

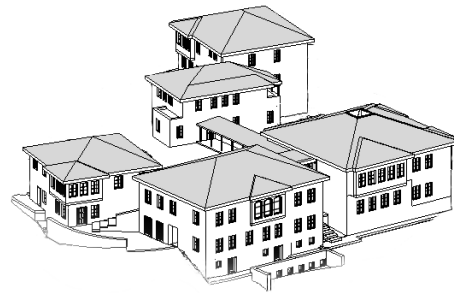


ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ (ΔΠΜΣ)
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ**

**Η συμβολή της Μοντελοποίησης της Κτιριακής
Πληροφορίας στην παρακολούθηση της ενεργειακής
συμπεριφοράς των κτιρίων: η περίπτωση του κτιριακού
συγκροτήματος του ΜΕ.Κ.Δ.Ε. στο Μέτσοβο**

Μεταπτυχιακή Εργασία



Βασιλική Δ. Ράμφου
Αρχιτέκτων Μηχανικός ΕΜΠ

Αθήνα, Φεβρουάριος 2017

**ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ
&
ΑΝΑΠΤΥΞΗ**

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:
Αν. Καθηγήτρια Ε. Δημοπούλου (επιβλέπουσα)
Καθηγητής Γ. Φώτης
Καθηγητής Ι. Ψαρράς



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ (ΔΠΜΣ)
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ

**Η συμβολή της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας
στην παρακολούθηση της ενεργειακής συμπεριφοράς των
κτιρίων: η περίπτωση του κτιριακού συγκροτήματος του
ΜΕ.Κ.Δ.Ε. στο Μέτσοβο**

Μεταπτυχιακή Εργασία

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 20^η
Φεβρουαρίου 2017.

(Υπογραφή)

.....
Ε. Δημοπούλου
Αν. Καθηγήτρια

(Υπογραφή)

.....
Γ. Φώτης
Καθηγητής

(Υπογραφή)

.....
Ι. Ψαρράς
Καθηγητής

(Υπογραφή)

.....
Βασιλική Δ. Ράμφου
Αρχιτέκτων Μηχανικός ΕΜΠ

Πρόλογος

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία με τίτλο «Η συμβολή της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας στην παρακολούθηση της ενεργειακής συμπεριφοράς των κτιρίων: η περίπτωση του κτιριακού συγκροτήματος του ΜΕ.Κ.Δ.Ε. στο Μέτσοβο», εκπονήθηκε στο πλαίσιο του Διατμηματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών (ΔΠΜΣ) «Περιβάλλον και Ανάπτυξη» του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (ΕΜΠ), υπό την επίβλεψη της Αναπληρώτριας Καθηγήτριας του ΕΜΠ, κας Δημοπούλου Έφης.

Σκοπός είναι η εισαγωγή στη μεθοδολογία της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας και η κατανόηση της συμβολής της στον ολοκληρωμένο σχεδιασμό και στην παρακολούθηση της ενεργειακής συμπεριφοράς ενός κτιρίου, μέσω της εφαρμογής της στη μοντελοποίηση του κτιριακού συγκροτήματος του Μετσόβιου Κέντρου Διεπιστημονικής Έρευνας (ΜΕ.Κ.Δ.Ε.) του ΕΜΠ στο Μέτσοβο.

Με την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας και ταυτόχρονα την περάτωση των μεταπτυχιακών μου σπουδών, θα ήθελα να ευχαριστήσω όσους συνέβαλαν άμεσα ή έμμεσα στην εκπόνησή της. Καταρχήν θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα Αναπληρώτρια Καθηγήτρια κα. Δημοπούλου Έφη για την πολύτιμη βοήθεια, υποστήριξη και καθοδήγησή της. Ακόμη ευχαριστώ τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, κ. Φώτη Γεώργιο, Αναπληρωτή Καθηγητή ΕΜΠ, και κ. Ψαρρά Ιωάννη, Καθηγητή ΕΜΠ, για το χρόνο που διέθεσαν στην εξέταση της διπλωματικής εργασίας. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη του φιλικού και οικογενειακού μου περιβάλλοντος για την επικοινωνιακή κριτική, την υπομονή και την αμέριστη βοήθεια και συμπαράστασή τους.

Πίνακας περιεχομένων

Πίνακας περιεχομένων	5
Πίνακας Εικόνων.....	6
Πίνακας Γραφημάτων.....	7
Πίνακες	9
Περίληψη.....	11
Abstract.....	13
1. Εισαγωγή στην έννοια της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας.....	16
1.1 Ο ορισμός της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας.....	16
1.2 Τα πλεονεκτήματα και οι προκλήσεις της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας	18
1.3 Η εξέλιξη της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας	27
1.4 Το θεωρητικό πλαίσιο της μεθοδολογίας της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας (BIM Framework).....	39
2. Μοντελοποίηση Κτιριακής Πληροφορίας και «πράσινη» δόμηση.....	54
2.1 Περιβαλλοντικά ζητήματα που σχετίζονται με τη σύγχρονη δόμηση	54
2.2 Η έννοια και τα οφέλη της «πράσινης» δόμησης	63
2.3 Πιστοποίηση «πράσινων» κτιρίων	67
2.4 Το νομοθετικό πλαίσιο στην Ελλάδα.....	74
2.5 Η συμβολή της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας στη δημιουργία «πράσινων» κτιρίων	84
2.6 Παραδείγματα	88
3. Εφαρμογή της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας στο κτιριακό συγκρότημα του ΜΕ.Κ.Δ.Ε. στο Μέτσοβο	98
3.1 Το αντικείμενο της μοντελοποίησης	98
3.2 Η επιλογή του λογισμικού	114
3.3 Η διαδικασία της μοντελοποίησης.....	120
3.4 Αποτελέσματα της ανάλυσης της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιριακού συγκροτήματος του ΜΕ.Κ.Δ.Ε.....	139
Επίλογος.....	157
Βιβλιογραφία.....	161
Παράρτημα 1. Μετεωρολογικά δεδομένα για το Μέτσοβο	171

Παράρτημα 2. Ονομασία, επιφάνεια και όγκος δωματίων που χρησιμοποιήθηκαν για τη μοντελοποίηση του κτιριακού συγκροτήματος του ΜΕ.Κ.Δ.Ε. ανά επίπεδο/ στάθμη...177

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1. Σύγκριση 2D CAD και BIM σχεδίασης.....	18
Εικόνα 2. Οι διαστάσεις της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας	21
Εικόνα 3. Τα στάδια εξέλιξης ενός κτιριακού έργου.....	23
Εικόνα 4. Η υιοθέτηση της μοντελοποίησης της κτιριακής πληροφορίας από τους συμμετέχοντες στον κατασκευαστικό κλάδο στις ΗΠΑ κατά το διάστημα 2009-2012. ...	23
Εικόνα 5. Παράδειγμα απεικόνισης μίας σπειροειδούς σκάλας μέσω της GLIDE.	29
Εικόνα 6. Το εργαλείο Decision Desktop επέτρεπε στο χρήστη να συγκρίνει πολλαπλές εναλλακτικές σχεδιαστικές «λύσεις» κάτω από διαφορετικές παραμέτρους του σχεδιασμού.....	30
Εικόνα 7. Στιγμιότυπο οθόνης από το Radar CH (αργότερα ArchiCAD) δείχνει το βαθμό ανάπτυξης των δυνατοτήτων της μοντελοποίησης BIM το 1984 σε έναν προσωπικό υπολογιστή.	30
Εικόνα 8. Τοπική επίδραση σε μία καμπύλη B-spline με τη μετακίνηση ενός σημείου ελέγχου	33
Εικόνα 9. Παράδειγμα NURBS επιφάνειας (δεξιά) και το αντίστοιχο πλέγμα των σημείων ελέγχου (αριστερά).....	33
Εικόνα 10. Γλώσσα οπτικής αναπαράστασης Grasshopper	34
Εικόνα 11. Σχηματική απεικόνιση ενός GBM.	38
Εικόνα 12. Η τριαξονική δομή της μεθοδολογίας της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας	40
Εικόνα 13. Διάγραμμα του Venn που απεικονίζει τα πεδία δραστηριοτήτων.	41
Εικόνα 14. Οι αλληλεπιδράσεις στο εσωτερικό και μεταξύ των πεδίων - «κόμβων».....	42
Εικόνα 15. Οι αλληλεπικαλύψεις μεταξύ των πεδίων	42
Εικόνα 16. Τα στάδια μοντελοποίησης της κτιριακής πληροφορίας.....	49
Εικόνα 17. Οι «φακοί» της μεθοδολογίας.....	51
Εικόνα 18. Συνολική τελική κατανάλωση ενέργειας στην Ελλάδα κατά το διάστημα 2000-2013.....	59
Εικόνα 19. Οφέλη της αύξησης της ενεργειακής αποδοτικότητας των κτιρίων.....	64
Εικόνα 20. Σχηματική απεικόνιση κλιματικών ζωνών ελληνικής επικράτειας	78
Εικόνα 21. Κατηγορίες της ενεργειακής ταξινόμησης των κτιρίων	79
Εικόνα 22. Διάγραμμα ηλιασμού σε τομή του MiaSci	89
Εικόνα 23. Διάγραμμα διαχείρισης των ομβρίων υδάτων σε τομή του MiaSci	89
Εικόνα 24. Διάγραμμα αερισμού σε τομή του MiaSci	90
Εικόνα 25. Προσομοίωση σε λογισμικό BIM της έντασης του αέρα μέσα στο «κανάλι», η οποία ενώ στο άνω τμήμα του κτιρίου είναι εξαιρετικά υψηλή, τελικά δημιουργεί ευχάριστες συνθήκες άνεσης στο επίπεδο του εδάφους.....	90

Εικόνα 26. Διαγραμματική απεικόνιση της ενεργειακής συμπεριφοράς του KAUST	93
Εικόνα 27. Οι διαδοχικές φάσεις κατασκευής των ηλιακών πύργων, όπως προσομοιώθηκαν σε λογισμικό BIM	93
Εικόνες 28 και 29. Προσομοίωση διαδοχικών δοκιμών της μορφής του κτιρίου (δεξιά). Το διπλό κέλυφος του πύργου της Σαγκάη το οποίο λειτουργεί ως θερμική ζώνη ανάσχεσης (αριστερά).....	95
Εικόνα 30. Άνοψη του κτιριακού συγκροτήματος του ΜΕ.Κ.Δ.Ε. υπό κλίμακα 1:500. ..	101
Εικόνα 31. Κύριοι τύποι του μετσοβίτικου σπιτιού	104
Εικόνα 32. α. όψη σπιτιού, β. όψη του σπιτιού του Μέρανου, γ. όψη του σπιτιού του Μπρίση και δ. όψη του αρχοντικού του Βατιπούλη	106
Εικόνα 33. Σχηματική τομή των δύο συνηθέστερα χρησιμοποιούμενων τύπων εξωτερικών τοιχοποιιών σε κλίμακα 1:25.....	122
Εικόνα 34. Πρόγραμμα κατάληψης του τύπου κτιρίου «Σχολείο ή Πανεπιστήμιο»	125
Εικόνα 35. Πρόγραμμα κατάληψης του τύπου κτιρίου «Motel»	126
Εικόνα 36. Πρόγραμμα κατάληψης του τύπου κτιρίου «Κατοικία»	126
Εικόνα 37. Πρόγραμμα λειτουργίας 24/7	127
Εικόνα 38. Ο κοντινότερος μετεωρολογικός σταθμός	129
Εικόνα 39. Θερμική υστέρηση και μετρίαση του πλάτους ταλάντωσης της εσωτερικής θερμοκρασίας εξαιτίας της θερμικής μάζας.	133
Εικόνα 40. Μετάδοση θερμότητας μέσω υαλοπίνακα.	134
Εικόνα 41. Στιγμιότυπο οθόνης από το Revit Architecture κατά την εξαγωγή του μοντέλου σε gbXML format, όπου απεικονίζεται η ιεραρχία των αναλυτικών επιφανειών (analytical surfaces) ενός WC στη στάθμη +3,40 του κτιρίου του Εστιατορίου - Κυλικείου.	137
Εικόνα 42. Στιγμιότυπο οθόνης από το Revit Architecture κατά την εξαγωγή του μοντέλου σε gbXML format, όπου απεικονίζεται το σύνολο των «δωματίων» (rooms) του μοντέλου.	138
Εικόνα 43. Διαγράμματα ηλιασμού του μοντέλου ανά δύο ώρες κατά τη διάρκεια της ημέρας (από την ανατολή έως τη δύση του ηλίου - 5:09-20:04)του θερινού ηλιοστάσιου.....	146
Εικόνα 44. Διαγράμματα ηλιασμού του μοντέλου ανά δύο ώρες κατά τη διάρκεια της ημέρας (από την ανατολή έως τη δύση του ηλίου - 7:54-17:11) του χειμερινού ηλιοστάσιου.....	147
Εικόνα 45. Διαγραμματική απεικόνιση της περιστροφής του μοντέλου κατά 135°	151
Εικόνα 46. Όψεις του κτιριακού συγκροτήματος του ΜΕ.Κ.Δ.Ε. σε κλίμακα 1:500	152

Πίνακας Γραφημάτων

Γράφημα 1. Συχνότητα υιοθέτησης της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας από τους χρήστες	24
---	----

Γράφημα 2. Λόγοι χρήσης της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας.....	24
Γράφημα 3. Ποσοστό της περιβαλλοντικής ευθύνης των κτιρίων	55
Γράφημα 4. Κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα	56
Γράφημα 5. Κατανομή της κατανάλωσης ενέργειας ενός μέσου νοικοκυριού στις ΗΠΑ	56
Γράφημα 6. Ένταση κατανάλωσης ενέργειας ανά εμβαδόν επαγγελματικού κτιρίου στις ΗΠΑ το 2003	57
Γράφημα 7. Ένταση κατανάλωσης ενέργειας ανά χρήση επαγγελματικού κτιρίου στις ΗΠΑ το 2003.	58
Γράφημα 8. Κατανομή στερεών αποβλήτων στην ΕΕ 1992-97.....	58
Γράφημα 9. Συμμετοχή ανά τύπο καυσίμου στη συνολική τελική κατανάλωση ενέργειας στην Ελλάδα.....	60
Γράφημα 10. Συμμετοχή ανά τομέα στη συνολική τελική κατανάλωση ενέργειας στην Ελλάδα.	61
Γράφημα 11. Ετήσια κατανάλωση ενέργειας ανά βαθμό αστικότητας	62
Γράφημα 12. Ποσοστιαία κατανομή των συντελεστών βαρύτητας των κριτηρίων πιστοποίησης BREEAM των νέων κατασκευών από το 2014 και μετά, με μέγιστο το 110%	69
Γράφημα 13. Ποσοστιαία κατανομή των συντελεστών βαρύτητας των κριτηρίων πιστοποίησης LEED των νέων κατασκευών, με μέγιστο το 110%.....	71
Γράφημα 14. Αναμενόμενος χρόνος διεξόδου του «Green BIM» στην αγορά.....	85
Γράφημα 15. Οι βασικότεροι τομείς συμβολής της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας στο σχεδιασμό «πράσινων» κτιρίων.....	86
Γράφημα 16. Τα σημαντικότερα ερεθίσματα που οδηγούν στην υιοθέτηση της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας στο σχεδιασμό «πράσινων» κτιρίων.	87
Γράφημα 17. Μέση μηνιαία θερμοκρασία (°C) κατά το έτος 2015, συνολικό μηνιαίο ύψος βροχής (mm) κατά το έτος 2015 (κίτρινη γραμμή) και μέση μηνιαία θερμοκρασία (°C) για 28 έτη κατά το διάστημα 1961-2009 (διακεκομμένη γραμμή).....	111
Γράφημα 18. Παράδειγμα διάρθρωσης της ιεραρχίας της κατηγορίας «κολόνα»	117
Γράφημα 19. Η ιεραρχία των δομικών στοιχείων στο Green Building Studio	137
Γράφημα 20. Κατανομή της ετήσιας τελικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας.	140
Γράφημα 21. Κατανομή της ετήσιας τελικής κατανάλωσης θερμικής ενέργειας.	140
Γραφήματα 22-24. Κατανομή της κατανάλωσης της συνολικής, της ηλεκτρικής και της θερμικής ενέργειας ανά μήνα.	141
Γράφημα 25. Η μεταβολή της ετήσιας Έντασης Κατανάλωσης Ενέργειας ανάλογα με τη γωνία περιστροφής	151
Γράφημα 26. Η επίδραση του προσανατολισμού των ανοιγμάτων στην αύξηση των θερμικών ηλιακών κερδών.....	154
Γράφημα 28. Μηνιαία δεδομένα σχεδιασμού.....	171
Γράφημα 29. Κατανομή συχνότητας ξηρού βολβού (ετήσια)	172
Γράφημα 30. Αθροιστική κατανομή ξηρού βολβού (ετήσια)	172
Γράφημα 31. Ροδόγραμμα ανέμου (ετήσιο).....	173
Γράφημα 32. Κατανομή συχνότητας ταχύτητας ανέμου (ετήσια).....	173

Γράφημα 33. Ροδόγραμμα ανέμου (Ιανουάριος - Μάρτιος)	174
Γράφημα 34. Ροδόγραμμα ανέμου (Ιούλιος - Σεπτέμβριος)	174
Γράφημα 35. Κατανομή συχνότητας σημείου δρόσου (ετήσια).....	175
Γράφημα 36. Κατανομή συχνότητας σχετικής υγρασίας (ετήσια).....	175
Γράφημα 37. Κατανομή συχνότητας νεφοκάλυψης (ετήσια).....	175
Γράφημα 38. Κατανομή συχνότητας άμεσης ακτινοβολίας (ετήσια)	176
Γράφημα 39. Κατανομή συχνότητας διάχυτης ακτινοβολίας (ετήσια)	176
Γράφημα 40. Κατανομή συχνότητας συνολικής ακτινοβολίας (ετήσια)	176

Πίνακες

Πίνακας 1. Όροι που χρησιμοποιούνται από ερευνητές, ιδρύματα και οργανισμούς για να περιγράψουν τη Μοντελοποίηση της Κτιριακής Πληροφορίας.	37
Πίνακας 2. Οι τρεις φάσεις του κύκλου ζωής ενός κτιριακού έργου και επιμέρους φάσεις, δραστηριότητες και εργασίες.	44
Πίνακας 3. Μη εξαντλητική λίστα φακών και φίλτρων BIM	50
Πίνακας 4. Μέγιστος επιτρεπόμενος Συντελεστής Θερμοπερατότητας δομικών στοιχείων κατά κλιματική ζώνη.....	78
Πίνακας 5. Κατηγορίες ενεργειακής απόδοσης κτιρίων	80
Πίνακας 6. Η επιφάνεια των κτιριακών εγκαταστάσεων του ΜΕ.Κ.Δ.Ε. ανά κτίριο και στάθμη.	100
Πίνακας 7. Ιστορικά διατηρητέα μνημεία στον οικισμό του Μετσόβου ανά είδος μνημείου, ονομασία και αριθμό Υπουργικής Απόφασης και αριθμό ΦΕΚ	109
Πίνακας 8. Μη εξαντλητική λίστα πακέτων λογισμικών BIM	115
Πίνακας 9. Τύποι της κατηγορίας τοιχοποιίες που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του μοντέλου. Η σύνθεση αναφέρεται στη δομή των υλικών από τον εξωτερικό προς τον εσωτερικό χώρο.	121
Πίνακας 10. Παράμετροι ανά τύπο κτιρίου.	123
Πίνακας 11. Τιμές συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, ειδικής θερμοχωρητικότητας και πυκνότητας για τα δομικά υλικά που χρησιμοποιήθηκαν στη μοντελοποίηση του κτιριακού κελύφους.	135
Πίνακας 12. Τιμές συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας για δομικά στοιχεία του μοντέλου τα οποία έρχονται σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα.	136
Πίνακας 13. Ανάλυση της συμβολής των κεκλιμένων ή οριζόντιων επιφανειών επί των οποίων τοποθετούνται φωτοβολταϊκά πάνελ στην παραγωγή ενέργειας και στη δυνητική εξοικονόμηση δαπανών.....	143
Πίνακας 14. Η μεταβολή της ενεργειακής συμπεριφοράς του μοντέλου ανάλογα με τη γωνία περιστροφής	150
Πίνακας 15. Η μεταβολή της ενεργειακής συμπεριφοράς του μοντέλου ανάλογα με τη σκίαση των ανοιγμάτων	154
Πίνακας 16. Μεταβολή της ενεργειακής συμπεριφοράς του μοντέλου ανάλογα με τη μείωση της Πυκνότητας Ισχύος Φωτισμού	155

Πίνακας 17. Μεταβολή της ενεργειακής συμπεριφοράς του μοντέλου ανάλογα με την εγκατάσταση συστημάτων ελέγχου φωτισμού	156
Πίνακας 18. Βαθμομέρες ψύξης και θέρμανσης	171
Πίνακας 19. Ετήσιες συνθήκες σχεδιασμού: θερμοκρασίες ξηρού και υγρού (Mean Coincident Wet Bulb) βολβού	171
Πίνακας 20. Λίστα των δωματίων του κτιριακού συγκροτήματος του ΜΕ.Κ.Δ.Ε	177

Περίληψη

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία μελετάται η συμβολή της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας στην προσομοίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς των κτιρίων. Αρχικά επιδιώκεται μία προσέγγιση της έννοιας της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας και των πλεονεκτημάτων που προσφέρει, τα οποία συνοψίζονται στους τομείς της παραγωγικότητας της εργασίας, της ποιότητας σχεδιασμού και του κόστους. Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται για τις διαστάσεις που παρουσιάζεται να έχει στη διεθνή βιβλιογραφία, τις σύγχρονες προκλήσεις που αντιμετωπίζει, καθώς και την εξέλιξή της κατά τις τελευταίες δεκαετίες. Για την καλύτερη προσέγγιση της έννοιας, επιδιώκεται μία ανάλυση της δομής της και του θεωρητικού πλαισίου που αναπτύσσεται γύρω από αυτή.

Στη συνέχεια, μελετάται η συμβολή της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας στην κατασκευή «πράσινων» κτιρίων. Προσδιορίζεται η έννοια της «πράσινης» δόμησης ως απάντηση στα περιβαλλοντικά ζητήματα που σχετίζονται με τη σύγχρονη δόμηση, ενώ διερευνώνται τα εργαλεία περιβαλλοντικής αξιολόγησης των κτιρίων. Επιπλέον, περιγράφεται το νομοθετικό πλαίσιο στην Ελλάδα, όπως εξελίχθηκε τις τελευταίες δεκαετίες, σύμφωνα με τις κατευθύνσεις και το γενικότερο πλαίσιο των ευρωπαϊκών οδηγιών.

Για την τεκμηρίωση της συμβολής της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας στην προσομοίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς των κτιρίων, επιλέγεται η μοντελοποίηση του κτιριακού συγκροτήματος του Μετσόβιου Κέντρου Διεπιστημονικής Έρευνας (ΜΕ.Κ.Δ.Ε.) του ΕΜΠ στο Μέτσοβο σε λογισμικό Revit Architecture. Η μορφή, η κατασκευαστική δομή και η λειτουργική οργάνωση του κτιριακού συγκροτήματος υπαγορεύεται από ένα πλήθος δεσμευτικών απαιτήσεων που σχετίζονται με τον παραδοσιακό χαρακτήρα του οικισμού, το ορεινό του κλίμα και την εφαρμογή συγκεκριμένου κτιριολογικού προγράμματος. Το αποτέλεσμα της ανάλυσης περιλαμβάνει δεδομένα που αφορούν στην κατανάλωση της ενέργειας και του νερού και στο φυσικό φωτισμό. Παράλληλα, διερευνάται η δυνατότητα επίτευξης ουδέτερου ισοζυγίου του άνθρακα, καθώς και εναλλακτικές λύσεις σχεδιασμού με στόχο τη μέγιστη δυνατή εξοικονόμηση ενέργειας.

Abstract

This postgraduate thesis deals with the contribution of Building Information Modelling to simulate building energy performance analysis and evaluation. At first, the concept and the benefits of Building Information Modelling are analysed, which can be summarised in the fields of labor productivity, design quality and cost. Special reference is made to its dimensions outlined through the international literature, the modern challenges it faces, and its evolution over the past decades. Approaching the concept in greater depth requires an analysis of the structure and the theoretical framework that has been developed around it.

Then, the contribution of Building Information Modelling in the construction of "green" buildings is investigated. The concept of "green" building is defined, being regarded as a response to environmental issues associated with modern building. Furthermore, the tools of environmental evaluation of buildings are investigated, as well as the legislative framework in Greece, as it has been evolved in recent decades, according to the directions and the context of European Directives.

For the documentation of the contribution of the Building Information Modelling to simulate building energy performance, the modelling of the Metsovion Interdisciplinary Research Centre (MIRC) of the National Technical University of Athens (NTUA) in Revit Architecture software is chosen. The form, the constructive structure and the functional organization of the building complex is dictated by a number of binding requirements associated with the traditional character of the settlement, the mountainous climate and the implementation of a specific building program. The result of the analysis includes data regarding energy and water consumption and natural lighting. Furthermore, the possibility of achieving carbon neutrality is investigated, as well as alternative design solutions to ensure the maximum possible energy savings.



Μέρος_A

Εισαγωγή στην έννοια της
Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας

1. Εισαγωγή στην έννοια της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας

1.1 Ο ορισμός της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας

Η Μοντελοποίηση της Κτιριακής Πληροφορίας (Building Information Modeling - BIM) αποτελεί μία «έξυπνη», μοντελοστραφής διαδικασία, η οποία παρέχει καλύτερη αντίληψη της διαδικασίας σχεδιασμού, κατασκευής και διαχείρισης των κτιρίων και των υποδομών. Οι έννοιες, τα εργαλεία και οι διαδικασίες της μεθοδολογίας αποτελούν συχνά θέμα συζήτησης και έρευνας στη διεθνή βιβλιογραφία. Η μέθοδος έχει χαρακτηριστεί ως *καταλύτης για την αλλαγή* (Bernstein, 2005), *έτοιμη να μειώσει τον κατακερματισμό της βιομηχανίας, να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα/αποδοτικότητα της* (Hampson and Brandon, 2004) και *να μειώσει το υψηλό κόστος της ανεπαρκούς διαλειτουργικότητας* (Gallaher *et al.*, 2004).

Οι ερμηνείες που επιδέχεται ο όρος από τους χρήστες του ποικίλουν. Σύμφωνα με το Εθνικό Ίδρυμα Κτιριακών Επιστημών¹ (National Institute of Building Sciences) των Ηνωμένων Πολιτειών, πρόκειται για μία «ψηφιακή αναπαράσταση των φυσικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών μίας κτιριακής δομής προκειμένου να συγκροτηθεί ως μία κοινή πηγή πληροφοριών διευκολύνοντας τη λήψη αποφάσεων κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής της, από την αρχική σύλληψη ως την κατεδάφιση· μία ψηφιακή αναπαράσταση βασισμένη σε ανοικτά πρότυπα διαλειτουργικότητας». Συνεπώς, δεν πρόκειται για ένα ακόμη λογισμικό τρισδιάστατης κτιριακής απεικόνισης το οποίο περιορίζεται στην απόδοση της γεωμετρίας και ενός ικανοποιητικού οπτικού αποτελέσματος. Αντίθετα, αφορά σε μία σύνθετη διαδικασία, μία διαφορετική σχεδιαστική μεθοδολογία που ξεπερνάει τα όρια των δισδιάστατων και τρισδιάστατων κτιριακών μοντέλων, εισάγοντας κτιριακές πληροφορίες οργανωμένες σε εύκολα διαχειρίσιμες βάσεις δεδομένων.

Τα μοντέλα BIM χρησιμοποιούν αντικείμενα τα οποία δεν είναι τίποτα άλλο από ψηφιακές αναπαραστάσεις τμημάτων του κτιρίου (Langdon, 2012). Τα αντικείμενα αυτά διαθέτουν γεωμετρία, «ευφυΐα» και δεδομένα, τα οποία συλλέγονται σε έναν κεντρικό ψηφιακό «πυρήνα», ο οποίος στη συνέχεια αποτελεί την καρδιά του συνολικού

¹ Πρόκειται για έναν μη κυβερνητικό οργανισμό εγκεκριμένο από το Κογκρέσο των Ηνωμένων Πολιτειών που φέρνει σε επαφή κυβερνητικούς εκπροσώπους, ρυθμιστικούς οργανισμούς, εκπροσώπους από διάφορους επαγγελματικούς κλάδους και εκπροσώπους της προστασίας των εργατικών συμφερόντων και των συμφερόντων των καταναλωτών, προκειμένου να επικεντρωθούν στην επίλυση ζητημάτων που παρεμποδίζουν τη δημιουργία ασφαλών και προσιτών οικιστικών, εμπορικών και βιομηχανικών κατασκευών. Ο οργανισμός εκδίδει τα Εθνικά Πρότυπα BIM (National BIM Standard-United States - NBIMS-US), προωθώντας βέλτιστες πρακτικές για το δομημένο περιβάλλον, όπως η δημιουργία μοντέλων που θα διασφαλίζουν κτίρια υψηλής ενεργειακής απόδοσης και μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου.

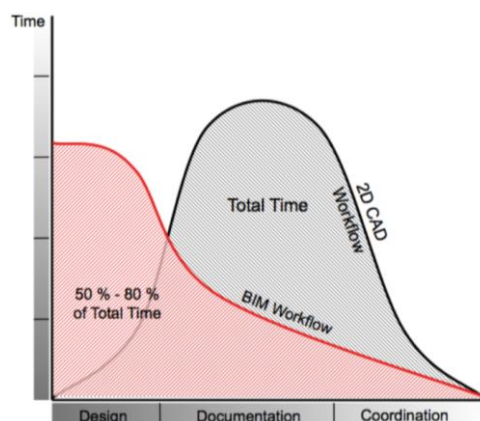
ψηφιακού μοντέλου (Αδάμου, 2014). Σε αυτόν έχουν πρόσβαση και δυνατότητα ενημέρωσης όλα τα εμπλεκόμενα μέρη στη διαδικασία σχεδιασμού και κατασκευής (μηχανικοί, κατασκευαστές, ιδιοκτήτες, κ.λπ.), οδηγώντας σε ένα πιο συλλογικό και αποδοτικό αποτέλεσμα. Συνεπώς, ένα μοντέλο BIM αποτελείται από «έξυπνα» στοιχεία, «οπτικά ισοδύναμα» δομικών στοιχείων, τα οποία φέρουν τις ιδιότητές τους (θερμομονωτικές, ηχομονωτικές, κ.λπ.) υπό τη μορφή πληροφοριών. Σημαντικό πλεονέκτημα αποτελεί η δυνατότητα διαχείρισης των πληροφοριών σε οποιοδήποτε στάδιο του κύκλου ζωής του έργου, προκειμένου μέσω της προσομοίωσης και της ανάλυσης, να αποφευχθούν χρονοβόρα λάθη και να υποβοηθηθεί η διαδικασία λήψης αποφάσεων.

