντιστοίχιση της σημασιολογικής πληροφορίας και στη συνέχεια την εξαγωγή τους σε μορφή CityGML. Η δημιουργία της βάσης χωρικών δεδομένων με βάση το μοντέλο του 3D Cities πραγματοποιείται με την χρήση της γεωβάσης του ArcGIS.

Με τη βοήθεια του εργαλείου Schema Generator θα δημιουργηθεί μια βάση δεδομένων με όλες τις τάξεις στοιχείων, τους πίνακες, τις σχέσεις και τα πεδία που έχουν οριστεί. Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνεται το περιεχόμενο αυτής της βάσης δεδομένων.



Εικόνα 55-Η γεωβάση του 3DCIM.

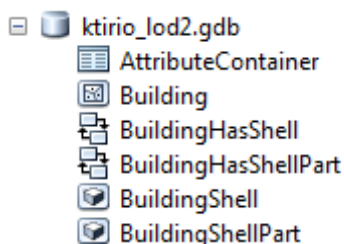
Η βάση αυτή περιλαμβάνει τάξεις στοιχείων και πίνακες, οι οποίοι καλύπτουν ένα πολύ μεγάλο εύρος εφαρμογών. Ωστόσο, στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εξετάζεται μόνο το κομμάτι που αφορά στη μοντελοποίηση κτιρίων. Όπως φαίνεται και στην εικόνα που ακολουθεί οι τάξεις οι οποίες αντιστοιχούν στο κτιριακό μοντέλο είναι οι Building, BuildingShell, BuildingShellPart, BuildingInteriorStructure, BuildingInstallation, BuildingInteriorSpace. Οι τάξεις αυτές καλύπτουν όλα τα δυνατά επίπεδα λεπτομέρειας, LoD0 έως LoD4.



Εικόνα 56-Η αντιστοιχία μεταξύ των τύπων του CityGML και των τάξεων του 3DCIM. (Πηγή:arcgis.com, 2015)

Το μοντέλο που δημιουργήθηκε για τις ανάγκες της συγκεκριμένης εργασίας, είναι σε επίπεδο λεπτομέρειας τρία (LoD2), επομένως οι κλάσεις που ανταποκρίνονται στο συγκεκριμένο μοντέλο είναι οι Building, BuildingShell, BuildingShellPart, καθώς και οι σχέσεις μεταξύ τους και ο πίνακας AttributeContainer.

Η βάση που ανταποκρίνεται στη συγκεκριμένη εφαρμογή παρουσιάζεται στην εικόνα 45. Στις εικόνες 46 έως 48 παρουσιάζονται οι ιδιότητες των οντοτήτων, όπως αυτές ορίζονται στο περιβάλλον του 3DCIM.



Εικόνα 57-Η γεωβάση 3DCIM για το μοντέλο

Field Name	Data Type
OBJECTID	Object ID
Shape	Geometry
Shape_Length	Double
Shape_Area	Double
BuildingFID	Text
name	Text
description	Text
attribution	Text
usage	Text
type	Text
subtype	Text
totalHeight	Double
eaveHeight	Double
roofForm	Text
levelsAboveGround	Short Integer
levelsBelowGround	Short Integer
status	Text
phase	Text
groupFID	Text
beginLifespan	Date
endLifespan	Date

Εικόνα 58-Η οντότητα Building.

Field Name	Data Type
Shape	Geometry
OID	Object ID
BuildingShellFID	Text
name	Text
description	Text
attribution	Text
buildingFID	Text
generator	Text
protectionLevel	Short Integer

Εικόνα 59-Η οντότητα BuildingShell

Field Name	Data Type
Shape	Geometry
OID	Object ID
BuildingShellPartFID	Text
name	Text
description	Text
attribution	Text
buildingFID	Text
shellFID	Text
type	Text

Εικόνα 60-Η οντότητα BuildingShellPart

### 6.2.3. Πύκνωση της γεωβάσης του 3DCIM

Εφόσον, λοιπόν, έχει πραγματοποιηθεί η εξαγωγή του μοντέλου από το CityEngine και έχει δημιουργηθεί η γεωβάση του 3DCIM, με τον τρόπο που περιγράφηκαν σε προηγούμενη ενότητα, σειρά έχει τώρα η πύκνωση της με τα κατάλληλα δεδομένα.

