



Πανεπιστήμιο Πειραιώς – Τμήμα Πληροφορικής
Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
«Ψηφιακός Πολιτισμός, Έξυπνες Πόλεις, IoT και Προηγμένες Ψηφιακές Τεχνολογίες»

Μεταπτυχιακή Διατριβή

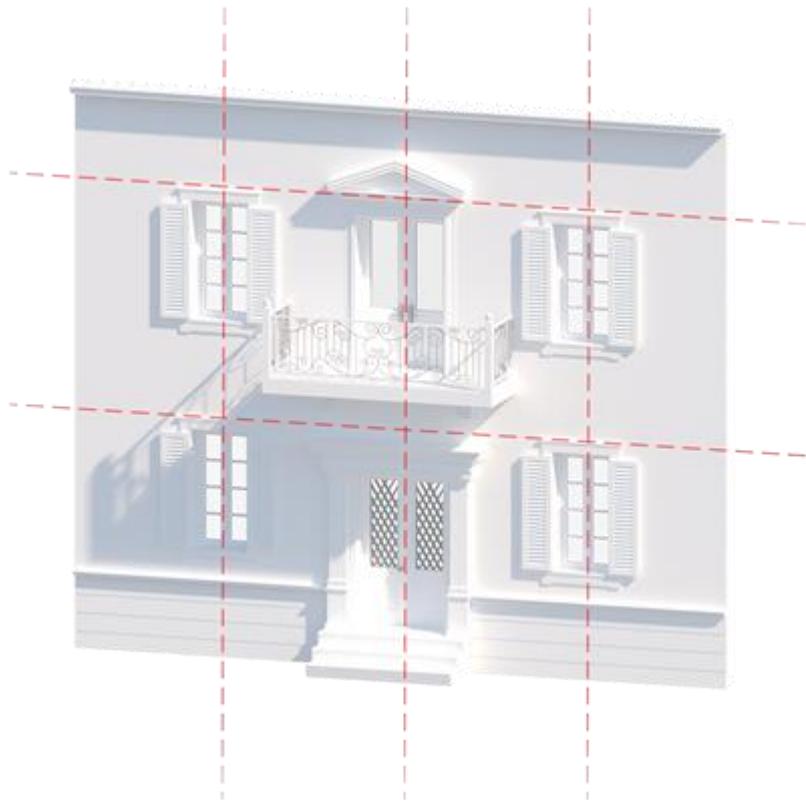
Τίτλος Διατριβής	Σχεδίαση και παραμετροποίηση στοιχείων πολιτιστικής κληρονομιάς σε περιβάλλον BIM. Design and parameterization of cultural heritage elements in BIM environment.
Όνοματεπώνυμο Φοιτητή	Ηλίας Σακελλάρης
Πατρώνυμο	Γεώργιος
Αριθμός Μητρώου	ΨΗΠΟΛ/18041
Επιβλέπων	Κωνσταντίνα Σιούντρη

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Αναγνωστόπουλος Χρήστος
Καθηγητής

Βέργαδος Δημήτριος
Καθηγητής

Σιούντρη Κωνσταντίνα



Εισαγωγή/Περίληψη

Το «Κτιριακό πληροφοριακό μοντέλο» ή αλλιώς BIM (Building Information Modeling) έχει αναδειχθεί ως μια καινοτόμος τεχνολογία στον κατασκευαστικό κλάδο, η οποία τείνει να αντικαταστήσει τη συνήθη διαδικασία παραγωγής αρχιτεκτονικών και κατασκευαστικών σχεδίων, προσδίδοντας ένα ευρύ φάσμα δυνατοτήτων σε σχέση τόσο με την ολοκληρωμένη διαχείριση του έργου όσο και τη παρακολούθηση του κύκλου ζωής του. Πρόσφατα, παρατηρείται ραγδαία αύξηση των νέων κτιρίων που γίνονται μοντέλα BIM, όμως δεν συμβαίνει το ίδιο και στον χώρο της πολιτισμικής κληρονομιάς. Ο όρος HBIM (Heritage Building Information Modeling) αναφέρεται στην καταγραφή, σχεδίαση και διαχείριση μνημείων και κτιριακών χώρων πολιτιστικού ενδιαφέροντος και μέχρι στιγμής συγκεντρώνει περισσότερο ακαδημαϊκό ενδιαφέρον, παρά πρακτική εφαρμογή. Ιδιαίτερα στη χώρα μας που διακρίνεται από το πλούσιο πολιτιστικό απόθεμα, οι προσπάθειες τεκμηρίωσης των μνημείων με ολοκληρωμένα μοντέλα HBIM είναι ελάχιστες.

Ένα ιδανικό μοντέλο HBIM πρέπει να παρουσιάζει μεγάλη ακρίβεια στην αποτύπωση της γεωμετρίας του κτιρίου και να είναι πλούσιο σε πληροφορία. Τα στοιχεία που το απαρτίζουν, επονομαζόμενα «οικογένειες», μπορούν να ενταχθούν σε ψηφιακές βιβλιοθήκες, οι οποίες χαρακτηρίζονται από παραμετρικό συλλογισμό και είναι σημειολογικά φορτισμένες. Πρόκειται λοιπόν για «έξυπνα» δεδομένα που με βάση λέξεις κλειδιά κατηγοριοποιούνται και συσχετίζονται με βάση αρχιτεκτονικά, κατασκευαστικά και ιστορικά στοιχεία. Επίσης, τα στοιχεία αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ενσωμάτωση και επεξεργασία χρονικών δεδομένων, την ανάλυση του κόστους επεμβάσεων και την παρακολούθηση των φάσεων ανασύλωσης και συντήρησης του κτιρίου.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται αρχικά ο τρόπος σχεδίασης, παραμετροποίησης, τεκμηρίωσης και ανάδειξης ενός στοιχείου πολιτισμικής κληρονομιάς μέσω της δημιουργίας του μοντέλου HBIM. Επιπλέον, η διαδικασία BIM εφαρμόζεται και σε ένα σύνολο στοιχείων μιας όψης νεοκλασικού κτιρίου με σκοπό την ένταξη τους σε μια βιβλιοθήκη που αφορά την Ελληνική αρχιτεκτονική. Στη συνέχεια διερευνάται η παραμετροποίηση μιας πρότυπης νεοκλασικής όψης, που περιλαμβάνει τα στοιχεία αυτά της βιβλιοθήκης, με βάση τις συνθετικές αρχές που ορίζουν την αρχιτεκτονική της. Στόχος της διπλωματικής είναι η όψη να ανταποκρίνεται στις αλλαγές που θα επιφέρει ο χρήστης ώστε να διατηρείται η νεοκλασική της ταυτότητα.

Επιπρόσθετα, αναλύονται οι προεκτάσεις της τεχνολογίας BIM ως προς τις εφαρμογές της στο πεδίο της διαχείρισης και ανάδειξης της πολιτισμικής κληρονομιάς. Γίνεται αναφορά στα μεταδεδομένα και τον τρόπο εμπλουτισμού τους σε μοντέλα HBIM, την ενσωμάτωση σε γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (GIS), την κοστολογική ανάλυση των κτιρίων και τη δυνατότητα χρήσης προγραμματισμού για συσχέτισμό των μοντέλων με βάσεις δεδομένων. Η έρευνα αυτή οδηγεί σε συμπεράσματα τόσο σε σχέση με τα πλεονεκτήματα της μεθοδολογίας HBIM, όπως και στη δυσκολία εφαρμογής όλων των δυνατοτήτων του στην παρούσα κατάσταση του εγχώριου κλάδου διαχείρισης πολιτισμικών πόρων.

Λέξεις κλειδιά: αρχιτεκτονική, HBIM, σημειολογία, παραμετρικός σχεδιασμός, ψηφιακές βιβλιοθήκες

Introduction/Abstract

BIM (Building Information Modeling) is an innovative technology in the architecture, engineering and construction (AEC) industry that tends to replace the usual process of production of architectural and construction plans, providing a wide range of possibilities in relation to integrated project management and monitoring of its life cycle. Recently, there has been a rapid increase in new buildings becoming BIM models, but this is not the case in the field of cultural heritage. The term HBIM (Heritage Building Information Modeling) refers to the recording, design and management of monuments and buildings of cultural interest and so far gathers more academic interest than practical application. Especially in our country, with the rich cultural reserve, the efforts of documenting the monuments with integrated models of HBIM are minimal.

An ideal HBIM model must be very accurate in capturing the geometry of the building and be rich in information. The elements that make it up, so-called "families" can be integrated into digital libraries, which are characterized by parametric reasoning and are semantically aware. This is therefore "smart" data that based on keywords are categorized and correlated based on architectural, constructional and historical elements. Also, these data can be used for the integration and processing of time data, the analysis of the cost of interventions and the monitoring of the restoration and maintenance phases of the building.

This paper first presents the way of designing, configuring, documenting and highlighting a cultural heritage element through the creation of the HBIM model and then a set of elements of a neoclassical building in order to integrate them into a library of Greek architecture. The configuration of a standard neoclassical facade, which includes these elements of the library, is then investigated, based on the synthetic principles that define its architecture. The aim of the research is for the facade to respond to the changes that the user will make while maintaining its neoclassical identity.

The extensions of BIM technology in terms of its applications in the field of management and promotion of cultural heritage are analyzed. Reference is made to metadata and how they are enriched in HBIM models, the integration into geographic information systems (GIS), the cost analysis of buildings and the possibility of using programming to associate models with databases.

This research leads to conclusions both in relation to the advantages of the HBIM methodology, as well as in the difficulty of applying all its possibilities in the current situation of the domestic cultural resource management administration.

Keywords: architecture, HBIM, semantics, parametric design, digital libraries

Περιεχόμενα

Εισαγωγή/Περίληψη	1
Introduction/Abstract.....	2
Περιεχόμενα	3
Ευρετήριο εικόνων	5
Κεφάλαιο 1: Οι έννοιες BIM/HBIM.....	7
1.1 Η προέλευση του HBIM και η εξέλιξή του	7
1.1.1 Περιγραφή BIM.....	7
1.1.2 Οι διαστάσεις του Πληροφοριακού Ομοιώματος Έργου	8
1.1.3 Κατηγοριοποίηση στοιχείων BIM.....	10
1.2 Πληροφοριακό Ομοίωμα Έργου Πολιτιστικής Κληρονομιάς (HBIM).....	12
1.2.1 Ορισμός του HBIM	12
1.2.2 Διαδικασίες λήψεις δεδομένων HBIM	12
1.2.3 Επεξεργασία των δεδομένων.....	14
1.3 Σημαιολογικά μεταδεδομένα σε βιβλιοθήκες HBIM	16
1.3.1 Μεταδεδομένα ως οντολογικά στοιχεία.....	16
1.3.2 Κοινοποίηση και ανταλλαγή μεταδεδομένων με πρωτόκολλα IFD και IFC.....	17
1.3.3 Πλατφόρμες οργάνωσης μεταδεδομένων και πληροφοριών HBIM	18
Κεφάλαιο 2: Σχεδιασμός βιβλιοθήκης στο Revit	20
2.1 Το λογισμικό Autodesk Revit	20
2.1.1 Περιβάλλον εργασίας προγράμματος	20
2.1.2 Βιβλιοθήκες έτοιμων αντικειμένων	21
2.2 Περιγραφή της διαδικασίας σχεδιασμού και παραμετροποίησης μιας πόρτας	23
2.2.1 Σχεδιασμός της πόρτας.....	24
2.2.2 Παραμετροποίηση	26
2.2.3 Υλικά	29
2.3 Περιγραφή της διαδικασίας επεξεργασίας νέφους σημείων από φωτογραμμετρία.....	31
2.3.1 Εισαγωγή νέφους σημείων σε περιβάλλον BIM.	31
2.3.2 Εισαγωγή στοιχείου της όψης στη βιβλιοθήκη BIM και παραμετροποίησή του	32
2.4 Μελέτη εφαρμογής: σχεδιασμός παραμετρικής όψης Νεοκλασικής κατοικίας	34
2.4.1 Παράθυρα.....	34
2.4.2 Εξώθυρες	36
2.4.3 Εξώστης.....	41
2.4.4 Διάκοσμος.....	43
2.4.5 Συνένωση και παραμετροποίηση των στοιχείων.....	45

2.4.6	Έλεγχος του αποτελέσματος και ανάδειξη του μοντέλου	51
Κεφάλαιο 3: Δυνατότητες BIM με εφαρμογή στην Πολιτισμική Κληρονομιά		54
3.1	Εμπλουτισμός Δεδομένων	54
3.1.1	Μεταδεδομένα και κωδικοποίηση	54
3.1.2	Μεταδεδομένα και τεκμηρίωση μνημείων.....	55
3.1.3	Ενσωμάτωση σε Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS).....	58
3.2	Εφαρμογές στον προγραμματισμό κοστολόγησης και συντήρησης κτιρίων πολιτιστικής κληρονομιάς	61
3.2.1	Κοστολογική ανάλυση αντικατάστασης στοιχείων της όψης	61
3.2.2	Κοστολογική ανάλυση ανασύλωσης τμήματος της όψης	62
3.3	Ανοιχτός προγραμματισμός και επιπλέον δυνατότητες μέσω διαγραμμάτων ροής Dynamo	64
3.3.1	Το λογισμικό Dynamo και οι βασικές του εντολές.....	64
3.3.2	Επεξεργασία δεδομένων BIM μέσω Dynamo, αντλώντας από μια βάση δεδομένων.....	66
Κεφάλαιο 4: Σχολιασμός/Συμπεράσματα		69
Βιβλιογραφία.....		71
Διαδικτυακές πηγές.....		73

Ευρετήριο εικόνων

Εικόνα 1: Εξέλιξη σχεδιαστικών προγραμμάτων.	7
Εικόνα 2: Τα τέσσερα συστατικά στοιχεία της έννοιας του BIM.	8
Εικόνα 3: Οι έξι διαστάσεις του BIM.	10
Εικόνα 4: Κατηγοριοποίηση στοιχείων BIM.	10
Εικόνα 5: Φωτογραμμετρία σε Agisoft Metashape.	13
Εικόνα 6: Εναέρια φωτογραμμετρία.	13
Εικόνα 7: Σάρωση με Faro M70.	14
Εικόνα 8: Μετατροπή σημείων σε αναγνωρίσιμες γεωμετρίες με το plugin FindSurface.	15
Εικόνα 9: Μεταδεδομένα στοιχείου HBIM.	16
Εικόνα 10: HBIM οικογένειες σε Getty ATT λεξιλόγιο.	17
Εικόνα 11: Συνδέσεις μεταδεδομένων από το Revit.	18
Εικόνα 12: Μεταδεδομένα ψηφιοποιήσεων της μηχανής αναζήτησης «Archsearch».	18
Εικόνα 13: Ιεραρχία των οικογενειών του Revit.	21
Εικόνα 14: Παράδειγμα loadable family.	22
Εικόνα 15: Παράδειγμα system family.	22
Εικόνα 16: Παράδειγμα In-place family.	22
Εικόνα 17: Εξώθυρα μεσοπολεμικής περιόδου.	23
Εικόνα 18: Επιλογή του προτύπου (template) θύρας.	23
Εικόνα 19: Αποθήκευση ενός αρχείου Revit.	24
Εικόνα 20: Η μορφή ενός προτύπου (template) οικογένειας Revit.	24
Εικόνα 21: Επίπεδα αναφοράς.	25
Εικόνα 22: In-place family της χειρολαβής.	26
Εικόνα 23: Είσοδος παραμέτρου.	26
Εικόνα 24: Σύνολο διαστασιολογικών παραμέτρων.	27
Εικόνα 25: Χρήση φόρμουλας για υπολογισμό μήκους.	28
Εικόνα 26: Συνθήκη «if» σε φόρμουλα.	29
Εικόνα 27: Δημιουργία υλικού τελικής επίστρωσης της θύρας.	30
Εικόνα 28: Φωτορεαλιστική απεικόνιση της θύρας.	30
Εικόνα 29: Μοντέλο φωτογραμμετρίας κατόπιν λήψης φωτογραφιών με drone.	31
Εικόνα 30: Τριδιάστατη απεικόνιση του νέφους σημείων.	31
Εικόνα 31: Κάτοψη και όψη του νέφους σημείων.	32
Εικόνα 32: Σχεδίαση και παραμετροποίηση πατζουριού ως family στη βιβλιοθήκη του Revit. ...	32
Εικόνα 33: Έλεγχος της συμπεριφοράς του αντικειμένου στην αλλαγή των μεγεθών του.	33
Εικόνα 34: Σχεδίαση BIM πατζουριού, νέφος σημείων και αρχική φωτογραφία.	33
Εικόνα 35: In-place families σε ένα παράθυρο.	34
Εικόνα 36: Πλήρης σχεδιασμός σε άξονες αναφοράς.	35
Εικόνα 37: Παραμετροποίηση περσιδων παραθυρόφυλλου.	35
Εικόνα 38: Σχεδιασμός in-place οικογένειας με τζαμιλίκια.	36
Εικόνα 39: Πλαισίωση του παραθύρου.	36
Εικόνα 40: Ανάλυση της ιεραρχίας των οικογενειών.	37
Εικόνα 41: Όψη της κεντρικής εξώθυρας.	37
Εικόνα 42: Εμπρόσθια όψη πεσσών και στέψης κεντρικής θύρας.	38
Εικόνα 43: Πλάγια όψη πεσσών και στέψης κεντρικής θύρας.	38
Εικόνα 44: Ανάλυση των προφίλ μορφοποίησης των γεισών και του στυλοβάτη.	39
Εικόνα 45: Μαρμάρινη κλίμακα εισόδου.	40
Εικόνα 46: Όψη θύρας εξώστη.	40
Εικόνα 47: Κάτοψη θύρας εξώστη.	41
Εικόνα 48: Αέτωμα προσαρμοσμένο στη θύρα του εξώστη.	41
Εικόνα 49: Κιγκλιδώματα και ορθοστάτες εξώστη.	42
Εικόνα 50: Σχεδιασμός φουρουσιού.	42
Εικόνα 51: Προφίλ του γείσου της στέψης του κτιρίου.	43
Εικόνα 52: Γείσο στο ύψος του ισογείου.	43
Εικόνα 53: Σχεδιασμός οικογένειας ενός ακροκέραμου.	44
Εικόνα 54: Τρισδιάστατη απεικόνιση του στοιχείου.	44
Εικόνα 55: Προφίλ της σκοτίας.	45

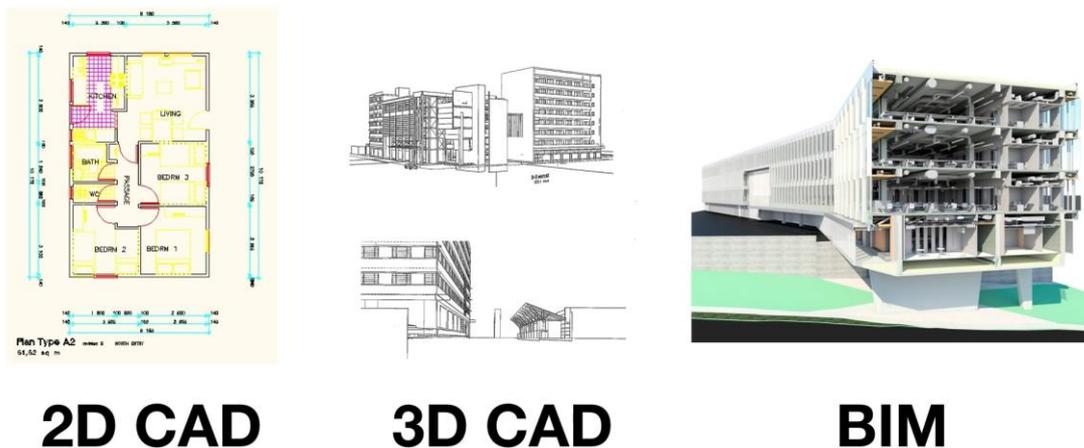
Εικόνα 56: Σκοτίες μετά την εντολή array.	45
Εικόνα 57: Τριμερή διαχωρισμός της όψης.	46
Εικόνα 58: Επιλογή της πρότυπης τυπολογίας.	46
Εικόνα 59: Τοποθέτηση των στοιχείων στην όψη.	47
Εικόνα 60: Κλείδωμα των ανοιγμάτων στους άξονες.	48
Εικόνα 61: Κάθετος άξονες συμμετρίας.	48
Εικόνα 62: Οριζόντιος Άξονας Συμμετρίας.	49
Εικόνα 63: Άξονες στα πρέκια των παραθύρων.	49
Εικόνα 64: Κάναβοι 1μ, 0.5μ και 0.3μ.	50
Εικόνα 65:Ενσωμάτωση του κανάβου για τον οπτικό έλεγχο του εμβάτη.	50
Εικόνα 66:Διερεύνηση συμπεριφοράς των στοιχείων κατά την μετατόπιση των αξόνων καθ' ύψος.	51
Εικόνα 67:Διερεύνηση συμπεριφοράς των στοιχείων κατά την μετατόπιση των αξόνων κατά πλάτος.	52
Εικόνα 68:Φωτορεαλιστική απεικόνιση με color override.	53
Εικόνα 69: Λίστα οντοτήτων keynotes.	54
Εικόνα 70: Πίνακας assembly codes.	55
Εικόνα 71: Μεθοδολογία HBIM.	56
Εικόνα 72:Οργάνωση μεταδεδομένων στις ιδιότητες μιας θύρας.	57
Εικόνα 73: Χρονολόγηση της αναστύλωσης ως μεταδεδομένο του project.	58
Εικόνα 74:Προσδιορισμός των συντεταγμένων στο WGS 1984.	58
Εικόνα 75:Γεωαναφερόμενο μοντέλο.	59
Εικόνα 76:Ενσωμάτωση του μοντέλου στο ArcGIS 2019.	59
Εικόνα 77:Χάρτης νεοκλασικών και εκλεκτικιστικών κτιρίων (zee.gr).	60
Εικόνα 78:Εισαγωγή τιμής αντικατάστασης σε στοιχείο της όψης.	61
Εικόνα 79: Πίνακας υπολογισμού συνολικού κόστους της αντικατάστασης των στοιχείων.	62
Εικόνα 80: Προσδιορισμός της περιοχής κατάρρευσης του τοίχου.	62
Εικόνα 81: Φόρμουλα υπολογισμού κόστους αποκατάστασης ανά τετραγωνικό μέτρο.	63
Εικόνα 82: Πίνακας κοστολογικής ανάλυσης αναστύλωσης τμήματος της όψης.	63
Εικόνα 83: Διαδικασία προγραμματισμού μέσω nodes στο Dynamo.	64
Εικόνα 84: Αυτόματος σχεδιασμός πολλών διαφορετικών παραλλαγών μιας ρευστής γεωμετρίας.	65
Εικόνα 85:Ενδεικτικοί κόμβοι Dynamo.	66
Εικόνα 86:Αντιστοιχία λίστας των δυνατών καμπυλών, των προφίλ και του τελικού στερεού μέσω επεξεργασίας Dynamo.	67
Εικόνα 87: Διαδικασία δημιουργίας οικογένειας με εισαγωγή τιμών.	68
Εικόνα 88: Σύνδεση οντολογικών στοιχείων HBIM με βάση το Revit Dynamo.	68

Κεφάλαιο 1: Οι έννοιες BIM/HBIM

1.1 Η προέλευση του HBIM και η εξέλιξή του

1.1.1 Περιγραφή BIM

Οι όροι «Κτιριακό πληροφοριακό μοντέλο» και «Μοντελοποίηση κτιριακής πληροφορίας», όπως μεταφράζεται το ακρωνύμιο BIM, είχαν την προέλευση τους σε τεχνολογίες τύπου CAD και έγιναν ευρέως γνωστοί το 2002, με την κυκλοφορία του λογισμικού με τίτλο «Μοντελοποίηση κτιριακής πληροφορίας» από την εταιρεία Autodesk και στη συνέχεια παρόμοιων λογισμικών από λοιπούς κατασκευαστές. Εταιρείες όπως οι Autodesk, Graphisoft και Bentley Systems, καθιέρωσαν το «Κτιριακό πληροφοριακό μοντέλο» σαν το βασικό όνομα για την ψηφιακή αναπαράσταση της κατασκευαστικής διαδικασίας (Autodesk, 2002). Το βασικό πλεονέκτημα ήταν η διευκόλυνση της ανταλλαγής πληροφοριών σε ψηφιακή μορφή, που είχε διαδοθεί ωρύτερα από την εταιρεία Graphisoft με τον τίτλο «Εικονική κατασκευή», και από την εταιρεία Bentley Systems με τον τίτλο «Ενσωματωμένα στο έργο μοντέλα» και τελικά από την Autodesk υπό τον χαρακτηριστικό τίτλο «Μοντελοποίηση κτιριακής πληροφορίας». Ήταν αναπόφευκτο το λογισμικό του BIM να εισαχθεί στην κατασκευαστική βιομηχανία ως μέσο βελτίωσης της αποτελεσματικότητας, μείωσης του κόστους και ως εργαλείο διαχείρισης κατά τη διάρκεια όλων των φάσεων της κατασκευής (Ghaffarianhoseini, 2017). (Εικ.1)



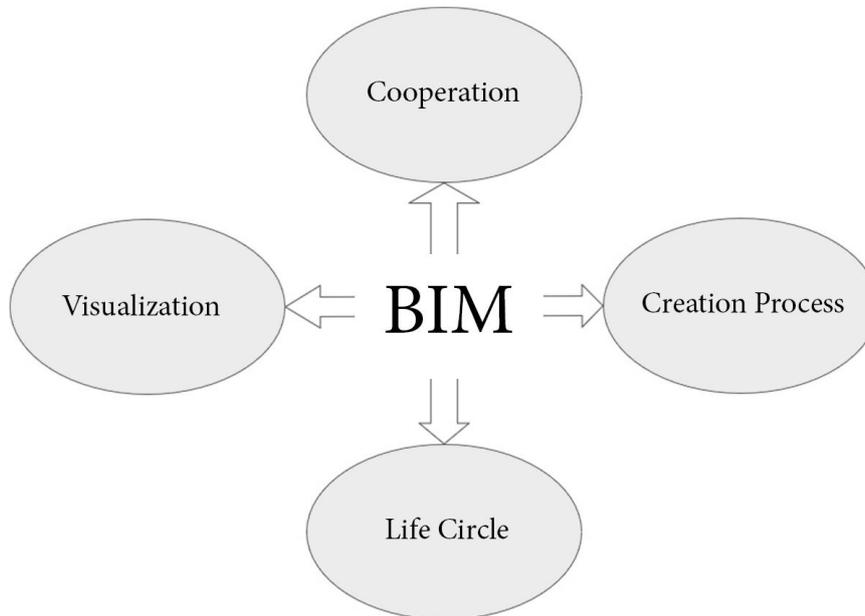
Εικόνα 1: Εξέλιξη σχεδιαστικών προγραμμάτων.

Τα πλεονεκτήματα και οι δυνατότητες του BIM εντοπίζονται σε όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του κτιρίου και αυτό αποτέλεσε τον κύριο λόγο που η διαδικασία αυτή έγινε γνωστή στα πεδία ενασχόλησης επαγγελματιών όπως αρχιτέκτονες και κατασκευαστές. Πρόκειται δηλαδή, για μία νέα τεχνολογία που υποστηρίζει τη διαχείριση των τεχνικών έργων καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους, δημιουργώντας για κάθε έργο ένα πληροφοριακό ψηφιακό μοντέλο.

Όσον αφορά τη μοντελοποίηση κτιριακής πληροφορίας (BIM) δεν υπάρχει παγκοσμίως αποδεκτός ορισμός. Το BIM (Building Information Modeling), ορίζεται από την Επιτροπή Πληροφοριών σχετικά με τα κατασκευαστικά έργα (Construction Project Information Committee), ως η τέχνη της διαχείρισης πληροφοριών, μια διαδικασία η οποία διατρέχει όλο τον κύκλο ζωής ενός έργου. (Howard, 2008) Σύμφωνα με κάποιον άλλο ορισμό, αποτελεί μια ψηφιακή αναπαράσταση φυσικών και λειτουργικών στοιχείων και χρησιμοποιείται για τη λήψη αποφάσεων. (National Institute of Building Sciences, 2012) Η Διεθνής Επιτροπή Προτύπων Μοντελοποίησης Κτιριακής Πληροφορίας (National Building Information Model Standard Project Committee), θέτει τον παρακάτω ορισμό για το BIM:

Η μοντελοποίηση κτιριακής πληροφορίας (BIM), είναι η ψηφιακή αναπαράσταση των φυσικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών ενός έργου. Ένα μοντέλο BIM, συνιστά μια πηγή γνώσης και πληροφορίας σχετικά με ένα έργο, σχηματίζοντας μια αξιόπιστη βάση για λήψη αποφάσεων κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του, ο οποίος οριοθετείται από την αρχική σύλληψη του έργου μέχρι την κατεδάφισή του. (Matejka, 2017)

Κοινό πεδίο όλων των ορισμών, αποτελεί ότι η έννοια του BIM είναι συνυφασμένη με τέσσερα βασικά συστατικά στοιχεία τη συνεργασία (cooperation), την αναπαράσταση (visualization), τη διαδικασία υλοποίησης (creation process) και τον κύκλο ζωής (life circle), τα οποία όλα αλληλεπιδρούν μεταξύ τους δημιουργώντας ένα αποτελεσματικό περιβάλλον εργασίας (Bradley, 2016). (Εικ.2)



Εικόνα 2: Τα τέσσερα συστατικά στοιχεία της έννοιας του BIM.

Η τεχνολογία BIM χαρακτηρίζεται από τυποποιημένη κωδικοποίηση, ψηφιοποίηση και συγκέντρωση των πληροφοριών και στοιχείων, για ένα τεχνικό έργο, σε όλη τη διάρκεια της ζωής του και σε ενιαία πληροφοριακή βάση. Ο συντονισμός και η συνεργασία μεταξύ όλων των ομάδων που συμμετέχουν στην υλοποίηση ενός έργου καθίσταται απαραίτητος, ενώ διευκολύνεται η συνεργασία και η ανταλλαγή των πληροφοριών μεταξύ τους.

Η κύρια διαφορά με ένα απλό 3D CAD πρόγραμμα είναι η «ευφυΐα» του BIM και η δυνατότητα παραμετροποίησης στοιχείων. Με άλλα λόγια, το Building Information Modeling είναι μια πρακτική μεθοδολογία λειτουργιών (operations methodology) με σκοπό την λήψη καλά τεκμηριωμένων αποφάσεων, και όχι απλά ένα λογισμικό CAD όπως λανθασμένα έχει επικρατήσει στην κοινή γνώμη. Όλοι οι εμπλεκόμενοι ενός έργου ακολουθούν μια κοινή προσέγγιση της κατασκευαστικής διαδικασίας, αλληλεπιδρώντας σε ένα κοινό μοντέλο αναφοράς, με αποτέλεσμα τη βελτιστοποίηση των δραστηριοτήτων και τη δημιουργία υπεραξίας σε όλο τον κύκλο ζωής του έργου.

1.1.2 Οι διαστάσεις του Πληροφοριακού Ομοιώματος Έργου

Το Πληροφοριακό Ομοίωμα Έργου δίνει νέα οπτική στον τρόπο χειρισμού ενός έργου στον τομέα των κατασκευών και των υποδομών. Ανεξάρτητα από την έκταση και την πολυπλοκότητα του έργου, ο προγραμματισμός και η διαχείρισή του τείνουν να γίνουν μια τυποποιημένη διαδικασία από τη σύλληψη της ιδέας και τον σχεδιασμό, μέχρι την ολοκλήρωση του έργου, τον έλεγχο και τη διαχείρισή του σε όλο τον κύκλο ζωής. (Khan, 2015)

Παρακάτω αναφέρονται συνοπτικά οι έξι διαστάσεις του πληροφοριακού ομοιώματος όπως αυτές έχουν κωδικοποιηθεί διεθνώς. (Εικ.3)

1D: Η σύλληψη της ιδέας του έργου, της μορφής και όλων των λειτουργικών προεκτάσεων. Είναι το σημείο που γίνεται η απαραίτητη έρευνα για τις διαδικασίες και τις στρατηγικές που θα χρησιμοποιηθούν στον κύκλο ζωής του.

2D: Δισδιάστατα σχέδια (τοπογραφικά, κατόψεις, όψεις, τομές, αξονομετρικά, ξυλότυποι και φωτορεαλιστικά) όπου αποτυπώνεται ολόκληρη ή μέρος της κατασκευής και καθορίζεται η γεωμετρία της.

3D: Το τρισδιάστατο μοντέλο της κατασκευής. Προκύπτει από τη σύνθεση διαφόρων δισδιάστατων σχεδίων (τοπογραφικών, αρχιτεκτονικών, στατικών, ηλεκτρομηχανολογικών) σε ένα μοντέλο. Σε αυτό το σημείο γίνεται ο έλεγχος μεταξύ πιθανών διαφορών που μπορούν να έχουν τα επιμέρους σχέδια κατά τη συναρμογή τους ή πιθανών συγκρούσεων (clash detection) οι οποίες πρέπει να διορθωθούν στη φάση του σχεδιασμού και πριν την έναρξη της κατασκευής.

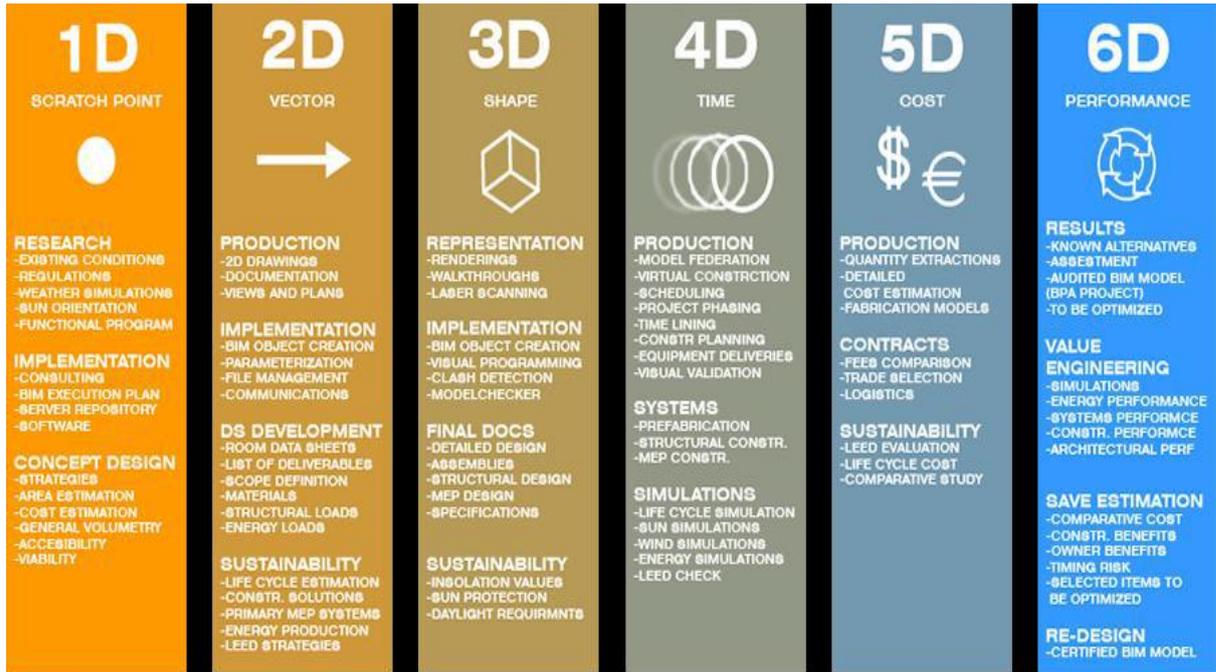
Το 3D BIM δίνει τη δυνατότητα της οπτικοποίησης της κατασκευής (model walkthroughs) και κατ' επέκταση οι ομάδες του έργου μπορούν να συνεργαστούν, να βρουν προβλήματα του έργου και να τα επιλύσουν, πριν τα «λάθη» αυτά φτάσουν στην κατασκευή. Επιπλέον, εξασφαλίζοντας τη συνδεσιμότητα των εξαρτημάτων, γίνεται εφικτή η προκατασκευή τους και αφού μεταφερθούν στο εργοτάξιο χρειάζεται μόνο να συναρμολογηθούν και να ενωθούν με την υπόλοιπη κατασκευή.

4D: Χρονικός προγραμματισμός και διαχείριση της κατασκευής. Προσθέτοντας τον παράγοντα του χρόνου στο τρισδιάστατο μοντέλο προκύπτει η τέταρτη διάσταση της κατασκευής, όπου είναι δυνατός ο έλεγχος και η αξιολόγηση της αλληλουχίας των δραστηριοτήτων για την κατασκευή του έργου. Ιδιαίτερα για την περίπτωση μεγάλων και σύνθετων έργων η διάσταση αυτή είναι κρίσιμη, ώστε να αναγνωριστούν οι κρίσιμες δραστηριότητες και να αποσαφηνιστεί η αλληλουχία των δράσεων, με σκοπό να επιτευχθεί ο βέλτιστος χρονικός προγραμματισμός. Είναι εφικτό, μάλιστα, να προστεθούν στο μοντέλο οι άξονες κίνησης μέσα στο εργοτάξιο, οι γερανοί, τα οχήματα και άλλες δομικές μηχανές, ώστε να εξετασθεί η ταυτόχρονη παρουσία τους και η διάταξή τους στο εργοτάξιο κατά τις φάσεις κατασκευής.

Είναι σημαντικό ότι σε οποιοδήποτε χρονικό σημείο της κατασκευής είναι δυνατό να αξιολογηθεί η πραγματική πρόοδος του έργου σε σχέση με τον προγραμματισμό και αν είναι απαραίτητο να γίνει ο επαναπρογραμματισμός των δραστηριοτήτων κατασκευής.

5D: Εκτίμηση του κόστους. Σε μια μελέτη BIM υπάρχει η δυνατότητα ενσωμάτωσης του κόστους στα στοιχεία του μοντέλου. Με την έννοια κόστος γίνεται αναφορά είτε στο ανθρώπινο δυναμικό που απασχολείται σε κάθε δραστηριότητα, είτε στο κόστος των μηχανημάτων και των υλικών. Η εκτίμηση ενός μερικού ή του τελικού κόστους του έργου μπορεί να γίνεται άμεσα, ταυτόχρονα με το σχεδιασμό του και σε σχέση αφενός με τον τρόπο που εξελίσσεται ο χρονικός προγραμματισμός του έργου και αφετέρου με την αλλαγή κάποιων τιμών μονάδας ή των συντελεστών κοστολόγησης που έχουν επιλεγεί. Συνεπώς, η εκτίμηση του κόστους αυξάνει την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας κοστολόγησης του έργου.