Η Μοντελοποίηση της Κτιριακής Πληροφορίας αποτελεί τη σημερινή έκφραση της τεχνικής καινοτομίας στην κατασκευαστική βιομηχανία. Πρόκειται για μία μεθοδολογία που παράγει, ανταλλάσσει και διαχειρίζεται τα δεδομένα μίας κατασκευής καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής της. Παρά το γεγονός της άμεσης εξάρτησής της από την τεχνολογική πρόοδο και την καινοτομία, εκτείνεται και στο πεδίο της κοινωνικής αλληλεπίδρασης μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων κατά τη διαδικασία υλοποίησης ενός τεχνικού έργου. Μία εκτενής ανάλυση της συγκεκριμένης μεθοδολογίας, προϋποθέτει την εις βάθος διερεύνηση των πολυεπίπεδων οργανωτικών δυναμικών, των μεταβαλλόμενων δομών της γνώσης σε όλους τους τομείς της κατασκευαστικής βιομηχανίας και τις εξελισσόμενες απαιτήσεις της αγοράς. Για την προσέγγιση της μεθοδολογίας της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας, θα πρέπει να προσδιοριστούν οι επιμέρους συνιστώσες της (έννοιες και εργαλεία), καθώς και οι σχέσεις μεταξύ τους. Επιπλέον, για την ολιστική κατανόησή της, θα πρέπει να αντιμετωπιστεί ως ένα σύνθετο και πολυδιάστατο μοντέλο, ένα αναδυόμενο διεπιστημονικό πεδίο έρευνας και εφαρμογής στον κατασκευαστικό κλάδο.

1.2 Τα πλεονεκτήματα και οι προκλήσεις της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας

Τα πλεονεκτήματα της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας

Η σημασία της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας πηγάζει από τα σημαντικά οφέλη που προσφέρει στους συμμετέχοντες στη διαδικασία του σχεδιασμού και κατασκευής των κτιρίων. Εύκολα μπορεί κανείς να αντιληφθεί τα πλεονεκτήματα που προσφέρει έναντι της δυσδιάστατης σχεδίασης. Οι εφαρμογές CAD (Computer Aided Design - Σχεδίαση με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή) μιμούνται σε ένα βαθμό την παραδοσιακή διαδικασία με «μολύβι και χαρτί», αφού τα δισδιάστατα αντικείμενα που παράγονται (γραμμές, διαγραμμίσεις, κείμενα, κ.λπ.) δημιουργούνται ανεξάρτητα το ένα από το άλλο. Παρά την επίλυση αρκετών σχεδιαστικών αδυναμιών, οι όποιες αλλαγές στα αντικείμενα πρέπει να εφαρμοστούν χειροκίνητα από το χρήστη. Αντίθετα, στις εφαρμογές BIM, τα κτίρια αποτελούνται από ένα σύνολο αντικειμένων που αντιπροσωπεύουν πραγματικά δομικά στοιχεία όπως τοίχους, παράθυρα, πλάκες, στέγες, κ.λπ., με αποτέλεσμα οι αλλαγές να ενημερώνονται αυτόματα σε όλες τις όψεις του κτιρίου. Το «πληροφοριακό» μοντέλο του κτιρίου (Building Information Model) δε βασίζεται μόνο σε ένα λογισμικό και μία τρισδιάστατη σχεδιαστική απεικόνιση, αλλά επαναπροσδιορίζει τις μέχρι τώρα παραδοσιακές φάσεις σχεδιασμού μέσω της αρχής της διαλειτουργικότητας, η οποία αναφέρεται στη μεταφορά πληροφοριών μεταξύ διαφορετικών μορφών αρχείων ή διαφορετικών ειδών λογισμικών. Μέσω αυτής, καθίσταται εφικτή η διαχείριση του έργου καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του, ενώ γεφυρώνεται η επικοινωνία μεταξύ των εμπλεκόμενων μερών και διευκολύνεται η λήψη αποφάσεων. Επιπλέον, εξασφαλίζεται η συνέπεια καθώς αποφεύγεται η αντιπαραγωγικότητα και οι επαναλαμβανόμενες ανακρίβειες λόγω της επανεισαγωγής των δεδομένων. Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα, ο κυριότερος όγκος της εργασίας μετατοπίζεται στο πρώιμο στάδιο του σχεδιασμού, επιτυγχάνοντας έως και 50% εξοικονόμηση του συνολικού χρόνου που απαιτείται για την ολοκλήρωση ενός έργου.



Εικόνα 1. Σύγκριση 2D CAD και BIM σχεδίασης

Πηγή: Graphisoft, επίσημη ιστοσελίδα

Κατά συνέπεια, τα πλεονεκτήματα της μεθοδολογίας δεν περιορίζονται μόνο στη σύγκριση της με τη δυσδιάστατη σχεδίαση, αλλά αφορούν στη συνολική διαχείριση του έργου. Μπορούν να συνοψιστούν στους τομείς της παραγωγικότητας της εργασίας, της ποιότητας σχεδιασμού και του κόστους (Hamil, 2013a).

Όσον αφορά στον τομέα της παραγωγικότητας της εργασίας, η Μοντελοποίηση της Κτιριακής Πληροφορίας συμβάλλει στη μείωση του κατακερματισμού του κλάδου της Αρχιτεκτονικής, της Εφαρμοσμένης Μηχανικής και της Κατασκευής (Architecture, Engineering and Construction - AEC), αφού ενισχύει τη συνεργασία μεταξύ των διαφόρων ειδικοτήτων και των συμμετεχόντων στη διαδικασία σχεδιασμού και βελτιώνει την επικοινωνία μεταξύ των μελών της ομάδας εργασίας. Έτσι, οδηγεί στην απομάκρυνση από το μοντέλο των διαφορετικών σχεδιαστικών για κάθε ειδικότητα, βελτιώνοντας το συντονισμό της διαδικασίας σχεδιασμού και της παραγωγικότητας της εργασίας. Επιπλέον, προσφέρει μεγαλύτερη διαφάνεια στο περιβάλλον της ανάπτυξης του έργου. Η δημιουργία διαφορετικών οπτικών του μοντέλου και η απεικόνιση λεπτομερειών διευκολύνει την επίλυση πιθανών ασυμβατοτήτων (construction conflicts) της κατασκευής, ενώ καθιστά εφικτή την προσομοίωση των διάφορων φάσεων της κατασκευής.

Σχετικά με την ποιότητα σχεδιασμού, η κοινή σχεδιαστική πλατφόρμα προσφέρει τη δυνατότητα της ταχείας και ακριβούς ενημέρωσης των αλλαγών και ως εκ τούτου, οδηγεί στην άμεση συσχέτιση του σχεδιαστικού προϊόντος με τη διαδικασία της μοντελοποίησης. Στις συμβατικές πλατφόρμες τρισδιάστατης σχεδίασης, τα αντικείμενα αποτελούν γραφικές οντότητες και ως εκ τούτου απαιτούν συνεχή έλεγχο και χειροκίνητη ενημέρωση όλων των όψεων ενός κτιρίου, μία διαδικασία επιρρεπής σε λάθη. Αντίθετα, τα ευφυή σημασιολογικά μοντέλα BIM επιτρέπουν την αυτόματη ενημέρωση όλων των όψεων ενός κτιρίου. Το παραπάνω ενισχύει την πληρότητα των σχεδίων, διασφαλίζει την ποιότητα σχεδιασμού και συμβάλλει στην αποφυγή λαθών. Ακόμη, ενισχύει την κατανόηση της σχέσης μεταξύ των διάφορων χώρων του κτιρίου, του τρόπου λειτουργίας και βίωσής τους από το χρήστη, της γεωμετρίας του χώρου, καθώς και την εύρεση της κατάλληλης διάταξης επίπλων και σταθερού εξοπλισμού. Η απόδοση κάθε αντικείμενου ως ένα σύνολο πληροφοριών (π.χ. πληροφορίες που υποδηλώνουν τον κατασκευαστή, το μοντέλο, την αναμενόμενη διάρκεια ζωής, θερμικές και ακουστικές ιδιότητες, κ.λπ.), διευκολύνει τον ποιοτικό τους έλεγχο (συμφωνία σε ορισμένες προδιαγραφές, οδηγίες και κανονισμούς), την τροποποίηση παραμέτρων, ενώ προσφέρει τη δυνατότητα της προσομοίωσης ορισμένων χαρακτηριστικών τους (π.χ. ενεργειακή συμπεριφορά). Έτσι, βελτιώνεται η περιβαλλοντική συμπεριφορά των κτιρίων προκειμένου να ανταποκριθούν στις σύγχρονες περιβαλλοντικές επιταγές. Πλέον, δεν είναι το αντικείμενο το οποίο κατέχει τον πρωτεύοντα ρόλο στο σχεδιασμό, αλλά οι ιδιότητες πίσω από το κάθε αντικείμενο.

Η αύξηση της ποιότητας του σχεδιασμού είναι άμεση συνάρτηση της μείωσης των κατασκευαστικών ασυμβατοτήτων (construction conflicts). Με τον όρο αυτό εννοούμε τη

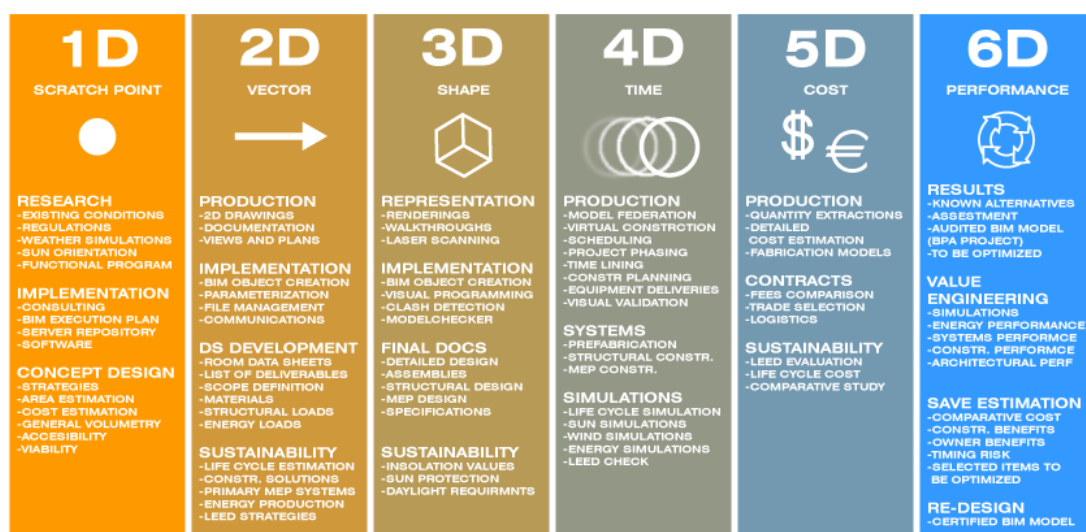
μείωση των ασυμβατοτήτων στο χώρο (location conflicts) και τη μείωση των ασυμβατοτήτων στον προγραμματισμό (scheduling conflicts). Οι πρώτες δημιουργούνται όταν δύο ή περισσότερα αντικείμενα του μοντέλου καταλαμβάνουν τον ίδιο χώρο, ενώ οι δεύτερες αφορούν στις ασυμβατότητες που δημιουργούνται όταν διαφορετικά συνεργεία πρέπει να πραγματοποιήσουν εργασίες που γίνονται στον ίδιο χώρο κατά τον ίδιο χρόνο ή όταν το προαπαιτούμενο μέρος μίας εργασίας δεν είναι έτοιμο για να αρχίσει η επόμενη προγραμματισμένη δραστηριότητα. Το παραπάνω μπορεί να αποφευχθεί μέσω της ανάλυσης της ακολουθίας (sequence analysis) των επιμέρους κατασκευαστικών φάσεων, βελτιώνοντας την ποιότητα του σχεδιαστικού αποτελέσματος (Ζέρβας, 2011).

Ένα ακόμη σημαντικό χαρακτηριστικό της μεθοδολογίας είναι η δυνατότητα δημιουργίας πιο «απλοποιημένων» τύπων αρχείων (.IFC files), τα οποία αναγνωρίζουν το σχέδιο ως αρχείο εικόνας, έτσι ώστε να αποφεύγεται η εξαγωγή μεγάλου όγκου πληροφοριών. Σημαντικά είναι και τα οφέλη που προκύπτουν από την οπτικοποίηση του σχεδιαστικού αποτελέσματος, κυρίως όσον αφορά στη διευκόλυνση της λήψης αποφάσεων μέσω της σύγκρισης διαφορετικών εναλλακτικών σχεδιαστικών λύσεων και της παρουσίασης του τελικού αποτελέσματος στον πελάτη.

Τέλος, σημαντικά είναι τα οικονομικά οφέλη σε όλα τα στάδια της κατασκευαστικής διαδικασίας. Κατά τη φάση του σχεδιασμού και της κατασκευής ενός κτιρίου, η Μοντελοποίηση της Κτιριακής Πληροφορίας μειώνει το κόστος εργασίας, αφού η χρήση ενιαίας πλατφόρμας συμβάλλει στην αποφυγή της επανάληψης εκτέλεσης των ίδιων σχεδιαστικών διεργασιών και στη μείωση των αναντιστοιχιών μεταξύ του τελικού προϊόντος των διαφόρων ειδικοτήτων (π.χ. αναντιστοιχία αρχιτεκτονικών και ηλεκτρομηχανολογικών σχεδίων). Η μείωση των κατασκευαστικών ασυμβατοτήτων, της απώλειας υλικών (construction waste) και των κινδύνων του έργου (construction risk), οδηγεί στη συνεπακόλουθη μείωση των συνολικών δαπανών. Ωστόσο, τα οφέλη δεν περιορίζονται μόνο στα στάδια του σχεδιασμού και της κατασκευής. Ο τρόπος απόδοσης κάθε αντικειμένου ως ένα σύνολο πληροφοριών επιτρέπει την προσομοίωση της συμπεριφοράς του και οδηγεί στη μείωση του κόστους λειτουργίας και συντήρησης ενός κτιρίου σε όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του. Επιπλέον, μειώνει το ρίσκο και την αβεβαιότητα που εμπεριέχεται στην κατασκευαστική διαδικασία (Langdon, 2012). Για παράδειγμα, ένα παράθυρο μπορεί να αποδοθεί μόνο με βάση τη θέση του στο κτίριο, τις διαστάσεις του και χαρακτηριστικά της ενεργειακής συμπεριφοράς του. Προσαρτώντας ωστόσο πληροφορίες που αφορούν στο κόστος, στον εφοδιασμό (logistics), στη συχνότητα συντήρησης/ επισκευής και στην αναμενόμενη διάρκεια ζωής, επιτρέπουν εκτιμήσεις κόστους καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι η Μοντελοποίηση της Κτιριακής Πληροφορίας φέρεται στη διεθνή βιβλιογραφία να έχει έξι διαστάσεις. Η πρώτη από αυτές είναι το σημείο έναρξης της μοντελοποίησης (scratch point) το οποίο αφορά κυρίως σε μία πρώτη έρευνα της υπάρχουσας κατάστασης (πολεοδομικοί κανονισμοί, μετεωρολογικές συνθήκες, προσανατολισμός, λειτουργικό πρόγραμμα και οργάνωση),

στον τρόπο ενσωμάτωσης της μεθοδολογίας BIM στη σχεδιαστική και κατασκευαστική διαδικασία και στην κεντρική ιδέα και προμελέτη του έργου. Η δεύτερη διάσταση της μοντελοποίησης (vector) περιλαμβάνει την παραγωγή δισδιάστατων σχεδίων, την παραμετροποίηση των διαφόρων αντικειμένων σε λογισμικό BIM, την επιλογή των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν, τη στατική και ηλεκτρομηχανολογική μελέτη και τη βασική στρατηγική βελτίωσης της ενεργειακής συμπεριφοράς του έργου. Η τρίτη διάσταση της μοντελοποίησης (shape) σχετίζεται με την τρισδιάστατη αναπαράσταση του έργου (π.χ. φωτορεαλιστικές απεικονίσεις, εικονικές περιηγήσεις) καθώς και την αναλυτικότερη σχεδίαση των αντικειμένων και της βιοκλιματικής στρατηγικής. Η τέταρτη διάσταση (time) αφορά στην παράμετρο του χρόνου στο σχεδιασμό, ενώ επιτρέπει τόσο την «εικονική κατασκευή» του έργου σε πραγματικό χρόνο όσο και την προσομοίωση του κύκλου ζωής του, του ηλιασμού, του αερισμού και της ενεργειακής απόδοσης σε βάθος συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος που ορίζεται από το χρήστη. Η 4D προσομοίωση συντελεί στην έγκαιρη ανάδειξη και αποφυγή πιθανών προβλημάτων και λαθών πριν το στάδιο της κατασκευής, όπου η επίλυσή τους αποτελεί μία ιδιαίτερα κοστοβόρα διαδικασία. Η προσομοίωση της εξέλιξης του κόστους του έργου σε πραγματικό χρόνο αποτελεί την πέμπτη διάσταση (cost), όπου ιδιαίτερη χρησιμότητα παρουσιάζει η δυνατότητα συγκριτικής ανάλυσης του κόστους μεταξύ δύο ή περισσότερων έργων ή διαφορετικών σχεδιαστικών λύσεων του ίδιου έργου. Επιπλέον, δίνεται η δυνατότητα σύγκρισης με τον αρχικό προϋπολογισμό του έργου σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή. Εκτιμάται ότι ο ακριβής υπολογισμός του κόστους μπορεί να μειωθεί μέχρι και 7% (Ζέρβας, 2011). Η έκτη διάσταση της μοντελοποίησης αφορά στη συμπεριφορά του έργου (performance), με στόχο τη διερεύνηση εναλλακτικών λύσεων σχεδιασμού που θα ικανοποιούν καλύτερα τις ενεργειακές, κατασκευαστικές και αρχιτεκτονικές προδιαγραφές, καθώς και τις προδιαγραφές των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων.

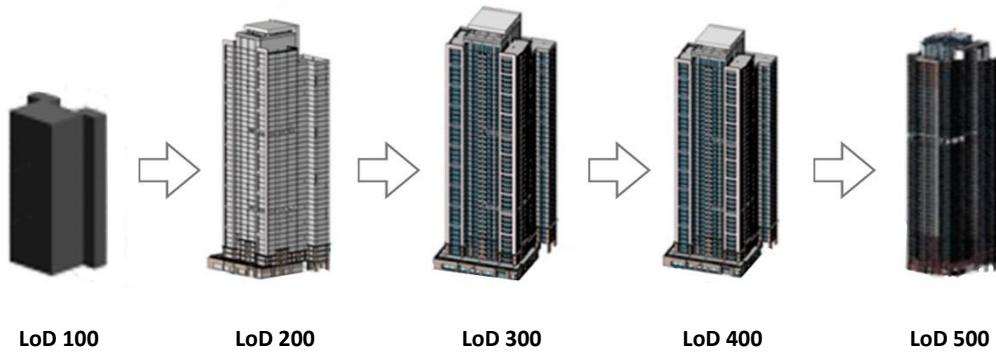


Εικόνα 2. Οι διαστάσεις της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας

Πηγή: BIM6D, επίσημη ιστοσελίδα

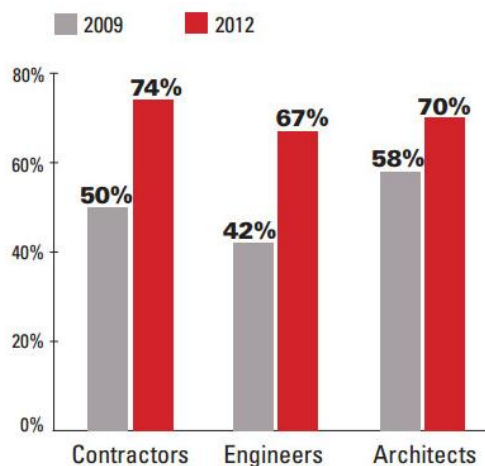
Η έκτη αυτή διάσταση σχετίζεται με το στάδιο εξέλιξης ενός έργου (Level of Development). Έτσι, σε περίπτωση που δεν είναι ικανοποιητική η προσομοίωση της συμπεριφοράς του κτιρίου στους παραπάνω τομείς, ο χρήστης επανεξετάζει ή/και επαναπροσδιορίζει το επίπεδο λεπτομέρειας των αντικειμένων. Γενικά, τα στάδια εξέλιξης ενός κτιριακού έργου είναι τα ακόλουθα (εικόνα 3):

- Αρχική ιδέα – σχηματική απεικόνιση (LoD 100): ισοδύναμο του εννοιολογικού σχεδιασμού, διαμόρφωση των βασικών όγκων ενός κτιρίου και καθορισμός της ενεργειακά αποδοτικότερης μορφής με βάση τον ηλιασμό/σκιασμό και το φυσικό δροσισμό ως συνάρτηση του προσανατολισμού του κτιρίου. Το μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μία πρώτη εκτίμηση του κόστους κατασκευής.
- Ανάπτυξη του σχεδιασμού – γεωμετρική απεικόνιση (LoD 200): γενικευμένη άποψη του μοντέλου, ενεργειακή ανάλυση του έργου στο σύνολό του, μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων μέσω τροποποιήσεων στη σύνθεση των δομικών στοιχείων, μελέτη φυσικού ηλιασμού στο σύνολο των χώρων, προσομοίωση φορτίων ψύξης/θέρμανσης για τον προσδιορισμό των απαραίτητων συστημάτων θέρμανσης, ψύξης και κλιματισμού (HVAC systems), στατική ανάλυση του μοντέλου
- Τελικός σχεδιασμός – τεχνική απεικόνιση (LoD 300): ακριβής γεωμετρία, τοποθεσία, προσανατολισμός και τεχνικά χαρακτηριστικά του μοντέλου, παραγωγή σχεδίων πώλησης, λεπτομερής ενεργειακή ανάλυση προκειμένου να ελεγχθεί η επίτευξη της αναμενόμενης ενεργειακής απόδοσης, ανάλυση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου προκειμένου να ελεγχθεί η επίτευξη του αναμενόμενου περιβαλλοντικού αποτυπώματος, έλεγχος δομικών υλικών σε σχέση με το κόστος και την «πράσινη» συμπεριφορά τους (ανακυκλωμένο περιεχόμενο, φυσικά υλικά ή υλικά χαμηλής τοξικότητας τοπικά υλικά, χαμηλή ενσωματωμένη ενέργεια, κ.ά.)
- Απεικόνιση της κατασκευής (LoD 400): μελέτη των φάσεων κατασκευής του έργου, των λεπτομερειών συναρμολόγησης, επίλυση πιθανών ασυμβατοτήτων της κατασκευής και υπολογισμός των ακριβών ποσοτήτων και κόστους των υλικών που θα χρειαστούν, με βάση το πραγματικό κόστος αγοράς
- Απεικόνιση του περατωμένου κτιριακού έργου (LoD 500): συνεχής έλεγχος της λειτουργίας και συντήρησης των εγκαταστάσεων, της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου και της ικανοποίησης των χρηστών, προτάσεις βελτιστοποίησης της περιβαλλοντικής συμπεριφοράς του κτιρίου.



Εικόνα 3. Τα στάδια εξέλιξης ενός κτιριακού έργου
Πηγή: Sungwoo *et al.*, 2015, ίδια επεξεργασία

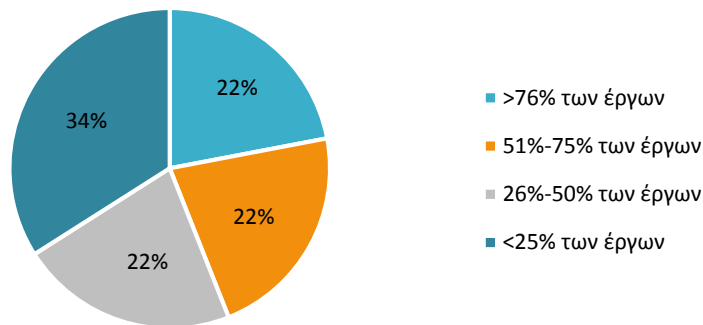
Παρά τα προαναφερθέντα πλεονεκτήματα, η Μοντελοποίηση της Κτιριακής Πληροφορίας είναι λιγότερο διαδεδομένη στην Ευρώπη από ότι στις ΗΠΑ. Ακόμη, ο βαθμός υιοθέτησής της αυξήθηκε ραγδαία στις ΗΠΑ κατά το διάστημα 2007-2009, με τους αρχιτέκτονες να αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό των χρηστών (Langdon, 2012). Η παρακάτω εικόνα παρουσιάζει το ποσοστό της υιοθέτησης της μεθοδολογίας από τους συμμετέχοντες στον κατασκευαστικό κλάδο, δηλαδή τους αναδόχους έργων, τους μηχανικούς και τους αρχιτέκτονες, κατά το διάστημα 2009-2012 στις ΗΠΑ. Τα οφέλη ενός μοντέλου το οποίο συνδέεται με μία σχεσιακή βάση δεδομένων, δηλαδή μία συλλογή δεδομένων οργανωμένη σε συσχετισμένους πίνακες, αποδεικνύεται εξαιρετικά πολύτιμη, με τους αναδόχους έργων να αποτελούν για πρώτη φορά το 2012 τους κύριους υποστηρικτές της τεχνολογίας BIM. Το ποσοστό των εταιρειών που χρησιμοποιούν τη συγκεκριμένη τεχνολογία αυξήθηκε από 28% το 2007 σε 49% το 2009 και σε 71% το 2012.



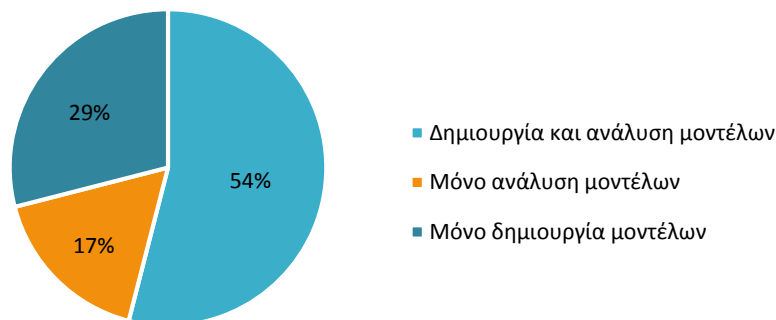
Εικόνα 4. Η υιοθέτηση της μοντελοποίησης της κτιριακής πληροφορίας από τους συμμετέχοντες στον κατασκευαστικό κλάδο στις ΗΠΑ κατά το διάστημα 2009-2012.

Πηγή: Quirk, 2012

Όπως απεικονίζεται στα παρακάτω γραφήματα, συνολικά, το 44% των χρηστών BIM, το χρησιμοποιούν στο 50% των έργων τους. Η πλειοψηφία αυτών χρησιμοποιεί τη μεθοδολογία τόσο για την κατασκευή όσο και την ανάλυση των μοντέλων, με περίπου το ένα τρίτο να επικεντρώνεται αποκλειστικά στη διαδικασία της μοντελοποίησης και ένα μικρό ποσοστό μόνο στην ανάλυση των μοντέλων. Επιπλέον, η προσομοίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς ενός κτιρίου αποτελεί το συνηθέστερο λόγο ανάλυσης ενός μοντέλου.



Γράφημα 1. Συχνότητα υιοθέτησης της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας από τους χρήστες
Πηγή: AIA, 2010, ίδια επεξεργασία



Γράφημα 2. Λόγοι χρήσης της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας
Πηγή: AIA, 2010, ίδια επεξεργασία

Η πρωτοβουλία της βρετανικής κυβέρνησης

Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η χρήση της μεθοδολογίας BIM έχουν γίνει αντιληπτά από το Ηνωμένο Βασίλειο, βασική κυβερνητική στρατηγική του οποίου είναι η ενσωμάτωση της μεθοδολογίας στη σχεδιαστική διαδικασία σε όλα τα κατασκευαστικά έργα μέχρι το 2016 (UK Cabinet Office, 2011). Η υιοθέτησή της προτείνεται ως το επόμενο στάδιο εξέλιξης της κατασκευαστικής βιομηχανίας, με άμεση εφαρμογή όχι μόνο στην κατασκευή κτιρίων αλλά και υποδομών. Ο αρχικός στόχος της συγκεκριμένης προσπάθειας είναι η αύξηση της λειτουργικής αποδοτικότητας και η μείωση του

κατασκευαστικού κόστους κατά 20% (2 δις. λίρες το χρόνο) τόσο στο δημόσιο όσο και στον ιδιωτικό τομέα, με απώτερο σκοπό την αύξηση του παραδοτέου κατασκευαστικού όγκου διατηρώντας σταθερό τον προϋπολογισμό. Πιο συγκεκριμένα, η στρατηγική της κυβέρνησης που αφορά στον κατασκευαστικό κλάδο (Government Construction Strategy) αναγνωρίζει τα πλεονεκτήματα της χρήσης μίας κοινής πλατφόρμας, η οποία επιτρέπει την ταυτόχρονη συμμετοχή και αλληλεπίδραση όλων των συμμετεχόντων σε ένα έργο με ταυτόχρονα ποσοτικά και ποιοτικά οφέλη.

«Η μεθοδολογία BIM θα ενσωματωθεί στην κατασκευαστική διαδικασία και ως εκ τούτου, στον κατασκευαστικό κλάδο. Αλλά θα έχει και αρκετά πρόσθετα οφέλη για το έθνος. Θα επιτρέψει έξυπνες αποφάσεις σχετικά με τη διαδικασία της κατασκευής, ασφαλέστερη εκτέλεση των εργασιών, μεγαλύτερη ενεργειακή αποδοτικότητα, μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, καθώς και καλύτερη συμπεριφορά των κτιρίων καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους. Ακόμη, μεγαλύτερη σημασία παρουσιάζουν τα οικονομικά οφέλη που θα προκύψουν από τα καλύτερα κτίρια και υποδομές που θα παραδίδονται στο εξής».