Οι κλάσεις, οι οποίες θα εμπεριέχουν όλη την απαραίτητη πληροφορία για το τρισδιάστατο μοντέλο είναι η Building, BuildingShell και BuildingShellPart. Η κλάση Building περιέχει το δισδιάστατο αποτύπωμα του κτηρίου και όλη τη πληροφορία για το κτήριο (π.χ. αριθμό ορόφων και υπογείων, ύψος, χρήσεις κ.α.), η BuildingShell περιέχει το τρισδιάστατο μοντέλο του κτηρίου ως μια ενιαία οντότητα σε μορφή Multipatch, ενώ τέλος η BuildingShellPart περιλαμβάνει την κάθε όψη του κτηρίου, την οροφή και το πάτωμα και πάλι σε μορφή Multipatch. Η πύκνωση πραγματοποιείται «φορτώνοντας» τα δεδομένα στις αντίστοιχες τάξεις στοιχείων, με το εργαλείο Load του ArcGIS. Το περιεχόμενο κάθε τάξης παρουσιάζεται στις εικόνες που ακολουθούν.

Προσοχή πρέπει να δοθεί σε αυτό το σημείο στη σωστή αντιστοίχιση των πεδίων της βάσης που περιέχει τα στοιχεία από το CityEngine και της βάσης του 3DCIM. Με αυτό το τρόπο εξασφαλίζεται η μεταφορά των δεδομένων χωρίς να υπάρχουν απώλειες.

Building															
OBJECTID	Shape	Shape_Length	Shape_Area	Building Feature ID	Name	Description	Attribution/Source	Usag	Building Type	Building Subtype	Total heigh	Eave height	Roof form	Levels above ground	Levels below groun
1	Polygo	71	238.379832	Building	Shape		citygm/Building	<Null>	<Null>		14	0	<Null>	5	1

Εικόνα 61-Το περιεχόμενο της feature class Building.

BuildingShell								
Geometry *	ObjectIdent *	BuildingShell Feature ID	Name	Description	Attribution/Source	Building FID *	Source	Protection level
Multipatch	10	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>		<Null>	<Null>

Εικόνα 62- Το περιεχόμενο της feature class BuildingShell.

BuildingShellPart								
Geometry *	ObjectIdent *	BuildingShellPart Feature ID	Name	Description	Attribution/Source	Building FID *	Shell FID	Shell part type
Multipatch	2	GroundSurface/Ground	Shape 1		citygm/GroundSurface/lot2Multisurface	Building	<Null>	Ground Plate
Multipatch	3	RoofSurface/Roof	Shape 1_1	<Null>	citygm/RoofSurface/lot2Multisurface	Building	<Null>	Roof
Multipatch	4	WallSurface/Wall2	Shape 1_2		citygm/WallSurface/lot2Multisurface	Building		Wall
Multipatch	5	WallSurface/Wall3	Shape 1_3		citygm/WallSurface/lot2Multisurface	Building		Wall
Multipatch	6	WallSurface/Wall4	Shape 1_4		citygm/WallSurface/lot2Multisurface	Building		Wall
Multipatch	7	WallSurface/Wall5	Shape 1_5		citygm/WallSurface/lot2Multisurface	Building		Wall
Multipatch	8	WallSurface/Wall6	Shape 1_6		citygm/WallSurface/lot2Multisurface	Building		Wall
Multipatch	9	WallSurface/Wall7	Shape 1_7		citygm/WallSurface/lot2Multisurface	Building		Wall

Εικόνα 63- Το περιεχόμενο της feature class BuildingShellPart.