6D: Η διαχείριση του έργου ως προς τις εγκαταστάσεις του μετά την έναρξη της λειτουργίας του. Πολλές φορές σε αυτή τη διάσταση ενσωματώνεται και η αειφόρος θεωρία της βιωσιμότητας του έργου (sustainability), στη διάρκεια του κύκλου ζωής του. Με τη μελέτη BIM σε αυτή τη φάση υπάρχουν οι προδιαγραφές για την απρόσκοπτη λειτουργία του έργου, τα εγχειρίδια συντήρησης και πιθανές πληροφορίες εγγύησης, που είναι χρήσιμα στοιχεία για τη μελλοντική συντήρηση του και την επίλυση πιθανών προβλημάτων που θα προκύψουν στο μέλλον.

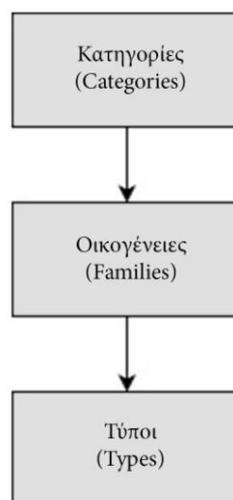


Εικόνα 3:Οι έξι διαστάσεις του BIM.

1.1.3 Κατηγοριοποίηση στοιχείων BIM

Σε περιβάλλον BIM του προγράμματος Autodesk Revit, τα στοιχεία που σχεδιάζονται (elements) κατατάσσονται σε Categories που είναι γενικές ομάδες όμοιων στοιχείων όπως υποστυλώματα, σε Families που είναι μία τάξη μέσα στην κατηγορία και διαφοροποιείται από τις άλλες με τις παραμέτρους που την καθορίζουν, όπως το υλικό τους και τέλος σε Types, όπου υπάρχει διαφοροποίηση και ως προς άλλο χαρακτηριστικό όπως το μέγεθος της διαμέτρου. (Εικ.4)

Ως στοιχείο (element) ορίζεται μια διακριτή οντότητα μέσα στο σχέδιο. Το element αποτελεί γενικό όρο υπό την έννοια ότι μπορεί να είναι οτιδήποτε μπορεί κανείς να επιλέξει εκτός δηλαδή από το υπόβαθρο της επιφάνειας εργασίας του προγράμματος.



Εικόνα 4: Κατηγοριοποίηση στοιχείων BIM.

Κατηγορίες (Categories):

Πρόκειται για μια ομάδα στοιχείων που εντάσσονται σε μια γενική κατηγορία για την μοντελοποίηση ή τη διερεύνηση ενός κτιρίου όπως για παράδειγμα παράθυρα, τοίχοι, υποστυλώματα και δοκάρια. Υπάρχουν και κατηγορίες στοιχείων συμβολισμού (annotation elements) δηλαδή διαστάσεις, ετικέτες κλπ.

Οικογένειες (Families):

Είναι μια τάξη στοιχείων σε μια κατηγορία. Μια οικογένεια ομαδοποιεί στοιχεία με ένα κοινό σύνολο παραμέτρων (ιδιότητες), πανομοιότυπη χρήση και παρόμοια γραφική αναπαράσταση. Διαφορετικά στοιχεία σε μια οικογένεια μπορεί να έχουν διαφορετικές τιμές για ορισμένες ή όλες τις ιδιότητες, αλλά το σύνολο των ιδιοτήτων (τα ονόματα και η σημασία τους) είναι το ίδιο. Για παράδειγμα, μια οικογένεια από τετράγωνα υποστυλώματα σκυροδέματος περιέχει υποστυλώματα που είναι όλα από σκυρόδεμα και τετράγωνης διατομής, αλλά διαφορετικών μεγεθών. Κάθε μέγεθος υποστυλώματος είναι ένας τύπος της οικογένειας αυτής.

Τύποι (Types):

Ένας επιπλέον διαχωρισμός σε χαμηλότερο επίπεδο όπου οι οικογένειες διαχωρίζονται με κάποιες επιπλέον παραμέτρους, περισσότερο συγκεκριμένες, που ταυτοποιούν το συγκεκριμένο στοιχείο (element). Στο προηγούμενο παράδειγμα υποστυλώματα από σκυρόδεμα τετράγωνης διατομής

Τέλος, ως instances ορίζονται μεμονωμένα στοιχεία (individual elements) τα οποία αναφέρονται σε έναν συγκεκριμένο τύπο οικογένειας και δημιουργήθηκαν μέσα στο συγκεκριμένο project. Δεν αποτελούν δηλαδή στοιχεία της βιβλιοθήκης και αποτελούν ένα τροποποιημένο τύπο ενός project.

1.2 Πληροφοριακό Ομοίωμα Έργου Πολιτιστικής Κληρονομιάς (HBIM)

1.2.1 Ορισμός του HBIM

«Σε αντίθεση με τον κατασκευαστικό τομέα, όπου το BIM έχει εφαρμοστεί ευρέως για κάποια χρόνια σε διεθνές επίπεδο, με σχετικές δημοσιεύσεις και διαδικτυακό περιεχόμενο, το BIM για στοιχεία πολιτιστικής κληρονομιάς (ιστορικά κτίρια και τοποθεσίες) είναι ένα σχετικά νέο πεδίο ακαδημαϊκής έρευνας και φαίνεται λιγότερο δημοφιλές όσον αφορά την υιοθέτηση από επαγγελματίες στον χώρο της πολιτιστικής κληρονομιάς.» (Sofia Antonopoulou, 2017)

Πρόκειται λοιπόν για τον σχεδιασμό κτιριακής πληροφορίας με πολιτιστική αξία και σχετίζεται με τη ψηφιοποίηση, τη συντήρηση ή την ανακατασκευή τους. Ένα ουσιαστικό πλεονέκτημα του HBIM είναι ότι:

«Στην εικονική αποκατάσταση, υπάρχει σαφής ανάγκη να διαχειριστεί κανείς πληροφορίες που σχετίζονται με αντικείμενα, σημασιολογικά οργανωμένες, που έχουν δημιουργηθεί από ερμηνείες των δεδομένα που αποκτήθηκαν. Η χρήση της πλατφόρμας BIM είναι η κατάλληλη για τη διαχείριση της πληροφορίας και την οπτικοποίηση του αποτελέσματος της πολύτιμης έρευνας, το οποίο διαφορετικά θα ήταν μη ανιχνεύσιμο.» (Giovannini, 2017)

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει και η σύνδεση BIM μοντέλων με εξωτερικές βάσεις δεδομένων ή με ένα τρισδιάστατο σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών (3D GIS), για μία πιο ολοκληρωμένη προσέγγιση προσθέτοντας διάφορα δεδομένα αλλά και χωρική πληροφορία. Παρ' όλα αυτά, το BIM εξακολουθεί να είναι μία τεχνολογία που προορίζεται για μοντέρνες κατασκευές. Τα Μνημεία Πολιτιστικής Κληρονομιάς ως επί το πλείστον παρουσιάζουν ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και πολύπλοκη γεωμετρία, που συχνά δεν είναι δυνατόν να αποδοθεί κατάλληλα με τα υπάρχοντα λογισμικά BIM.

1.2.2 Διαδικασίες λήψεις δεδομένων HBIM

Για την δημιουργία ενός μοντέλου HBIM απαιτείται ως πρώτη διερεύνηση η μετρική πληροφορία όλων των επιφανειών του χώρου πολιτιστικής κληρονομιάς. Για την σωστή επιμέτρηση είναι απαραίτητη η κατανόηση του αντικειμένου και όλων των συστατικών δομικών του στοιχείων. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι για την συλλογή των διαστασιολογικών δεδομένων.

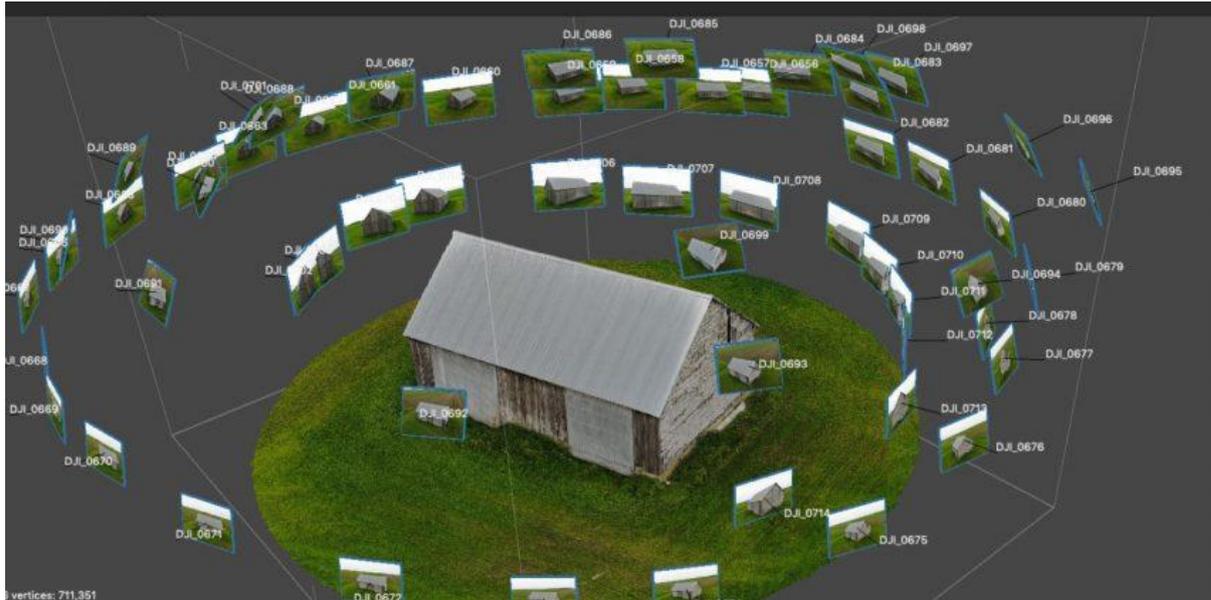
Εκτός από τις παραδοσιακές μεθόδους αποτύπωσης κτιριακής πληροφορίας, δηλαδή τη χρήση συμβατικών εργαλείων μέτρησης όπως μετροταινία, νήμα, αλφάδι και αποστασιόμετρο, πλέον υπάρχουν και τεχνικές τρισδιάστατης ψηφιακής έρευνας. Οι τεχνικές αυτές είναι ταχύτατες, αξιόπιστες, με εξαιρετική ακρίβεια μέτρησης και πραγματοποιούνται χωρίς επαφή το οποίο έχει ιδιαίτερη αξία σε ευαίσθητα μνημεία.

Επίγεια φωτογραμμετρία:

Φωτογραμμετρία είναι η επιστήμη της απόκτησης αξιόπιστων πληροφοριών σχετικά με τις ιδιότητες επιφανειών και αντικειμένων χωρίς τη φυσική επαφή με το αντικείμενο. (Schenk, 2005)

Κατά την επίγεια φωτογραμμετρία οι φωτογραφίες λαμβάνονται με φωτογραφική μηχανή χειρός και έχουν μεταξύ τους ανά δύο μια αλληλεπικαλυπτόμενη επιφάνεια (overlapping area). Κατόπιν της λήψης των φωτογραφιών με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού φωτογραμμετρίας οι φωτογραφίες αναλύονται και με τη βοήθεια ενός αλγορίθμου κατασκευάζεται ένα νέφος σημείων το οποίο περιγράφει με ακρίβεια το αντικείμενο. Στη συνέχεια δίνεται η δυνατότητα στο νέφος σημείων να ενωθεί ως τριγωνικές επιφάνειες και επιπλέον να δημιουργηθεί υφή στις επιφάνειες αυτές ολοκληρώνοντας το μοντέλο οπτικά.

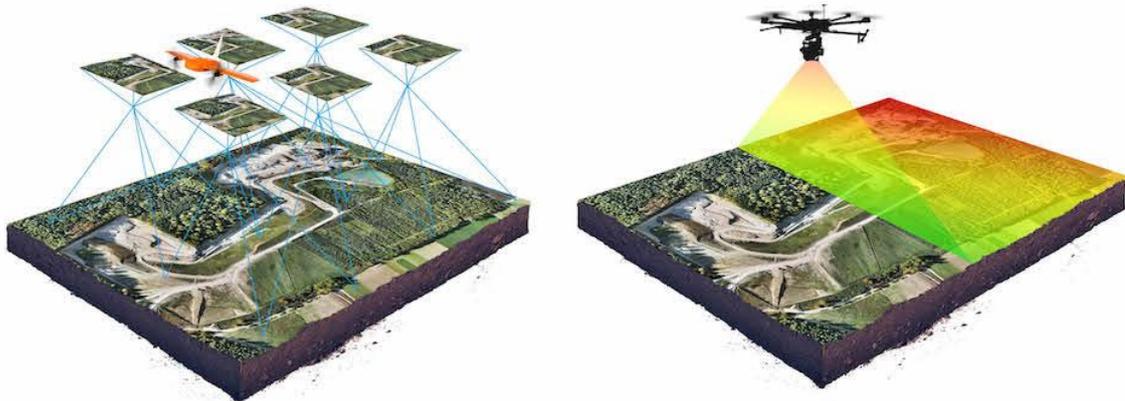
Ένα σύγχρονο λογισμικό φωτογραμμετρίας αποτελεί το agisoft metashape. (Εικ.5)



Εικόνα 5: Φωτογραμμετρία σε Agisoft Metashape.

Εναέρια φωτογραμμετρία με χρήση μη επανδρωμένου

Η διαδικασία της χρήσης ενός μη επανδρωμένου αεροσκάφους (drone) για την παραγωγή αεροφωτογραφιών που μπορούν να μετατραπούν σε τρισδιάστατο μοντέλο. Η διαδικασία φωτογραμμετρίας είναι η ίδια αλλά το αποτέλεσμα είναι πιο ποιοτικό καθώς η διαδικασία λήψης φωτογραφιών είναι πιο οργανωμένη και με τη βοήθεια ορισμένων προγραμμάτων μπορεί να είναι πλήρως προκαθορισμένη. Το πλεονέκτημα της χρήσης drone είναι η δυνατότητα πρόσβασης σε δύσβατα και δυσπρόσιτα σημεία τα οποία είναι απαραίτητα για την πλήρη καταγραφή του αντικειμένου. (Εικ.6)



Εικόνα 6: Εναέρια φωτογραμμετρία.

Σάρωση με τρισδιάστατο σαρωτή

Οι 3D σαρωτές λέιζερ είναι όργανα ενεργής απεικόνισης τα οποία δίνουν σε πραγματικό χρόνο τις συντεταγμένες του αντικειμένου που αποτυπώνεται σε τρεις διαστάσεις. (Εικ.7) Η βασική αρχή λειτουργίας τους είναι ότι μία ακτίνα λέιζερ εκπέμπεται και για κάθε σημείο του χώρου καταγράφονται οι συντεταγμένες του (XYZ). Ταυτόχρονα, ο σαρωτής καταγράφει την ανακλαστικότητα του σημείου δίνοντας μια τιμή έντασης. Κατά την σάρωση, οι σύγχρονοι σαρωτές συλλέγουν και φωτογραφίες με την ενσωματωμένη μηχανή που διαθέτουν

έτσι ώστε να ορίζεται το χρώμα και η υφή της αποτυπωμένης επιφάνειας. Μια σάρωση μπορεί να ολοκληρωθεί μέσα σε λίγα λεπτά και να μας δώσει ένα λεπτομερές σύννεφο σημείων (point cloud) που σχηματίζει και αποδίδει λεπτομερέστατα τη γεωμετρία του αντικειμένου. Each laser point is given a colour based on the RGB values stored for the adjacent pixel so that, on export, the point record becomes x,y,z,I,R,G,B. (Boardman, 2018)



Εικόνα 7: Σάρωση με Faro M70.

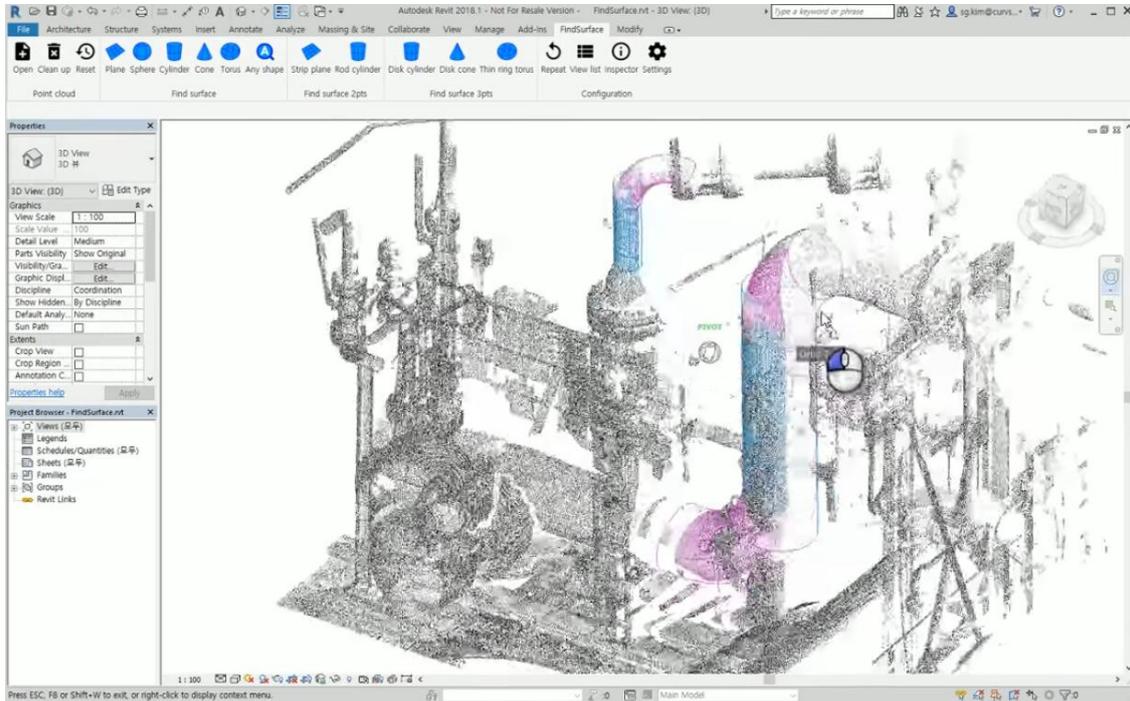
Η μεθοδολογία που ακολουθείται για την αποτύπωση μέσω 3D σαρωτή λέιζερ, περιλαμβάνει τον σχεδιασμό, την συλλογή δεδομένων (μετρήσεων), την επεξεργασία και τον έλεγχο ποιότητας. Για την πλήρη αποτύπωση δεν επαρκεί η σάρωση μόνο από μία στάση, αλλά απαιτούνται πολλαπλές στάσεις. Τα δεδομένα μέτρησης του σαρωτή συνίστανται σε μεμονωμένα νέφη σημείων τα οποία έχουν το καθένα το δικό του σύστημα συντεταγμένων. Για να αξιοποιηθούν στο σύνολό τους θα πρέπει να αλλάξει η θέση και ο προσανατολισμός τους έτσι ώστε οι σαρώσεις να χρησιμοποιούν ένα κοινό σύστημα συντεταγμένων. Η διαδικασία αυτή χαρακτηρίζεται ως ταυτοποίηση (registration). Η διαδικασία αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί με τρεις τρόπους: α) με τη χρήση τεχνητών στόχων, οι οποίοι τοποθετούνται σε διάφορες θέσεις κοντά στο αντικείμενο, και στη συνέχεια οι σαρώσεις ενώνονται βάσει αυτών, β) με τη γεωαναφορά, όπου κάθε νέφος προσανατολίζεται με βάση την τοπογραφική αποτύπωση και γ) με βάση κοινές περιοχές, δεδομένου ότι υπάρχει επικάλυψη τουλάχιστον 30% ανά δύο νέφη σημείων.

Τελικά, η χρήση φωτογραμμετρίας και τρισδιάστατης σάρωσης με σαρωτές δέσμης ακτινών (laser scanners) έχουν γίνει οι πιο δημοφιλείς τεχνολογίες για την απόκτηση δεδομένων προς επεξεργασία στην αρχιτεκτονική κληρονομιά. (Giovannini, 2017)

1.2.3 Επεξεργασία των δεδομένων

Τα δεδομένα της σάρωσης θα πρέπει να επεξεργαστούν με μια πλατφόρμα BIM. Η πιο διαδεδομένη πλατφόρμα σήμερα, όπως προαναφέρθηκε, είναι το Autodesk Revit. Για τις τρεις πρώτες διαστάσεις του HBIM το μοντέλο θα σχεδιαστεί με βάση την πρωτογενή πληροφορία. Τα διστασιολογικά δεδομένα που καταγράφηκαν θα οδηγήσουν στον σχεδιασμό της μορφής και θα παραμετροποιηθούν με βάση επιπλέον ιστορικά, μορφολογικά και λοιπά στοιχεία. Δεν υπάρχει μέχρι στιγμής κάποιο λογισμικό το οποίο να μπορεί να μετατρέψει νέφη σημείων σε vector στοιχεία με επιτυχία. Ο «θόρυβος» που αποτελεί σύνηθες φαινόμενο στα νέφη σημείων παρεμποδίζει την σαφήνεια της γεωμετρίας για να μετατραπεί το νέφος σημείων σε

αναγνωρίσιμα στοιχεία με αυτόματο τρόπο μέσω ενός αλγορίθμου. Το FindSurface αποτελεί ένα plugin για το Revit που επιχειρεί να μετατρέψει τα σημεία σε αναγνωρίσιμες γεωμετρίες με έναν ημι-αυτόματο τρόπο αλλά το εύρος των μορφών που υποστηρίζει είναι μικρό. (Εικ.8) Συνεπώς αποτελεί μονόδρομος η σχεδίαση «με το χέρι» έχοντας ως οδηγό το νέφος σημείων και χρησιμοποιώντας την κριτική σκέψη του μηχανικού που αποκτά με βάση την εμπειρία του στις κτιριακές κατασκευές.



Εικόνα 8: Μετατροπή σημείων σε αναγνωρίσιμες γεωμετρίες με το plugin FindSurface.

Σχετικά με την τέταρτη και πέμπτη διάσταση του HBIM, δηλαδή ο χρονικός προγραμματισμός και η κοστολογική ανάλυση μπορεί να ενσωματωθεί σε ένα έργο HBIM το οποίο αφορά την διαχείριση του. Είναι εφικτό δηλαδή να οργανωθεί ένα πρόγραμμα στο οποίο να συγκεντρώνονται όλα τα οικονομικά δεδομένα συμπεριλαμβανομένων των οικονομικών πόρων της ανακατασκευής, της διατήρησης, των προγραμματισμένων ελέγχων συντήρησης. Η ενημέρωση του προγράμματος αυτού θα γίνεται σε πραγματικό χρόνο και μπορεί να εξασφαλίσει ένα πιο ελκυστικό επιχειρηματικό πλάνο σε περίπτωση που το έργο έχει αναλάβει ιδιώτης ή να εξασφαλίσει διαφάνεια εάν ο διαχειριστής είναι δημόσιος φορέας. Η συνεργασία με ειδικούς οικονομολόγους είναι άμεση καθώς οι πίνακες του Revit είναι συμβατοί με προγράμματα διαχείρισης οικονομικών δεδομένων. Το πιο κοινό πρόγραμμα που ασχολείται με χρονικό προγραμματισμό και ανάλυση κόστους είναι το “Primavera”, το οποίο μπορεί να συνδεθεί με το μοντέλο του μνημείου στο Revit για όλη την αποθηκευμένη κτιριακή πληροφορία. (Yusuf Arayici, 2017)

Η έκτη διάσταση δηλαδή η βιωσιμότητα (*sustainability*) είναι μια γνωστή έννοια στον χώρο της διατήρησης της πολιτιστικής κληρονομιάς και εκτιμάται ιδιαίτερα ως οπτική για τα αρχαία μνημεία. (Yusuf Arayici, 2017) Στο εξωτερικό είναι προαπαιτούμενη η έκδοση ενεργειακού πιστοποιητικού ακόμη και σε διατηρητέα κτίρια και με αυτόν τον τρόπο οι αρχιτέκτονες στρέφονται προς ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και παθητικά συστήματα σκίασης για την επίλυση των ενεργειακών ζητημάτων. Τα προγράμματα BIM συμβάλλουν στον έλεγχο των ενεργειακών αποτελεσμάτων τέτοιων κτιριακών αλλαγών.

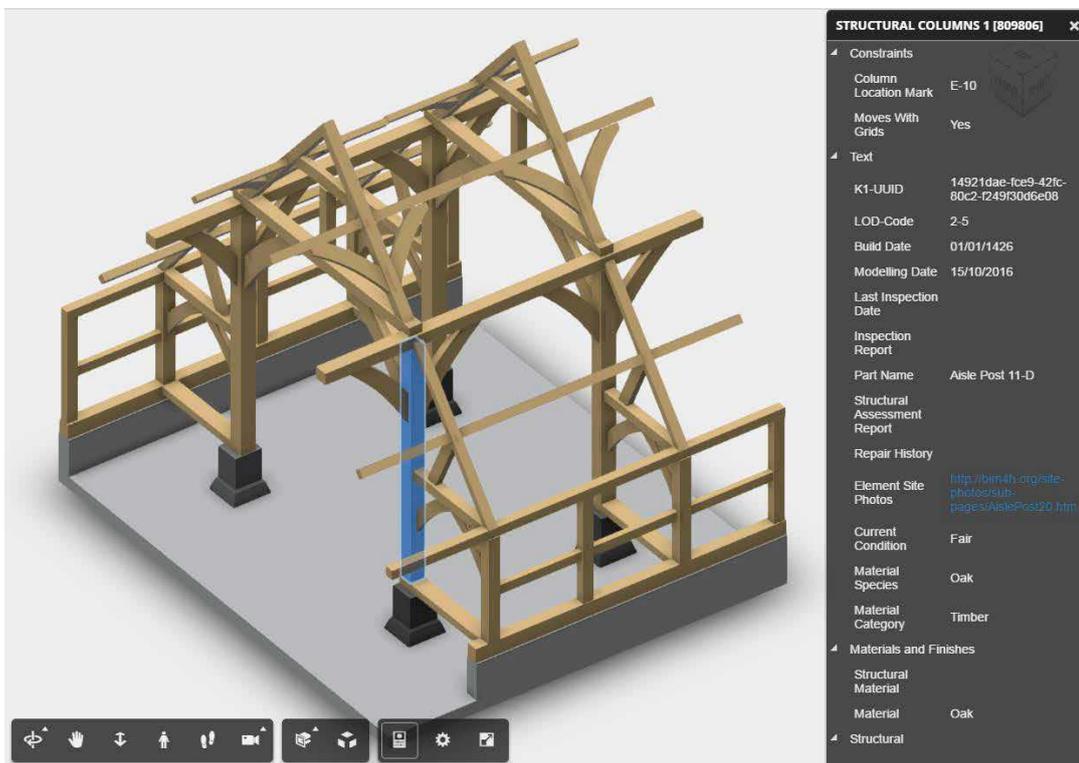
Συζητήσεις στον χώρο της κατασκευής κάνουν λόγο και για μια έβδομη διάσταση του HBIM η οποία έχει να κάνει με τη μελέτη πιθανών εκβάσεων της διαχείρισης. Στόχος είναι η πρόβλεψη και αποτροπή αρνητικών σεναρίων, κάτι το οποίο μπορεί να εκφραστεί με βάση τη σύγκριση όλων των προηγούμενων δεδομένων των διαστάσεων της μελέτης HBIM.

1.3 Σημασιολογικά μεταδεδομένα σε βιβλιοθήκες HBIM

1.3.1 Μεταδεδομένα ως οντολογικά στοιχεία

Τα αντικείμενα BIM είναι έξυπνα παραμετρικά στοιχεία τα οποία ανήκουν σε ένα ευρύτερο πλαίσιο πληροφορίας. Ιδιαίτερα όταν πρόκειται για ένα αντικείμενο πολιτιστικής κληρονομιάς, τότε αυτό χαρακτηρίζεται από μια πληθώρα πληροφοριών. Τα δεδομένα που συμπεριλαμβάνονται σε ένα BIM έργο ή αντικείμενο είναι συνδεδεμένα (linked) με άλλα δεδομένα που είναι με έναν οντολογικό τρόπο ιεραρχημένα. Επομένως, διερευνάται η σημασιολογία, δηλαδή η σημασία των δεδομένων.

Οι μη γεωμετρικές πληροφορίες BIM αναφέρονται σε κατασκευαστικές πληροφορίες του δομικού ιστού, όπως τα υλικά, η κατάσταση και η παρούσα εμφάνιση. Είναι εφικτό να περιέχονται οικονομικά στοιχεία και πληροφορίες σχετικά με τη λειτουργικότητα και την συντήρηση. Επιπλέον, υπάρχει η δυνατότητα αναφοράς σε περιβαλλοντικά αλλά και δομικά θέματα, όπως και θέματα κατανάλωσης ενέργειας. Στην πολιτιστική κληρονομιά, άυλες πληροφορίες, όπως πολιτιστικές, ιστορικές και αρχιτεκτονικές αξίες σχετικά με τον ρυθμό, το αρχιτεκτονικό ρεύμα, το ύφος, την ηλικία και την σημαντικότητα για μια ιστορική περίοδο, μπορούν να συμπεριληφθούν σε συγκεκριμένα μέρη του κτιρίου (components) ή και σε ολόκληρο το κτίριο (project). Όλα τα παραπάνω αποτελούν τα μεταδεδομένα (metadata) ενός στοιχείου HBIM (Sofia Antonopoulou, 2017). (Εικ.9)



Εικόνα 9: Μεταδεδομένα στοιχείου HBIM.

Μεταδεδομένα που μπορούν να εισαχθούν σε μοντέλο HBIM αποτελούν δεδομένα σχετικά με τη λειτουργικότητα, σχέδια και αναφορές συντήρησης. Σημαντική είναι η ταυτοποίηση της μετρικής πληροφορίας, η οποία μπορεί να προσδώσει επιπλέον στοιχεία για τις αρχιτεκτονικές φάσεις του κτιρίου, όπως και η ταυτοποίηση των ιστορικών στοιχείων η οποία ποικίλει ανάλογα με τον τύπο του κτιρίου, τις προηγούμενες χρήσεις αλλά και το ιδιοκτησιακό καθεστώς. Οι εργασίες έρευνας των μνημείων συνήθως δεν συγχρονίζονται εγκαίρως και απαιτούνται αρκετά χρόνια για την επίτευξη επαρκούς κατανόησης και τεκμηρίωσης του αντικειμένου. (Davide Simeone, 2014) Στη διαχείριση αυτή των δεδομένων καλείται να δώσει λύσεις το μοντέλο BIM

το οποίο μπορεί εκτός από το να λάβει όλα αυτά τα στοιχεία, να τα ομαδοποιήσει, να τα ταξινομήσει και να τα συσχετίσει είτε μεταξύ τους είτε μεταξύ διαφορετικών έργων.

Η διαθεσιμότητα πλήθους πληροφοριών δεν είναι επαρκής για να διασφαλίσει τη συνεργασία μεταξύ των διαφόρων ειδικοτήτων: η ενοποίηση όλων αυτών των σημασιολογικών πληροφοριών σε ένα μοντέλο μπορεί να αποτελέσει αντιπαραγωγική από τη στιγμή που απαραίτητες πληροφορίες ίσως να είναι κρυμμένες στο περίπλοκο σύστημα οντολογίας. (Davide Simeone, 2014) Συνεπώς θα πρέπει να υπάρχουν φίλτρα στην οντολογική δόμηση της πληροφορίας με τα οποία η κάθε ειδικότητα, δηλαδή αρχιτέκτονας, πολιτικός μηχανικός, τοπογράφος και αρχαιολόγος, να έχει σαφώς ορισμένη τη δυνατότητα επεξεργασίας τους. Η επεξεργασία σε περιβάλλον BIM επιτρέπει την ελεγχόμενη χρήση ενός έργου (project) από διαφορετικούς χρήστες, οι οποίοι δουλεύουν παράλληλα σε πραγματικό χρόνο και μπορούν να βλέπουν το στάδιο εργασίας των υπολοίπων.

Σημαντική είναι η ένταξη των μεταδεδομένων σε ψηφιακές συλλογές. Είναι δυνατή η ενσωμάτωση μέσω ετικετών (tags) αναγνωρίσιμων από μοντέλα ιεραρχημένων δεδομένων. Στοιχεία όπως ημερομηνίες, αρχιτεκτονικά ρεύματα, σημαντικοί δημιουργοί κλπ είναι μεταδεδομένα που αποτελούν κλάσεις και ιδιότητες των δομημένων λεξιλογίων σε ψηφιακές συλλογές. Ενδεικτικά δομημένα λεξιλόγια αποτελούν τα AAT, TGN και ULAN (Getty Vocabularies). (Εικ. 10)

HBIM FAMILIES TO GETTY VOCABULARIES

Walls	Object Facet	Components	ComponentBySpecificContext	ArchitecturalElements	StructuralElements	EnclosingStructuralElements	WallsAndWallsComponents	Walls	
General Model	Object Facet	Components	ComponentBySpecificContext	ArchitecturalElements	StructuralElements	EnclosingStructuralElements	DomesAndDomeComponents	Dome	
Roofs	Object Facet	Components	ComponentBySpecificContext	ArchitecturalElements	StructuralElements	EnclosingStructuralElements	RoofsAndRoofsComponents	Roofs	
Pillars	Object Facet	Components	ComponentBySpecificContext	ArchitecturalElements	StructuralElements	SupportingAndResistingElements	Pillars	Column(ArchitecturalElements)	
Doors	Object Facet	Components	ComponentBySpecificContext	ArchitecturalElements	OpeningAndOpeningComponents	Openings(ArchitecturalElements)	OpeningsByForms	DoorsAndDoorsComponents	Doors
Windows	Object Facet	Components	ComponentBySpecificContext	ArchitecturalElements	OpeningAndOpeningComponents	Openings(ArchitecturalElements)	OpeningsByForms	WindowsAndWindowsComponents	Windows
Slabs	Object Facet	Components	ComponentBySpecificContext	ArchitecturalElements	SurfaceElements	SurfaceElements(ArchitecturalElements)	FloorsAndFloorComponents	Floors	

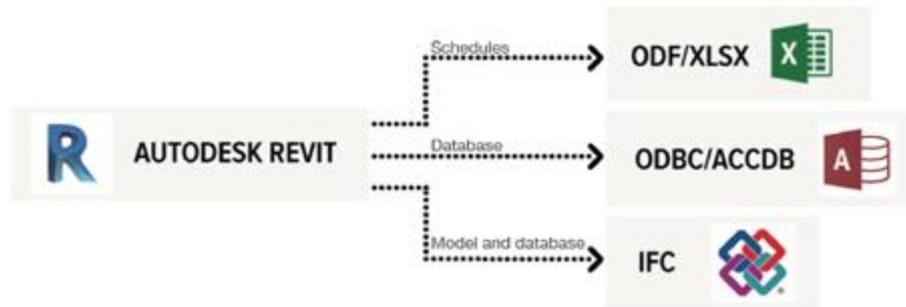
Εικόνα 10: HBIM οικογένειες σε Getty ATT λεξιλόγιο.

1.3.2 Κοινοποίηση και ανταλλαγή μεταδεδομένων με πρωτόκολλα IFD και IFC

Ο μηχανισμός «International Framework for Dictionaries (IFD)» επιτρέπει τη δημιουργία πολυγλωσσικών λεξιλογίων και οντολογιών. Το λεξιλόγιο ονομάζεται IFD Library και στοχεύει στη διαλειτουργικότητα του κατασκευαστικού κλάδου καθώς παρέχει την ευελιξία και τη σαφήνεια που απαιτείται για συνδεθούν μεταξύ τους βάσεις δεδομένων με κατασκευαστική πληροφορία. (Oreni, 2014) Οι κλάσεις του προτύπου αυτού είναι υπό τη μορφή αρχείου «.ifc».

Οι κλάσεις «Industry Foundation Classes (IFC)» αποτελούν ένα ανοιχτό πρότυπο το οποίο είναι εγγεγραμμένο στο ISO με τη μορφή ISO/PAS 16739 το οποίο τείνει να γίνει διεθνές. Τα αρχεία ifc περιλαμβάνουν κατηγορίες οι οποίες αντιστοιχίζονται από τις ιδιότητες τύπου «instances» των οικογενειών Revit. Οι κατηγορίες και υποκατηγορίες κατά την εξαγωγή του αρχείου χαρτογραφούνται, αν και πλέον το revit προσφέρει έναν οδηγό για τη διαδικασία αυτή.

Συνολικά τα δεδομένα ενός μοντέλου BIM μπορούν να εξαχθούν σε τυποποιημένη μορφή είτε σαν πίνακες excel (schedules), είτε ως βάση δεδομένων (ODBC), είτε ως IFCs. (Εικ.11)



Εικόνα 11: Συνδέσεις μεταδεδομένων από το Revit.

1.3.3 Πλατφόρμες οργάνωσης μεταδεδομένων και πληροφοριών HBIM

Η οργάνωση των μεταδεδομένων και των πληροφοριών HBIM είναι ένα σημαντικό μέρος της προσπάθειας ένταξης του BIM στα τεκταινόμενα της διαχείρισης της πολιτιστικής κληρονομιάς. Σε ορισμένες χώρες όπως το Ηνωμένο Βασίλειο και την Ιταλία το ενδιαφέρον για την τεκμηρίωση του πολιτιστικού τους πλούτου μέσω BIM είναι μεγαλύτερο και εταιρείες μαζί με πανεπιστημιακά ιδρύματα ή κρατικούς φορείς έχουν οργανώσει ομάδες και φορείς. (Oriol Prizeman, 2018) Παρά το γεγονός ότι κανείς δεν έχει φτάσει στο σημείο να δημιουργήσει μια ανεξάρτητη βιβλιοθήκη παραμετρικών στοιχείων BIM που να απευθύνονται στην πολιτιστική κληρονομιά, η ανταλλαγή τεχνογνωσίας είναι απαραίτητη για την χρήση κοινού λεξιλογίου κατά τις συζητήσεις πάνω στο θέμα του HBIM.