Graham Watts, OBE, Διευθύνων Σύμβουλος, Συμβούλιο του Κατασκευαστικού Κλάδου,
(HM Government, 2012)

Ωστόσο, η έλλειψη συμβατών συστημάτων, προτύπων και πρωτοκόλλων, καθώς και οι διαφορετικές απαιτήσεις πελατών και σχεδιαστών, θεωρούνται ότι αναστέλλουν την ευρεία υιοθέτηση μίας τεχνολογίας που εξασφαλίζει ότι όλα τα μέλη της ομάδας εργάζονται σε μία κοινή βάση δεδομένων (UK Cabinet Office, 2011).

Για την άρση των παραπάνω περιορισμών, συστάθηκε το 2011 μία κεντρική ομάδα (Client BIM Mobilisation and Implementation Group) και μικρότερες ομάδες εργασίας, ο ρόλος των οποίων είναι η υποβοήθηση της υιοθέτησης μίας πλήρους συνεργατικής τρισδιάστατης μοντελοποίησης ως το 2016 σε όλη την επικράτεια, με αφετηρία την εφαρμογή σε κρατικά έργα. Σύμφωνα με την πιο πρόσφατη έκθεση του έτους 2016, το 54% των συμμετεχόντων στην έρευνα χρησιμοποιούν τη μεθοδολογία σε κάποιο από τα έργα τους, ενώ μόλις το 4% δε γνωρίζει περί αυτής, με τα αντίστοιχα ποσοστά του 2011 να είναι 13% και 43%. Αναμένεται μάλιστα ότι μετά το πέρας της επόμενης πενταετίας, το ποσοστό των χρηστών θα έχει αυξηθεί στο 97% (National Building Specification, 2016). Η θετική ανταπόκριση και η μεγάλης κλίμακας υιοθέτηση της μεθοδολογίας από την κατασκευαστική βιομηχανία, η αναγνώρισή της ως βασικό παράγοντα οικονομικής ανάπτυξης τόσο στις εγχώριες όσο και στις διεθνείς αγορές και η ευρεία υιοθέτησή της από ανταγωνιστικές αναδυόμενες αγορές και άλλες χώρες όπως η Κίνα και, ώθησαν το Ηνωμένο Βασίλειο στην ανάπτυξη ενός σχεδίου δράσης με στόχο την υποστήριξη και την επιτάχυνση του προγράμματος. Κινητήρια δύναμη αποτέλεσε «η μετατροπή της χώρας σε παγκόσμιο ηγέτη στην αξιοποίηση της μεθοδολογίας» και «η εκμετάλλευση του ηγετικού αυτού πλεονεκτήματος στη διεθνή αγορά» (HM Government, 2012).

Οι προκλήσεις της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας

Η Μοντελοποίηση της Κτιριακής Πληροφορίας δεν ανταποκρίνεται πάντα στις προσδοκίες της αγοράς. Από τη μελέτη της διεθνούς βιβλιογραφίας προκύπτει ότι η εφαρμογή της μεθοδολογίας και η συνεργασία μεταξύ των εμπλεκόμενων μερών επηρεάζεται αρνητικά από τη συγκρουσιακή κουλτούρα που συχνά επικρατεί στον κατασκευαστικό κλάδο. Ακόμη, ιδιαίτερα αρνητική επιρροή ασκείται από τις «οργανωτικές και πολιτισμικές διαφορές μεταξύ σχεδιαστών και κατασκευαστών, καθώς και μεταξύ εργολάβων και υπερεργολάβων» (Dossick and Neff, 2009). Η έλλειψη διαλειτουργικότητας μεταξύ των διαφόρων πλατφορμών λογισμικού, καθώς και η ύπαρξη ποικίλων νομικών και επιχειρησιακών φραγμών στην υιοθέτηση συνεργατικών διαδικασιών, εντείνουν τη δυσχέρεια εφαρμογής της μεθοδολογίας. Τέλος, η ενσωμάτωση της μεθοδολογίας στη σχεδιαστική και κατασκευαστική διαδικασία, έχει αναδείξει κενά γνώσεων και δεξιοτήτων στον κλάδο, ενώ ταυτόχρονα ασκεί πίεση στις παγιωμένες τακτικές.

Εκτός από τις προκλήσεις σε συγκεκριμένους τομείς, η μοντελοποίηση της κτιριακής πληροφορίας αντανακλά την πολύπλοκη και αλληλεξαρτώμενη φύση των εργασιών σχεδίασης και κατασκευής ενός έργου. Στην έρευνά τους γύρω από τη βιομηχανία της κατασκευής, οι Peansurap και Walker (2005) εντόπισαν ορισμένους παράγοντες που ευθύνονται για την αργή υιοθέτηση των Τεχνολογιών Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών (Information and Communication Technology - ICT). Οι παράγοντες αυτοί περιλαμβάνουν τη σύνθετη φύση της κατασκευαστικής βιομηχανίας, τα χαμηλά επίπεδα ωριμότητας στην αξιοποίηση των ICT, τη χαμηλή διαθεσιμότητα των εργαλείων για την αξιολόγηση των πλεονεκτημάτων της χρήσης των ICT και την έλλειψη κατανόησης των διαδικασιών εφαρμογής των ICT (Succar, 2013).

1.3 Η εξέλιξη της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας

Τα αρχικά στάδια

Η έννοια της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας έκανε την εμφάνισή της σχεδόν δύο δεκαετίες αργότερα από την εμφάνιση της σύγχρονης υπολογιστικής τεχνολογίας. Ήδη από το 1962, ο Douglas C. Engelbart, πρωτοπόρος στο σχεδιασμό διαδραστικών ψηφιακών περιβαλλόντων, στο όραμά του για τον αρχιτέκτονα του μέλλοντος, αναφέρει:

«[...] ο αρχιτέκτονας ξεκινά να εισάγει μία σειρά δεδομένων και προδιαγραφών, μία πλάκα δαπέδου έξι ιντσών (πάχους), τοίχων από μπετόν δώδεκα ιντσών (μήκους) και οκτώ ποδιών ύψους εντός της εκσκαφής, και ούτω καθεξής. Όταν τελειώσει, το αναθεωρημένο αποτέλεσμα εμφανίζεται στην οθόνη. Η κατασκευή παίρνει μορφή. Ο ίδιος εξετάζει, προσαρμόζει [...] Η λίστα (των προδιαγραφών) αποκτά μία ολοένα και πιο λεπτομερή και αλληλένδετη δομή, η οποία αντιπροσωπεύει την ωρίμανση της σκέψης πίσω από το πραγματικό σχέδιο».

Engelbart, 1962

Οπτικοποιώντας το μοντέλο

Μετά την εμφάνιση του γραφικού περιβάλλοντος SAGE και του προγράμματος Sketchpad του Ivan Sutherland το 1963, οι εξελίξεις στην υπολογιστική αναπαράσταση της γεωμετρίας οδήγησαν στην εμφάνιση προγραμμάτων προσομοίωσης κτιρίων. Οι δύο κύριες μέθοδοι απεικόνισης και καταγραφής πληροφοριών των σχημάτων που άρχισαν να εμφανίζονται στη δεκαετία του 1970 και του 1980, ήταν η Κατασκευαστική Στερεά Γεωμετρία (Constructive Solid Geometry - CSG) και η Οριακή Αναπαράσταση (Boundary Representation - brep). Η πρώτη αφορούσε στη χρήση αρχετύπων (π.χ. ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο, κύλινδρος, κώνος, σφαίρα, κ.λπ.) και πράξεων συνόλων (π.χ. ένωση, τομή, διαφορά, κ.λπ.) για την κατασκευή του στερεού, ενώ η δεύτερη στον ορισμό του στερεού από την τοπολογία των ορίων του.

Η ανάγκη «επικοινωνίας» του σχεδιαστή με το μέσο, οδήγησε στη δημιουργία των πρώτων φωτο-γραφίδων (light pens) και οθονών κεφαλής (head-mounted displays), αρχικά για στρατιωτικούς σκοπούς, προκειμένου να καλύψουν το κενό στην αλληλεπίδραση ανθρώπου-υπολογιστή (Human-Computer Interaction - HCI).

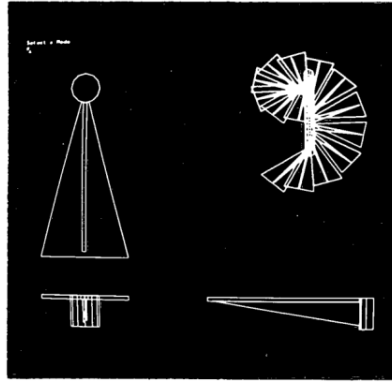
Δημιουργία βάσεων δεδομένων

Η αντιμετώπιση των κτιρίων μέσα από το πρίσμα των βάσεων δεδομένων και η απαίτηση της ταξινόμησης των επιμέρους κτιριακών τμημάτων, συνέβαλε στη διάσπαση της

αρχιτεκτονικής στις συνιστώσες της. Μία από τις πρώτες προσπάθειες επιτυχούς δημιουργίας βάσεων κτιριακών δεδομένων ήταν η δημιουργία των Συστημάτων της Κτιριακής Περιγραφής (Building Description Systems - BDS) το 1975 από τον καθηγητή Charles Eastman², για τον ευκολότερο συντονισμό της σχεδιαστικής διαδικασίας (Latiffi *et al.*, 2014). Ο Eastman υποστήριξε την ανάγκη απομάκρυνσης από τον παραδοσιακό τρόπο σχεδιασμού, λόγω της αναποτελεσματικότητας της σχεδιαστικής διαδικασίας, των σφαλμάτων που δημιουργούνται από την αναπαράσταση των ίδιων αντικειμένων σε διαφορετικές κλίμακες και την αδυναμία επικαιροποίησης των σχεδίων, εισάγοντας την έννοια της «αυτοματοποιημένης αναθεώρησης των μοντέλων». Το BDS ήταν το πρώτο λογισμικό περιγραφής επιμέρους στοιχείων της βιβλιοθήκης που μπορούσαν να ανακτηθούν και να προστεθούν σε ένα μοντέλο. Σύμφωνα με τον Eastman, ο ορισμός, η τροποποίηση και η οργάνωση ενός μεγάλου αριθμού στοιχείων, η ανίχνευση πιθανών συγκρούσεων στο σχεδιασμό, καθώς και η δυνατότητα απεικόνισης ειδικά σχεδιασμένων (custom-designed) κτιριακών συστημάτων, είναι δυνατόν να μειώσουν το κόστος του σχεδιασμού πάνω από 50% (Eastman *et al.*, 1975). Παρά το γεγονός ότι τα συστήματα BDS βρήκαν περιορισμένη εφαρμογή από τους αρχιτέκτονες τη δεκαετία του 1970, συνέβαλλαν σε συνδυασμό με τη μετέπειτα Γραφική Γλώσσα Διαδραστικής Σχεδίασης (Graphical Language for Interactive Design - GLIDE) που δημιουργήθηκε από τους Eastman και Henrion στο Carnegie-Mellon University το 1977, στην εμφάνιση των περισσότερων χαρακτηριστικών μίας σύγχρονης πλατφόρμας BIM.

Στην εικόνα 5 μία σπειροειδής σκάλα απεικονίζεται ταυτόχρονα ως εικόνα, σχήμα και μοντέλο, μέσω της GLIDE. Για την κατασκευή του σχήματος χρησιμοποιείται μία παραμετροποιημένη διαδικασία η οποία επιτρέπει την κατασκευή του πολύεδρου από τρεις διαφορετικές συνιστώσες: την επιφάνεια κάθε βαθμίδας, το βραχίονα στήριξης και ένα «δακτυλίδι» που συνδέει την κατασκευή με την κεντρική στήλη, η οποία δίνεται ως παράμετρος. Η διαδικασία υπολογίζει τον ακριβή αριθμό των βαθμίδων και το ύψος του ριχτιού, ανάλογα με το συνολικό ύψος της σκάλας. Η GLIDE σταδιακά επεκτάθηκε, καλύπτοντας ολοένα και περισσότερα τμήματα του κτιρίου, ενώ χρησιμοποιήθηκε ως εργαλείο εκτίμησης κόστους, αξιολόγησης της στατικής μελέτης και παραγωγής δισδιάστατων σχεδίων με περισσότερη ακρίβεια.

² Ο Charles Eastman σπούδασε αρχιτεκτονική στο Berkeley και εργάστηκε στην επιστήμη των υπολογιστών στο Carnegie Mellon University. Αργότερα εξειδικεύτηκε στην τεχνολογία BIM και εργάστηκε ως καθηγητής στο Georgia Tech School of Architecture.

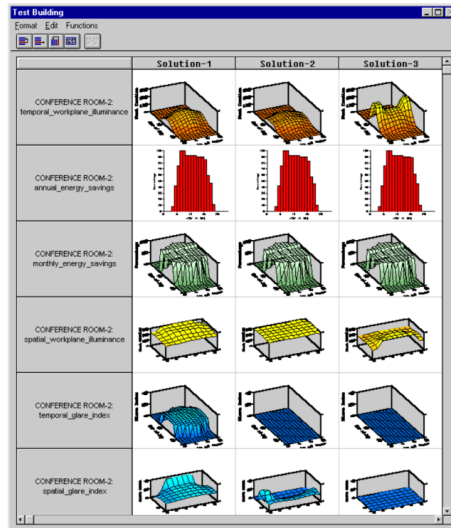


Εικόνα 5. Παράδειγμα απεικόνισης μίας σπειροειδούς σκάλας μέσω της GLIDE. Η επιφάνεια της βαθμίδας, ο βραχίονας στήριξης και το «δακτυλίδι» λειτουργούν ως «είσοδοι» προκειμένου να παραχθεί η σκάλα, η οποία μπορεί να ρυθμιστεί παραμετρικά.

Πηγή: Eastman and Henrion, 1977

Στις αρχές της δεκαετίας του 1980 άρχισαν να αναπτύσσονται στην Αγγλία διάφορα συστήματα (RUCAPS, Sonata, Reflex, κ.ά.), στην προσπάθεια να καλυφθεί το κενό των δύο προηγούμενων τεχνολογιών ως προς τη μειωμένη εφαρμογή τους στον έλεγχο της κατασκευαστικής διαδικασίας και στην αλληλεπίδραση των φορέων ενός έργου μόνο στο στάδιο του σχεδιασμού. Το σύστημα λογισμικού RUCAPS που αναπτύχθηκε το 1986 από την GMW Computers, ήταν το πρώτο πρόγραμμα που χρησιμοποίησε την έννοια της χρονικής κλιμάκωσης των διαδικασιών κατασκευής κατά τη δημιουργία του τρίτου τερματικού σταθμού του αεροδρομίου του Heathrow (Quirk, 2012). Η ίδρυση του κέντρου Integrated Facility Engineering (CIFE) στο Stanford το 1988 από τον Paul Teicholz σηματοδότησε ακόμη ένα ορόσημο στην εξέλιξη της BIM, καθώς προώθησε τη δημιουργία κτιριακών μοντέλων «τεσσάρων διαστάσεων», με το χρόνο να αποτελεί βασική παράμετρο της κατασκευαστικής διαδικασίας.

Ένα μεταγενέστερο αλλά χαρακτηριστικό παράδειγμα εργαλείου προσομοίωσης είναι το Building Design Advisor που αναπτύχθηκε στο Lawrence Berkeley National Lab το 1993. Πρόκειται για ένα περιβάλλον λογισμικού που υποστηρίζει την ολοκληρωμένη χρήση πολλαπλών εργαλείων ανάλυσης και οπτικοποίησης σε όλη τη διαδικασία σχεδιασμού του κτιρίου, από την αρχική - σχηματική αναπαράσταση μέχρι τη λεπτομερή περιγραφή των συνιστωσών μερών του (Paramichael *et al.*, 1996). Το πρόγραμμα αυτό ήταν ένα από τα πρώτα που ενσωμάτωσαν τη γραφική ανάλυση και προσομοίωση με σκοπό να παρέχει πληροφορίες σχετικά με το πώς το έργο θα μπορούσε να λειτουργήσει κάτω από διαφορετικές σχεδιαστικές παραμέτρους. Στην εικόνα 6 απεικονίζονται τρεις διαφορετικές σχεδιαστικές «λύσεις» μίας αίθουσας συνεδριάσεων, λαμβάνοντας υπόψη τις παραμέτρους της έντασης του φυσικού φωτισμού, της ετήσιας και μηνιαίας εξοικονόμησης ενέργειας, της έντασης του φωτισμού σε σχέση με το χώρο και τα χρονικά και χωρικά επίπεδα της θάμβωσης.



Εικόνα 6. Το εργαλείο Decision Desktop επέτρεπε στο χρήστη να συγκρίνει πολλαπλές εναλλακτικές σχεδιαστικές «λύσεις» κάτω από διαφορετικές παραμέτρους του σχεδιασμού.

Πηγή: Paramichael *et al.*, 1996

Εικονικό κτίριο

Παράλληλα με τις ραγδαίες εξελίξεις στις ΗΠΑ, δύο ιδιοφυΐες στον τομέα του προγραμματισμού από τη Σοβιετική Ένωση διαδραμάτισαν καθοριστικό ρόλο στη βιομηχανία γύρω από την τεχνολογία BIM όπως την ξέρουμε σήμερα. Πρόκειται για τον Leonid Raiz και τον Gábor Bojár, συνιδρυτή και ιδρυτή των Revit και ArchiCAD, αντίστοιχα. Το ArchiCAD αναπτύχθηκε το 1982 από την Graphisoft, ιδιωτική εταιρεία του φυσικού Gábor Bojár στη Βουδαπέστη. Χρησιμοποιώντας παρόμοια τεχνολογία με αυτή του Building Description System (BDS), το λογισμικό Radar CH κυκλοφόρησε το 1984 για το λειτουργικό σύστημα Lisa της Apple. Αργότερα μετονομάστηκε σε ArchiCAD και αποτέλεσε το πρώτο λογισμικό BIM που διατέθηκε σε προσωπικούς υπολογιστές, ενώ θεωρήθηκε «επαναστατικό» για την ικανότητά του να αποθηκεύει μεγάλες ποσότητες πληροφοριών στο τρισδιάστατο μοντέλο (εικόνα 7).



Εικόνα 7. Στιγμιότυπο οθόνης από το Radar CH (αργότερα ArchiCAD) δείχνει το βαθμό ανάπτυξης των δυνατοτήτων της μοντελοποίησης BIM το 1984 σε έναν προσωπικό υπολογιστή.

Πηγή: Quirk, 2012

Το 1985, λίγο μετά τις πρώτες πωλήσεις του από την Graphisoft, ιδρύθηκε η Parametric Technology Corporation (PTC), η οποία τρία αργότερα, κυκλοφόρησε την πρώτη έκδοση του Pro/ENGINEER, ενός προγράμματος CAD που χρησιμοποιούσε μία μηχανή παραμετρικής μοντελοποίησης. Αποχωρώντας από την PTC, οι Irwin Jungreis και Leonid Raiz ίδρυσαν τη δική τους εταιρεία λογισμικού, την Charles River Software στο Cambridge των ΗΠΑ, με σκοπό τη δημιουργία μίας αρχιτεκτονικής έκδοσης του λογισμικού που θα μπορούσε να χειριστεί πιο σύνθετα έργα από το ArchiCAD. Μέχρι το 2000 η εταιρεία είχε αναπτύξει ένα πρόγραμμα που ονομάστηκε «Revit», μία αυτοσχέδια λέξη η οποία υπονοεί δύο εγγενείς ιδιότητες του προγράμματος, την αναθεώρηση και την ταχύτητα. Το πρόγραμμα γράφτηκε σε C++ και χρησιμοποιούσε μία μηχανή παραμετρικών αλλαγών η οποία κατέστη δυνατή μέσω του αντικειμενοστρεφούς προγραμματισμού. Το 2002, η Autodesk αγόρασε την εταιρεία και άρχισε να προωθεί σε μεγάλο βαθμό το λογισμικό, αν και ανταγωνιστικό με το επίσης αντικειμενοστραφές λογισμικό του Architectural Desktop της ίδιας εταιρείας.

Η καινοτομία του Revit στον τομέα της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας συνίσταται στη δημιουργία μίας πλατφόρμας που χρησιμοποιεί ένα οπτικό περιβάλλον προγραμματισμού για τη δημιουργία παραμετρικών οικογενειών, εισάγοντας μία τέταρτη διάσταση στο κτιριακό μοντέλο, αυτή του χρόνου. Με τον τρόπο αυτό, καθίσταται εφικτή η δημιουργία χρονοδιαγραμμάτων κατασκευής και η προσομοίωση της διαδικασίας κατασκευής. Ένα από τα πρώτα έργα που χρησιμοποίησαν το Revit για το σχεδιασμό και τον προγραμματισμό της κατασκευής ήταν το Freedom Tower στο Manhattan. Για την ολοκλήρωση του έργου δημιουργήθηκε μία σειρά αλληλοσυνδεόμενων μοντέλων, τα οποία παρείχαν εκτίμηση του κόστους και των ποσοτήτων των υλικών σε πραγματικό χρόνο.

Προς μία συνεργατική Αρχιτεκτονική

Η αυξανόμενη ανάγκη της συνεχούς αλληλεπίδρασης των ειδικοτήτων που συμμετέχουν στη διαδικασία του σχεδιασμού και της κατασκευής ενός έργου, οδήγησε στην υιοθέτηση της έννοιας του *ολοκληρωμένου σχεδιασμού*, για την οποία θα γίνει λόγος και αργότερα. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της δημιουργίας μίας ενιαίας πλατφόρμας που περιλαμβάνει το σύνολο των μοντέλων BIM, προσβάσιμης από όλες τις ειδικότητες, η οποία θα ενημερώνεται με συγκεκριμένη συχνότητα. Ένα κεντρικό αρχείο εφαρμόζει μίας μορφής «ιδιοκτησίας» στα αντικείμενα, έτσι ώστε ο χρήστης να μπορεί να δει το σύνολο των αντικειμένων, αλλά να μην είναι εφικτό να τα τροποποιήσει. Μέσω του συγκεκριμένου χαρακτηριστικού το οποίο προστέθηκε το 2004 (έκδοση Revit 6), δημιουργήθηκε ένα «συνεργατικό λογισμικό», ενώ αρκετές εταιρίες εργάζονται για την απεικόνιση των μοντέλων BIM στο πεδίο μέσω της χρήσης της επαυξημένης πραγματικότητας.

Για τη διατήρηση της πληροφορίας των μοντέλων κατά την ανταλλαγή δεδομένων, δημιουργήθηκε το 1995 η μορφή αρχείου International Foundation Class (IFC). Τα IFC (Industry Foundation Classes, ISO 16739) είναι γνωστά απλά ως μοντέλα δεδομένων που αναπτύχθηκαν από την buildingSMART³ (παλαιότερα γνωστή ως IAI - International Alliance for Interoperability – Διεθνής Συμμαχία για τη Διαλειτουργικότητα) προκειμένου να διευκολυνθεί η διαλειτουργικότητα στην οικοδομική βιομηχανία (Maia *et al.*, 2015). Το συγκεκριμένο πρότυπο είναι το κλειδί διευκόλυνσης της διαδικασίας ανταλλαγής πληροφοριών μεταξύ των διάφορων οργανισμών, των υπηρεσιών, των συστημάτων πληροφορικής και των βάσεων δεδομένων, με οικονομικά αποδοτικό τρόπο και χωρίς να υπάρχει εξάρτηση από μορφές αρχείων οι οποίες συνδέονται άμεσα με τον κατασκευαστή (vendor specific file formats). Με αυτόν τον τρόπο ορίζεται μία κοινή τεχνολογική γλώσσα που έχει ως στόχο τη διευκόλυνση της επικοινωνίας για τη βελτίωση της παραγωγικότητας, τη μείωση του χρόνου παράδοσης και του κόστους και την αύξηση της ποιότητας κατά το σχεδιασμό, την κατασκευή και τη συντήρηση των κτιρίων καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους (Τσιλιάκου, 2013). Η προσπάθεια αυτή ενισχύθηκε από την ανάπτυξη λογισμικών προβολής (viewing software), όπως το Navisworks, το οποίο σχεδιάστηκε αποκλειστικά για το συντονισμό των ποικίλων μορφών αρχείων. Το Navisworks επιτρέπει τη συλλογή δεδομένων, την προσομοίωση των κατασκευών και τον εντοπισμό διαφωνιών.

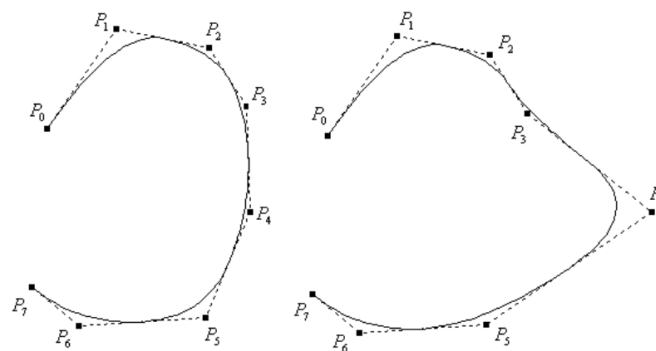
Ακολουθώντας το παράδειγμα του Building Design Advisor, προγράμματα προσομοίωσης όπως τα Ecotect, Energy Plus, IES και Green Building Studio επιτρέπουν την άμεση εισαγωγή του μοντέλου BIM. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι προσομοιώσεις δημιουργούνται απευθείας στο λογισμικό, όπως στην περίπτωση του Autodesk Vasari, το οποίο είναι ένα αυτοτελές πρόγραμμα beta παρόμοιο με το Revit Conceptual Modeling Environment, όπου μπορούν να παραχθούν μελέτες ηλιασμού παρόμοιες με του πακέτου Ecotect. Το 2012, η Autodesk δημιούργησε την εφαρμογή Formit που επιτρέπει την εισαγωγή των βασικών αρχών ενός μοντέλου BIM σε μία φορητή συσκευή.

Σύγχρονες πρακτικές και Σχεδιασμός

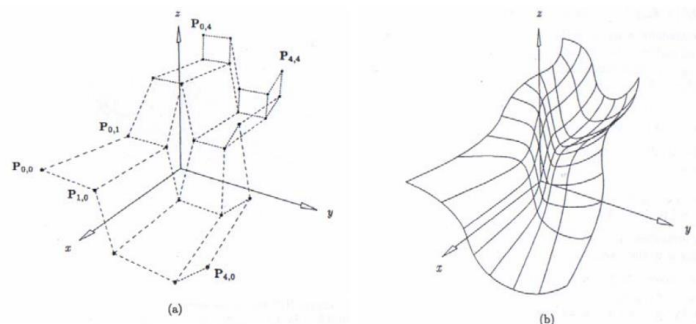
Μία πλατφόρμα BIM με μικρό μερίδιο αγοράς, αλλά μεγάλο αντίκτυπο στον κλάδο, είναι το Generative Components (GC) το οποίο αναπτύχθηκε από την Bentley Systems το 2003.

³ Διεθνής οργανισμός με στόχο τη βελτίωση της ανταλλαγής πληροφοριών μεταξύ των εφαρμογών λογισμικού που χρησιμοποιούνται στον κατασκευαστικό κλάδο. Αφετηρία του σχηματισμού του στάθηκε η επιτυχία μίας αρχάριας ομάδας μηχανικών της Autodesk κατά τη διαδικασία ανάπτυξης μίας βιβλιοθήκης στοιχείων κτιριακού μοντέλου για τη διαλειτουργικότητα μεταξύ της AEC add-ons και του AutoCAD. Ο οργανισμός περιελάμβανε τις 12 κορυφαίες εταιρείες της βιομηχανίας λογισμικού CAD υπό την αιγίδα της Autodesk.

Το σύστημα GC εστιάζει στην παραμετρική ευελιξία και στη γλυπτική γεωμετρία, ενώ υποστηρίζει τη σχεδίαση επιφανειών NURBS. Πρόκειται για επιφάνειες από Ανομοιόμορφες Ρητές καμπύλες B-Splines (Non Uniform Rational B-Splines). Η ανομοιομορφία σχετίζεται με το γεγονός ότι το διάστημα των κόμβων περιέχει κόμβους που δεν είναι απαραίτητο να κατανέμονται ομοιόμορφα στο διάστημά τους. Επιπλέον, η έννοια «ρητές» αναφέρεται στη ρητή μορφή (a/b), όπου τα a και b είναι πολυώνυμα. Έτσι, επιτρέπεται η αναπαράσταση δημοφιλών σχημάτων (π.χ. κωνικών τομών), τα οποία δεν ήταν δυνατό να δημιουργηθούν από τις καμπύλες B-Splines. Η ρητή φύση των NURBS έχει ως αποτέλεσμα την εισαγωγή βαρών (weights), προκειμένου ο χρήστης να έχει μεγαλύτερο έλεγχο του σχήματος της επιφάνειας. Οι καμπύλες και οι επιφάνειες NURBS στηρίζονται στις βασικές B-Splines, με πολυωνυμικές βασικές συναρτήσεις, που υπολογίζουν τα σημεία της καμπύλης πύλης ή της επιφάνειας τμηματικά (Κοΐνη, 2005). Θα πρέπει να αναφερθεί ότι μία καμπύλη B-Spline ορίζεται από σταθμισμένα σημεία ελέγχου (weighted control points), τα οποία επιτρέπουν αλλαγές σε ένα τμήμα της καμπύλης, χωρίς να επηρεάζεται η γενικότερη μορφή της (εικόνα 8). Αντίστοιχα, σε κάθε σημείο ελέγχου της καμπύλης ή της επιφάνειας NURBS, αντιστοιχεί μία τιμή βάρους, η οποία ασκεί τοπική επίδραση στο σχήμα. Ωστόσο, η αναλυτική προσέγγιση των καμπύλων B-splines και NURBS ξεφεύγει από τα όρια της συγκεκριμένης μελέτης.

