

ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

Τμήμα Γεωγραφίας

**ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΑΣΤΙΚΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ - Η περίπτωση της Λάρισας**

Πτυχιακή εργασία της Σωτηροπούλου Αυγής

Αθήνα, Ιούλιος 2014

ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

Τμήμα Γεωγραφίας

**ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΑΣΤΙΚΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ – Η περίπτωση της Λάρισας**

Πτυχιακή εργασία της Σωτηροπούλου Αυγής
Επιβλέπων: Χαλκιάς Χρίστος

Αθήνα, Ιούλιος 2014

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	5
ΑΚΡΩΝΥΜΑ.....	7
ABSTRACT	8
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	9
ΚΥΡΙΩΣ ΜΕΡΟΣ.....	11
1 ^ο ΜΕΡΟΣ	11
1.1Η τρίτη διάσταση στα ΣΓΠ.....	11
1.2 Εθελοντική Γεωγραφική Πληροφορία (Ε.Γ.Π.).....	12
1.3 CityEngine.....	13
1.3.1 Βασικές Αρχές Λειτουργίας – Ιστορική Εξέλιξη.....	13
1.3.2 Επιφάνεια Εργασίας.....	20
1.3.3 Μοντελοποίηση με το CityEngine	22
1.3.4 Εφαρμογές.....	28
1.4 Περιοχές Μελέτης.....	31
2ο ΜΕΡΟΣ	34
2.1 Διάγραμμα Ροής.....	34
2.2 Μεθοδολογία.....	34
2.3 Αρχικά Δεδομένα	34
2.4 Επεξεργασία Δεδομένων στον Λογισμικό ArcMap.....	36
2.5 Διαδικαστική Μοντελοποίηση	42
2.5.1 Δημιουργία CGA κανόνα για τα κτίρια	42
2.5.2 Δημιουργία κανόνα για το κτιριακό συγκρότημα Μύλος Παπά με τον Façade Wizard....	51
2.5.3 Δημιουργία CGA κανόνα για τις Περιφράξεις.....	53
2.5.4 Επεξεργασία του Modern Street κανόνα.....	55
2.6 Χειροκίνητη Μοντελοποίηση.....	59
2.7 Τελικό Μοντέλο	63

3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	67
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	69

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: An Exciting Future	12
Εικόνα 2: Αυτόματος Διαχωρισμός του Χώρου με το CityEngine.....	14
Εικόνα 3: Αυτόματη Δημιουργία Αστικού Ιστού από Χάρτες-Εικόνες (Image- Maps) στο CityEngine.....	15
Εικόνα 4: Παράδειγμα Σχηματικής Γραμματικής.....	16
Εικόνα 5: Παραγωγή Σχημάτων από Σχηματικούς Κανόνες.....	17
Εικόνα 6: Παράδειγμα Γραμματικής Διάσπαση	18
Εικόνα 7: Σχηματισμός Πρόσοψης από τους Κανόνες Διάσπασης της εικόνας 6.....	18
Εικόνα 8: Διαδικαστική Μοντελοποίηση Κτιρίου με CGA Γραμματική	19
Εικόνα 9: Επιφάνεια Εργασίας του CityEngine.....	20
Εικόνα 10: Μοντελοποίηση με κανόνες στο CityEngine.....	22
Εικόνα 11: Αρχικό Σχήμα - Scope, Περιγραφικά Χαρακτηριστικά	23
Εικόνα 12: Διαδικαστική Μοντελοποίηση Δισδιάστατων Γεωμετριών	23
Εικόνα 13:Εφαρμογή κανόνα CGA σε διαφορετικές γεωμετρίες.....	25
Εικόνα 14: Επεξεργασία Εικόνας στο Crop Image Tool	26
Εικόνα 15: Εφαρμογή Κανόνα Κατασκευασμένου στον Façade Wizard σε Γεωμετρίες Διαφορετικών Διαστάσεων.....	27
Εικόνα 16: Εργαλεία Χειροκίνητης Μοντελοποίησης του CityEngine	27
Εικόνα 17: Munich Reconstruction.....	28
Εικόνα 18: Marseille Urban Planning	29
Εικόνα 19: YouCity Real Estate	29
Εικόνα 20: Procedural Pompeii.....	30
Εικόνα 21: Prius Commercial	30
Εικόνα 22: Χάρτης Περιοχών Μελέτης.....	32
Εικόνα 23:Αποθήκη	Εικόνα 24: Κατοικία με έναν όροφο..... 38
Εικόνα 25: Κατοικίες με παραπάνω από έναν ορόφους	Εικόνα 26: Κατοικία με εμπορική χρήση στο ισόγειο
	39
Εικόνα 27:Βιομηχανικά Κτίρια	Εικόνα 28:Κατοικία με Βιομηχανική Χρήση στο Ισόγειο.....
	40
Εικόνα 29: Υφές για πόρτες.....	45
Εικόνα 30: InneRect Operation.....	48

Εικόνα 31: 3Δ Μοντέλα που προέκυψαν από τον κανόνα των κτιρίων (Αριστερά:Κοτέτσι – Δεξιά: Αποθήκη(Type 1))	50
Εικόνα 32: 3Δ Μοντέλα που προέκυψαν από τον κανόνα των κτιρίων(αριστερά: δυόροφη κατοικία, δεξιά κατοικία με έναν όροφο).....	50
Εικόνα 33: 3Δ Μοντέλα που προέκυψαν από τον κανόνα των κτιρίων (αριστερά: βιομηχανικό κτίριο δεξιά: κατοικία με εμπορική χρήση στο ισόγειο).....	51
Εικόνα 34: Διαχωρισμός φωτογραφίας του κτιριακού συγκροτήματος Μύλος Παπά σε προσόψεις στο Image Crop Tool.....	52
Εικόνα 35: Δημιουργία Κανόνα MainFaçade _milospapa.cga με τον Façade Wizard	52
Εικόνα 36: Δημιουργία Κανόνα SideFacade _milospapa.cga με τον Façade Wizard	53
Εικόνα 37: Τελικό Μοντέλο του κεντρικού κτιρίου του συγκροτήματος Μύλος Παπά.....	53
Εικόνα 38: Υφές για τον κανόνα των περιφράξεων.....	54
Εικόνα 39: Τελικά μοντέλα περίφραξεων.....	55
Εικόνα 40: Snapshot από σκηνή του Modern Streets Rule.....	56
Εικόνα 41: Τύπος διαβάσεων στον Modern Streets κανόνα	57
Εικόνα 42: Υφές Πεζοδρομίου.....	57
Εικόνα 43: Δέντρα Modern Street Rule	57
Εικόνα 44: Δρόμοι όπως προκύπτουν από την εφαρμογή του κανόνα των δρόμων.....	59
Εικόνα 45: Μοντέλο COLLADA του Σταδίου Αλκαζάρ	60
Εικόνα 46: Ιδιότητες του μοντέλου της εικόνας 44 όπως φαίνονται στο CityEngine	60
Εικόνα 47: Μετατροπή του μοντέλου της εικόνας 44 σε σχήματα.....	61
Εικόνα 48: Ιδιότητες του μοντέλου της εικόνας 44 όπως φαίνονται στο CityEngine	61
Εικόνα 49: Υφές που χρησιμοποιήθηκαν για το γήπεδο Αλκαζάρ	62
Εικόνα 50: Τελικό Μοντέλο του γηπέδου Αλκαζάρ	63
Εικόνα 51: Αρχικές γεωμετρίες πριν την μοντελοποίηση τους	64
Εικόνα 52:Μοντέλα που προέκυψαν από την μοντελοποίηση των γεωμετριών της εικόνας 50	64
Εικόνα 53: 1.Φωτογραφία της περιοχής μελέτης 2. Snapshot από την τελική σκηνή	65
Εικόνα 54: 1.Φωτογραφία της περιοχής μελέτης 2. Snapshot από την τελική σκηνή	65
Εικόνα 55: 1.Φωτογραφία της περιοχής μελέτης 2. Snapshot από την τελική σκηνή	66

GIS	Geographical Information Systems
CGA	Computer Generated Architecture
VGI	Volunteered Geographic Information
ΣΓΠ	Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών
ΕΓΠ	Εθελοντική Γεωγραφική Πληροφορία

ABSTRACT

3D city models are very functional and visually rich representations of reality, thus their use has increased rapidly. 3D digital models have been primarily used in computer gaming and animation industry. The last few years though we observe their use also in GIS (Geographical Information Systems). The purpose of this research paper was to build a 3D model for two parts of the Greek city Larisa using CityEngine and to explore the capabilities of the aforementioned software. CityEngine uses procedural modeling to generate realistic city models, by automatically creating 3D models from sets of algorithms (rules), defined through CGA shape grammar editor. CGA (Computer Generated Architecture) shape grammar is a unique programming language that creates 3D architectural content from assigned shapes. Modeling with CityEngine can also be developed manually with tools provided by the software. Once the model is created it can easily be re-designed according to the current needs of the user. Hence, I assert that this paper can be a useful source for other researchers, who can either add new data to the generated model or use the written rules to set up new projects.

The paper has been divided in two main parts: The first part consists of concepts and theories that are essential for understanding the second part. The second part includes the methodology needed for the model to be developed. More precisely, the theoretical framework focuses on the development of 3D visualization and 3D modeling of cities where emphasis is given to the role of VGI (Volunteered Geographic Information). Moreover, the basic principles of CityEngine are demonstrated. The second part describes the workflow of the assignment: the collection of the data, their editing in ArcMap and their further procession in CityEngine. The initial data were 2D GIS data, photographs of the city and a model of Alkazar Stadium, from Google 3D Warehouse-SketchUp. The 2D GIS data were consisting of building footprints and the street network. In order to assign the CGA rules to the 2D GIS data their modification in ArcMap was necessary. The photographs were used for textures, assets and façades. In order to create the final model, two modeling methods were used: rule based modeling, with rules defined either in CGA rule editor or in Façade Wizard and manual modeling, where the existing model of Alkazar Stadium was further processed.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τρισδιάστατα μοντέλα αστικών περιβαλλόντων αποτελούν πρακτικές και καλαίσθητες αναπαραστάσεις της πραγματικότητας. Τα τρισδιάστατα ψηφιακά μοντέλα χρησιμοποιήθηκαν αρχικά στα ηλεκτρονικά παιχνίδια και στα animation. Τα τελευταία χρόνια όμως παρατηρούμε τη χρήση τους και στα ΣΓΠ (Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών). Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η κατασκευή ενός τέτοιου μοντέλου για δύο περιοχές της πόλης της Λάρισας με τη χρήση του λογισμικού οπτικοποίησης CityEngine και την εξέταση των δυνατοτήτων του εν λόγω λογισμικού. Το CityEngine με τη χρήση της διαδικαστικής μοντελοποίησης παράγει ρεαλιστικά μοντέλα πόλεων, δηλαδή δημιουργούνται με αυτόματο τρόπο τρισδιάστατα μοντέλα από σύνολα αλγορίθμων καθορισμένων από το εργαλείο επεξεργασίας CGA (Computer Generated Architecture). Η σχηματική γραμματική CGA αποτελεί μια μοναδική γλώσσα προγραμματισμού, η οποία, όταν εφαρμόζεται σε σχήματα, δημιουργεί τρισδιάστατα μοντέλα αρχιτεκτονικού περιεχομένου. Πέρα από τη μοντελοποίηση με βάση κανόνες, το CityEngine δίνει τη χειροκίνητη δυνατότητα δημιουργίας μοντέλων μέσα από μια σειρά εργαλείων. Μετά την κατασκευή του μοντέλου ο χρήστης μπορεί άμεσα μέσα από το περιβάλλον του CityEngine να το τροποποιήσει και να το προσαρμόσει στις εκάστοτε ανάγκες του. Συνεπώς, η εργασία αποτελεί ένα ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο για επόμενους ερευνητές που μπορούν είτε να εμπλουτίσουν το παρασκευασθέν μοντέλο με νέα στοιχεία είτε να χρησιμοποιήσουν τα σύνολα κανόνων σε νέες εργασίες.

Η διπλωματική εργασία χωρίζεται σε δύο βασικά μέρη. Το πρώτο μέρος είναι θεωρητικό και δίνει τις απαραίτητες βάσεις για να μπορέσει ο αναγνώστης να κατανοήσει το δεύτερο μέρος όπου περιγράφεται η διαδικασία κατασκευής του μοντέλου. Στο πρώτο μέρος λοιπόν αναλύεται η εξέλιξη της τρισδιάστατης αναπαράστασης και μοντελοποίησης αστικών περιβαλλόντων στον κλάδο της Γεωγραφίας με έμφαση στο ρόλο που διαδραματίζει στην εξέλιξη αυτή η ΕΓΠ (Εθελοντική Γεωγραφική Πληροφορία). Γίνεται επίσης περιγραφή των βασικών χαρακτηριστικών του λογισμικού οπτικοποίησης CityEngine και αναφορά στις δύο περιοχές μελέτης. Στο δεύτερο μέρος της εργασίας καταγράφονται τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την δημιουργία του μοντέλου. Τα βήματα αφορούν την συλλογή των δεδομένων, την αρχική επεξεργασία τους σε περιβάλλον ΣΓΠ και την μετέπειτα επεξεργασία τους μέσα στο λογισμικό οπτικοποίησης CityEngine. Τα αρχικά δεδομένα προήλθαν από δισδιάστατες γεωμετρίες και φωτογραφίες. Οι δισδιάστατες γεωμετρίες, με τις κατόψεις των κτιρίων και το οδικό δίκτυο, χρειάστηκε να τροποποιηθούν σε περιβάλλον ΣΓΠ, ώστε να μπορέσουν να εφαρμοστούν σε

αυτές οι κανόνες. Ενώ οι φωτογραφίες χρησιμοποιήθηκαν για προσόψεις, υφές και στοιχεία. Για τη δημιουργία του τελικού μοντέλου συνδυάστηκαν 2 διαφορετικές μέθοδοι: Η μοντελοποίηση με τη χρήση κανόνων κατασκευασμένων είτε από το εργαλείο επεξεργασίας κανόνων CGA Rule Editor είτε από το εργαλείο Façade Wizard και η χειροκίνητη μοντελοποίηση που βασίστηκε στο μοντέλο του γηπέδου του Αλκαζάρ.

1^ο ΜΕΡΟΣ

1.1. Η τρίτη διάσταση στα ΣΓΠ

Η χρήση των τρισδιάστατων μοντέλων πόλεων πρωτοεμφανίστηκε στο χώρο της ψυχαγωγίας για την κατασκευή ψηφιακών περιβαλλόντων σε ηλεκτρονικά παιχνίδια και κινηματογραφικές ταινίες. Σήμερα όμως τα τρισδιάστατα μοντέλα πόλεων έχουν γίνει αναπόσπαστα εργαλεία σε πολλούς άλλους κλάδους, με βασικότερες εφαρμογές στους χώρους, της αρχαιολογίας, της πλοήγησης, του τουρισμού, της πολεοδομίας, της χωροταξίας, της αρχιτεκτονικής κ.ά.. Ιδιαίτερη σημασία στην εξέλιξη της τρισδιάστατης μοντελοποίησης αποτέλεσε ο συνδυασμός της με τα ΣΓΠ. Το γεγονός αυτό επέκτεινε τους ορίζοντες των εφαρμογών τόσο της τρισδιάστατης μοντελοποίησης όσο και των ΣΓΠ. Οι χρήστες έχουν πλέον την δυνατότητα να έχουν ακριβή μοντέλα της πραγματικότητας ικανά να δεχτούν περαιτέρω ανάλυση και τροποποιήσεις.

Από αρχαιοτάτων χρόνων ανάγκη του ανθρώπου υπήρξε η περιγραφή της πραγματικότητας τόσο για καθημερινούς λόγους όσο και για επιστημονικούς, τα ΣΓΠ αποτέλεσαν το ιδανικό μέσο για τον σκοπό αυτό (Zlatanova et al, 2002). “Τα ΣΓΠ σύμφωνα με την US Federal Interagency Coordinating Committee είναι ένα σύστημα υλικού, λογισμικού και διαδικασιών που σχεδιάστηκαν για να υποστηρίξουν την καταγραφή, την διαχείριση, το χειρισμό, την ανάλυση, την επεκτασιμότητα και την απεικόνιση χωρικών δεδομένων προκειμένου να επιλυθούν πολύπλοκα προβλήματα σχεδιασμού” (Robinson et al, 2002). Τα χωρικά δεδομένα όμως έχουν τρισδιάστατη υπόσταση, συνεπώς η ακριβής αναπαράστασή τους οφείλει να είναι και αυτή τρισδιάστατη (Elwannas, 2011). Το γεγονός αυτό μαζί με την πρόοδο που σημειώθηκε στην τεχνολογία οδήγησε στην εισαγωγή της τρίτης διάστασης στα ΣΓΠ.

Σύμφωνα με τους J. Stoter και S. Zlatanova (Stoter & Zlatanova, 2003), οι εξελίξεις στις τεχνικές συλλογής δεδομένων και στον κλάδο της πληροφορικής αποτέλεσαν το βασικότερο παράγοντα για τη χρήση 3Δ δεδομένων στα ΣΓΠ. Ειδικότερα, οι αισθητήρες συλλογής δεδομένων έχουν γίνει πιο γρήγοροι και πιο ακριβείς δίνοντας τη δυνατότητα απόκτησης λεπτομερών και φωτορεαλιστικών δεδομένων. Ενώ το υλικό των υπολογιστών, όπως οι επεξεργαστές, οι κάρτες γραφικών και ο χώρος αποθήκευσης, καθιστούν πλέον δυνατή την επεξεργασία και την αποθήκευση μεγάλου όγκου δεδομένων. Γίνεται συνεπώς δυνατή η χρήση τρισδιάστατων δεδομένων και η ανάπτυξη εφαρμογών και εργαλείων επεξεργασίας τους μέσα από τα ΣΓΠ.

Σταθμό στην εξάπλωση της τρισδιάστατης απεικόνισης χωρικών δεδομένων με ΣΓΠ αποτέλεσε η συνεργασία της ESRI με την Procedural. Η ESRI είναι μια από τις μεγαλύτερες εταιρείες στον χώρο των ΣΓΠ, αγοράζοντας το 2011 το λογισμικό CityEngine από την Procedural διεύρυνε τους ορίζοντες της αστικοποίησης του χώρου και συγκεκριμένα αστικών περιβαλλόντων. Μέχρι τότε για την μοντελοποίηση μιας πόλης έπρεπε να κατασκευαστούν μοντέλα CAD ξεχωριστά για κάθε κτίριο και έπειτα να φορτωθούν στο διαδίκτυο. Η διαδικασία αυτή σε αντίθεση με το CityEngine που μοντελοποιεί επιτόπου ολόκληρη την πόλη ήταν ασύμφορη και χρονοβόρα. Το CityEngine εστιάζει στην ταχεία και εύκολη παραγωγή μοντέλων μεγάλων αστικών εκτάσεων που φέρουν ιδιότητες οι οποίες καθιστούν δυνατή την περαιτέρω ανάλυση και επεξεργασία τους.



Εικόνα 1: An Exciting Future (Πηγή: <http://resources.arcgis.com/en/help/getting-started/articles/026n00000012000000.htm>)

1.2. Εθελοντική Γεωγραφική Πληροφορία (Ε.Γ.Π.)

Η ΕΓΠ (Συλαίου και άλλοι, 2012) είναι ένα καινούριο φαινόμενο που έχει οδηγήσει στην εξάπλωση της χρήσης των ΣΓΠ στο ευρύ κοινό. Με τον όρο ΕΓΠ εννοούμε την συλλογή χωρικής πληροφορίας από απλούς πολίτες. Όπως αναφέρει και ο Goodchild (Goodchild, 2007), ο οποίος πρώτος εισήγαγε τον όρο στη δημοσίευσή του με τίτλο “Πολίτες ως αισθητήρες: Ο κόσμος της Εθελοντικής Γεωγραφίας” μεγάλο πλήθος πολιτών, συχνά χωρίς ιδιαίτερες γνώσεις χαρτογραφίας, συμμετέχει στην συλλογή και καταγραφή χωρικής πληροφορίας, βάζοντας ένας τέλος στο μονοπώλειο των επίσημων χαρτογραφικών οργανισμών. Η διαδραστικότητα που

παρέχει πλέον το διαδίκτυο και η ανάπτυξη της τεχνολογίας των κινητών τηλεφώνων έχουν δώσει τη δυνατότητα σε πολίτες ακόμη και φτωχών χωρών να μπορούν να συλλέξουν χωρική πληροφορία, να δημιουργήσουν τους δικούς τους χάρτες ή να ενημερώσουν ήδη υπάρχοντες. Ιστοσελίδες όπως η WikiMapia, το GoogleEarth και το OpenStreet Map αποτελούν δωρεάν πηγές χωρικής πληροφορίας. Τα πλεονεκτήματα της ΕΓΠ είναι προφανή, καθώς ο καθένας που έχει πρόσβαση στο διαδίκτυο μπορεί εύκολα και ανέξοδα να αποκτήσει χωρικά δεδομένα. Εκτός από τα κλασσικά χωρικά δεδομένα, υπάρχουν ιστοσελίδες που μπορεί κανείς να προμηθευτεί έτοιμα μοντέλα αρχιτεκτονικού περιεχομένου, όπως για παράδειγμα η βιβλιοθήκη Trimble 3D Warehouse. Ψηφιακά μοντέλα από υπάρχοντα ή φανταστικά κτίρια κατασκευάζονται από πολίτες και στην συνέχεια φορτώνονται στο διαδίκτυο. Η χρήση τους είναι δυνατή από μια σειρά λογισμικά, με το CityEngine να συμπεριλαμβάνεται μέσα σε αυτά.