Archaeology Data Service (ADS)

Η Υπηρεσία Αρχαιολογικών Δεδομένων αποτελεί μια προσπάθεια συγκέντρωσης των ψηφιοποιήσεων των αρχαιολογικών δεδομένων, ενώ παράλληλα παρέχει τεχνικές συμβουλές στην ερευνητική κοινότητα. Χρησιμοποιεί την μηχανή αναζήτησης «ARCHSEARCH» σε έναν κατάλογο με πάνω από 1,3 εκατομμύρια αρχεία μεταδεδομένων, όπου περιλαμβάνονται και οι συλλογές της με μεταδεδομένα προερχόμενα από κτίρια πολιτιστικής κληρονομιάς του Ηνωμένου Βασιλείου. (Εικ.12)

KEYWORD arch

KEYWORD
arch **SEARCH**

▼ **WHAT**

- Event 2599
- Evidence 4293
- Maritime 175
- Monument Types 23464
- Object Types 4620

▼ **WHERE**

- England 21354
- Northern Ireland 169
- Scotland 104
- Wales 2389
- Isle Of Man 12

▼ **WHEN**

- Early Prehistoric 54
- Later Prehistoric 419
- Roman 538
- Early Medieval 328
- Medieval 2085
- Post Medieval 5804
- Modern 1285

▼ **RESOURCE**

- ADS Archive 22
- Canmore 89
- Clwyd-Powys Archaeological Trust 835
- Defence of Britain Archive 8
- Dyfed Archaeological Trust 242
- Exeter City HER 119
- Glamorgan-Gwent Archaeological Trust 625
- Greater London HER 10220

"Carr" Stables

Description: From NT VBS (1993)
"The "Carr" Stables are situated NE of the Hall. The drive which passes the NW front of the house continues to the SW facade of the stables. The stables are of Lc18 date. They were built for the Sixth Baronet, James Pennymann (1763-1808) - renowned for his love of horse racing and gambling. They were constructed in 1772, reputedly to designs by John Carr of York. Aspects of the design would support that supposition. Generally, Carr's stables were detached entities of quite distinct character from their accompanying house. Carr's designs were never over-elaborate, often plain with hipped roofs of Westmorland slate. Round headed sash windows were another characteristic. His larger stables often possessed a cupola, reflecting a Tuscan temple in stone on a cubic base and bearing a weather vane. Another common feature of Carr's work is the use of stone squared rubble for the walls and ashlar for pilinths, string courses and cornices. The location and architectural details of 31893 match those characteristics. The niches above the hayracks in the NW stable block are comparable to those which Carr designed for the Wentworth Woodhouse stables. The plan of the stables, with its two storey stable range, two flanking wings of a single-storey and a further two-storey block closing the quadrangle, is reminiscent of John Carr's work. The date 1772 would coincide with Carr's plans for the two-storey stables at Castle Howard. This has similarities with the two-storey SW facade at Ormesby: the same number of window bays, round headed windows and round coachway arch to the ground floor, ashlar string course and details, the same dimensions to the first floor windows and a hipped roof of Westmorland slate.

Country: England
Grid Reference: NZ530168
Map Reference: [EPSG:27700] 453020, 516820

Period/Subject: 1772 - 1900 - STABLE

Identifiers:
[ADS] Depositor Id: 31893*0
[ADS] Associated Id: HBSMR Id: MNA143516
[ADS] Import RCN: NTSMR-MNA143516

People Involved:
[Publisher] National Trust

Cite record using this URL:
<https://archaeologydataservice.ac.uk/archsearch/record?tid=1793677>

Εικόνα 12: Μεταδεδομένα ψηφιοποιήσεων της μηχανής αναζήτησης «Archsearch».

BIM4Heritage

Η ομάδα BIM4Heritage αποτελείται από επαγγελματίες από τον κατασκευαστικό κλάδο (AEC industry), εξειδικευμένους μηχανικούς στο χώρο της διαχείρισης μνημείων, πανεπιστημιακά τμήματα και οργανώσεις που δραστηριοποιούνται στον χώρο του πολιτισμού. Ο στόχος της ομάδας είναι να αποτελέσει δίαυλο επικοινωνίας και βάση πληροφοριών σχετικά με την εφαρμογή του BIM σε δομές πολιτιστικής κληρονομιάς. Η ιστοσελίδα περιλαμβάνει τόσο δημοσιεύσεις και τεχνικές προδιαγραφές για το HBIM όσο και αναφορές σχετικά με τη δράση της ομάδας.

National Building Specification (NBS)

Η πλατφόρμα NBS αποτελείται από χιλιάδες κατασκευαστικές εταιρείες και παρέχει πρωτόκολλα για τη δημιουργία αντικειμένων BIM. Τα μεταδεδομένα χρησιμοποιούν το επίσημο κατάλογο δομικών στοιχείων για το Ηνωμένο Βασίλειο «Uniclass 2015». Το εργαλείο που έχει αναπτύξει η εταιρεία με όνομα «NBS BIM Toolkit» έχει στόχο να εξελίξει τον κατασκευαστικό κλάδο στο δεύτερο επίπεδο BIM, δηλαδή την άμεση ανταλλαγή πληροφοριών από ένα έργο BIM και μια γενική βάση δεδομένων. Το πλάνο της σύμπραξης επιχειρήσεων προβλέπει την επέκταση και στον χώρο της πολιτισμικής κληρονομιάς, κάτι το οποίο θα αποτελέσει κομβικό σημείο για την δημιουργία προτύπων ενσωμάτωσης στοιχείων HBIM σε βιβλιοθήκες.

Κεφάλαιο 2: Σχεδιασμός βιβλιοθήκης στο Revit

2.1 Το λογισμικό Autodesk Revit

Η πλατφόρμα του Revit για την μοντελοποίηση κτιριακής πληροφορίας υποστηρίζει ένα σύστημα το οποίο περιλαμβάνει το σχεδιασμό και προγραμματισμό που απαιτείται για την υλοποίηση ενός έργου. Η μοντελοποίηση κτιριακής πληροφορίας (BIM) εμπεριέχει στοιχεία σχετικά με το σχεδιασμό, το πεδίο εφαρμογής, την κατασκευαστική φάση και τις ποσότητες των υλικών. Το μοντέλο Revit αντλεί πληροφορίες από μια εσωτερική βάση δεδομένων που τροφοδοτείται κατά τη δημιουργία της σχεδίασης σε δύο και τρεις διαστάσεις. Το Revit συλλέγει πληροφορίες όσο σχεδιάζονται οι κατόψεις, όψεις, τομές του κτιρίου και καθώς δηλώνεται ο προγραμματισμός του έργου, συγχρονίζοντας αυτές σε όλες τις απόψεις του μοντέλου. Ακόμη, το πρόγραμμα τις χρησιμοποιεί για να παράγει αποτελέσματα όταν ζητηθεί από τον χρήστη.

Αυτό σημαίνει πως η μηχανή παραμετρικής επεξεργασίας του Revit, αυτόματα συγχρονίζει τις αλλαγές και τις υλοποιεί σε όλες τις εκφάνσεις του έργου, στις όψεις του σχεδίου, στο σχεδιασμό, στις τομές, τις κατόψεις και τις επιμετρήσεις υλικών. Αυτό είναι και το βασικό στοιχείο της δυναμικής του προγράμματος, η ικανότητα να συγχρονίζει τις μεταβολές και να εξασφαλίζει τη συνέπεια σε όλες τις φάσεις. Η μεσολάβηση του χρήστη δεν είναι απαραίτητη ώστε να ενημερώσει τα σχέδια ή τα δεδομένα που καταγράφονται. Όταν πραγματοποιείται κάποια αλλαγή σε κάποιο στοιχείο τότε αυτόματα αλλάζει σε όλα τα σχετιζόμενα και επηρεαζόμενα στοιχεία. (Autodesk 2020)

Συγκριτικά με το AutoCAD, στο οποίο σχεδιάζονται στοιχεία και αντικείμενα από το μηδέν σε μορφή 2d ή 3d χρησιμοποιώντας γραμμές και τόξα, το Revit παράγει μοντέλα χρησιμοποιώντας τελικά μοντελοποιημένα αντικείμενα, όπως τοίχους, δάπεδα και στέγες, τα οποία συμπεριλαμβάνονται στις βιβλιοθήκες του, αν και μπορούν να σχεδιαστούν και από το μηδέν.

2.1.1 Περιβάλλον εργασίας προγράμματος

Ανοίγοντας το λογισμικό Revit 2020, εμφανίζεται μια αρχική σελίδα και καθίσταται δυνατό από το χρήστη να επιλέξει τι επιθυμεί να κάνει και πώς να ξεκινήσει.

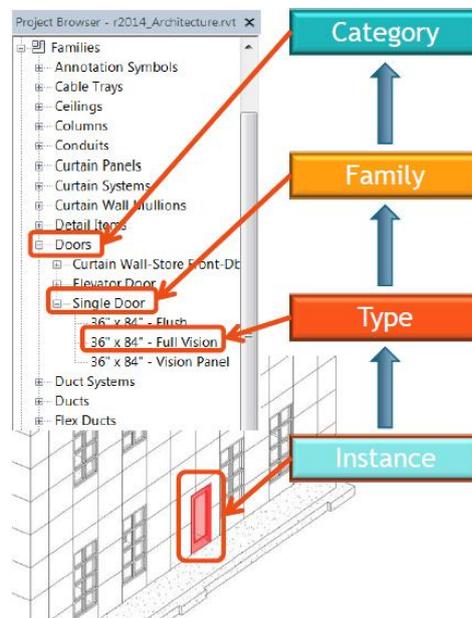
Οι βασικότερες επιλογές όταν εκκινήσει το πρόγραμμα είναι «Project» και «Family». Από την καρτέλα «Projects» μπορεί όποιος επιθυμεί να επιλέξει «new» και να φορτώσει ένα ήδη υπάρχον έργο, ενώ η επιλογή open ανοίγει ένα καινούριο κενό φύλλο εργασίας έτοιμο για επεξεργασία. Επιλέγοντας να φορτωθεί ένα νέο έργο, δίνεται στο χρήστη η δυνατότητα επιλογής μεταξύ project και project template, με το πρώτο να οδηγεί σε ένα κλασσικό νέο έργο για σχεδιασμό και το δεύτερο να δημιουργεί ένα πρότυπο σχέδιο, το οποίο μπορεί να διαμορφωθεί και να χρησιμοποιηθεί ως βάση για μελλοντικά έργα. Επίσης, είναι δυνατό για τον χρήστη να επιλέξει με βάση το σκοπό του έργου μεταξύ τεσσάρων κατηγοριών προτύπων, το κατασκευαστικό, το αρχιτεκτονικό, το δομικό και το μηχανολογικό πρότυπο. Επιλέγοντας λοιπόν το αρχιτεκτονικό πρότυπο, εμφανίζεται το περιβάλλον εργασίας του προγράμματος, με τη χαρακτηριστική λευκή αρχική οθόνη εργασίας.

Το βήμα που προηγείται της διαδικασίας σχεδιασμού του μοντέλου, είναι η αποθήκευση του αρχείου με συγκεκριμένο όνομα, επιλεγμένο από το χρήστη. Το πλεονέκτημα κατά την αποθήκευση στο Revit είναι ότι αυτή πραγματοποιείται αυτόματα ανά τακτά χρονικά διαστήματα, με τρόπο που καθορίζεται από το χρήστη. Αυτό συνεπάγεται μεγαλύτερη ασφάλεια και σιγουριά για το χρήστη, αφού με συνεχή αυτόματη αποθήκευση, αποφεύγεται ο κίνδυνος απώλειας δεδομένων λόγω ξαφνικής διακοπής λειτουργίας του προγράμματος. Η δυνατότητα αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική σε προχωρημένα στάδια εργασίας όπου αυξάνεται το μέγεθος του αρχείου του προγράμματος λόγω προσθήκης πληθώρας πληροφοριών και εντολών, με αποτέλεσμα το πρόγραμμα να αντιμετωπίζει πρόβλημα αδιάλειπτης και ομαλούς λειτουργίας. Τα αντίγραφα αποθηκεύονται στον ίδιο φάκελο με το αρχικό αρχείο, με το ίδιο όνομα αρχείου ακολουθούμενο από ένα αύξοντα αριθμό αρχόμενο από «001», ανάλογα με τη στιγμή αποθήκευσης.

Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα ορισμού υπενθύμισης για την αποθήκευση του αρχείου ανά διάστημα που ορίζει ο χρήστης, ώστε να εξασφαλίζεται η διάσωση του αρχείου από πιθανή απώλεια δεδομένων.

2.1.2 Βιβλιοθήκες έτοιμων αντικειμένων

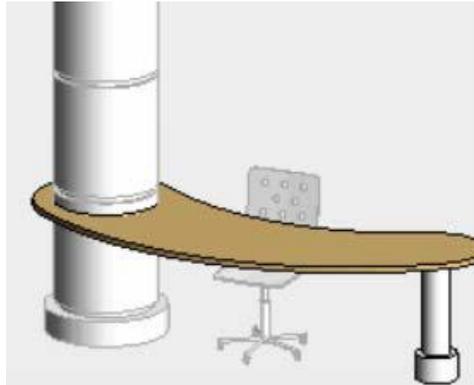
Οι οικογένειες στοιχείων στο Revit (Revit families) είναι ένα εξαιρετικό χαρακτηριστικό του προγράμματος που προσφέρει βιβλιοθήκες από έτοιμα αντικείμενα, εξατομικευμένα και παραμετροποιημένα ώστε να ταιριάζουν σε κάθε μοντέλο. Πρόκειται για ομάδες ίδιας κατηγορίας αντικειμένων, που χρησιμοποιούνται για να δημιουργηθεί το μοντέλο, όπως παράθυρα, πόρτες, σκάλες και τοίχοι που διαφέρουν ως προς κάποιο χαρακτηριστικό τους (πχ διαφορετικές διαστάσεις του ίδιου παραθύρου). Το σημαντικό με τα στοιχεία των οικογενειών του Revit, είναι ότι δεν πρόκειται για προκαθορισμένα και αμετάβλητα αντικείμενα, αλλά για πλήρως παραμετρικά αντικείμενα, τα χαρακτηριστικά των οποίων (χρώμα, υλικά, διαστάσεις κ.α.) μπορούν να τροποποιηθούν από το χρήστη, ενώ παράλληλα ενσωματώνονται πλήρως στο στοιχείο στο οποίο προσαρτώνται. Η παραμετροποίησή τους δεν είναι ανεξέλεγκτη, αλλά μπορεί να περιοριστεί το εύρος των τιμών ώστε να γίνει σαφέστερη αναφορά στον εκάστοτε τύπο. Επιπλέον, οι οικογένειες μπορούν να αναζητηθούν διαδικτυακά. Υπάρχουν αρκετές ιστοσελίδες στο διαδίκτυο από όπου είναι δυνατόν να «κατέβουν» οι αναγκαίες οικογένειες και να φορτωθούν στο μοντέλο του χρήστη. Στο HBIM, όπως έχει αναφερθεί, είναι ελάχιστη η ενασχόληση με τέτοιου είδους αντικείμενα και αναφορικά με τα ελληνικά μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς σχεδόν μηδαμινή. Όμως, οι οικογένειες του Revit, μπορούν να μοντελοποιηθούν από το μηδέν και να χρησιμοποιηθούν όταν δεν επαρκεί ούτε η προϋπάρχουσα βιβλιοθήκη αντικειμένων του Revit, ούτε και η διαδικτυακή αναζήτηση.



Εικόνα 13: Ιεραρχία των οικογενειών του Revit.

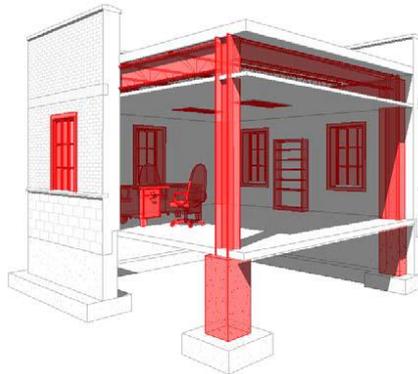
Οι κατηγορίες των οικογενειών Revit είναι οι εξής (Knittle, 2012): (Εικ.13)

Οι «Loadable» οικογένειες είναι οικογένειες που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία τόσο δομικών στοιχείων, όσο και ορισμένων στοιχείων συμβολισμού. Οι οικογένειες αυτές δημιουργούν τα στοιχεία του κτιρίου που συνήθως αγοράζονται, παραδίδονται και εγκαθίστανται μέσα και γύρω από ένα κτίριο, όπως παράθυρα, πόρτες, αξεσουάρ, φωτιστικά, έπιπλα και φύτευση. Περιλαμβάνουν επίσης ορισμένα στοιχεία σχολιασμού που προσαρμόζονται συνήθως, όπως σύμβολα και μπλοκ τίτλου. (Εικ. 14)



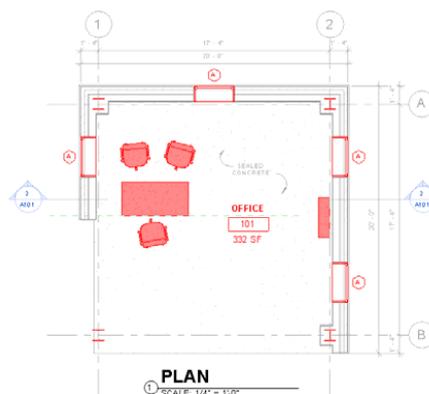
Εικόνα 14: Παράδειγμα loadable family.

Οι οικογένειες «System» χρησιμοποιούνται για την εισαγωγή βασικών δομικών στοιχείων όπως τοίχοι, δάπεδα, οροφές και σκάλες στα μοντέλα Revit. Οι οικογένειες συστήματος περιλαμβάνουν επίσης ρυθμίσεις έργου (project) και συστήματος (system), οι οποίες επηρεάζουν το περιβάλλον του έργου και περιλαμβάνουν τύπους για στοιχεία όπως επίπεδα, πλέγματα, φύλλα και σημεία προβολής. Οι οικογένειες συστήματος είναι προκαθορισμένες στο Revit Architecture και αποθηκεύονται σε πρότυπα και έργα. Δεν είναι δυνατή η δημιουργία, αντιγραφή, τροποποίηση ή διαγραφή οικογένειας συστήματος, αλλά είναι εφικτή η αντιγραφή (duplicate) και τροποποίηση του τύπου στις οικογένειες συστήματος για να δημιουργία προσαρμοσμένου τύπου. (Εικ.15)



Εικόνα 15: Παράδειγμα system family.

«In-place» είναι οι οικογένειες που ορίζονται από το χρήστη και τοποθετούνται ως μοναδικές στο project. Όπως οι οικογένειες του συστήματος (system families) δεν μπορούν να φορτώνονται ή αποθηκεύονται εκτός του project και να αποθηκευτούν στη βιβλιοθήκη. (Εικ. 16)



Εικόνα 16: Παράδειγμα In-place family.

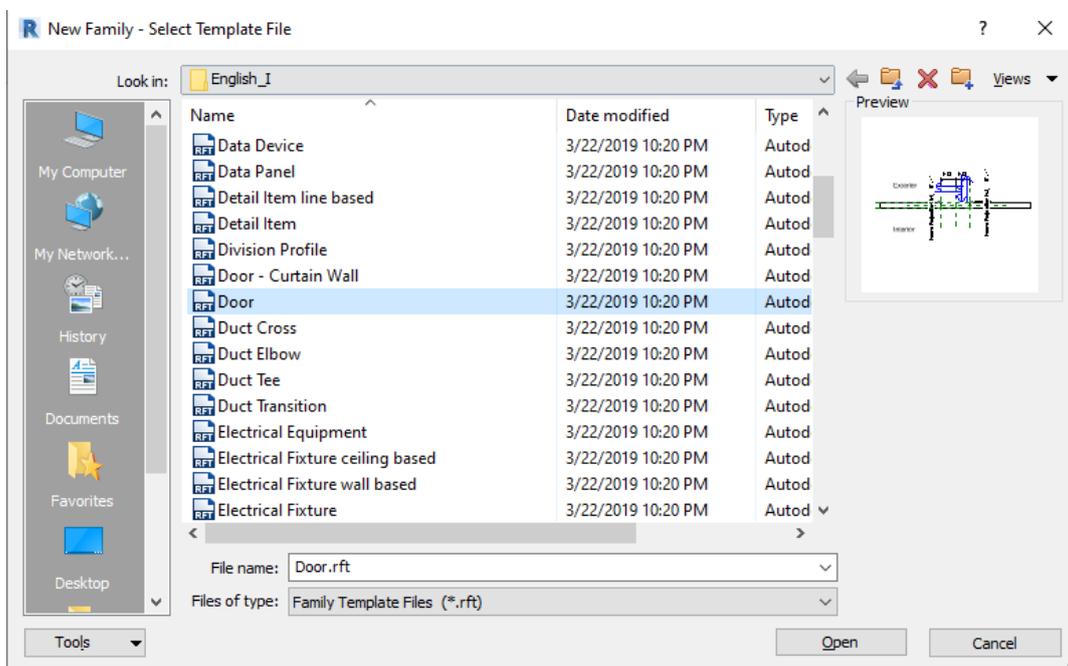
2.2 Περιγραφή της διαδικασίας σχεδιασμού και παραμετροποίησης μιας πόρτας

Περιγράφεται η διαδικασία σχεδιασμού σε περιβάλλον Revit, μέσω της δημιουργίας μιας οικογένειας η οποία αφορά μια πόρτα μεσοπολεμικής περιόδου. (Εικ.17)



Εικόνα 17: Εξώθυρα μεσοπολεμικής περιόδου.

Ανοίγοντας το πρόγραμμα Revit εμφανίζονται σε πρώτη φάση, δύο ομάδες επιλογών, «Projects» και «Families». Το πρόγραμμα, λοιπόν, λειτουργεί με αρχεία «έργου» (project) τα οποία περιλαμβάνουν όλη την πληροφορία ενός χωρικού αντικειμένου, ενώ οι «οικογένειες» (families) αφορούν συγκεκριμένες οντότητες μέσα στο έργο. Με την επιλογή να φορτωθεί ένα νέο έργο, δίνεται στο χρήστη η δυνατότητα επιλογής μεταξύ «project» και «project template», με το πρώτο να οδηγεί σε ένα κλασσικό νέο έργο για σχεδιασμό και το δεύτερο να δημιουργεί ένα πρότυπο σχέδιο, το οποίο μπορεί να διαμορφωθεί και να χρησιμοποιηθεί ως βάση για μελλοντικά έργα. Για τον σχεδιασμό ενός αντικειμένου βιβλιοθήκης επιλέξαμε «family» και στη συνέχεια επιλέξαμε ένα από τα templates που δίνονται για την επιβοήθεια της διαδικασίας, το template “Door”. (Εικ.18)



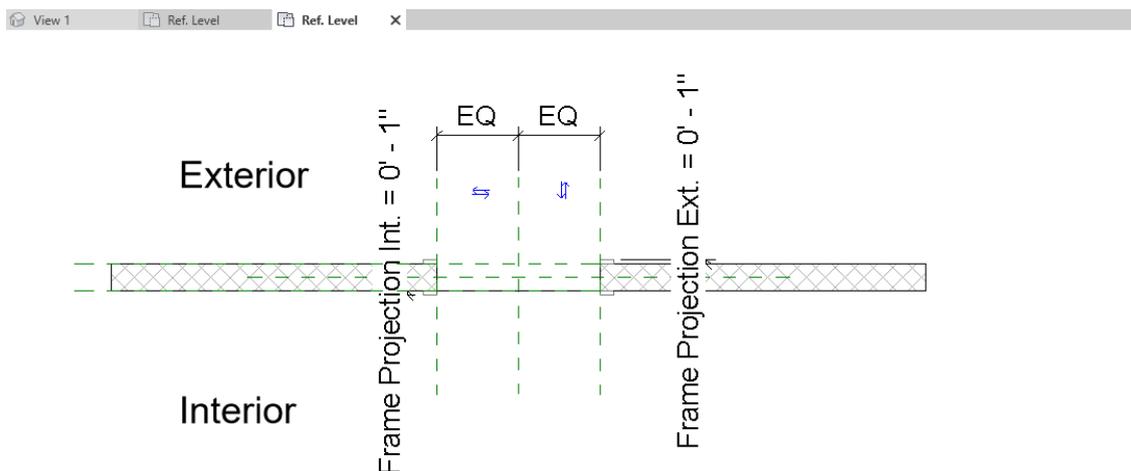
Εικόνα 18: Επιλογή του προτύπου (template) θύρας.

Το βήμα που προηγείται της διαδικασίας σχεδιασμού του μοντέλου, είναι η αποθήκευση του αρχείου με συγκεκριμένο όνομα, επιλεγμένο από το χρήστη. Η αποθήκευση πραγματοποιείται αυτόματα ανά τακτά χρονικά διαστήματα που καθορίζονται από το χρήστη. Με τη συνεχή αυτόματη αποθήκευση, αποφεύγεται ο κίνδυνος απώλειας δεδομένων λόγω ενδεχόμενης διακοπής λειτουργίας του προγράμματος. Η δυνατότητα αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική σε προχωρημένα στάδια εργασίας όπου αυξάνεται το μέγεθος του αρχείου του προγράμματος λόγω προσθήκης πληθώρας πληροφοριών και εντολών, με αποτέλεσμα το πρόγραμμα να αντιμετωπίζει ενδεχομένως πρόβλημα αδιάλειπτης και ομαλούς λειτουργίας. Τα αντίγραφα αποθηκεύονται στον ίδιο φάκελο με το αρχικό αρχείο, με το ίδιο όνομα αρχείου ακολουθούμενο από ένα αύξοντα αριθμό αρχόμενο από «001», ανάλογα με τη στιγμή αποθήκευσης. (Εικ.19)

Name	Date modified	Type	Size
 Door_hbim	4/18/2020 5:53 PM	Autodesk Revit Fa...	604 KB
 Door_hbim.0013	4/18/2020 5:52 PM	Autodesk Revit Fa...	600 KB
 Door_hbim.0012	4/18/2020 5:46 PM	Autodesk Revit Fa...	512 KB
 Door_hbim.0011	4/18/2020 5:38 PM	Autodesk Revit Fa...	504 KB
 Door_hbim.0004	4/18/2020 4:13 PM	Autodesk Revit Fa...	420 KB

Εικόνα 19: Αποθήκευση ενός αρχείου Revit.

Γίνεται αντιληπτό ότι βρίσκουμε έτοιμο το διαχωρισμό εσωτερικού και εξωτερικού και ένας τοίχος ο οποίος αποτελεί ένα προσωρινό στοιχείο που εξυπηρετεί την αποσαφήνιση του τρόπου ένταξης της σχεδιαζόμενης πόρτας σε οποιοδήποτε τοίχο. (Εικ.20) Χρειάζεται να ρυθμίσουμε τις μονάδες μέτρησης από ίντσες σε χιλιοστά. Επιλέγουμε χιλιοστά υπό την έννοια ότι είναι πιο διαχωρίσιμη μονάδα μέτρησης καθώς οι μετρήσεις σε χιλιοστά στην κλίμακα μιας πόρτας είναι ακέραια νούμερα. Να τονιστεί ότι εάν εισάγουμε την πόρτα σε ένα project με μονάδα μέτρησης μέτρα τότε τα χιλιοστά θα μετατραπούν σε μέτρα, οι μετρήσεις όμως δεν θα είναι τόσο εύληπτες λόγω των πολλών δεκαδικών.



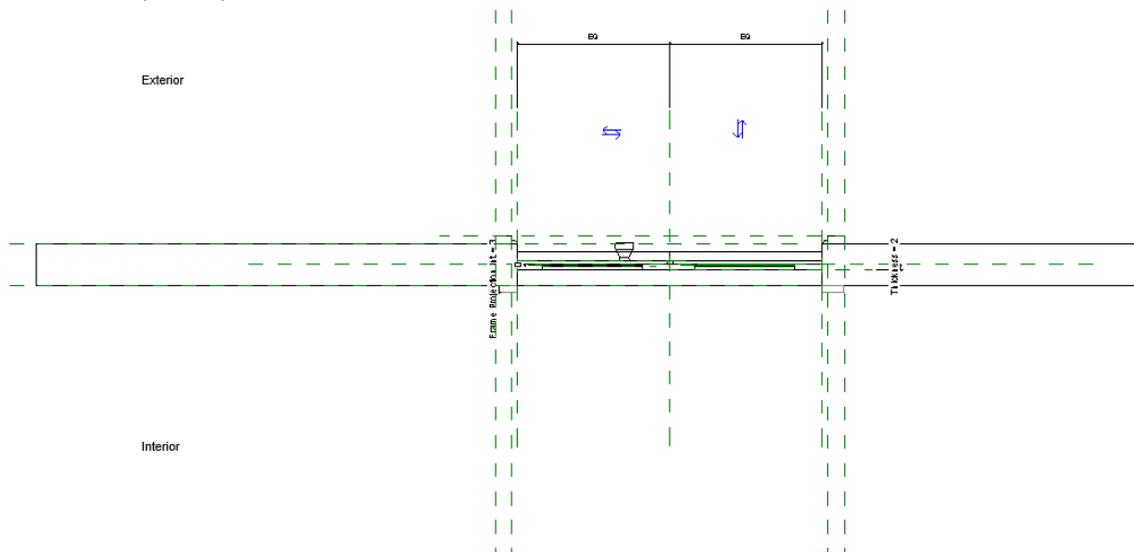
Εικόνα 20: Η μορφή ενός προτύπου (template) οικογένειας Revit.

2.2.1 Σχεδιασμός της πόρτας

Η λογική του σχεδιασμού και παραμετροποίησης αντικειμένων λεπτομέρειας στο revit βασίζεται στην χάραξη επιπέδων αναφοράς (reference plains). Τα επίπεδα αυτά καθοδηγούν την γεωμετρία του αντικειμένου και καθιστούν εφικτή την παραμετροποίηση του με τρόπο σαφή.

Είναι απαραίτητο για ένα «Revit family» να αποτελείται από πολλά επίπεδα αναφοράς ώστε να καθίσταται πλήρως παραμετροποιήσιμο.

Το επίπεδο αναφοράς είναι αυτό που ως ορολογία στις επιστήμες της πληροφορικής και της οπτικοποίησης ονομάζεται «constraints», δηλαδή μη ορατά στοιχεία που λειτουργούν ανεξάρτητα με τις διαστάσεις. Τα constraints ορίζουν τον τρόπο συμπεριφοράς των διαστάσεων ή και τον αναλογιών, δηλαδή οι διαστάσεις οδηγούνται μέσα από αυτά. Για παράδειγμα εάν δύο διαστάσεις έχουν οριστεί μέσω των constraints ως ίσες (EQ) τότε αν αλλάξει η μία τότε θα αλλάξει και η άλλη, επιτυγχάνοντας τη συμμετρία με άξονα το κεντρικό constraint. (Εικ.21)

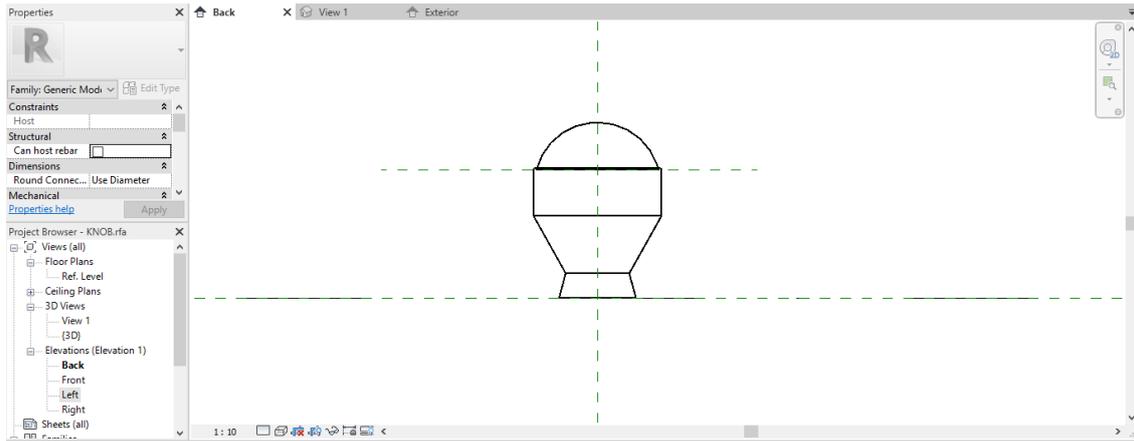


Εικόνα 21: Επίπεδα αναφοράς.

Στο στάδιο αυτό σχεδιάζονται όλα τα στοιχεία του αντικειμένου (οπτικοποιούνται ως μαύρες γραμμές) σε επίπεδο κάτοψης και εντάσσονται σε επίπεδα αναφοράς (οπτικοποιούνται ως πράσινες διακεκομμένες γραμμές). Ρυθμίζεται ο τρόπος συμπεριφοράς τους όπως για παράδειγμα ότι τα δύο φύλλα θα είναι πάντα ίσα μετά από κάθε αλλαγή των διαστάσεων τους, ότι τα φύλλα ανοίγουν προς τα έξω και οι επιτρεπόμενες διαστάσεις των κουφωμάτων. Οι γραμμές σχεδίασης «κλειδώνουν» στα επίπεδα αναφοράς και καθώς οι επιτρεπόμενες τιμές πάχους, ύψους κλπ ορίζονται, αλλά και η γενικότερη αλλαγή της μορφολογίας αποτρέπεται, το αντικείμενο αυτό της βιβλιοθήκης είναι αυστηρώς ορισμένο ως τυπολογία. Γενικότερα τις διαστάσεις που θέλουμε να κρατήσουμε σταθερές τις «κλειδώνουμε», ενώ αυτές που θέλουμε να μεταβάλλεται το μέγεθος τους θα τις μετατρέψουμε σε παραμέτρους μήκους.

Οι κατόψεις ενός «family», όπως και σε ένα «project» κτιρίου, ορίζονται από στάθμες (levels). Οι στάθμες είναι κι εκείνες επίπεδα αναφοράς οι οποίες δημιουργούν δικά τους «views» δηλαδή κατόψεις και όψεις κάθε είδους. Συνεπώς, με αντίστοιχη μεθοδολογία σχεδιάζονται και οι ταμπλάδες στην όψη, ορισμένοι με βάση επίπεδα αναφοράς κάθετης διεύθυνσης.

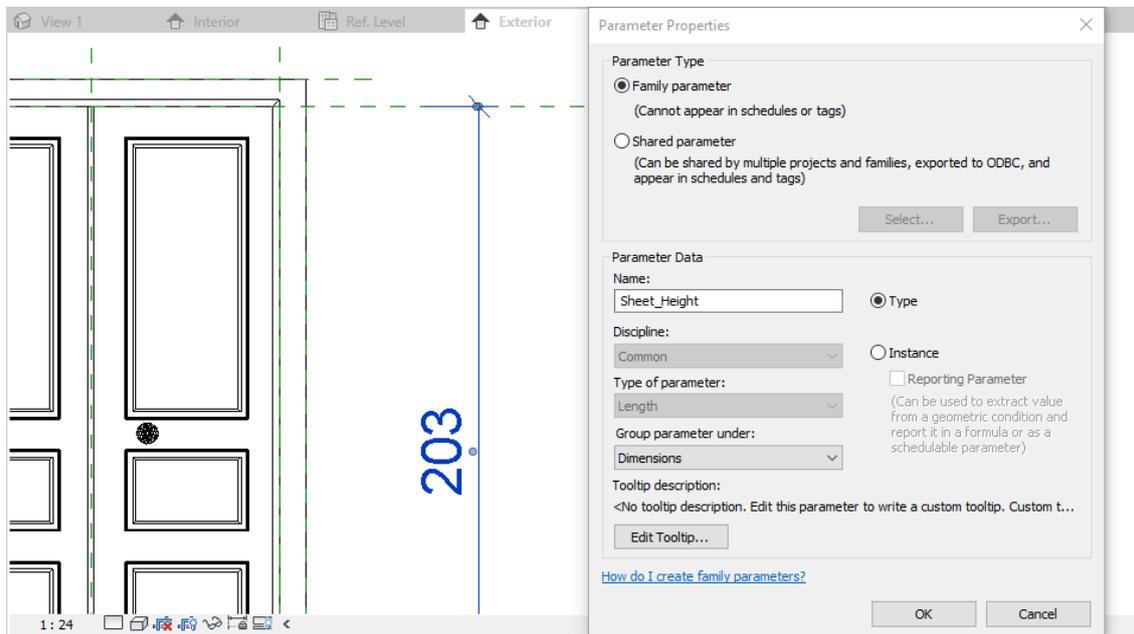
Εξαιτίας της ύπαρξης πολλών επιπέδων αναφοράς, για να οργανώσουμε και να απλοποιήσουμε τη διαδικασία σχεδίασης πολλαπλών αντικειμένων σε μια οικογένεια Revit, μπορούμε να εντάξουμε μια οικογένεια μέσα σε μια άλλη. Δημιουργούμε για παράδειγμα μια νέα οικογένεια για την χειρολαβή της πόρτας χρησιμοποιώντας το template «generic model» και σχεδιάζουμε το πόμολο. (Εικ.22) Ο τύπος της οικογένειας επιλέγουμε να είναι instance εάν αναφερόμαστε σε ένα είδος χειρολαβής, ή σαν type εάν υπάρχουν και άλλα είδη. Στη συνέχεια επιλέγουμε «load into project» έχοντας αφήσει ανοιχτό τον family editor της πόρτας. Η πρόσβαση στην οικογένεια που ενσωματώσουμε είναι πάντα εφικτή με διπλό κλικ σε αυτή. Με τη διαδικασία μεταφέρονται και όλοι οι παράμετροι της χειρολαβής.



Εικόνα 22: In-place family της χειρολαβής.

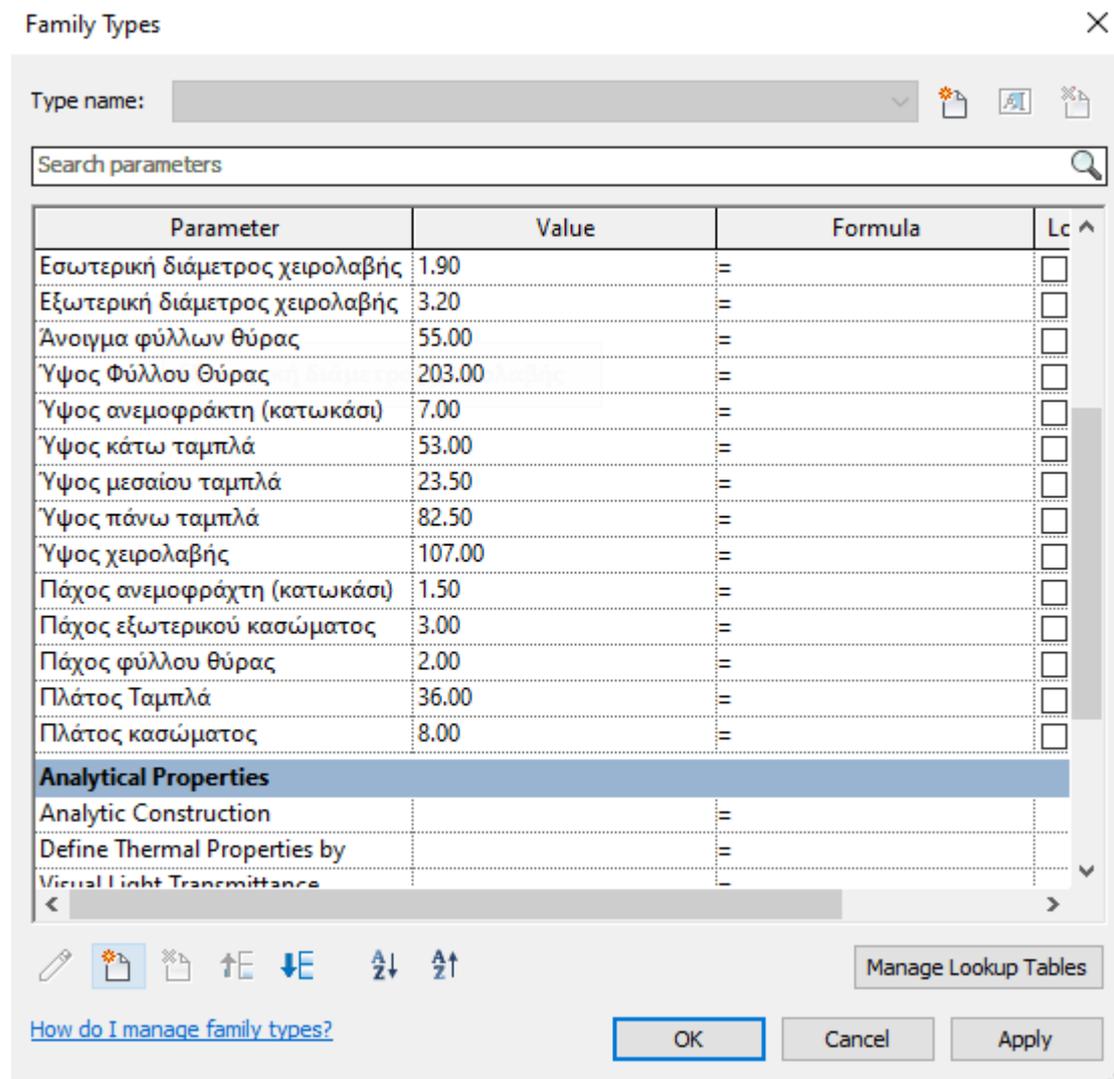
2.2.2 Παραμετροποίηση

Το επόμενο στάδιο είναι η δήλωση των διαστασιολογικών παραμέτρων. Επιλέγοντας συγκεκριμένες διαστάσεις μεταξύ των επιπέδων αναφοράς τις ορίζουμε ως παραμέτρους και τις περιγράφουμε με σαφήνεια. Ονομάζουμε την παράμετρο και την περιγράφουμε ως προς το είδος της και την ομάδα παραμέτρων στην οποία εντάσσεται. Για παράδειγμα, το ύψος της πόρτας είναι μια κοινή παράμετρος μήκους που θα ενταχθεί στις παραμέτρους διαστάσεων. Αφορά «type» και όχι «instance» καθώς το «family» θέλουμε να το εντάξουμε σε βιβλιοθήκη και όχι μόνο σε «project». (Εικ.23)



Εικόνα 23: Είσοδος παραμέτρου.