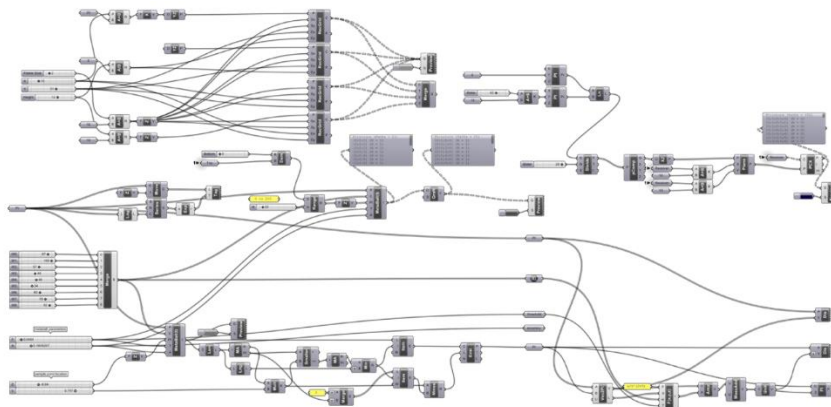


Εικόνα 8. Τοπική επίδραση σε μία καμπύλη B-spline με τη μετακίνηση ενός σημείου ελέγχου
Πηγή: Κοΐνη, 2005



Εικόνα 9. Παράδειγμα NURBS επιφάνειας (δεξιά) και το αντίστοιχο πλέγμα των σημείων ελέγχου (αριστερά)
Πηγή: Κοΐνη, 2005

Για τη δημιουργία μορφών, το γραφικό περιβάλλον εργασίας του συστήματος GC βασίζεται σε «δέσμες ενεργειών» (scripts) οι οποίες δημιουργούνται και τροποποιούνται από το χρήστη. Η λογική είναι παρόμοια με αυτή του λογισμικού Grasshopper. Τα στοιχεία (components) του Grasshopper σύρονται πάνω σε έναν καμβά. Κάθε στοιχείο δέχεται συγκεκριμένες εισόδους (inputs) και παράγει συγκεκριμένα αποτελέσματα (outputs) τα οποία αποτελούν inputs για άλλα στοιχεία κ.ο.κ (εικόνα 10). Η γλώσσα προγραμματισμού στο Grasshopper, θεωρείται μία γλώσσα οπτικής αναπαράστασης του κώδικα, εφόσον ο χρήστης αντιλαμβάνεται το σύνολο των εντολών, ως ένα σύστημα συνδεδεμένων μεταβλητών και πινάκων (tables, Πολυχρονάκη, 2014). Το Digital Project είναι ένα παρόμοιο λογισμικό το οποίο αναπτύχθηκε από την Gehry Technologies το 2006, ενώ βασίζεται στο σχεδιαστικό πρόγραμμα CATIA (ένα από τα πρώτα λογισμικά CAD) το οποίο αναπτύχθηκε από την Dessault Systems, μία γαλλική εταιρεία κατασκευής αεροσκαφών. Οι δύο αυτές πλατφόρμες θεωρήθηκαν επανάσταση στο σχεδιασμό, καθώς επιτρέπουν το σχεδιασμό ιδιαίτερα περίπλοκων αρχιτεκτονικών μορφών, οι οποίες εκφράζονται με τη μορφή παραμέτρων. Πλέον, ο αρχιτέκτονας δημιουργεί πολύπλοκες, ρευστές μορφές με λιγότερο διακριτούς κανόνες από αυτούς της Ευκλείδειας Γεωμετρίας.



Εικόνα 10. Γλώσσα οπτικής αναπαράστασης Grasshopper

Πηγή: Πολυχρονάκη, 2014

Ο Patrick Schumacher⁴ αναφέρει στο «Παραμετρικό Μανιφέστο» του 2008 σχετικά με τη σύγχρονη τάση του παραμετρικού σχεδιασμού στην αρχιτεκτονική:

⁴ Ο Patrick Schumacher με σπουδές στην αρχιτεκτονική (Stuttgart University και Southbank University) και στη φιλοσοφία (Bonn University και London University) είναι μέλος της διεθνούς εταιρείας αρχιτεκτονικών μελετών και σχεδιασμού Zaha Hadid Architects από το 1988.

«Η σημερινή εξέλιξη του παραμετρικού σχεδιασμού σχετίζεται τόσο με τη συνεχή εξέλιξη των τεχνολογιών του ψηφιακού σχεδιασμού, όσο και με τη συνειδητοποίηση των μοναδικών σχεδιαστικών δυνατοτήτων που προσφέρουν. Ο παραμετρικός σχεδιασμός μπορεί να υπάρξει μόνο μέσω εξελιγμένων παραμετρικών τεχνικών. Τέλος, οι υπολογιστικά προηγμένες τεχνικές σχεδιασμού, όπως η scripting (Mel-script, Rhino-script) και η παραμετρική μοντελοποίηση είναι πραγματικότητα. Ο σημερινός ανταγωνισμός προϋποθέτει τον έλεγχο των τεχνικών αυτών.»

Schumacher, 2008

Σε αντίθεση με τα παραπάνω λογισμικά όπου το τελικό αποτέλεσμα παράγεται μέσω μίας ροής εργασιών, στην περίπτωση των εργαλείων BIM, το κτίριο παρουσιάζεται ως ένα σύνολο συστατικών μερών (τοιχοί, στέγες, πατώματα, παράθυρα, κολόνες, κ.λπ.), τα οποία ανταποκρίνονται στη λειτουργία τους μέσω προκαθορισμένων κανόνων ή περιορισμών. Για παράδειγμα, ένας τοίχος απεικονίζεται ως ένα αντικείμενο με παραμέτρους το πάχος και το ύψος, εξωθούμενα κατά μήκος μίας γραμμής. Με τον τρόπο αυτό διευκολύνεται η δημιουργία τομών και λεπτομερειών του στοιχείου. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι προγραμματιστές των αρχικών πλατφόρμων BIM δεν είχαν αρχιτεκτονικό υπόβαθρο, με αποτέλεσμα να λαμβάνουν υπόψη τη γνώμη μίας παγκόσμιας βάσης χρηστών προκειμένου να εξελίξουν το προϊόν.

Η ανάπτυξη των Τεχνολογιών Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών (Information Communication Technology - ICT) αποτελεί τη λύση στα ζητήματα που προέκυπταν από τη συνεργασία διαφορετικών μερών στο σχεδιασμό και την πολυπλοκότητα της ολοκλήρωσης ενός σύνθετου τεχνικού έργου ως απόρροια της διαχείρισης μεγάλου όγκου πληροφοριών και εγγράφων. Παράλληλα, διευκολύνει τη διαδικασία λήψης αποφάσεων, ενώ αυξάνει το επίπεδο της συνέπειας και της αξιοπιστίας των πληροφοριών. Ως αποτέλεσμα, η Μοντελοποίηση της Κτιριακής Πληροφορίας, μέσω της ανάπτυξης ολοκληρωμένων συστημάτων διαχείρισης πληροφοριών, συντείνει στην αποφυγή λαθών κατά τη διαδικασία του σχεδιασμού και της κατασκευής. Τέτοια λάθη προέκυπταν από την επεξεργασία δισδιάστατων πληροφοριών και μη ενημερωμένων σχεδίων και οδηγούσαν σε χρονικές και οικονομικές αποκλίσεις, κακής ποιότητας κατασκευή, κ.λπ. (Latiffi *et al.*, 2014).

Παρά το γεγονός ότι η τεχνολογία της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας πλησιάζει την τριακοστή επέτειό της, τα δυνητικά οφέλη της έχουν μόλις αρχίσει να γίνονται αντιληπτά από τον κατασκευαστικό κλάδο. Η ψηφιακή σχεδίαση της πλειοψηφίας των κτιρίων σε συνδυασμό με την ανάπτυξη των επιστημονικών πεδίων της Αλληλεπίδρασης Ανθρώπου - Μηχανής (Human Computer Interaction), της Επαυξημένης Πραγματικότητας (Augmented Reality), της Νεφο-Πληροφορικής (Cloud Computing), του

Σημασιολογικού Ιστού (Semantic Web)⁵, του Παραγωγικού Σχεδιασμού⁶ (Generative Design) και του Εικονικού Σχεδιασμού και Κατασκευής (Virtual Design and Construction), επιτάσσουν τη στροφή προς περισσότερο ολοκληρωμένα σχεδιαστικά συστήματα, ενώ αποτελούν ισχυρό κίνητρο της διαρκούς ανάπτυξης των μοντέλων BIM.

Η εξέλιξη του όρου BIM

Όπως έχει αναφερθεί, η Μοντελοποίηση της Κτιριακής Πληροφορίας αποτελεί μία τεχνολογική στροφή στον κλάδο της Αρχιτεκτονικής, της Εφαρμοσμένης Μηχανικής και της Κατασκευής (Architecture, Engineering and Construction - AEC). Ωστόσο, πριν την εμφάνιση του όρου BIM, είχε προηγηθεί εκτενής και πολυετής έρευνα των συνιστωσών των κτιριακών μοντέλων (building product models, Eastman, 1999).

Η απλή χρήση ενός αρκτικόλεξου θεωρείται από ορισμένους ερευνητές ως ένα σημάδι κακής λεξιλογικής παιδείας (Santini, 2002), ενώ άλλοι αναφέρονται στη χρήση της ονομασίας ως «ζωτικής σημασίας για την επικοινωνία και χρήσιμη για την κατανόηση μίας κατάστασης» (Boho, 1970). Ταυτόχρονα, πολλοί αναλυτές έχουν αμφισβητήσει τους ποικίλους διαθέσιμους όρους, ενώ άλλοι έχουν ταχθεί υπέρ της αποδοχής του όρου BIM, λόγω της υιοθέτησης και ευρείας χρήσης του από τη βιομηχανία γύρω από το σχεδιασμό συστημάτων CAD (Laiserin, 2002). Βέβαια, θα πρέπει να τονιστεί πως αν και αμφισβητήσιμος, ο όρος «BIM» συνεχίζει την εξάπλωσή του τόσο στους επαγγελματικούς όσο και στους ακαδημαϊκούς κύκλους ως ένα «νέο πρότυπο CAD» (Ibrahim *et al.*, 2004).

Στον παρακάτω πίνακα αναγράφονται οι περισσότερο ευρέως χρησιμοποιούμενοι όροι για την περιγραφή της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας στη διεθνή βιβλιογραφία. Οι διαφοροποιήσεις μεταξύ των διαφόρων όρων άπτονται στον εννοιολογικό ή περιγραφικό τους χαρακτήρα, ενώ συχνά παρουσιάζουν μία αλληλεπικαλυπτόμενη σημασία.

⁵ Αποτελεί επέκταση του σημερινού Ιστού, η οποία βασίζεται στη λογική ότι η δημοσιευμένη πληροφορία θα περιέχει μετα-δεδομένα οριζόμενα και συνδεδεμένα με τρόπο που θα επιτρέπει την εύρεση, αυτοματοποίηση, ενσωμάτωση και επαναχρησιμοποίηση τους μέσω διαφόρων εφαρμογών χωρίς να είναι απαραίτητη η ανθρώπινη παρέμβαση, σε μία προσπάθεια επίλυσης των προβλημάτων «πληροφοριακής υπερφόρτισης» του Παγκόσμιου Ιστού. Σε συνδυασμό με τις κατάλληλες οντολογίες θα είναι εφικτή η απάντηση πολύπλοκων ερωτήσεων που θα απαιτούν συνδυασμό δεδομένων από διαφορετικές πηγές (Isikdag, 2015).

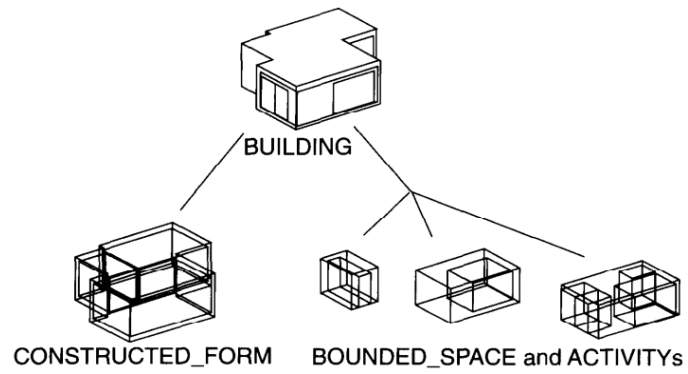
⁶ Η παραγωγική (generative) λογική αφορά στην περιγραφή των σχέσεων μεταξύ των στοιχείων ενός αντικείμενου και όχι στην περιγραφή της γεωμετρίας του. Έτσι, είναι δυνατή η παραγωγή πολλαπλών εναλλακτικών λύσεων από ένα αρχικό αντικείμενο (Παπαλεξόπουλος, 2009).

Πίνακας 1. Όροι που χρησιμοποιούνται από ερευνητές, ιδρύματα και οργανισμούς για να περιγράψουν τη Μοντελοποίηση της Κτιριακής Πληροφορίας.

Ευρέως χρησιμοποιούμενοι όροι	Ερευνητής, ίδρυμα ή οργανισμός
Asset Lifecycle Information System	Fully Integrated and Automated Tehnology
Building Information Modeling	Autodesk and Bentley Systems
Building Product Models - BPM	Charles Eastman
BuildingSMART	International Alliance for Interoperability
nD Modeling	University of Salford – School of the Built Environment
Virtual Building	Graphisoft
Virtual Design and Construction and 4D Product Models	Stanford University – Center for Integrated Facility Engineering
Άλλοι όροι: Integrated Model, Object Oriented Building Model, Single Building Model,...	

Πηγή: Succar *et al.*, 2007

Από τους παραπάνω όρους, αυτός των Building Product Models - BPM έχει τις ρίζες του στις απαρχές της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, ο Charles Eastman δημιούργησε αρχικά τον όρο Building Description Systems - BDS το 1975, προκειμένου να περιγράψει τα συστήματα που ενσωμάτωναν στη λειτουργία τους βάσεις κτιριακών δεδομένων για τον ευκολότερο συντονισμό της σχεδιαστικής διαδικασίας. Μετά την εμφάνιση της Γραφικής Γλώσσας Διαδραστικής Σχεδίασης - GLIDE η οποία χρησιμοποιήθηκε από το 1977 έως το 1988, ο Charles Eastman δημιούργησε τον όρο Μοντέλα Κτιριακών Προϊόντων (Building Product Models - BPM) ή αλλιώς RATAS, ακρωνύμιο των φιλανδικών λέξεων για το Σχεδιασμό με τη βοήθεια Ηλεκτρονικού Υπολογιστή. Πρόκειται για ένα εννοιολογικό μοντέλο το οποίο με τη χρήση χαρακτηριστικών και σχέσεων μεταξύ αντικειμένων μπορούσε να περιγράψει κτιριακά δεδομένα χρησιμοποιώντας διαφορετικά λογισμικά, αλλά κάτω από την ίδια εννοιολογική δομή πληροφοριών (Latiffi *et al.*, 2014). Τα BPM εξελίχθηκαν το 1995 στα Γενικά Κτιριακά Μοντέλα (Generic Building Model - GBM), τα οποία ενσωμάτωναν τόσο τη φυσική όσο και την αφηρημένη πληροφορία που είναι αναγκαία για τη διαμόρφωση των βασικών γνώσεων σχετικά με τα κτίρια και την αρχιτεκτονική (Eastman and Siabiris, 1995, εικόνα 11).



Εικόνα 11. Σηματική απεικόνιση ενός GBM. Στο ανώτατο επίπεδο βρίσκεται το ολοκληρωμένο κτίριο, το οποίο περιγράφεται αφηρημένα. Στο πιο κάτω επίπεδο και αριστερά βρίσκεται ο κατασκευασμένος χώρος ο οποίος αποσυντίθεται στους επιμέρους χώρους και τις δραστηριότητες που τον περικλείουν.

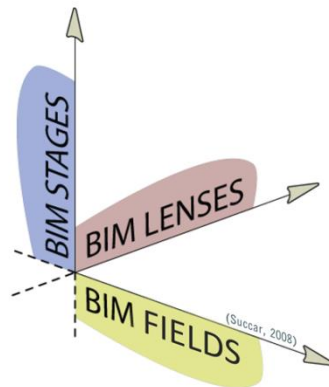
Πηγή: Eastman and Siabiris, 1995

1.4 Το θεωρητικό πλαίσιο της μεθοδολογίας της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας (BIM Framework)

Στη διεθνή βιβλιογραφία, η μεθοδολογία της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας αναφέρεται ως «καταλύτης για αλλαγή» (Bernstein, 2005), «έτοιμη να αυξήσει την αποτελεσματικότητα και να μειώσει τον κατακερματισμό του κλάδου» (Hamrson and Brandon, 2004), καθώς και «να μειώσει το υψηλό κόστος της ανεπαρκούς διαλειτουργικότητας» (Gallaher *et al.*, 2004). Η γενικευμένη εικόνα της μεθοδολογίας που προσφέρουν οι παραπάνω ισχυρισμοί σε συνδυασμό με τη χρήση ποικίλων όρων με συχνά ασαφή και αλληλεπικαλυπτόμενη σημασία (πίνακας 1), υπογραμμίζουν την έλλειψη και ταυτόχρονα την αναγκαιότητα ύπαρξης ενός ερευνητικού πλαισίου συστηματικής διερεύνησής της. Επιπλέον, η ανάγκη διερεύνησης του θεωρητικού πλαισίου της μεθοδολογίας εκτείνεται πέρα από την ανάγκη της έρευνας και της οργάνωσης της γνώσης. Η ανάλυση του τρόπου δόμησης της μεθοδολογίας και της υποδιαίρεσής της σε μικρότερα, διαχειρίσιμα τμήματα συμβάλει στην καλύτερη κατανόησή της, ενώ προάγει τη διάδοση και τη σταδιακή υιοθέτησή της από τους συμμετέχοντες στον κλάδο. Επιπλέον, ενσωματώνει τη μεθοδολογία στη διαδικασία μοντελοποίησης και γεφυρώνει το χάσμα που χωρίζει τις «ακαδημαϊκές» από τις «βιομηχανικές» αντιλήψεις (Kimmance, 2002). Η δομή του θεωρητικού πλαισίου και του τρόπου διάρθρωσης των δομικών του στοιχείων η οποία αναλύεται παρακάτω, συναντάται συχνά στη διεθνή βιβλιογραφία.

Το θεωρητικό πλαίσιο της μεθοδολογίας της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας - BIM Framework ξεκίνησε ως διδακτορική διατριβή, ενώ στη συνέχεια επεκτάθηκε ώστε να καλύψει νέους τομείς, υιοθετήθηκε από ένα αριθμό επιστημόνων και χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη εργαλείων αξιολόγησης, εκμάθησης και εφαρμογής. Πρόκειται για μία ερευνητική προσπάθεια για τη βελτίωση της αποδοτικότητας των ατόμων και οργανισμών που συμμετέχουν στη βιομηχανία της κατασκευής δια μέσου της τεχνολογίας γνώσεων (knowledge engineering) και της ανταλλαγής γνώσεων (knowledge sharing).

Η Μοντελοποίηση της Κτιριακής Πληροφορίας παρουσιάζει κατά κύριο λόγο μία τριαξονική δομή, η οποία εξηγεί την πολυδιάστατη σχέση μεταξύ των τριών βασικών αξόνων της μεθοδολογίας (εικόνα 12). Αυτοί είναι τα πεδία δραστηριότητας (άξονας x), τα στάδια της μεθοδολογίας (άξονας y) και οι αναρίθμητοι «φακοί» της μεθοδολογίας (άξονας z). Ακολουθεί μία σύντομη ανάλυση κάθε άξονα.



Εικόνα 12. Η τριαξονική δομή της μεθοδολογίας της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας.
Πηγή: BIM Framework, επίσημη ιστοσελίδα

Πεδία δραστηριότητας (BIM fields of activity): Πρόκειται για την πρώτη διάσταση της τριαξονικής δομής της μεθοδολογίας της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας. Τα πεδία δραστηριότητας αναφέρονται στις δραστηριότητες και στους συμμετέχοντες στη διαδικασία του σχεδιασμού και της κατασκευής ενός κτιρίου και στις απαιτήσεις τους όσον αφορά στο τελικό - παραδοτέο προϊόν. Το παρακάτω διάγραμμα του Venn⁷ με τους τρεις επικαλυπτόμενους κύκλους απεικονίζει τους τύπους των πεδίων (Τεχνολογία, Διαδικασία - Μέθοδος και Πολιτική), τις συνιστώσες κάθε πεδίου (Συμμετέχοντες - Παίκτες, Παραδοτέα και Απαιτήσεις), καθώς και τις αλληλεπιδράσεις και αλληλεπικαλύψεις μεταξύ των πεδίων. Το μοντέλο εισήχθη για πρώτη φορά με τον όρο «τρεις αλληλένδετοι κόμβοι γνώσης» (Succar *et al.*, 2007). Ωστόσο αργότερα, ο όρος «κόμβοι» αντικαταστάθηκε με αυτόν των «πεδίων», ώστε να ταιριάζει καλύτερα με την έννοια των «παικτών».

Πιο συγκεκριμένα, το πεδίο της Πολιτικής περιλαμβάνει την αλληλεπίδραση των συμμετεχόντων στην εκπαιδευτική και ερευνητική διαδικασία και όλων όσων μέσω της χρήσης των κατάλληλων πρακτικών και προτύπων, επικεντρώνονται στη μετάδοση της γνώσης και στη διασφάλιση της βέλτιστης αξιοποίησης των οφελών, του επιμερισμού των ευθυνών και της έγκαιρης παράδοσης του έργου, ελαχιστοποιώντας τις συγκρούσεις μεταξύ των εμπλεκόμενων μερών. Πρόκειται για ειδικευμένους οργανισμούς, όπως ασφαλιστικές εταιρείες, ερευνητικά κέντρα, εκπαιδευτικά ιδρύματα και ρυθμιστικές αρχές που διαδραματίζουν καθοριστικό προπαρασκευαστικό και κανονιστικό ρόλο στη

⁷ Ένα διάγραμμα Venn είναι ένα διάγραμμα που δείχνει όλες τις πιθανές λογικές σχέσεις μεταξύ ενός πεπερασμένου αριθμού συνόλων. Τα διαγράμματα Venn επινοήθηκαν αρχικά το 1880 από τον John Venn. Χρησιμοποιούνται για την κατανόηση της Στοιχειώδους Θεωρίας Συνόλων, καθώς και για την απεικόνιση απλών σχέσεων συνόλων στην επιστήμη των πιθανοτήτων, της λογικής, της στατιστικής και των υπολογιστών.

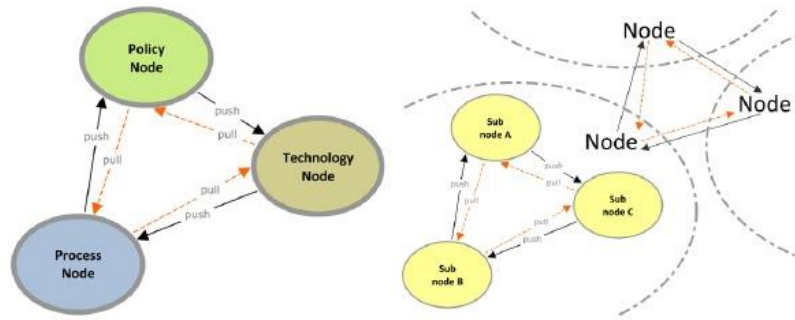
διαδικασία σχεδιασμού, κατασκευής και λειτουργίας ενός έργου (Succar, 2010a). Με άλλα λόγια, οι παραπάνω φορείς εκδίδουν ένα σύνολο κανονισμών, κατευθυντήριων γραμμών, προτύπων, βέλτιστων πρακτικών, προτύπων αναφοράς (benchmarks) και εκπαιδευτικών προγραμμάτων τα οποία κατευθύνουν τη λήψη αποφάσεων (Succar, 2009). Το πεδίο της Διαδικασίας αφορά στην αλληλεπίδραση μεταξύ των κατασκευαστικών απαιτήσεων, των παραδοτέων, των οργανωτικών δομών και της λειτουργικής επικοινωνίας για την παραγωγή και διαχείριση των μοντέλων κτιριακής πληροφορίας. Οι συμμετέχοντες στη συγκεκριμένη διαδικασία είναι όσοι προμηθεύονται, σχεδιάζουν, κατασκευάζουν, παράγουν και διαχειρίζονται ένα μοντέλο (ιδιοκτήτες, αρχιτέκτονες, μηχανικοί, εργολάβοι, διαχειριστές εγκαταστάσεων, προμηθευτές, εκτιμητές, επιθεωρητές κ.ά), σε αντίθεση με τους συμμετέχοντες στο πεδίο της Τεχνολογίας, οι οποίοι αναπτύσσουν τα εργαλεία, τα συστήματα, τα υλικά και τον εξοπλισμό που απαιτούνται για την επίτευξη των παραπάνω (Succar, 2010a). Πρόκειται για το πεδίο της αλληλεπίδρασης του λογισμικού (software), του εξοπλισμού (hardware) και των συστημάτων δικτύωσης (networking systems) που απαιτούνται για την παραγωγή και διαχείριση των μοντέλων.



Εικόνα 13. Διάγραμμα του Venn που απεικονίζει τα πεδία δραστηριότητας.

Πηγή: BIM Framework, επίσημη ιστοσελίδα

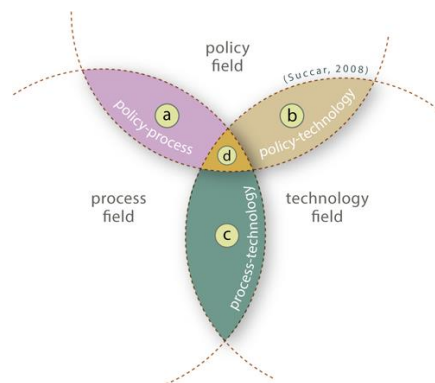
Η εικόνα 13 απεικονίζει τις αλληλεπιδράσεις τόσο στο εσωτερικό όσο και μεταξύ των διαφόρων πεδίων - «κόμβων», οι οποίες αφορούν κατά κύριο λόγο στη μεταφορά γνώσης μέσω μηχανισμών έλξης - ώθησης. Οι μηχανισμοί ώθησης μεταφέρουν γνώση σε έναν άλλο κόμβο ή υπο-κόμβο, ενώ οι μηχανισμοί έλξης μεταφέρουν γνώση προκειμένου να ικανοποιήσουν ένα αίτημα από άλλο κόμβο ή υπο-κόμβο. Για παράδειγμα, εύκολα γίνεται αντιληπτή η δυναμική της επικοινωνίας μεταξύ του μηχανικού, του κατασκευαστή και του ιδιοκτήτη ενός κτιρίου, ως μέλη - υπο-κόμβοι του πεδίου της Διαδικασίας.



Εικόνα 14. Οι αλληλεπιδράσεις στο εσωτερικό και μεταξύ των πεδίων - «κόμβων»

Πηγή: Succar *et al.*, 2007

Ταυτόχρονα με τις παραπάνω αλληλεπιδράσεις, σημειώνονται και αλληλεπικαλύψεις μεταξύ των πεδίων λόγω της κοινής χρήσης παραδοτέων (εικόνα 15). Επικαλύψεις μεταξύ των πεδίων παρατηρούνται είτε όταν ένα παραδοτέο απαιτεί συμμετέχοντες από δύο ή περισσότερα πεδία είτε όταν οι συμμετέχοντες ενός πεδίου παράγουν παραδοτέα που εντάσσονται σε ένα άλλο. Για παράδειγμα, η παραγωγή ενός κτιριακού μοντέλου απαιτεί την ταυτόχρονη συμμετοχή φορέων εκπαίδευσης, σχεδιαστών και κατασκευαστών λογισμικού, ενώ συχνό είναι το φαινόμενο της εμπλοκής συμμετεχόντων στη σχεδιαστική διαδικασία (π.χ. μηχανικών) στην έκδοση κατευθυντήριων γραμμών και βέλτιστων πρακτικών (Australian Institute of Architects).



Εικόνα 15. Οι αλληλεπικαλύψεις μεταξύ των πεδίων

Πηγή: Succar, 2010a

Ο Κύκλος Ζωής του Έργου (Project Life Cycle): Για την καλύτερη κατανόηση της δεύτερης διάστασης της παραπάνω τριαξονικής δομής, αυτής των σταδίων της μεθοδολογίας, χρήσιμη θα ήταν η αναφορά στον κύκλο ζωής ενός έργου. Πρόκειται για «μία λογική ακολουθία δραστηριοτήτων για την επίτευξη των σκοπών ή των στόχων του έργου» (Κυπριακή Δημοκρατία, Γενικό Λογιστήριο της Δημοκρατίας, Διεύθυνση Δημοσίων Συμβάσεων). Οι τρεις φάσεις ολοκλήρωσης ενός κατασκευαστικού έργου είναι η φάση του σχεδιασμού (έναρξη και προγραμματισμός έργου), της κατασκευής (εκτέλεση και

έλεγχος έργου) και της παράδοσης και λειτουργίας του έργου, οι οποίες διαιρούνται σε επιμέρους φάσεις, δραστηριότητες και εργασίες (πίνακας 2). Στη διεθνή βιβλιογραφία, η πρώτη φάση υποδιαιρείται σε δύο επιμέρους ενότητες, της αρχικής σύλληψης και εκκίνησης και του σχεδιασμού και ανάπτυξης του έργου. Η υποδιαίρεση ωστόσο των τριών φάσεων ανταποκρίνεται σε μεγαλύτερο βαθμό στις ανάγκες της συγκεκριμένης μελέτης, αφού η μεθοδολογία BIM βρίσκει περιορισμένη εφαρμογή στην αξιολόγηση της σκοπιμότητας του έργου, βασική συνιστώσα στην υποενότητα της αρχικής σύλληψης και εκκίνησης.

Η πρώτη φάση περιλαμβάνει τον προϋπολογισμό, το σχεδιασμό και την αδειοδότηση ενός έργου. Για τα μεγάλα έργα εντοπίζεται ένα επιχειρησιακό πρόβλημα ή μία ευκαιρία και παράγεται η Έκθεση Επιχειρησιακής Σκοπιμότητας Έργου. Επιπλέον, εκπονούνται συνήθως η Ανάλυση Κόστους - Οφέλους και η Μελέτη Σκοπιμότητας για τον προσδιορισμό της εναλλακτικής λύσης με το μέγιστο καθαρό όφελος, υπό το πρίσμα του μηχανισμού της προσφοράς και της ζήτησης, καθώς και για τη διερεύνηση του βαθμού στον οποίο κάθε εναλλακτική λύση αντιμετωπίζει το επιχειρησιακό πρόβλημα. Με τον τρόπο αυτό, προτείνεται μία τελική συνισταμένη λύση (Κυπριακή Δημοκρατία, Γενικό Λογιστήριο της Δημοκρατίας, Διεύθυνση Δημοσίων Συμβάσεων). Ο προϋπολογισμός του έργου θέτει πιθανούς οικονομικούς περιορισμούς, ενώ ταυτόχρονα θα πρέπει να ληφθεί υπόψη το σύνολο των περιορισμών και η επίπτωση του έργου στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον (Klinger and Susong, 2006). Ακόμη, κατά τον προγραμματισμό - σχεδιασμό του έργου θα πρέπει να συνυπολογιστούν όλες οι παράμετροι προκειμένου το έργο να είναι έτοιμο προς υλοποίηση. Η κατασκευή ενός συνόλου σχεδίων που καθορίζουν το χρονοδιάγραμμα των δραστηριοτήτων, τον τρόπο διαχείρισης των πόρων, τη μέθοδο επικοινωνίας, το κόστος, τους πιθανούς κινδύνους και την αντιμετώπισή τους, την ποιότητα των παραδοτέων και τις διεργασίες διασφάλισης και ελέγχου της ποιότητας, συμβάλλει στην ομαλή εκτέλεση των εργασιών και ενθαρρύνει την επίτευξη των ποιοτικών και ποσοτικών στόχων. Τέλος, η αδειοδότηση του έργου αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την έναρξη της σχεδιαστικής και κατασκευαστικής διαδικασίας.