1.3. City Engine

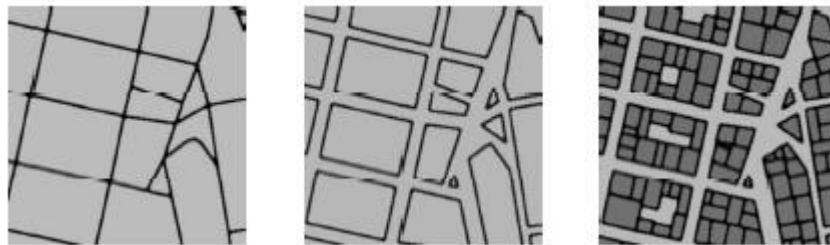
Το CityEngine είναι ένα αρκετά διαδεδομένο λογισμικό για την κατασκευή εκτενών μοντέλων πόλεων είτε φανταστικών είτε υπαρκτών. Έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς στην δημιουργία περιβαλλόντων ηλεκτρονικών παιχνιδιών και ταινιών, ενώ έχει βρει πολλές εφαρμογές σε κλάδους όπως π.χ. ο πολεοδομικός σχεδιασμός, το κτηματολόγιο, η πλοήγηση και η αναπαράσταση αρχαιολογικών χώρων. Με το CityEngine μπορεί κανείς είτε με βάση εικόνες χαρτών (Image Maps) να αναπτύξει έναν αστικό ιστό, είτε από δισδιάστατες γεωμετρίες όπως αποτυπώματα κτιρίων, να δημιουργήσει μια ψηφιακή μακέτα πόλης.

1.3.1. Ιστορική Εξέλιξη-Βασικές αρχές λειτουργίας

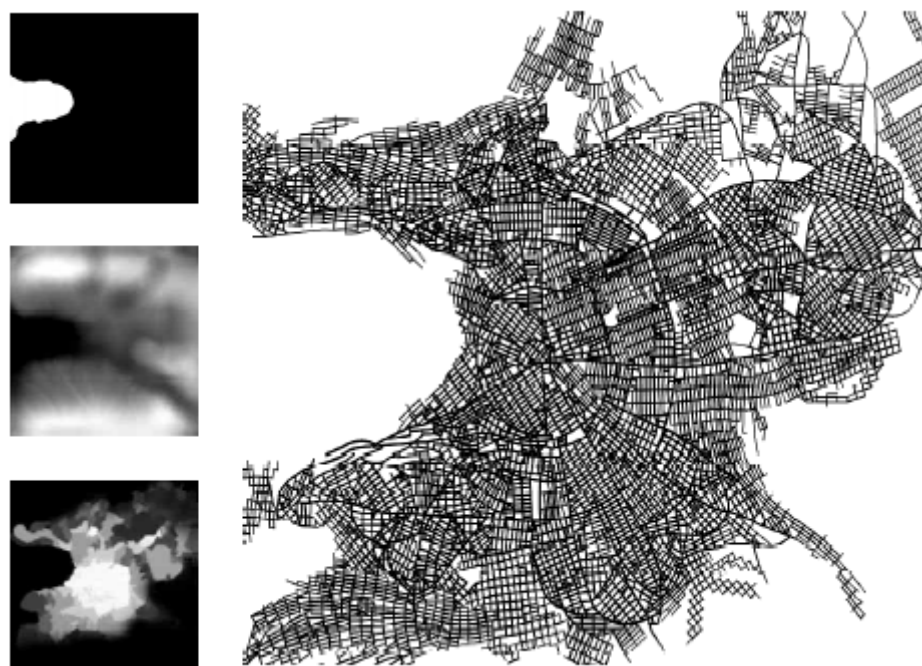
- L-Systems

Οι Parish και Müller το 2001 στην δημοσίευσή τους “Procedural Modelling of Cities” παρουσίασαν το CityEngine, ένα σύστημα το οποίο χρησιμοποιεί μια επεκταμένη μορφή των L-Systems για την μοντελοποίηση πόλεων. Τα L-Systems είναι ένα παράλληλο σύστημα επανεγγραφής που χρησιμοποιήθηκε πρώτη φορά από τον Ούγγρο βιολόγο Aristid Lindenmayer το 1968 για την αναπαράσταση της κυτταρικής εξέλιξης και τη μοντελοποίηση της ανάπτυξης των φυτών. Οι Parish και Müller διαμόρφωσαν τα L-systems ή αλλιώς Lindenmayer-Systems έτσι ώστε από εικόνες-χάρτες, όπως χάρτες πυκνότητας, χάρτες με όρια του υδρογραφικού δικτύου να δημιουργηθεί ένα δίκτυο δρόμων, του οποίου ο ενδιαμέσος

χώρος χωρίστηκε σε οικοδομικά τετράγωνα, τα οικοδομικά τετράγωνα χωρίστηκαν και αυτά σε μικρότερα μέρη όπου αναπτύσσονται τα κτίρια (όγκοι) στα οποία έρχονται και επικολλώνται οι προσόψεις (βλέπε εικόνες: 2&3). Ο τρόπος ανάπτυξης των δρόμων, ο γενικός διαχωρισμός του χώρου και η παραγωγή των κτιρίων επηρεάζονται από περιβαλλοντικούς παράγοντες, αισθητικούς, ιστορικούς, σχεδιαστικούς κ.ά. οι οποίοι καθορίζονται από το χρήστη. Παρόλο που τα L-Systems σημείωσαν αξιοσημείωτα αποτελέσματα στη μοντελοποίηση του οδικού δικτύου, μειονεκτούν στην μοντελοποίηση των κτιρίων. Τα L-Systems μοντελοποιούν αυξητικά μια δομή που αναπτύσσεται στο χώρο, όμως η δομή των κτιρίων περιγράφεται καλύτερα με το διαδοχικό διαχωρισμό του χώρου (ένα κτίριο χωρίζεται σε ορόφους, ο όροφος σε μπαλκόνια, παράθυρα, τοίχο, τα μπαλκόνια σε μπαλκονόπορτες, τοίχο κτλ). Ήταν απαραίτητο λοιπόν για την βελτιστοποίηση της μοντελοποίησης των κτιρίων να αναζητηθούν νέες μέθοδοι.



Εικόνα 2: Αυτόματος Διαχωρισμός του Χώρου με το CityEngine (από αριστερά:) 1. Δημιουργία Δρόμων 2. Διαχωρισμός Ενδιάμεσου Χώρου σε Οικοδομικά Τετράγωνα 3. Επιπλέον Διάσπαση του Χώρου (Πηγή: Muller et.al. 2001)



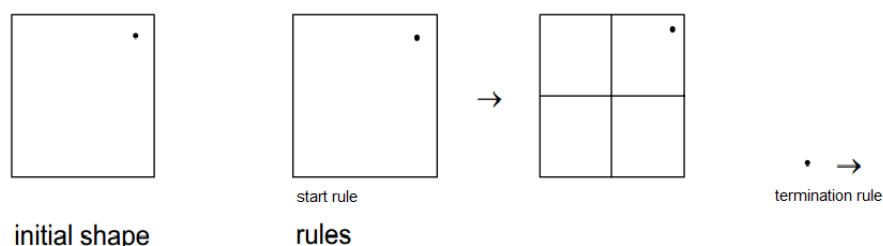
Εικόνα 3: Αυτόματη Δημιουργία Αστικού Ιστού από Χάρτες-Εικόνες (Image- Maps) στο CityEngine
(αριστερή στήλη - από πάνω προς τα κάτω:) 1.Υδρογραφικό Δίκτυο 2. Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους
Χώρου 3.Πληθυσμιακή Πυκνότητα (Πηγή: Muller,et.al. 2001)

- Γραμματικές Σχήματος (Shape Grammars)

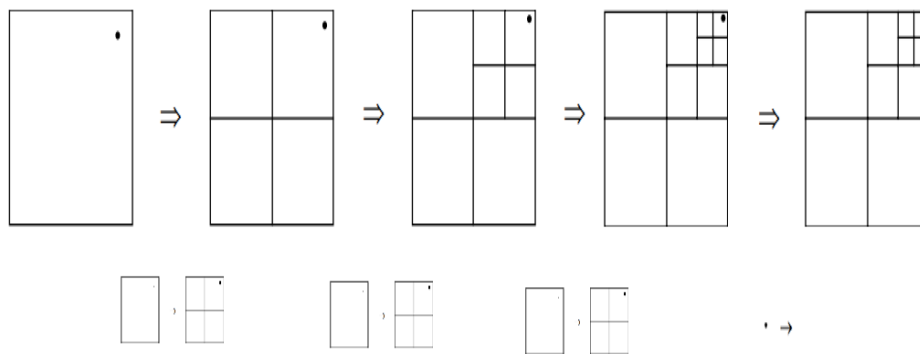
Οι γραμματικές σχήματος εισήχθησαν από τον George Stiny το 1971 και σύμφωνα με τον ορισμό που δίνεται στο “Shape Grammars and the Generative Specification of Painting and Sculpture” οι γραμματικές σχήματος είναι παρόμοιες με τις γραμματικές φραστικής δομής (Phrase Grammars) του Τσόμσκι. Όπου οι γραμματικές φράσης ορίζονται από μια αλφάβητο συμβόλων και παράγουν μονοδιάστατες σειρές συμβόλων, ενώ οι σχηματικές γραμματικές ορίζονται από μια αλφάβητο σχημάτων και δημιουργούν ν- διαστάσεων σχήματα”. Μια σχηματική γραμματική (Stiny 1980) αποτελείται από σχηματικούς κανόνες και ένα μηχανισμό παραγωγής που διαλέγει και επεξεργάζεται τους κανόνες. Ο σχηματικός κανόνας ορίζει με ποιον τρόπο θα μετασχηματιστεί ένα υπαρκτό σχήμα ή μέρος του σχήματος. Ένας τέτοιος κανόνας αποτελείται από δύο μέρη το αριστερό (LFS) και το δεξί (RHS) που διαχωρίζονται από ένα βέλος που δείχνει από τα αριστερά προς τα δεξιά. Στο αριστερό μέρος απεικονίζεται το αρχικό σχήμα ενώ στο δεξί ο τρόπος που το σχήμα αυτό θα μετασχηματιστεί και θα τοποθετηθεί ο δείκτης, ο οποίος βοηθά στον προσανατολισμό του νέου σχήματος. Συνεπώς όταν εφαρμοστεί ο κανόνας σε ένα σχήμα που περιέχει μέρη παρόμοια με το σχήμα που απεικονίζεται στο LFS, αυτά θα μετασχηματιστούν και θα αποκτήσουν την μορφή του σχήματος που απεικονίζεται στο RHS. (βλέπε εικόνες: 4& 5). Μια σχηματική γραμματική αποτελείται από το λιγότερο τρεις κανόνες: έναν κανόνα εκκίνησης, που ξεκινά τη διαδικασία

αντικατάστασης, τουλάχιστον από έναν κανόνα μετασχηματισμού και έναν κανόνα τερματισμού με τον οποίο σταματά η όλη διαδικασία. Ένα σύστημα γραμματικής σχήματος έχει επίσης μια επιφάνεια εργασίας στην οποία εμφανίζεται η διαδικασία παραγωγής. Η διαφορά των σχηματικών γραμματικών από τις φραστικές είναι ότι οι πρώτες μπορούν να εφαρμοστούν σειριακά και παράλληλα ενώ οι τελευταίες μόνο σειριακά. Οι παραμετρικές γραμματικές σχήματος αποτελούν μια εξέλιξη των γραμματικών σχήματος, όπου η διαδικασία μετασχηματισμού επηρεάζεται από παραμέτρους έτσι ώστε να λαμβάνονται υπόψη περισσότερα χαρακτηριστικά του αρχικού σχήματος.

Στην αρχιτεκτονική και στο σχεδιασμό οι γραμματικές σχήματος και οι παραμετρικές γραμματικές σχήματος λειτουργούν σαν βοηθητικά σχεδιαστικά εργαλεία, τα οποία μέσα από την περιγραφή και την ανάλυση σχεδίων (Halatsch et.al. 2008) δίνουν την δυνατότητα ανάπτυξης νέων σχεδιαστικών λύσεων. Τα αρχικά σχέδια συνήθως ακολουθούν κάποιο χαρακτηριστικό μοτίβο και μπορεί να αφορούν: κτίρια ιδιαίτερου αρχιτεκτονικού ρυθμού, όπως βίλες χτισμένες στο αρχιτεκτονικό στυλ του Βενετσιάνου αρχιτέκτονα Αντρέα Παλλάντιο (Stiny & Mitchell 1978), πολυσύνθετα έπιπλα, πχ. καρέκλες αντίκες τύπου “Hepplewhite” (Knight, 1980), κήπους υψηλής αισθητικής πχ. τύπου “mughal” (Stiny & Mitchell, 1980) αλλά ακόμη και μηχανές πχ. καφετιέρες “Krupps”, “Black & Decker”, “Braun” και “Pricor Silex” (Agarwal & Cagan, 1998). Οι γραμματικές σχήματος έχουν αποδειχτεί χρήσιμες στην δημιουργία νέων σχεδιαστικών προτάσεων, όμως το γεγονός ότι η αντιστοίχιση των κανόνων δεν γίνεται απολύτως αυτόματα κατά την διαδικασία παραγωγής και ότι ο χρήστης έχει περιορισμένες σχεδιαστικές επιλογές αποτελούν τροχοπέδη στην μοντελοποίηση ενός ολοκληρωμένου αστικού περιβάλλοντος. (Haldane, 2002; Wonka et.al, 2003).



Εικόνα 4: Παράδειγμα Σχηματικής Γραμματικής - Το αριστερό σχήμα είναι το αρχικό, σε αυτό θα εφαρμοστεί ο αρχικός κανόνας, (ο πρώτος από αριστερά) και όταν χρειαστεί να σταματήσει η διαδικασία παραγωγής θα εφαρμοστεί ο τερματικός κανόνας (Τροποποιημένο, http://home.fa.utl.pt/~albertidigital/AD_VER1011/files/aula05/aula05_shapeGrammars.pdf)



Εικόνα 5: Παραγωγή Σχημάτων από Σχηματικούς Κανόνες - Αλληπαλληλη εφαρμογή του αρχικού κανόνα της εικόνας 4 στο αρχικό σχήμα και στα παραγόμενα, η διαδικασία σταματά όταν εφαρμόζεται ο τερματικός κανόνας (Τροποποιημένο, http://home.fa.utl.pt/~albertidigital/AD_VER1011/files/aula05/aula05_shapeGrammars.pdf)

- Ρυθμιστικές Γραμματικές (Set Grammars)

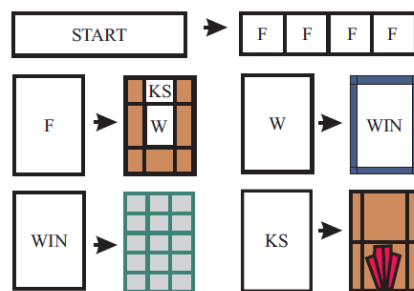
Οι ρυθμιστικές γραμματικές έρχονται να δώσουν λύση στο παραπάνω πρόβλημα, καθώς θεωρούν τα σχήματα ως σύμβολα και η εφαρμογή των κανόνων γίνεται αυτόματα όταν οι κανόνες εντοπίζουν σύμβολα που αντιστοιχούν με το σύμβολο που βρίσκεται στο αριστερό τους μέρος. Οι γραμματικές διάσπασης ως επέκταση των ρυθμιστικών γραμματικών δημιουργήθηκαν για την κατασκευή τρισδιάστατων κτιρίων αποτελούμενων από απλά σχήματα με ιδιότητες (Wonka et.al. 2003).

- Γραμματικές διάσπασης (Split Grammars)

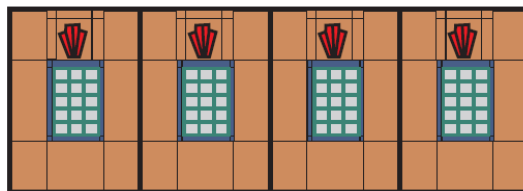
Το 2003 ο Wonka στην δημοσίευση του Instant Architecture έδωσε νέες διαστάσεις στην αυτόματη μοντελοποίηση αφού με την χρήση γραμματικών διάσπασης (Split Grammars) πέτυχε τη δημιουργία γεωμετριών στις προσόψεις των κτιρίων με αποτέλεσμα να γίνουν αυτές πιο λεπτομερείς και συνεπώς το τελικό αποτέλεσμα να είναι περισσότερο ρεαλιστικό. Οι γραμματικές διασπάσεις είναι μια εξειδικευμένη μορφή των ρυθμιστικών παραμετρικών γραμματικών (set parametric grammars) οι οποίες αποτελούν με την σειρά τους μια εξέλιξη των γραμματικών σχήματος.

Οι γραμματικές διάσπασης ξεκινώντας από ένα αρχικό σχήμα παράγουν τις προσόψεις του κτιρίου οι οποίες διασπώνται συνεχώς έως ότου το κάθε επιμέρους τμήμα να περιέχει μεμονωμένα σχεδιαστικά στοιχεία, όπως περβάζια, τζάμια, πατζούρια κ.α. (βλέπε εικόνα: 6). Οι

γραμματικές διάσπασης είναι ιδανικές για κτίρια απλής δομής. Όσο όμως αυξάνεται η πολυπλοκότητα της δομής του κτιρίου, η διάσπασή τους γίνεται πιο εκτενής. Επιπλέον, το τελικό σχέδιο είναι δύσκολο να αλλάξει, καθώς τα επιμέρους μέρη δεν έχουν καθορισμένο προσανατολισμό και η προσαρμογή τους σε ένα νέο σχήμα θα ήταν αδύνατη. Το 2006 στην δημοσίευση “Procedural Modeling of Buildings” (Müller et. al. 2006) παρουσιάστηκε η τελική μορφή του CityEngine όπου με τη χρήση μιας αναπτυγμένης μορφής γραμματικής διάσπασης συνδυασμένης με βασικά χαρακτηριστικά των L-Systems κατάφερε να επιλύσει όλα τα παραπάνω προβλήματα και να κάνει δυνατή την ταχεία και χαμηλού κόστους μοντελοποίηση εκτεταμένων εκτάσεων αστικού ιστού με κτίρια κάθε δομής. (βλέπε εικόνα:13)



Εικόνα 6: Παράδειγμα Γραμματικής Διάσπασης - Οι κανόνες για ένα απλό παράδειγμα γραμματικής διάσπασης, το αρχικό σχήμα διασπάται σε 4 προσόψεις οι οποίες διασπώνται επιπλέον σε μικρότερα μέρη (Πηγή: Wonka, 2003)

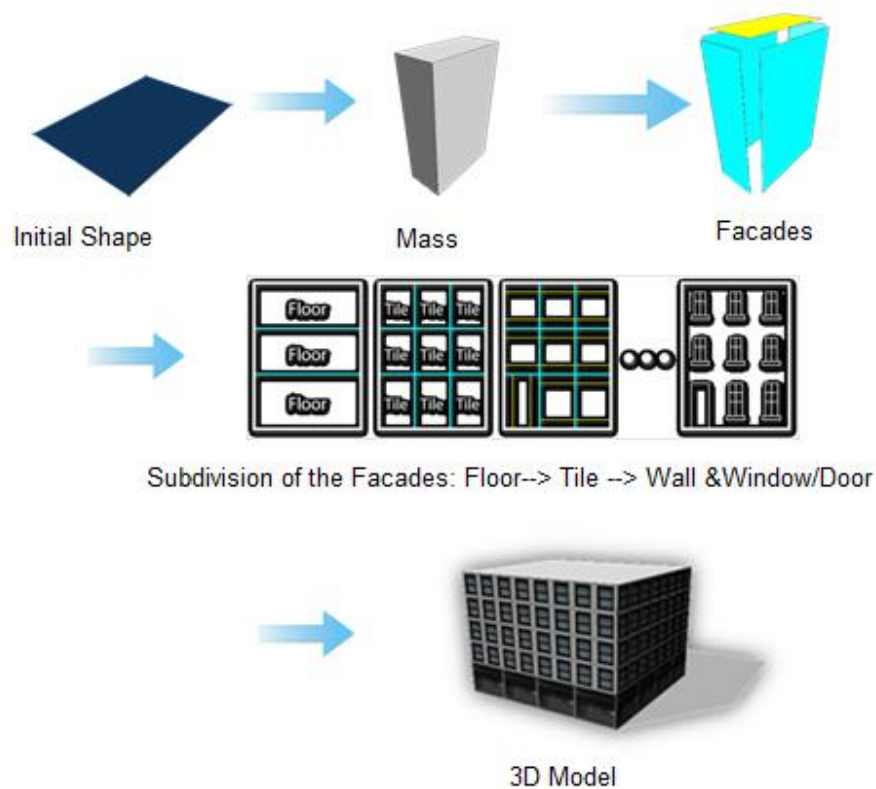


Εικόνα 7: Σχηματισμός Πρόσοψης από τους Κανόνες Διάσπασης της εικόνας 6 (Πηγή: Wonka, 2003)