Από το παράθυρο «family types» μπορεί κανείς να εποπτεύσει συνολικά τις παραμέτρους που έχει προσθέσει. Οι διαστασιολογικές παράμετροι που εισάγονται κατά τη σχεδίαση εμφανίζονται αυτόματα εδώ, ενώ όλες οι υπόλοιπες εισάγονται χειροκίνητα από αυτό το παράθυρο. (Εικ.24) Οι παράμετροι κλειδώνουν και από αυτό το παράθυρο και στην περίπτωση αυτή, κάθε αλλαγή των αξόνων αναφοράς θα επιτρέπεται ή όχι από τις αντίστοιχες «κλειδωμένες» παραμέτρους.



Εικόνα 24: Σύνολο διαστασιολογικών παραμέτρων.

Είδη παραμέτρων

Παράμετρος συστήματος (System Parameter): Πρόκειται για προϋπάρχουσα παράμετρος σε κάθε οικογένεια, αποθηκευμένη στο πρόγραμμα. Οι περισσότερες παράμετροι μπορούν να εμφανιστούν στους συγκεντρωτικούς πίνακες (Schedules and Tags).

Παράμετροι Οικογένειας (Family Parameters): Παράμετροι που δημιουργήθηκαν στο «Family Editor», αποθηκεύονται μόνο μέσα στην οικογένεια που δημιουργήθηκαν και δεν εμφανίζονται στους συγκεντρωτικούς πίνακες (Schedules and Tags).

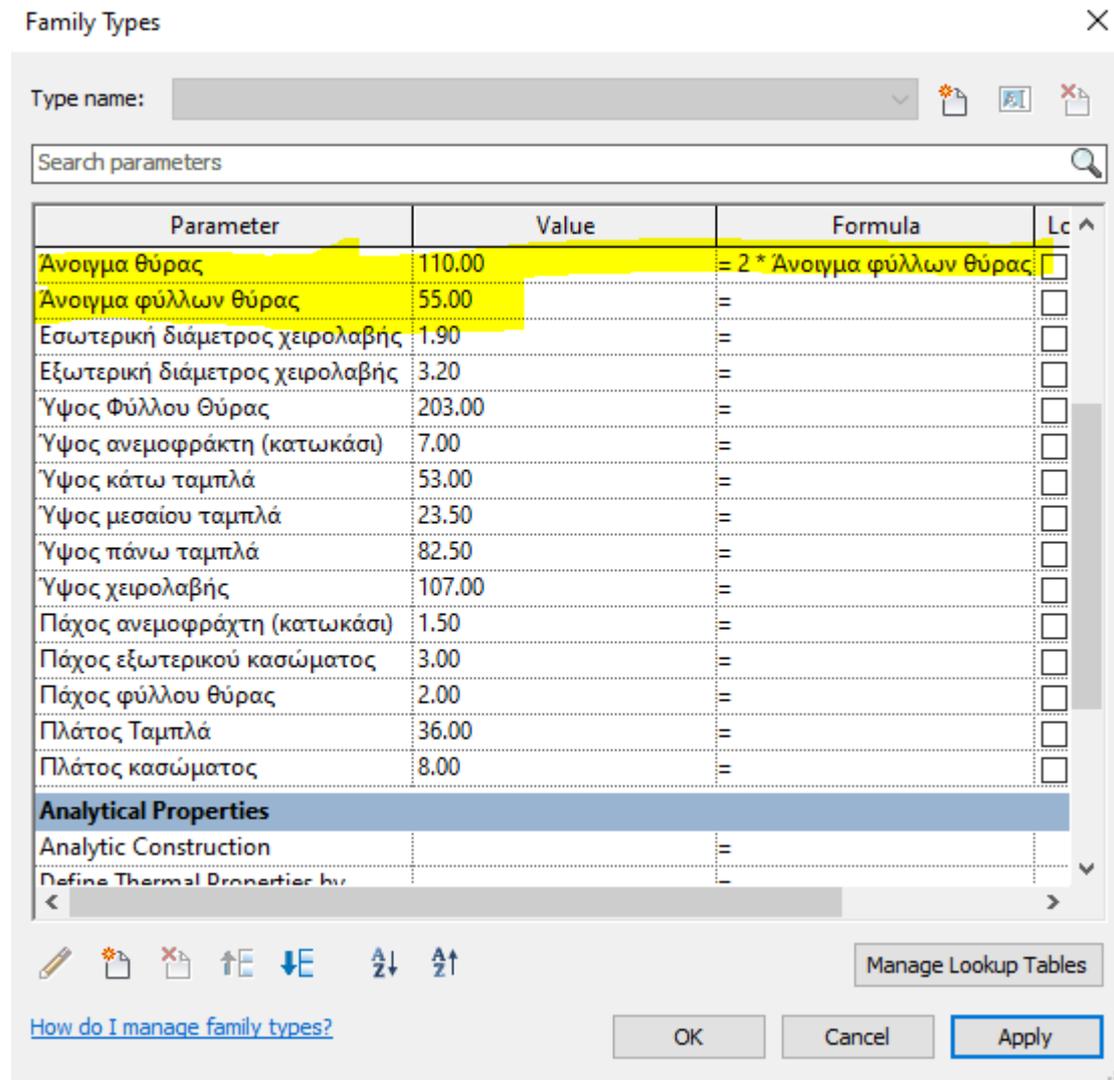
Παράμετρος Έργου (Project Parameter): Παράμετροι που δημιουργήθηκαν εντός του «project» οι οποίες και παραμένουν μέσα σε αυτό. Εμφανίζονται στους πίνακες (Schedules) αλλά όχι στα «tags».

Κοινόχρηστη Παράμετρος (Shared Parameter): είναι εκείνη που δημιουργήθηκε σε ένα εξωτερικό αρχείο (.txt), μπορεί να χρησιμοποιηθεί από διάφορα «projects» και εμφανίζεται στους συγκεντρωτικούς πίνακες (Schedules and Tags).

Formulas

Οι φόρμουλες αποτελούν ένα σύστημα το οποίο ανταποκρίνεται στις σχεδιαστικές επιλογές του χρήστη της οικογένειας Revit με αυτόματο τρόπο. Πρόκειται δηλαδή για κανόνες τους οποίους θέτουμε προκαταβολικά για να ικανοποιήσουμε ορισμένες συνθήκες. Στις πράξεις της «formula» πρέπει ο τύπος της παραμέτρου να είναι ο ίδιος.

Για παράδειγμα στην οικογένεια που σχεδιάστηκε θα μπορούσε να εισαχθεί μια φόρμουλα που θα ορίζει το άνοιγμα της θύρας ίσο με δύο φορές το άνοιγμα του φύλλου. Στην περίπτωση αυτή δεν εξασφαλίζει κάποιον ιδιαίτερο υπολογιστικό ελιγμό, όμως σε περίπτωση που το φύλλο της πόρτας αντικατασταθεί, τότε θα προκύψει αυτόματα το νέο άνοιγμα. (Εικ.25)

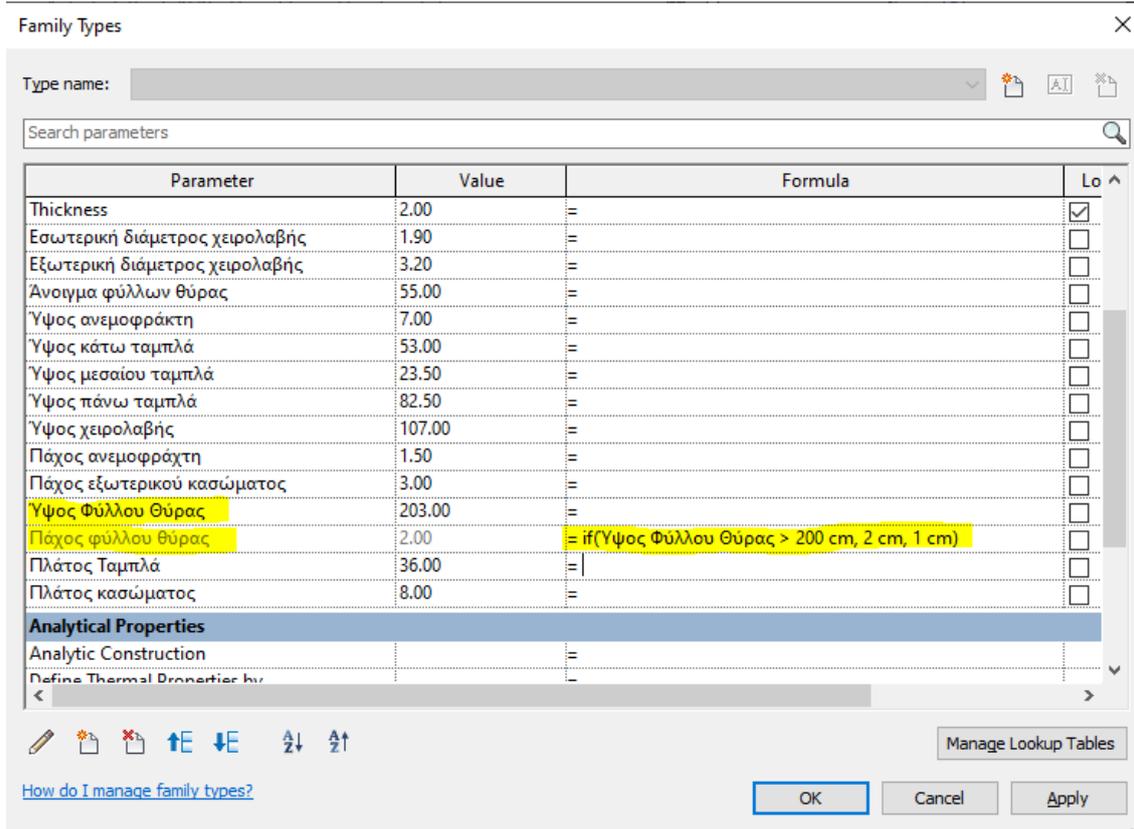


Εικόνα 25: Χρήση φόρμουλας για υπολογισμό μήκους.

Οι φόρμουλες του Revit έχουν ακόμη περισσότερες δυνατότητες με κυριότερη την χρήση «logic» εντολών. Για παράδειγμα, η εντολή «IF»:

if (<condition> , <result-if-true> , <result-if-false>)

Στην περίπτωση της επικείμενης θύρας είναι δυνατή η παραμετροποίηση του πάχους της θύρας στην περίπτωση που σε θύρες έως 2μ βάζανε μονές σανίδες και σε άνω των 2μ βάζανε διπλές. (Εικ.26)



Εικόνα 26: Συνθήκη «if» σε φόρμουλα.

2.2.3 Υλικά

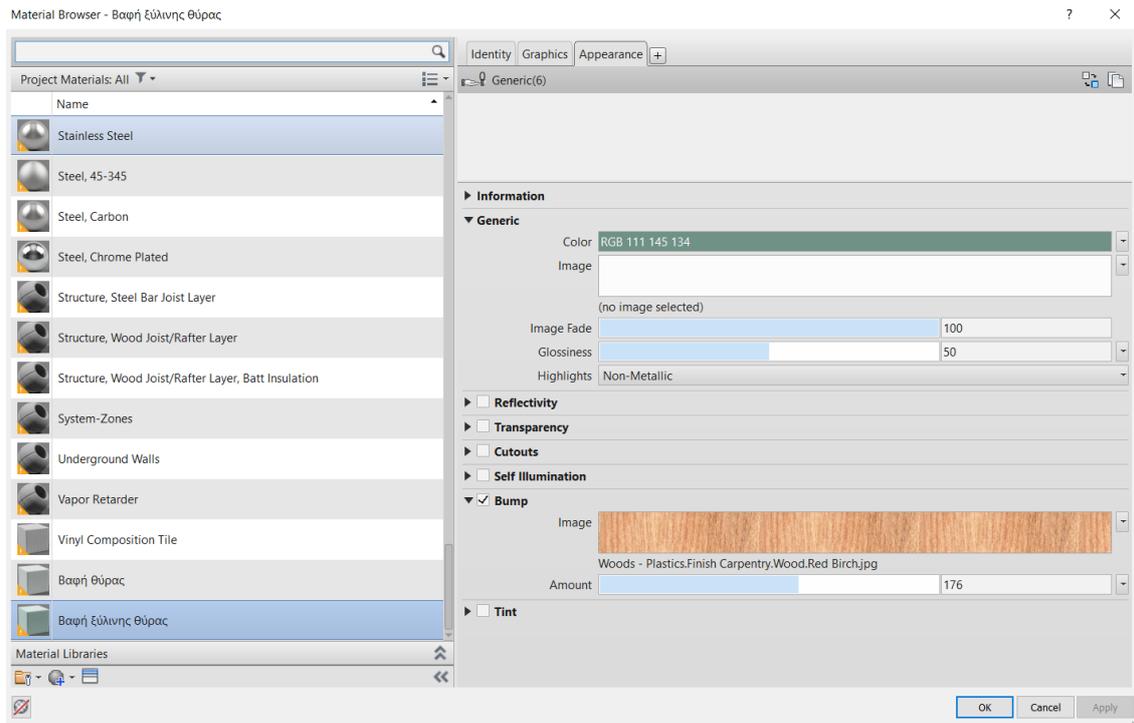
Στο Autodesk Revit τα υλικά (materials) ελέγχουν την οπτικοποίηση των επιφανειών στις διάφορες όψεις και στις φωτορεαλιστικές εικόνες. Τα υλικά μπορούν να ενσωματωθούν σε στοιχεία (elements) μέσα στις οικογένειες και να παραμετροποιηθούν. Αποθηκεύονται στην βιβλιοθήκη υλικών (material library) και μπορούν να μεταφερθούν από υπολογιστή σε υπολογιστή. Ως αποτέλεσμα, είναι δυνατή η αναπαράσταση συγκεκριμένου υλικού που διασώζεται και αποτελεί στοιχείο πολιτισμικής κληρονομιάς. Με τη χρήση ορθοφωτογραφίας μάλιστα μπορεί να ψηφιοποιηθεί ένα συγκεκριμένο υλικό και να παραμετροποιηθούν οι ιδιότητες του με ακρίβεια, το οποίο και να σωθεί στη βιβλιοθήκη υλικών του Revit. Για παράδειγμα αν σε έναν οικισμό με πολιτισμικό ενδιαφέρον που έχει μερικώς διασωθεί, παρατηρείται ένα συγκεκριμένο είδος πωρόλιθου με διακριτά χαρακτηριστικά και ο οικισμός αυτός πρόκειται να αποκατασταθεί γραφικά, τότε μπορεί μέσω λήψης δειγματοληπτικών ορθοφωτογραφιών να καταγραφεί η υφή του (texture) και μέσω εικόνας που μπορεί να αναπαραχθεί χωρίς οπτικό λάθος (seamless texture) να δημιουργηθεί το υλικό στο Revit.

Οι ιδιότητες ενός υλικού που μπορούν δηλωθούν ή και να παραμετροποιηθούν είναι:

- οι φυσικές του ιδιότητες που αφορούν κυρίως την αντοχή του υλικού
- οι θερμικές του ιδιότητες όπως η θερμοχωρητικότητα του
- οι ιδιότητες της εμφάνισής του, δηλαδή η αντανάκλαστικότητα και η φωτεινότητα του
- γενικές ή προσαρμοσμένες ιδιότητες που στην περίπτωση του HBIM αφορούν ενδεχομένως τη φυσική φθορά του υλικού με την πάροδο του χρόνου.

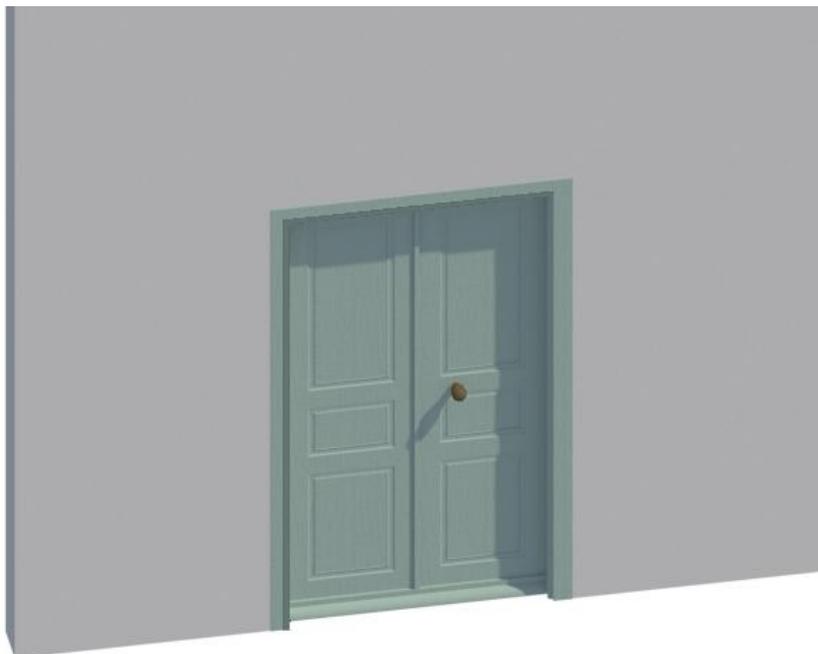
Για την ενσωμάτωση των υλικών της πόρτας που διερευνήθηκε προστέθηκε το ξύλο ως υλικό κατασκευής και ο χαλκός για τη χειρολαβή. Στη συνέχεια ορίστηκε μια τελική επιφάνεια ελάχιστου πάχους για την οποία θα χρησιμοποιηθεί ως υλικό η βαφή της πόρτας η οποία θα αποδώσει την εξωτερική εμφάνιση. Δημιουργήθηκε ένα νέο υλικό με την ονομασία «βαφή ξύλινης θύρας» όπου προσδιορίστηκε ακριβώς ο χρωματικός τόνος λαμβάνοντας τις τιμές

«RGB» (Red Green Blue) από την φωτογραφία της συγκεκριμένης πόρτας, ενώ προσδόθηκε και η υφή με βάση το ξύλο κατασκευής. (Εικ.27)



Εικόνα 27: Δημιουργία υλικού τελικής επίστρωσης της θύρας.

Το τελευταίο στάδιο της αναπαράστασης ενός μοντέλου BIM είναι η φωτορεαλιστική απεικόνιση. Η πιο ολοκληρωμένη μηχανή φωτορεαλισμού είναι το «VRAY» που χρησιμοποιείται ως «plugin» από πληθώρα σχεδιαστικών προγραμμάτων. Θέτοντας παραμέτρους όπως η ένταση και η θέση του φωτισμού αλλά και η αντανάκλαστικότητα και η φωτεινότητα των υλικών «VRAY», προκύπτει αποτέλεσμα ικανοποιητικό για την ψηφιοποίηση του στοιχείου. (Εικ.28)



Εικόνα 28: Φωτορεαλιστική απεικόνιση της θύρας.

2.3 Περιγραφή της διαδικασίας επεξεργασίας νέφους σημείων από φωτογραμμετρία

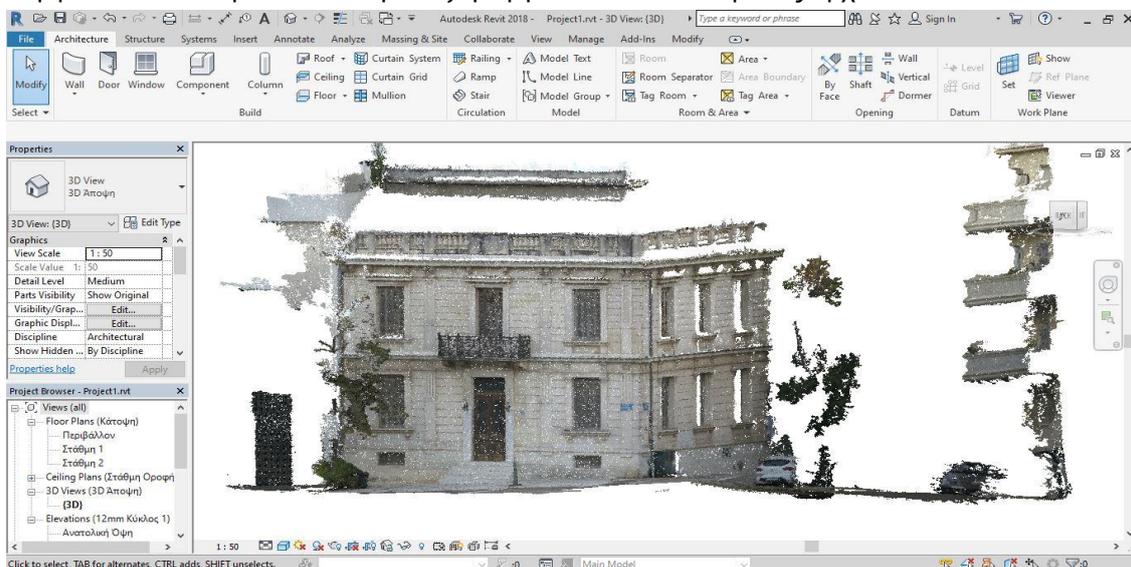
2.3.1 Εισαγωγή νέφους σημείων σε περιβάλλον BIM.

Η διαδικασία λήψης πρωτογενούς πληροφορίας για κτίρια πολιτιστικής κληρονομιάς απλοποιείται και γίνεται σαφέστερη με τη δημιουργία ενός νέφους σημείων. Με τη βοήθεια ενός drone λήφθηκαν οι φωτογραφίες από το κτίριο Α.



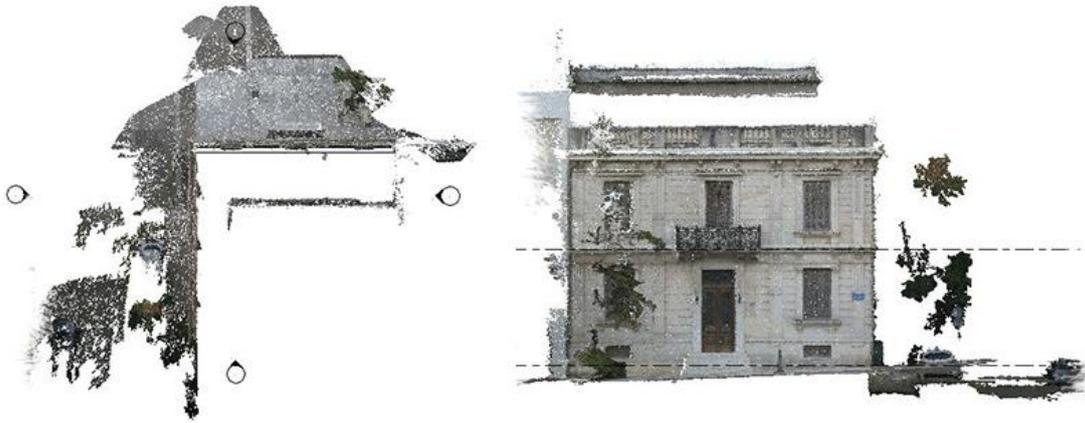
Εικόνα 29: Μοντέλο φωτογραμμετρίας κατόπιν λήψης φωτογραφιών με drone.

Με το πρόγραμμα Metashape της Agisoft πραγματοποιήθηκε διαδικασία φωτογραμμετρίας με τις μέγιστες ρυθμίσεις. Το προϊόν φωτογραμμετρίας έχει πάνω από 500.000 επιφάνειες και η γεωμετρία του ελέγχθηκε ότι αντιστοιχεί στην πραγματικότητα με απόκλιση επιπέδου ενός εκατοστού. (Εικ.29) Το νέφος σημείων θα πρέπει να εισαχθεί σε περιβάλλον Revit γι' αυτό και έγινε εξαγωγή από το Metashape ως αρχείο ".las".



Εικόνα 30: Τριδιάστατη απεικόνιση του νέφους σημείων.

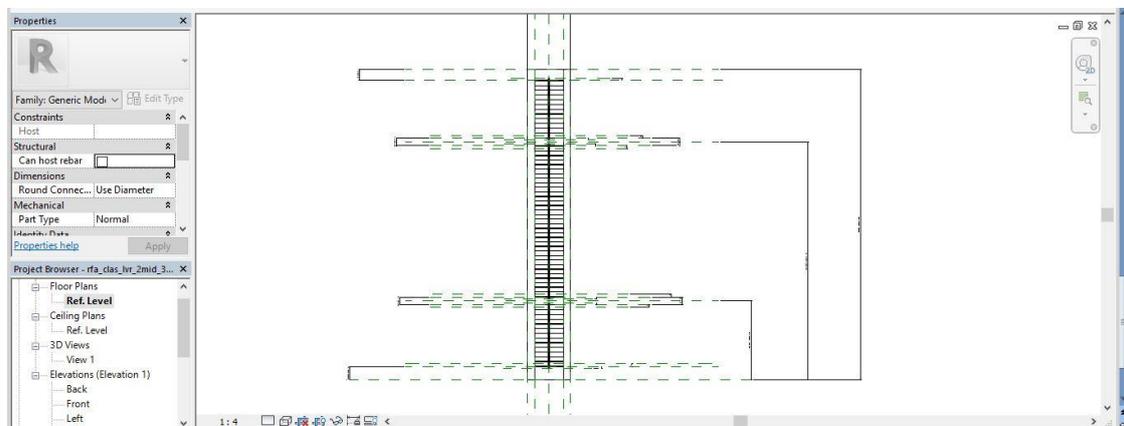
Κατά την εισαγωγή του νέφους σημείων στο Revit μετατράπηκε σε αρχείο ".rcp" το οποίο είναι συμβατό με το πρόγραμμα και μετακινήθηκε με τρόπο ώστε να αντιστοιχεί στους άξονες του περιβάλλοντος εργασίας, δηλαδή τα «reference planes» (Εικ.30,31). Η διαδικασία αυτή είναι απαραίτητη για τη σχεδίαση του κτιρίου με σκοπό τη δημιουργία της βιβλιοθήκης με τα στοιχεία του.



Εικόνα 31:Κάτοψη και όψη του νέφους σημείων.

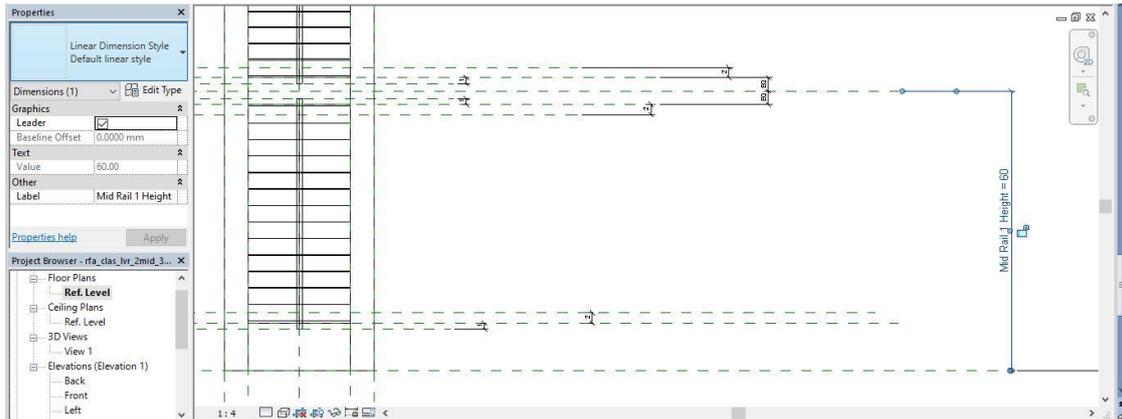
2.3.2 Εισαγωγή στοιχείου της όψης στη βιβλιοθήκη BIM και παραμετροποίησή του

Επιλέχθηκε ένα στοιχείο της όψης το οποίο είναι τα παραθυρόφυλλα των παραθύρων, γαλλικού τύπου, τα οποία θα σχεδιαστούν ως «family» με συγκεκριμένες παραμέτρους. Κατόπιν της σχεδίασης, η οποία μπορεί να βασιστεί σε ένα πατζούρι της υπάρχουσας βιβλιοθήκης του Revit, σημαντική είναι η παραμετροποίηση η οποία μπορεί να επιτρέψει τον τρόπο συμπεριφοράς του αντικειμένου κατά την αλλαγή των διαστάσεων του. (Εικ.32)



Εικόνα 32:Σχεδίαση και παραμετροποίηση πατζουριού ως family στη βιβλιοθήκη του Revit.

Λαμβάνοντας μια ορθοφωτογραφία από το «Metashape» το χρησιμοποιούμε σαν «trace reference» στο family editor για να σχεδιάσουμε την όψη του παραθυροφύλλου. Στη συνέχεια μετράμε τα πάχη και τα μεταφέρουμε στην τομή του «family editor». Όπως έχει ήδη περιγραφεί στο προηγούμενο παράδειγμα, κάποιες διαστάσεις μπορούν να μείνουν σταθερές και κάποιες όχι όταν κάποιος θέλει να δημιουργήσει μια παραλλαγή αυτού του τύπου αντικειμένου. Επίσης, κάποιες διαστάσεις μπορούν να αλλάξουν αναλογικά με κάποιες άλλες κατά την αλλαγή μεγέθους του. Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται ότι διατηρείται σ' ένα βαθμό ο αρχιτεκτονικός τύπος της συγκριμένης καταχώρησης στη βιβλιοθήκη και παράλληλα απλοποιείται η διαδικασία μετατροπής του.(Εικ.33)



Εικόνα 33: Έλεγχος της συμπεριφοράς του αντικειμένου στην αλλαγή των μεγεθών του.

Στη συνέχεια εισάγουμε το πατζούρι στο project με το νέφος σημείων του κτιρίου Α και ελέγχουμε πως όντως εφάπτεται στο αντίστοιχο του νέφους σημείων. (Εικ.34) Το αντιγράφουμε ώστε να συμπληρωθεί όλο το σκίαστρο του παραθύρου και το αποθηκεύουμε και όλο μαζί στη βιβλιοθήκη σαν ένα. Η διαδραστικότητα του μοντέλου του πατζουριού επιτρέπει να το εισάγουμε σε άλλο νέφος σημείων για τον έλεγχο του τύπου. Επίσης είναι δυνατή και η προσθήκη πληροφορίας σχετικά με την υλικότητα, τη χρονολόγηση, το σημείο εντοπισμού και τον τρόπο κατασκευής του παραθύρου.



Εικόνα 34: Σχεδίαση BIM πατζουριού, νέφος σημείων και αρχική φωτογραφία

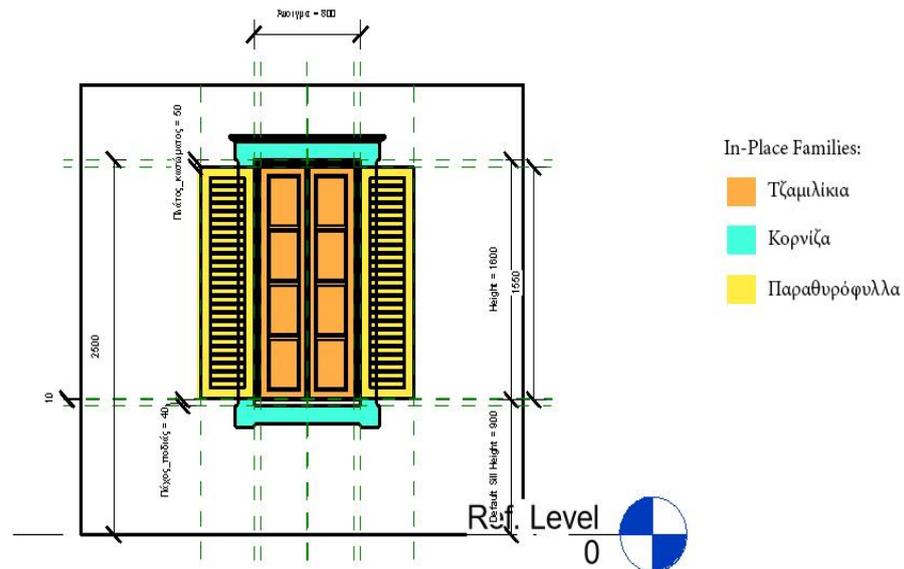
2.4 Μελέτη εφαρμογής: σχεδιασμός παραμετρικής όψης Νεοκλασικής κατοικίας

Με βάση τη λογική σχεδίασης οικογένειας μέσα σε οικογένεια μπορεί κανείς να σχεδιάσει και να παραμετροποιήσει ένα εύρος τυπολογιών που θα αποτελούνται από συνδεδεμένα παραμετρικά στοιχεία. Εάν θεωρήσουμε την όψη ενός νεοκλασικού κτιρίου ένα τέτοιο σύνολο, μπορεί να γίνει λόγος για παραμετροποίηση, καθώς η οργάνωση των στοιχείων υπακούει σε κανόνες συμμετρίας, αρμονίας και ευρυθμίας. Αφού σχεδιαστούν ορισμένες τυπικές μορφές των αρχιτεκτονικών μελών της όψης ως διαφορετικές οικογένειες, μπορούν να ενσωματωθούν σε ένα πρότυπο project στο οποίο θα παραμετροποιείται η θέση τους, θέτοντας τους κανόνες με τους οποίους μπορεί κάποιος να επεξεργαστεί την όψη, χρησιμοποιώντας την ως πρότυπο. Η αρχιτεκτονική του νεοκλασικισμού ενδείκνυται για μια τέτοια έρευνα καθώς ο καθαρός νεοκλασικισμός διέπνυται από τυποποιημένα μορφολογικά συστήματα και κανόνες, μέσα από τα οποία έπρεπε να διατυπωθεί ο ρυθμός.

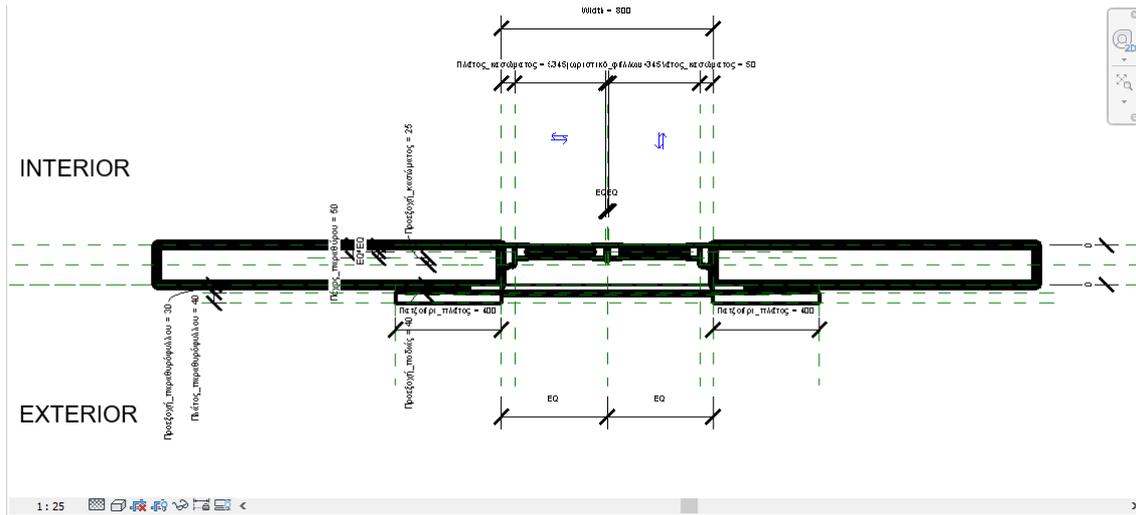
Τα αρχιτεκτονικά στοιχεία των νεοκλασικών όψεων, δηλαδή θύρες, παράθυρα, μπαλκόνι με φουρούσια και γείσα παρουσιάζουν ποικιλομορφία παρά τα εμφανή κοινά τους στοιχεία, οπότε είναι δύσκολο να σχεδιαστεί κάποιος τύπος που θα συνοψίζει όλες τις πιθανές εκδοχές. Συνεπώς, για τις ανάγκες τις εργασίας θα λάβουμε μια τυπική τους μορφή επισημαίνοντας ως παραμέτρους ορισμένες βασικές μορφολογικές εκδοχές. Σε καμία περίπτωση δεν θα μπορούσε να περιοριστεί η αρχιτεκτονική έκφραση του νεοκλασικισμού σε μια πρότυπη όψη και ο στόχος της μελέτης αφορά στον τρόπο μεταφοράς μορφολογικών αρχιτεκτονικών κανόνων σε περιβάλλον HBIM.

2.4.1 Παράθυρα

Χρησιμοποιώντας ένα πρότυπο (template) παραθύρων το οποίο περιλαμβάνει πρότυπο τοίχο σχεδιάζεται η οικογένεια ενός κλασικού τύπου παραμετρικών παραθύρων. Για τον σχεδιασμό της οικογένειας Revit των παραθύρων έγινε πρόβλεψη για τις επιμέρους οικογένειες οι οποίες είναι το πλαίσιο, τα τζαμιλίκια και τα παραθυρόφυλλα. (Εικ.35,36) Ως υλικό χρησιμοποιήθηκε το ξύλο, όπως και συνηθιζόταν σχεδόν σε όλη την περίοδο του νεοκλασικισμού.