Εξαιτίας της πολυπλοκότητας και των απαιτήσεων των σύγχρονων έργων, η διεπιστημονικότητα στο σχεδιασμό είναι απαραίτητη προϋπόθεση για επίτευξη του προσδοκώμενου αποτελέσματος, όπως επίσης και η συνεχής αλληλεπίδραση ιδιοκτήτη - σχεδιαστή. Για το λόγο αυτό, η σχεδιαστική διαδικασία υποδιαιρείται σε επιμέρους εργασίες, οι οποίες περιλαμβάνουν από σκίτσα και βασικά διαγράμματα κεντρικής ιδέας, μέχρι λεπτομερή κατασκευαστικά σχέδια που ανταποκρίνονται στις τεχνικές προδιαγραφές και απαιτήσεις της κατασκευής.

Για την καλύτερη διαχείριση της κατασκευαστικής διαδικασίας, αρχικά είναι απαραίτητος ο συνεργατικός καθορισμός της διαδικασίας λήψης αποφάσεων από τα κύρια εμπλεκόμενα μέρη (ιδιοκτήτης/ες - σχεδιαστική ομάδα - κατασκευαστική ομάδα) και σε δεύτερο στάδιο ο προγραμματισμός της κατασκευαστικής διαδικασίας και ο

επιμερισμός των εργασιών μεταξύ των μελών της κατασκευαστικής ομάδας. Στο σημείο αυτό, είναι πιθανή η αναγκαιότητα επίλυσης επιμέρους κατασκευαστικών ζητημάτων και λεπτομερειών σε συνεννόηση με τη σχεδιαστική ομάδα. Η κατασκευή του έργου θα πρέπει να ανταποκρίνεται τόσο στην επίτευξη των ποιοτικών και ποσοτικών στόχων, όσο και στο χρονοδιάγραμμα εκτέλεσης των εργασιών. Μία σειρά διαχειριστικών διαδικασιών διασφαλίζει την παρακολούθηση του χρόνου, των πόρων, του κόστους, των κινδύνων, της ποιότητας, ζητημάτων και αλλαγών, την αποδοχή των παραδοτέων, την επικοινωνία, κλπ. Τέλος, το έργο παραδίδεται και ξεκινάει τη λειτουργία του.

Η αποπεράτωση του έργου έπεται της κατασκευαστικής διαδικασίας. Περιλαμβάνει την κατάληψη του κτιρίου από τους χρήστες, την παράδοση στον ιδιοκτήτη όλων των απαραίτητων εγγράφων που πιστοποιούν την ποιότητα της κατασκευής και την εναρμόνισή της στις κατασκευαστικές προδιαγραφές (συνήθως συνοδευόμενη από εγγύηση) και την αξιολόγηση των κατασκευαστικών μεθόδων και του βαθμού επίτευξης των αποτελεσμάτων. Ακολουθεί η λειτουργία και η συνεχής συντήρηση του έργου και των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων, σύμφωνα με τα προβλεπόμενα στις τεχνικές προδιαγραφές, ώστε να προλαμβάνεται η λειτουργική και αισθητική απαξίωση της κατασκευής. Τέλος, κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής ενός έργου, μπορεί να απαιτηθεί διακοπή της λειτουργίας του και τροποποίηση της κατασκευής.

Πίνακας 2. Οι τρεις φάσεις του κύκλου ζωής ενός κτιριακού έργου και επιμέρους φάσεις, δραστηριότητες και εργασίες.

Σχεδιασμός	Κατασκευή	Λειτουργία και παράδοση
Συλλογή πληροφοριών, μελέτη σκοπιμότητας, ανάλυση κόστους - οφέλους, αξιολόγηση εναλλακτικών λύσεων, προϋπολογισμός κόστους, αξιολόγηση περιορισμών και επιπτώσεων, κατασκευή χρονοδιαγράμματος, καθορισμός ποιοτικών στόχων, διαχείριση κινδύνων, αδειοδότηση	Προγραμματισμός της κατασκευαστικής διαδικασίας και επίλυση επιμέρους κατασκευαστικών ζητημάτων και λεπτομερειών, προσδιορισμός της διαδικασίας λήψης αποφάσεων	Κατάληψη κτιρίου, εγγύηση εναρμόνισης στις κατασκευαστικές προδιαγραφές, αξιολόγηση μεθόδων, έλεγχος βαθμού επίτευξης αποτελεσμάτων
Δημιουργία των αρχιτεκτονικών, στατικών και ηλεκτρομηχανολογικών σχεδίων	Προμήθεια και διαχείριση υλικών και κατασκευή έργου, ικανοποίηση χρονικών, ποιοτικών και ποσοτικών στόχων, διασφάλιση παρακολούθησης και ελέγχου	Λειτουργία και συντήρηση έργου και ηλεκτρομηχανικών εγκαταστάσεων
Κάλυψη τεχνικών προδιαγραφών και απαιτήσεων, λεπτομερής σχεδιασμός, προγραμματισμός έργου και συντονισμός επιμέρους δράσεων	Παράδοση του έργου και έναρξη λειτουργίας	Διακοπή λειτουργίας, τροποποίηση της κατασκευής

Στάδια της μεθοδολογίας (BIM Stages): Πρόκειται για τη δεύτερη διάσταση της παραπάνω τριαξονικής δομής. Περιλαμβάνουν ένα σημείο εκκίνησης το οποίο αντιπροσωπεύει την κατάσταση πριν την εφαρμογή της μεθοδολογίας (Pre - BIM status - σχέδια CAD), τρία στάδια «ωριμότητας» της μεθοδολογίας και ένα μεταβλητό σημείο τερματισμού το οποίο ενσωματώνει τα οράματα ως προς το τελικό προϊόν σε συνδυασμό με την αδυναμία πρόβλεψης των μελλοντικών τεχνολογικών εξελίξεων (εικόνα 16, Succar, 2009).

α. Pre - BIM Status

Το αρχικό σημείο εκκίνησης εκφράζει την εξάρτηση από τη δισδιάστατη τεκμηρίωση των CAD σχεδίων προκειμένου να περιγραφεί μία τρισδιάστατη πραγματικότητα. Οι όποιες παραγόμενες τρισδιάστατες απεικονίσεις είναι συχνά αποσπασματικές ως άμεσα εξαρτώμενες από τη δισδιάστατη τεκμηρίωση. Αντίστοιχα, παρατηρείται δυσκολία στην ιεράρχηση των συνεργατικών πρακτικών μεταξύ των ενδιαφερομένων μερών, ενώ η ροή των εργασιών μετατρέπεται σε μία γραμμική και ασύγχρονη διαδικασία, χάνοντας το λειτουργικό χαρακτήρα της. Υπό αυτές τις συνθήκες, ο κλάδος υποφέρει από τη σημαντική έλλειψη διαλειτουργικότητας μεταξύ των μελών του.

β. 1^ο στάδιο BIM: Αντικειμενοστραφής Μοντελοποίηση (Object-based Modeling)

Αρχικά, η μοντελοποίηση χρησιμοποιεί ένα λογισμικό τρισδιάστατης παραμετρικής αντικειμενοστραφούς σχεδίασης όπως το ArchiCAD, το Revit, το Digital Project και το Tekla. Το τελικό - παραδοτέο προϊόν περιλαμβάνει αρχιτεκτονικά σχέδια και σχέδια μηχανολογικών εγκαταστάσεων τα οποία συμβάλλουν στην αυτοματοποίηση της σχεδιαστικής διαδικασίας και στη βελτιστοποίηση του συντονισμού της δισδιάστατης τεκμηρίωσης με την τρισδιάστατη απεικόνιση. Επιπλέον, το τελικό προϊόν περιλαμβάνει εξαγωγή βασικών δεδομένων (π.χ. απαιτούμενη ποσότητα σκυροδέματος, κόστος εξοπλισμού, κ.ά.), καθώς και «ελαφριά» τρισδιάστατα μοντέλα (π.χ. 3DDWF, 3D PDF, NWD, κ.ά.), τα οποία δε διαθέτουν τροποποιήσιμα παραμετρικά χαρακτηριστικά.

Παρά τα παραπάνω, η ανταλλαγή δεδομένων και η συνεργασία μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων είναι μονής κατεύθυνσης και η επικοινωνία εξακολουθεί να είναι ασύγχρονη και αποσπασματική. Η οργανωτική συμπεριφορά δε μεταβάλλεται σημαντικά σε σχέση με εκείνη του προηγούμενου σταδίου. Ωστόσο, η σημασιολογική φύση των αντικειμενοστραφών μοντέλων και η απαίτησή τους για λεπτομερή σχεδιασμό και έγκαιρη επίλυση κατασκευαστικών ζητημάτων, συμβάλλουν σημαντικά στην αύξηση της ταχύτητας των φάσεων ολοκλήρωσης ενός έργου. Μετά την επίτευξη της απαιτούμενης ωριμότητας κατά την εφαρμογή του 1^{ου} σταδίου, τα πιθανά οφέλη της ένταξης επιπλέον συμμετεχόντων στη σχεδιαστική και κατασκευαστική διαδικασία με

παρόμοιες δυνατότητες μοντελοποίησης, θα οδηγήσουν στη στροφή προς τη μοντελοστραφή συνεργασία.

γ. 2^ο στάδιο BIM: Μοντελοστραφής Συνεργασία (Model-based Collaboration)

Μετά την ανάπτυξη μίας μονόδρομης συνεργασίας, ακολουθεί η ενεργή συνεργασία των συμμετεχόντων. Η επιλογή διαφορετικού λογισμικού BIM οδηγεί κάθε φορά σε διαφορετικά τεχνολογικά αποτελέσματα. Δύο διαφορετικά παραδείγματα συνεργασίας βασισμένης σε μοντέλα αποτελούν η διαλειτουργική ανταλλαγή μοντέλων ή τμημάτων αυτών μέσω συγκεκριμένων μορφότυπων αρχείων αποκλειστικής εκμετάλλευσης (proprietary file formats), όπως για παράδειγμα μεταξύ των λογισμικών Revit Architecture και Revit Structure μέσω του .RVT file format, καθώς και μορφότυπων αρχείων μη αποκλειστικής εκμετάλλευσης (non-proprietary file formats), όπως μεταξύ των ArchiCAD και Tekla μέσω του .IFC file format (δομημένο αρχείο ανοιχτού μορφότυπου - open file format).

Η μοντελοστραφής συνεργασία είναι δυνατό να προκύψει εντός μίας ή δύο φάσεων ολοκλήρωσης ενός έργου (πίνακας 2). Συχνά είναι για παράδειγμα τα φαινόμενα αλληλεπίδρασης των αρχιτεκτονικών και στατικών μοντέλων, τα οποία εντάσσονται στη φάση του σχεδιασμού και οδηγούν σε μία εσωτερική ανταλλαγή εντός της Σχεδιαστικής Φάσης (DD, Design - Design interchange). Άλλα παραδείγματα αποτελούν η Σχεδιαστική - Κατασκευαστική ανταλλαγή (DC, Design - Construction interchange) των στατικών και των κατασκευαστικών - αναλυτικών μοντέλων καθώς και η Σχεδιαστική - Λειτουργική ανταλλαγή (DO, Design - Operations interchange) των αρχιτεκτονικών μοντέλων και των μοντέλων συντήρησης εγκαταστάσεων. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι μόνο ένα «συνεργαζόμενο» μοντέλο πρέπει να κρατήσει την τρισδιάστατη γεωμετρική πληροφορία προκειμένου να καταστεί δυνατή η ανταλλαγή, όπως η [DC] ανταλλαγή μεταξύ ενός τρισδιάστατου αντικειμενοστραφούς μοντέλου, μίας βάσης δεδομένων διαχείρισης έργου (π.χ. Primavera, MS project) ή μίας βάσης δεδομένων εκτίμησης κόστους (π.χ. Rawlinsons, Timberline). Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η δημιουργία τετραδιάστατων (4D) και πεμπτοδιάστατων (5D) μελετών, όπως οι μελέτες ανάλυσης του χρόνου (time analysis studies) και εκτίμησης του κόστους (cost estimating studies), αντίστοιχα.

Παρά το γεγονός ότι η επικοινωνία εξακολουθεί να είναι ασύγχρονη, οι διακριτοί ρόλοι των συμμετεχόντων και οι διακριτές φάσεις ολοκλήρωσης ενός έργου σταδιακά εξασθενούν. Η ωριμότητα που επιτυγχάνεται σε αυτό το στάδιο αυξάνει το επίπεδο της ανάλυσης των μοντέλων, καθώς υψηλότερης λεπτομέρειας κατασκευαστικά μοντέλα αντικαθιστούν (μερικώς ή πλήρως) μοντέλα χαμηλότερης λεπτομέρειας. Επιπλέον, παρατηρούνται αλλαγές στο σημασιολογικό πλούτο κατά τη διάρκεια των φάσεων ολοκλήρωσης του έργου.

δ. 3^ο στάδιο BIM: Ολοκληρωμένη Διαδικασία βασισμένη σε Δίκτυο (Network-based Integration)

Σε αυτό το στάδιο δημιουργούνται σημασιολογικά πλούσια, ολοκληρωμένα μοντέλα σε όλες τις φάσεις του κύκλου ζωής του έργου, μέσω τεχνολογιών μοντέλων διακομιστή (model server technologies), με μορφότυπους αρχείων αποκλειστικής ή μη εκμετάλλευσης και ανοικτούς, ενιαίων και ολοκληρωμένων κατανεμημένων βάσεων δεδομένων⁸ ή/και λύσεων SaaS (Software as a Service)⁹. Τα διεπιστημονικά μοντέλα που δημιουργούνται επιτρέπουν σύνθετες αναλύσεις στα αρχικά στάδια του σχεδιασμού, ενώ ξεπερνούν τις σημασιολογικές ιδιότητες του αντικειμένου, αγγίζοντας τα όρια της επιχειρηματικής ευφυΐας (business intelligence)¹⁰, των «πράσινων» πολιτικών και της κοστολόγησης του κύκλου ζωής (LCC - whole lifecycle costing)¹¹. Η συλλογική εργασία στρέφεται τώρα γύρω από ένα εκτεταμένο, ενοποιημένο και κοινόχρηστο μοντέλο δεδομένων. Ακόμη, η υλοποίηση του συγκεκριμένου σταδίου απαιτεί την επανεξέταση της συμβατικής ροής εργασιών, ενώ βασική προϋπόθεση είναι η ωριμότητα των τεχνολογιών δικτύων και λογισμικού ώστε τελικά να είναι εφικτή η Ολοκληρωμένη Παράδοση ενός Έργου.

ε. Ολοκληρωμένη Παράδοση Έργου (Integrated Project Delivery)

Ο όρος της Ολοκληρωμένης Παράδοσης Έργου εισήχθη για πρώτη φορά από το Αμερικανικό Ινστιτούτο Αρχιτεκτόνων (AIA, 2007) για να περιγράψει τη συγχώνευση των τεχνολογιών, των διαδικασιών και των πολιτικών του τομέα. Αντιπροσωπεύει το σημείο τερματισμού της πορείας από το σταθερό σημείο εκκίνησης (Pre - BIM status) και τα τρία στάδια ωριμότητας. Η χρήση ενός ασαφούς όρου αποτελεί προσπάθεια να

⁸ Μία Κατανεμημένη Βάση Δεδομένων (ΚΒΔ) είναι αυτή που τα δεδομένα της κατανέμονται σε διάφορες θέσεις σε ένα δίκτυο υπολογιστών. Έτσι, είναι εφικτή η ανάπτυξη τοπικών εφαρμογών προγραμμάτων στις θέσεις αυτές, όπου κάθε μία συμμετέχει τουλάχιστον σε μία κατανεμημένη εφαρμογή (Τσιριντάνη, 2011).

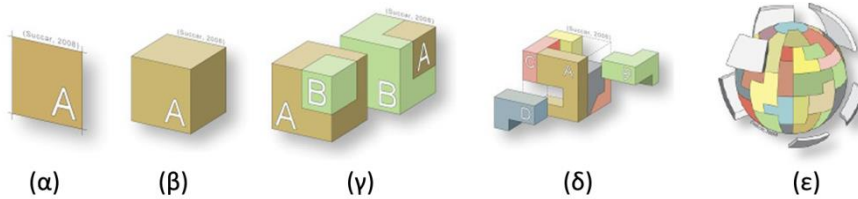
⁹ Πρόκειται για παροχή λογισμικού ως «υπηρεσία στο νέφος» (cloud) η οποία εκτελείται και αποθηκεύει δεδομένα σε κεντρικές υπολογιστικές εγκαταστάσεις. Προσφέρεται διαδικτυακά και παρέχει υψηλότερη οικονομία, ποιότητα και ασφάλεια (Σταθόπουλος, 2013).

¹⁰ Πρόκειται για ένα σύστημα υποστήριξης λήψης αποφάσεων (Decision Support System – DSS), το οποίο συνδυάζει τη συγκέντρωση και αποθήκευση των δεδομένων και τη διαχείριση της γνώσης μέσω της ανάλυσης, προκειμένου να παρέχει εισροή στη διαδικασία λήψης απόφασης (Βλαχοπούλου, 2010)

¹¹ Η Ανάλυση Κόστους Κύκλου Ζωής αφορά στην εκτίμηση του κόστους ενός κτιρίου κατά τη φάση της κατασκευής, της λειτουργίας, της συντήρησης και της αποσυναρμολόγησης. Στόχος είναι η καλύτερη οικονομική διαχείριση μέσω της ελαχιστοποίησης των δαπανών, με οικονομικά οφέλη τόσο για τον κατασκευαστή όσο και για τον τελικό χρήστη (Testa *et al.*, 2011).

συμπεριληφθούν όλα τα σχετικά οράματα που αφορούν στο τελικό προϊόν της διαδικασίας της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας, ενώ παράλληλα ενσωματώνει την αδυναμία πρόβλεψης των τεχνολογικών εξελίξεων. Ένα από τα οράματα, η Ολοκληρωμένη Παράδοση Έργου, αναφέρεται στην ενσωμάτωση του ανθρώπινου δυναμικού, των τεχνολογικών συστημάτων και των πρακτικών σε μία διαδικασία συλλογικής αξιοποίησης της θετικής συμβολής κάθε συμμετέχοντα (γνώσεις, ιδέες, ταλέντα, κ.λπ.) για τη βελτιστοποίηση των αποτελεσμάτων του έργου, την αύξηση της αξίας για τον ιδιοκτήτη, τη μείωση των παραγόμενων απορριμμάτων και τη μεγιστοποίηση της αποτελεσματικότητας στα στάδια του σχεδιασμού και της κατασκευής (AIA, 2007). Ένα ακόμη όραμα, αυτό του «Ολοκληρωμένου Έργου», χαρακτηρίζεται από την άκρως αποτελεσματική συνεργασία μεταξύ του ιδιοκτήτη και όλων των εμπλεκόμενων μερών στη σχεδιαστική και κατασκευαστική διαδικασία. Ακόμη, οι «Ολοκληρωμένες Σχεδιαστικές Λύσεις» περιλαμβάνουν βελτιωμένες διαδικασίες συνεργασίας, συντονισμού, επικοινωνίας και υποστήριξης στη λήψη αποφάσεων, οι οποίες ενεργοποιούνται από την ολοκληρωμένη διαχείριση των δεδομένων και των πληροφοριών (ILAL, 2007). Το όραμα του «nD model» έχει χρησιμοποιηθεί για να επεκτείνει τη διαδικασία μοντελοποίησης ενός κτιρίου, όχι μόνο σε ένα οπτικό περιβάλλον, αλλά σε ένα διαδραστικό σύστημα πληροφοριών όλων των αισθήσεων, συμπεριλαμβανομένης της ακοής και της όσφρησης (π.χ. προσομοίωση του περιβάλλοντα χώρου ενός κτιρίου). Η nD μοντελοποίηση εξελίσσει την έννοια της 4D μοντελοποίησης (ενσωμάτωση της διάστασης του χρόνου στη σχεδιαστική διαδικασία) με στόχο την ενσωμάτωση ποστού αριθμού διαστάσεων σε ένα ολιστικό μοντέλο μέσα από τη διαδικασία της μοντελοποίησης της κτιριακής πληροφορίας (Lee *et al.*, 2005). Συνοψίζοντας τα παραπάνω, η παράδοση ενός Ολοκληρωμένου Έργου περιλαμβάνει την παράδοση και συνεχή εξέλιξη ενός ολοκληρωμένου πολυδιάστατου μοντέλου το οποίο συνδέεται με ένα πλήθος εξωτερικών βάσεων δεδομένων σε πραγματικό χρόνο (Succar, 2010a), όπως συστήματα διαχείρισης κτιρίων, γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (GIS), δεδομένα κόστους, επιχειρησιακή λογική¹², κ.λπ.

¹² Η επιχειρησιακή λογική αποτελεί μέρος ενός πληροφοριακού συστήματος το οποίο κωδικοποιεί τους κανόνες δημιουργίας, εμφάνισης, αποθήκευσης και αλλαγής των δεδομένων των επιχειρήσεων (Hernández A. P., 2015). Η επιχειρησιακή λογική χρησιμοποιεί ευρέως την αντικειμενοστραφή προσέγγιση, λόγω των απαιτήσεων άμεσης απόκρισης στις αλλαγές, εύκολης επεκτασιμότητας, απλότητας του κώδικα και μείωσης του χρόνου ανάπτυξης, αύξησης της παραγωγικότητας μέσω της καλύτερης μοντελοποίησης, κ.ά. (Σφέτσος, χ.χ.)



Εικόνα 16. Τα στάδια μοντελοποίησης της κτιριακής πληροφορίας. (α) Pre - BIM status (δισδιάστατο αντικείμενο), (β) Αντικειμενοστραφής Μοντελοποίηση (απλό τρισδιάστατο μοντέλο), (γ) Συνεργασία βασισμένη σε Μοντέλα (αλληλοσυσχέτιση τρισδιάστατων μοντέλων μεταξύ δύο διαφορετικών κλάδων A και B), (δ) Ολοκληρωμένη Διαδικασία βασισμένη σε Δίκτυο (ολοκληρωμένα τρισδιάστατα μοντέλα βασισμένα στη διεπιστημονικότητα), (ε) Ολοκληρωμένη Παράδοση Έργου (ολοκληρωμένο πολυδιάστατο μοντέλο).

Πηγή: Succar, 2010a

«Φακοί» (BIM Lenses): Οι «φακοί» της μεθοδολογίας αποτελούν την τρίτη διάσταση της τριαξονικής δομής. Πρόκειται για αλληπάλληλα διακριτά στρώματα ανάλυσης (εικόνα 17) τα οποία εφαρμόζονται στις διαστάσεις των Πεδίων δραστηριότητας και των Σταδίων της μεθοδολογίας για την παραγωγή όψεων της πραγματικότητας (knowledge views). Στην ουσία μετατρέπουν τη μεθοδολογία σε μία περισσότερο αφηρημένη διαδικασία και ελέγχουν την πολυπλοκότητα της, αφαιρώντας περιττές λεπτομέρειες. Οι φακοί επιτρέπουν στον ερευνητή να επικεντρωθεί επιλεκτικά σε μία πτυχή της βιομηχανίας της κατασκευής και να παράξει όψεις της πραγματικότητας, είτε αναδεικνύοντας παρατηρήσεις οι οποίες πληρούν τα ερευνητικά κριτήρια, είτε «φιλτράροντας» εκείνες που δεν τα πληρούν. Στην ουσία, όλες οι όψεις είναι αφαιρέσεις που προκύπτουν από την εφαρμογή ενός ή περισσότερων φακών ή /και φίλτρων.

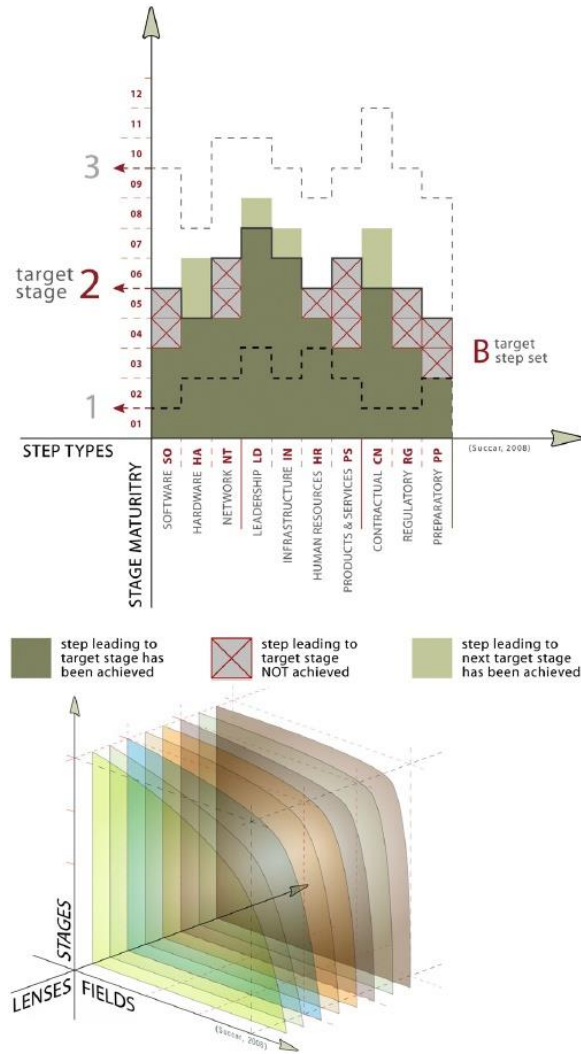
Η βασική διαφορά μεταξύ φακών και φίλτρων συνοψίζεται στο γεγονός ότι οι φακοί είναι αθροιστικοί και αναπτύσσονται από την πλευρά του ερευνητή με σκοπό να αναδείξουν τις παρατηρήσεις που πληρούν τα ερευνητικά κριτήρια, ενώ τα φίλτρα είναι αφαιρετικά και αναπτύσσονται από την πλευρά των δεδομένων, με σκοπό να αποκλείσουν τις παρατηρήσεις που δεν τα πληρούν. Υπάρχουν τρεις τύποι φακών/φίλτρων που μπορούν να εφαρμοστούν είτε μεμονωμένα είτε από κοινού, προκειμένου να παραχθεί μία όψη της πραγματικότητας. Ο πρώτος τύπος αφορά στην εφαρμογή κανόνων και έχει στόχο την απόκρυψη όσων δεδομένων δε συμφωνούν με το συγκεκριμένο κανόνα. Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται ορισμένα παραδείγματα φακών/φίλτρων κανόνων. Ο δεύτερος τύπος φακών/φίλτρων μεταβάλλει την όψη της πραγματικότητας ανάλογα με το επίπεδο αφαίρεσης των λεπτομερειών, ενώ προσφέρει τρία επίπεδα αφαίρεσης: το μακροσκοπικό, όπου παρέχεται ευρεία κάλυψη αλλά χαμηλό επίπεδο λεπτομέρειας π.χ. ένας φακός που απεικονίζει τους μηχανισμούς έλξης - ώθησης στο εσωτερικό ενός πεδίου - «κόμβου», το μεσοσκοπικό, όπου παρέχεται μέτρια κάλυψη και επίπεδο λεπτομέρειας π.χ. ένας φακός διαχείρισης δεδομένων που απεικονίζει τις ροές δεδομένων μεταξύ των διαφόρων οργανωτικών επιπέδων και το μικροσκοπικό, όπου

παρέχεται μικρή κάλυψη αλλά υψηλό επίπεδο λεπτομέρειας π.χ. ένας φακός που απεικονίζει την ατομική συμβολή στο πλαίσιο μίας ομάδας. Τέλος, ο τρίτος τύπος φακών/φίλτρων παράγει όψεις της πραγματικότητας μέσω της εφαρμογής εννοιολογικών φίλτρων που σχετίζονται με την οντολογία της μεθοδολογίας. Οι εννοιολογικοί φακοί/φίλτρα περιλαμβάνουν τους περιορισμούς, τα παραδοτέα, τον εξοπλισμό, τις εργασίες, το λογισμικό, κ.ά.

Πίνακας 3. Μη εξαντλητική λίστα φακών και φίλτρων BIM

Φακοί κανόνων	Φίλτρα κανόνων
Διαχείριση αλλαγών	Μηχανισμοί αλλαγής, κίνητρα, αντίσταση, ...
Διαχείριση έργου/κατασκευής	Σχεδιασμός έργου, πόρων, δραστηριοτήτων, ...
Διαχείριση δεδομένων	Πρότυπα δεδομένων, ασφάλεια, ροές δεδομένων, ...
Διαχείριση σχεδιασμού	Σχεδιασμός ηγεσίας, επικοινωνία, δημιουργικότητα, ...
Χρηματοοικονομική διαχείριση	Οικονομικές στρατηγικές, έλεγχοι, προϋπολογισμοί, ...
Διαχείριση γνώσης	Απόκτηση γνώσης, απεικόνιση, μεταφορά, ...
Οργανωτική συμπεριφορά	Οργανωτική κουλτούρα, ανάπτυξη, σχεδιασμός, ...
Διαχείριση Διαδικασίας	Επιμερισμός ρόλων, εργασιών, καθηκόντων, ...
Διαχείριση κινδύνου	Εντοπισμός κινδύνου, μετάθεση, μετριασμός, ...