- Σχηματική Γραμματική CGA

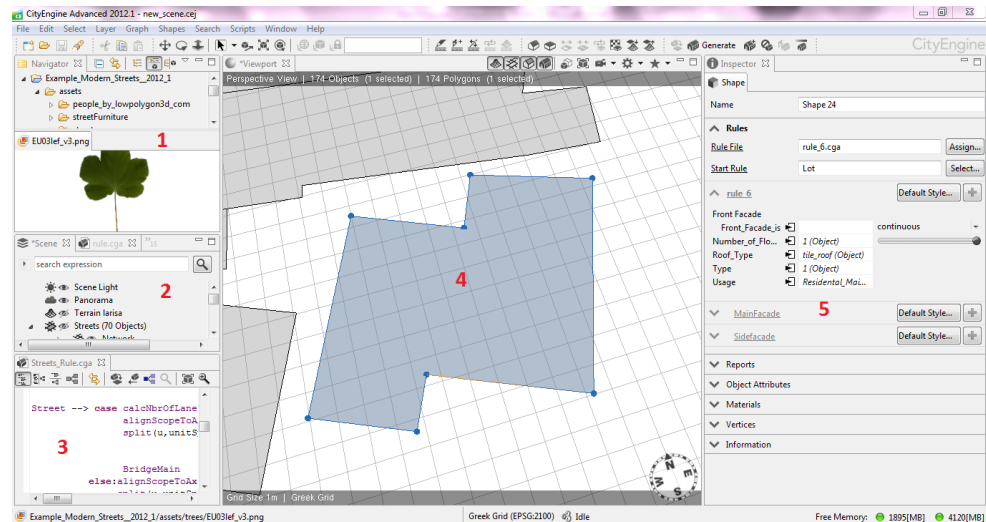
Η σχηματική γραμματική CGA είναι μια καινοτόμος γραμματική σχήματος στον χώρο της διαδικαστικής μοντελοποίησης, παράγει κτίρια με γεωμετρική λεπτομέρεια και υψηλή οπτική ποιότητα. Η CGA με την χρήση παραγωγικών κανόνων αναπτύσσει διαδοχικά ένα σχέδιο προσθέτοντας συνεχώς περισσότερες λεπτομέρειες. Για παράδειγμα, για την δημιουργία ενός κτιρίου παράγεται πρώτα ένας ακατέργαστος όγκος, έπειτα δημιουργούνται οι προσόψεις και στη συνέχεια τα μικρότερα δομικά στοιχεία, όπως πόρτες, παράθυρα, μπαλκόνια. (βλέπε εικόνα: 8). Ο συμβολισμός που χρησιμοποιεί η γραμματική όπως και οι κανόνες που αφορούν την προσθήκη, την κλίμακα, τη μετάφραση και τον προσανατολισμό των σχημάτων, είναι

εμπνευσμένα από τα L-Systems, τα οποία προσαρμόστηκαν για την μοντελοποίηση αρχιτεκτονικού περιεχομένου. Επιπλέον, παρουσιάζονται για πρώτη φορά κανόνες επαναληπτικής διάσπασης και κανόνες για τον ορισμό της κλίμακας, οι οποίοι έχουν προέλθει από την εξέλιξη των γραμματικών διάσπασης.



Εικόνα 8: Διαδικαστική Μοντελοποίηση Κτιρίου με CGA Γραμματική (Τροποποιημένο, <http://cehelp.esri.com/help/index.jsp?topic=/com.procedural.cityengine.help/html/toc.html>)

1.3.2. Επιφάνεια Εργασίας



Εικόνα 9: Επιφάνεια Εργασίας του CityEngine: 1. Navigator 2. Scene Editor 3. Rule Editor 4. Viewport 5. Inspector

- Navigator

Ο Navigator βρίσκεται στην άνω αριστερά γωνία της επιφάνειας εργασίας και είναι ο διαχειριστής αρχείων του CityEngine. Εκεί βρίσκονται όλα τα αρχεία που χρησιμοποιούνται κατά την διάρκεια της εργασίας. Όταν ξεκινάμε ένα καινούριο πρότζεκτ, δημιουργείται ένας καινούριος φάκελος που αποτελείται από 8 μικρότερους φακέλους: assets, data, images, maps, models, rules, scenes και scripts. Στους φακέλους αυτούς οργανώνονται όλα τα δεδομένα του πρότζεκτ, τα αρχικά και τα παραγόμενα. Ο φάκελος assets περιέχει στοιχεία που χρησιμοποιούνται από τους CGA κανόνες για την σύνθεση των 3D models. Τα στοιχεία μπορεί να είναι υφές ή μοντέλα. Οι υφές, δηλ. φωτογραφίες, μπορεί να είναι οποιασδήποτε μορφής (.tif, .png, jpg,.). Τα μοντέλα μπορεί να είναι μικρά δομικά αντικείμενα όπως παράθυρα, κάγκελα κλπ ή ολόκληρα κτήρια. Τα μοντέλα μπορεί να έχουν δημιουργηθεί στο CityEngine ή να εισαχθούν από άλλα λογισμικά. Το CityEngine είναι συμβατό με μοντέλα: Autodesk(.dxf), Keyhole(.kml), Wavefront(.obj) και Collada(.dae). Στο φάκελο data αποθηκεύονται δεδομένα που χρησιμοποιούνται ως αρχικά σχήματα, π.χ. αποτυπώματα κτιρίων. Τα δεδομένα αυτά μπορεί να έχουν τη μορφή γεωβάσης (.gdb), shapefile(.shp) ή Open Street Map(.osm). Στιγμιότυπα από το Viewport αποθηκεύονται στο φάκελο images, ενώ ο φάκελος maps περιέχει χάρτες σε μορφή εικόνας, χάρτες υποβάθρου, υψομετρικούς χάρτες, χάρτες με το υδρογραφικό δίκτυο, χάρτες χρήσεων γης. Στο φάκελο models αποθηκεύονται όλα τα εξαγόμενα μοντέλα (.3ds, .fbx, .obj, .dae, .vob, .rib, .mi, .mas, .abc). Στο φάκελο rules

βρίσκονται όλοι οι κανόνες (.cga) που έχουν δημιουργηθεί είτε στο CGA editor ή στο Façade Wizard. Οι σκηνές της εργασίας εντοπίζονται στο φάκελο *Scenes*.

- Scene editor

Κάτω από το παράθυρο του Viewport τοποθετείται ο scene editor, όπου ο χρήστης μπορεί να δει τα επίπεδα που περιλαμβάνει η κάθε τρισδιάστατη σκηνή του πρότζεκτ. Επιλέγοντας ένα επίπεδο ο χρήστης μπορεί να εμφανίσει όλα τα σχήματα, τα δίκτυα και τα στατικά μοντέλα που αυτό εμπεριέχει και είτε να τα επιλέξει για να τα επεξεργαστεί είτε για να τα απενεργοποιήσει.

- Inspector

Στο άνω δεξί άκρο της επιφάνειας βρίσκεται ο Inspector όπου απεικονίζονται οι πληροφορίες των επιλεγμένων σχημάτων. Οι πληροφορίες αυτές αφορούν ιδιότητες του αρχικού σχήματος, το αρχείο κανόνων και τον εναρκτήριο κανόνα που έχουν εφαρμοστεί στο σχήμα και τις ιδιότητες που έχει αποκτήσει αυτό κατά την διαδικασία μοντελοποίησής του. Ο χρήστης έχει την δυνατότητα να αλλάξει τις ιδιότητες του επιλεγμένου σχήματος παρακολουθώντας επιτόπου τις τροποποιήσεις που επιφέρουν στη δομή του μοντέλου.

- Rule Editor

Ο επεξεργαστής κανόνων είναι ένας απλός επεξεργαστής κειμένου για τη δημιουργία και τροποποίηση CGA κανόνων, αλλά μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί και για την επεξεργασία αρχείων κειμένου όπως .txt.

- Viewport

Το σημαντικότερο παράθυρο στην επιφάνεια εργασίας είναι το Viewport που είναι τοποθετημένο στο μέσο της οθόνης. Στο παράθυρο αυτό απεικονίζονται όλα τα σχήματα, η διαδικασία μοντελοποίησης και τα παραγόμενα μοντέλα. Εδώ ο χρήστης μπορεί να επιλέξει, να δημιουργήσει ή να επεξεργαστεί χειροκίνητα σχήματα και μοντέλα και να παρακολουθήσει την ροή της μοντελοποίησης.

1.3.3. Μοντελοποίηση με το CityEngine

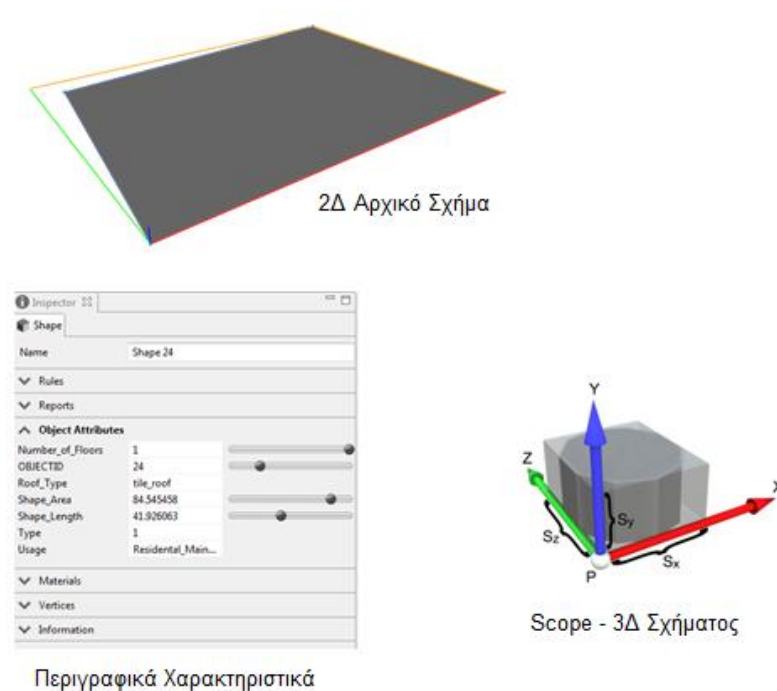
Η μοντελοποίηση με το CityEngine έχει σαν αφετηρία τουλάχιστον ένα αρχικό σχήμα από το οποίο, όταν εφαρμοστεί ο κατάλληλος κανόνας, παράγονται τρισδιάστατα μοντέλα. (βλέπε εικόνα: 10)



Εικόνα 10: Μοντελοποίηση με κανόνες στο CityEngine (Τροποποιημένο, <http://cehelp.esri.com/help/index.jsp?topic=/com.procedural.cityengine.help/html/toc.html>)

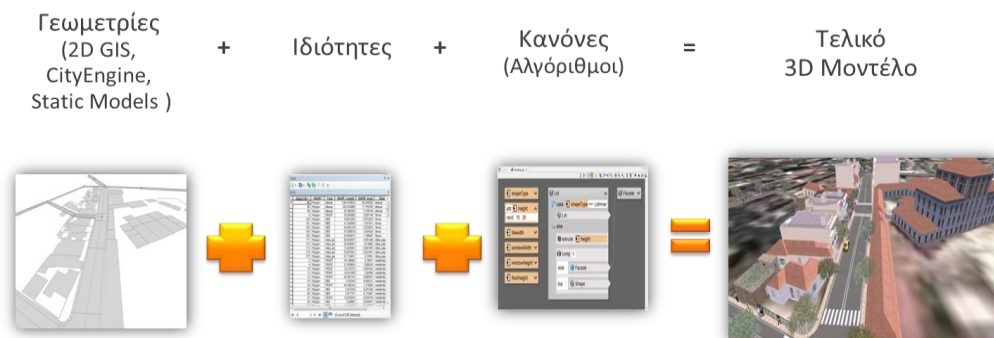
- **Αρχικό Σχήμα**

Το αρχικό σχήμα αποτελείται από ένα σύμβολο και γεωμετρικά, αριθμητικά και περιγραφικά χαρακτηριστικά. Τα βασικότερα χαρακτηριστικά του σχήματος είναι η θέση του P , τα διανύσματα x , y , z που δημιουργούν ένα σύστημα συντεταγμένων και το διάνυσμα s που καθορίζει τον χώρο που καταλαμβάνει το σχήμα σε κάθε άξονα (s_x , s_y). Η θέση P και τα διανύσματα, (x , y , z , s_x , s_y) δημιουργούν ένα προσανατολισμένο πεδίο (scope) που οριοθετεί το χώρο που καταλαμβάνει το σχήμα. (βλέπε εικόνα: 11)



Εικόνα 11: Αρχικό Σχήμα - Scope, Περιγραφικά Χαρακτηριστικά (Τροποποιημένο, <http://cehelp.esri.com/help/index.jsp?topic=/com.procedural.cityengine.help/html/toc.html>)

Ένα σχήμα μπορεί να προέρχεται από μια γεωβάση ή από το CityEngine. Υπάρχουν δύο μέθοδοι για να παραχθεί ένα σχήμα στο CityEngine: χειροκίνητα ή αυτόματα. Από τη στιγμή που υπάρχει ένα αρχικό σχήμα, μπορεί να ξεκινήσει η διαδικασία της μοντελοποίησης, η οποία μπορεί να γίνει πάλι είτε χειροκίνητα είτε αυτόματα (διαδικαστικά). Η χειροκίνητη μοντελοποίηση γίνεται μέσω των εργαλείων που παρέχει το λογισμικό, ενώ η διαδικαστική μέσω της εφαρμογής κανόνων CGA (βλέπε εικόνα 12).



Εικόνα 12: Διαδικαστική Μοντελοποίηση Δισδιάστατων Γεωμετριών

- Αυτόματη Μοντελοποίηση

Η αυτόματη μοντελοποίηση μπορεί να αφορά την δημιουργία του αρχικού σχήματος ή την παραγωγή τρισδιάστατων μοντέλων με κανόνες. Ο P. Müller θεωρεί πως, αν ο αστικός ιστός χωριστεί σε υποσυστήματα, όπως σπίτια, δρόμοι, χώροι βλάστησης, κλπ, τότε οι δρόμοι θα αποτελούν το σύστημα με τη μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και είναι αυτοί που θα καθορίζουν τη δομή της πόλης.(Müller, 2006). Για τους παραπάνω λόγους επέλεξε το οδικό δίκτυο για να ξεκινήσει την μοντελοποίηση της πόλης. Με το εργαλείο Grow Streets ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει ένα οδικό δίκτυο σε μια κενή σκηνή ή να επεκτείνει ένα ήδη υπάρχον. Η μορφή που θα έχει το δίκτυο καθορίζεται από παραμέτρους που ορίζονται από τον χρήστη. Οι παράμετροι αφορούν τον αριθμό των δρόμων, το πλάτος τους και την διάταξη τους. Επιπλέον μπορούν να ληφθούν υπόψη το υψόμετρο και εμπόδια (πχ. μια λίμνη) (βλέπε εικόνα: 3). Μετά την κατασκευή των δρόμων, ο ενδιαμέσος χώρος διασπάται σε μικρότερα τμήματα, τα οποία θα αποτελέσουν τα αρχικά σχήματα. (βλέπε εικόνα: 2). Ο χρήστης μπορεί να επηρεάσει τη διαδικασία αυτή, ορίζοντας παραμέτρους όπως τον τρόπο υποδιαίρεσης που θα ακολουθηθεί, την απόσταση που θα έχουν τα σχήματα από το δρόμο κ.α. Στην αυτόματη μοντελοποίηση εφαρμόζονται στα αρχικά σχήματα κανόνες, είτε αυτά είναι αποτέλεσμα της διαδικασίας που περιγράφηκε είτε προέρχονται από open streets maps ή γεωβάσεις. Οι κανόνες CGA μπορούν αντίστοιχα να δημιουργηθούν είτε στο CGA editor ή στο Façade Wizard.

Δημιουργία Κανόνων με τον CGA editor

Στον CGA editor ο χρήστης μπορεί να επεξεργαστεί υπάρχοντες κανόνες ή να δημιουργήσει καινούριους. Ένας CGA κανόνας περιγράφει την διαδικασία μετασχηματισμού ενός σχήματος σε ένα ή περισσότερα σχήματα. Η μοντελοποίηση ξεκινάει από τον εναρκτήριο κανόνα, ο οποίος δημιουργεί την πρώτη βασική μορφή. Ακολουθούν κανόνες που τη διασπούν σε μικρότερα μέρη, κανόνες που αναπτύσσουν γεωμετρίες και κανόνες που τοποθετούν υφές. Μετά από κάθε κανόνα διάσπασης ελέγχονται τα παραγόμενα μέρη και κάθε φορά με βάση τις διαστάσεις και τις ιδιότητες των μερών αυτών επιλέγεται ο επόμενος κανόνας που είτε θα τα διασπάσει επιπλέον είτε θα σχηματίσει σε αυτά γεωμετρίες και θα επικολλήσει υφές. Η διαδικασία μετασχηματισμού συνεχίζεται αναλόγως την φύση του αντικειμένου που μοντελοποιείται και το επίπεδο της λεπτομέρειας που επιθυμούμε να έχει το τελικό μοντέλο. Όταν φτάσουμε στο γεωμετρικό επίπεδο λεπτομέρειας που θέλουμε να έχει το μοντέλο προσθέτουμε τυχόν αντικείμενα και στη συνέχεια προσδίδουμε υφή στο κάθε τμήμα (πχ. χρώμα). Η διαδικασία μοντελοποίησης μπορεί να είναι τυχαία (random) ή να βασίζεται σε

ιδιότητες. Οι ιδιότητες μπορούν να περιέχονται στο αρχικό σχήμα (πίνακας ιδιοτήτων) ή να καθοριστούν μέσα από τον κανόνα (πχ. από έναν χάρτη χρήσεων γης). .

Βασικό πλεονέκτημα της γραμματικής CGA είναι πως ένας κανόνας μπορεί να κατασκευάσει κτίρια διαφόρων δομών. Συνεπώς για την δημιουργία μιας πόλης αρκεί ένα αρχείο κανόνων. Οι κανόνες προσαρμόζονται στη γεωμετρία και τις ιδιότητες του κάθε σχήματος παράγοντας έτσι διαφορετικά κτίρια. (βλέπε εικόνα: 13). Αυτό επιτυγχάνεται καθώς κάθε παραγόμενο σχήμα του κανόνα φέρει τις περιγραφικές ιδιότητες του αρχικού συν τις ιδιότητες που έχει αποκτήσει κατά την διαδικασία μετασχηματισμού του. Θέτοντας λοιπόν στοχευμένα τις ιδιότητες το τελικό σχέδιο θα έχει ταυτόχρονα ποικιλομορφία και συνοχή. Για παράδειγμα, θέτοντας σε αρχικά σχήματα την ιδιότητα A ή B πετυχαίνουμε να δημιουργηθούν δύο τύποι κτιρίων A και B. Τα παράθυρα των κτιρίων έχουν την ιδιότητα του παραθύρου παράλληλα όμως έχουν και την ιδιότητα A ή B. Συνεπώς, αποκτούμε κτίρια διαφορετικής δομής που όμως κατά την έκτασή του το καθένα έχει τον ίδιο τύπο παραθύρων.



Εικόνα 13:Εφαρμογή κανόνα CGA σε διαφορετικές γεωμετρίες (Πηγη: Parish, & Müller, 2003)

Δημιουργία Κανόνων με τον Façade Wizard

Μέσα από το Façade Wizard δημιουργούνται αυτόματα CGA κανόνες από φωτογραφίες. Με τον τρόπο αυτό μπορούν να κατασκευαστούν εύκολα κανόνες για πολύπλοκες προσόψεις από φωτογραφίες με τυχαία ανάλυση. Με το εργαλείο crop image tool διορθώνουμε τις φωτογραφίες δίνοντάς τους την επιθυμητή κλίση και κλίμακα (βλέπε εικόνα: 14) και έπειτα τις εισάγουμε στο Façade Wizard. Εκεί ο χρήστης δημιουργεί κανόνες από “κοψίματα” που πραγματοποιεί στη φωτογραφία. Είναι αρκετά σημαντικό πριν προβούμε στη διαδικασία διάσπασης της φωτογραφίας να γίνει καλή μελέτη της δομής του κτιρίου, να εντοπιστούν τυχόν επαναλαμβανόμενα ή μοναδικά μοτίβα, συμμετρίες, υψομετρικές διαφορές κ.α. Με τον τρόπο αυτό σχεδιάζεται ο βέλτιστος τρόπος διάσπασης. Το κτίριο συνιστάται να χωριστεί αρχικά κατά τον κάθετο άξονα σε ορόφους, έπειτα κατά τον οριζόντιο σε πλάκες, δομικά στοιχεία και περαιτέρω λεπτομέρειες. Κάθε μέρος που προκύπτει από το διαχωρισμό ορίζεται ως επαναλαμβανόμενο ή μοναδικό. Επιπλέον τίθενται οι διαστάσεις που μπορούν να είναι σχετικές

ή απόλυτες και δίνεται η δυνατότητα προσθήκης του βάθους. Ο κανόνας που προκύπτει εφαρμόζεται στη συνέχεια σε μια πρόσοψη και προσαρμόζει τη φωτογραφία στην εκάστοτε κλίμακα. Στην περίπτωση που η πρόσοψη έχει τις ίδιες διαστάσεις με αυτές που έχουμε θέσει στην φωτογραφία, η τελευταία καλύπτει αυτούσια την πρόσοψη. Αν όμως οι διαστάσεις της πρόσοψης διαφέρουν, τότε έρχονται και τοποθετούνται πρώτα τα μέρη που έχουν τεθεί ως μοναδικά, στη συνέχεια αν υπάρχει περισσευούμενος χώρος έρχονται και προστίθενται τα μέρη που έχουν τεθεί ως επαναλαμβανόμενα. Τα μέρη που έχουν σχετικές διαστάσεις επιμηκύνονται ή μικραίνουν ώστε να προσαρμοστούν στην καινούρια κλίμακα ενώ τα μέρη με απόλυτη διάσταση παραμένουν σταθερά και είτε εμφανίζονται ολόκληρα ή όσο τους επιτρέπει η καινούρια κλίμακα.