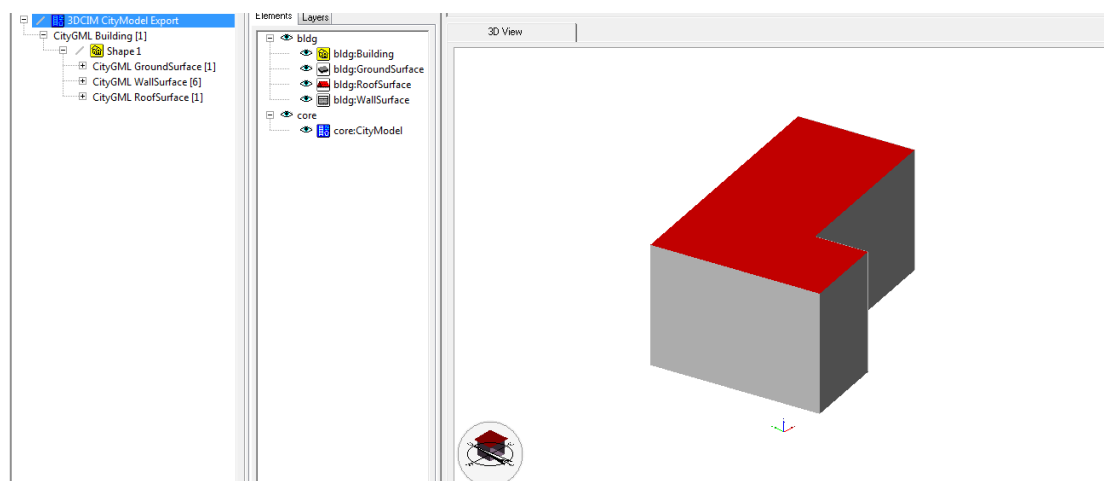


#### 6.2.4 Εξαγωγή του τελικού CityGML μοντέλου.

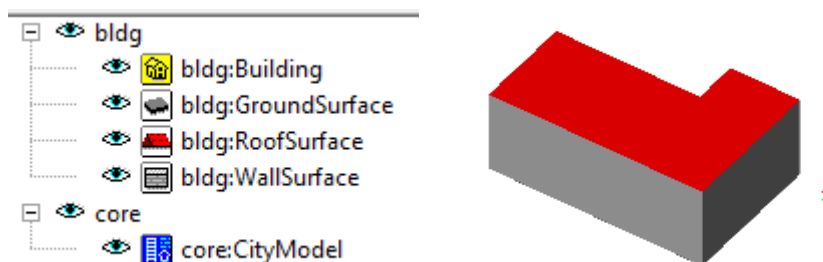
Τελικό στάδιο της μεθοδολογίας είναι η εξαγωγή της βάσης δεδομένων του 3DCIM σε μορφή συμβατή με το πρότυπο CityGML. Η σωστή αντιστοίχιση των δεδομένων που προηγήθηκε είναι πολύ σημαντική σε αυτό το σημείο, προκειμένου να γίνει σωστή απόδοση των στοιχείων του μοντέλου με βάση τις προδιαγραφές του CityGML. Με άλλα λόγια τα στοιχεία να αντιστοιχηθούν στις κατάλληλες θεματικές ενότητες του CityGML.

Από τα διαθέσιμα CityGML εργαλεία που προσφέρει το 3D Cities Project, χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο Export. Σαν δεδομένο εισόδου τίθεται η βάση που δημιουργήθηκε με βάση το 3DCIM.

Το τελικό αρχείο ελέγχεται στο περιβάλλον του FZK Viewer, και παρουσιάζεται στην εικόνα που ακολουθεί. Ο FZK Viewer είναι ένα λογισμικό για την οπτικοποίηση GML αρχείων, το οποίο "διαβάζει" και αποδίδει τη γεωμετρία του μοντέλου καθώς και τις αντίστοιχες θεματικές ενότητες στις οποίες αυτά ανήκουν.



Εικόνα 64-Το τελικό μοντέλο στο περιβάλλον του FZK Viewer.



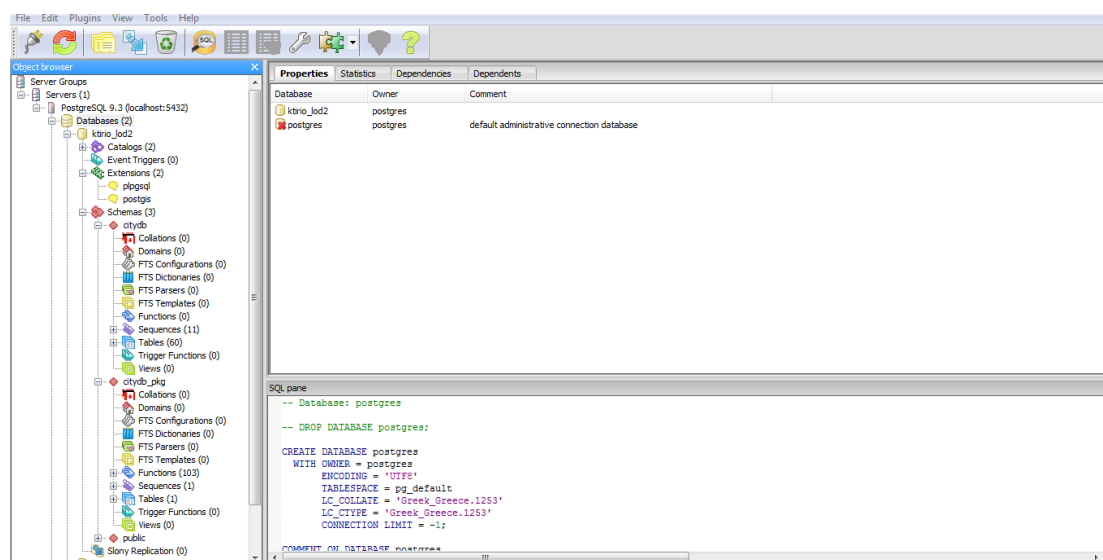
Εικόνα 65-Αριστερά οι τάξεις της θεματικής τάξης Building του CityGML. Δεξιά μια άλλη άποψη του μοντέλου.