Πηγή: Succar, 2009



Εικόνα 17. Οι «φακοί» της μεθοδολογίας.
 Πηγή: Succar, 2009

sector already effect
information
business
Level
Government
involved
likely
start
approach
made
parties
least
modeling
CAD
Government
involved
likely
start
approach
made
parties
least

construction

work
industry
requirements
changes
maintenance
costs
model
one
company
time
many
now
building
data
Ready
able
including
Decision
tracked
key
uses
work
currently
basic
considerable
with
living
need
surveys
subsequent
Requirements
including
Decision
tracked
key
uses
work
currently
basic
considerable
with
living
need
surveys
subsequent
Requirements
including
Decision
tracked
key

BIM

Μέρος Β Μοντελοποίηση
Κτιριακής Πληροφορίας και «πράσινη» δόμηση

2. Μοντελοποίηση Κτιριακής Πληροφορίας και «πράσινη» δόμηση

2.1 Περιβαλλοντικά ζητήματα που σχετίζονται με τη σύγχρονη δόμηση

Προκειμένου να μελετηθεί η συμβολή της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας στην κατασκευή «πράσινων» κτιρίων, σκόπιμη θεωρείται μία σύντομη αναφορά στην έννοια της «πράσινης» δόμησης, ως ανάγκη αντιμετώπισης των περιβαλλοντικών ζητημάτων που σχετίζονται με τη σύγχρονη δόμηση. Ο σχεδιασμός, η κατασκευή και η χωροθέτηση ενός κτιρίου επιδρούν σημαντικά στο φυσικό περιβάλλον, όπως απεικονίζεται στο γράφημα 3. Οι οικοδομικές κατασκευές απορροφούν το 40% των αδρανών υλικών και της άμμου και το 25% του παρθένου ξύλου που εξορύσσονται και υλοτομούνται, αντίστοιχα, κάθε χρόνο σε παγκόσμιο επίπεδο (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005). Η μεγάλη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και νερού και οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα οφείλονται σε μεγάλο βαθμό στα οικιστικά κτίρια, ενώ η συμβολή των κτιρίων στη συνολική κατανάλωση ενέργειας αναμένεται να αυξηθεί στο 75% μέχρι το 2025. Στις ΗΠΑ, ο κτιριακός τομέας είναι υπεύθυνος για το 39% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας, ενώ ακολουθεί ο τομέας της βιομηχανίας (31%) και των μεταφορών (28%, γράφημα 4). Όπως απεικονίζεται στο ίδιο γράφημα, μόνο ο οικιστικός τομέας είναι υπεύθυνος για πάνω από το 20% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας, με το ποσοστό αυτό να αυξάνεται σταδιακά μέχρι το 2010 και κατόπιν να παρουσιάζει ελαφριά πτώση. Στην Ευρώπη, τα ποσοστά αυτά είναι παρόμοια, με τον κτιριακό τομέα να ευθύνεται για το 40% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας και για το 55% της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση το 2012. Ακολουθεί ο τομέας των μεταφορών (32%), της βιομηχανίας (26%) και της γεωργίας (2%). Περίπου τα δύο τρίτα της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων αφορούν στον οικιστικό τομέα (Intelligent Energy Europe, 2015). Ωστόσο, η ενεργειακή αποδοτικότητα των κτιρίων στην Ευρωπαϊκή Ένωση, όπως και στις ΗΠΑ, αυξάνεται κατά μέσο όρο κατά 1,8% ανά χρόνο από το 2000, χάρη στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των συστημάτων θέρμανσης και των ηλεκτρικών συσκευών (ενεργειακές κλάσεις A+ έως A++).

Το μεγαλύτερο ποσοστό της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας ενός μέσου νοικοκυριού δαπανάται στη θέρμανση του χώρου και ακολουθούν η ενέργεια που καταναλώνεται για τη λειτουργία των ηλεκτρικών συσκευών, τη θέρμανση του νερού και τον κλιματισμό (γράφημα 5). Επιπλέον, τα μεγαλύτερα σε εμβαδόν κτίρια είναι περισσότερο ενεργοβόρα από τα μικρότερα, με τα πολύ μικρά κτίρια να έχουν επίσης αυξημένες ενεργειακές απαιτήσεις (γράφημα 6). Πέρα από το μέγεθος, οι ενεργειακές απαιτήσεις ενός κτιρίου καθορίζονται σε μεγάλο βαθμό και από τη χρήση του (γράφημα 7). Συνεπώς, παρατηρείται ότι οι χρήσεις που σχετίζονται με την εστίαση, το λιανικό εμπόριο τροφίμων και τη φροντίδα υγείας είναι περισσότερο ενεργοβόρες, γεγονός το οποίο σχετίζεται και με τις αυξημένες απαιτήσεις σε Η/Μ εξοπλισμό.

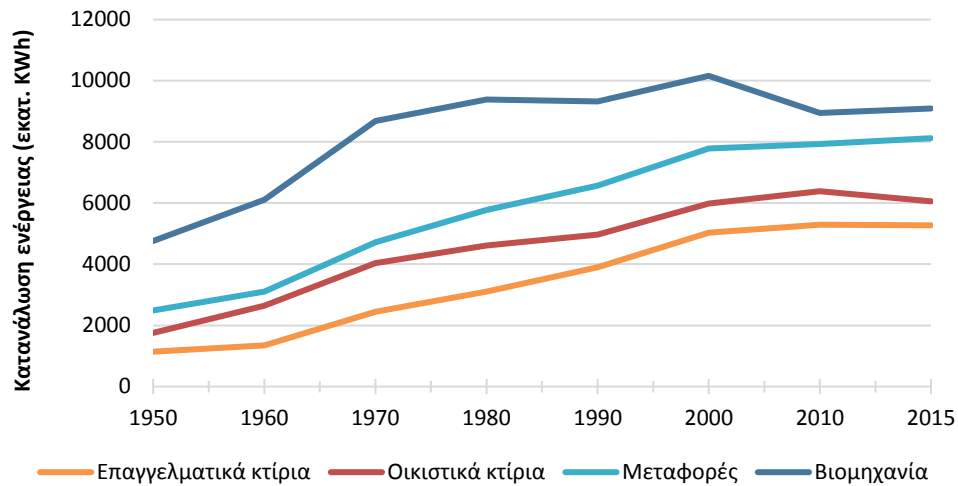
Η μέση ετήσια θερμοκρασία του αέρα μίας πόλης ενός εκατομμυρίου κατοίκων αυξάνεται κατά 1-3°C κατά τις νυχτερινές ώρες, αύξηση η οποία μπορεί να αγγίξει και

τους 12°C. Παράλληλα, οι θερμικές νησίδες αυξάνουν σημαντικά τη ζήτηση ενέργειας κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το επίπεδο των ρύπων στο εσωτερικό των κτιρίων είναι αρκετά υψηλότερο σε σχέση με τους εξωτερικούς χώρους, γεγονός το οποίο θέτει σε κίνδυνο την υγεία μεγάλου μέρους του πληθυσμού, δεδομένου ότι στις βιομηχανικά αναπτυσσόμενες χώρες οι άνθρωποι ξοδεύουν κατά μέσο όρο το 80% - 90% του χρόνου τους στο εσωτερικό περιβάλλον. Το πρόβλημα επιδεινώνεται με το σχεδιασμό των κτιρίων με τρόπο ώστε να επιδιώκεται η μικρότερη δυνατή ανακύκλωση του αέρα με χρήση νέου από το εξωτερικό περιβάλλον, με στόχο την επίτευξη στεγανοποιημένων και θερμικά απομονωμένων κτιρίων και συνεπώς ενεργειακά αποδοτικότερων (Βαρώτσου, 2012). Σημαντική είναι και η συμβολή του κτιριακού τομέα στην αύξηση των στερεών αποβλήτων. Τα απόβλητα εκσκαφών, κατασκευών και κατεδαφίσεων (ΑΕΚΚ) αποτελούν ένα από τα μεγαλύτερα κλάσματα των στερεών αποβλήτων στην Ελλάδα και διεθνώς (Ζυγούρας και Καραγιαννίδης, 2005, γράφημα 8). Τα υλικά οικοδομών (demolition and construction wastes) περιλαμβάνουν σκόνη, πέτρες, τούβλα, τσιμέντο, γύψο, ξυλεία, στέγες, υδραυλικό και ηλεκτρολογικό εξοπλισμό. Εκτιμάται ότι μόλις το 20% - 30% των αποβλήτων ανακτάται για περαιτέρω επεξεργασία και ανακύκλωση. Τα υλικά που ανακτώνται και ανακυκλώνονται συχνότερα είναι το σκυρόδεμα, η άσφαλτος, τα μέταλλα και το ξύλο (United States, Environmental Protection Agency, 2007).



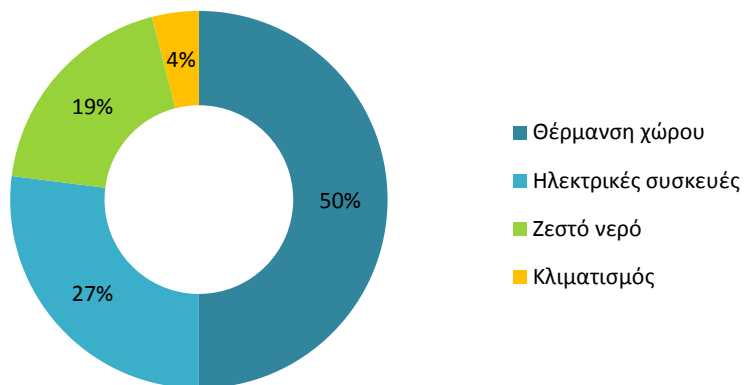
Γράφημα 3. Ποσοστό της περιβαλλοντικής ευθύνης των κτιρίων

Πηγή: United States, Environmental Protection Agency, 2014, ίδια επεξεργασία



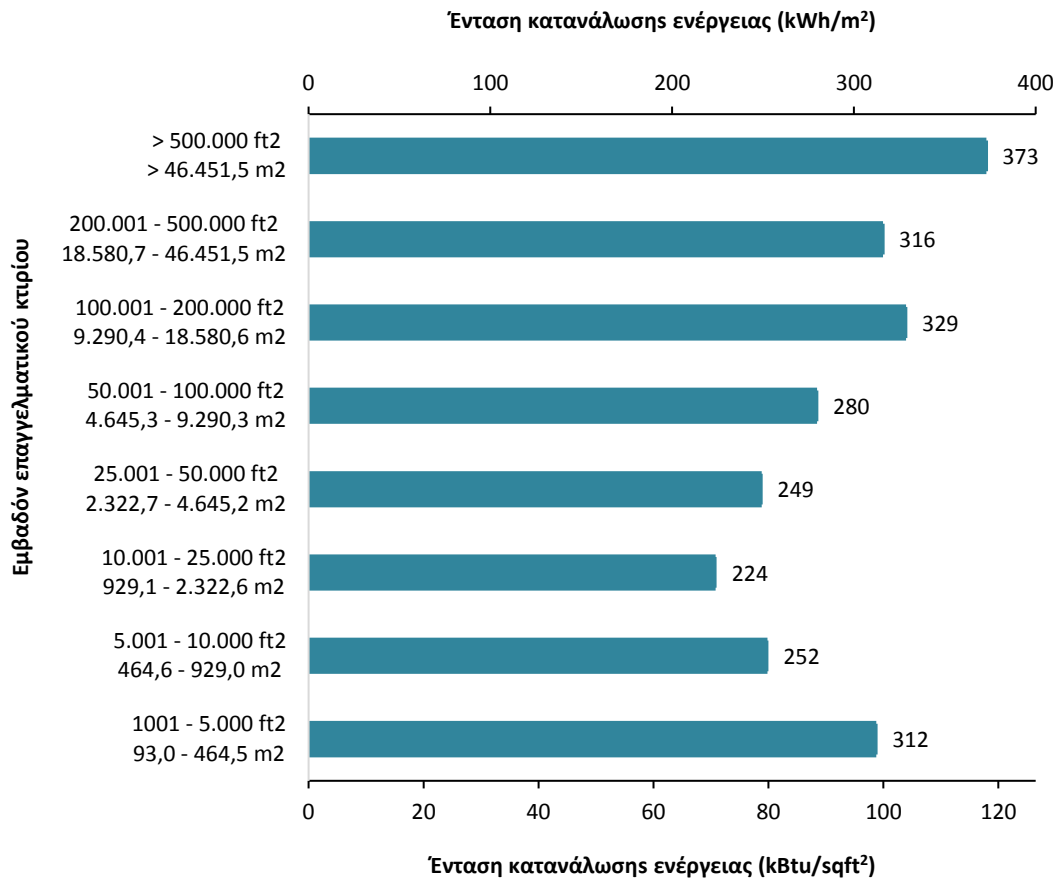
Γράφημα 4. Κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα

Πηγή: United States Energy Information Administration, επίσημη ιστοσελίδα, ίδια επεξεργασία



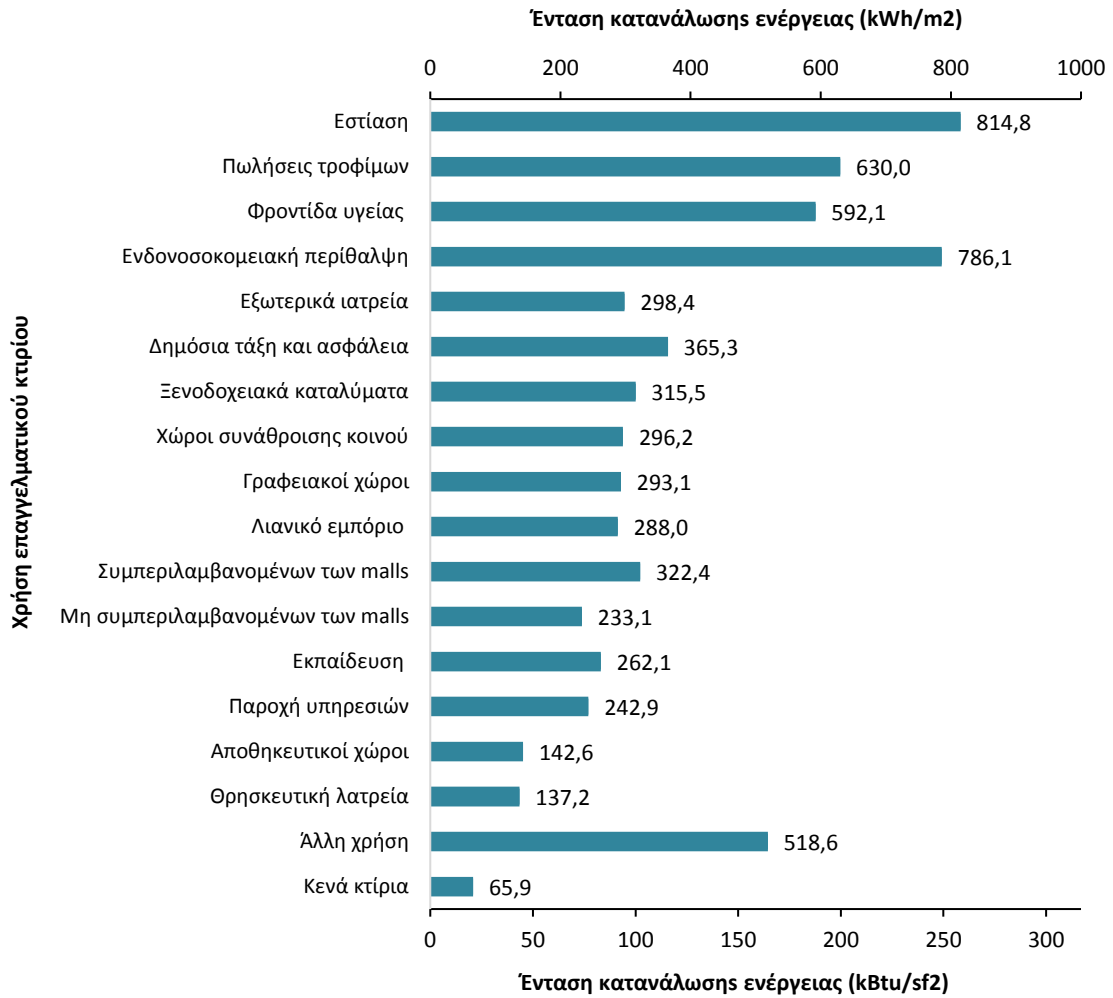
Γράφημα 5. Κατανομή της κατανάλωσης ενέργειας ενός μέσου νοικοκυριού στις ΗΠΑ

Πηγή: United States, Environmental Protection Agency, 2014, ίδια επεξεργασία



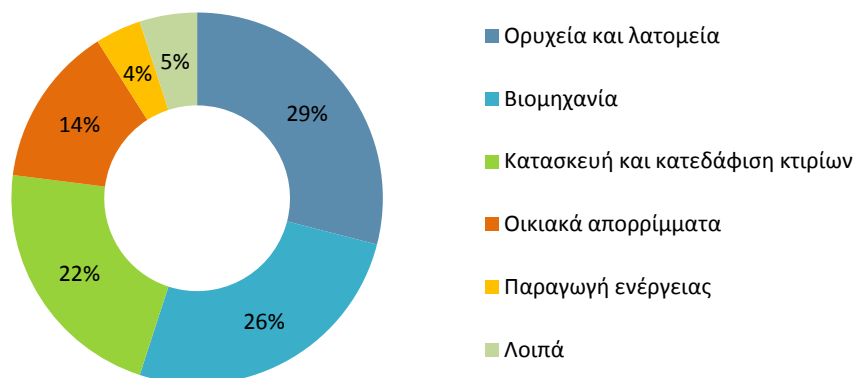
Γράφημα 6. Ένταση κατανάλωσης ενέργειας ανά εμβαδόν επαγγελματικού κτιρίου στις ΗΠΑ το 2003

Πηγή: United States Energy Information Administration, επίσημη ιστοσελίδα, ίδια επεξεργασία



Γράφημα 7. Ένταση κατανάλωσης ενέργειας ανά χρήση επαγγελματικού κτιρίου στις ΗΠΑ το 2003.

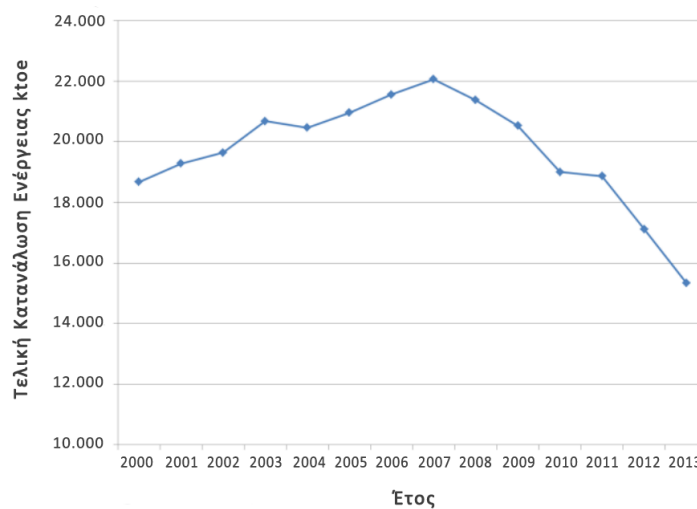
Πηγή: United States Energy Information Administration, επίσημη ιστοσελίδα, ίδια επεξεργασία



Γράφημα 8. Κατανομή στερεών αποβλήτων στην ΕΕ 1992-97

Πηγή: European Environmental Agency, 2001, ίδια επεξεργασία

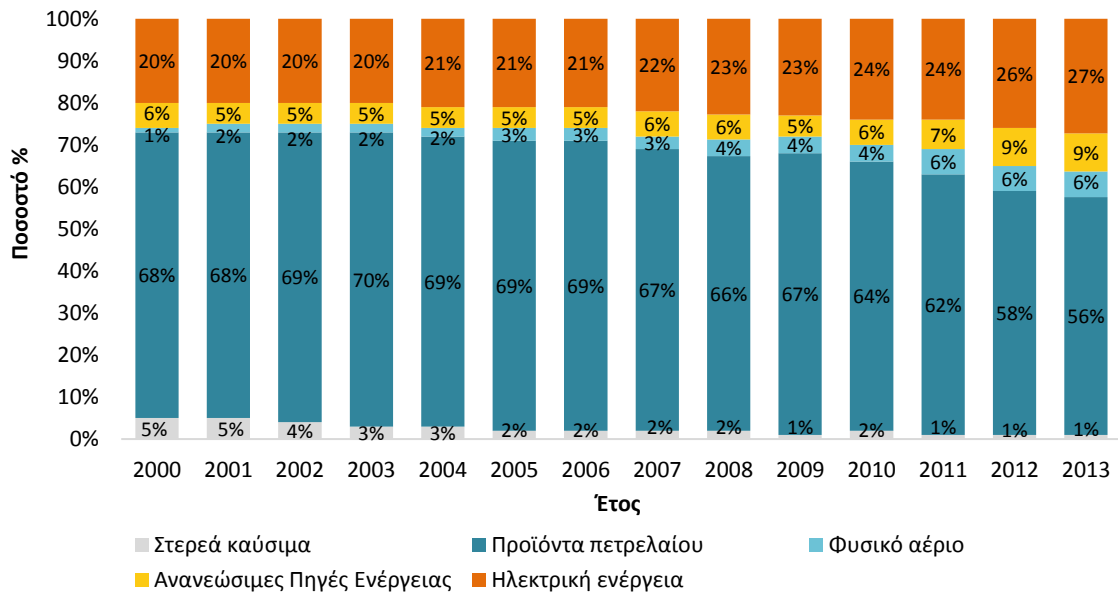
Όσον αφορά στην ελληνική πραγματικότητα, κατά το διάστημα 2000-2007, η συνολική κατανάλωση ενέργειας αυξήθηκε κατά 18%, με μέσο ρυθμό αύξησης 3% ανά χρόνο (εικόνα 18). Πιο συγκεκριμένα, από 18,7 Mtoe (Million tones of oil equivalent) που ήταν το 2000 αυξήθηκε σε 22,1 Mtoe το 2007. Η αύξηση αυτή αποδίδεται στην αύξηση της κατανάλωσης πετρελαίου κατά 15% και στην αύξηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας κατά 28%. Ωστόσο, η εφαρμογή πολιτικών εξοικονόμησης ενέργειας αλλά και η παρατεταμένη οικονομική ύφεση οδήγησαν σε μείωση της κατανάλωσης ενέργειας κατά 30% το διάστημα 2008-2013, από 22,1 Mtoe το 2007 σε 15,3 Mtoe το 2013, με μέσο ρυθμό μείωσης 6% ανά χρόνο.



Εικόνα 18. Συνολική τελική κατανάλωση ενέργειας στην Ελλάδα κατά το διάστημα 2000-2013.

Πηγή: ΚΑΠΕ, 2015

Τα προϊόντα πετρελαίου παραμένουν η κυρίαρχη πηγή ενέργειας του Έλληνα καταναλωτή (γράφημα 9). Ωστόσο, η εισαγωγή του φυσικού αερίου το 1998, οδήγησε στην αύξηση του ποσοστού συμμετοχής του στη συνολική ενεργειακή κατανάλωση της χώρας, από 1% το 2000, σε 6% το 2013. Επιπλέον, αύξηση 26% παρατηρείται στη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) κατά το ίδιο διάστημα, με τη συμμετοχή τους στη συνολική κατανάλωση ενέργειας να αυξάνεται από 6% το 2000, σε 9% το 2013. Λόγω του αυξανόμενου κόστους του πετρελαίου θέρμανσης, η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνεται συνεχώς, με τη συμμετοχή της στη συνολική κατανάλωση ενέργειας να αυξάνεται από 20% το 2000, σε 27% το 2013.



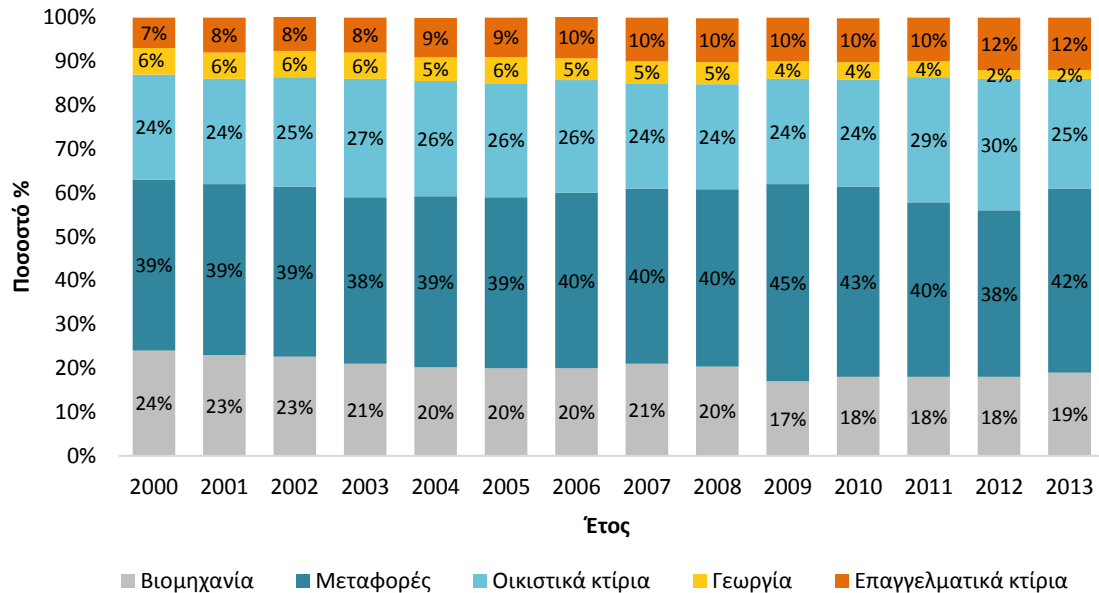
Γράφημα 9. Συμμετοχή ανά τύπο καυσίμου στη συνολική τελική κατανάλωση ενέργειας στην Ελλάδα.

Πηγή: ΚΑΠΕ, 2015, ίδια επεξεργασία

Σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα, ο τομέας των μεταφορών αποδεικνύεται ο πιο ενεργοβόρος, με 6,3 Mtoe το 2013 (γράφημα 10). Κατά το διάστημα 2000-2013, το ποσοστό συμμετοχής στη συνολική κατανάλωση ενέργειας των τομέων των οικιστικών κτιρίων και των μεταφορών αυξήθηκε κατά 1% και 3%, αντίστοιχα. Αντίθετα, το ποσοστό συμμετοχής των τομέων της βιομηχανίας και της γεωργίας κατά το ίδιο διάστημα μειώθηκε κατά 5% και 4%, αντίστοιχα. Η σημαντική αύξηση κατά 5% της συμβολής του τριτογενούς τομέα παραγωγής στη συνολική κατανάλωση ενέργειας στην Ελλάδα, είναι άμεσο επακόλουθο του προσανατολισμού της ελληνικής οικονομίας όπου ο τριτογενής τομέας παραγωγής κερδίζει ολοένα και μεγαλύτερο έδαφος.

Κατά το διάστημα 2000-2013, η κατανάλωση ενέργειας στον τομέα της βιομηχανίας παρουσίασε σημαντική μείωση της τάξης του 38% (από 4,5 Mtoe το 2000 σε 2,8 Mtoe το 2013), με εξαίρεση τη βιομηχανία μη σιδηρούχων μετάλλων (π.χ. χαλκός, αλουμίνιο) που παρουσίασε μικρή αύξηση. Μείωση παρουσίασε και η κατανάλωση ενέργειας στα οικιστικά κτίρια κατά 16% (από 4,5 Mtoe το 2000 σε 3,8 Mtoe το 2013) κατά το ίδιο διάστημα, παρά το γεγονός ότι μέχρι το 2006 σημειωνόταν σταδιακή αύξηση. Παρόμοια εικόνα παρατηρείται στα επαγγελματικά κτίρια, γεγονός το οποίο αποκτά βαρύνουσα σημασία εάν αναλογιστεί κανείς ότι ο κτιριακός τομέας είναι υπεύθυνος για το 37% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας στην Ελλάδα. Στον τομέα των μεταφορών, κατά το διάστημα 2000-2009 παρατηρήθηκε αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας κατά 26% (από 7,3 Mtoe το 2000 σε 9,2 Mtoe το 2009), ενώ ένα χρόνο αργότερα και μέχρι το 2013, η κατανάλωση ενέργειας μειώθηκε κατά 31%. Το γεγονός αυτό πιθανώς συνδέεται με τη μείωση της κατανάλωσης προϊόντων πετρελαίου, τη διεύρυνση του φυσικού αερίου στην αγορά ενέργειας, τη σύνδεση της φορολόγησης των οχημάτων με τις εκπομπές CO₂, την

αυξημένη πληροφόρηση, την ευαισθητοποίηση του κοινού και την προώθηση της χρήσης της δημόσιας συγκοινωνίας (ΚΑΠΕ, 2015).

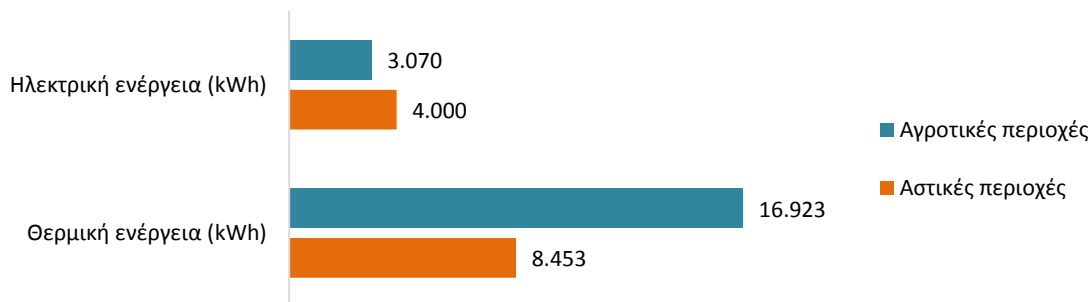


Γράφημα 10. Συμμετοχή ανά τομέα στη συνολική τελική κατανάλωση ενέργειας στην Ελλάδα.