Εικόνα 14: Επεξεργασία Εικόνας στο Crop Image Tool (Πηγή: <http://cehelp.esri.com/help/index.jsp?topic=/com.procedural.cityengine.help/html/toc.html>)



Εικόνα 15: Εφαρμογή Κανόνα Κατασκευασμένου στον Façade Wizard σε Γεωμετρίες Διαφορετικών Διαστάσεων (Πηγή: <http://cehelp.esri.com/help/index.jsp?topic=/com.procedural.cityengine.help/html/toc.html>)

- Χειροκίνητη Μοντελοποίηση



Εικόνα 16: Εργαλεία Χειροκίνητης Μοντελοποίησης του CityEngine (Πηγή: <http://cehelp.esri.com/help/index.jsp?topic=/com.procedural.cityengine.help/html/toc.html>)

Το CityEngine μέσα από μια σειρά εργαλεία δίνει την δυνατότητα στο χρήστη να δημιουργήσει και να επεξεργαστεί σχήματα (βλέπε εικόνα: 16). Τα εργαλεία αυτά χωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες-εργαλεία που αφορούν: τη δημιουργία σχημάτων, την κατασκευή δρόμων, το μετασχηματισμό σχημάτων. Με τα εργαλεία polygonal shape creation και rectangular shape creation ο χρήστης μπορεί να κατασκευάσει πολυγωνικά σχήματα κάθε μορφής στον άξονα και με την κλίση που αυτός επιλέγει. Με τα εργαλεία Freehand Street Creation και Polygonal Street Creation δημιουργούνται ή επεκτείνονται δίκτυα δρόμων. Στα σχήματα και στους δρόμους που έχουν δημιουργηθεί μπορούν να δοθούν περιγραφικές ιδιότητες και να εφαρμοστούν κανόνες. Τα εργαλεία μετασχηματισμού είναι αρκετά χρήσιμα καθώς με αυτά ο χρήστης μπορεί να

αλλάζει τη θέση, την κλίμακα και τον προσανατολισμό των σχημάτων ανεξαρτήτως αν έχουν σχεδιαστεί χειροκίνητα, αν είναι αποτέλεσμα κανόνα ή αν προέρχονται από άλλο λογισμικό. Ιδιαίτερα πρακτικά εργαλεία είναι επίσης: το Align Shapes to Terrain, που τοποθετεί τα σχήματα στην επιφάνεια υποβάθρου και το Shape Texturing Tool, που επικολλά επιφάνειες. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επιλέξει ποια μέθοδο μοντελοποίησης είναι καταλληλότερη για την εργασία του και μπορεί επίσης να χρησιμοποιήσει ένα συνδυασμό μεθόδων όπως έχει γίνει και στη συγκεκριμένη εργασία.

1.3.4 Εφαρμογές

Το City Engine έχει βρει εφαρμογές σε πολλούς τομείς και έχει αποδειχτεί ένα πρακτικό και χρήσιμο εργαλείο. Αναλυτικότερα, το CityEngine έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς από αρχιτέκτονες, πολεοδόμους και τοπικές αρχές σε μελέτες περιβαλλοντολογικού, αρχιτεκτονικού και πολεοδομικού περιεχομένου, σε μελέτες για το κυκλοφοριακό σύστημα και την αειφόρο ανάπτυξη, όπου μέσω της απεικόνισης των πληροφοριών και των προτεινόμενων σχεδίων συνέβαλε στη γρήγορη και χαμηλού κόστους δημιουργία προτάσεων ανάπλασης και λήψης αποφάσεων. Για παράδειγμα, η Geoinformatik GmbH (GTA) ψάχνοντας να βρει τρόπο να απεικονίσει με τρισδιάστατη λεπτομέρεια τη βάση δεδομένων για την πόλη του Μονάχου, κατέφυγε στο CityEngine ώστε να υλοποιήσει με επιτυχία το έργο της (βλέπε εικόνα: 17). Ένα επίσης αξιοσημείωτο παράδειγμα αποτελεί η κατασκευή του τρισδιάστατου μοντέλου για την απεικόνιση σχεδίου ανάπλασης μιας περιοχής 10km² στη Μασσαλία (βλέπε εικόνα: 18).

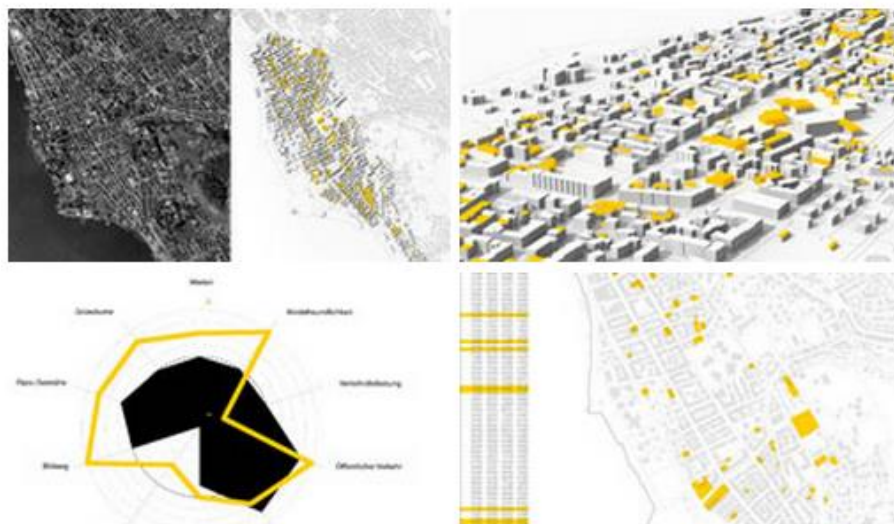


Εικόνα 17: Munich Reconstruction (Πηγή:<http://www.esri.com/software/cityengine/industries>)



Εικόνα 18: Marseille Urban Planning (Πηγή: <http://www.esri.com/software/cityengine/industries>)

Ένας ακόμα τομέας που έχει βρει εφαρμογή το CityEngine είναι ο κτηματομεσιτικός, με βασικό παράδειγμα το YouCity Real Estate Project (βλέπε εικόνα: 19). Στο πρότζεκτ αυτό απεικονίστηκαν τρισδιάστατα πολεοδομικοί κανονισμοί και περιορισμοί και η αξία των κτιρίων της Ζυρίχης, δίνοντας νέες διαστάσεις στην αντίληψη και τον σχεδιασμό αστικών περιβαλλόντων.



Εικόνα 19: YouCity Real Estate (Πηγή: <http://www.esri.com/software/cityengine/industries>)

Επιπλέον, το CityEngine έχει εφαρμογή σε προσομοιώσεις και στον κλάδο της ψυχαγωγίας σε ταινίες (“Cars”), παιχνίδια (“Destroyed City”) και διαφημιστικά (“Prius Commercial”) (βλέπε εικόνα: 20), καθώς δίνει τη δυνατότητα ρεαλιστικής αναπαράστασης φανταστικών και υπαρκτών πόλεων.

Το λογισμικό είναι επίσης χρήσιμο σε αρχαιολόγους για την απεικόνιση αρχαίων πόλεων από δεδομένα ανασκαφών. Για παράδειγμα, μια ομάδα ειδικών κατάφερε το 2008 να ανασκευάσει ρεαλιστικά την Αρχαία Ρώμη (“Rome Reborn 2.0”). Αυτό το μοντέλο, πέρα από την αισθητική του αξία, είναι πλήρως διαδραστικό και αποτελεί μέχρι και σήμερα τη βέλτιστη προσπάθεια να

απεικονίζει ο άνθρωπος έναν αρχαίο κόσμο. Σε αντίθεση με άλλες προσπάθειες αναπαράστασης αρχαιολογικών χώρων το συγκεκριμένο πρότζεκτ δεν εστιάζει μόνο στην απεικόνιση των βασικών μνημείων αλλά δημιουργεί ένα ολοκληρωμένο αστικό περιβάλλον, με την χρήση της διαδικαστικής μοντελοποίησης (Müller et.al., 2005). Παρομοίως, αλλά με στόχο περισσότερο τον τουρισμό παρά την αρχαιολογική έρευνα, έχει κατασκευαστεί ένα ρεαλιστικά ψηφιακό μοντέλο της Αρχαίας Πομπηίας ("Procedural Pompeii") (βλέπε εικόνα: 21). Σε αυτό το μοντέλο ο χρήστης μπορεί ακόμα και να περιηγηθεί ψηφιακά μέσα στην πόλη.



Εικόνα 20: Procedural Pompeii (Πηγή: <http://www.esri.com/software/cityengine/industries>)

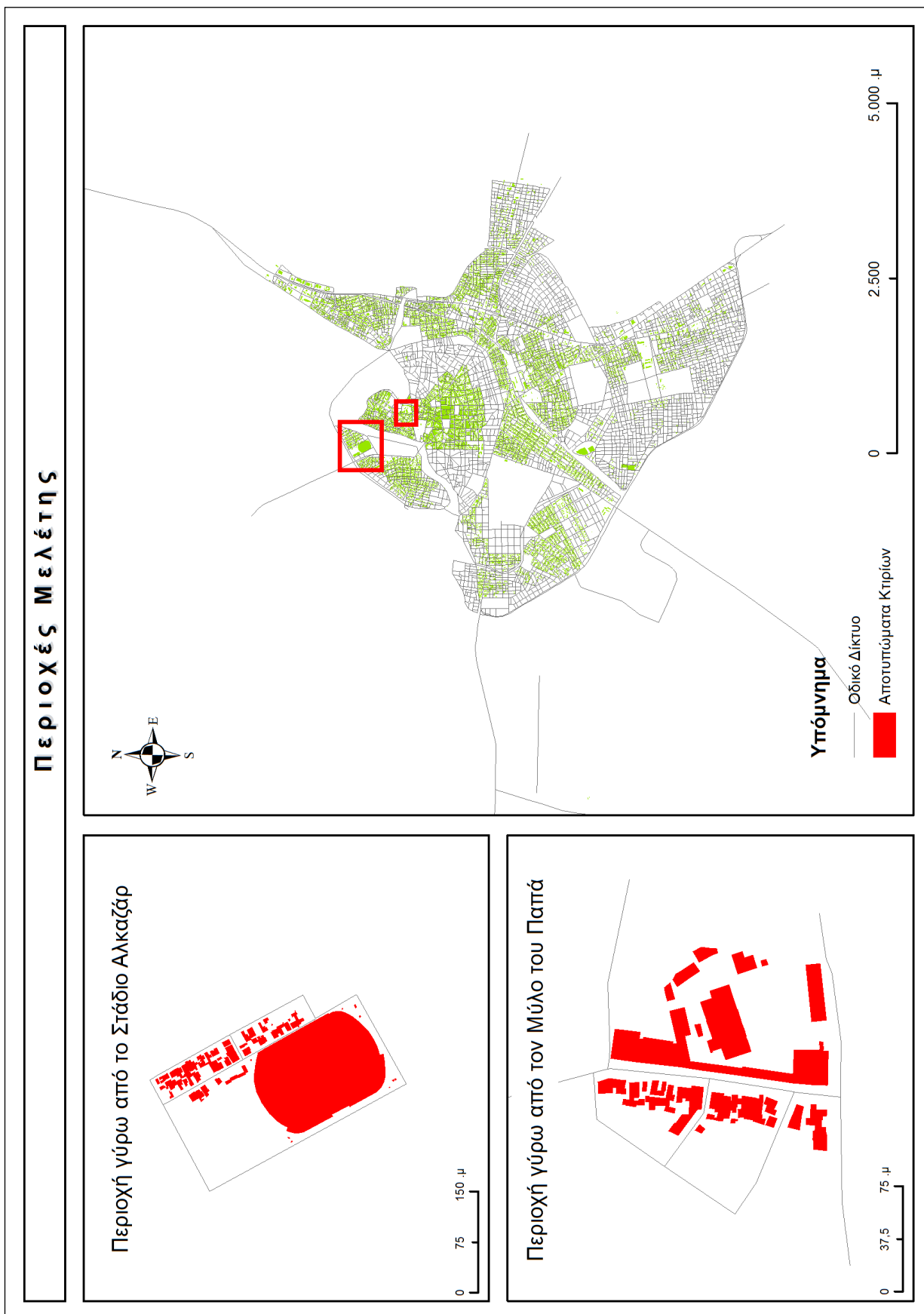


Εικόνα 21: Prius Commercial (Πηγή: <http://www.esri.com/software/cityengine/industries>)

Σε ελληνικό επίπεδο, έχουν γίνει ενέργειες για την χρήση του λογισμικού στον ακαδημαϊκό χώρο, όπως για παράδειγμα στην πτυχιακή εργασία "Διαδικαστική Μοντελοποίηση της παλιάς Λευκωσίας του 19^{ου} αιώνα". Αυτή η εργασία πραγματοποιήθηκε στο Πανεπιστήμιο της Κύπρου (στο Τμήμα Πληροφορικής) από τον Χαράλαμπο Αποστόλου, με επιμέλεια του καθηγητή Γιώργου Χρύσανθου. Σκοπός της εργασίας ήταν η ανακατασκευή της παλιάς Λευκωσίας του 19^{ου} αιώνα από ηλεκτρονικά δεδομένα του κτηματολογίου. Στο Ε.Μ.Π (στη Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών) η Τσιλιάκου Εύα, με επιβλέπουσα καθηγήτρια την Έφη Δημοπούλου, παρουσίασε ένα τρισδιάστατο μοντέλο της Πολυτεχνειούπολης του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου (ΕΜΠ) της Αθήνας με ένα υψηλότερο επίπεδο λεπτομέρειας στη Σχολή των Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του ΕΜΠ (Διπλωματική Εργασία: Κανονιστική μοντελοποίηση στο 3D Κτηματολόγιο – Εφαρμογή στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου)

1.4 Περιοχές Μελέτης

Η πόλη της Λάρισας είναι από τους λίγους δήμους της Ελλάδας που διαθέτει μια πλήρως ενημερωμένη γεωγραφική βάση δεδομένων για τα πολεοδομικά σχέδια της πόλης. Το γεγονός αυτό αποτέλεσε και τον βασικό παράγοντα επιλογής της στη συγκεκριμένη εργασία. Η περαιτέρω επιλογή των δύο περιοχών μελέτης είχε ως κριτήρια την σημαντικότητα τους ως προς την πόλη και την ανάδειξη των μεθόδων μοντελοποίησης που δίνονται από το CityEngine. Και οι δύο περιοχές βρίσκονται στο βόρειο μέρος της πόλης και περιέχουν η κάθε μία ένα κτίριο ορόσημο, η μία το στάδιο Αλκαζάρ και η άλλη το κτιριακό συγκρότημα του "Μύλου Παπά".



Εικόνα 22: Χάρτης Περιοχών Μελέτης

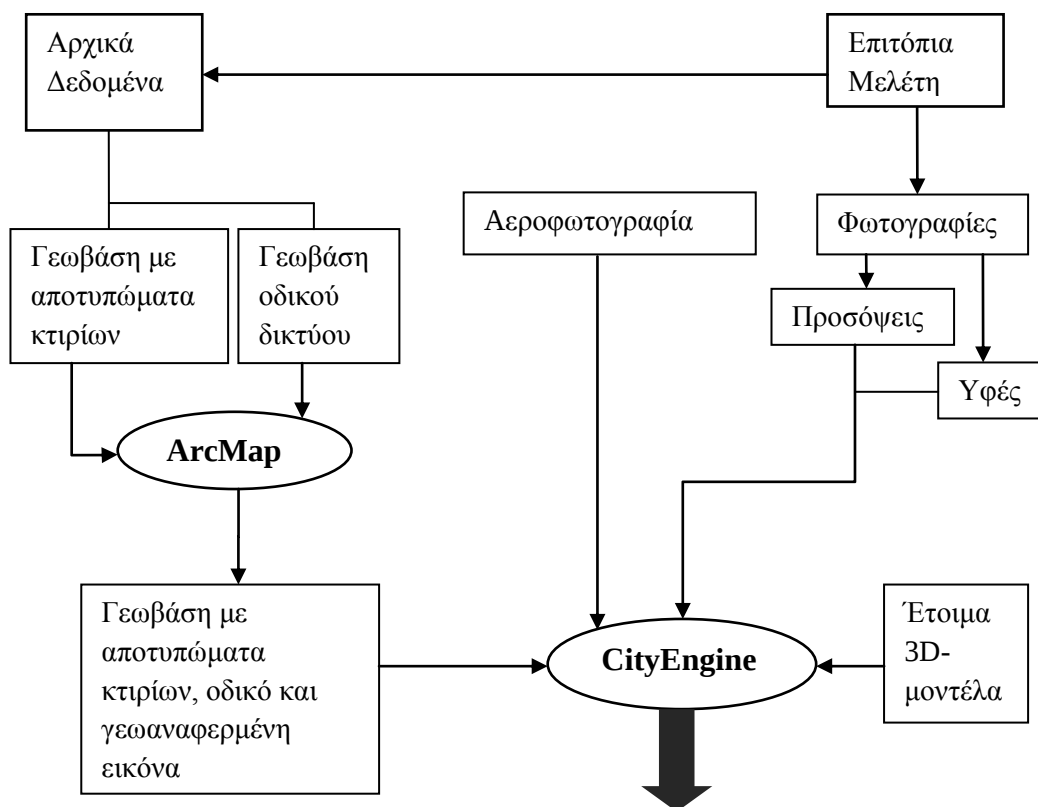
Το στάδιο *Αλκαζάρ* βρίσκεται δίπλα από το ομώνυμο πάρκο και τον Πηνειό ποταμό, ανήκει στην ΓΓΑ (Γενική Γραμματεία Αθλητισμού) και είναι κομμάτι του ΕΑΚ (Εθνικού Αθλητικού Κέντρου) Λάρισας. Το στάδιο αποτελεί ένα ιστορικό σημείο της πόλης αφού από το 1965 μέχρι 2010 αποτέλεσε την έδρα της ΑΕΛ (Αθλητικής Ένωσης Λάρισας), της μεγαλύτερης ποδοσφαιρικής ομάδας της Λάρισας. Σήμερα, μετά την μεταφορά της στο AEL FC Arena το στάδιο λειτουργεί ως έδρα της ΠΑΕ Τυρνάβου.

Το κτιριακό συγκρότημα "*Μύλος Παπά*" βρίσκεται επί των οδών Γεωργιάδου και Διονύσου, δίπλα από το Φρούριο της Λάρισας, στην παλιά συνοικία Ταμπάκικα και δίπλα στον ποταμό Πηνειό. Το κτίριο από το 1883 μέχρι το 1983 λειτουργεί αρχικά ως αλευρόμυλος και στην συνέχεια ως αυτόματος βιομηχανικός κυλινδρόμυλος. Σήμερα ο Μύλος του Παπά ανήκει στο Δήμο Λαρισαίων που έχει μετατρέψει το κτίσμα σε ένα πολυδύναμο πολιτιστικό, εκπαιδευτικό, ψυχαγωγικό και συνεδριακό κέντρο. Τόσο το κεντρικό κτίριο όσο και τα βοηθητικά κτίσματα συνοδείας (αποθήκες, γραφεία κ.λπ.), φιλοξενούν το θέατρο του Μύλου για τις παραστάσεις του ΔΗ.ΠΕ.ΘΕ. Λάρισας - Θεσσαλικό Θέατρο, τις αίθουσες και τα γραφεία της Φιλαρμονικής του Δήμου, το κουκλοθέατρο «Τιριτόμπα» και το μουσείο κούκλας, τη Δημοτική Σχολή Μπαλέτου, το θερινό κινηματογράφο, τη Μουσική Σκηνή (Κέντρο συναυλιών και διασκέδασης) «Μύλος 1927». Επίσης, στο κεντρικό κτίριο στεγάζεται το Περιφερειακό Ινστιτούτο Επιμόρφωσης Θεσσαλίας (Περιήγηση στην πόλη, Δήμος Λαρισαίων).