### 6.2.5 Εισαγωγή του CityGML μοντέλου στην 3DCityDatabase & Εξαγωγή του σε KML

Μετά την εξαγωγή του τελικού μοντέλου σε μορφή CityGML, τοποθετήθηκε στην 3D City Database, μέσω του εργαλείου Importer/Exporter. Στη συνέχεια γίνεται εξαγωγή του σε μορφή KML, και κατόπιν μεταφορτώνεται στο Google Earth.

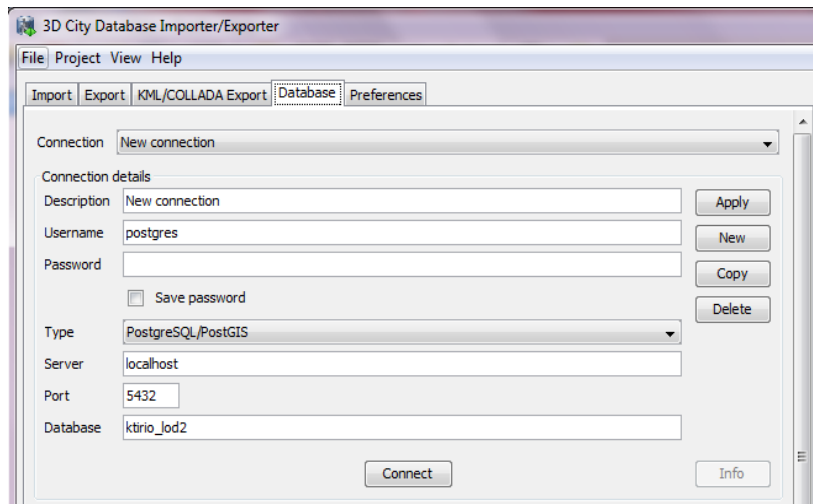
Το πρώτο βήμα για την εισαγωγή του μοντέλου στην 3DCityDB είναι η δημιουργία μιας κενής βάσης δεδομένων. Η βάση αυτή δημιουργείται στο Σύστημα Διαχείρισης Δεδομένων PostgreSQL. Η 3DCityDB παρέχει τη δυνατότητα δημιουργίας της κενής βάσης και με τη βοήθεια του συστήματος Oracle, παρόλα αυτά στο πλαίσιο της παρούσας εφαρμογής επιλέχθηκε η PostgreSQL διότι είναι ένα ελεύθερο και ανοιχτού κώδικα λογισμικό. Η διαχείριση γίνεται μέσω του pgAdmin III.

Αφού, λοιπόν, γίνει η εγκατάσταση της PostgreSQL και της αντίστοιχης επέκτασης PostGIS, δημιουργείται στο περιβάλλον του pgAdmin III μια νέα κενή βάση δεδομένων.



Εικόνα 66-Δημιουργία κενής βάσης δεδομένων στο περιβάλλον pgAdmin III.

Στη συνέχεια συνδέεται η νέα βάση δεδομένων με την 3DCityDB Importer/Exporter και εισάγεται το cityGML αρχείο που έχει δημιουργηθεί. Η σύνδεση αυτή πραγματοποιείται μέσα από το εργαλείο Importer/Exporter συμπληρώνοντας τα πεδία username, password και το όνομα της βάσης, όπως φαίνεται και στην εικόνα που ακολουθεί.



**Εικόνα 67-Η καρτέλα Database του Importet/Exporter για τη σύνδεση της βάσης με την 3DCityDB.**

Η εισαγωγή των CityGML αρχείων πραγματοποιείται από τη καρτέλα Import.

Για την τελική εξαγωγή σε KML, υπολογίστηκαν τα όρια των συντεταγμένων του από την καρτέλα Import, τα οποία αντιγράφηκαν στην καρτέλα KML/COLLADA Export, επιλέχθηκε το κατάλληλο επίπεδο λεπτομέρειας και το feature class που αναπαρίσταται. Η προσαρμογή των χρωμάτων απεικόνισης γίνεται από την καρτέλα Preferences και το μενού Rendering. Με αυτό το τρόπο ολοκληρώνεται η δημιουργία του KML αρχείου. Το αποτέλεσμα αυτής της εξαγωγής είναι ένα αρχείο το οποίο περιλαμβάνει το κτηριακό μοντέλο και παρουσιάζεται στη συνέχεια.