Πηγή: ΚΑΠΕ, 2015, ίδια επεξεργασία

Η Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛ.ΣΤΑΤ.) διενήργησε για πρώτη φορά έρευνα κατανάλωσης ενέργειας στα ελληνικά νοικοκυριά κατά το χρονικό διάστημα Οκτωβρίου 2011 – Σεπτεμβρίου 2012. Κατά τη διάρκεια της έρευνας συλλέχθηκαν πληροφορίες αναφορικά με την κατανάλωση ενέργειας και τα επίπεδα κατανάλωσης για διαφορετικές χρήσεις στον οικιακό τομέα, καθώς και τις ποσότητες και τα είδη των χρησιμοποιούμενων καυσίμων. Επιπρόσθετα, καταγράφηκαν πληροφορίες που αφορούσαν στις συνήθειες των χρηστών σε σχέση με την κατανάλωση ενέργειας, στα είδη και στον αριθμό των συσκευών και συστημάτων που χρησιμοποιούν, ενώ εξετάστηκε και η διεύθυνση ενεργειακά αποδοτικών τεχνολογιών στον οικιακό τομέα. Τέλος, συλλέχθηκαν πληροφορίες και στοιχεία για τα κοινωνικοοικονομικά χαρακτηριστικά των νοικοκυριών (ΕΛ.ΣΤΑΤ., επίσημη ιστοσελίδα). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας, κάθε νοικοκυριό της χώρας καταναλώνει κατά μέσο όρο 13.994 kWh ετησίως για την κάλυψη των ενεργειακών του αναγκών, με το πετρέλαιο θέρμανσης να αποτελεί το περισσότερο ευρέως χρησιμοποιούμενο καύσιμο σε ποσοστό 44%. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η ενεργειακή κατανάλωση των ελληνικών νοικοκυριών είναι χαμηλότερη από το μέσο όρο της Ευρωπαϊκής Ένωσης κατά απόλυτο αριθμό, αλλά σημαντικά υψηλότερη εάν αναπροσαρμοστεί στο μέσο κλίμα της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Intelligent Energy Europe, 2015).

Το 81% της συνολικής ετήσιας καταναλισκόμενης ενέργειας δαπανάται για τη θέρμανση των χώρων και το μαγείρεμα, ενώ η κατανάλωση ενέργειας επηρεάζεται άμεσα από το βαθμό αστικότητας της περιοχής. Από το παρακάτω διάγραμμα συμπεραίνεται ότι οι ανάγκες σε θερμική ενέργεια είναι μεγαλύτερες στις αγροτικές περιοχές, με το αντίστροφο να ισχύει για τις ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια. Παράλληλα, η ανάλυση της καταναλισκόμενης ενέργειας κατά βαθμό αστικότητας οδήγησε στο συμπέρασμα ότι τα νοικοκυριά των αστικών περιοχών παρουσιάζουν αυξημένη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας και πετρελαίου θέρμανσης, σε σύγκριση με τις αγροτικές περιοχές, όπου η χρήση καυσόξυλων είναι σημαντικά υψηλότερη.



Γράφημα 11. Ετήσια κατανάλωση ενέργειας ανά βαθμό αστικότητας
Πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ., επίσημη ιστοσελίδα, ίδια επεξεργασία

Σχετικά με τα τεχνικά χαρακτηριστικά των μόνιμων κατοικιών οι οποίες ερευνήθηκαν (χρήση άνω των έξι μηνών το χρόνο), οι μισές εξ' αυτών διαθέτουν κάποιο είδος θερμομόνωσης (εσωτερικά / εξωτερικά στην τοιχοποιία, στη στέγη / δώμα, κ.λπ.). Σχεδόν το σύνολο των κατοικιών διαθέτει κάποιο σύστημα θέρμανσης και παραγωγής ζεστού νερού χρήσης, με το 50,8% να χρησιμοποιεί κεντρικό σύστημα θέρμανσης ως το κύριο σύστημα θέρμανσης και το 74,5% να χρησιμοποιεί ηλεκτρικό θερμοσίφωνα για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης. Μόλις έξι στα δέκα νοικοκυριά χρησιμοποιούν κάποιο σύστημα ψύξης, το οποίο σε ποσοστό 99,7% αφορά ανεξάρτητες μονάδες κλιματισμού (split units).

2.2 Η έννοια και τα οφέλη της «πράσινης» δόμησης

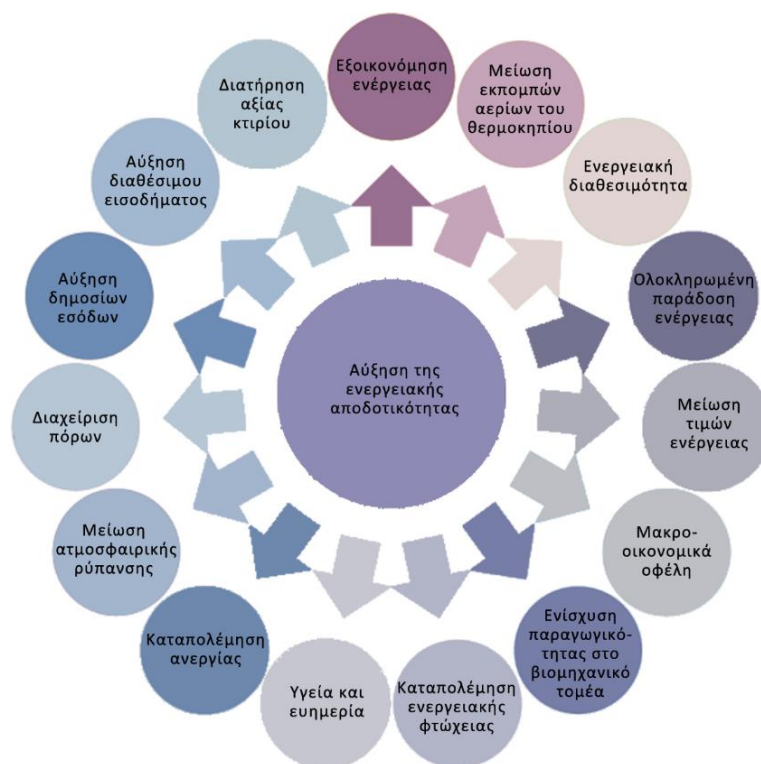
Η έννοια της «πράσινης δόμησης»

Ο όρος «πράσινη» δόμηση περιγράφει την εφαρμογή φιλικότερων στο περιβάλλον μεθόδων σχεδιασμού, κατασκευής, ανακαίνισης, λειτουργίας, συντήρησης και κατεδάφισης κτιρίων, με ταυτόχρονα αποδοτικότερη χρήση των πόρων (United States, Environmental Protection Agency, 2014). Τα «πράσινα» κτίρια είναι ενεργειακά αποδοτικά καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους, ενώ είναι σχεδιασμένα με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτυγχάνουν σημαντική μείωση του συνολικού αντίκτυπου του δομημένου περιβάλλοντος στην ανθρώπινη υγεία και στο φυσικό περιβάλλον. Το παραπάνω επιτυγχάνεται μέσω της αποτελεσματικής χρήσης της ενέργειας, του νερού και άλλων πόρων, της βελτίωσης της υγείας των χρηστών του χώρου και της παραγωγικότητας των εργαζομένων και της μείωσης των απορριμμάτων, της ρύπανσης και της περιβαλλοντικής υποβάθμισης (United States, Environmental Protection Agency, 2014).

Ορισμένες αρχές της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής όπως η χρήση τοπικών και ανανεώσιμων υλικών και ο παθητικός ηλιακός σχεδιασμός, παρατηρούνται εδώ και χιλιετίες. Ωστόσο, το σύγχρονο «πράσινο» κίνημα προέκυψε από την ανάγκη και την επιθυμία για ενεργειακά πιο αποδοτικές και φιλικές προς το περιβάλλον πρακτικές δόμησης. Η αύξηση της τιμής του πετρελαίου τη δεκαετία του 1970 αποτέλεσε τον κινητήριο μοχλό της ερευνητικής δραστηριότητας για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων και τη χρήση ΑΠΕ. Το παραπάνω, σε συνδυασμό με το περιβαλλοντικό κίνημα της δεκαετίας του 1960 και του 1970, οδήγησε στα πρώτα ερευνητικά πειράματα από κρατικά εργαστήρια, ιδιωτικές εταιρείες και πανεπιστήμια, με αντικείμενο το σχεδιασμό ενεργειακά αποδοτικών κτιρίων τα οποία επισημοποιήθηκαν τη δεκαετία του 1990.

Οφέλη της «πράσινης» δόμησης

Το δομημένο περιβάλλον έχει τεράστια επίδραση στο φυσικό περιβάλλον, στην ανθρώπινη υγεία και στην οικονομία. Με την υιοθέτηση μεθόδων «πράσινης» δόμησης, είναι δυνατή τόσο η περιβαλλοντική όσο και η οικονομική απόδοση των κτιρίων, σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής τους, από το σχεδιασμό και την κατασκευή, μέχρι την ανακαίνιση και την ανακατασκευή. Ωστόσο, τα σημαντικότερα οφέλη επιτυγχάνονται υιοθετώντας μία ολοκληρωμένη προσέγγιση από τα αρχικά μόλις στάδια ενός κτιριακού έργου. Στα περιβαλλοντικά οφέλη της «πράσινης» δόμησης συγκαταλέγονται η ενίσχυση και η προστασία της βιοποικιλότητας και των οικοσυστημάτων, η βελτίωση της ποιότητας του αέρα και των υδάτων, η μείωση των οικοδομικών απορριμμάτων και η διατήρηση και αποκατάσταση των φυσικών πόρων. Αναφορικά με τα οικονομικά οφέλη, παρατηρείται σημαντική μείωση του λειτουργικού κόστους του κτιρίου, καθώς και αύξηση της παραγωγικότητας. Τέλος, όσον αφορά στα κοινωνικά οφέλη, η «πράσινη» δόμηση βελτιώνει τη θερμική άνεση, την υγεία των ενοίκων, την αισθητική ποιότητα και τη συνολική ποιότητα ζωής, καθώς μέσω του εξορθολογισμού της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων προωθείται ένα μοντέλο ζωής το οποίο δεν ταυτίζει την άνοδο του βιοτικού επιπέδου με την αύξηση της κατανάλωσης (United States, Environmental Protection Agency, 2014).



Εικόνα 19. Οφέλη της αύξησης της ενεργειακής αποδοτικότητας των κτιρίων

Πηγή: Intelligent Energy Europe, 2015

Τα χαρακτηριστικά ενός «πράσινου κτιρίου»

Ένα «πράσινο» κτίριο θα πρέπει να παρουσιάζει ορισμένα χαρακτηριστικά τα οποία προσδιορίζουν την οικολογική συμπεριφορά του. Αρχικά, θα πρέπει να είναι ενεργειακά αποδοτικό και να εξασφαλίζει μεγάλο τμήμα των ενεργειακών του αναγκών από ΑΠΕ. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται τόσο στην κατασκευή του κτιριακού κελύφους όσο και στους εσωτερικούς χώρους καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό την ενεργειακή συμπεριφορά των κτιρίων. Η επιλογή των κατάλληλων υλικών συμβάλλει στην επίτευξη θερμικής άνεσης στο εσωτερικό των κτιρίων και στην ελαχιστοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης τόσο κατά τη θερινή περίοδο (μέγιστη δυνατή εκπομπή υπέρυθρης ακτινοβολίας προς το περιβάλλον) όσο και κατά τη χειμερινή περίοδο (ελαχιστοποίηση θερμικών απωλειών και μεγιστοποίηση ηλιακών κερδών). Η θερμική άνεση επιτυγχάνεται μέσω της ανεμπόδιστης ροής του φωτός, της επίτευξης ικανοποιητικών επιπέδων φωτισμού, της αποφυγής δημιουργίας θάμβωσης και υπερφωτισμού και της επίτευξης ανεμπόδιστης οπτικής επαφής με το εξωτερικό περιβάλλον (Κορωνάιος και Σαργέντης, 2005). Επιπλέον, η ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον τρόπο κατασκευής του κελύφους του (χρήση υλικών με χαμηλό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, εκμετάλλευση της θερμικής μάζας του κτιρίου, κ.λπ.), καθώς και από το βαθμό υιοθέτησης στο σχεδιασμό αρχών βιοκλιματικού σχεδιασμού.

Ακόμη, ένα «πράσινο» κτίριο θα πρέπει να είναι αποδοτικό όσον αφορά στη χρήση νερού και να χρησιμοποιεί όσο το δυνατόν φιλικότερα στο περιβάλλον δομικά υλικά και προδιαγραφές σχεδιασμού. Η διαδικασία παραγωγής των υλικών, ο κύκλος ζωής και η τελική τους διάθεση (απόρριψη) έχουν σημαντικές επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον. Η λογική της «πράσινης» δόμησης προωθεί τη χρήση ασφαλέστερων υλικών που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή, συντήρηση και εξοπλισμό ενός κτιρίου, όπου οι τοξικές ουσίες θα έχουν υποκατασταθεί από άλλες, λιγότερο επιβλαβείς για την ανθρώπινη υγεία. Ταυτόχρονα, προωθείται η χρήση υλικών με μικρή ενσωματωμένη ενέργεια (ανάλογη της διαδικασίας παραγωγής και μεταφοράς), ικανότητα ανακύκλωσης, μεγάλη διάρκεια ζωής και γενικότερη οικολογική συμπεριφορά (π.χ. μειωμένη θερμική ρύπανση και εκπομπές CO₂ και NO_x κατά τη διαδικασία παραγωγής τους). Με τον τρόπο αυτό, βελτιώνεται η ποιότητα του εσωτερικού αέρα, συνιστώσα καθοριστικής σημασίας για τη δημιουργία «πράσινων» κτιρίων, ενώ προστατεύεται η υγεία των χρηστών.

Η συμβολή του «πράσινου» κτιρίου στη μείωση των παραγόμενων αποβλήτων εκσκαφών, κατασκευών και κατεδαφίσεων ενισχύεται μέσω της ενθάρρυνσης της ανακύκλωσης των δομικών υλικών, με σκοπό την επανάχρησή τους για την κάλυψη των υλικών αναγκών του κατασκευαστικού κλάδου. Τα βιομηχανικά υλικά (π.χ. ιπτάμενη τέφρα, άμμος χυτηρίου, απόβλητα εκσκαφών, κατασκευών και κατεδαφίσεων), μπορούν να ανακτηθούν και να επαναχρησιμοποιηθούν σε οικοδομικές εφαρμογές, καθώς διατηρούν αρκετές από τις χημικές και φυσικές ιδιότητές τους. Η επαναχρησιμοποίηση

οικοδομικών υλικών μπορεί να μειώσει έως και 95% την ενσωματωμένη ενέργεια¹³ των υλικών η οποία διαφορετικά θα χανόταν ως απόβλητο (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005). Σε ορισμένες περιπτώσεις, μπορούν ακόμη και να βελτιώσουν την ποιότητα του προϊόντος (United States, Environmental Protection Agency, 2014). Βέβαια θα πρέπει να σημειωθεί ότι ορισμένες φορές το κόστος και η ενέργεια που απαιτείται για την ανακύκλωση ή επαναχρησιμοποίηση των υλικών είναι σημαντικά υψηλότερα σε σχέση με την πρωτογενή παραγωγή, ωστόσο *«εδώ προκύπτει η ηθική πλευρά της ανακύκλωσης η οποία οφείλει να επιβάλλεται»* (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).

Η «πράσινη δόμηση» σχετίζεται και με την αισθητική της κατασκευής, καθώς και με τη διαμόρφωση του εσωτερικού χώρου ενός κτιρίου, ο οποίος πρέπει να είναι σχεδιαστικά ευέλικτος, ανταποκρινόμενος στις ανάγκες τόσο των τωρινών όσο και των μελλοντικών χρηστών. Έτσι, αυξάνεται η διάρκεια ζωής ενός κτιρίου και ελαχιστοποιούνται οι πιθανότητες το κτίριο να προκύψει ως απόβλητο στο χώρο σε σύντομο χρονικό διάστημα μετά την κατασκευή του λόγω της αδυναμίας ανταπόκρισής του στις νέες ανάγκες στέγασης.

¹³ Ενσωματωμένη ενέργεια είναι η ενέργεια που απαιτείται για την παραγωγή, τη δημιουργία και τη μεταφορά ενός προϊόντος. Αποτελεί παράμετρο μείζονος σημασίας, καθώς υλικά με μεγάλη ενσωματωμένη ενέργεια προκαλούν κατά τη διαδικασία παραγωγής τους υψηλές εκπομπές CO₂ και θερμική ρύπανση (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).

2.3 Πιστοποίηση «πράσινων» κτιρίων

Τα «πράσινα» κτίρια έχουν γίνει το έμβλημα της ολοκληρωμένης ανάπτυξης, αναλαμβάνοντας την ευθύνη για την επίτευξη μακροπρόθεσμης οικονομικής, περιβαλλοντικής και κοινωνικής υγείας (Ali and Al Nsairat, 2009). Το σύστημα αξιολόγησης των «πράσινων» κτιρίων επιτρέπει την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιδόσεών τους και την ενσωμάτωση της ολοκληρωμένης ανάπτυξης στην κτιριακή κατασκευή, ως εργαλεία σχεδιασμού που διαμορφώνουν προτεραιότητες, στόχους και στρατηγικές, κατευθύνοντας το σχεδιασμό και υποβοηθώντας τη λήψη αποφάσεων.

Τα τελευταία χρόνια έχει αναπτυχθεί σε παγκόσμιο επίπεδο ένας μεγάλος αριθμός εργαλείων περιβαλλοντικής αξιολόγησης των κτιρίων, τα οποία μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τα εργαλεία τα οποία βασίζονται αποκλειστικά σε ένα σύστημα κριτηρίων, ενώ η δεύτερη περιλαμβάνει τα εργαλεία που χρησιμοποιούν τη μεθοδολογία της αξιολόγησης του κύκλου ζωής των κτιρίων¹⁴ (Life Cycle Assessment – LCA). Τα εργαλεία - βάσει κριτηρίων μπορούν να οριστούν ως ένα σύστημα εισόδου τιμών σε έναν επιλεγμένο αριθμό παραμέτρων, σε κλίμακα που κυμαίνεται μεταξύ «μικρών» και «μεγάλων» περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Μερικά από τα πιο γνωστά παραδείγματα τέτοιων εργαλείων είναι οι πιστοποιήσεις BREEAM (HB), GBTool (Καναδάς), LEED (ΗΠΑ), EcoProfile (Νορβηγία) και Environmental Status (Σουηδία). Ωστόσο, από τα τέλη της δεκαετίας του 1990 ξεκίνησε η ανάπτυξη μεθόδων αξιολόγησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των κτιρίων με βάση την αξιολόγηση του κύκλου ζωής τους, παρά το γεγονός ότι ορισμένες φορές γίνεται διάκριση μεταξύ της αξιολόγησης του κύκλου ζωής των δομικών υλικών και της αξιολόγησης του κύκλου ζωής του κτιρίου στο σύνολό του. Παραδείγματα τέτοιων εργαλείων είναι τα BEE (ΗΠΑ), BEAT (Δανία), Eco-Quantum (Ολλανδία), KCL Eco (Φιλανδία) και EcoEffect (Σουηδία, Ali and Al Nsairat, 2009 και Forsberg and von Malmborg, 2004). Τα συγκεκριμένα εργαλεία εκτός από την περιβαλλοντική πιστοποίηση των κτιρίων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για την αξιολόγηση και υιοθέτηση των βέλτιστων επιλογών κατά τη διαδικασία του σχεδιασμού (Franzoni, 2011).

Η περιβαλλοντική αξιολόγηση των κτιρίων προσφέρει σημαντικά οφέλη τόσο στους ιδιοκτήτες ενός κτιρίου, όσο και στους ενοίκους ή τους επενδυτές (Better Buildings

¹⁴ Η αξιολόγηση του κύκλου ζωής (Life Cycle Assessment – LCA) είναι ένας τρόπος ανάλυσης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ενός προϊόντος (ή υπηρεσίας) καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του. Στόχος είναι η εξέταση των ενεργειακών εισροών, των υλικών που δαπανώνται και των απορριμμάτων που παράγονται από την αρχή μέχρι το τέλος του κύκλου ζωής ενός προϊόντος (from «cradle to grave», Roaf, 2004).

Partnership, 2013). Τα οφέλη για τους ιδιοκτήτες ενός κτιρίου με υψηλή περιβαλλοντική απόδοση επικεντρώνονται γύρω από το γεγονός ότι ένα «πράσινο» κτίριο (ιδιαίτερα εάν είναι εμπορικό) υποδηλώνει καλή ποιότητα χώρου. Επιπλέον, η αδυναμία συμμόρφωσης στους κανόνες της αγοράς μπορεί να έχει δυσμενείς επιπτώσεις στο χρονικό διάστημα πριν τη μίσθωση ενός κτιρίου, στη διάρκεια της μίσθωσης, στο ύψος του μισθώματος ή στην πρόθεση των ενοίκων να αναμισθώσουν το ακίνητο. Ακόμη, η αδυναμία εξασφάλισης υψηλής περιβαλλοντικής απόδοσης επηρεάζει την αξία του ακινήτου, καθώς το κάνει λιγότερο ελκυστικό στους υποψήφιους ενοίκους ή επενδυτές.

Όσον αφορά στους ενοίκους επαγγελματικών χώρων, παρατηρείται ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον για τον περιβαλλοντικό και κοινωνικό αντίκτυπο της επιχειρηματικής τους δραστηριότητας. Η φήμη, το ενδιαφέρον των πελατών, η προσέλκυση και η διατήρηση υψηλής ποιότητας εργατικού δυναμικού, ο περιορισμός του ρίσκου και η εξοικονόμηση χρημάτων αποτελούν ορισμένες μόνο από τις κινητήριες δυνάμεις. Τα «πράσινα» κτίρια χρησιμοποιούνται συχνά ως αντιστάθμιση της πιθανής αρνητικής εικόνας μίας επιχείρησης, υποδηλώνοντας τη δέσμευσή της για εταιρική κοινωνική ευθύνη (Eichholtz et al., 2009). Έχει αποδειχθεί ότι οι επιχειρήσεις με επιχειρηματική ηθική και δεοντολογία έχουν υψηλότερες επιδόσεις και κατά μέσο όρο 18% υψηλότερα κέρδη (RICS, 2008). Τα υψηλά επίπεδα ενεργειακής απόδοσης προσφέρουν ένα ισχυρό πλεονέκτημα έναντι ανταγωνιστικών επιχειρήσεων. Παράλληλα, ορισμένες μελέτες έχουν υπογραμμίσει τη σχέση μεταξύ περιβαλλοντικά αποδοτικών κτιρίων και την αύξηση της παραγωγικότητας και της ικανοποίησης των εργαζομένων. Επιπλέον, τα «πράσινα» κτίρια σε συνδυασμό με την αποτελεσματική διαχείριση, συμβάλλουν στη μείωση των λειτουργικών εξόδων μίας επιχείρησης. Προκειμένου να επωφεληθούν από τα παραπάνω οφέλη, συχνά οι ένοικοι είναι διατεθειμένοι να πληρώσουν υψηλότερο μίσθωμα από αυτό της αγοράς, το οποίο συχνά αναφέρεται ως «green premium» (Oyedokun, et al., 2015).

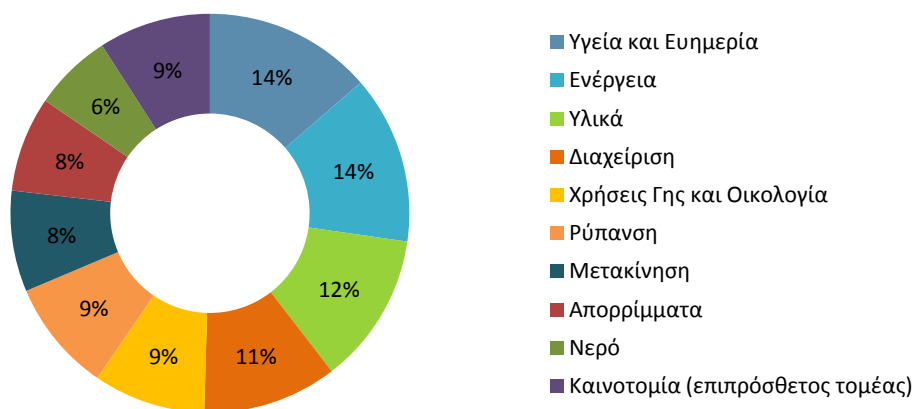
Οι επενδυτές από την άλλη πλευρά, δείχνουν ένα ολοένα αυξανόμενο ενδιαφέρον για την περιβαλλοντική απόδοση των ακινήτων στα οποία επενδύουν. Η ενίσχυση της περιβαλλοντικής νομοθεσίας σε συνδυασμό με την αυξανόμενη ζήτηση για «πράσινα» κτίρια, αποτελεί ένα σαφή κίνδυνο και ασκεί αυξανόμενη επιρροή στις επενδυτικές αποφάσεις. Οι επενδυτές που καταφέρνουν να αποδείξουν ότι οι περιβαλλοντικές πτυχές των χαρτοφυλακίων ακίνητης περιουσίας τους έχουν ληφθεί σοβαρά υπόψη, ενώ εναρμονίζονται με την ισχύουσα και επικείμενη νομοθεσία, θεωρείται ότι αντιμετωπίζουν ένα σαφώς χαμηλότερο επενδυτικό κίνδυνο.

Πιστοποίηση BREEAM

Για την καλύτερη κατανόηση της έννοιας και της διαδικασίας της πιστοποίησης των «πράσινων» κτιρίων, θα ακολουθήσει μία σύντομη αναφορά στις πιστοποιήσεις BREEAM και LEED, καθώς θεωρούνται τα δύο μεγαλύτερα συστήματα πιστοποίησης της περιβαλλοντικής απόδοσης ενός κτιρίου σε παγκόσμιο επίπεδο και η βάση για την

ανάπτυξη αντίστοιχων συστημάτων άλλων χωρών. Το προγενέστερο από τα δύο ήταν το σύστημα πιστοποίησης BREEAM που αναπτύχθηκε στο Ηνωμένο Βασίλειο στις αρχές της δεκαετίας του 1990 από την Building Research Establishment (BRE) για την αξιολόγηση του συνόλου ενός οικοδομικού έργου. Το σύστημα πιστοποίησης των ΗΠΑ αναπτύχθηκε αργότερα βασισμένο σε παρόμοια κριτήρια, αλλά είναι ελαφρώς πιο απλοποιημένο. Παρά το γεγονός ότι τα δύο συστήματα είναι παρόμοια, τα αποτελέσματα δεν είναι άμεσα συγκρίσιμα μεταξύ τους καθώς αποδίδονται διαφορετικοί συντελεστές βαρύτητας στα διαφορετικά κριτήρια.

Οι τομείς για τους οποίους μπορεί να εκδοθεί η πιστοποίηση BREEAM είναι ο γενικός σχεδιασμός (Masterplanning), οι νέες κατασκευές (New Construction), τα εν λειτουργία κτίρια (In-Use) και η ανακαίνιση κτιρίων (Refurbishment and Fit-out). Πιο συγκεκριμένα, η πρώτη κατηγορία αφορά στη δημιουργία νέων κοινοτήτων και στην υλοποίηση έργων αναπλάσεων, ενώ η δεύτερη αφορά στην κατασκευή νέων κτιρίων (δημόσια, ιδιωτικά, κατοικίες και εμπορικά κτίρια) και υποδομών. Επιπλέον, η πιστοποίηση BREEAM μπορεί να εκδοθεί μόνο για τα εν λειτουργία εμπορικά κτίρια. Αντίθετα, ο τομέας της ανακαίνισης καλύπτει ένα ευρύτερο φάσμα κατηγοριών, αφού περιλαμβάνει κτίρια εμπορικών χρήσεων, κατοικίας, δημόσια κτίρια και κτίρια πολιτιστικής κληρονομιάς. Η πιστοποίηση καλύπτει ένα ευρύ φάσμα χρήσεων, όπως εκπαίδευση, υγειονομική περίθαλψη, βιομηχανία, κέντρα δεδομένων, γραφεία, κατοικία, λιανικό εμπόριο και μικτές χρήσεις. Υπολογίζεται ότι έχουν εκδοθεί πάνω από 540.000 πιστοποιητικά σε 77 χώρες, ενώ είναι εγγεγραμμένα πάνω από δύο εκατομμύρια κτίρια (BREEAM, επίσημη ιστοσελίδα). Η κατηγορία της πιστοποίησης εξαρτάται από το σύνολο των μονάδων που θα συγκεντρωθούν κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού και της κατασκευής ενός κτιρίου. Πιο συγκεκριμένα, για τις νέες κατασκευές ελέγχεται η περιβαλλοντική συμπεριφορά των κτιρίων στα εξής κριτήρια: Διαχείριση, Υγεία και Ευημερία, Ενέργεια, Μετακίνηση, Νερό, Υλικά, Απορρίμματα, Χρήσεις Γης και Οικολογία, Ρύπανση και Καινοτομία. Η ποσοστιαία κατανομή των συντελεστών βαρύτητας των παραπάνω κριτηρίων απεικονίζεται στο γράφημα 12.



Γράφημα 12. Ποσοστιαία κατανομή των συντελεστών βαρύτητας των κριτηρίων πιστοποίησης BREEAM των νέων κατασκευών από το 2014 και μετά, με μέγιστο το 110%

Πηγή: BREEAM, επίσημη ιστοσελίδα, ίδια επεξεργασία

Ανάλογα με τη βαθμολογία που συγκεντρώνεται σε κάθε ένα από τα παραπάνω κριτήρια (κατόπιν εκτίμησης από ανεξάρτητους επιθεωρητές), ορίζεται και η κατηγορία της πιστοποίησης BREEAM ως εξής:

- Outstanding: $\geq 85\%$
- Excellent: $\geq 70\%$
- Very Good: $\geq 55\%$
- Good: $\geq 45\%$
- Pass: $\geq 30\%$
- Unclassified: $< 30\%$

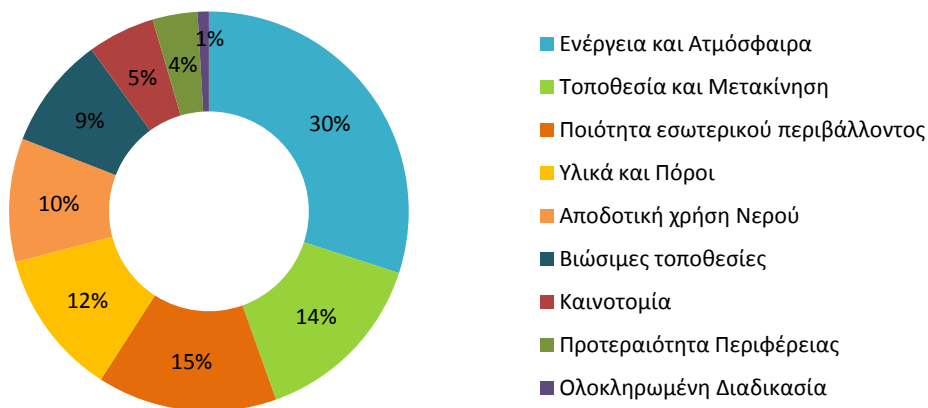
Πιστοποίηση LEED

Η πιστοποίηση LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) αποτελεί το περισσότερο ευρέως διαδεδομένο σύστημα περιβαλλοντικής αξιολόγησης των κατασκευών από το 1998 (Gonchar, 2009). Αναπτύχθηκε στις ΗΠΑ από το US Green Building Council. Πρόκειται για μία παγκόσμια αναγνωρισμένη πιστοποίηση της αποτελεσματικής διαχείρισης των πόρων και της υψηλής ενεργειακής και οικονομικής απόδοσης στα στάδια του σχεδιασμού, της κατασκευής, της λειτουργίας και της συντήρησης ενός κτιρίου. Υπολογίζεται ότι πάνω από 60.000 κτίρια εμπορικών χρήσεων έχουν λάβει την πιστοποίηση, ενώ περίπου 170 χιλιάδες τετραγωνικά μέτρα πιστοποιούνται σε ημερήσια βάση παγκοσμίως. Η βιομηχανία των «πράσινων» κτιρίων που κινείται γύρω από την πιστοποίηση LEED στις ΗΠΑ εκτιμάται ότι ανήλθε σε 248 δισεκατομμύρια δολάρια το 2016 (US Green Building Council, επίσημη ιστοσελίδα).