Οι δυο περιοχές επιλέχθηκαν για την ιστορική σημασία τους και για τα δεδομένα που τις αφορούσαν, τα οποία βοήθησαν στην παρουσίαση των μεθόδων μοντελοποίησης. Πιο συγκεκριμένα το μοντέλο του σταδίου Αλκαζάρ που βρέθηκε έτοιμο στην αποθήκη χρησίμευσε στην ανάδειξη της επεξεργασίας στατικών μοντέλων και της χειροκίνητης μοντελοποίησης, ενώ οι φωτογραφίες του συγκροτήματος Μύλος Παπά συνέβαλε στην προβολή της δημιουργίας κανόνων μέσα από το εργαλείο Façade Wizard.

2^ο ΜΕΡΟΣ

2.1 Διάγραμμα Ροής



2.2 Μεθοδολογία



Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για μοντέλου των δύο περιοχών χωρίζεται

την κατασκευή του τρισδιάστατου σε 2 βασικά στάδια. Το πρώτο

στάδιο αφορά την αναζήτηση, συλλογή και μετασχηματισμό στον ArcMap των δεδομένων. Το δεύτερο στάδιο αφορά την κατασκευή του μοντέλου μέσα από την επεξεργασία των δεδομένων στο CityEngine. Τα πολεοδομικά δεδομένα και οι φωτογραφίες των περιοχών δόθηκαν από την Marathon Data Systems, ενώ αεροφωτογραφίες και τρισδιάστατα μοντέλα αναζητήθηκαν στο διαδίκτυο. Τα αρχικά δεδομένα χρειάστηκε να τροποποιηθούν στον ArcMap ώστε να αποκτήσουν την κατάλληλη μορφή για να είναι εύκολη και αποτελεσματική η επεξεργασία τους στο CityEngine. Η ενημέρωση των δεδομένων έγινε μετά από επίσκεψη στις περιοχές μελέτης, κατά την οποία εμπλουτίστηκε και το αρχείο φωτογραφιών. Για την κατασκευή του μοντέλου χρησιμοποιήθηκε η διαδικαστική μοντελοποίηση και η χειροκίνητη μοντελοποίηση.

Κανόνες, γραμμένοι στον CGA editor εφαρμόστηκαν στα δισδιάστατα ΣΓΠ δεδομένα και δημιούργησαν κτίρια, δρόμους και περιφράξεις. Το κτίριο του Μύλου Παπά αναπαραστάθηκε μέσα από κώδικα που δημιουργήθηκε στο Façade Wizard, ενώ το γήπεδο του Αλκαζάρ μοντελοποιήθηκε χειροκίνητα.

2.3 Αρχικά Δεδομένα

Τα αρχικά δεδομένα αποτελούνται από μια γεωβάση με πολύγωνα των αποτυπωμάτων των κτιρίων, το οδικό δίκτυο και φωτογραφικό υλικό. Ο πίνακας ιδιοτήτων της γραμμικής featureclass του οδικού δικτύου περιείχε την ονομασία των δρόμων. Το αρχείο των φωτογραφιών ήταν συνδεδεμένο με σημεία στις περιοχές μελέτης, γεγονός που διευκόλυνε σημαντικά την απεικόνιση των προσώπων των κτιρίων. Ενώ η feature class των πολυγώνων, αναφερόταν στην Λάρισα του 1980 και ο πίνακας ιδιοτήτων της περιλάμβανε πεδίο για τον αριθμό των ορόφων (AROR) και πεδίο για τον τύπο σκεπής (EPIK: Κεραμοσκεπή, Μεταλλοσκεπή, Πλακοσκεπή). Τα δύο αυτά πεδία, ενώ μπορούν να δημιουργήσουν ένα μοντέλο πόλης, δεν είναι αρκετά για να αποδώσουν ρεαλιστικά τα κτίρια. Έτσι κρίθηκε απαραίτητο να γίνει επίσκεψη στην περιοχή μελέτης ώστε να προστεθούν επιπλέον περιγραφικά χαρακτηριστικά στα πολύγωνα για ένα πιο ρεαλιστικό αποτέλεσμα. Επιπλέον, κάποια πολύγωνα παρουσίασαν ιδιομορφίες, όπως ελλειπείς πληροφορίες ή πολύ μικρό εμβαδόν, οι οποίες έκαναν απαραίτητη την επιτόπια μελέτη.

Η πληροφορία που επιλέχθηκε να προστεθεί στα αποτυπώματα των κτιρίων ήταν η χρήση τους. Ορίζοντας τη χρήση του κάθε κτιρίου το αποτέλεσμα θα γινόταν περισσότερο ρεαλιστικό, αφού η χρήση είναι αυτή που καθορίζει τα βασικότερα χαρακτηριστικά δομής των κτιρίων. Εξετάστηκε λοιπόν κατά την έρευνα η μορφή των κτιρίων και έγινε η κατηγοριοποίηση τους με βάση τα κύρια χαρακτηριστικά τους, όπως το αν αποτελούν αμιγείς κατοικίες ή αν περιλαμβάνεται και κάποια άλλη χρήση, βιομηχανική ή εμπορική. Για να διευκολυνθεί η έρευνα, ενώθηκαν πολύγωνα με πολύ μικρό εμβαδό (<20τμ) με εφαπτόμενα πολύγωνα μεγαλύτερων διαστάσεων που είχαν ίδια χαρακτηριστικά με αυτά. Πρέπει εδώ να σημειωθεί, ότι με τον όρο εμβαδό εννοείται το συνολικό εμβαδό που θα έχουν τα κτίρια που θα προκύψουν από την μοντελοποίηση των πολυγώνων. Το εμβαδό αυτό υπολογίστηκε με τον πολλαπλασιασμό του αριθμού των ορόφων με το εμβαδό των πολυγώνων καθώς θεωρήθηκε δεδομένο ότι οι όροφοι των κτιρίων θα έχουν ίδιο εμβαδό.

Το γεγονός ότι τα δεδομένα αφορούσαν τη Λάρισα του 1980, κατέστησε αρκετές φορές δύσκολο τον ορισμό της χρήσης των κτιρίων. Σε πολλά πολύγωνα:

1. Δεν υπήρχε κτίσμα
2. Υπήρχε κτίσμα αλλά με διαφορετικά χαρακτηριστικά (πχ. παραπάνω ορόφους, διαφορετική στέγη)
3. Υπήρχαν μικρότερα κτίσματα.

Στις περιπτώσεις αυτές η χρήση ορίστηκε σχεδόν τυχαία με βάση τυχόν γκρεμίσματα, τη δομή των πολυγώνων και τη χρήση των γειτονικών κτιρίων.

Ένας άλλος παράγοντας που δυσκόλεψε τον καθορισμό της χρήσης ήταν η δυσκολία ή/και αδυναμία πρόσβασης στις περιοχές που αντιπροσώπευαν τα πολύγωνα. Στις περιπτώσεις αυτές χρησιμοποιήθηκαν το Google Earth, το Bird Eye View των Bing Maps και ο χάρτης του Κτηματολογίου.

2.4 Επεξεργασία Δεδομένων στο Λογισμικό ArcMap

- **Αποτυπώματα Κτιρίων**

Στο σημείο αυτό προστέθηκε στα πολύγωνα πεδίο για την χρήση τους (Usage) και τα πολύγωνα κατηγοριοποιήθηκαν σε:

1. Αποθήκες - (Shed): πολύγωνα με εμβαδό μεγαλύτερο από 3 τ.μ. και μικρότερο από 20 τ.μ., με έναν όροφο που είχαν στην κεντρική πρόσοψη τους πόρτα, στις πλαϊνές προσόψεις μικρά παράθυρα και οι τοίχοι τους ήταν φθαρμένοι, (βλέπε εικόνα: 23). Θεωρήθηκε ότι κτίσματα με τόσο μικρό εμβαδό και αυτή την μορφή θα αποτελούν αποθήκες.
2. Κοτέτσια - (Coop): χαρακτηρίστηκαν τα πολύγωνα με εμβαδό μικρότερο του 4 τ.μ. και έναν όροφο, τα οποία δεν εφάπτονταν με κάποιο μεγαλύτερο πολύγωνο ή αν εφάπτονταν είχαν άλλα περιγραφικά χαρακτηριστικά.
3. Αμιγείς κατοικίες - Κεντρικά Κτίρια - (Residential_MainBuilding): πολύγωνα μεγαλύτερα των 20 τ.μ. ενός ή περισσότερων ορόφων. Τα κτίσματα αυτά περιτριγυρίζονται από αυλή και η μπροστινή τους πρόσοψη έχει σίγουρα πόρτα

εισόδου. Όταν έχουν έναν όροφο, διαθέτουν παράθυρα (βλέπε εικόνα: 24), ενώ όταν έχουν παραπάνω από έναν ορόφους, διαθέτουν είτε μπαλκόνι είτε παράθυρα και μπαλκόνι στην μπροστινή πρόσοψη (βλέπε εικόνα: 25). Τη δομή αυτή χωρίς την είσοδο τη συναντάμε και στους υπόλοιπους ορόφους όπως και στην πίσω πρόσοψη. Τέλος, οι πλαϊνές προσόψεις των κτισμάτων έχουν παράθυρα.

4. Αμιγείς Κατοικίες - Πλαϊνά Κτίρια - (Residential_SidePart): Πολύγωνα που ανήκαν στο ίδιο κτίριο αλλά είχαν διαφορετικά χαρακτηριστικά ορίστηκαν ως διαφορετικές οντότητες. Τα μικρότερα από αυτά τα πολύγωνα χαρακτηρίστηκαν ως *πλαϊνά*. Τα κτίσματα αυτά, καθώς αποτελούν μέρη ενός μεγαλύτερου κτίσματος, δεν έχουν πόρτα εισόδου αλλά διαθέτουν μπαλκόνια και παράθυρα.
5. Κατοικίες με εμπορική χρήση στο ισόγειο - (Residential_Commercial): Τα κτίρια αυτά έχουν πόρτα εισόδου και βιτρίνες στο ισόγειο στην μπροστινή πρόσοψη. Στους υπόλοιπους ορόφους η μπροστινή πρόσοψη και η πίσω πρόσοψη ακολουθούν τη δομή των κτιρίων που έχουν χαρακτηριστεί ως αμιγείς κατοικίες (βλέπε εικόνα: 26).
6. Κατοικίες με βιομηχανική χρήση στο ισόγειο - (Residential_Industrial): Αυτές έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά με τις κατοικίες με εμπορική χρήση στο ισόγειο μόνο που αντί για βιτρίνες έχουν παράθυρα όπως φαίνεται στην εικόνα. Ο όρος βιομηχανική χρήση αναφέρεται σε εργαστήρια, βιοτεχνίες, μικρές βιομηχανίες και φούρνους. (βλέπε εικόνα: 28)
7. Βιομηχανικά Κτίρια - (Industrial): Κατά την επίσκεψη στις περιοχές μελέτης τρία κτίρια είχαν τη μορφή που φαίνεται στην εικόνα 27, δηλ. κτίρια του ενός ορόφου με κεραμοσκεπή, μικρά παράθυρα ψηλά τοποθετημένα και μια πόρτα στην πρόσοψη. Τα κτίρια αυτά χαρακτηρίστηκαν ως βιομηχανικά.
8. Περίπτερα - (Kiosk): Γύρω από το στάδιο του Αλκαζάρ και μέσα στο κτιριακό συγκρότημα Μύλος Παπά εντοπίστηκαν πολύγωνα με έναν όροφο και εμβαδό μικρότερο των 20τμ. Τα κτίσματα αυτά ορίστηκαν ως περίπτερα.
9. Αθλητικές Εγκαταστάσεις – (Sport_Facilities): Πολύγωνο που βρίσκεται μέσα στον περιβάλλοντα χώρο του σταδίου Αλκαζάρ.

10. Κτίρια του συγκροτήματος Μύλος Παπά - (Milos_Papa): Όλα τα πολύγωνα που ανήκουν στο ομώνυμο κτιριακό συγκρότημα.



Εικόνα 23: Αποθήκη



Εικόνα 24: Κατοικία με έναν όροφο



Εικόνα 25: Κατοικίες με παραπάνω από έναν ορόφους



Εικόνα 26: : Κατοικία με εμπορική χρήση στο ισόγειο



Εικόνα 27: Βιομηχανικό κτίριο



Εικόνα 28: Κτίριο με βιομηχανική χρήση στο ισόγειο

Εκτός από το πεδίο για τη χρήση γης κρίθηκε απαραίτητο να προστεθεί ένα επιπλέον πεδίο στον περιγραφικό πίνακα των πολυγώνων, το οποίο ονομάστηκε τύπος (Type). Το πεδίο αυτό κατηγοριοποίησε περαιτέρω τα πολύγωνα ώστε να υπάρχει περισσότερη ποικιλομορφία και συνοχή. Πιο συγκεκριμένα, στα πολύγωνα με τις χρήσεις: Shed, Coop, Residential_MainBuilding, Residential_SidePart, Residential_Commercial, Residential_Industrial, δόθηκαν οι τιμές 1 και 2. Με τον τρόπο αυτό δημιουργήθηκαν περισσότερες κατηγορίες, ενώ πολύγωνα με χρήση Residential_SidePart και πολύγωνα με χρήση Residential_MainBuilding που αποτελούσαν μέρη του ίδιου κτίσματος ομαδοποιήθηκαν.

Επιπλέον, τα πολύγωνα με χρήση Kiosk χωρίστηκαν σε αυτά που ανήκαν στο Μύλο Παπά και σε αυτά που ανήκαν στο στάδιο του Αλκαζάρ ώστε να τους επικολληθούν οι αντίστοιχες υφές.

- **Οδικό Δίκτυο**

Ο κώδικας για το οδικό δίκτυο βασίστηκε στον έτοιμο κανόνα Modern Streets. Για να είναι δυνατό να εφαρμοστεί ο κώδικας στην featureclass του οδικού δικτύου ήταν απαραίτητο να προστεθούν στον πίνακα χαρακτηριστικών της τα πεδία: Nbr_of_left_lanes, Nbr_of_right_lanes με τον αριθμό των δεξιών και αριστερών λωρίδων του εκάστοτε δρόμου και τα πεδία sidewalkWidthLeft, sidewalkWidthRight με το πλάτος του δεξιού και αριστερού πεζοδρομίου.

- **Περιφράξεις**

Κατά την διάρκεια της έρευνας, παρατηρήθηκε ότι όσα κτίρια ήταν μονοκατοικίες περιτριγυρίζονταν από κήπο, ο οποίος ήταν περιφραγμένος (βλέπε εικόνες: 24-25). Η λεπτομέρεια αυτή κρίθηκε απαραίτητη να προστεθεί στο μοντέλο καθώς του έδινε τελείως άλλη μορφή. Συνεπώς, δημιουργήθηκε μια καινούρια πολυγωνική featureclass, όπου με την βοήθεια του υποβάθρου που δίνει το κτηματολόγιο, ψηφιοποιήθηκαν οι περιφράξεις. Καθώς τα δεδομένα είναι παλαιότερα από τον χάρτη του κτηματολογίου, το αποτέλεσμα δεν αντιπροσωπεύει με ακρίβεια την πραγματικότητα, έδωσε όμως μια πιο ρεαλιστική μορφή στο μοντέλο. Τα πολύγωνα έχουν πάχος 10 εκ. και ο πίνακας ιδιοτήτων τους έχει τα πεδία “Type” και “Style”. Στο πεδίο Type οι περιφράξεις χαρακτηρίζονται ως μπροστινές (Front) και πλαϊνές (Side). Οι μπροστινές περιφράξεις είναι αυτές που βρίσκονται προς την πλευρά του δρόμου και είναι αυτές που έχουν την πόρτα εισόδου. Αντίθετα, οι πλαϊνές περιφράξεις βρίσκονται στα πλαϊνά και πίσω μέρη του κτιρίου και έχουν μόνο κάγκελα. Στο πεδίο Style καθορίζεται το στυλ που θα έχουν. Οι περιφράξεις κατηγοριοποιούνται βάσει της υφής και της δομής τους ως εξής:

1. στην περιφράξη του γηπέδου του Αλκαζάρ τοίχος με άσπρο χρώμα με κίτρινα κάγκελα 'alkazar'.
2. Σε περιφράξεις από συρματοπλέγματα 'fence'.
3. Στον τοίχο που περιβάλλει το κτιριακό συγκρότημα Μύλος Πάπα 'milos_papa'.

4. Σε περιφράξεις κατοικιών 'residential_1' 'residential_2' με τοίχο και κάγκελα.

2.5 Διαδικαστική Μοντελοποίηση

Για την μοντελοποίηση των δύο περιοχών δημιουργήθηκαν 5 αρχεία κανόνων. Πιο αναλυτικά, κατασκευάστηκαν δύο αρχεία κανόνων στον CGA editor, ένα για τα πολύγωνα των αποτυπωμάτων και ένα για τις περιφράξεις. Στη συνέχεια τροποποιήθηκε στον CGA editor ο κανόνας Modern Streets και έπειτα εφαρμόστηκε στη γραμμική feature class των δρόμων. Τέλος μέσα από το Façade Wizard προέκυψαν δύο κανόνες για τις προσόψεις του κτιριακού συγκροτήματος Μύλος Παπά, οι οποίοι όταν συνδέονται με τον κανόνα των κτιρίων, δίνουν την τελική μορφή στα κτίρια του συγκροτήματος.

2.5.1 Δημιουργία CGA κανόνα για τα κτίρια

Βάσει των ιδιοτήτων των πολυγώνων και της γεωμετρίας τους διαμορφώθηκε ένας αλγόριθμος που παράγει τρισδιάστατα μοντέλα. Στην αρχή του αλγορίθμου τέθηκαν οι ιδιότητες και οι υφές που θα χρησιμοποιηθούν κατά μήκος του. Έπειτα ορίστηκε ο εναρκτήριο κανόνας από τον οποίο θα ξεκινήσει η διαδικασία μοντελοποίησης. Ακολουθούν κανόνες διάσπασης και κανόνες που δημιουργούν γεωμετρίες και επικολλούν υφές. Μετά από κάθε κανόνα διάσπασης ελέγχθηκαν τα παραγόμενα μέρη και κάθε φορά επιλέχθηκε με βάση τις διαστάσεις και τις ιδιότητες των μερών αυτών ο επόμενος κανόνας που είτε τα διασπά περαιτέρω είτε σχηματίζει σε αυτά γεωμετρίες και τοποθετεί υφές.

- Ιδιότητες

Στις ιδιότητες στηρίζεται όλος ο αλγόριθμος, διότι αλλάζοντας τις ιδιότητες ο χρήστης μπορεί να αποκτήσει ένα τελείως διαφορετικό αποτέλεσμα. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επιλέξει αν οι ιδιότητες θα είναι φανερές στον Inspector ή αν θα φαίνονται μόνο στο περιβάλλον του CGA Editor. Στην συγκεκριμένη εργασία τέθηκαν αρχικά οι ιδιότητες του πίνακα ιδιοτήτων των πολυγώνων και πραγματοποιήθηκε με αυτόν τον τρόπο η σύνδεση του αλγορίθμου με την δισδιάστατη γεωμετρία.

Attributes

attr Usage = ""

attr Type = ""

attr Roof_Type = ""

attr Number_of_Floors = 0

Οι ιδιότητες αυτές είναι εμφανείς στον Inspector και συνεπώς ανά πάσα στιγμή ο χρήστης μπορεί να αλλάξει τον αριθμό των ορόφων, τη χρήση κλπ. του κτιρίου παρακολουθώντας επιτόπου τις αλλαγές που συμβαίνουν στο επιλεγμένο μοντέλο.