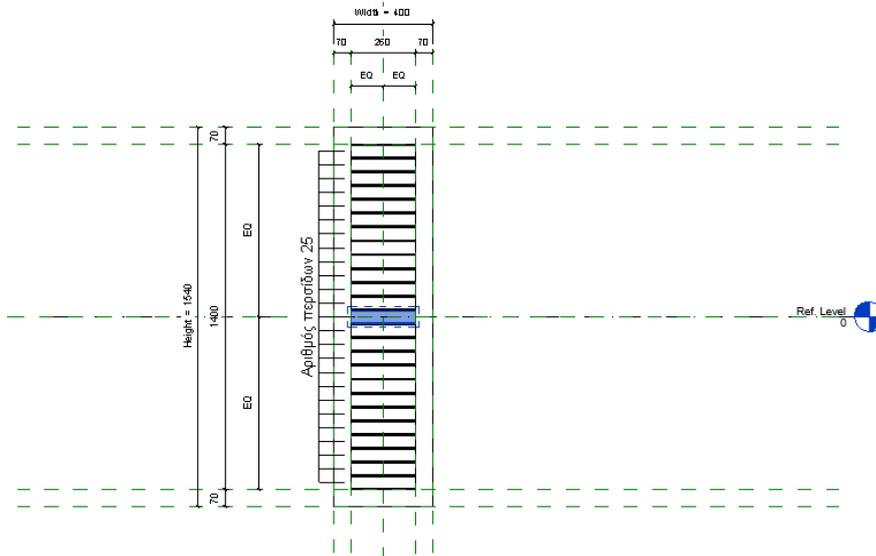


Εικόνα 35: In-place families σε ένα παράθυρο.



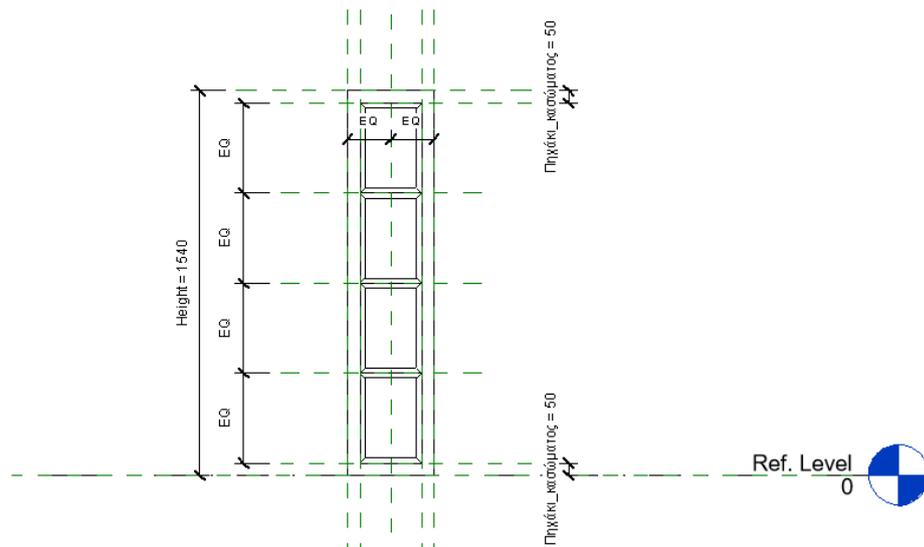
Εικόνα 36: Πλήρης σχεδιασμός σε άξονες αναφοράς.

Στα παραθυρόφυλλα έπρεπε να παραμετροποιηθεί ο αριθμός των περσίδων ώστε να προσαρμόζεται στις αλλαγές του ύψους διατηρώντας σταθερές τις μεταξύ τους αποστάσεις. Η λύση ήταν να προσδιοριστεί ο αριθμός του με μια εντολή «array» και ο οποίος να προκύπτει από μια φόρμουλα η οποία διαιρεί το εκάστοτε ύψος του παραθυρόφυλλου με την σταθερή επιθυμητή απόσταση μεταξύ των περσίδων. (Εικ.37)



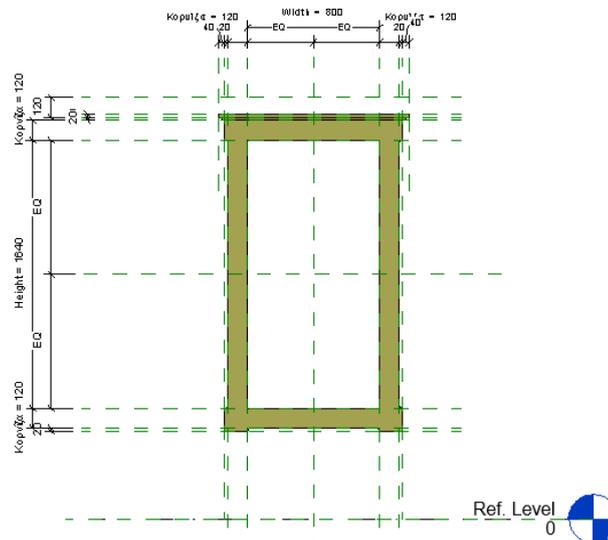
Εικόνα 37: Παραμετροποίηση περσίδων παραθυρόφυλλου.

Σχετικά με τα τζαμιλίκια η παραμετροποίηση είχε σχέση με κάτι παρόμοιο. Έπρεπε οι αποστάσεις του ύψους να είναι ίσες και να μην υπερβαίνουν μια αναλογία ύψους πλάτους. Επίσης, η ξυλεία των κουφωμάτων πρέπει να έχει συγκεκριμένο πάχος για όλο το φύλλο. (Εικ.38)



Εικόνα 38: Σχεδιασμός in-place οικογένειας με τζαμιλίκια.

Για την πλαισίωση του παραθύρου έπρεπε να γίνουν ορισμένες ρυθμίσεις ώστε να βρεθούν οι άξονες συμμετρίας όταν τα παράθουρα τοποθετηθούν στην όψη. (Εικ.39) Το ύψος δεν ορίστηκε και παρέμεινε ελεύθερο καθώς θα παραμετροποιηθεί σε επόμενο στάδιο. Για έναν εναλλακτικό τύπο θα μπορούσαν να σχεδιαστούν και ρυθμιζόμενες γρίλιες με κινητά τεμπέκια όμως τέτοιες λεπτομέρειες κινητών μερών ξεφεύγουν την διερεύνησης παραμετροποίησης μιας όψης.



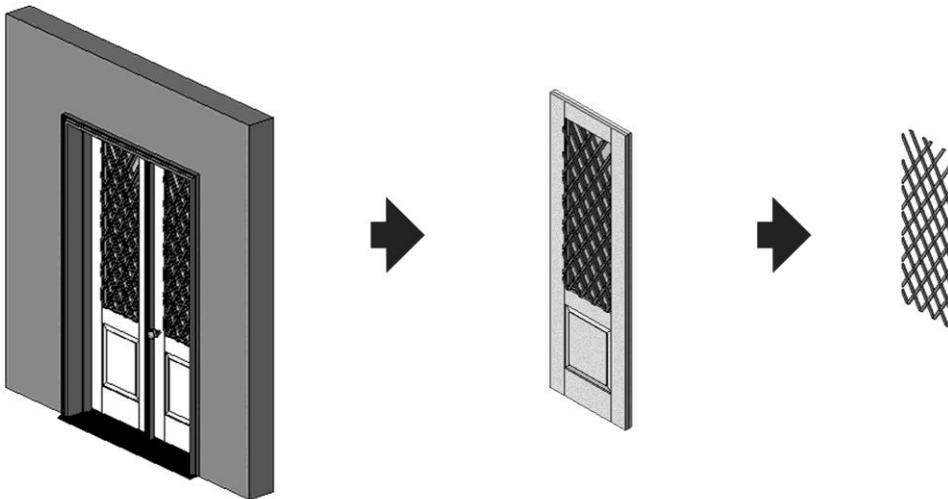
Εικόνα 39: Πλαισίωση του παραθύρου.

2.4.2 Εξώθυρες

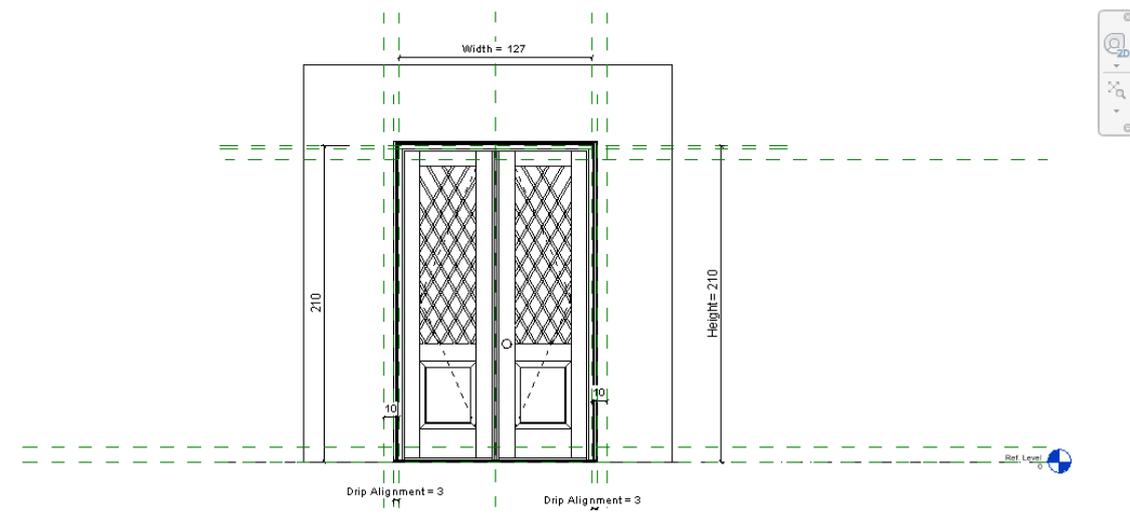
Οι εξώθυρες των κατοικιών χαρακτηρίζονται από την τυποποιημένη μορφή νεοκλασική μορφή με τους ορθοστάτες, τις τραβέρσες, τα τζαμιλίκια, τα περίτεχνα κιγκλιδώματα και με πληθώρα διακοσμητικών στοιχείων (κορνίζες, σκαλισμάτα που απέδιδαν κυμάτια, φρίζες και γείσα - πολλές φορές με φουρυσάκια, πρισματικές "φούσκες" στους ταμπλάδες, αρμοκάλυπτρο με μορφή ημικύκλιου, μπάζες, κοντραμπάζες κ.ά.) οι οποίες εξέφραζαν στυλιστικά το πνεύμα της εποχής, αλλά συγχρόνως αποδείκνυαν την ύπαρξη μιας υψηλής στάθμης ξυλουργικής τέχνης. (Καρδαμίτση - Αδάμη Μ., 2000) Ως εξώθυρες της όψης νεοκλασικού ρυθμού θα θεωρήσουμε δύο: την κεντρική θύρα και την θύρα του μπαλκονιού. Για την κεντρική θύρα σχεδιάζονται εκτός

από τα φύλλα και το κάσωμα, στοιχεία διακόσμου τα οποία είναι χαρακτηριστικά της περιόδου, δηλαδή πεσσοί και στέψη από γείσα και αέτωμα.

Η κεντρική θύρα εισόδου περιλαμβάνει ως in-place family το φύλλο της το οποίο με τη σειρά του έχει ως in-place family το χαρακτηριστικό χιαστί κάγκελο ασφαλείας. Η κάθε υποοικογένεια σχεδιάζεται, παραμετροποιείται και μεταφέρεται στο επόμενο επίπεδο κατά το οποίο οι παράμετροι είναι ορατοί αλλά μη επεξεργάσιμοι. Αυτή η ιεραρχία εξυπηρετεί την οργάνωση του αντικειμένου και τον σαφέστερο προσδιορισμό των υποστοιχείων σε επιμέρους κατόψεις, όψεις τομές ώστε τα σχέδια να είναι πιο εύκολα αναγνώσιμα. (Εικ.40,41)

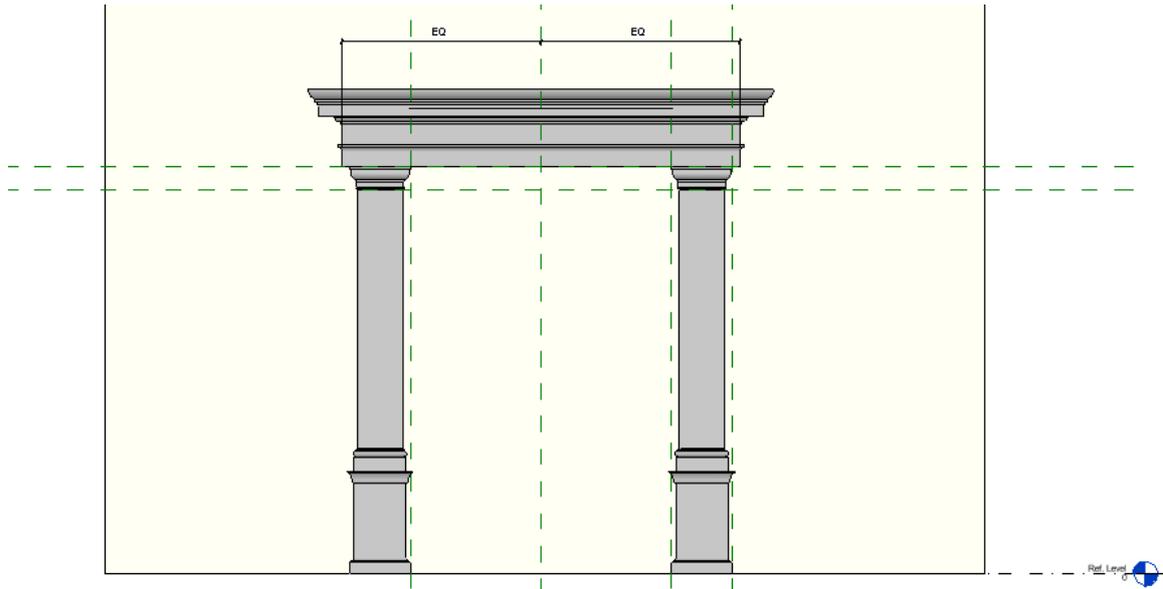


Εικόνα 40: Ανάλυση της ιεραρχίας των οικογενειών.

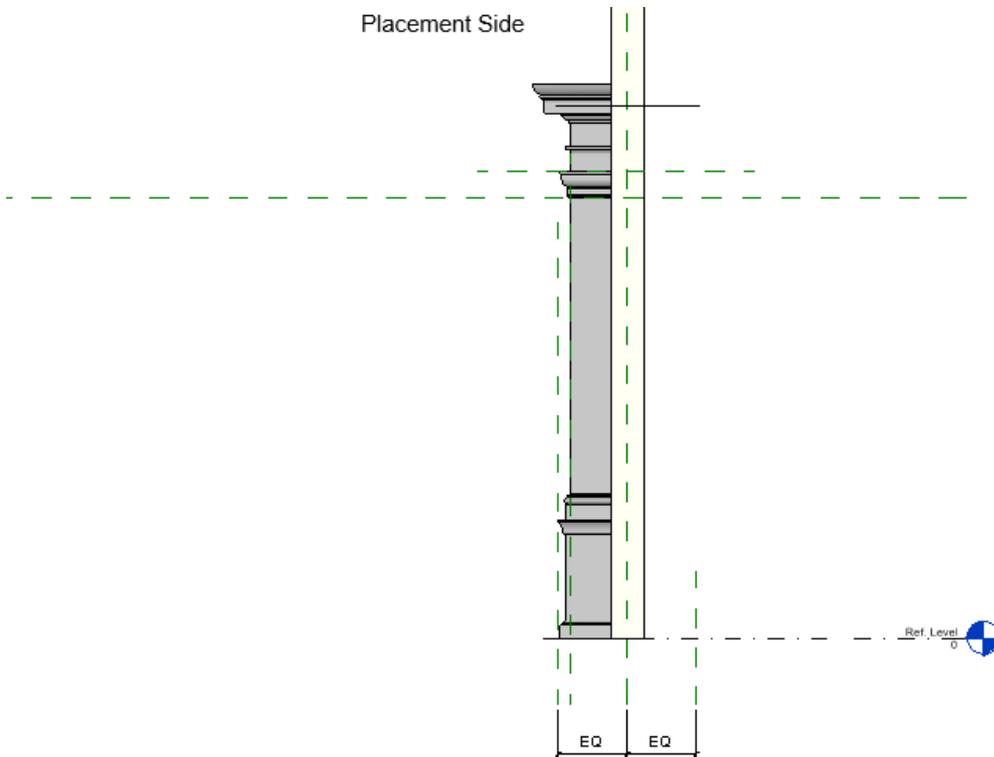


Εικόνα 41: Όψη της κεντρικής εξώθυρας.

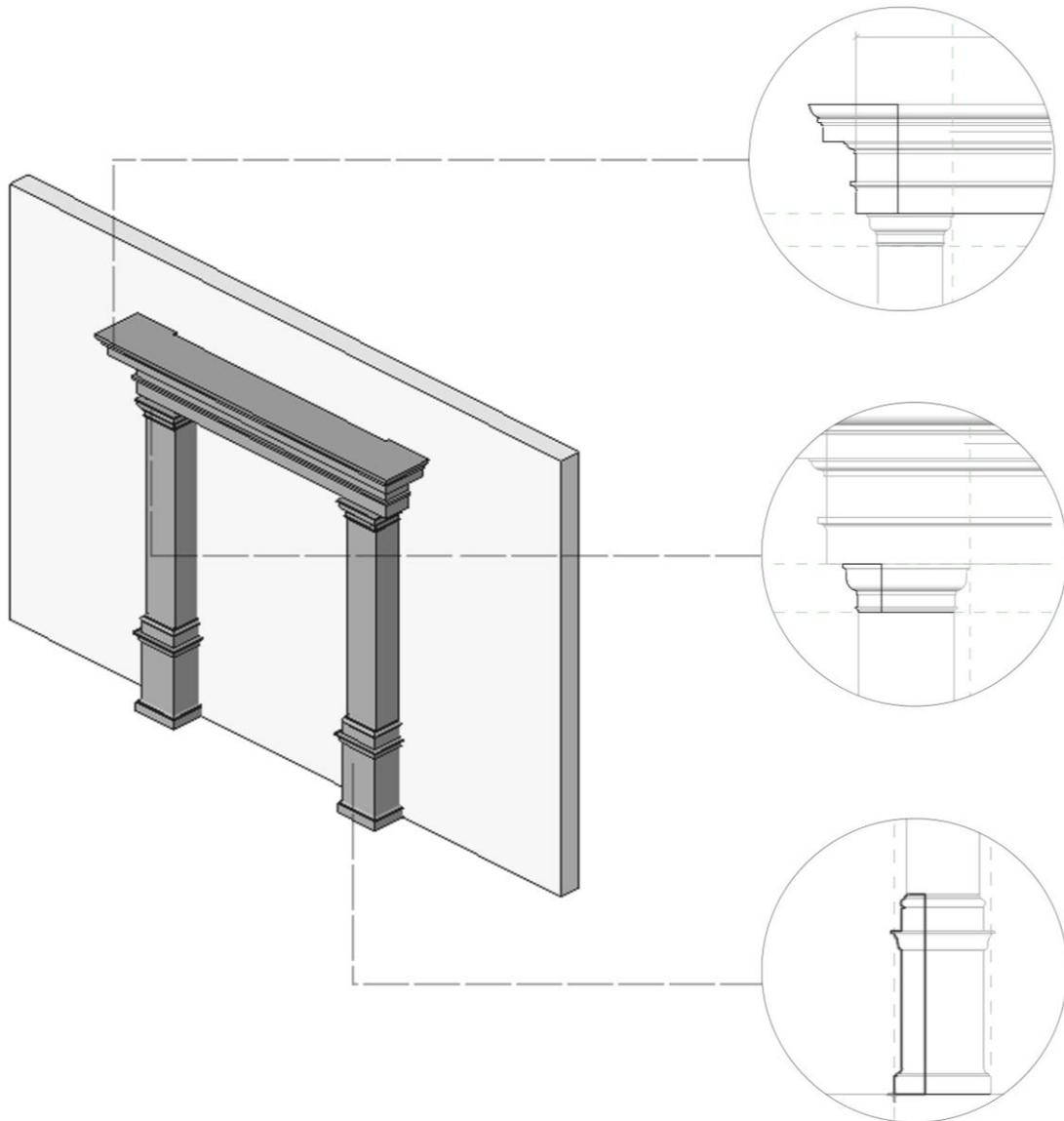
Στη συνέχεια σχεδιάζεται ως ξεχωριστή οικογένεια ο διάκοσμος της θύρας. Το κάθε στοιχείο, ακόμη και ο στυλοβάτης, σχεδιάζεται με την εντολή sweep, η οποία αναπαράγει ένα προφίλ με βάση έναν οδηγό και έτσι μορφοποιείται ο σύνθετος γλυπτικός διάκοσμος. Οι παράμετροι του διακόσμου αντιστοιχούν στις παραμέτρους της θύρας και έτσι θα υπάρξει τύπωση κατά την είσοδο τους σε project. (Εικ.42,43,44)



Εικόνα 42: Εμπρόσθια όψη πεσσών και στέψης κεντρικής θύρας.

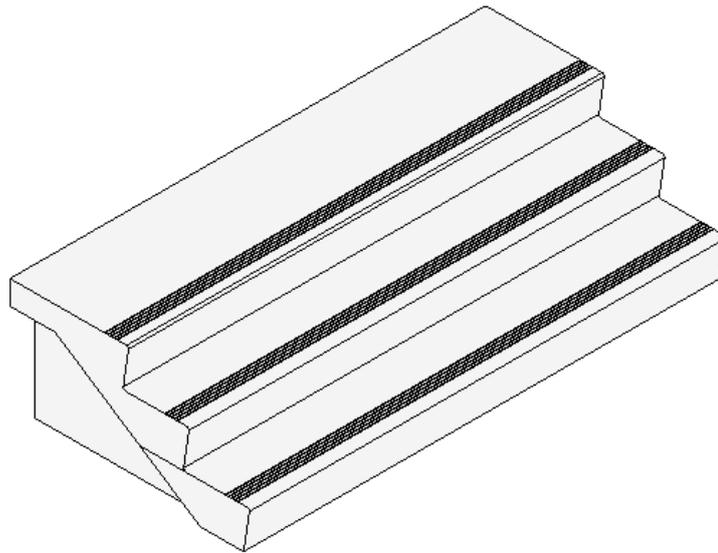


Εικόνα 43: Πλάγια όψη πεσσών και στέψης κεντρικής θύρας.



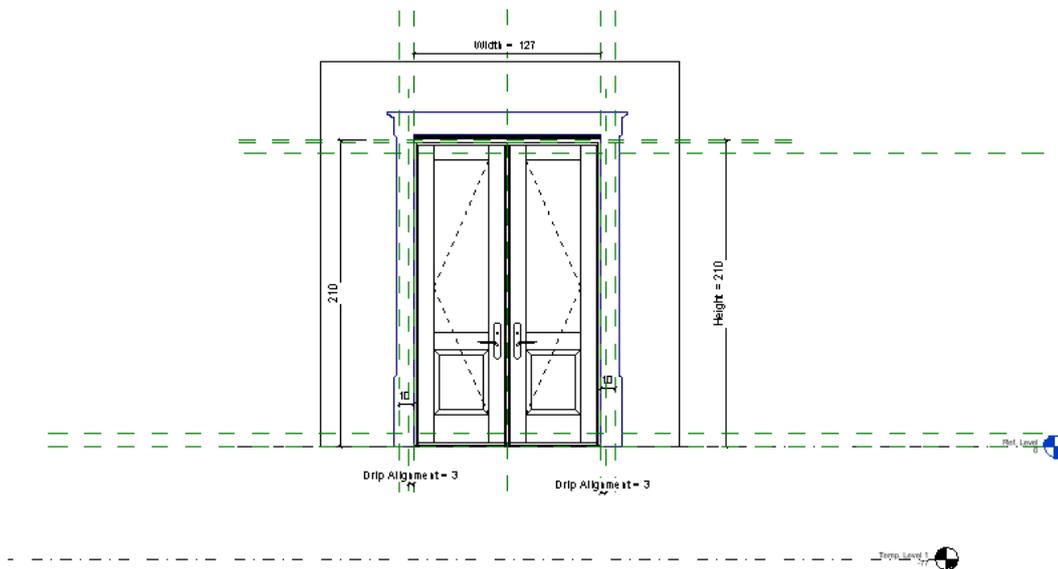
Εικόνα 44: Ανάλυση των προφίλ μορφοποίησης των γεισών και του στυλοβάτη.

Επιπλέον, σχεδιάζεται και η κλίμακα ανόδου στην είσοδο, η οποία δημιουργεί το υπερυψωμένο ισόγειο που χαρακτηρίζει τα οικήματα νεοκλασσικής αρχιτεκτονικής. (Εικ.45) Τα σκαλοπάτια προσαρμόζονται στο διαθέσιμο ύψος εφαρμόζοντας τον αρχιτεκτονικό κανόνα $62 \leq 2 \cdot u + \pi \leq 64$, όπου u : ύψος σκαλοπατιού και π : πάτημα σκαλοπατιού.

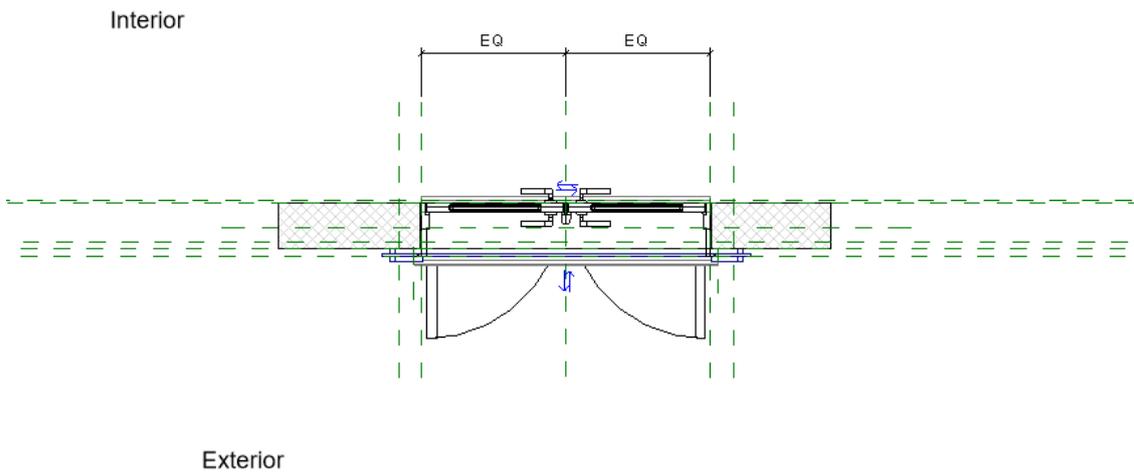


Εικόνα 45: Μαρμάρινη κλίμακα εισόδου.

Στη συνέχεια, με τους ίδιους άξονες αναφοράς σχεδιάζεται και η θύρα του μπαλκονιού, με τη διαφορά της αφαίρεσης του μεταλλικού κινγκλιδώματος, την μετατροπή του πλαισίου για την ομογενοποίησή του με αυτό των παραθύρων και την αλλαγή της χειρολαβής. (Εικ.46,47)

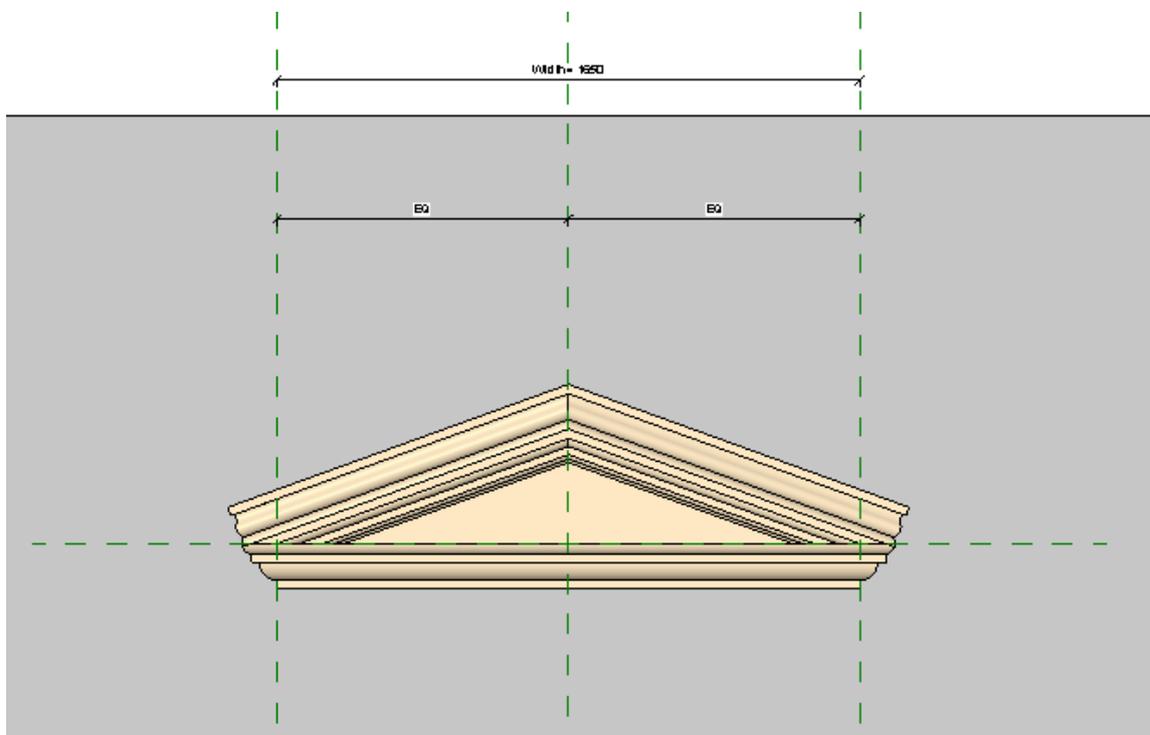


Εικόνα 46: Όψη θύρας εξώστη.



Εικόνα 47: Κάτοψη θύρας εξώστη.

Τέλος για την ενίσχυση της αξονικότητας στο νεοκλασσικό ρυθμό συναντάται συχνά η στέψη της θύρας του μπαλκονιού με αέτωμα. (Εικ.48) Σχεδιάζεται έτσι ένα αέτωμα του οποίου η μορφή εξαρτάται από το άνοιγμα της θύρας διατηρώντας σταθερή κλίση σε ενδεχόμενη αλλαγή.

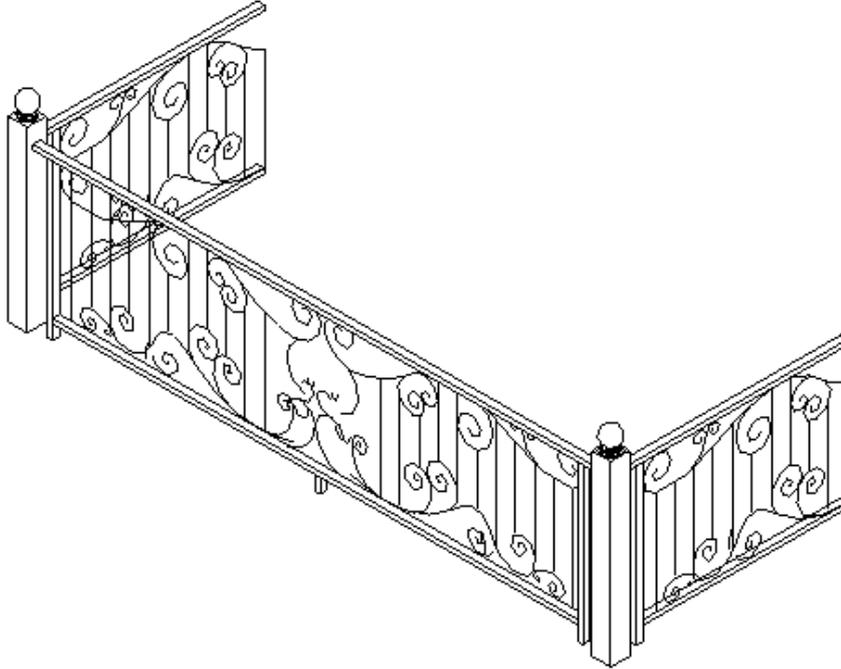


Εικόνα 48: Αέτωμα προσαρμόσιμο στη θύρα του εξώστη.

2.4.3 Εξώστης

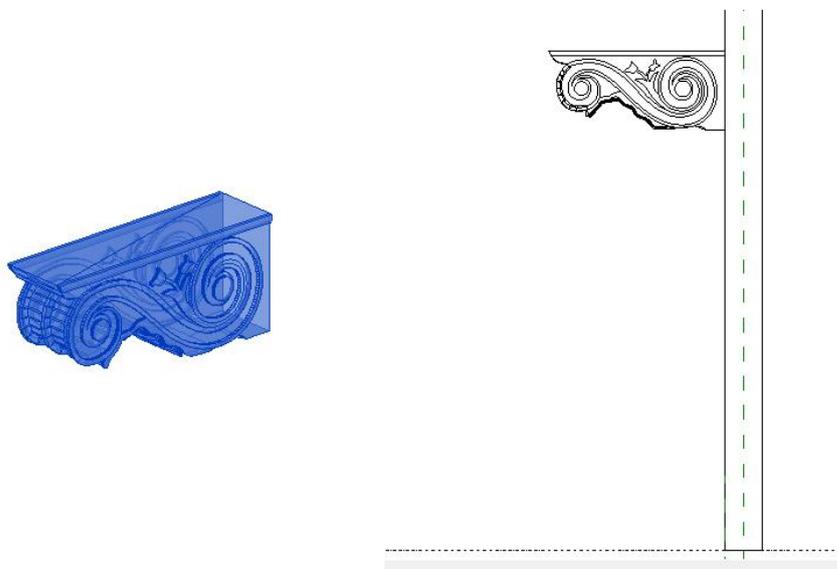
Στον ελληνικό νεοκλασικισμό οι εξώστες χαρακτηρίζονταν από τα περίτεχνα κιγκλιδώματα με καμπύλες μορφές που δεν υπάκουαν σε κάποιο συγκεκριμένο πρότυπο (pattern) αλλά διατηρούσαν παρόμοιο ύφος. Αυτό κωλύει το εγχείρημα τυποποίησης της μορφής τους μέσω του σχεδιασμού ενός pattern ή κάποιας μπαλούστρας που θα επαναλαμβάνεται. Συνεπώς είναι

αναγκαστική η σχεδίαση ενός μοτίβου το οποίο θα αφαιρείται και θα σχεδιάζεται εκ νέου σε κάθε περίπτωση. (Εικ.49) Η παραμετροποίηση, δηλαδή, των κιγκλιδωμάτων περιορίζεται στην δυνατότητα αλλαγής της διάστασης ύψους και της αλλαγής του μεταλλικού πάνελ αλλά και των γωνιακών ορθοστατών.



Εικόνα 49: Κιγκλιδώματα και ορθοστάτες εξώστη.

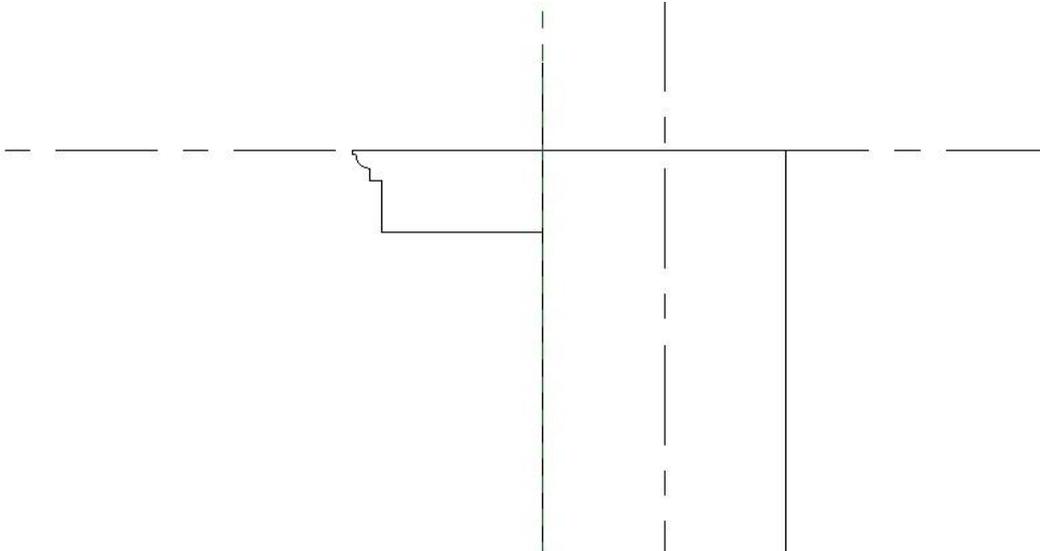
Παρόμοιο ζήτημα εγείρεται και στο σχεδιασμό των φουρουσιών, τα οποία παρουσιάζουν μοναδική γεωμετρία και πρέπει να σχεδιάζονται κάθε φορά εκ νέου και να αντικαθίστανται. (Εικ.50)



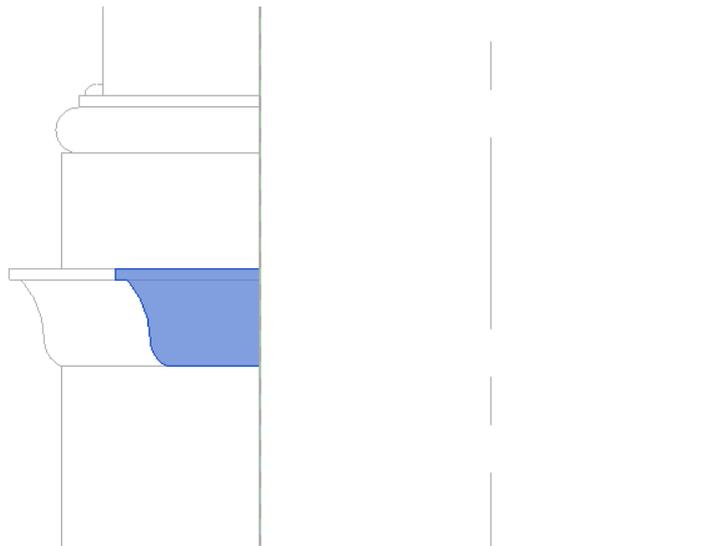
Εικόνα 50: Σχεδιασμός φουρουσιού.