**Εικόνα 68--Το μοντέλο του κτηρίου στο Google Earth.**



**Εικόνα 69-Το μοντέλο των κτηρίων στο Google Earth.**

## 7. Συμπεράσματα

---

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα κυριότερα συμπεράσματα που προέκυψαν κατά την υλοποίηση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας καθώς και ορισμένες προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

Η προσέγγιση κανονιστικής μοντελοποίησης που ακολουθήθηκε κατά τη δημιουργία του τρισδιάστατου κτηριακού μοντέλου διαχωρίζει το κτήριο στα συστατικά του μέρη (Footprint, Wallsurfaces, Roof, Ground) ανάλογα με το επίπεδο λεπτομέρειας που έχει επιλεγεί και ταυτόχρονα γίνεται απόδοση ορισμένων θεματικών χαρακτηριστικών σύμφωνα με τις προδιαγραφές του 3DCIM. Το CityEngine είναι ένα λογισμικό προσανατολισμένο στην τρισδιάστατη μοντελοποίηση και απεικόνιση είτε για αστικά περιβάλλοντα, όπως αυτό της πόλης της Κέρκυρας, είτε για το εσωτερικό μέρος του κτηρίου, όπως το κτήριο στο Χαλάνδρι. Ικανοποιεί τις απαιτήσεις ενός τρισδιάστατου Κτηματολογίου για γρήγορη και ρεαλιστική απεικόνιση μέσω κανόνων. Και στις δυο περιπτώσεις, ωστόσο, οι δυνατότητες περαιτέρω ανάλυσης των μοντέλων είναι περιορισμένες, εξαιτίας της έλλειψης σημασιολογικής πληροφορίας. Όπως έχει αναφερθεί τα μοντέλα εξάγονται από το CityEngine σε μορφή ESRI FileGDB ως Multipart γεωμετρίες, κάτι το οποίο δημιουργεί προβλήματα ανάλυσης σε περιβάλλον ΣΓΠ, ακόμα και από λογισμικά της ίδια εταιρείας (ArcGIS). Σημαντικό, λοιπόν, κρίνεται να εξασφαλίζεται η διαλειτουργικότητα με βάσεις δεδομένων και άλλα τεχνολογίες μοντελοποίησης με απώτερο στόχο την χωρική ανάλυση και σε τρισδιάστατα χωρικά συστήματα.

Το πρότυπο CityGML είναι ένα μοντέλο πόλης το οποίο συνδυάζει τη γεωμετρική και τοπολογική πληροφορία με τη σημασιολογική. Η πληροφορία για τη θέση και το σχήμα των αντικειμένων είναι απλά η κορυφή του παγόβουνου. Η ουσία βρίσκεται στις σημασιολογικές πληροφορίες που καταχωρούνται για κάθε ένα αντικείμενο. Αυτές είναι που επιτρέπουν την εκτέλεση ερωτημάτων και την χωρική ανάλυση. Για να υποστηρίξει τη σημασιολογική πληροφορία το CityGML ορίζει μια συγκεκριμένη ορολογία για τα αντικείμενα της πραγματικότητας. Διαθέτει, δηλαδή, μια αυστηρή δομή στην απόδοση των στοιχείων ενός μοντέλου. Για αυτό το λόγο είναι αναγκαία η μελέτη σε βάθος της δομής του, των θεματικών εννοιών στις οποίες χωρίζεται και των στοιχείων που περιλαμβάνει, ενώ καθοριστική σημασία έχει η άρτια οργάνωση των δεδομένων σύμφωνα με τις προδιαγραφές που ορίζει.

Όσον αφορά το 3D Cities Project, είναι ένα σύνολο εργαλείων και στοιχείων (θεματικών επιπέδων, παραδειγμάτων και μοντέλων πληροφοριών) το οποίο είναι πολύ χρήσιμο. Το μοντέλο πληροφοριών του και ιδιαίτερα η βάση δεδομένων που υποστηρίζει ανταποκρίνονται σε πληθώρα εφαρμογών, ενώ υλοποιείται στο περιβάλλον του ArcGIS, ένα αρκετά δημοφιλές και οικείο λογισμικό. Η βάση δεδομένων του 3DCIM περιλαμβάνει συγκεκριμένες τάξεις στοιχείων με ορισμένα εξαρχής τα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες τους, καθώς και τις σχέσεις μεταξύ τους. Είναι, επομένως καθοριστικό, να εξασφαλίζεται η σωστή δομή της βάσης και να εμπλουτίζεται με τα κατάλληλα δεδομένα. Ενσωματώνοντας το λογισμικό FME (Feature Manipulation Engine, Safe Software), το οποίο διαθέτει πολλαπλές δυνατότητες μετάφρασης αρχείων, το 3DCIM είναι σε θέση δεδομένα αποθηκευμένα

στη βάση δεδομένων του να μετατραπούν σε ένα αρχείο CityGML. Αντλαμβάνεται κανείς πως αυτό είναι ένα σημαντικό πλεονέκτημα για την εξασφάλιση διαλειτουργικότητας μεταξύ δυο τόσο δημοφιλών διαδικασιών μοντελοποίησης.