Ορίστηκαν επίσης οι εξής ιδιότητες:

- ύψος ορόφου, όπου τα 3,3 μ. θεωρήθηκαν ως κατάλληλο ύψος για την πλειοψηφία των κτιρίων και
- ύψος κτιρίου, το οποίο υπολογίστηκε πολλαπλασιάζοντας τον αριθμό των ορόφων με το ύψος ορόφου. .

attr Building_Height=(Number_of_Floors*Floor_Height)

attr Floor_Height= 3.3

Το CityEngine μοντελοποιεί εξάγοντας πρώτα έναν αρχικό όγκο, ο οποίος χωρίζεται ύστερα σε δισδιάστατες προσόψεις, οι οποίες μπορούν στην συνέχεια να χωριστούν σε επιμέρους τμήματα στα οποία σχηματίζονται δισδιάστατες ή τρισδιάστατες γεωμετρίες. Το πόσο διεξοδική θα είναι η διαδικασία αυτή εξαρτάται από τη λεπτομέρεια που θέλουμε να έχει το τελικό μοντέλο. Ένα πρόβλημα που αντιμετώπισε η συγκεκριμένη εργασία ήταν οι ασυνεχείς προσόψεις. Το CityEngine κατά την διαδικασία διάσπασης θεωρεί αυτόματα τα μέρη των προσόψεων ως ξεχωριστές γεωμετρίες που έχουν όμως τα ίδια χαρακτηριστικά. Το αποτέλεσμα είναι πως αν εφαρμοστεί ένας κανόνας σε μια ασυνεχή πρόσοψη, τότε η διαδικασία διαχωρισμού σε κάθε μέρος της πρόσοψης θα γίνει ξεχωριστά. Συνεπώς, αν για παράδειγμα μια μπροστινή πρόσοψη αποτελείται από τρία διαφορετικά μέρη και της εφαρμοστεί ένας κανόνας που δημιουργεί μια πόρτα εισόδου, τότε θα δημιουργηθούν 3 πόρτες εισόδου, μία σε κάθε μέρος. Για να αποφευχθεί αυτό, χρειάστηκε να ορίσουμε το αν οι προσόψεις είναι συνεχείς ή ασυνεχείς. Στις ασυνεχείς προσόψεις όλα τα μέρη τους θεωρήθηκαν ως μια ενιαία γεωμετρία η οποία χωρίστηκε στην συνέχεια εκ νέου σε μικρότερα σχήματα, στο καθένα από τα οποία δόθηκε διαφορετική ονομασία και έτσι μπορούσε στο κάθε μέρος να εφαρμοστεί άλλος κανόνας. Η ιδιότητα της συνεχούς ή ασυνεχούς πρόσοψης τέθηκε μόνο για τις μπροστινές προσόψεις

καθώς αυτές είχαν κατά κύριο λόγο μοναδικές γεωμετρίες. Η ιδιότητα αυτή, όπως και η ονομασία κάθε παραγόμενου μέρους, δόθηκαν χειροκίνητα στο κάθε πολύγωνο.

```
attr Front_Facade_is = "" ("continuous","non continuous")
```

```
attr F_DoorSide = 0
```

```
attr F_SidePart0 = 1
```

```
attr F_SidePart1 = 2
```

```
attr F_SidePart2 = 3
```

```
attr F_SidePart3 = 4
```

```
attr F_SidePart4 = 5
```

- Εισαγόμενοι κανόνες

Ένα από τα πλεονεκτήματα του CityEngine είναι πως οι κανόνες μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται το μήκος του αλγορίθμου και μπορούν να αναπαρασταθούν πιο περίπλοκες προσόψεις, αφού δίνεται η δυνατότητα σύνδεσης κανόνων από το Façade Wizard. Στην παρούσα εργασία για την απεικόνιση των προσόψεων των κτιρίων του συγκροτήματος Μύλος Παπά χρησιμοποιήθηκαν 2 κανόνες, ένας για το κεντρικό κτίριο και ένας για όλες τις προσόψεις όλων των υπόλοιπων κτιρίων.

```
import MainFacade: "Main_Facade_milospapa.cga"
```

```
import Sidefacade: "Side_Facade_milospapa.cga"
```

- Υφές

Οι Υφές που θα δοθούν στα παραγόμενα από τους κανόνες σχήματα προτείνεται να οριστούν στην αρχή του αλγορίθμου. Με τον τρόπο αυτό ο χρήστης μπορεί να τις αλλάξει εύκολα και γρήγορα χωρίς να τις αναζητά μέσα στον αλγόριθμο. Δίνεται έτσι η δυνατότητα να αλλάξει εξ ολοκλήρου η μορφή του μοντέλου ενώ παράλληλα μειώνεται αρκετά το μήκος του κανόνα. Οι υφές αυτές αφορούν τους τοίχους, τις πόρτες, τα παράθυρα, τις τέντες, τα κάγκελα και τις στέγες (βλέπε εικόνα: 29) και ουσιαστικά συνδέουν φωτογραφίες που βρίσκονται στον φάκελο Assets με τα παραγόμενα μέρη.



Εικόνα 29: Υφές για πόρτες

- **Εναρκτήριο Κανόνας**

Ο κανόνας αυτός ξεκινά την διαδικασία μοντελοποίησης εξάγοντας αρχικούς όγκους από τα πολύγωνα με βάση τις ιδιότητες των τελευταίων. Δημιουργήθηκαν έτσι 3 τύποι όγκων: Milos_Papa, Coop, Building. Για τα κτίρια του συγκροτήματος Μύλος Παπά σε όσα έχουν λιγότερους από 5 ορόφους εξάγονται όγκοι με ύψος τον αριθμό των ορόφων επί 3,5μ/όροφο. Όταν συγκρίθηκαν τα κτίρια αυτά με διπλανές πολυκατοικίες, παρατηρήθηκε ότι ήταν πιο ανυψωμένα και έτσι το ύψος του ορόφου τέθηκε στα 3,5 μ. αντί για 3,3μ. Επίσης, καθώς οι δύο τελευταίοι όροφοι του κεντρικού κτιρίου είχαν μικρότερο ύψος από τους υπόλοιπους, το ύψος του κτιρίου υπολογίστηκε όπως φαίνεται παρακάτω:

Lot --> case Usage == "Milos_Papa":

case Number_of_Floors <5:

extrude (world.y, Number_of_Floors * 3.5) Milos_Papa

else: extrude (world.y, (3.5 * 3)+5) Milos_Papa

Στην περίπτωση που το πολύγωνο έφερε την χρήση κοτετσιού, τότε δημιουργήθηκε όγκος με ύψος 2,2 μέτρα.

case Usage == "Coop": extrude (world.y, 2.2) Coop

Στα υπόλοιπα πολύγωνα εξήχθησαν όγκοι με βάση το ύψος τους όπως είχε υπολογιστεί από την ιδιότητα Building_Height με εξαίρεση τα πολύγωνα με έναν όροφο που η στέγη τους ήταν πλακοσκεπή. Η πλειοψηφία των κτιρίων αυτών είχαν κλιμακοστάσιο και έτσι οι αρχικοί όγκοι τους χωρίστηκαν κατά τον άξονα των y και δημιουργήθηκε μια επιπλέον επιφάνεια "Upper Floor", η οποία μοντελοποιήθηκε ξεχωριστά.

```
else: case Roof_Type=="flat_roof" && Number_of_Floors >1
```

```
    &&Usage!="Residential_SidePart":
```

```
        extrude(world.y, Building_Height+1)
```

```
        split(y){~1:Building|1:UpperFloor}
```

```
    else: extrude(world.y, Building_Height) Building
```

- Κανόνες για τα Κτίρια

Στο σημείο αυτό αρχίζει η διαδικασία διάσπασης των αρχικών όγκων σε επιμέρους μέρη. Σε κάθε επιμέρους μέρος είτε θα δημιουργηθούν γεωμετρίες και έπειτα θα τοποθετηθούν υφές είτε θα τοποθετηθούν εξαρχής υφές (πχ στα μέρη τοίχου). Ο πρώτος κανόνας διασπά τις προσόψεις:

```
Building --> case Usage=="Kiosk"||Usage
              == "Residential_SidePart"||Usage=="Industrial":
    comp(f) {front : FrontFacadeTex
              |right : SideFacadeTex
              |left  : SideFacadeTex
              |back  : BackFacadeTex
              |top   : Roof }
    else: comp(f) {front = FrontFacadeTex
                  |right : SideFacadeTex
                  |left  : SideFacadeTex
                  |back  : BackFacadeTex
                  |top   : Roof }
```

Οι προσόψεις χωρίζονται αρχικά σε ορόφους και ανάλογα με τις ιδιότητες τους και τις διαστάσεις τους διασπώνται περαιτέρω σε μέρη για παράθυρα, πόρτες, μπαλκόνια (βλέπε πίνακα 1). Στις ασυνεχείς μπροστινές προσόψεις στο κάθε νέο σχήμα δίνονται οι τιμές 0-5. Στο σχήμα με την τιμή 0 δημιουργείται χώρος για την πόρτα εισόδου, ενώ στα υπόλοιπα σχήματα δημιουργούνται χώροι για όλα τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά. Οι γεωμετρίες που θα σχηματιστούν στα τελικά μέρη της διάσπασης ορίζονται από πρόσθετους κανόνες.

Πίνακας 1: Μέρη που δημιουργήθηκαν στους ορόφους των κτιρίων

Κατηγορία	ΜΕΡΗ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΗΘΗΚΑΝ ΣΤΟΥΣ ΟΡΟΦΟΥΣ					
	Μπροστινή Πρόσοψη		Πλαϊνές Προσόψεις		Πίσω Πρόσοψη	
	Ισόγειο	Όροφοι	Ισόγειο	Όροφοι	Ισόγειο	Όροφοι
Αποθήκη	Πόρτα & Παράθυρα	--	Παράθυρα	--	Παράθυρα	--
Κοιτίσι	Πόρτα	--	--	--	--	--
Κατοικία						
1 όροφος	Πόρτα * & Παράθυρα	--	Παράθυρα	--	Παράθυρα	--
> όροφος	Πόρτα * & Μπαλκόνι	Μπαλκόνι	Παράθυρα	Παράθυρα	Μπαλκόνι	Μπαλκόνι
Περίπτερο	Παράθυρο	--	--	--	Πόρτα	--
Κατοικία με Εμπορική Χρήση	Πόρτα Εισόδου & Παράθυρα	Μπαλκόνι	Παράθυρα ή Τοίχος	Παράθυρα ή Τοίχος	Τοίχος	Παράθυρα ή Τοίχος
Βιομηχανικό Κτίριο	Πόρτα & Παράθυρα	Μπαλκόνι	Παράθυρα ή Τοίχος	Παράθυρα ή Τοίχος	Παράθυρα	Παράθυρα ή Τοίχος
Κατοικία με Βιομηχανική Χρήση	Πόρτα & Παράθυρα		Παράθυρα	Παράθυρα ή Τοίχος	Τοίχος	Παράθυρα ή Τοίχος
*Στις κατοικίες με χρήση Residential Side Part δεν δημιουργήθηκε μέρος για πόρτα εισόδου αλλά μόνο για παράθυρα						

Κανόνας για τον πάνω όροφο

Για να κατασκευαστεί το κλιμακοστάσιο στα κτίρια με παραπάνω από έναν όροφο και πλακοσκεπή δημιουργήθηκε μια επιπλέον επιφάνεια στην κορυφή των κτιρίων (Upper Floor). Στην επιφάνεια αυτή με την διαδικασία *InnerRect* εντοπίστηκε το μεγαλύτερο παραλληλόγραμμο κατά τους άξονες *sx* και *sy*, το οποίο βρίσκεται εντός της επιφάνειας αυτής (βλέπε εικόνα: 30). Σε αυτό το παραλληλόγραμμο έρχεται και δημιουργείται ένας αρχικός όγκος, ο οποίος χωρίζεται σε προσόψεις και γεωμετρίες και λαμβάνει τις υφές που έχει και το υπόλοιπο κτίριο.

UpperFloor--> comp(f){top:Terrace|side:RailWall}

Terrace--> innerRect
s(2,1.5,2.3)
t('1','1,-1)
i("builtin:cube:notex")
Stairwell

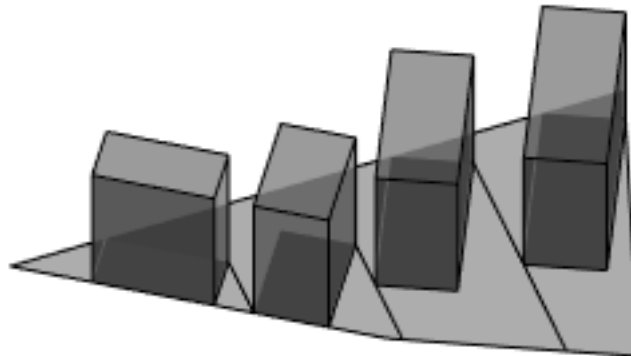
Stairwell--> comp(f){object.front:Front_Stairwell
|top:Wall
|object.horizontal:Roof
|object.vertical:Wall}

```

Front_Stairwell-->split(x){~1:SolidWall
    |0.8:split(y){2:Stairwell_Door
        |0.01:SolidWall
        |~1:Wall }
    |~1:SolidWall }

Stairwell_Door-->s('1','1,0.1)
    t(0,0,-0.2)
    i("builtin:cube:notex")
    setupProjection(0, scope.xy, '1, '1) projectUV(0)
    texture(randomShedDoorTexture)

```



Εικόνα 30: InneRect Operation

Κανόνες για τα μικρότερα μέρη που σχηματίζουν γεωμετρίες

Οι κανόνες για τα μικρότερα μέρη δίνουν λεπτομέρεια στα κτίρια σχηματίζοντας γεωμετρίες στα μέρη που έχουν παραχθεί από τους προηγούμενους κανόνες (βλέπε πίνακα 1). Με βάση τις διαστάσεις και τις ιδιότητες του κάθε μέρους, τα μέρη του πίνακα 1 διαμορφώνονται ως εξής: Αν δεν υπάρχει χώρος, τα τμήματα που έχουν οριστεί ως πόρτες ή παράθυρα χαρακτηρίζονται ως τοίχος, αλλιώς με βάση τις ιδιότητές τους αναπτύσσεται η ανάλογη γεωμετρία και επικολλάται η αντίστοιχη υφή. Για παράδειγμα, στα κτίρια με εμπορική χρήση, δημιουργούνται βιτρίνες εκεί που στο ισόγειο υπάρχει χαρακτηρισμός ως παράθυρο, ενώ στα κτίρια που είναι αποθήκες τοποθετούνται μικρά παράθυρα. Αν δεν υπάρχει χώρος, τα μέρη που έχουν οριστεί ως μπαλκόνια χαρακτηρίζονται ως παράθυρα και ακολουθούν την διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω. Αντίθετα, αν υπάρχει χώρος, στα μέρη αυτά δημιουργούνται μπαλκόνια, με τα χαρακτηριστικά που ορίζονται από τις ιδιότητές τους. Πρέπει να σημειωθεί ότι για να σχηματιστούν τα μπαλκόνια, οι πόρτες και τα παράθυρα, χρησιμοποιούνται επιπλέον κανόνες που δημιουργούν περβάζια, πατζούρια, κάγκελα κλπ. Αφού γίνει η τοποθέτηση των υφών τα κτίρια λαμβάνουν την τελική τους μορφή. (βλέπε εικόνες: 31-33)

- Κανόνας για τα κτίρια του συγκροτήματος Μύλος Παπά

Οι αρχικοί όγκοι που ανήκουν στο συγκρότημα Μύλος Παπά χωρίστηκαν σε προσόψεις και στην συνέχεια αναλόγως με τον αριθμό ορόφων συνδέθηκαν με τους κανόνες του Façade Wizard και δημιουργήθηκαν τα τελικά κτίρια (βλέπε εικόνα: 37).

```
Milos_Papa-->comp(f){front:MP_Facade
```

```
    |left:MP_Facade
```

```
    |right:MP_Facade
```

```
    |back:MP_BackFacade
```

```
    |top:Roof}
```

```
MP_Facade--> case Number_of_Floors == 5:
```

```
    MainFacade.Facade
```

```
    else: Sidefacade.Facade
```

```
MP_BackFacade--> case Number_of_Floors == 1:
```

```
    setupProjection(0, scope.xy, 3, 4)
```

```
    projectUV(0) tileUV(2, 2, '2)
```

```
    texture(getWallTexture)
```

```
    else:MP_Facade
```

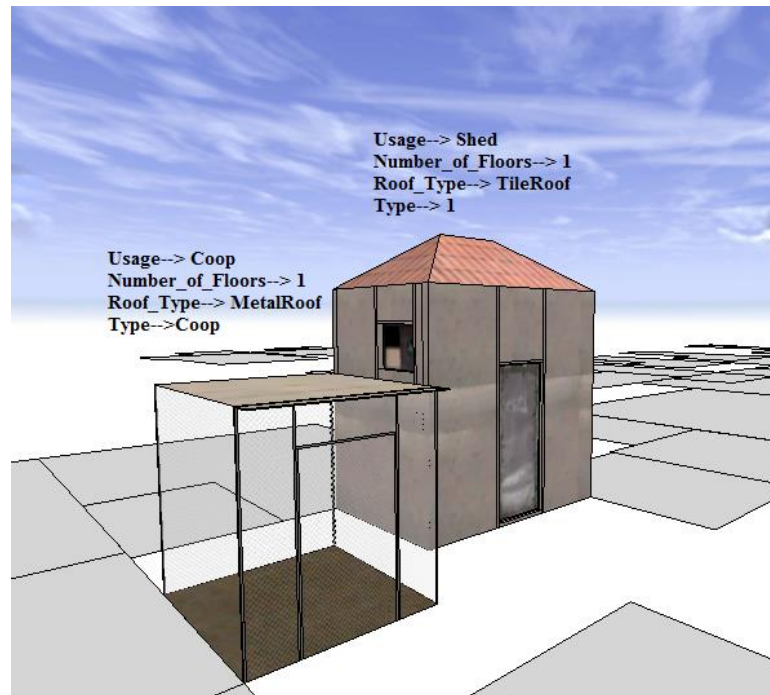
- Κανόνας για τα κοτέτσια

Ο κανόνας για τα κοτέτσια διασπά τους αρχικούς όγκους που αντιστοιχούν σε αυτή την κατηγορία. Στην μπροστινή πρόσοψη τοποθετεί πόρτα ενώ στις υπόλοιπες συρματοπλεγμα. (βλέπε εικόνα: 31)

- Αποτελέσματα

Μετά την εφαρμογή του παραπάνω κανόνα στα αποτυπώματα των κτιρίων σχηματίστηκαν τρισδιάστατα μοντέλα με τα χαρακτηριστικά που έχουν οριστεί μέσα από τον αλγόριθμο. Στην εικόνα 31 απεικονίζεται ένα κοτέτσι και μια αποθήκη. Η εικόνα 32 περιέχει δύο κατοικίες, η μία με έναν όροφο και η άλλη με δύο. Ενώ στην εικόνα 33 βρίσκεται ένα βιομηχανικό κτίριο και μια κατοικία με εμπορική χρήση στο ισόγειο. Ο χρήστης έχει την δυνατότητα να επέμβει

στα τελικά μοντέλα αλλάζοντας τις ιδιότητες και την γεωμετρία τους. Αλλάζοντας για παράδειγμα την χρήση του κτιρίου από κατοικία σε βιομηχανικό κτίριο βλέπει επιτόπου το κτίριο να αλλάζει μορφή και από κατοικία να μετατρέπεται σε βιομηχανικό κτίριο. Τέλος, ο χρήστης προσθέτοντας ή αλλάζοντας τις υφές αποκτά εύκολα και γρήγορα ένα καινούριο μοντέλο, τα κτίρια ενώ διατηρούν την δομή τους αποκτούν άλλη όψη.



Εικόνα 31: 3Δ Μοντέλα που προέκυψαν από τον κανόνα των κτιρίων (αριστερά:Κοτέτσι – δεξιά: Αποθήκη(Type 1))



Εικόνα 32: 3Δ Μοντέλα που προέκυψαν από τον κανόνα των κτιρίων(αριστερά: δυόροφη κατοικία, δεξιά κατοικία με έναν όροφο)



Εικόνα 33: 3Δ Μοντέλα που προέκυψαν από τον κανόνα των κτιρίων (αριστερά: βιομηχανικό κτίριο δεξιά: κατοικία με εμπορική χρήση στο ισόγειο)

2.5.2 Δημιουργία κανόνα για το κτιριακό συγκρότημα Μύλος Παπά με τον Façade Wizard

Το κτιριακό συγκρότημα αποτελείται από ένα κεντρικό κτίριο και από άλλα μικρότερα. Το κεντρικό κτίριο με την σειρά του αποτελείται από τρία μέρη. Το κεντρικό μέρος ξεχωρίζει στην δομή του ενώ τα πλαϊνά είναι σχεδόν πανομοιότυπα μεταξύ τους αλλά και με τα μικρότερα. Συνεπώς, δημιουργήθηκαν δύο κώδικες, ένας για το κεντρικό μέρος και ένας για τα πλαϊνά. Για την κατασκευή των κανόνων χρησιμοποιήθηκαν εικόνες που προέκυψαν από φωτογραφία του κτιριακού συγκροτήματος, η οποία μετά την εισαγωγή της στο Crop Image Tool απέκτησε κάθετη κλίση και στη συνέχεια χωρίστηκε σε δύο μέρη. (βλέπε εικόνα: 34)

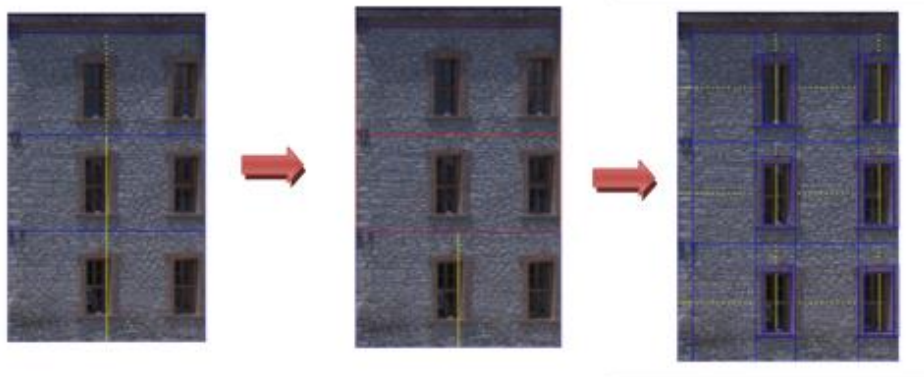
Εικόνα 34: Διαχωρισμός φωτογραφίας του κτιριακού συγκροτήματος Μύλος Παπά σε προσόψεις στο Image Crop Tool

Για τη δημιουργία του κανόνα της κεντρικής πρόσοψης η φωτογραφία χωρίστηκε ως εξής: Πρώτα χωρίστηκαν οι όροφοι, ο δεύτερος όροφος τέθηκε σαν επαναλαμβανόμενος και σχετικός ενώ οι υπόλοιποι ως απόλυτοι και μοναδικοί. Στην συνέχεια χωρίστηκαν τα επιμέρους δομικά στοιχεία: εξογκώματα στους τοίχους, παράθυρα και περβάζια. Στα στοιχεία αυτά ορίστηκαν οι διαστάσεις και το βάθος τους.