2.4.4 Διάκοσμος

Για τα διάφορα γείσα που περιλαμβάνει μια όψη νεοκλασικού κτιρίου πρέπει να σχεδιαστούν τα αντίστοιχα προφίλ προς αναπαραγωγή με την εντολή «sweep». Επομένως, σε «profile template» σχεδιάζεται η τομή του γείσου και τίθεται ως παράμετρος η χρήση του ως «προφίλ τοίχου», ώστε το πρόγραμμα να το αντιλαμβάνεται ως στοιχείο που προσαρτάται σε τοίχο. Έτσι σχεδιάζεται το προφίλ του γείσου στέψης και το προφίλ του γείσου που διαχωρίζει το ισόγειο. (Εικ.51,52)

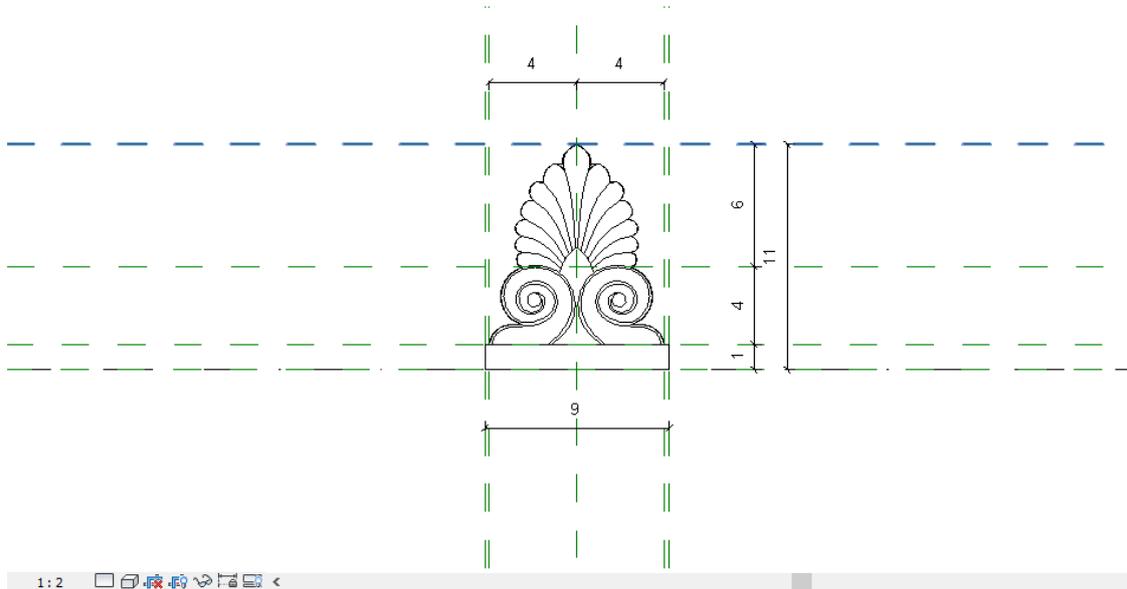


Εικόνα 51: Προφίλ του γείσου της στέψης του κτιρίου.

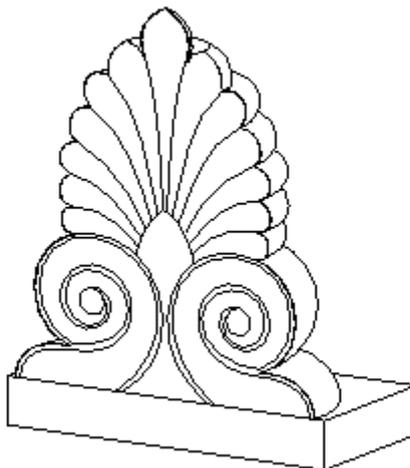


Εικόνα 52: Γείσο στο ύψος του ισογείου.

Τα ακροκέραμα, στοιχεία του γλυπτικού διακόσμου τα οποία τοποθετούνται στη στέψη του κτιρίου έχουν χαρακτηριστικό σχήμα αν και εμφανίζουν παραλλαγές με βάση την εικαστική ματιά του δημιουργού τους. Συνεπώς, σχεδιάζεται μια κλασική τους μορφή και θα αντικαθίστανται ανάλογα με την περίπτωση. (Εικ.53,54)

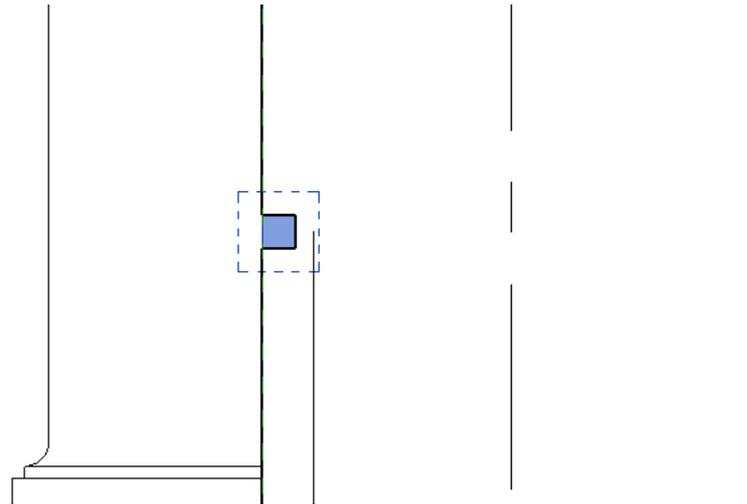


Εικόνα 53:Σχεδιασμός οικογένειας ενός ακροκέραμου.

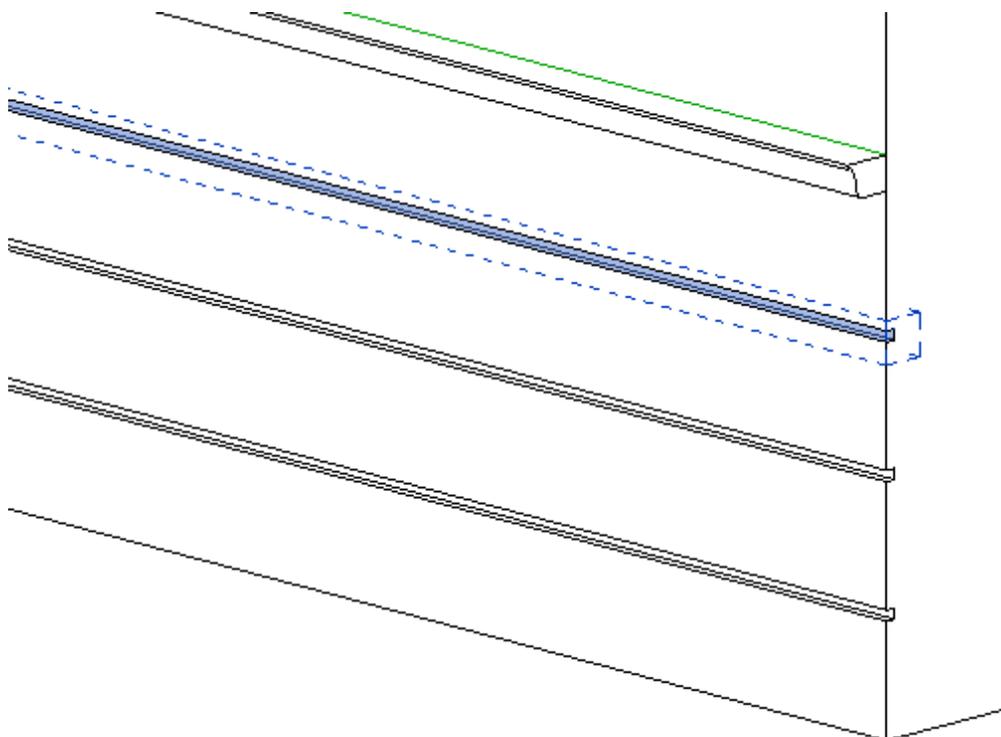


Εικόνα 54:Τρισδιάστατη απεικόνιση του στοιχείου.

Οι σκοτιές της τοιχοποιίας σχεδιάζονται στο revit με την εντολή «reveal» η οποία είναι παρόμοια του «sweep», αναπαράγει δηλαδή ένα προφίλ, μόνο που στην περίπτωση της το κάνει αρνητικά ως προς τον τοίχο. (Εικ.55,56)



Εικόνα 55: Προφίλ της σκοτίας.



Εικόνα 56: Σκοτίες μετά την εντολή array.

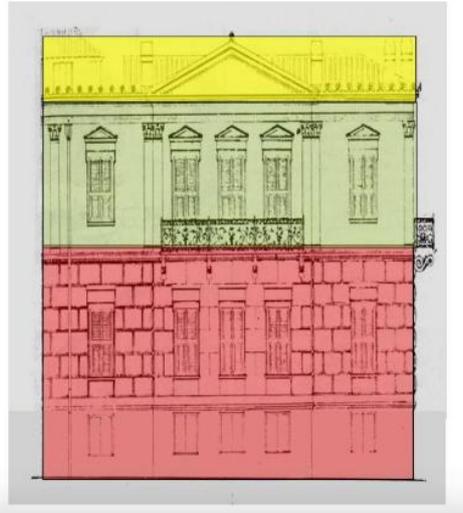
2.4.5 Συνένωση και παραμετροποίηση των στοιχείων

Ο τριμερής οριζόντιος διαχωρισμός σε βάση, κορμό και στέψη είναι ο βασικός συνθετικός κανόνας μιας αρχιτεκτονικής όψης νεοκλασικού ρυθμού και πάνω σε αυτό στηρίζονται οι παραλλαγές (Θανόπουλος, 2007). (Εικ.57) Επιλέγουμε για την μελέτη, την πιο συνηθισμένη όψη από τις τυπολογίες που ξεχώρισε ο Μ. Μπίρης (Μπίρης, 1987). (Εικ.58) Η αρχιτεκτονική αυτή έφερε πολλά στοιχεία διακόσμου (πεσσοί, κιονόκρανα, παραστάδες, αέτωμα) τα οποία δεν θα ενσωματώσουμε στην όψη μιας και αποτελούν δευτερεύοντα συστατικά της οργάνωσης της όψης.

Τριμερής διαχωρισμός της όψης

Βάση  *κορμός*  *στέψη* 

Ζώνη του ρυθμού : κορμός και στέψη



Εικόνα 57: Τριμερής διαχωρισμός της όψης.



Εικόνα 58: Επιλογή της πρότυπης τυπολογίας.

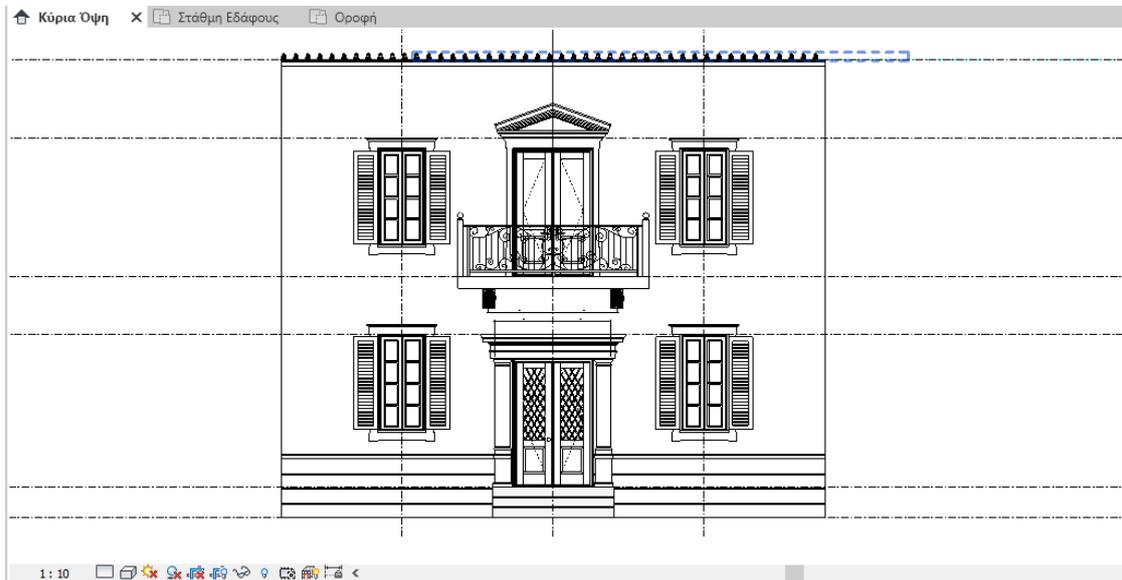
Η διάρθρωση της κάτοψης και της κύριας όψης ορίζονται γεωμετρικά με άξονες – οδηγούς για την χάραξη των τοίχων, τη θέση των ανοιγμάτων, τη διάταξη των επιμέρους στοιχείων (εξώστες, αετώματα κλπ.). Στο revit μπορούμε να χαράξουμε αυτούς τους άξονες και με διαστασιολογικές παραμέτρους να ελέγξουμε τον τρόπο συμπεριφοράς τους σε τροποποιήσεις. (Lee Sacks, 2006) «Κλειδώνοντας» κάποιες παραμέτρους, οι αρχές συμμετρίας και αρμονίας μιας νεοκλασικής όψης θα διατηρηθούν και το μοντέλο θα αποτελέσει πρότυπο για να ανάπτυξη τυπολογιών σε μια ενδεχόμενη μελέτη.

Πιο συγκεκριμένα, οι κλειδωμένες αυτές παράμετροι είναι οι εξής:

- Ύψος πρεκιού παραθύρων και στέψης θύρας ισογείου
- Ύψος πρεκιού παραθύρων ορόφου
- Κάθετος άξονας παραθύρων και θυρών
- Οριζόντιος άξονας συμμετρίας
- Κάθετος άξονας συμμετρίας
- Κοινός τύπος παραθύρων ορόφου
- Κοινός τύπος παραθύρων ισογείου
- Εμβάτης αναλογιών με βάση το 1, ½ και ⅓

Για την φόρτωση στο πρόγραμμα από τη βιβλιοθήκη κάποιας οικογένειας αντικειμένων που δεν υπάρχει ήδη, αρκεί ο χρήστης να την εισάγει από την εντολή «Load Family» της καρτέλας Modify που ενεργοποιείται με την επιλογή της εντολής «wall» ή «window».

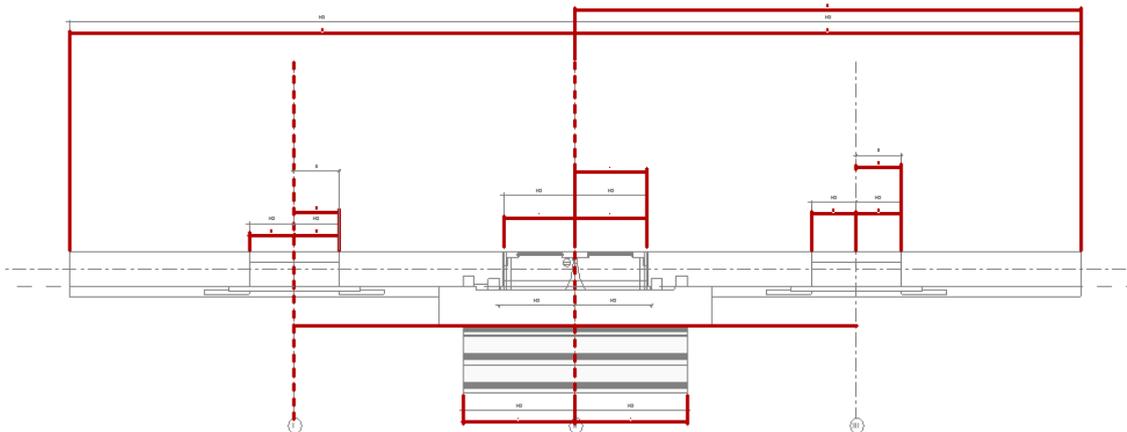
Αφού λοιπόν εισαχθούν οι οικογένειες που σχεδιάστηκαν και χαραχθούν οι άξονες ενδιαφέροντος που ονομάζονται «περασίες» (grids) στην περίπτωση ενός project, ξεκινά βήμα βήμα η παραμετροποίηση των στοιχείων. (Εικ.59)



Εικόνα 59: Τοποθέτηση των στοιχείων στην όψη.

Κάθετοι άξονες παραθύρων και θυρών

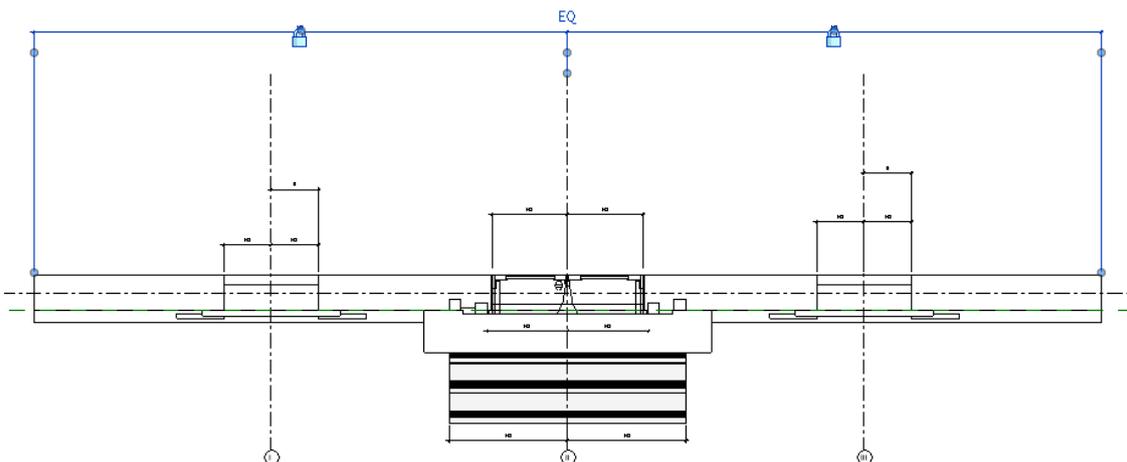
Τα παράθυρα, οι θύρες αλλά και τα υπόλοιπα στοιχεία που προσαρτώνται σε αυτές πρέπει να «κλειδωθούν» στους άξονές τους ώστε όταν μετακινούνται οι άξονες, αντίστοιχα να μετακινούνται και τα ανοίγματα πάνω στην όψη. Αυτό εξασφαλίζεται «κεντράροντας» και κλειδώνοντας το κάθε στοιχείο με «EQ» στον άξονα. (Εικ.60)



Εικόνα 60: Κλείδωμα των ανοιγμάτων στους άξονες.

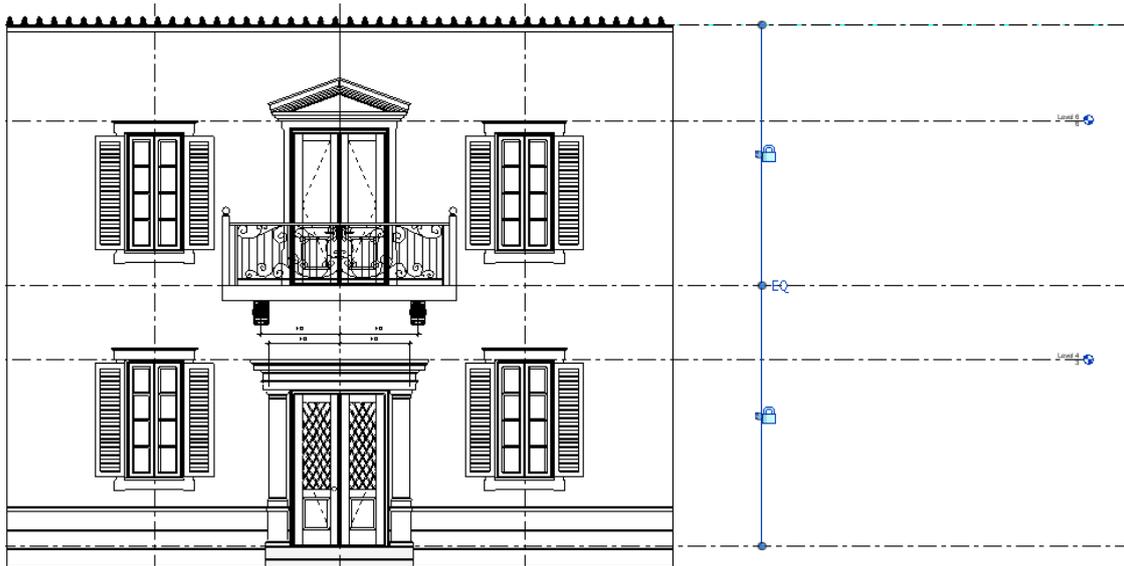
Κάθετος και οριζόντιος άξονας συμμετρίας

Η κύρια όψη είναι συμμετρική κατά πλάτος, αποτελούμενη συνήθως από ένα κεντρικό τμήμα (που βρίσκεται σε μικρή προεξοχή ως προς τα πλαϊνά του και στέφεται, κατά περίπτωση, από αέτωμα με το οποίο τονίζεται έντονα ο κατακόρυφος άξονας συμμετρίας. Πάνω στον άξονα τοποθετούνται η υπερυψωμένη θύρα εισόδου με τα μαρμάρινα σκαλοπάτια που οδηγούν σε αυτή και ο κεντρικός μαρμάρινος εξώστης. Η συνθήκη της συμμετρίας μπορεί εύκολα να εξασφαλιστεί με το «EQ» μεταξύ του κεντρικού άξονα και των ακμών του τοίχου. (Εικ.61)



Εικόνα 61: Κάθετος άξονες συμμετρίας.

Αντίστοιχα, στις νεοκλασικές όψεις υπάρχει και κάποιος άξονας στο κέντρο του ύψους, όπου ύψος θεωρούμε το ύψος δίχως την υπερύψωση του ισογείου. Αυτός συνήθως είναι στο ύψος του πατώματος του ορόφου. Υπάρχουν και παραλλαγές αυτής της συνθήκης όπου δεν έχουμε υπερύψωση του ισογείου και το ισόγειο είναι ψηλότερο από τον όροφο. Στην περίπτωση αυτή η παράμετρος πρέπει να ξεκλειδωθεί. (Εικ.62)



Εικόνα 62: Οριζόντιος Άξονας Συμμετρίας.

Ύψος πρεκίου παραθύρων και στέψης ανοιγμάτων ισογείου και ορόφου

Η διάταξη των ανοιγμάτων και των εξωστών σε κατακόρυφους άξονες, καθώς και το κεντρικό αέτωμα που στέφει το σύνολο, αναδεικνύουν την κατακόρυφη διεύθυνση ενώ τα επαναλαμβανόμενα παράθυρα που παρατίθενται ρυθμικά, καθώς και άλλα, κατά περίπτωση, στοιχεία του κορμού του κτίσματος όπως τα γείσα της στέγης, οι περιμετρικές ζώνες μικρής προεξοχής που υποδηλώνουν την θέση των πατωμάτων, οι διακοσμητικές ταινίες, συντελούν στον τονισμό της οριζόντιας διεύθυνσης. (Φιλίππιδης, 1986)

Επιλέγουμε την άνω πλευρά του παραθύρου, δηλαδή το πρέκι και με την εντολή «align» κλειδώνουμε στον άξονα. Επαναλαμβάνουμε την διαδικασία για όλα τα ανοίγματα. Στο ισόγειο συνήθως υπάρχει μια αλλαγή στο ανωκάλι της πόρτας, όπου στην περίπτωση υπερυψωμένου ισογείου ο άξονας διατρέχει κάποιο άλλο στοιχείο του διακόσμου, όπως στην περίπτωση μας το άνω μέρος του υπέρθυρου γείσου. (Εικ.63)



Εικόνα 63: Άξονες στα πρέκια των παραθύρων.

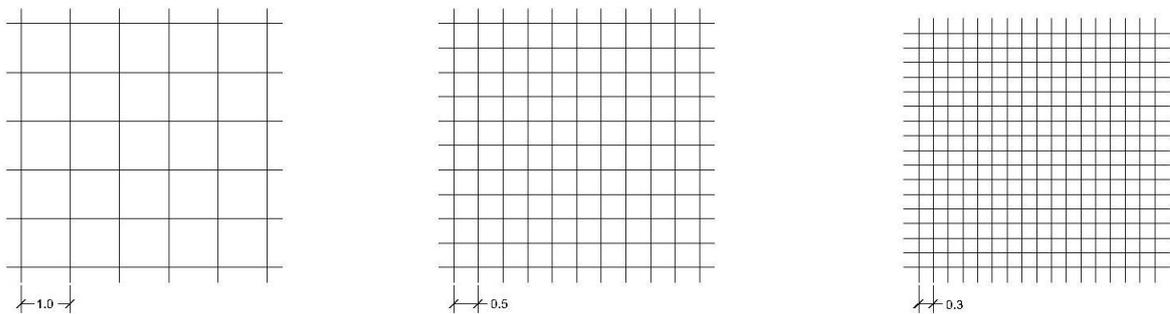
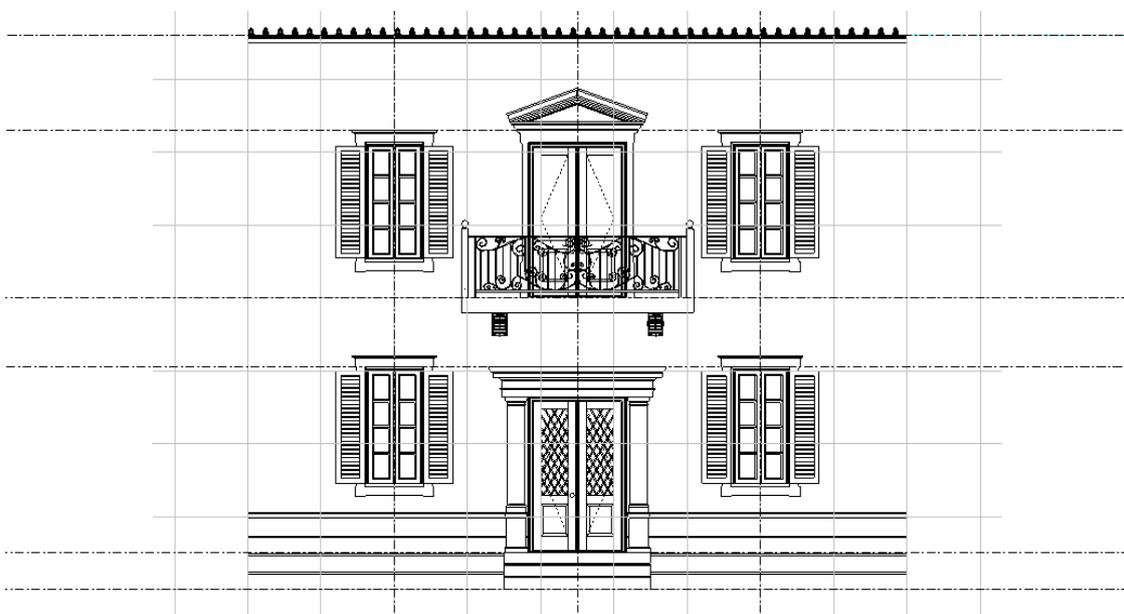
Κοινός τύπος παραθύρων ορόφου/ισογείου

Είναι χαρακτηριστικό στα νεοκλασικά να υπάρχει κοινός τύπος παραθύρων στο ισόγειο και κοινός στον όροφο. Συνήθως είναι όλα το ίδιο όπως στο πρότυπο της εργασίας, όμως θα πρέπει να υπάρξει πρόβλεψη και στην περίπτωση που δεν είναι. Συνεπώς, δικαιολογείται ο λόγος που αποθηκεύαμε τις οικογένειες ως «type» και όχι ως μοναδικά στοιχεία, διότι εάν αλλάξει ένα type παραθύρου, αλλάζουν όλα.

Εμβάτης αναλογιών με βάση το 1, ½ και 1/3

Για τις αναλογίες που θα επιτραπούν στην όψη θα πρέπει να ληφθούν υπόψη και ορισμένοι επιπλέον κανόνες από τη νεοκλασική αρχιτεκτονική. Αρχικά, οι διαστάσεις των παραθύρων είναι ανάλογες με το ελεύθερο ύψος του ορόφου και από το οριζόντιο μήκος που επιτρέπει μια δίφυλλη θύρα (1,10x2μ). Η αναλογία τους είναι 2:1 (σχέση ύψους-πλάτους). Επίσης, οι εξώστες αποτελούν το χαρακτηριστικότερο μορφολογικό στοιχείο το οποίο χαρακτηρίζει την όψη των νεοκλασικών κτηρίων. Σε αυτούς «εκτονώνονται» τα ανοίγματα των ορόφων, όπου στεγάζεται η κυρίως κατοικία. Εξώστες διαμορφώνονται στις κύριες όψεις οι οποίες βλέπουν προς το δρόμο και οι αναλογίες τους προσαρμόζονται κάθε φορά στις συνολικές αναλογίες του κτηρίου, ώστε να επικρατεί αρμονία και ευρυθμία. Το εύρος τους είναι περίπου 1 μ. και με εμβάτη αυτό, διαμορφώνεται και το μήκος στην όψη, με συνήθεις αναλογίες 1/2 και 1/3. Διαμορφώνονται από μια μονολιθική ορθογώνια σε κάτοψη μαρμαρίνη πλάκα, -ή από περισσότερα μαρμαρίνα τμήματα που δημιουργούν ένα ενιαίο- που στηρίζεται σε δύο ή περισσότερους κιλλίβαντες (ανάλογα με το συνολικό μήκος του εξώστη) στα άκρα.

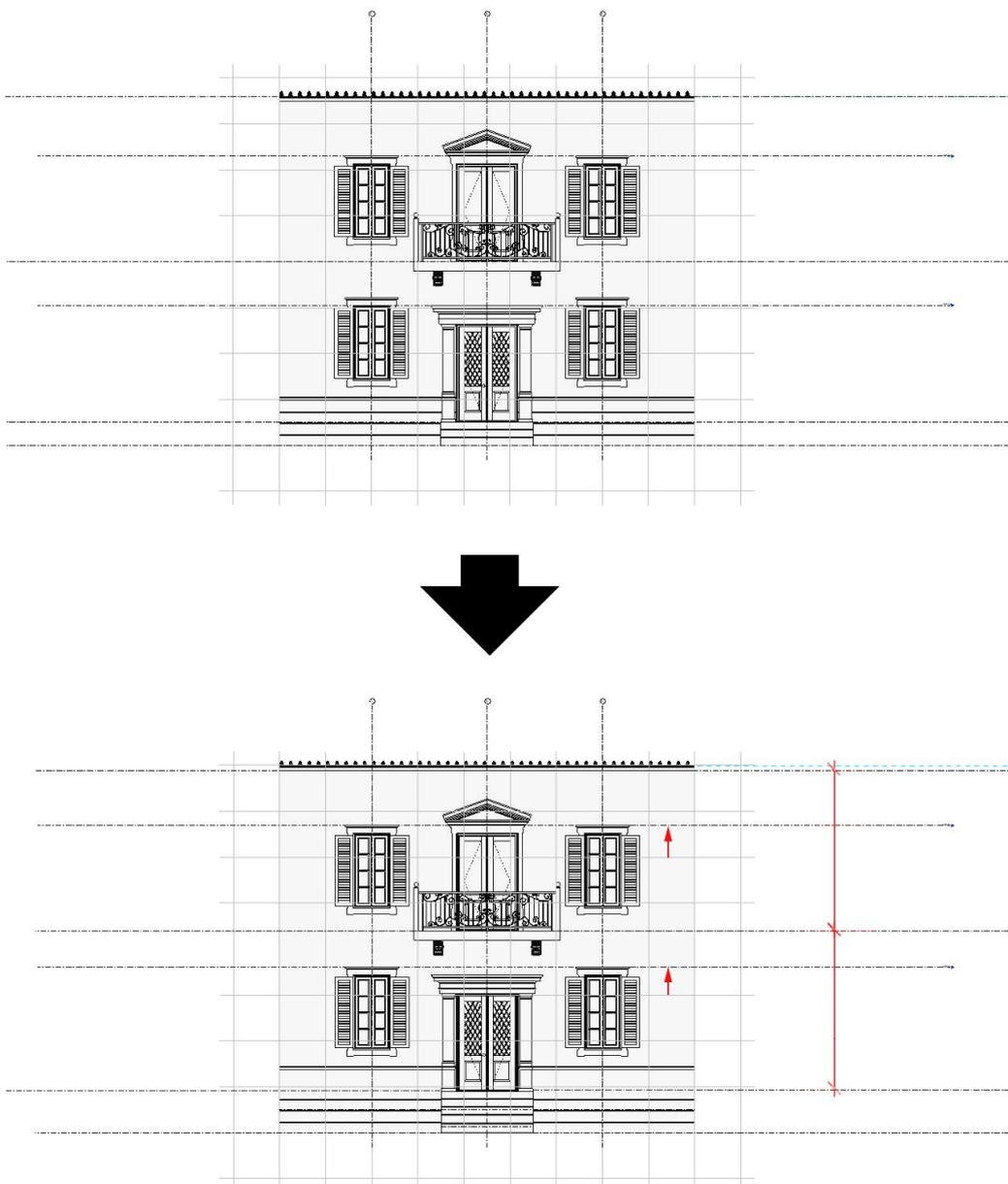
Έστω για την περίπτωση που ο εμβάτης είναι 1μ, τότε οι αντίστοιχες αναλογίες θα είναι είτε του 1μ, είτε 0,5μ, είτε 0,3μ. Το ιδανικό θα ήταν να ενσωματώσουμε φόρμουλα κοινή για όλες τις οριζόντιες και κάθετες διαστάσεις της όψης με ακέραια διαίρεση με έστω μια από τις 3 αυτές τιμές, όμως αυτή η δυνατότητα δεν δίδεται ακόμη στο Revit στα πλαίσια «project». Για την πρακτική επίλυση του ζητήματος χαράσσουμε κανάβους (Εικ.64) τους οποίους ενσωματώνουμε ως υπόβαθρο και οπτικά ενσωματώνουμε τα στοιχεία της όψης στα επιθυμητά πλαίσια. (Εικ.65)

**Εικόνα 64: Κανάβοι 1μ, 0.5μ και 0.3μ.****Εικόνα 65: Ενσωμάτωση του κανάβου για τον οπτικό έλεγχο του εμβάτη.**

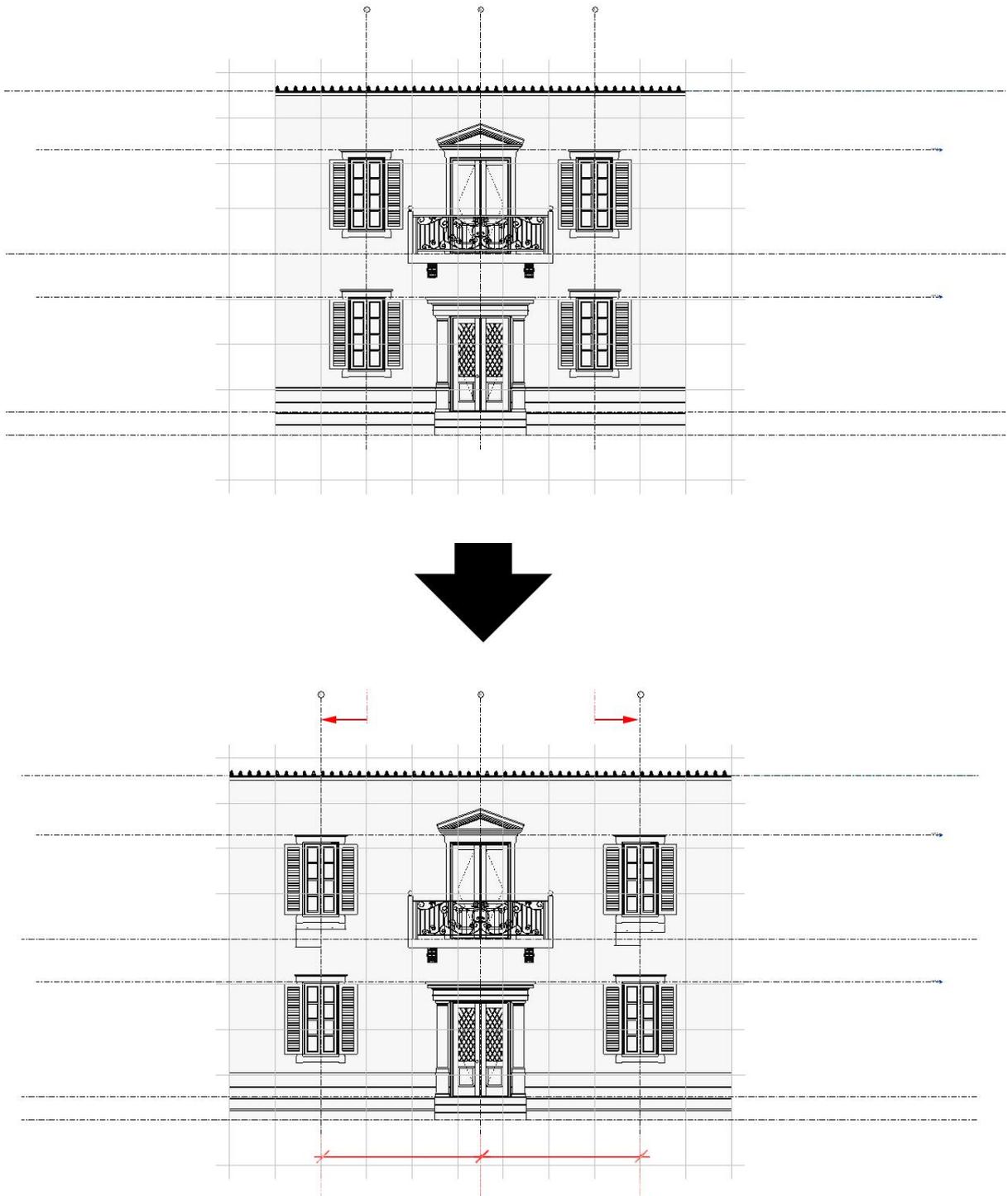
2.4.6 Έλεγχος του αποτελέσματος και ανάδειξη του μοντέλου

Ο έλεγχος της συμπεριφοράς των αξόνων αναφοράς (constraints) που τοποθετήθηκαν για να ορίσουν τις συνθετικές αρχές των στοιχείων μιας νεοκλασικής όψης είναι απαραίτητος. Συγκεκριμένα ελέγχθηκε εάν στην οριζόντια κίνηση του άξονα των παραθύρων τα παράθυρα κινούνταν όλα μαζί και ανάλογα ως προς τον άξονα συμμετρίας. Τα πλέγματα (grids) 1μ, 0.5μ και 0.3μ που τοποθετήθηκαν ως υπόβαθρα συνεισφέρουν για την ακριβή τοποθέτηση των αξόνων με βάση τον κάναβο της όψης.

Αντίστοιχα, στον κατακόρυφο άξονα ελέγχθηκε εφόσον τα παράθυρα του ισογείου και του ορόφου μαζί με τα υπόλοιπα στοιχεία στέψης κινούνται όλα μαζί σε κατακόρυφη κίνηση και αν τηρείται ο αντίστοιχος άξονας συμμετρίας. Είναι σημαντικό μετακινώντας τους άξονες να μεγαλώνει και η όψη και μια από τις γνώριμες διαστάσεις της όψης να αποτελεί το κενό μεταξύ του τελευταίου στοιχείου όπως παράθυρο και της γωνίας του κτιρίου. Με τον τρόπο αυτό, εξασφαλίζεται η διατήρηση των αναλογιών, της συμμετρίας και της αρμονίας που χαρακτηρίζει μια όψη νεοκλασικής περιόδου. (Εικ.66-67)



Εικόνα 66: Διερεύνηση συμπεριφοράς των στοιχείων κατά την μετατόπιση των αξόνων καθ' ύψος.