### **Αξιολόγηση των μοντέλων (CityGML & KML)**

Ζητούμενο κατά τη διεξαγωγή αυτής της εργασίας ήταν η σημασιολογική διαχείριση των CityEngine δεδομένων προκειμένου να εμπλουτιστούν και να μετατραπούν σε μορφή σύμφωνη με τα πρότυπα του CityGML. Η μετατροπή αυτή έγινε με επιτυχία και το μοντέλο που προέκυψε είναι απόλυτα σύμφωνο με τις προδιαγραφές του συγκεκριμένου προτύπου. Το μοντέλο εντάσσεται στη σωστή θεματική ενότητα (Building) και ακολουθεί την ιεραρχική δομή που προτείνεται από το πρότυπο, οι επιφάνειες του εντάσσονται επίσης στις σωστές υποενότητες (WallSurface, GroundSurface, RoofSurface), έχουν σωστή γεωμετρία (MultiSurface), ενώ είναι ορθά ορισμένα και η τοπολογία τους.

Όπως αναφέρθηκε το KML είναι ένας τύπος αρχείων για την οπτικοποίηση γεωγραφικών δεδομένων σε χαρτογραφικές εφαρμογές. Το μοντέλο που προέκυψε από το CityGML αρχείο και απεικονίζεται στο Google Earth είναι επίσης σωστό ενώ και η γεωαναφορά του ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα.

Συνοψίζοντας, λοιπόν, όλα τα παραπάνω το συμπέρασμα που προκύπτει είναι πως η σημασιολογική διαχείριση κανονιστικών δεδομένων στο πλαίσιο της παρούσας εφαρμογής είναι δυνατή, εφόσον τα δεδομένα είναι δομημένα εξαρχής με βάση τις προδιαγραφές που επιτάσσει το 3DCIM. Η δομή της 3DCity βάσης εξασφαλίζει την καταχώρηση σημασιολογικής πληροφορίας στο μοντέλο του CityEngine και κατ'επέκταση την αυτόματη εξαγωγή του σε CityGML.

### **Προτάσεις για μελλοντική έρευνα**

Το πεδίο της τρισδιάστατης σημασιολογικής μοντελοποίησης είναι πολύ ευρύ και εξελίσσεται συνεχώς προκειμένου να καλύψει τις σύγχρονες ανάγκες. Μέσα σε αυτό το περιβάλλον και η παρούσα εφαρμογή έχει πολλά περιθώρια να εξελιχθεί και να χρησιμοποιηθεί σε ακόμα περισσότερες εφαρμογές. Μια πρόταση που θα μπορούσε να γίνει είναι να εφαρμοστεί για τη σημασιολογική διαχείριση ενός μοντέλου σε επίπεδο πόλης πια, αρχικά σε LoD2 και στη συνέχεια σε υψηλότερο, προκειμένου να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη ενός τρισδιάστατου κτηματολογίου. Αλλά και σε επίπεδο κτηρίου, θα ήταν χρήσιμο να εφαρμοστεί και να αξιολογηθούν τα αποτελέσματα και η διαδικασίες για όλα τα δυνατά επίπεδα λεπτομέρειας.

# Παραρτήματα

---

## Παράρτημα Α

### *A. Extensible Markup Language (XML)*

Η Extensible Markup Language (XML) είναι μια γλώσσα σήμανσης, που περιέχει ένα σύνολο κανόνων για την ηλεκτρονική κωδικοποίηση κειμένων. Σχεδιάστηκε δίνοντας έμφαση στην απλότητα, τη γενικότητα και τη χρησιμότητα στο διαδίκτυο. Είναι μια μορφοποίηση δεδομένων κειμένου και στοχεύει στο διαχωρισμό της παρουσίασης, της δομής και της ερμηνείας των δεδομένων από το πραγματικό περιεχόμενο. Αν και η σχεδίαση της XML εστιάζει στα κείμενα, χρησιμοποιείται ευρέως για την αναπαράσταση αυθαίρετων δομών δεδομένων, όπως για παράδειγμα οι βάσεις δεδομένων. Η προσέγγιση της XML είναι πολύ απλή, καθώς επισημαίνει τμήμα των δεδομένων με μια περιγραφική ετικέτα, εξ ου και ο όρος markup.

### *B. Unified Modeling Language (UML)*

Η Unified Modeling Language ή αλλιώς Ενοποιημένη Γλώσσα Σχεδιασμού είναι μια γραφική γλώσσα για την οπτική παράσταση, τη διαμόρφωση προδιαγραφών και την τεκμηρίωση συστημάτων που βασίζονται σε λογισμικό (Σπινέλλης, 2015). Περιλαμβάνει μια ποικιλία συμβολισμών και βοηθάει στη σχεδιασμό αντικειμενοστραφών συστημάτων. Τα βασικά στοιχεία της UML είναι: οι Οντότητες, οι Σχέσεις και τα Διαγράμματα.