Εικόνα 35: Δημιουργία Κανόνα MainFaçade _milospapa.cga με τον Façade Wizard

Για την πλαϊνή πρόσοψη ορίστηκαν το ισόγειο και το άνω τμήμα της φωτογραφίας ως μοναδικά και απόλυτα, ο πρώτος όροφος ως επαναλαμβανόμενος αλλά σταθερός και ο δεύτερος σαν σχετικός και επαναλαμβανόμενος.



Εικόνα 36: Δημιουργία Κανόνα SideFacade_milospapa.cga με τον Façade Wizard

Μετά τη σύνδεση των δύο κανόνων με τον κανόνα των κτιρίων πήραμε το εξής αποτέλεσμα.



Εικόνα 37: Τελικό Μοντέλο του κεντρικού κτιρίου του συγκροτήματος Μύλος Παπά

Το σημαντικό πλεονέκτημα είναι πως ο κώδικας μπορεί να εφαρμοστεί σε κάθε μορφής πολύγωνο και να τροποποιηθεί αναλόγως με τις ιδιότητες του. Ο χρήστης μπορεί αλλάζοντας των αριθμό ορόφων ή την γεωμετρία του πολυγώνου να τροποποιήσει το μοντέλο παρατηρώντας επιτόπου τις αλλαγές.

2.5.3 Δημιουργία CGA κανόνα για τις Περιφράξεις

Ο κανόνας ακολουθεί παρόμοια λογική με τον κανόνα των κτιρίων. Καθορίζονται στην αρχή οι ιδιότητες και οι υφές. Με τον εναρκτήριο κανόνα εξάγονται οι αρχικές περιφράξεις ανάλογα με τις ιδιότητές τους. Τέλος, γίνεται η τελική διάσπαση και επικολλούνται οι υφές.

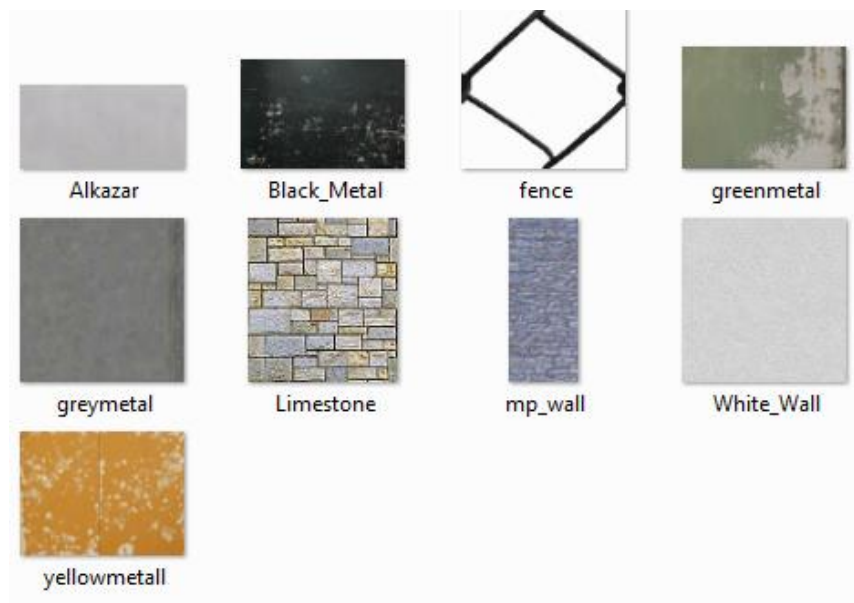
- Ιδιότητες

Οι ιδιότητες που ορίζονται στο συγκεκριμένο αλγόριθμο αφορούν τα δύο περιγραφικά πεδία του πίνακα ιδιοτήτων των πολυγώνων και είναι εμφανής στον χρήστη μέσα από τον Inspector:

```
attr Style = " " ("alkazar", "milos_papa", "residential_1", "residential_2", "fence")
attr Type = ""("FRONT", "SIDE")
```

- Υφές

Οι υφές τοποθετούνται στην αρχή του αλγορίθμου, δίνοντας την ευκολία στον χρήστη να τις επεξεργαστεί. Οι υφές αφορούν, τοίχους και κάγκελα.



Εικόνα 38: Υφές για τον κανόνα των περιφράξεων

- Εναρκτήριοι Κανόνες

Με τον κανόνα αυτόν παράχθηκαν οι αρχικές περιφράξεις. Οι περιφράξεις που ανήκουν στον Μύλο Παπά έχουν ύψος 2 μέτρα ενώ όλες οι υπόλοιπες 1,5 μέτρο.

```
Lot--> case Style == "milos_papa"
```

```
    extrude(world.y, 2)
```

```
    Wall
```

```
else:extrude(world.y, 1.5)
```

```
    Wall
```

- Τελικοί κανόνες

Οι τοίχοι με βάση τις ιδιότητές τους διασπώνται σε μέρη πόρτας και κάγκελων. Στην συνέχεια καθορίζεται η δομή της πόρτας και των κάγκελων και τους δίνονται οι υφές. Τα τελικά αποτελέσματα φαίνονται στην παρακάτω εικόνα (βλέπε εικόνα: 39).



Εικόνα 39: Τελικά μοντέλα περιφραξεων. (από πάνω:) περίφραξη κατοικίας, περίφραξη Αλκαζάρ, περίφραξη από συρματοπλέγμα

2.5.3 Επεξεργασία του Modern Street κανόνα

Για την κατασκευή του οδικού δικτύου χρησιμοποιήθηκε ο κανόνας Modern Streets που βρέθηκε στο ArcGIS Resources. Ο κανόνας αυτός δημιουργεί οδικό δίκτυο ευρωπαϊκών και βορειοαμερικάνικων προδιαγραφών, το οποίο εκτός από τους δρόμους περιλαμβάνει ανθρώπους, αυτοκίνητα, βλάστηση κ.α (βλέπε εικόνα: 40). Ο κανόνας συνοδεύεται από ένα πολύ μεγάλο αρχείο αντικειμένων και υφών που επιτρέπουν στο χρήστη να αλλάξει τη μορφή του δικτύου και να την προσαρμόσει στις ανάγκες του. Στην παρούσα εργασία χρειάστηκε να γίνουν αρκετές αλλαγές στον αλγόριθμο ώστε το τελικό αποτέλεσμα να μοιάζει στο ελληνικό τοπίο. Έτσι πραγματοποιήθηκαν αρκετές αλλαγές στις ιδιότητες, στις υφές, στα στοιχεία αλλά και στους κανόνες.



Εικόνα 40: Snapshot από σκηνή του Modern Streets Rule (Πηγή: [http://www.arcgis.com/home/item.html?id=6e45334d75f5423f9e44436cd0f53183\](http://www.arcgis.com/home/item.html?id=6e45334d75f5423f9e44436cd0f53183))

- Ιδιότητες, Υφές, Στοιχεία

Αρχικά, αφαιρέθηκαν τα δυο επίπεδα λεπτομέρειας και η ιδιότητα Arrow marking αφού δεν κρίθηκαν απαραίτητα στην παρούσα εργασία.

```
attr Level_of_Detail = "Low"
```

```
const highLOD = Level_of_Detail == "High"
```

```
attr Arrow_marking = case p(0.3): true else: false
```

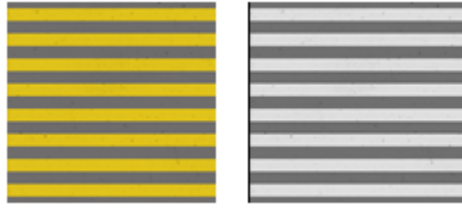
Στη συνέχεια, μειώθηκε το μήκος της λωρίδας από 4 μέτρα σε 3 αφού στις περιοχές μελέτης οι δρόμοι είναι κατά κύριο λόγο πολύ στενοί με εξίσου στενά ή ανύπαρκτα πεζοδρόμια. Προστέθηκαν έπειτα οι ιδιότητες:

```
attr sidewalkWidthLeft=0
```

```
attr sidewalkWidthRight=0
```

Ο αλγόριθμος έδινε την δυνατότητα να επιλέξει ο χρήστης ανάμεσα σε Αμερικάνικου ή Ευρωπαϊκού τύπου διάβαση. Στον ελληνικό χώρο όμως επικρατεί η διάβαση τύπου ζέβρα, οπότε και αυτή η ιδιότητα αφαιρέθηκε και χρησιμοποιήθηκε η Αμερικάνικου τύπου διάβαση. (βλέπε εικόνα: 41)

```
attr Crosswalk_style = " ", ("American","European")
```



Εικόνα 41: Τύπος διαβάσεων στον Modern Streets κανόνα - (από αριστερά:) 1.Ευρωπαϊκό
2.Αμερικάνικο

Η υφή του πεζοδρομίου χρειάστηκε επίσης να αντικατασταθεί από κάποια περισσότερο ταιριαστή στο ελληνικό τοπίο. (βλέπε εικόνα: 42)



Εικόνα 42: Υφές Πεζοδρομίου – (από αριστερά:) 1.Πεζοδρόμιο Modern Street Rule 2.Πεζοδρόμιο που Παρούσας Εργασίας

Για τη βλάστηση ο αρχικός κανόνας δίνει δύο επιλογές ανάλογα με το επίπεδο λεπτομέρειας, από την στιγμή όμως που το τελευταίο αφαιρέθηκε επιλέχθηκε το αρχείο με τα πιο λεπτομερή αντικείμενα (βλέπε εικόνα: 43).

Tree =

case highLOD : fileRandom("assets/trees/tree_eu03_11_*.obj")

else : fileRandom("assets/trees/alleyTree_*_v1.obj")



Εικόνα 43: Δέντρα Modern Street Rule – (από αριστερά:) 1. LOD="Low" 2. LOD="High"

Τα αντικείμενα για το πεζοδρόμιο ήταν έναν ακόμη στοιχείο που αφαιρέθηκε. Τα στοιχεία αυτά περιλάμβαναν διαφημιστικές κολώνες και γραμματοκιβώτια, αντικείμενα που δεν συναντώνται καθόλου στις περιοχές μελέτης.

- Κανόνες

Ο κανόνας των δρόμων δημιουργεί ένα δρόμο με διάβαση στην αρχή και στο τέλος του. Στις περιοχές μελέτης οι δρόμοι δεν παρουσίαζαν τέτοια μορφή και έτσι ο κανόνας τροποποιήθηκε ώστε να έχει διάβαση μόνο όταν οι λωρίδες είναι περισσότερες από 2, αλλιώς να υπάρχει μόνο δρόμος.

```
Street --> case calcNbrOfLanes>1.99: alignScopeToAxes(y)
```

```
    split(u,unitSpace,0){ Crosswalk_width *conStart : Crosswalk(-1)
                                | ~1 : Streetsides
                                | Crosswalk_width *conEnd  : Crosswalk(1) }
    BridgeMain
```

```
else: alignScopeToAxes(y)
    split(u,unitSpace,0){ ~1: Streetsides}
    BridgeMain
```

Ο κανόνας των διαβάσεων στην περίπτωση που ο αριθμός λωρίδων είναι ίσος και από τις δυο μεριές δημιουργεί νησίδα. Νησίδα στις δύο περιοχές συναντήθηκε μόνο σε φαρδείς δρόμους με πάνω από τρεις λωρίδες κυκλοφορίας. Συνεπώς ο κανόνας πήρε την ακόλουθη μορφή:

```
Crosswalk(side) -->
```

```
case Median_width > 0 && Nbr_of_left_lanes == 0 && Nbr_of_right_lanes == 0
```

```
    && calcNbrOfLanes<3:
```

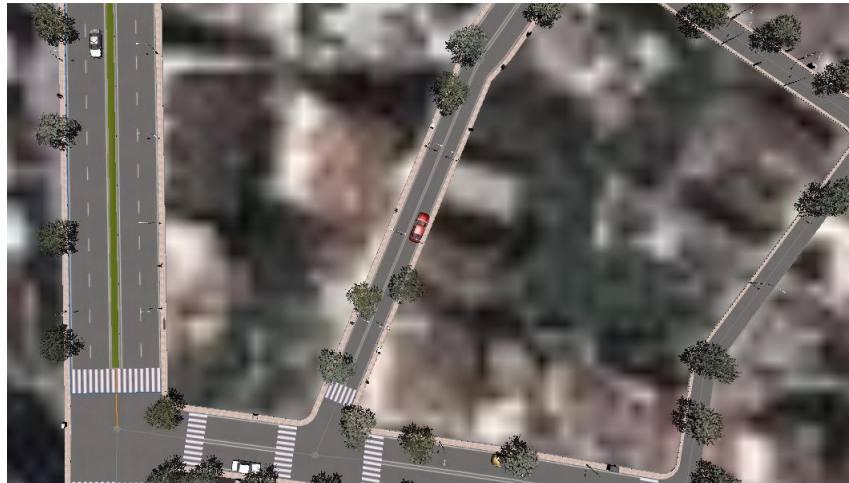
```
    split(v,unitSpace,0){ ~calcLanesLeft: CrosswalkTex
                                | Median_width - Sidewalk_height: Isle(side)
                                | ~calcLanesRight : CrosswalkTex }
```

```
case Median_width > 0: split(v,unitSpace,0){ ~ Nbr_of_left_lanes : CrosswalkTex
```

```
                                | ~ Nbr_of_right_lanes : CrosswalkTex}
```

```
else :CrosswalkTex
```

Στον κανόνα για τα πεζοδρόμια μπήκε ο περιορισμός να τοποθετούνται μόνο λάμπες και δέντρα όταν το πεζοδρόμιο της αριστερής ή της δεξιάς πλευράς είναι $<0.5\mu.$, αλλιώς να τοποθετούνται και άνθρωποι. Τέλος στους κανόνες για τις λάμπες, τους ανθρώπους και τα δέντρα μπήκε ο περιορισμός ότι αν το πλάτος του πεζοδρομίου είναι μικρότερο από 0.3μ , να μην δημιουργείται καμία μορφή. Οι παραπάνω αλλαγές ήταν απαραίτητες για ένα πιο ρεαλιστικό αποτέλεσμα, αλλιώς εμφανίζονταν οι μορφές να αιωρούνται εκτός πεζοδρομίου.

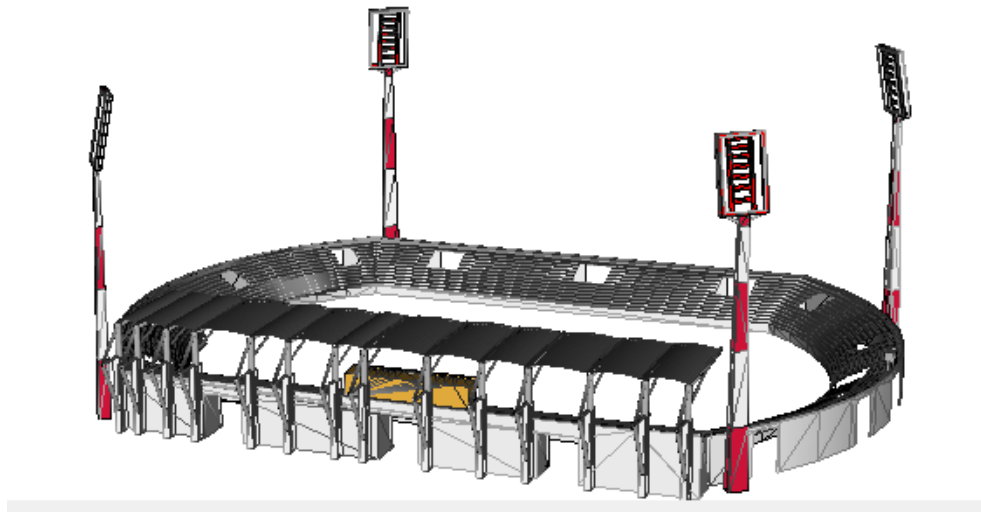


Εικόνα 44: Δρόμοι όπως προκύπτουν από την εφαρμογή του κανόνα των δρόμων

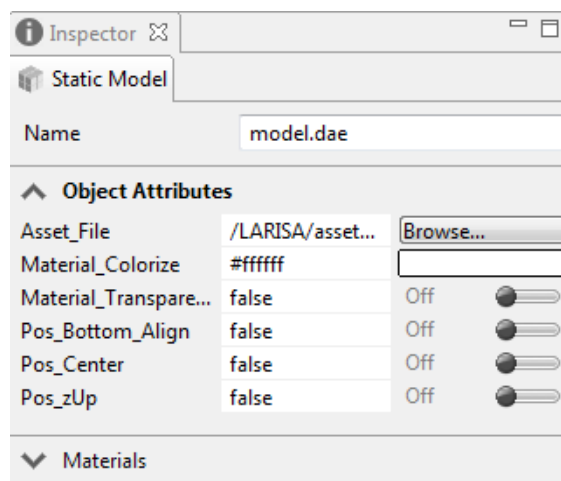
2.6 Χειροκίνητη Μοντελοποίηση

- **Εισαγωγή του Μοντέλου**

Η διαδικτυακή βιβλιοθήκη 3D Warehouse - SketchUp περιλαμβάνει πλήθος τρισδιάστατων μοντέλων, από έπιπλα μέχρι ολόκληρα κτίρια, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν και να μετασχηματιστούν από άλλα λογισμικά. Το CityEngine δίνει την δυνατότητα χρήσης αρκετών από αυτά τα μοντέλα. Το γεγονός αυτό όταν αφορά περίπλοκα μοντέλα διευκολύνει την διαδικασία της μοντελοποίησης, αφού θα ήταν ιδιαίτερα χρονοβόρο να γραφτεί ένας αλγόριθμος που θα τα αναπαριστά πιστά. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο για το στάδιο Αλκαζάρ. Το μοντέλο ήταν σε μορφή COLLADA οπότε η εισαγωγή και η επεξεργασία του στο CityEngine ήταν δυνατή. Το μοντέλο αρχικά εισήχθηκε σαν στατικό μοντέλο, η μορφή και οι ιδιότητές του φαίνονται στις εικόνες: 42, 43.