Εικόνα 67: Διερεύνηση συμπεριφοράς των στοιχείων κατά την μετατόπιση των αξόνων κατά πλάτος.

Το επόμενο στάδιο στη δημιουργία ενός μοντέλου BIM είναι η παραγωγή φωτορεαλιστικών εικόνων για την ανάδειξη του έργου. Στην περίπτωση που τα υλικά δεν είναι γνωστά και με στόχο την ανάδειξη της πλαστικότητας της μορφής χρησιμοποιείται η επιλογή «override material» που προσφέρει ένα λευκό μοντέλο με τις σκιές του. (Εικ.68) Μια τέτοια αναπαράσταση μπορεί να προσφέρει μια αρκετά ρεαλιστική άποψη του κτιρίου με σκοπό τη χρήση της σε διατύπωση αρχιτεκτονικών προτάσεων.



Εικόνα 68: Φωτορεαλιστική απεικόνιση με color override.

Κεφάλαιο 3: Δυνατότητες BIM με εφαρμογή στην Πολιτισμική Κληρονομιά

Στο κεφάλαιο αυτό μελετώνται οι προεκτάσεις της τεχνολογίας BIM ως προς τις εφαρμογές της στο πεδίο της διαχείρισης και ανάδειξης της πολιτισμικής κληρονομιάς.

3.1 Εμπλουτισμός Δεδομένων

3.1.1 Μεταδεδομένα και κωδικοποίηση

Όπως προαναφέρθηκε, μεταδεδομένα μπορούν να προστεθούν στα πεδία «Type» ή «Instance» των ιδιοτήτων μιας οικογένειας τόσο στο Family Editor όσο και στο περιβάλλον εργασίας ενός project. Στην περίπτωση των τυποποιημένων μοντέλων περιλαμβάνονται μεταδεδομένα σχετικά με τον κατασκευαστή, τον προμηθευτή, την ονομασία του μοντέλου, την περιγραφή και το κόστος. Αυτά τα δεδομένα μπορούν να συμπεριληφθούν σε πίνακες.

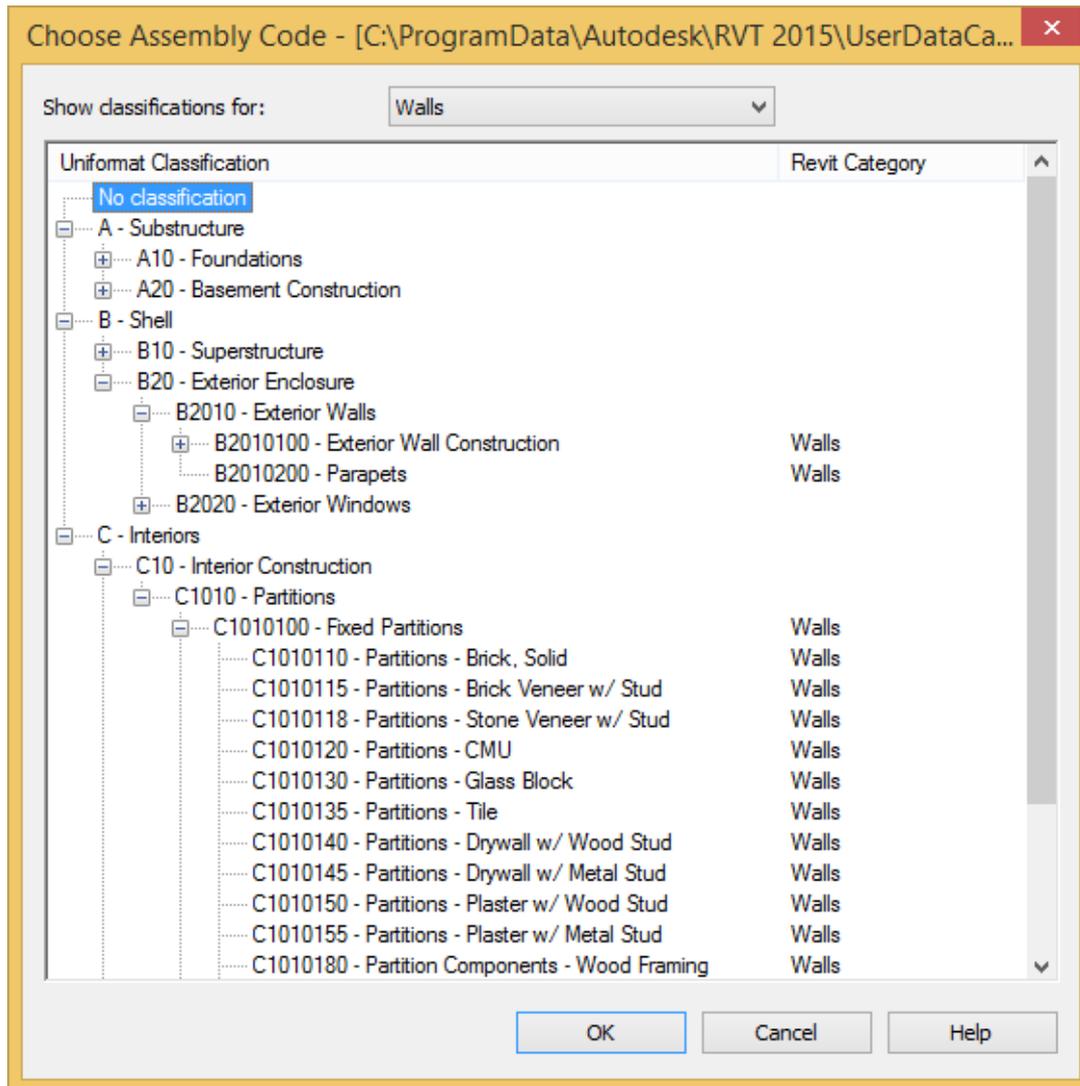
Στην περίπτωση όμως που μεταδεδομένα δεν μπορούν να συμπεριληφθούν σε κάποιο από τα πεδία υπάρχει και η δυνατότητα ένταξης μιας παραμέτρου υπερσυνδέσμου διαδικτύου (URL). Η παράμετρος αυτή επιτρέπει στο χρήστη να παρέχει απευθείας σύνδεσμο για παράδειγμα προς την ιστοσελίδα του κατασκευαστή ή την ιστοσελίδα του μνημείου.

Εάν χρειάζεται να υποδειχθεί μια τιμή από μια λίστα τιμών τότε ενδείκνυται η παράμετρος «keynote». Για παράδειγμα, εάν πρέπει να υποδειχθεί ποιο δομικό στοιχείο θα χρησιμοποιηθεί από έναν κατάλογο που παρουσιάζει κάποια εταιρεία, χρησιμοποιείται ο αντίστοιχος κωδικός keynote. Αντιστοίχως, σε έναν κατάλογο τυποποιημένων στοιχείων πολιτιστικής κληρονομιάς μπορούν να χρησιμοποιηθούν keynotes για την κωδικοποιημένη αναφορά τους. (Εικ.69)

Keynote ID	Description	Value
06 11 00.G7	2x8 Joists @ 24" O.C.	06 11 00
06 11 00.G8	2x8 Ceiling Joists @ 12" O.C.	06 11 00
06 11 00.G9	2x8 Ceiling Joists @ 16" O.C.	06 11 00
06 11 00.G10	2x8 Ceiling Joists @ 24" O.C.	06 11 00
06 11 00.G11	2x8 Rafters	06 11 00
06 11 00.G12	2x8 Rafters @ 12" O.C.	06 11 00
06 11 00.G13	2x8 Rafters @ 16" O.C.	06 11 00
06 11 00.G14	2x8 Rafters @ 24" O.C.	06 11 00
06 11 00.G15	Db1 2x8 Header	06 11 00
06 11 00.H1	2x10	06 11 00
06 11 00.H2	2x10 Joists	06 11 00
06 11 00.H3	2x10 Joists @ 12" O.C.	06 11 00
06 11 00.H4	2x10 Joists @ 16" O.C.	06 11 00
06 11 00.H5	2x10 Joists @ 24" O.C.	06 11 00
06 11 00.H6	2x10 Ceiling Joists	06 11 00
06 11 00.H7	2x10 Ceiling Joists @ 12" O.C.	06 11 00
06 11 00.H8	2x10 Ceiling Joists @ 16" O.C.	06 11 00
06 11 00.H9	2x10 Ceiling Joists @ 24" O.C.	06 11 00
06 11 00.H10	Db1 2x10 Header	06 11 00
06 11 00.I1	2x12	06 11 00
06 11 00.I2	2x12 Joists	06 11 00
06 11 00.I3	2x12 Joists @ 12" O.C.	06 11 00
06 11 00.I4	2x12 Joists @ 16" O.C.	06 11 00
06 11 00.I5	2x12 Joists @ 24" O.C.	06 11 00
06 11 00.J1	2x14	06 11 00
06 11 00.J2	2x14 Joists	06 11 00
06 11 00.J3	2x14 Joists @ 16" O.C.	06 11 00
06 11 00.J4		

Εικόνα 69: Λίστα οντοτήτων keynotes.

Η παράμετρος «Assembly Code» αναφέρεται σε κατασκευαστικές κωδικοποιήσεις. Στην Αμερική υπάρχει η κατηγοριοποίηση «Uniformat» και η παράμετρος αυτή στοχεύει στη διασύνδεση δεδομένων. Συνεπώς, θα μπορούσε να υπάρξει και κάτι παρόμοιο αναφορικά με τις μεθόδους κατασκευής κτιρίων, ή ανακατασκευής διατηρητέων κτιρίων, όπου αυτές θα δηλώνονται σε κάθε «family» και στο τέλος θα συνοψίζονται σε έναν πίνακα που θα δίδεται στο συνεργείο. (Εικ.70)



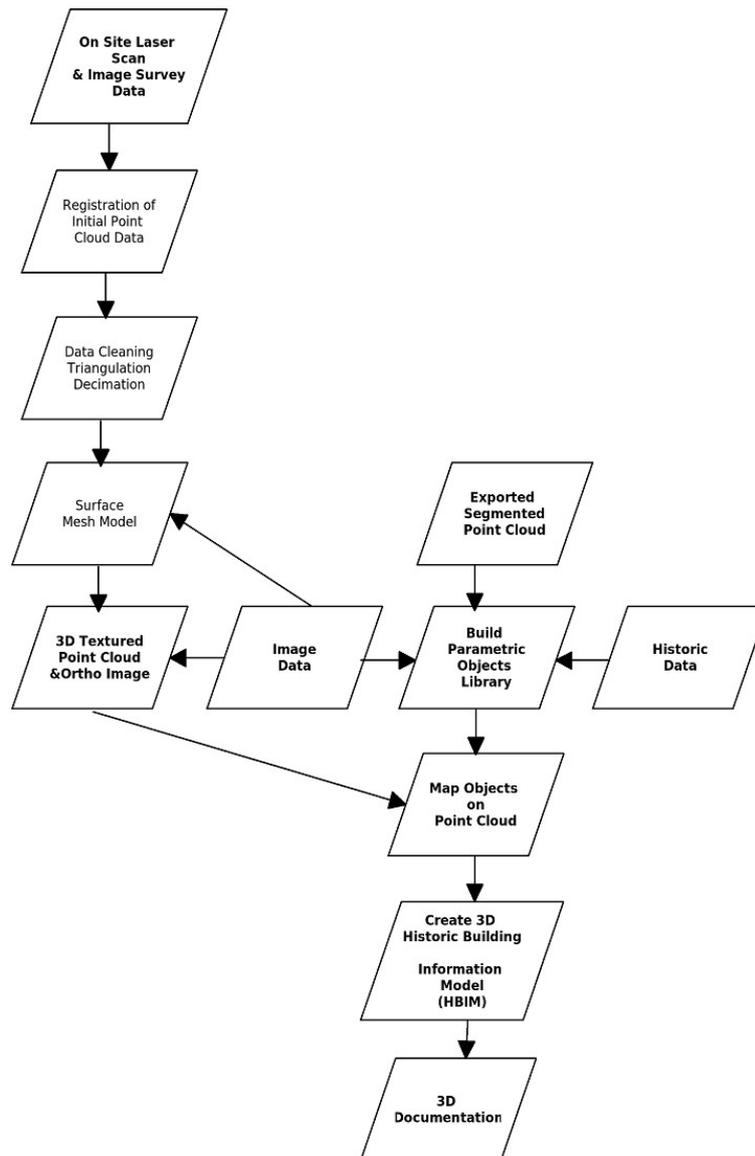
Εικόνα 70: Πίνακας assembly codes.

3.1.2 Μεταδεδομένα και τεκμηρίωση μνημείων

Η μεθοδολογία HBIM για ιστορικά μνημεία και χώρους η οποία τείνει να παγιωθεί ως η πιο ορθολογική και συγκροτημένη έχει διατυπωθεί από τους πρώτους ερευνητές που ασχοληθήκανε με το HBIM. (Εικ.71) Αυτή περιλαμβάνει τη συλλογή και επεξεργασία δεδομένων από την σάρωση λείζερ ή και φωτογραμμετρίας, τον προσδιορισμό ιστορικών λεπτομερειών από τη βιβλιογραφία, την κατασκευή παραμετρικών ιστορικών στοιχείων, τη συσχέτιση και χαρτογράφηση παραμετρικών αντικειμένων σε δεδομένα σάρωσης και στην τελική παραγωγή αρχιτεκτονικών σχεδίων. Το προϊόν της διαδικασίας είναι η δημιουργία πλήρων τρισδιάστατων μοντέλων, που συμπεριλαμβάνουν λεπτομέρειες ως «έξυπνα δεδομένα» σχετικά με τις μεθόδους κατασκευής και τη σύσταση των υλικών. Επιπλέον, το HBIM παράγει αυτόματα πλήρη τεχνικά σχέδια για τη διατήρηση της δομής, περιλαμβανομένης της τρισδιάστατης τεκμηρίωσης, ορθογραφικές προβολές, αξονομετρικές τομές, κατασκευαστικές λεπτομέρειες και χρονοδιαγράμματα (ενέργεια, μείωση του κόστους κ.λπ.), προσθέτοντας νοημοσύνη στο αρχικό νέφος σημείων. (M Murphy, 2011)

Επιπλέον δυνατότητες του μοντέλου HBIM είναι αφενός η γενική γεωμετρική ανακατασκευή του μοντέλου του κτιρίου που εξετάζεται, με όσο το δυνατόν περισσότερη πιστότητα ως προς τα δομικά στοιχεία που απαρτίζουν το χώρο και στη συνέχεια ο εμπλουτισμός αυτών με απόδοση λεπτομερειών που καθορίζουν την ταυτότητα του μνημείου που εξετάζεται. Κατά την αποδόμηση του κτιριακού συνόλου γίνεται προσπάθεια αναγνώρισης

των συνθετικών αρχών βάσει των οποίων συγκροτείται ως σύνολο πολλών μονάδων που εξελίσσονται στο χώρο σύμφωνα με καθορισμένες σχέσεις. Η διερεύνηση αυτών των σχέσεων οδηγεί στην παραμετροποίηση του κτιρίου.



Εικόνα 71: Μεθοδολογία HBIM

Μεταδεδομένα που μπορούν να εισαχθούν είναι τα παρακάτω: (Tobias, 2016)

- Η τοποθεσία του κτιρίου με συντεταγμένες στο εθνικό σύστημα συντεταγμένων (ΕΓΣΑ '87).
- Η ταυτότητα του κτιρίου στην πόλη δηλαδή διεύθυνση, οικοδομική μερίδα, πολεοδομική ζώνη και όνομα ιδιοκτήτη ή προηγούμενων ιδιοκτητών εφόσον αυτά έχουν ιστορική αξία.
- Ιστορικά έγγραφα όπως πρωτότυπα, αναφορές, χρονικά και αρχειακές πηγές
- Raster δεδομένα δηλαδή παλιοί χάρτες, σχέδια, αρχειακές φωτογραφίες και άλλο υλικό εικόνες.
- Αρχιτεκτονική ανάλυση του κτιρίου σε σχέση με το υλικό κατασκευής, τα κατασκευαστικά συστήματα, πληροφορίες σχετικά με συγκεκριμένα δομικά στοιχεία, ιστορικό κατασκευής, διαφοροποίηση κατασκευών σύμφωνα με τα στάδια κατασκευής, στοιχεία τέχνης και αισθητική αξιολόγηση των τμημάτων του.

- Πληροφορίες για την κατάσταση του κτιρίου σχετικά με τις φθορές και τα δομικά προβλήματα.
- Πληροφορίες για τυχόν ανακατασκευές, τη συντήρηση και άλλες παρεμβάσεις.

Σε ένα μοντέλο Revit οι παράμετροι διατίθενται ως επεξεργάσιμα πεδία στις ιδιοτήτων του «project» ή «family», εμπλουτίζοντας έτσι τη βάση δεδομένων. (G. Bacci, 2019) Οργανώνοντας σε ενότητες τα μεταδεδομένα έχουμε τις ενότητες τοποθεσία (localisation), ταυτότητα και υφιστάμενη κατάσταση (identification and decay), παρεμβάσεις διατήρησης (conservation interventions), κόστος αντικειμένων (cost list items), ημερομηνία και πηγές (date and source). (Εικ.72)

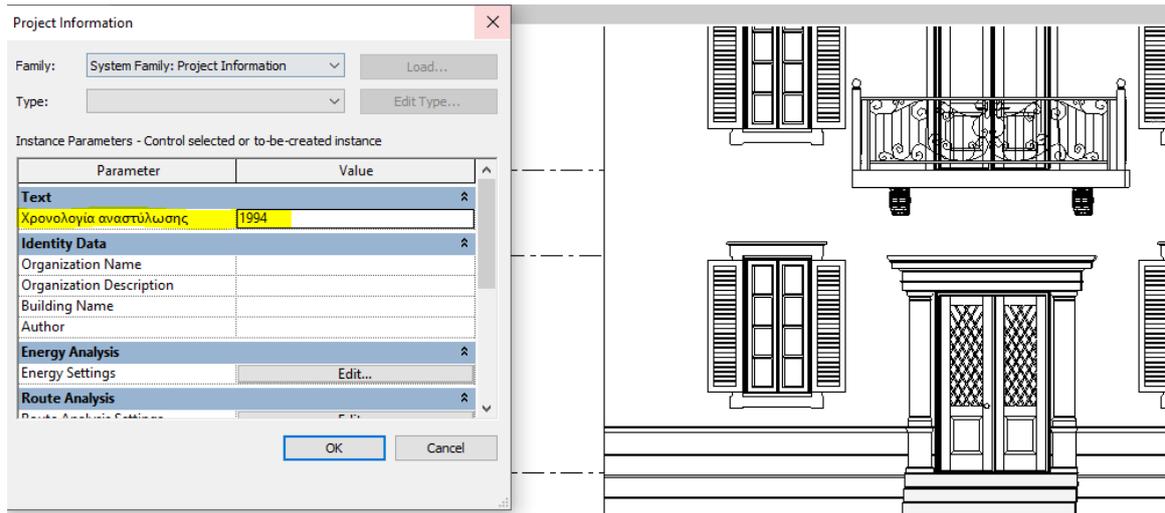
The screenshot shows the 'Properties' window for a door element named 'SanQuirico_Nord_Doors_Ext5gl_3'. The properties are organized into several sections, with red boxes highlighting specific areas and red text labels on the right side of the window:

- Parametric element properties:** Includes 'Doors (1)', 'Constraints' (Level: Level 1, Sill Height: -85,0), 'Construction' (Frame Type), and 'Text'.
- Localisation:** Includes '01_Zona' (A), '02_Livello' (02), '03_Stanza' (01), and '04_Superficie' (N).
- Identification and decay:** Includes '05_ID Elemento' (Ex-P-002), '06_Elemento' (Porta esterna in legno), '07_ID Stato di Conservazione' (LE1), and '08_Stato di Conservazione' (Alterazione/degrado del legno).
- Conservation interventions:** Includes '09_ID Intervento 1' (FN01), '10_Intervento 1' (Recupero degli infissi esterni i...), '11_ID Intervento 2', '12_Intervento 2', '13_ID Intervento 3', and '14_Intervento 3'.
- Cost list items:** Includes 'VIntervento1' (A.11.003), 'VIntervento2', and 'VIntervento3'.
- Date and source:** Includes 'Datazione' (1934) and 'Datazione_Fonte' (ASLu P.C. no 285,1934).

Other visible properties include 'Materials and Finishes', 'Identity Data', 'Phasing' (Phase Created: Esistente, Phase Demolished), 'Other', and 'Head Height' (2915.0).

Εικόνα 72:Οργάνωση μεταδεδομένων στις ιδιότητες μιας θύρας.

Στην όψη που κατασκευάστηκε στο Κεφ.2 θα μπορούσαμε να εισάγουμε μεταδεδομένα που θα συνέβαλλαν στη γεωμετρική τεκμηρίωση του κτιρίου. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε σε επίπεδο οικογένειας (Revit family), είτε σε επίπεδο έργου (Revit project). Σε επίπεδο project μπορεί να εισαχθεί για παράδειγμα η χρονολόγηση της ανασύλωσης ως «project parameter». Εάν ανατρέξει κανείς στις πληροφορίες του project μπορεί να λάβει αυτή την πληροφορία η οποία πλέον είναι ενσωματωμένοι ως μεταδεδομένο στο project. (Εικ.73)

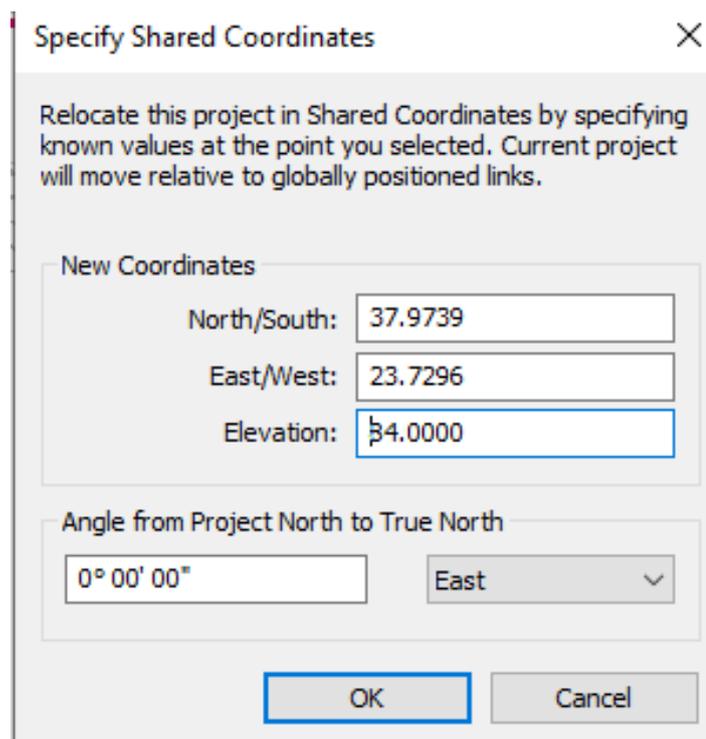


Εικόνα 73: Χρονολόγηση της αναστύλωσης ως μεταδεδομένο του project.

3.1.3 Ενσωμάτωση σε Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS)

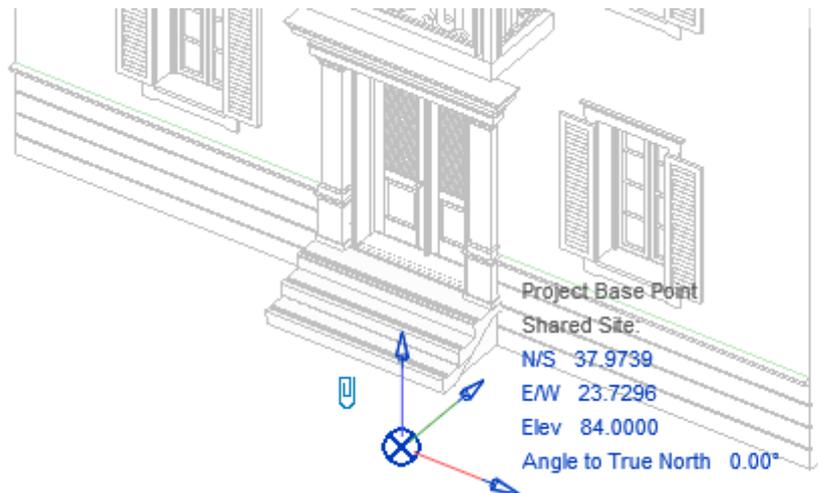
Η συσχέτιση των μοντέλων BIM με μια βάση GIS αποτέλεσε πεδίο διερεύνησης τα τελευταία χρόνια καθώς το επίπεδο των λεπτομερειών (level of detail) της κάθε πλατφόρμας ήταν διαφορετικό. (F. Matrone, 2019) Γενικότερα, η γεωαναφορά του κτιρίου του έργου (project) είναι κάτι το κοινότυπο στο Revit, μέσω της εισαγωγής τοπογραφικών δεδομένων που λαμβάνονται με gps χειρός ή γεωδαιτικό σταθμό.

Για την γεωαναφορά του παραδείγματος χρησιμοποιείται το γεωγραφικό μήκος, πλάτος και ύψος από ένα ενδεικτικό σημείο τοποθέτησης στο παγκόσμιο σύστημα WGS 1984. (Εικ.74) Θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και το ΕΓΣΑ '87 που είναι το αντίστοιχο ελληνικό σύστημα συντεταγμένων.



Εικόνα 74: Προσδιορισμός των συντεταγμένων στο WGS 1984.

Το σημείο αναφοράς του έργου είναι αυτό που θα πρέπει να καταγραφεί από τον μελετητή, συνήθως τοπογράφο, ο οποίος λαμβάνει τις συντεταγμένες στο πεδίο. (Εικ.75)



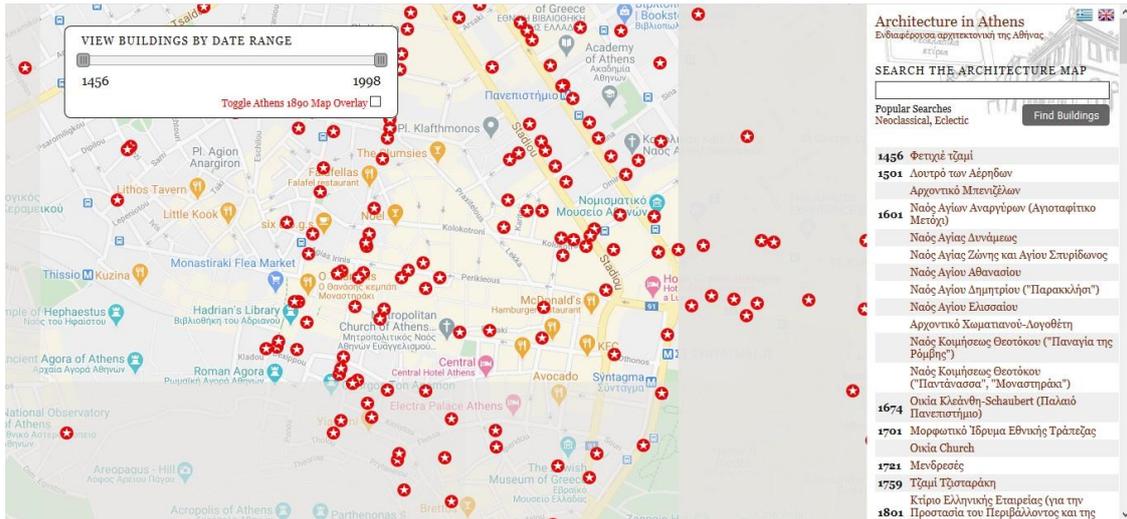
Εικόνα 75:Γεωαναφερμένο μοντέλο.

Στη συνέχεια, με τη χρήση του προγράμματος ArcGIS Pro 2019, το μοντέλο HBIM μπορεί να εισαχθεί σε περιβάλλον GIS. Ορίζεται το σύστημα συντεταγμένων, όπου κι εδώ υπάρχει η δυνατότητα χρήσης του ΕΓΣΑ '87. Το μοντέλο με την κατάλληλη προετοιμασία από το Revit μπορεί να συμπιεστεί σε μέγεθος δεδομένων και να είναι δυνατή η προβολή του ως τρισδιάστατο αντικείμενο μέσα στο ArcGIS. (Εικ.76)



Εικόνα 76:Ενσωμάτωση του μοντέλου στο ArcGIS 2019.

Με την παραπάνω διαδικασία, το στίγμα του κάθε κτιρίου αντιστοιχεί σε ένα σημείο στο χάρτη και όλα μαζί μπορεί να δημιουργήσουν πολυεπίπεδους χάρτες με τις ιδιότητες που έχουν προσδιοριστεί στο Revit. Οι χάρτες αυτοί μπορούν να προβληθούν και σε διαδικτυακές πλατφόρμες καθώς η μορφή αρχείου «.kml» που εξάγουν τα προγράμματα GIS είναι αναγνώσιμη από πολλές πλατφόρμες. (Εικ.77)



Εικόνα 77:Χάρτης νεοκλασικών και εκλεκτιστικών κτιρίων (zee.gr)

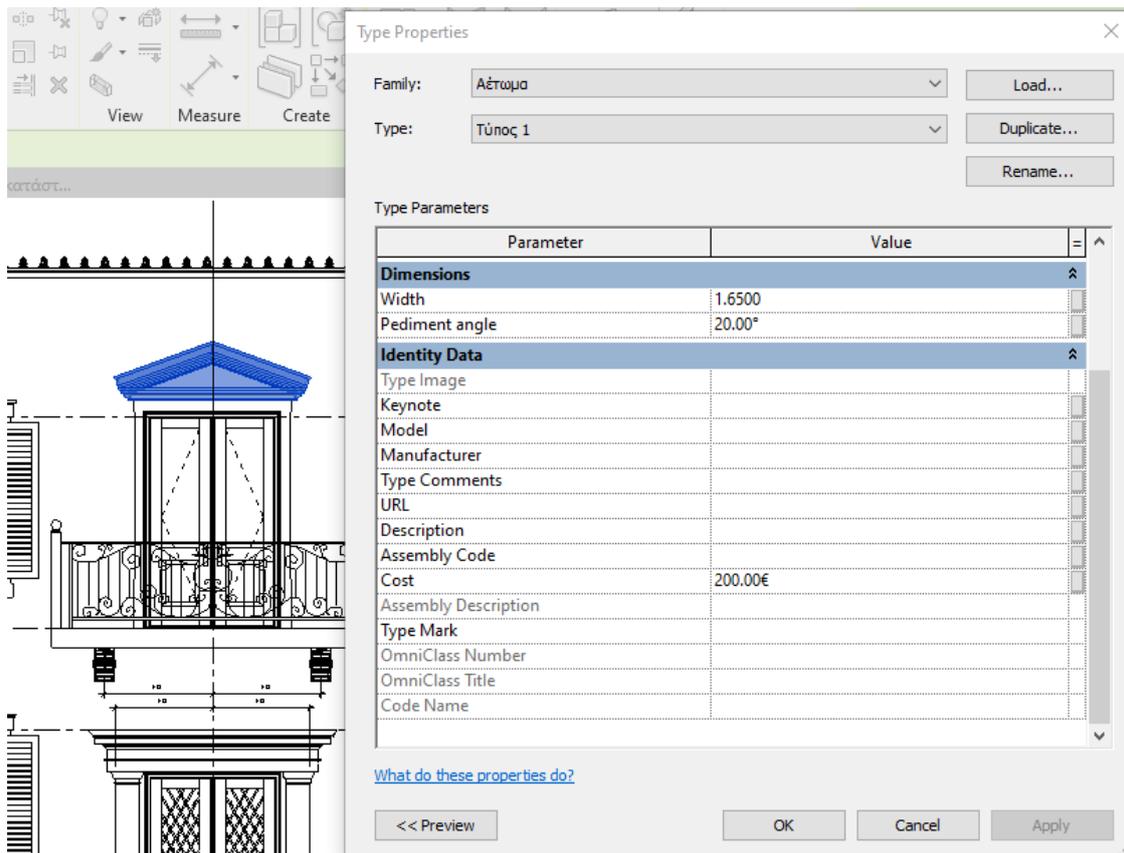
Επιπλέον όμως, δίνεται η δυνατότητα ενσωμάτωσης του μοντέλου σε μια βάση δεδομένων με ένα ευρύτερο συσχετισμό κτιρίων με κοινά χαρακτηριστικά τα οποία έχουν μοντελοποιηθεί ως HBIM. (F. Matrone, 2019) Μια βάση σε MySQL αποτελεί μια ενδεδειγμένη δυνατότητα για την αποθήκευση μιας λίστας συσχετιζόμενων μοντέλων HBIM.

3.2 Εφαρμογές στον προγραμματισμό κοστολόγησης και συντήρησης κτιρίων πολιτιστικής κληρονομιάς

Κατά το Αγγλικό πρότυπο δημιουργίας αντικειμένων BIM, που ορίστηκε από τον κατασκευαστικό κλάδο, (AEC, 2015) η ανάλυση του κόστους τοποθετείται στο επίπεδο λεπτομέρειας 4 (LOD4) και παράλληλα αποτελεί την πέμπτη διάσταση του BIM. Επίσης, σε σημαντικές μελέτες ανακατασκευής, όπως μελέτες μετά από σεισμό στην Ιταλία, (D. Oreni, 2014) αποδείχτηκε ότι η εποπτεία του κόστους ανακατασκευής καθόλη τη διάρκεια της διαδικασίας ήταν απαραίτητη για την καλύτερη οικονομική διαχείριση της καταστροφής.

3.2.1 Κοστολογική ανάλυση αντικατάστασης στοιχείων της όψης

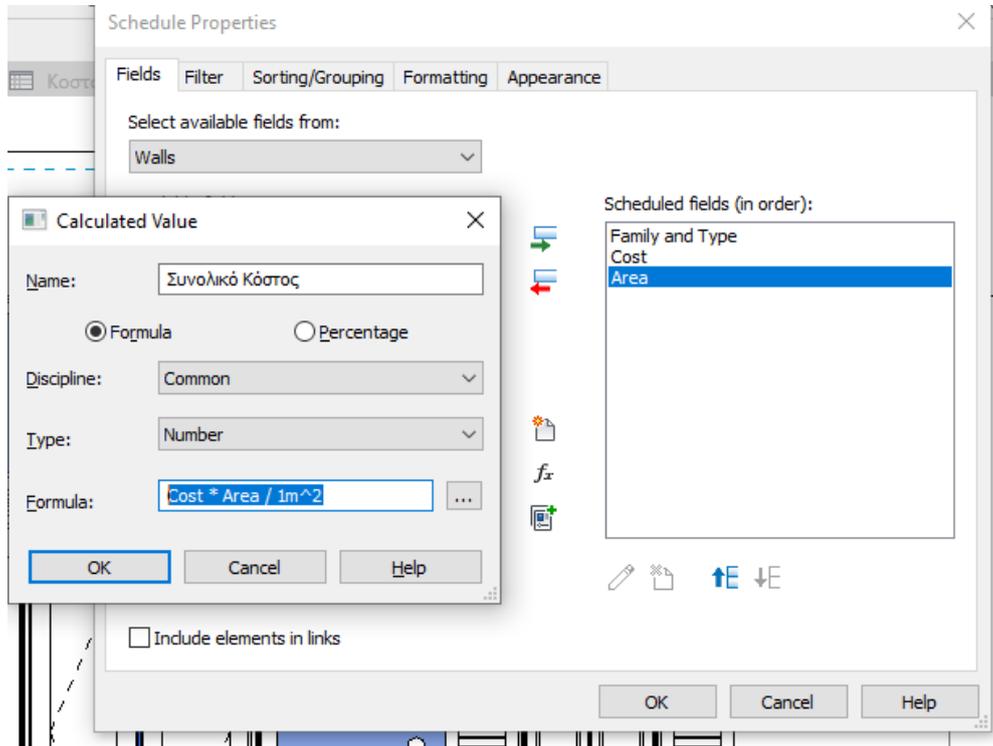
Λαμβάνουμε την περίπτωση όπου θέλουμε να υπολογίσουμε το κόστος αντικατάστασης των στοιχείων της όψης που σχεδιάστηκε στην εργασία. Η ρύθμιση του νομίσιματος είναι δυνατή και στο παράδειγμα επιλέχθηκε από το «project units» το €. Σε κάθε στοιχείο, δηλαδή στον κάθε τύπο των οικογενειών που χρησιμοποιούμε, εισάγουμε στο πεδίο «cost» την τιμή αντικατάστασης.(Εικ.78)



Εικόνα 78:Εισαγωγή τιμής αντικατάστασης σε στοιχείο της όψης.

Ο στόχος είναι η συγκέντρωση των τιμών σε ένα πίνακα εποπτείας που θα δυναμικός, θα ενημερώνεται δηλαδή αυτόματα σε κάθε αλλαγή και θα περιγράφει αναλυτικά τα στοιχεία. Δημιουργείται λοιπόν ένα «schedule» όπου επιλέγουμε ως πεδία το «family and types», δηλαδή μια στήλη με όλα τα στοιχεία οικογενειών που υπάρχουν στο project και το «cost» για μια στήλη με τα κόστη. Οι ετικέτες μετονομάζονται και είναι εφικτό να προστεθεί το συνολικό κόστος στο τέλος. (Εικ.79) Να σημειωθεί ότι οι πίνακες αυτοί εξάγονται ως λογιστικά φύλλα (excel) και σε άλλους τύπους αρχείων για τη χρήση τους από οικονομολόγους και συντονιστές του έργου.

Για τη δημιουργία του πίνακα με την εντολή «schedule» επιλέγουμε την κατηγορία «walls» και ως φάση την υφιστάμενη, ενώ στη συνέχεια τα πεδία «Families and types», «cost» και «area» καθώς στην περίπτωση του τοίχου η τιμή δεν καθορίζεται ανά τεμάχιο αλλά ανά τετραγωνικό μέτρο. Για την στήλη που θα υπολογίζεται το κόστος με βάση το εμβαδόν χρησιμοποιείται φόρμουλα με τον τύπο «Cost * Area / 1m²». (Εικ.81)



Εικόνα 81: Φόρμουλα υπολογισμού κόστους αποκατάστασης ανά τετραγωνικό μέτρο.

Έχοντας εισάγει στις ιδιότητες του τοίχου το κόστος αποκατάστασης της τοιχοποιίας ανά μέτρο ο πίνακας ολοκληρώνεται και δίδεται η πληροφορία που ζητάμε δηλαδή το κόστος ανασύλωσης του συγκεκριμένου τμήματος. (Εικ.82) Σε μια πιο εξειδικευμένη ανάλυση είναι δυνατό να διαχωριστεί ο τοίχος σε επίπεδα και έτσι θα δινόταν ξεχωριστή τιμή για την αποκατάσταση της λιθοδομής, του σοβά και του γύψου.