Το Διάγραμμα Κλάσεων ενός συστήματος είναι ένα διάγραμμα δομής που περιέχει τις κλάσεις μαζί με τους αντίστοιχους δεσμούς εξάρτησης, γενίκευσης και σύνδεσης. Έτσι ένα διάγραμμα κλάσεων μπορεί να απεικονίσει τη χρήση της κληρονομικότητας στο σχεδιασμό με τη χρήση δεσμών γενίκευσης.

Τα διαγράμματα κλάσεων της UML ορίζουν γεωμετρικά σχήματα ως συμβολισμούς για τα αντικείμενα, τις κλάσεις και τις διασυνδέσεις, ενώ διαφόρων τύπων γραμμές χρησιμοποιούνται για να συνδέουν αυτά τα σχήματα και να υποδηλώνουν έτσι τον τρόπο που κληρονομούν συνεργάζονται ή εξαρτώνται μεταξύ τους. Τα αντικείμενα της ίδιας κλάσης αναπαριστώνται με ένα μόνο γεωμετρικό σχήμα, ενώ καθεμία από τις διασυνδέσεις συμβολίζεται οπτικά με έναν διαφορετικό τύπο γραμμής μεταξύ των συμμετεχόντων κλάσεων.

# Βιβλιογραφία

---

## Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

Benhamu, M., Doytshr, Y., 2003, *Towards a spatial 3D cadastre in Israel*, Computers, Environment and urban systems, 27(4), pp. 359-374.

Billen, R., Zlatanova, S., 2003, *3D Spatial relationships model: a useful concept for 3D Cadastre?* Computers, Environment and Urban Systems, 27(4), pp. 411-425.

Bishr, Yaser, 1998, *Overcoming the semantic and other barriers to GIS interoperability*, International journal of geographical information science 12.4, pp. 299-314.

Boeters, R., 2013. *Automatic enhancement of CityGML LoD2 models with interiors and its usability for net internal area determination*, MSc thesis, Delft University of Technology, Netherlands.

Çağdaş, V., 2013. *An Application Domain Extension to CityGML for immovable property taxation: A Turkish case study*. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Volume 21, pp. 545-555.

Dimopoulou, E. et al., 2014. INVESTIGATING INTEGRATION POSSIBILITIES BETWEEN 3D MODELING TECHNIQUES, Proceedings 4th International Workshop on 3D Cadastres, 9-11 November 2014, Dubai, United Arab Emirates. International Federation of Surveyors (FIG), 2011.

Döllner, Jürgen. et al., 2006. *The virtual 3d city model of berlin-managing, integrating, and communicating complex urban information*. Proceedings of the 25th Urban Data Management Symposium UDMS. Vol. 2006.

Dsilva, M., Speckmann, B., Westenberg, M. & van Hee, K., 2009. *A feasibility study on CityGML for cadastral purposes*, MSc thesis, Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven, The Netherlands.

El-Makewy, M., Ostman, A., 2010. *Semantic Mapping: An ontology engineering method for intergrating building models in IFC and CityGML*. Proceedings 3rd ISDE Digital Earth Summit, 12-14 June 2010, Nessebar, Bulgaria.

Foley, J.D., 1996, *Computer Graphics: Principles and Practice*, Second addition in C, Addison-Wesley.



Gózdz, K., Pachelski, W., Van Oosterom, P. & Coors, V., 2011. *The possibilities of using CityGML for 3D representation of buildings in the cadastre*. Proceedings 4th International Workshop on 3D Cadastres, 9-11 November 2014, Dubai, United Arab Emirates. International Federation of Surveyors (FIG), 2011.

Gröger, G., Kolbe, T. H., Nagel, C. & Hfele, K., 2012. *OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard*. s.l.:Version.

Gröger, G. & Plümer, L., 2012. *CityGML--Interoperable semantic 3D city models*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume 71, pp. 12-33.

Kolbe, T. H., 2009. Representing and exchanging 3D city models with CityGML. In: *3D geo-information sciences*. s.l.:Springer, pp. 15-31.

Muller, P., Wonka, P., Haegler, S., Ulmer, A., Gool, L.V., 2006, *Procedural Modeling of Buildings*.

Rönsdorff, C., Wilson, D. & Stoter, J., 2011. *Integration of land administration domain model with CityGML for 3D Cadastre*. Proceedings 4th International Workshop on 3D Cadastres, 9-11 November 2014, Dubai, UAE. International Federation of Surveyors (FIG), 2011.

Şengül, Ahmet, 2010, *Extracting semantic building models from aerial stereo images and conversion to CityGML*. Diss, Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey.