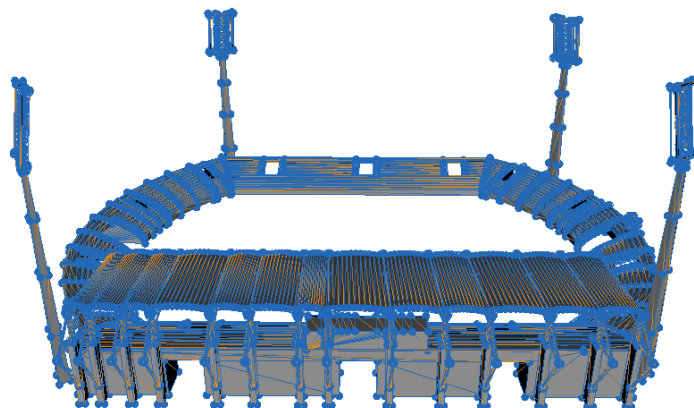
Εικόνα 45: Μοντέλο COLLADA του Σταδίου Αλκαζάρ



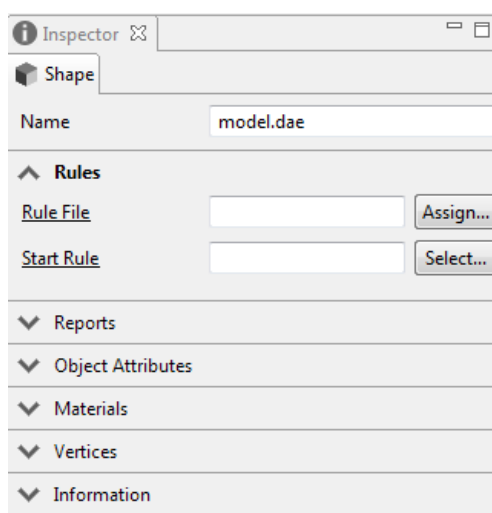
Εικόνα 46: Ιδιότητες του μοντέλου της εικόνας 44 όπως φαίνονται στο CityEngine

- **Επεξεργασία του Μοντέλου**

Το μοντέλο, αν και ήταν αρκετά λεπτομερές, είχε αρκετές ελλείψεις. Οι τοίχοι δεν είχαν υφές, υπήρχαν ασυνεχείς επιφάνειες, δεν υπήρχαν πόρτες και καρέκλες. Για να γίνει πιο αληθοφανές το μοντέλο χρειάστηκε να τροποποιηθεί. Για να επιτευχθεί όμως αυτό έπρεπε να μετατραπεί σε σχήματα. Μετά την μετατροπή του είχε την παρακάτω μορφή και χαρακτηριστικά:



Εικόνα 47: Μετατροπή του μοντέλου της εικόνας 44 σε σχήματα

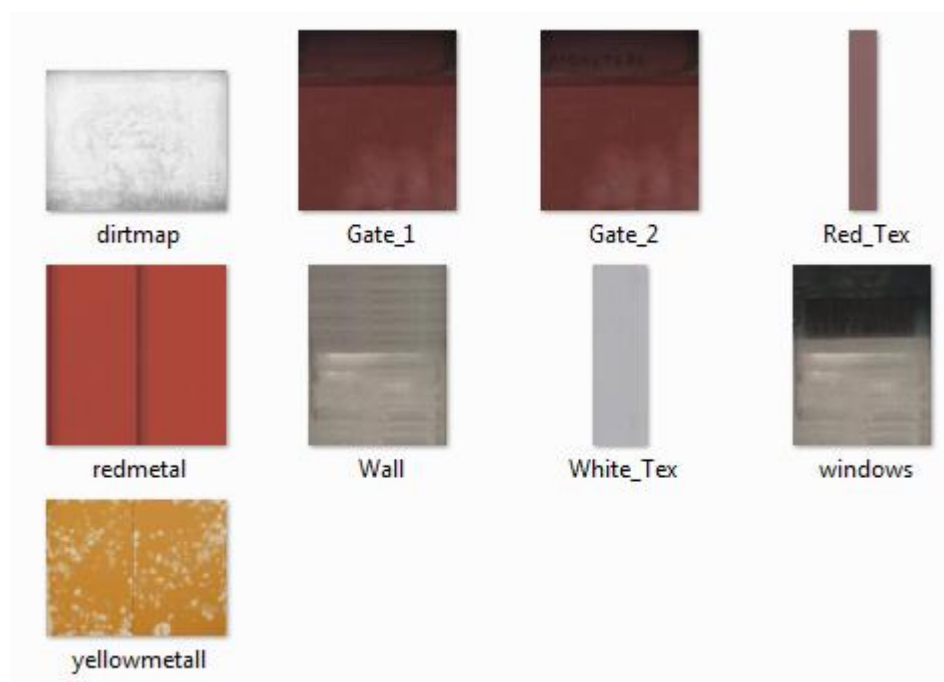


Εικόνα 48: Ιδιότητες του μοντέλου της εικόνας 44 όπως φαίνονται στο CityEngine

Σε κάθε σχήμα τώρα μπόρεσαν να προστεθούν ιδιότητες και να εφαρμοστούν κανόνες. Επίσης, τα σχήματα μπορούν να μετασχηματιστούν με τα χειροκίνητα εργαλεία polygonal shape creation, rectangular shape creation, move, scale και rotate. Με τη χρήση των εργαλείων αυτών προστέθηκαν πόρτες και καρέκλες και διορθώθηκαν τυχόν ατέλειες. Έπειτα, ενοποιήθηκαν τα σχήματα με κοινά χαρακτηριστικά σε επίπεδα, οι καρέκλες ενώθηκαν σε ένα επίπεδο, οι πύλες το ίδιο κ.ο.κ.. Με τον τρόπο αυτό μπόρεσαν να προστεθούν στα σχήματα ευκολότερα και γρηγορότερα ιδιότητες για να τους τοποθετηθούν υφές.

- **Τοποθέτηση Υφών**

Η τοποθέτηση των υφών στα σχήματα που προέκυψαν από την μετατροπή του μοντέλου και τον μετασχηματισμό του μπορούσε να γίνει είτε χειροκίνητα είτε με την εφαρμογή κανόνα. Επειδή ο αριθμός των σχημάτων ήταν πολύ μεγάλος, κρίθηκε ότι η χειροκίνητη τοποθέτηση των υφών θα ήταν ιδιαίτερα χρονοβόρα, οπότε χρειάστηκε να γραφεί ένας απλός αλγόριθμος και να προστεθούν ιδιότητες στα σχήματα. Οι ιδιότητες που δόθηκαν στα σχήματα αφορούσαν τον τύπο τους, λευκός ή κόκκινος τοίχος, πύλη, καρέκλα και μεταλλική επιφάνεια.



Εικόνα 49: Υφές που χρησιμοποιήθηκαν για το γήπεδο Αλκαζάρ

Ο κανόνας βασισμένος στις ιδιότητες επικόλλησε σε κάθε σχήμα την ανάλογη υφή. Η δημιουργία των υφών στηρίχθηκε σε τμήματα των φωτογραφιών που λήφθηκαν κατά την επίσκεψη στις περιοχές μελέτης (βλέπε εικόνα 49). Μετά την τοποθέτηση των υφών το στάδιο είχε αποκτήσει την επιθυμητή μορφή και έτσι εξάχθηκε ως μοντέλο Wavefront. (βλέπε εικόνα 50)



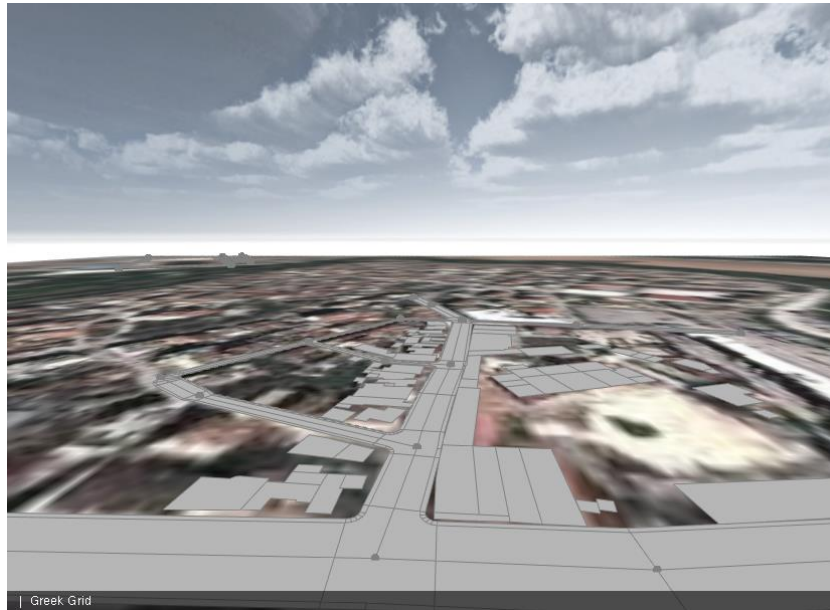
Εικόνα 50: Τελικό Μοντέλο του γηπέδου Αλκαζάρ

2.7 Τελικό Μοντέλο

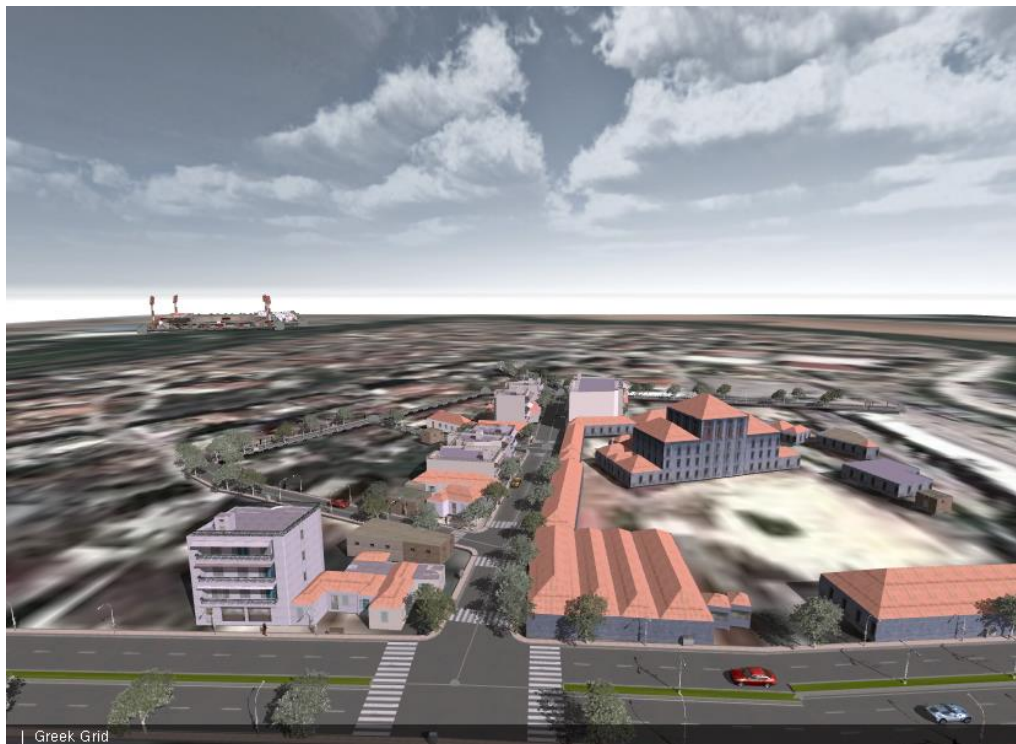
Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν δύο βασικές μέθοδοι για την μοντελοποίηση των δύο περιοχών μελέτης, η χειροκίνητη και η διαδικαστική, με τις οποίες δημιουργήθηκε ένα ικανοποιητικά ρεαλιστικό μοντέλο των περιοχών μελέτης. Για το “χτίσιμο” του μοντέλου δημιουργήθηκαν 3 βασικοί κανόνες, ένας για την κατασκευή των κτιρίων, ένας για τον σχηματισμό των περιφράξεων και ένας για την παραγωγή του οδικού δικτύου. Επιπλέον σχηματίστηκαν 2 βοηθητικοί κανόνες για την αναπαράσταση των προσόψεων των κτιρίων του συγκροτήματος “Μύλος Παπά”, οι οποίοι με την σύνδεσή τους με τον κώδικα των κτιρίων έδωσαν ρεαλιστική όψη στα κτίρια του συγκροτήματος. Μετά την εφαρμογή των κανόνων στις δισδιάστατες αρχικές γεωμετρίες σχηματίστηκε τρισδιάστατο μοντέλο για τις περιοχές μελέτης, το οποίο έγινε περισσότερο ρεαλιστικό μετά την προσθήκη του επεξεργασμένου μοντέλου του σταδίου Αλκαζάρ. (βλέπε εικόνες: 51-55)

Οι εικόνες 52-55 περιέχουν φωτογραφίες από τις περιοχές μελέτης και στιγμιότυπα από την τελική σκηνή που δημιουργήθηκε στο CityEngine. Ενώ παρατηρείται μεγάλη ομοιότητα μεταξύ των στιγμιότυπων και της πραγματικότητας υπάρχουν και αρκετές διαφορές. Οι διαφορές αυτές οφείλονται κυρίως στην απόκλιση των αρχικών δεδομένων από την σημερινή κατάσταση των περιοχών μελέτης. Γεγονός που μπορεί να προκύπτει είτε από αλλαγές που έχουν συμβεί στις περιοχές από το 1980 είτε από την ελλιπή ενημέρωση των αρχικών δεδομένων (αυθαιρεσίες

κ.α). Για παράδειγμα στην εικόνα 53 το κτίριο από το στιγμιότυπο έχει 3 ορόφους και ταράτσα ενώ στην πραγματικότητα έχει 4 ορόφους και κεραμοσκεπή. Επιπλέον, η έλλειψη υφών και καταλλήλως ενημερωμένων αρχικών δεδομένων καθώς και η ανομοιογένεια που σημειώνεται στα κτίρια της περιοχής δυσκόλεψαν την αποτύπωση της πραγματικότητας. Αξίζει να σημειωθεί εδώ ότι παρόλο που το τελικό μοντέλο δεν είναι απόλυτα ρεαλιστικό μπορεί να απεικονίσει αλλαγές που έχουν συμβεί στα βασικά χαρακτηριστικά της περιοχής.



Εικόνα 51: Αρχικές γεωμετρίες πριν την μοντελοποίηση τους



Εικόνα 52: Μοντέλα που προέκυψαν από την μοντελοποίηση των γεωμετριών της εικόνας 50



Εικόνα 53: (από αριστερά:) 1.Φωτογραφία της περιοχής μελέτης 2. Snapshot από την τελική σκηνή



Εικόνα 54: (από αριστερά:) 1.Φωτογραφία της περιοχής μελέτης 2. Snapshot από την τελική σκηνή



Εικόνα 55: (από αριστερά:) 1. Φωτογραφία της περιοχής μελέτης 2. Snapshot από την τελική σκηνή

3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συμπερασματικά, με τα σύγχρονα εργαλεία οπτικοποίησης δεδομένων αστικού περιβάλλοντος διςδιάστατα χωρικά και περιγραφικά δεδομένα μπορούν να απεικονιστούν τρισδιάστατα εύκολα και γρήγορα δίνοντας μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα της πραγματικότητας. Το λογισμικό CityEngine είναι ένα εύχρηστο και πρακτικό τέτοιο εργαλείο. Μέσα από αυτό δημιουργούνται κανόνες και με αυτούς μοντελοποιούνται μεγάλες εκτάσεις αστικού περιβάλλοντος. Το γεγονός αυτό έχει βοηθήσει σημαντικά έρευνες και μελέτες που αφορούν τον αστικό χώρο.

Πλεονέκτημα του λογισμικού αποτελεί η διαλειτουργικότητά του, αφού επιτρέπει την εισαγωγή και την επεξεργασία μοντέλων άλλων λογισμικών. Επίσης, μοντέλα που έχουν κατασκευαστεί μέσα στο περιβάλλον του λογισμικού μπορούν να χρησιμοποιηθούν από άλλα λογισμικά. Σημαντικό στοιχείο για πολλές γεωγραφικές εφαρμογές είναι πως οι τρισδιάστατες μορφές που έχουν παραχθεί στο CityEngine μπορούν να εξαχθούν ως γεωβάσεις και να χρησιμοποιηθούν έπειτα από λογισμικά ΣΓΠ, πχ ArcMap, ArcScene

Όσον αφορά το ελληνικό αστικό τοπίο, το CityEngine παρουσιάζει κάποιες αδυναμίες στην μοντελοποίησή του καθώς είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικό για τον σχηματισμό μοντέλων αστικών περιβαλλόντων που περιλαμβάνουν επαναλαμβανόμενα μοτίβα, τετραγωνισμένες κατόψεις και ομοιογενή κτίρια. Το ελληνικό αστικό τοπίο όμως είναι αρκετά ιδιόμορφο, τα κτίρια μεταξύ τους αλλά και κατά την έκτασή τους έχουν μεγάλη ανομοιογένεια, ενώ η διάταξη του οδικού δικτύου και των οικοδομικών τετραγώνων είναι κατά κύριο λόγο χαοτική. Οι ιδιαιτερότητες αυτές σε συνδυασμό με την ύπαρξη αυθαίρετων η μορφή των οποίων δεν υπακούει σε κανόνες, καθιστούν την διαδικασία μοντελοποίησης ελληνικών πόλεων αρκετά χρονοβόρα. Για παράδειγμα, στην παρούσα εργασία χρειάστηκε να οριστεί χειροκίνητα σε κάθε κτίριο το αν η πρόσοψή του είναι συνεχής ή ασυνεχής. Στην περίπτωση που ήταν ασυνεχής χρειάστηκε πάλι χειροκίνητα, να δοθεί τιμή στο κάθε τμήμα της ώστε να μπορέσει να εφαρμοστεί ο κανόνας. Είναι σαφές πως αν η έκταση που θέλουμε να μοντελοποιήσουμε είναι μεγάλη, η διαδικασία αυτή θα χρειαστεί πολύ χρόνο. Επιπλέον, στις περιοχές μελέτης συναντήθηκε μεγάλη ανομοιογένεια μεταξύ των ορόφων των κτιρίων, παρατηρήθηκαν διαφορές στο χρώμα των τοίχων, στα δομικά στοιχεία και στο εμβαδό κάλυψης. Έως ένα μέρος η ανομοιογένεια αυτή μπόρεσε να αποτυπωθεί με την προσθήκη των δύο πεδίων (Usage, Type) στον πίνακα ιδιοτήτων των αρχικών δεδομένων, μεγάλο μέρος της όμως δεν απεικονίστηκε. Σίγουρα με μια μελλοντική έρευνα, περισσότερο αναλυτική, των περιοχών μελέτης θα μπορέσουν να προστεθούν επιπλέον χαρακτηριστικά στα αρχικά δεδομένα ώστε το τελικό

μοντέλο να γίνει πιο ρεαλιστικό και να μπορέσει να χρησιμοποιηθεί σε ρυθμιστικά σχέδια, μελέτες ανάπλασης, πολεοδομικούς σχεδιασμούς/ελέγχους κ.α.. Σε κάθε περίπτωση, η σύγχρονη τεχνολογία παρέχει εξελιγμένα εργαλεία οπτικοποίησης του αστικού τοπίου τα οποία σε συνδυασμό με τις δυνατότητες των ΣΓΠ με τα οποία συνεργάζονται μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πάρα πολλές γεωγραφικές εφαρμογές.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ε. Τσιλιάκου, επιβλέπουσα Ε. Δημοπούλου, *Κανονιστική μοντελοποίηση στο 3D Κτηματολόγιο – Εφαρμογή στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου*, Σχολή των Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του ΕΜΠ, 2013, Διπλωματική Εργασία
- Σ. Συλαίου, Σ. Μπασιούκα, Χ. Πότσιου, Π. Πατιάς, *Επισκόπηση εφαρμογών της Εθελοντικής Γεωγραφικής Πληροφορίας με έμφαση στην Πολιτισμική Κληρονομιά*, Χωρογραφίες, Τόμος 3, Απρ 1 2012
- Χ. Αποστόλου, επιβλέπων Γ. Χρύσανθου, *Διαδικαστική Μοντελοποίηση της παλιάς Λευκωσίας του 19^{ου} αιώνα*, Τμήμα Πληροφορικής, Πανεπιστήμιο της Κύπρου, 2012, Πτυχιακή Εργασία
- M.F. Goodchild, *Citizens as Sensors: The World Of Volunteered Geography*, GeoJournal, 2007, 69:211–221
- L. Haldane, *Descriptive Conventions for Shape Grammars, Thresholds - Design, Research, Education and Practice, in the Space Between the Physical and the Virtual*, Annual Conference of the Association for Computer Aided Design In Architecture, California, 24-27 October 2002, pp. 365-378
- J. Halatsch, A. Kunze, G. Schmitt, *Using Shape Grammars for Master Planning*, Design Computing and Cognition '08, 2008
- T. W. Knight, *The generation of Hepplewhite-style chair back designs*. Environment and Planning B: Planning and Design, 1980, 7 227-238 M. Agarwal & J. Cagan, *A blend of different tastes: the language of coffee makers*. Environment and Planning B: Planning and Design, 1988, 25, pp. 205–226
- T. Knight, MIT/Miyagi Workshop: Lecture Notes: *Introduction to shape grammars*, February 7-12, 2000
- P. Müller, *Course Procedural Modeling of Urban, Part VI: Procedural Modeling of Cities*, Computer Vision Laboratory, ETH Zürich, 2006
- P. Müller, P. Wonka, S. Haegler, A. Ulmer, & L.V Gool, *Procedural Modeling of Buildings*. ACM Transactions on Graphics, 25(3), 2006, pp. 614-23

P. Müller, T. Vereenooghe, A. Ulmer and L. Van Gool, *Automatic Reconstruction of Roman Housing Architecture*, Recording, Modeling and Visualization of Cultural Heritage, Ascona, Switzerland, 2005

Y. I Parish, & P. Müller, *Procedural modeling of cities*, Proceedings of the 28th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, 2001, pp. 301-308

A. H. Robinson, J. L. Morrison, P. C. Muehrcke, A. J. Kimerling, S. C. Guphill, Στοιχεία Χαρτογραφίας, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ΕΜΠ, 2002, σελ. 360

G. Stiny, J. Gips, *Shape Grammars and the Generative Specification of Painting and Sculpture*, Information Processing 71, 1971, pp. 1460-1465

G. Stiny & W. J. Mitchell, *The Palladian Grammar*, Environment and Planning B: Planning and Design, 1978, 5, pp. 5-18

G. Stiny & W. J. Mitchell, *The grammar of paradise: on the generation of Mughal gardens*, Environment and Planning B: Planning and Design, 1980, 7 209-226

G. Stiny, *Introduction to Shape and Shape Grammars*, Environment and Planning B, 1980, Vol. 7, pp. 343-351

J.E Stoter, S. Zlatanova, *3D GIS Where are We Standing*, ISPRS Joint Workshop on 'Spatial, Temporal and multi-dimensional data modelling and analysis', Québec, October, 2003

P. Wonka, M. Wimmer, F. Sillion & W. Ribarsky, *Instant architecture*, ACM Transactions on Graphics, 22(3), 2003, pp. 669-677

Διαδικτυακή Βιβλιογραφία

Δήμος Λαρισαίων - <http://www.larissa-dimos.gr/>

Κτηματολόγιο - www.ktimatologio.gr

3D Warehouse – SketchUp - <https://3dwarehouse.sketchup.com>

ArcGIS Resource Center- <http://resources.arcgis.com/>

Bing Maps - <http://www.bing.com/maps/>

CityEngine Help – Esri - <http://cehelp.esri.com/help/>

Esri CityEngine - <http://www.esri.com/software/cityengine>