<Κοστολογική ανάλυση ανασύλωσης τμήματος της όψης>			
A	B	C	D
Family and Type	Cost	Area	Συνολικό κόστος
Τοίχος νεοκλασικού: υφιστάμενο	50.00€	54.87 m ²	2743€
Τοίχος νεοκλασικού: αποκατάσταση	50.00€	2.87 m ²	143€

Εικόνα 82: Πίνακας κοστολογικής ανάλυσης ανασύλωσης τμήματος της όψης.

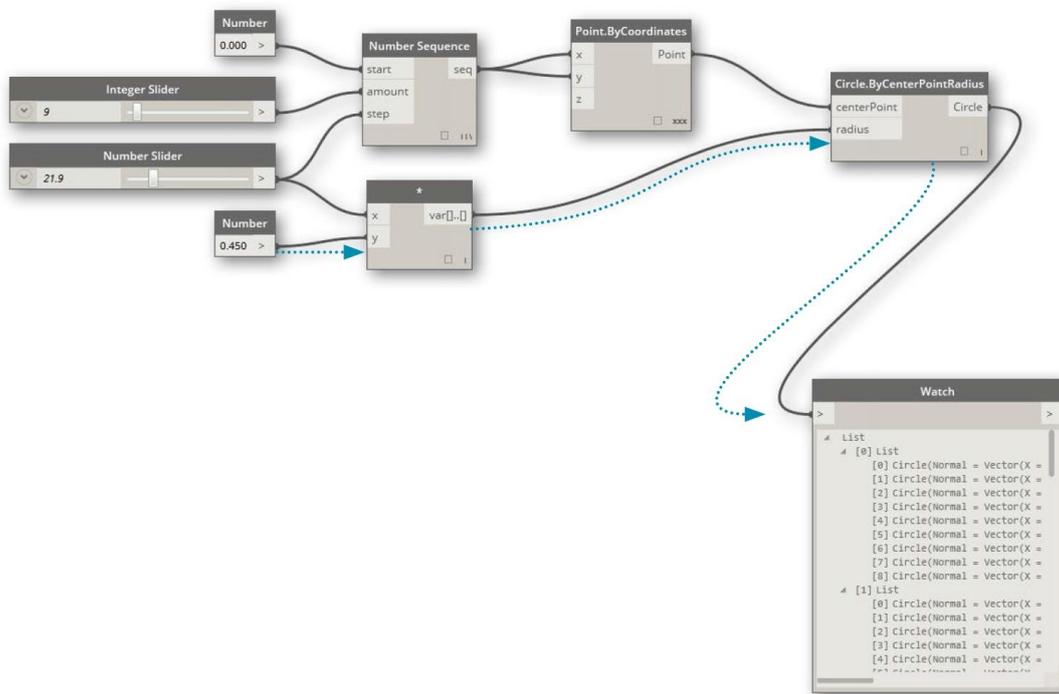
Να σημειωθεί πως η εκτίμηση αυτή του κόστους σε λιθοδομή δεν ανταποκρίνεται ακριβώς στην πραγματικότητα, καθώς η τιμή εξαρτάται από τον τρόπο λάξευσης του λίθου που είναι διαφορετικός στις γωνίες ενός τοίχου. Σε οποιαδήποτε όμως άλλο συμβατικό σύστημα δομήσεως, η εκτίμηση είναι ιδιαίτερα ακριβής.

3.3 Ανοιχτός προγραμματισμός και επιπλέον δυνατότητες μέσω διαγραμμάτων ροής Dynamo

3.3.1 Το λογισμικό Dynamo και οι βασικές του εντολές

Το Dynamo είναι ένα ανοιχτό (open source) λογισμικό το οποίο έχει δημιουργηθεί από μια διαδικτυακή κοινότητα που συνεισφέρει διαρκώς για τη βελτίωση του. Αρχιτέκτονες, προγραμματιστές, σχεδιαστές και λοιποί μηχανικοί έχουν προσφέρει τις γνώσεις τους για την κατασκευή ενός εργαλείου οπτικού προγραμματισμού που στοχεύει να είναι προσβάσιμο σε προγραμματιστές και μη. Συγκεκριμένα, προσφέρει στους χρήστες την ικανότητα να προγραμματίζουν είτε με οπτικό τρόπο, συνδέοντας εντολές που βρίσκονται σε παράθυρα είτε με διάφορες γλώσσες προγραμματισμού εισάγωντας τον κώδικα σε κάποια από αυτά τα παράθυρα. Το Dynamo από την έκδοση 2020 του Autodesk Revit αποτελεί επίσημο plugin του προγράμματος και περιλαμβάνεται στην αγορά του.

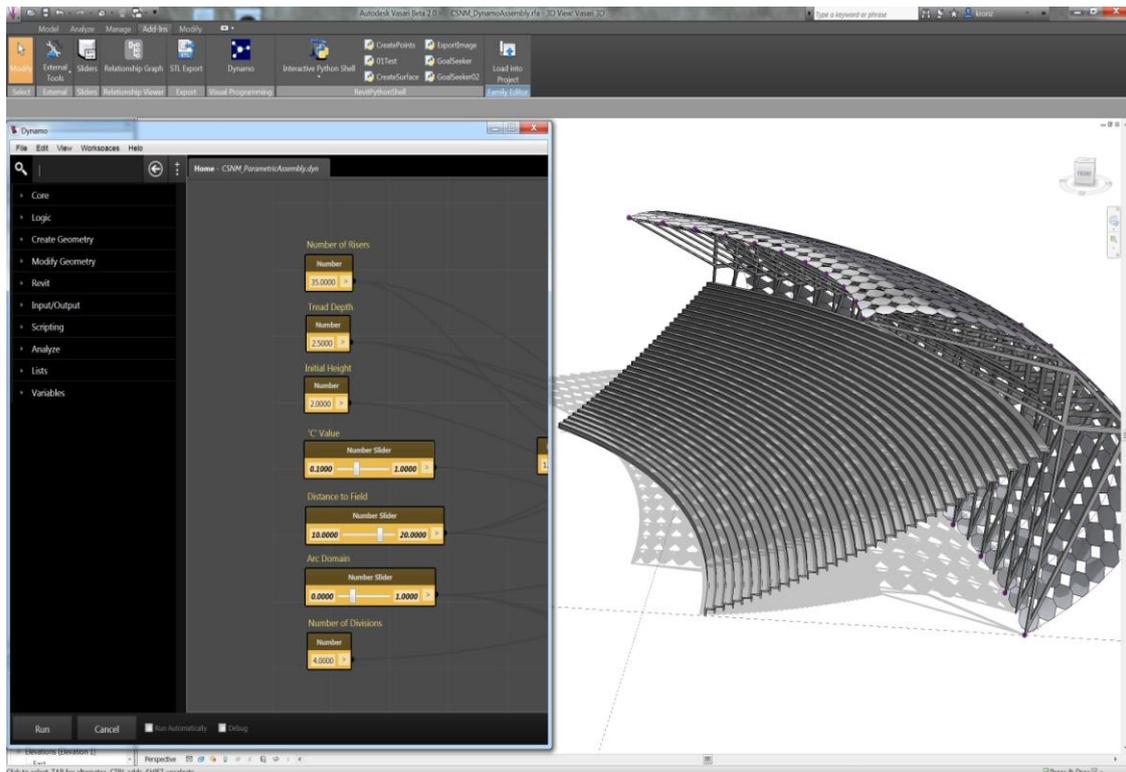
Ο οπτικός προγραμματισμός περιλαμβάνει την σύνδεση στοιχείων για τον προσδιορισμό σχέσεων και την ιεραρχία εκτέλεσης, ώστε να καθοριστούν αλγόριθμοι. Οι αλγόριθμοι αυτοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μια πληθώρα δράσεων, από την επεξεργασία δεδομένων έως την παραγωγή γεωμετρίας. Το μεγάλο πλεονέκτημα του Dynamo είναι ότι όλα αυτά μπορεί να πραγματοποιήσει κανείς και χωρίς να γράψει κώδικα. Επεκτείνει δηλαδή το BIM με επεξεργασία δεδομένων και λογικές εντολές σε ένα περιβάλλον γραφικής επεξεργασίας αλγορίθμων.



Εικόνα 83: Διαδικασία προγραμματισμού μέσω nodes στο Dynamo.

Η χρήση αλγορίθμων (VRIM nodes) επιτρέπει τη δημιουργία τρισδιάστατων γεωμετριών (BIM Families) που δημιουργούνται τροποποιώντας ένα σύνολο πρωτογενών γεωμετρικών σχημάτων που καθορίζονται διαδικαστικά από μια ακολουθία οδηγιών. (Εικ.83) (Γιοβαννίνι, 2017) Οι εντολές στο Dynamo είναι οργανωμένες σε μια βιβλιοθήκη κόμβων (node library) η οποία έχει αναδιοργανωθεί για να μειώσει τον πλεονασμό και να διευκολύνει την πλοήγηση των χρηστών.

Το Dynamo Studio μας επιτρέπει να χρησιμοποιήσουμε τον υπολογιστικό σχεδιασμό για να δημιουργήσουμε χιλιάδες πιθανές γεωμετρίες. Η γεωμετρία μπορεί να αλλάξει αυτόματα με βάση τις διαφορετικές εισαγόμενες τιμές (φύλλα δεδομένων από μια βάση δεδομένων), επιτρέποντας την αυτόματη επίλυση πολλών διαφορετικών υποθετικών αναπαραστάσεων. (Γιοβαννίνι, 2017) Προσφέρει με αυτό τον τρόπο τη δυνατότητα να διερευνηθούν όσο το δυνατόν περισσότερες επιλογές χωρίς να χρειάζεται να μοντελοποιείται κάθε φορά η διαδικασία. (Εικ.84)

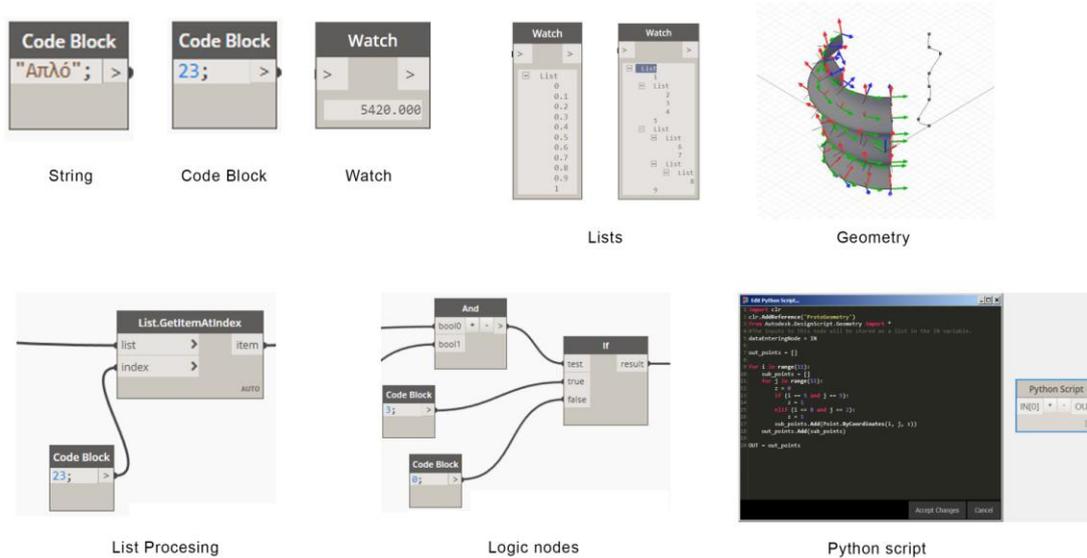


Εικόνα 84: Αυτόματος σχεδιασμός πολλών διαφορετικών παραλλαγών μιας ρευστής γεωμετρίας.

Στο Dynamo, οι κόμβοι (nodes) είναι «παράθυρα» που συνδέονται μεταξύ τους μπορούν να εκτελούν λειτουργίες. (Dynamo Language Manual) Οι πιο βασικοί κόμβοι είναι οι εξής: (Εικ. 85)

- **Strings:** Πρόκειται για κείμενο που ορίζεται μέσα σε εισαγωγικά (") και δεν αποτελεί εντολή αλλά αφορά μόνο μια λεκτική αναφορά.
- **Code Block:** Πρόκειται για μια τιμή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό σε κάποιον άλλο αλγόριθμο.
- **Watch:** Είναι ο κόμβος που παρουσιάζει ένα αποτέλεσμα αφού επιλεγθεί να τρέξει όλος ο αλγόριθμος του παρόντος Dynamo project.
- **Γεωμετρικοί κόμβοι:** αποτελούν πληθώρα των διαθέσιμων εντολών και αφορούν τη δημιουργία σημείων και το συσχετισμό μεταξύ τους, αλλά και διανυσματικής γεωμετρίας.
- **Logic nodes:** περιλαμβάνουν όλες τις λογικές εντολές όπως "if", "<", "True/False" και "and".

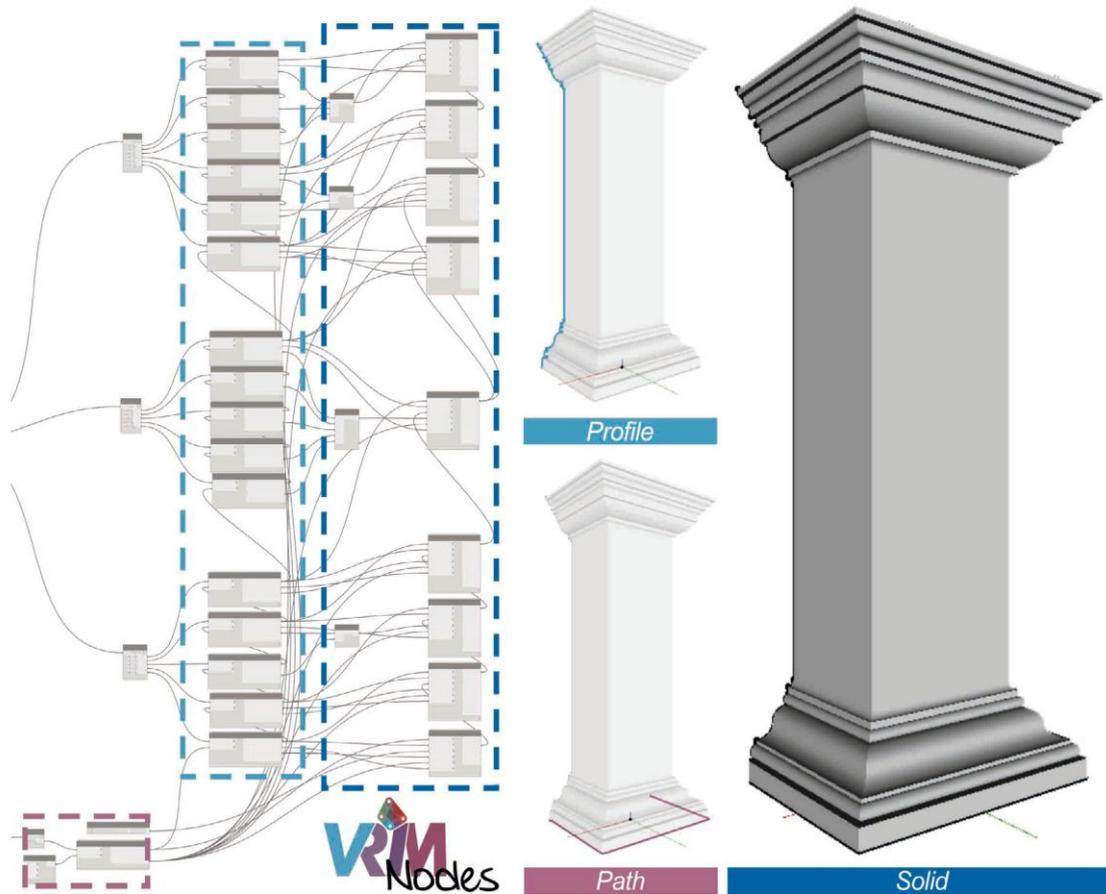
- List nodes: συγκροτούν, περιγράφουν επξεργάζονται λίστες τιμών ή τις διαχωρίζουν σε υπολίστες.
- Υπολογιστικοί κόμβοι: εκτελούν όλες τις πράξεις μεταξύ μεμονομένων κόμβων ή λιστών.
- Python Point Generators: ανοίγουν ένα παράθυρο για επιμέρους προγραμματισμό σε γλώσσα Python.



Εικόνα 85:Ενδεικτικοί κόμβοι Dynamo.

3.3.2 Επεξεργασία δεδομένων BIM μέσω Dynamo, αντλώντας από μια βάση δεδομένων

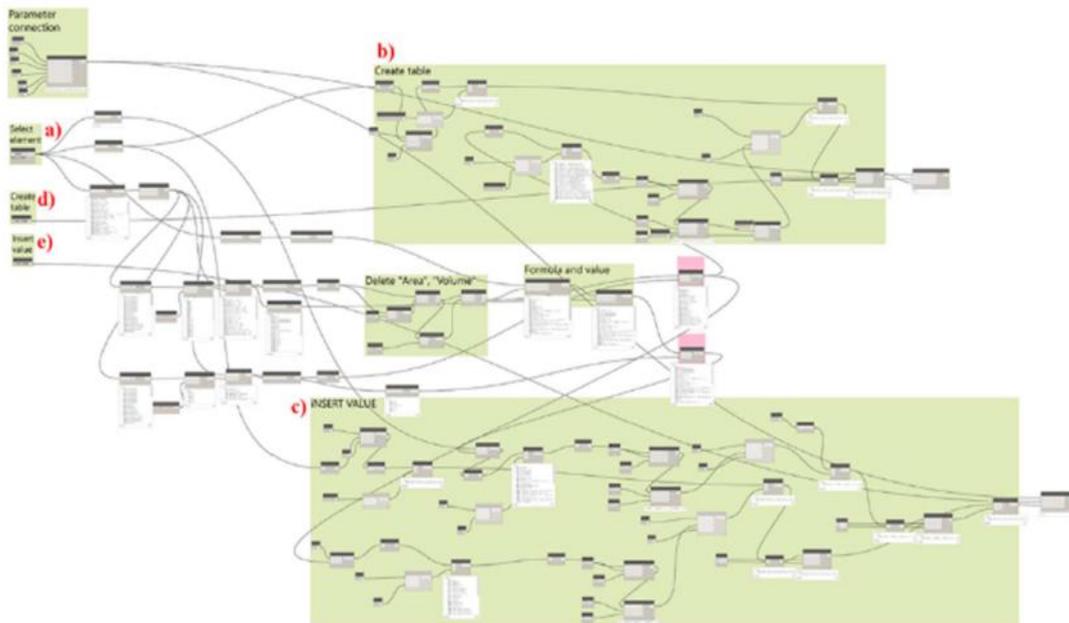
Το Dynamo παρέχει πολλαπλούς κόμβους (nodes) ικανούς για διαχείριση δεδομένων και αλληλεπίδραση με τις παραμέτρους του συστήματος (system parameters) οι οποίοι αφορούν την εξαγωγή πληροφοριών, τη δημιουργία συμβολοσειρών κειμένου (strings) για επικοινωνία με μια βάση δεδομένων MySQL και την ανάκτηση και ενημέρωση παραμετρικών τιμών από τη βάση δεδομένων MySQL. (Εικ.86) Κατά τη διάρκεια της φάσης εξαγωγής δεδομένων, είναι δυνατή η ανάκτηση των πληροφοριών της επιλεγμένης παρουσίας, συμπεριλαμβανομένων των ιδιοτήτων του τύπου οικογένειας (family properties), εφόσον έχει επιλεγεί ένα μοντέλο στο Revit όπου είχαν εισαχθεί προηγουμένως οι οικογένειες .rfa. Το λογισμικό επιστρέφει αυτές τις πληροφορίες, με τυχαίο τρόπο και σε μορφή λίστας: κάθε ευρετήριο έχει αντιστοιχία με ένα πεδίο και την αξία του. Η ιδιαιτερότητα αυτής της πρώτης λίστας είναι η ετερογενής παρουσία όλων των πληροφοριών, χωρίς ομαδοποίηση ανά τύπο. (R. Quattrini, 2018)



Εικόνα 86: Αντιστοιχία λίστας των δυνατών καμπυλών, των προφίλ και του τελικού στερεού μέσω επεξεργασίας Dynamo.

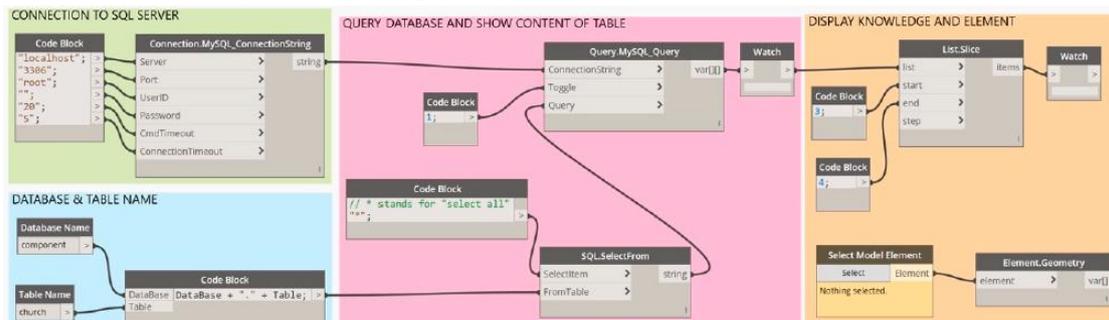
Η διαδικασία δημιουργίας οικογένειας με την εισαγωγή τιμών για το επιλεγμένο στοιχείο (element) είναι η εξής όπως φαίνεται και στην εικόνα 87:

- α) Επιλογή του αντικειμένου.
- β) Παραγωγή του string από τη βάση δεδομένων σε MySQL για τη δημιουργία του πίνακα.
- γ) Εισαγωγή των τιμών από τη βάση δεδομένων σε MySQL.
- δ) Ο αλγόριθμος επεξεργασίας.
- ε) Οπτικοποίηση του παραγόμενου αντικειμένου στην επιφάνεια εργασίας του Revit.



Εικόνα 87: Διαδικασία δημιουργίας οικογένειας με εισαγωγή τιμών.

Το Revit Dynamo παρέχει μια διαδραστική μορφή μελέτης, όπου οι χρήστες μπορούν να αναζητήσουν τις σημασιολογικές πληροφορίες που διατηρούνται στη βάση δεδομένων οντολογίας όσο σχεδιάζουν το τρισδιάστατο μοντέλο στην πλατφόρμα BIM (Εικ. 88). Επιτυγχάνεται δηλαδή σύνδεση των στοιχείων HBIM και των οντολογικών γνώσεων, όπου οι αντίστοιχες γνώσεις του επιλεγμένου στοιχείου στο Revit μπορούν να εμφανιστούν στο παράθυρο "watch". (Xiucheng Yang, 2019)



Εικόνα 88: Σύνδεση οντολογικών στοιχείων HBIM με βάση το Revit Dynamo.

Κεφάλαιο 4: Σχολιασμός/Συμπεράσματα

Το παραγόμενο της διαδικασίας HBIM είναι η δημιουργία ενός πλήρους τρισδιάστατου μοντέλου το οποίο περιέχει λεπτομέρεια και πέρα από την επιφάνεια του, που αφορά την ιστορικότητα και την ταυτότητα του, τις μεθόδους κατασκευής και την υλικότητα του διαχρονικά. Στόχος της μεθοδολογίας HBIM είναι η επεξεργασία για την ψηφιοποίηση και παρακολούθηση των μνημείων, καθώς και ο σχεδιασμός και η οργάνωση μελλοντικών επεμβάσεων. Οι ιδέες αυτές προσφέρουν νέες δυνατότητες στο κλάδο της διαχείρισης της πολιτιστικής κληρονομιάς, αμφισβητείται όμως η πρακτικότητα της μεθοδολογίας και θα πρέπει να ληφθεί υπόψη το κόστος και ο χρόνος κατά την επένδυση ενός φορέα σε αυτή.

Ένα ακόμη πλεονέκτημα του BIM, αποτελεί το γεγονός ότι τα λογισμικά που ενσωματώνουν την πρακτική αυτή, συγκεντρώνουν και αποθηκεύουν σε ένα μόνο αρχείο, πληροφορίες που ποικίλουν από γεωμετρικά χαρακτηριστικά, γεωγραφικές πληροφορίες, ενημέρωση για τα υλικά από τα οποία αποτελείται η κατασκευή και λεπτομερής αναφορά για αυτά, όπως θερμικές ιδιότητες, σκληρότητα και άλλα. Επίσης, προτέρημα αποτελεί και η διαδικασία της προσομοίωσης στην τεχνολογία BIM, καθώς οι εμπλεκόμενοι μπορούν να παρακολουθήσουν σε πραγματικό χρόνο τη διαδικασία εξέλιξης της κατασκευής, από την εκκίνηση του εργοταξίου και τις αρχικές εκσκαφές έως και την ολοκλήρωση του. Ως αποτέλεσμα, η εποπτική αυτή πρόβλεψη θα αποτρέψει πιθανά σφάλματα και η διαχείριση του έργου θα γίνει πιο αποτελεσματική.

Η πολύπλοκη γεωμετρία που παρουσιάζουν τα μνημεία από τη φύση τους, απαιτεί υψηλό επίπεδο εξοικείωσης αφενός με τα εργαλεία του BIM, καθώς και τη διατύπωση του ακριβή στόχου της καταγραφής, ώστε να γίνει η διαδικασία αυτή λιγότερο προβληματική ή χρονοβόρα. Το λογισμικό Revit που χρησιμοποιείται στην εργασία, δίνει τη δυνατότητα διαφορετικής μεθοδολογίας σχεδιασμού από τις συνήθεις πρακτικές (δισδιάστατης σχεδίασης ή δημιουργίας 3d μοντέλου επιφάνειας), μέσω παραμετροποίησης έτοιμων «οικογενειών» αντικειμένων, δημιουργίας νέων «οικογενειών» και μοντελοποίησης με «in-place families», ώστε να ανταποκρίνεται στις εκάστοτε απαιτήσεις του ζητούμενου, χρησιμοποιώντας ως υπόβαθρο πληροφορία σε μορφή πρωτογενών μετρήσεων, νέφους σημείων ή CAD. Σε αρκετές όμως περιπτώσεις, ενδείκνυται η σχεδίαση τυποποιημένων «οικογενειών» (ακροκέραμα, φουρούσια κλπ) που παρουσιάζουν ιδιαίτερο και μοναδικό γλυπτικό ανάγλυφο, ώστε να χρησιμοποιηθούν σε επανάληψη εντός του τελικού «project». Στις περιπτώσεις αυτές για το σχεδιασμό των «οικογενειών», δημιουργούνται ορισμένοι βοηθητικοί άξονες, μεταφέροντας τις διαστάσεις από το νέφος εντός του «project», γεγονός που καθυστερεί τη διαδικασία μοντελοποίησης. Η τυποποίηση ομάδων τέτοιων στοιχείων μπορεί να συμβάλλει στην υπέρβαση προβλημάτων όπως διερευνήθηκε στην πρότυπη νεοκλασική όψη που παραμετροποιήθηκε με τη διατήρηση των τυποποιημένων μορφολογικά συστημάτων και κανόνων που διέπουν το νεοκλασικισμό.

Η πλατφόρμα του BIM δίνει το έναυσμα για την ενίσχυση της διεπιστημονικής συνεργασίας, μεταξύ επαγγελματιών του κλάδου, με τα οφέλη να αποδίδονται σε όσους χρησιμοποιούν λογισμικά BIM τα οποία είναι συμβατά μεταξύ τους. Με τον τρόπο αυτό, εξοικονομείται χρόνος, αποφεύγονται ασυνεννοησίες και παρερμηνείες και γίνεται ξεκάθαρο στον καθένα από τους εμπλεκόμενους το προσδοκώμενο από αυτόν αποτέλεσμα και το μέχρι ποιο σημείο εκτείνεται η αρμοδιότητά του. Με όλους τους εμπλεκόμενους να έχουν πρόσβαση σε μια ενιαία διαδραστική βάση δεδομένων, οι συνεχόμενες αλλαγές και οι επαναλαμβανόμενες υποβολές μπορούν να μειωθούν ή να εξαλειφθούν εντελώς. Παρόλο που ενδείκνυται η εκμάθηση της μεθοδολογίας BIM κατά τη διάρκεια των σπουδών, ώστε όλες οι ειδικότητες να μπορούν να συνομιλήσουν σε κοινά πλαίσια και να συνεργαστούν άμεσα, δεν θα πρέπει να αντικαταστήσουν τη συνήθη διαδικασία εκπαίδευσης, ιδιαίτερα στην αρχιτεκτονική, που αποτελεί μια επιστήμη του ελεύθερου δημιουργικού πνεύματος.

Οι ρόλοι των διαφόρων εμπλεκόμενων σε ένα HBIM έργο θα πρέπει να είναι διακριτοί. Η συναρμογή των μοντέλων των επιμέρους μελετών, ο έλεγχος και η συμπλήρωση της κωδικοποίησης των αντικειμένων τους, όπως και ο έλεγχος για τυχόν ασυμβατότητες και η εν γένει διασφάλιση της πληρότητας, της ακεραιότητας και της συμβατότητας του ενιαίου διαλειτουργικού μοντέλου με το πρότυπο «IFC» (integrity check) είναι σημαντικό να εκπονείται από εξειδικευμένο μηχανικό ο οποίος και καλύπτει μια νέα θέση εργασίας στην γραμμή παραγωγής τεχνικών έργων, αυτήν του «συντονιστή BIM» (BIM Coordinator ή BIM Manager).

Επιπλέον, η χρήση διαφορετικών πηγών δεδομένων που χρησιμοποιούνται σε έργα Πολιτιστικής Κληρονομιάς απαιτεί την κριτική σκέψη ενός μηχανικού, με την εξασκημένη αντίληψη του χώρου, ειδικά όταν ένα μέρος αυτών είναι τοπογραφικά-φωτογραμμετρικά δεδομένα.

Τα διεθνή πρότυπα για την τεκμηρίωση και διατήρηση των μνημείων έχουν διατυπωθεί από Αμερική και από Αγγλία ως «Historic American Building Surveys (HABS)» και «English Heritage Metric Survey Practice» αντίστοιχα. Τα πρότυπα αυτά όμως δεν έχουν γίνει επισήμως αποδεκτά παγκοσμίως και συνεπώς δεν υπάρχει μια ενιαία κατεύθυνση στην τυποποίηση της τεκμηρίωσης. Η διαλειτουργικότητα του HBIM με διάφορα άλλα λογισμικά επιτρέπει τον διαμοιρασμό κοινών πληροφοριών, υπό την έννοια ότι ανταποκρίνεται σε πραγματικό χρόνο στις αλλαγές, παρακολουθώντας το μνημείο σε όλο τον κύκλο ζωής του (λειτουργία, ανάπτυξη και ανανέωση του καταλόγου των μνημείων), αλλά και επειδή συμβάλλει στην οργάνωση και την επιτάχυνση της διαδικασίας παρουσίασης. Εντούτοις, η έλλειψη ενδιαφέροντος και συνεννόησης μεταξύ των αντίστοιχων κρατικών Υπηρεσιών καθιστά ίσως το HBIM μια απομονωμένη και μη απαλλαγμένη από τη γραφειοκρατία διαδικασία.

Με την εμβάθυνση στις τεχνολογίες BIM, απλοποιούνται διαδικασίες οι οποίες μέχρι προηγουμένως ήταν χρονοβόρες, κοστοβόρες και περίπλοκες. Η αυτοματοποίηση του υπολογισμού ποσοτήτων και των επιμετρήσεων, συνιστά σημαντικό πλεονέκτημα υπό το πρίσμα της ανάγκης ακριβούς υπολογισμού και λεπτομερούς μελέτης. Επίσης, η τεχνολογία BIM συνεισφέρει στην αποφυγή σφαλμάτων που μπορεί να οδηγήσουν το έργο εκτός προϋπολογισμού. Είναι ιδιαίτερα σημαντική η δυνατότητα δημιουργίας εναλλακτικών σεναρίων κόστους του έργου για την επιλογή της πιο συμφέρουσας λύσης ως προς τη σχέση ποιότητας/τιμής, με ελάχιστους πόρους έρευνας. Ακόμη, είναι δυνατή και η πρόβλεψη και επίλυση κατασκευαστικών προβλημάτων πριν αυτά εμφανιστούν στο εργοτάξιο.

Το μεγαλύτερο μάλιστα όφελος εμφανίζεται στη διαχείριση και τη συντήρηση του έργου μετά την ολοκλήρωση της ανακατασκευής του (operational and facility management). Δεδομένου ότι το πληροφοριακό μοντέλο του έργου είναι καταχωρημένο με όλες τις πληροφορίες του, αλλά και την κατάσταση στην οποία βρίσκεται το κάθε του αντικείμενο, είναι πολύ εύκολο να ενημερωθεί με πληροφορίες για το πρόγραμμα συντήρησης και ελέγχων που χρειάζεται να γίνουν μετά από συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, ή σε περίπτωση βλάβης να ενημερωθεί άμεσα ο κατασκευαστής του αντικειμένου. Συνεπώς, η μεθοδολογία BIM ασφαλώς θεωρείται προσοδοφόρα στη διαχείριση κτιρίων πολιτισμικής κληρονομιάς.

Το ερώτημα λοιπόν που εγείρεται είναι εάν είναι διατεθειμένες οι μελετητικές και κατασκευαστικές εταιρείες να επενδύσουν σε αυτή την τεχνολογία. Το κράτος ίσως οδηγηθεί με βάση τις διεθνείς τάσεις να καταστήσει υποχρεωτική την εφαρμογή της π.χ. σε δημόσια έργα όπως έχει ήδη πραγματοποιηθεί από άλλες χώρες της ΕΕ (π.χ. Μ. Βρετανία από τον Απρίλιο του 2016). Μια τέτοια κυβερνητική πολιτική στην Ελλάδα θα αποτελούσε ένα τεράστιο κεφάλαιο στη διαχείριση του τεράστιου πολιτιστικού αποθέματος που διαθέτει. Η όλη προσπάθεια θα μπορούσε να ξεκινήσει από τη συγκροτημένη οργάνωση μιας βιβλιοθήκης με στοιχεία ελληνικής αρχιτεκτονικής όπως διερευνήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία, όμως σε ευρύτερη κλίμακα.

Βιβλιογραφία

- AEC, U. (2015). *BIM Technology Protocol. Practical Implementation of BIM for the UK Architectural, Engineering and Construction (AEC) Industry*. London: AEC (UK).
- Boardman, C. (2018). *3D Laser Scanning for Heritage*. Swindon: Historic England.
- Bradley, A. H. (2016). BIM for infrastructure: An overall review and constructor perspective. *Automation in Construction* 71, 139-152.
- D. Oreni, R. B. (2014). Survey turned into hbim: the restoration and the work involved concerning the basilica Diccollemaggio after the earthquake(l'aquila). *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume II-5, 267-273*.
- Davide Simeone, S. C. (2014). Extending BIM approach to historical and archaeological heritage Representation. *Digital Heritage vol.1*, 616-620.
- F. Matrone, E. C. (2019). HBIM in a semantic 3d gis database. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens*, 857–865.
- G. Bacci, F. B.-E. (2019). HBIM methodologies for the architectural restoration. the case of the ex-church of San Quirico all'Olivo in Lucca, Tuscany. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-2/W11*, 121-126.
- Ghaffarianhoseini, A. (2017). Building Information Modeling (BIM) uptake: Clear benefits, understanding its implementation, risks and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 75.
- Giovannini, E. C. (2017). VRIM workflow: semantic H-BIM objects using parametric geometries. *3D MODELING & BIM*, 211.
- Howard, R. B.-C. (2008). *Building information modeling – Experts' views on standardization and industry deployment*. Cambridge: Advanced Engineering Information.
- Khan, R. (2015). *BIM and VDC Defined, The Mortenson Perspective*. Synchro Ltd.
- Knittle, B. (2012). *Content in Revit - Families*. Quakertown: Synergis Engineering Design.
- Lee Sacks, R. E. (2006). Specifying parametric building object behavior (BOB) for a building information modeling system. *Automation in Construction vol.15*, 758.
- M Murphy, E. M. (2011). Historic building information modelling - adding intelligence to laser and image based surveys. *national Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol.XXXVIII*.
- Matejka, P. &. (2017). Ontology of BIM in a Construction Project Life Cycle. *Precedia Engineering*, 196.
- National Institute of Building Sciences, N. (2012). *National BIM Standard – United States*. NIBS.

- Oreni, D. &. (2014). HBIM Library Objects for Conservation and Management of Built Heritage. *International Journal of Heritage in the Digital Era*, 321-334.
- Oriel Prizeman, C. B. (2018). How can century-old architectural hierarchies for the design of public libraries be re-interpreted and re-used. *Cultural Heritage Management and Sustainable Development vol.8*, 482.
- R. Quattrini, C. B. (2018). HBIM to VR. Semantic awareness and data enrichment interoperability for parametric libraries of historical architecture. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-2*, 937-943.
- Schenk, T. (2005). *Introduction to Photogrammetry*. Columbus: The Ohio State University.
- Sofia Antonopoulou, P. B. (2017). *BIM for Heritage*. Swindon: Historic England.
- Tobias, P. (2016). *BIM, GIS and semantic models of cultural heritage buildings*. Prague: Czech Technical University in Prague.
- Xiucheng Yang, Y.-C. L. (2019). HBIM Modeling from the Surface Mesh and Its Extended Capability of Knowledge Representation. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.*, 301.
- Yusuf Arayici, J. C. (2017). *Heritage Building Information Modelling*. New York: Routledge.
- Θανόπουλος, Ν. (2007). *Τα Αθηναϊκά μνημειακά κτίρια του 19ου αιώνα και των αρχών του 20ου αιώνα με διερεύνηση της κατασκευαστικής και στατικής μεθοδολογίας (1834 – 1916)*. Αθήνα: Σταμούλης.
- Καρδαμίτση - Αδάμη Μ., Μ. Μ. (2000). *Νεοκλασσική Αρχιτεκτονική στην Ελλάδα*. Αθήνα: Μέλισσα.
- Μπίρης, Μ. (1987). *Μισός αιώνας αθηναϊκής αρχιτεκτονικής 1875 – 1925*. Αθήνα: Μέλισσα.
- Φιλίππιδης, Δ. (1986). *Νεοελληνική Αρχιτεκτονική*. Αθήνα: Μέλισσα.

Σημείωση: Οι πηγές των εικόνων είναι είτε οι αντίστοιχες του κειμένου από όπου παραπέμπονται, είτε έχουν αντληθεί από το προσωπικό αρχείο.

Διαδικτυακές πηγές

Revit	https://www.autodesk.com/
Autodesk Knowledge	http://www.knowledge.Autodesk.com
Autodesk®'s WikiHelp	http://wikihelp.autodesk.com
American Institute of Architects	http://www.aia.org
Archaeology Data Service (ADS)	http://archaeologydataservice.ac.uk/
BIM4Heritage	http://bim4heritage.org
National Building Specification (NBS)	https://www.thenbs.com
Dynamo	https://dynamobim.org/

Τελευταία επίσκεψη των ιστοσελίδων: Σεπτέμβριος 2020