Shen Ying, Fengzan Jin, Renzhong Guo, Lin Li, Jie Yang and Yujie Zhou, 2014, *The Conversion from CityGML to 3D Property Units, China*. Proceedings 4th International Workshop on 3D Cadastres, 9-11 November 2014, Dubai, United Arab Emirates. International Federation of Surveyors (FIG), 2011

Stoter, J., Salzman, M., 2003, *Towards a 3D Cadastre: where do cadastral needs and technical possibilities meet?*, *Computers, Environment and Urban Systems*, 27(4), pp 395-410.

Stadler, A. & Kolbe, T. H., 2007. *Spatio-semantic coherence in the integration of 3D city models*. Proceedings of the 5th International Symposium on Spatial Data Quality, Enschede.

Van den Brink, L., Stoter, J. E. & Zlatanova, S., 2013. UML-Based Approach to Developing a CityGML Application Domain Extension.. *T. GIS*, 17(6), pp. 920-942.

Van den Brink, L., Stoter, J. & Zlatanova, S., 2012. *Modelling an application domain extension of CityGML in UML*. ISPRS Conference 7th International Conference on 3D Geoinformation, The International Archives on the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXVIII-4, part C26, 16–17 May 2012, Québec, Canada.

## Ελληνική Βιβλιογραφία

Δημοπούλου, Ε., 2012, *3D Καταγραφές στο Εθνικό Κτηματολόγιο*. Σημειώσεις του Μαθήματος Θέματος "Ανάπτυξη και Διαχείριση Συστημάτων Κτηματολογίου, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Αθήνα.

Δημοπούλου, Ε., 2012, *Διερεύνηση και Καταγραφή Προβλημάτων κατά τη Σύνταξη του Εθνικού Κτηματολογίου*. Σημειώσεις του Μαθήματος Θέματος "Ανάπτυξη και Διαχείριση Συστημάτων Κτηματολογίου, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Αθήνα.

Ζεντέλης, Π., 2010. *Περί Κτημάτων Λόγος και Κτηματολόγιο*, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 2010.

Κτηματολόγιο εν δράσει 1, Ιούνιος 2010. Περιοδική Έκδοση της Κτηματολόγιο Α.Ε.

Κτηματολόγιο εν δράσει 7, Ιανουάριος-Μάρτιος 2012. Πρόοδος του έργου. Περιοδική Έκδοση της Κτηματολόγιο Α.Ε.

Κωστή, Βασιλική, 2014, *Κανονιστική μοντελοποίηση στο τρισδιάστατο κτηματολόγιο με εφαρμογή σε λεπτομερές 3D κτηριακό μοντέλο*, Αθήνα.

Ντόκου, Α., 2004, *Χωρικές διαδικασίες τεκμηρίωσης τρισδιάστατης πληροφορίας ιδιοκτησιακών αντικειμένων*. Αειχώρος 3 (2), σελ. 134-153.

Περί Κτήσεως Λόγος 1, Ιούνιος- Αύγουστος 2007. Περιοδική Έκδοση του Τμήματος Επικοινωνίας και Δημοσίων Σχέσεων της Κτηματολόγιο Α.Ε.

Περί Κτήσεως Λόγος 2&3, Ιανουάριος 2009. Περιοδική Έκδοση του Τμήματος Επικοινωνίας και Δημοσίων Σχέσεων της Κτηματολόγιο Α.Ε.

Τράνακα, Πηνελόπη, 2014, *3D κανονιστική μοντελοποίηση κτιρίων της παλιάς πόλης της Κέρκυρας*, Αθήνα.

Τσιλιάκου, Εύα, 2013, *Κανονιστική Μοντελοποίηση στο 3D Κτηματολόγιο-Εφαρμογή στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου*, Αθήνα.

Ψωμαδάκη, Στυλιανή, 2014, *Διερεύνηση των Δυνατοτήτων Εναρμόνισης του Εθνικού Κτηματολογίου με Διεθνή Πρότυπα*, Αθήνα.

## Ιστοσελίδες

[www.ktimatologio.gr](http://www.ktimatologio.gr)

[www.esri.com](http://www.esri.com)

[resources.arcgis.com/en/help/main/10.2/index.html](http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.2/index.html)

[desktop.arcgis.com/en/3d/3d-cities](http://desktop.arcgis.com/en/3d/3d-cities)

[github.com/Esri/3d-cities-template](https://github.com/Esri/3d-cities-template)

[www.opengeospatial.org/standards/citygml](http://www.opengeospatial.org/standards/citygml)

[www.citygml.org](http://www.citygml.org)

[collegerama.tudelft.nl/Mediasite/Play/7b440617cd1342bob5b006fc0f6563ef1d](http://collegerama.tudelft.nl/Mediasite/Play/7b440617cd1342bob5b006fc0f6563ef1d)

[www.citygmlwiki.org](http://www.citygmlwiki.org)

(Τελευταία επίσκεψη 29/10/2015)