Οι τομείς για τους οποίους μπορεί να εκδοθεί το πιστοποιητικό είναι ο Σχεδιασμός και η Κατασκευή των Κτιρίων (Building Design and Construction), η Λειτουργία και Συντήρηση των Κτιρίων (Building Operations and Maintenance), η Εσωτερική Διακόσμηση και Κατασκευή (Interior Design and Construction), οι Κατοικίες (Homes) και η Ανάπτυξη Γειτονιών (Neighborhood Development). Πιο συγκεκριμένα, ο τομέας του Σχεδιασμού και της Κατασκευής αναφέρεται σε όλα τα διαφορετικά είδη έργων, από καινούριες κατασκευές και μεγάλης κλίμακας ανακαινίσεις, μέχρι κτίρια σχολείων, λιανικού εμπορίου, αποθηκών, φιλοξενίας, περίθαλψης και κατοικίας. Ο τομέας της Λειτουργίας και Συντήρησης των Κτιρίων αναφέρεται στην ενεργειακή αναβάθμιση των υφιστάμενων κτιρίων η οποία κινείται με γνώμονα την άποψη ότι *«τα περισσότερα πράσινα κτίρια είναι αυτά που έχουν ήδη κατασκευαστεί»* (US Green Building Council, επίσημη ιστοσελίδα). Η άποψη αυτή βασίζεται στο γεγονός ότι η αναπλήρωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της κατεδάφισης ενός υφιστάμενου κτιρίου και της κατασκευής ενός νέου, ακόμη και με εξαιρετικά υψηλή ενεργειακή απόδοση, μπορεί να διαρκέσει έως και 80 χρόνια. Ο τομέας της Εσωτερικής Διακόσμησης και Κατασκευής αναφέρεται στη βελτίωση των συνθηκών (φωτισμός, αερισμός, κ.λπ.) στο εσωτερικό των κτιρίων διάφορων χρήσεων πλην της κατοικίας, η οποία αποτελεί το περιεχόμενο

ξεχωριστού τομέα. Τέλος, ο τομέας της Ανάπτυξης Γειτονιών αφορά στην αστική κινητικότητα¹⁵ και στην ύπαρξη ελεύθερων χώρων και χώρων πρασίνου σε επίπεδο γειτονιάς, σε έργα που βρίσκονται τόσο σε φάση σχεδιασμού όσο και ολοκλήρωσης.

Οι ιδιαιτερότητες και οι διαφορετικές απαιτήσεις κάθε τομέα οδηγούν στην ύπαρξη πέντε διαφορετικών συστημάτων αξιολόγησης, με διαφορετικές προϋποθέσεις και διαφορετικό σύστημα συλλογής μονάδων (credits) για την έκδοση της πιστοποίησης LEED. Ωστόσο, τα κριτήρια και οι μέγιστοι βαθμοί που μπορούν να συγκεντρωθούν από το άθροισμα των επιμέρους βαθμολογιών σε κάθε κριτήριο είναι κοινά σε κάθε τομέα. Αυτά είναι τα εξής: Ενέργεια και Ατμόσφαιρα, Τοποθεσία και Μετακίνηση, Ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος, Υλικά και Πόροι, Αποδοτική χρήση Νερού, Βιώσιμες τοποθεσίες, Καινοτομία, Προτεραιότητα Περιφέρειας και Ολοκληρωμένη Διαδικασία. Το στοιχείο που διαφοροποιείται σε κάθε τομέα είναι η κατανομή των συντελεστών βαρύτητας. Στο γράφημα 13 απεικονίζεται η ποσοστιαία κατανομή των συντελεστών βαρύτητας των παραπάνω κριτηρίων για τις νέες κατασκευές.



Γράφημα 13. Ποσοστιαία κατανομή των συντελεστών βαρύτητας των κριτηρίων πιστοποίησης LEED των νέων κατασκευών, με μέγιστο το 110%

Πηγή: US Green Building Council, επίσημη ιστοσελίδα, ίδια επεξεργασία

¹⁵ Στην έννοια της Αστικής Κινητικότητας περιλαμβάνεται «το σύνολο των πολιτικών και δράσεων που στοχεύουν στην εφαρμογή βιώσιμων μεταφορικών συστημάτων με κυρίαρχο άξονα μεταξύ άλλων τη βελτίωση της δημόσιας συγκοινωνίας και την προαγωγή των ήπιων μορφών μετακίνησης, βάδισμα και ποδήλατο, με απώτερο στόχο την προστασία του περιβάλλοντος και την προάσπιση της υγείας και εν γένει της ποιότητας ζωής των κατοίκων» (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, επίσημη ιστοσελίδα).

Ανάλογα με τη βαθμολογία που συγκεντρώνεται σε κάθε ένα από τα παραπάνω κριτήρια (κατόπιν εκτίμησης από ανεξάρτητους επιθεωρητές), με μέγιστο τους 110 βαθμούς, ορίζεται και η κατηγορία της πιστοποίησης LEED ως εξής:

- Platinum: ≥ 80 βαθμών
- Gold: ≥ 60 βαθμών
- Silver: ≥ 50 βαθμών
- Certified: ≥ 40 βαθμών



Ολοκληρωμένη Διαδικασία (Integrative Process): προώθηση συμμετοχής μελών διαφόρων ειδικοτήτων στη σχεδιαστική διαδικασία



Τοποθεσία και Μετακίνηση (Location and Transportation): αναφέρεται στον τομέα της Ανάπτυξης Γειτονιών και επιβραβεύει κυρίως έργα εντός πυκνοκατοικημένων περιοχών ποικίλων χρήσεων τα οποία ευνοούν την αστική κινητικότητα



Υλικά και Πόροι (Materials and Resources): προώθηση επιλογής περιβαλλοντικά φιλικών δομικών υλικών, αποδοτικής χρήσης δομικών υλικών και ελαχιστοποίησης αποβλήτων κατασκευής



Αποδοτική χρήση Νερού (Water efficiency): προώθηση πρακτικών εξοικονόμησης νερού στο κτίριο και στον περιβάλλοντα χώρο



Ενέργεια και Ατμόσφαιρα (Energy and Atmosphere): προώθηση βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων μέσω καινοτόμων στρατηγικών και ελαχιστοποίησης των εκπομπών ρύπων



Βιώσιμες τοποθεσίες (Sustainable sites): προώθηση ελαχιστοποίησης των επιπτώσεων της συνολικής χρήσης του οικοπέδου στα οικοσυστήματα και στους υδάτινους πόρους



Ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος (Indoor environmental quality): προώθηση βελτίωσης της ποιότητας του εσωτερικού αέρα και παροχής φυσικού φωτισμού



Καινοτομία (Innovation): προώθηση καινοτόμων πρακτικών σχεδιασμού



Προτεραιότητα Περιφέρειας (Regional priority): προώθηση της αντιμετώπισης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων κτιρίων στην περιφέρεια των πόλεων

2.4 Το νομοθετικό πλαίσιο στην Ελλάδα

Το πλαίσιο των ευρωπαϊκών οδηγιών

Η θεσμοθέτηση του νομικού πλαισίου για το βιοκλιματικό σχεδιασμό και τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων αποτελεί προσπάθεια συμμόρφωσης της χώρας μας αρχικά με την Οδηγία 2002/91/ΕΚ, την Οδηγία 2009/28/ΕΚ, καθώς και με τη μετέπειτα Οδηγία 2010/31/ΕΕ. Ακολουθεί μία σύντομη αναφορά στα βασικά στοιχεία κάθε οδηγίας.

Η Οδηγία 2002/91/ΕΚ «για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων» τονίζει την αναγκαιότητα αύξησης των πολιτικών ενεργειακής απόδοσης στον κτιριακό τομέα, για τη συμμόρφωση με το πρωτόκολλο του Κιότο. Σύμφωνα με την οδηγία, ο κτιριακός τομέας ευθύνεται για το 40% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση, ενώ η τάση αύξησης της ενεργειακής κατανάλωσής του προβλέπεται να αυξήσει ανησυχητικά τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.

Ο καθορισμός των ελάχιστων απαιτήσεων για την ενεργειακή απόδοση των νέων και ριζικά ανακαινιζόμενων κτιρίων αποτελεί δεσμευτικό στόχο των κρατών μελών, τα οποία οφείλουν μέχρι το 2006 να προσδιορίσουν τη μεθοδολογία υπολογισμού της ετήσιας ενεργειακής απόδοσής τους. Πέρα από τη θερμομόνωση, η μεθοδολογία θα πρέπει να περιέχει και άλλους παράγοντες που διαδραματίζουν ολοένα και περισσότερο σημαντικό ρόλο όπως οι εγκαταστάσεις θέρμανσης/κλιματισμού, η εφαρμογή ΑΠΕ και ο σχεδιασμός του κτιρίου. Στον προσδιορισμό της μεθοδολογίας θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι κλιματολογικές και οι τοπικές συνθήκες, οι κλιματικές συνθήκες σε εσωτερικούς χώρους, η προβλεπόμενη χρήση, η ηλικία του κτιρίου, καθώς και η σχέση κόστους/οφέλους. Ειδική μνεία γίνεται για τα νέα και ριζικά ανακαινισμένα κτίρια άνω των 1.000m², όπου θα πρέπει αντίστοιχα να εξασφαλίζεται η τεχνική, περιβαλλοντική και οικονομική σκοπιμότητα εγκατάστασης εναλλακτικών συστημάτων και η αναβάθμιση της ενεργειακής απόδοσής τους προκειμένου να πληροί τις ελάχιστες απαιτήσεις, στο βαθμό που αυτό είναι τεχνικά, λειτουργικά και οικονομικά εφικτό. Ακόμη, τα κράτη μέλη θα πρέπει να ορίσουν το μεθοδολογικό πλαίσιο της ενεργειακής πιστοποίησης των κτιρίων, καθώς και να καθιερώσουν την τακτική επιθεώρηση των λεβήτων και των εγκαταστάσεων κλιματισμού.

Η Οδηγία 2009/28/ΕΚ «για την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και την τροποποίηση και τη συνακόλουθη κατάργηση των οδηγιών 2001/77/ΕΚ και 2003/30/ΕΚ», αποτελεί την πρώτη ουσιαστική προσπάθεια νομικής κατοχύρωσης της δέσμευσης όλων των μελών της Κοινότητας για προέλευση του 20% της ακαθάριστης τελικής κατανάλωσης ενέργειας που καταναλίσκεται στις μεταφορές, στους τομείς της ηλεκτρικής ενέργειας, της θέρμανσης και της ψύξης, από ανανεώσιμες πηγές. Για την Ελλάδα προτείνει αύξηση του παραπάνω ποσοστού από 6,9% το 2005 (παράρτημα 1 της ευρωπαϊκής οδηγίας) σε 18% το 2020. Σύμφωνα με την οδηγία, η χρήση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές βρίσκεται σε στενή συνάρτηση με την αύξηση της ενεργειακής

απόδοσης προκειμένου να μειωθούν οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και να περιορισθεί η εξάρτηση της Κοινότητας από εισαγωγές ενέργειας.

Όσον αφορά στον οικοδομικό τομέα, σύμφωνα με την ευρωπαϊκή οδηγία, τα κράτη μέλη οφείλουν να εισάγουν στους οικείους οικοδομικούς κανονισμούς και κώδικες, κατάλληλα μέτρα για να αυξήσουν το μερίδιο κάθε μορφής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Ακόμη, δεσμεύονται για αύξηση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, εγκατάσταση συστημάτων συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας, καθώς και σχεδιασμό κτιρίων παθητικής ενέργειας, χαμηλής ή μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας (passive, low or zero-energy buildings). Μέχρι το τέλος του 2014, τα νέα και τα ριζικώς ανακαινιζόμενα κτίρια οφείλουν να χρησιμοποιούν στοιχειώδες επίπεδο ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, μεταξύ άλλων, μέσω συστημάτων τηλεθέρμανσης και τηλεψύξης. Σύμφωνα με την οδηγία, υποδειγματικό ρόλο υποχρεούνται να διαδραματίζουν, από το 2012 και μετά, τα νέα και τα ανακαινιζόμενα δημόσια κτίρια, είτε μέσω της μετατροπής τους σε κτίρια μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας είτε μέσω της χρήσης των στεγών για εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές.

Η Οδηγία 2010/31/ΕΕ «για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων», ουσιαστικά ενισχύει τις διατάξεις της Οδηγίας 2002/91/ΕΚ. Εκτός από τα νέα και ριζικώς ανακαινιζόμενα κτίρια, θεσπίζει απαιτήσεις που αφορούν στην εφαρμογή ελάχιστων απαιτήσεων για την ενεργειακή απόδοση τόσο δομικών στοιχείων τμήματος του κελύφους, όσο και τεχνικών συστημάτων των κτιρίων. Ακόμη, προσθέτει ότι στον προσδιορισμό της μεθοδολογίας υπολογισμού της ετήσιας ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι εγκαταστάσεις θέρμανσης/κλιματισμού, η χρήση ΑΠΕ, τα στοιχεία παθητικής θέρμανσης και ψύξης, η σκίαση, η ποιότητα του αέρα εσωτερικών χώρων, ο επαρκής φυσικός φωτισμός και ο σχεδιασμός του κτιρίου. Οι ελάχιστες απαιτήσεις θα πρέπει να συγκρίνονται με το συγκριτικό μεθοδολογικό πλαίσιο που θα θεσπίσει η Επιτροπή για τον υπολογισμό των βέλτιστων από πλευράς κόστους επιπέδων¹⁶ για τις ελάχιστες απαιτήσεις όσον αφορά στην ενεργειακή απόδοση, ώστε να διαπιστώνονται τυχόν αποκλίσεις

Επιπλέον, σύμφωνα με την οδηγία, τα κράτη μέλη οφείλουν να μεριμνήσουν έτσι ώστε έως το τέλος του 2020 όλα τα νέα και κτίρια να αποτελούν κτίρια με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας (nearly zero-energy buildings), και συνεπώς σχεδόν μηδενικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, ενώ επικαιροποιούνται προς το αυστηρότερο οι διατάξεις που αφορούν στα δημόσια κτίρια, τα οποία οφείλουν μετά το τέλος του 2018

¹⁶ Σύμφωνα με το άρθρο 2 της Οδηγίας 2010/31/ΕΕ ως «βέλτιστο από πλευράς κόστους επίπεδο» ορίζεται το επίπεδο ενεργειακής απόδοσης που έχει ως αποτέλεσμα το χαμηλότερο κόστος κατά την εκτιμώμενη διάρκεια του οικονομικού κύκλου ζωής.

να αποτελούν κτίρια με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας. Τέλος, θεσπίζονται χρηματοδοτικά μέσα προκειμένου να προαχθούν μέτρα για την ενεργειακή απόδοση των κατοικιών, ενώ ορίζεται το νομοθετικό πλαίσιο της έκδοσης πιστοποιητικών ενεργειακής απόδοσης κτιρίων καθώς και της επιθεώρησης των συστημάτων θέρμανσης και κλιματισμού.

Η νομοθεσία για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων στην Ελλάδα

Η πρώτη προσπάθεια εναρμόνισης της Ελλάδας με τις ευρωπαϊκές οδηγίες, και συγκεκριμένα με την Οδηγία 2002/91/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου, γίνεται με το Ν.3661/2008 (ΦΕΚ Α' 89/19.05.2008) «*Μέτρα για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων και άλλες διατάξεις*», όπου εισάγονται οι έννοιες της ενεργειακής απόδοσης και της ενεργειακής επιθεώρησης των κτιρίων. Ο νόμος θέτει την απαίτηση έγκρισης κανονισμού ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, το μεθοδολογικό πλαίσιο του οποίου θα περιλαμβάνει μεταξύ άλλων και στοιχεία βιοκλιματικού σχεδιασμού του κτιρίου, όπως η θέση, ο προσανατολισμός, ο φυσικός φωτισμός, η επίδραση των παθητικών ηλιακών συστημάτων και οι συνθήκες του εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος. Μέχρι τότε, η ενεργειακή συμπεριφορά των κτιρίων υπόκειτο στον «Κανονισμό Θερμομόνωσης των Κτιρίων» (ΦΕΚ Δ' 362/04.07.1979). Σύμφωνα με τον κανονισμό, η χώρα διαιρείται σε τρεις ζώνες θερμομονωτικών απαιτήσεων, σύμφωνα με τις οποίες καθορίζεται ο μέγιστος συντελεστής θερμοπερατότητας των δαπέδων και των διαχωριστικών τοίχων των μη θερμαινόμενων κλειστών χώρων, καθώς και ο μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας του κτιρίου. Παράλληλα, οι εξωτερικοί τοίχοι και οι οροφές που διαχωρίζουν τους θερμαινόμενους χώρους από τον εξωτερικό αέρα δεν επιτρέπεται να έχουν συντελεστή θερμοπερατότητας που υπερβαίνει ορισμένες τιμές (0,7 W/m²·K και 0,5 W/m²·K, αντίστοιχα). Η απαιτούμενη θερμοκρασία για την επίτευξη θερμικής άνεσης στους επιμέρους χώρους ενός κτιρίου καθορίζεται ανάλογα με τη χρήση του χώρου. Υπολογίζεται ότι το 58,4% των κτιρίων στην Ελλάδα έχουν κατασκευαστεί πριν το 1980 και συνεπώς θεωρείται ότι δε διαθέτουν θερμομόνωση (ΕΛ.ΣΤΑΤ., απογραφή κτιρίων 2011).

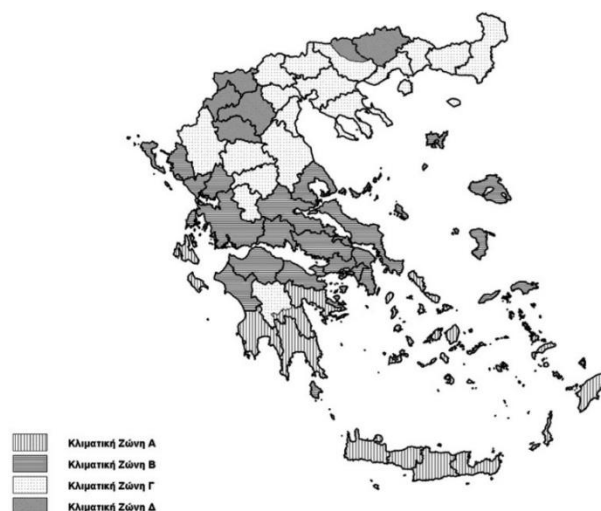
Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί η ύπαρξη προηγούμενων νόμων, όπως του Ν.2244/1994 (ΦΕΚ Α' 168/07.10.1994) «*Ρύθμιση θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ και από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις*», του Ν.3175/2003 (ΦΕΚ Α' 207/29.08.2003) «*Αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού, τηλεθέρμανση και άλλες διατάξεις*» και του Ν.3468/2006 (ΦΕΚ Α' 129/27.06.2006) «*Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ και συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας υψηλής απόδοσης και λοιπές διατάξεις*», οι οποίοι ωστόσο αφορούσαν στη διείσδυση των ΑΠΕ και της γεωθερμίας στον ελληνικό ενεργειακό χώρο και δεν σχετίζονταν άμεσα με τον κτιριακό τομέα.

Το 2010 εγκρίνεται ο Κανονισμός της Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων – Κ.ΕΝ.Α.Κ. (ΦΕΚ Β' 407/09.04.2010), όπου ορίζεται η μεθοδολογία υπολογισμού της ενεργειακής τους απόδοσης, καθώς και η διαδικασία των επιθεωρήσεων λεβήτων και εγκαταστάσεων θέρμανσης και κλιματισμού. Σκοπός είναι «η μείωση της κατανάλωσης συμβατικής ενέργειας για θέρμανση, ψύξη, κλιματισμό, φωτισμό και παραγωγή ζεστού νερού χρήσης με την ταυτόχρονη διασφάλιση συνθηκών άνεσης στους εσωτερικούς χώρους των κτιρίων. Ο σκοπός αυτός επιτυγχάνεται μέσω του ενεργειακά αποδοτικού σχεδιασμού του κελύφους, της χρήσης ενεργειακά αποδοτικών δομικών υλικών και ηλεκτρομηχανολογικών (Η/Μ) εγκαταστάσεων, ΑΠΕ και συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ)» (Κ.ΕΝ.Α.Κ., άρθρο 1). Ακόμη, ορίζονται οι ελάχιστες απαιτήσεις της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων, οι οποίες θα επιτευχθούν μέσω του σχεδιασμού, των θερμικών χαρακτηριστικών των δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους και των ηλεκτρομηχανολογικών (Η/Μ) εγκαταστάσεων.

Στον τομέα του κτιριακού σχεδιασμού, ο Κανονισμός συνιστά την κατάλληλη χωροθέτηση και προσανατολισμό του κτιρίου, τη διαμόρφωση του περιβάλλοντα χώρου για τη βελτίωση του μικροκλίματος, τον κατάλληλο σχεδιασμό των ανοιγμάτων και τη χωροθέτηση λειτουργιών προκειμένου να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις της θερμικής άνεσης, την ενσωμάτωση τουλάχιστον ενός παθητικού συστήματος, την ηλιοπροστασία, την ένταξη τεχνικών φυσικού αερισμού και την εξασφάλιση οπτικής άνεσης (Κ.ΕΝ.Α.Κ., άρθρο 8).

Για τους υπολογισμούς της ενεργειακής απόδοσης και της ενεργειακής κατάταξης των κτιρίων εφαρμόζεται η μέθοδος ημι-σταθερής κατάστασης μηνιαίου βήματος του Ευρωπαϊκού Προτύπου ΕΛΟΤ EN ISO 13790 και των υπολοίπων σχετικών προτύπων (Κ.ΕΝ.Α.Κ., άρθρο 5). Για τους ανωτέρω υπολογισμούς χρησιμοποιούνται λογισμικά τα οποία αξιολογούνται από την Ειδική Υπηρεσία Επιθεωρητών Ενέργειας (ΕΥΕΠΕΝ). Οι παράμετροι υπολογισμού καθορίζονται από τα στοιχεία της αρχιτεκτονικής και ηλεκτρομηχανολογικής μελέτης του κτιρίου και, σε συνδυασμό με τις πρότυπες εσωτερικές συνθήκες (θερμοκρασία, υγρασία, αερισμός εσωτερικών χώρων, φωτισμός κ.ά.) των κτιρίων και τα κλιματικά δεδομένα, προσδιορίζονται σύμφωνα με τις σχετικές Τεχνικές Οδηγίες του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας (ΤΟΤΕΕ).

Η ελληνική επικράτεια διαιρείται σε τέσσερις κλιματικές ζώνες με βάση τις βαθμομημέρες θέρμανσης (Κ.ΕΝ.Α.Κ., άρθρο 6, εικόνα 20). Στην περίπτωση που μία περιοχή βρίσκεται σε υψόμετρο άνω των 500 μέτρων, εντάσσεται στην επόμενη ψυχρότερη κλιματική ζώνη από εκείνη στην οποία ανήκει. Ανά κλιματική ζώνη, ο Κανονισμός ορίζει το μέγιστο επιτρεπόμενο Συντελεστή Θερμοπερατότητας ($W/m^2 \cdot K$) των δομικών στοιχείων (Κ.ΕΝ.Α.Κ., άρθρο 8, πίνακας 4) και τις τεχνικές προδιαγραφές των Η/Μ εγκαταστάσεων.



Εικόνα 20. Σχηματική απεικόνιση κλιματικών ζωνών ελληνικής επικράτειας
Πηγή: Κ.ΕΝ.Α.Κ., ΦΕΚ Β' 407/09.04.2010, άρθρο 6

Πίνακας 4. Μέγιστος επιτρεπόμενος Συντελεστής Θερμοπερατότητας δομικών στοιχείων κατά κλιματική ζώνη.

Δομικό Στοιχείο	Συντελεστής Θερμοπερατότητας (W/m ² ·K) ανά κλιματική ζώνη			
	A	B	Γ	Δ
Εξωτερική οριζόντια ή κεκλιμένη επιφάνεια σε επαφή με τον εξ. αέρα (οροφές)	0,50	0,45	0,40	0,35
Εξωτερικοί τοίχοι σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	0,60	0,50	0,45	0,40
Δάπεδα σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (pilotis)	0,50	0,45	0,40	0,35
Δάπεδα σε επαφή με το έδαφος ή με κλειστούς μη θερμαινόμενους χώρους	1,20	0,90	0,75	0,70
Εξωτερικοί τοίχοι σε επαφή με μη θερμαινόμενους χώρους ή με το έδαφος	1,50	1,00	0,80	0,70
Ανοίγματα (παράθυρα, πόρτες μπαλκονιών κ.ά.)	3,20	3,00	2,80	2,60
Γυάλινες προσόψεις κτιρίων μη ανοιγόμενες και μερικώς ανοιγόμενες	2,20	2,00	1,80	1,80

Πηγή: Κ.ΕΝ.Α.Κ., ΦΕΚ Β' 407/09.04.2010, άρθρο 8

Η Μελέτη της Ενεργειακής Απόδοσης των κτιρίων αντικαθιστά τη μελέτη θερμομόνωσης, ενώ τεκμηριώνει ότι το κτίριο ικανοποιεί τις ελάχιστες απαιτήσεις. Είναι υποχρεωτική για την έκδοση οικοδομικής άδειας σε συνδυασμό με τη μελέτη τεχνικής, περιβαλλοντικής και οικονομικής σκοπιμότητας. Για την εκπόνησή της υπολογίζονται οι καταναλώσεις πρωτογενούς ενέργειας ανά τελική χρήση: θέρμανση, ψύξη, κλιματισμό, ΖΝΧ, συμπεριλαμβανομένου του φωτισμού για κτίρια του τριτογενούς τομέα. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών θα πρέπει να αναφέρουν με σαφήνεια τις μονάδες μέτρησης των μεγεθών, όπως (Κ.ΕΝ.Α.Κ., άρθρα 10 και 11):

- Θερμικές απώλειες κελύφους και αερισμού. Ηλιακά και εσωτερικά κέρδη κλιματιζόμενων χώρων.
- Ετήσια τελική ενεργειακή κατανάλωση (kWh/m^2), συνολική και ανά χρήση (θέρμανση, ψύξη, αερισμός, ΖΝΧ, φωτισμός), ανά θερμική ζώνη και ανά μορφή χρησιμοποιούμενης ενέργειας (ηλεκτρισμός, πετρέλαιο κ.ά.).
- Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m^2) ανά χρήση (θέρμανση, ψύξη, αερισμός, ΖΝΧ, φωτισμός) και αντίστοιχες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.

Έτσι, διαμορφώνονται εννέα κατηγορίες ενεργειακής κατάταξης των κτιρίων, όπως απεικονίζεται στην εικόνα 21 και στον πίνακα 5, όπου ο δείκτης R^R λαμβάνεται ίσος με την υπολογιζόμενη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου αναφοράς. Ο λόγος T είναι το πηλίκο της υπολογιζόμενης κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας του εξεταζόμενου κτιρίου (EP) προς την υπολογιζόμενη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου αναφοράς και αποτελεί τη βάση για τον καθορισμό των κατηγοριών ενεργειακής απόδοσης. Το «κτίριο αναφοράς» λαμβάνεται ως κτίριο με τα ίδια γεωμετρικά χαρακτηριστικά, θέση, προσανατολισμό, χρήση και χαρακτηριστικά λειτουργίας με το εξεταζόμενο κτίριο, ενώ πληροί τις ελάχιστες προδιαγραφές ενεργειακής απόδοσης και έχει συγκεκριμένα τεχνικά χαρακτηριστικά όσον αφορά στη θερμομόνωση, στα θερμικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους και στις ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις (εγκατάσταση κεντρικής θέρμανσης, ψύξης/κλιματισμού, εξαερισμού ή μηχανικού αερισμού, Ζεστού Νερού Χρήσης (ΖΝΧ), φωτισμού και διατάξεων ελέγχου εγκαταστάσεων για τον τριτογενή τομέα, Κ.Ε.Ν.Α.Κ., άρθρα 9 και 13). Η ετήσια συνολική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου αναφοράς αντιστοιχεί στο άνω όριο της κατηγορίας ενεργειακής απόδοσης Β. Η ενεργειακή κατάταξη του κτιρίου, καθώς και συστάσεις προς τον ιδιοκτήτη/χρήστη για τη βελτίωση της ενεργειακής του απόδοσης, απεικονίζονται στο Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ). Το ΠΕΑ εκδίδεται από Ενεργειακούς Επιθεωρητές, εγγεγραμμένους στο σχετικό μητρώο, και είναι απαραίτητο για την κατάρτιση πράξεων αγοραπωλησίας (Κ.Ε.Ν.Α.Κ., άρθρα 13, 14 και 15).



Εικόνα 21. Κατηγορίες της ενεργειακής ταξινόμησης των κτιρίων

Πηγή: Κ.Ε.Ν.Α.Κ., ΦΕΚ Β' 407/09.04.2010, παράρτημα 2

Πίνακας 5. Κατηγορίες ενεργειακής απόδοσης κτιρίων

Κατηγορία	Όρια κατηγορίας	Όρια κατηγορίας
A ⁺	$EP \leq 0,33R_R$	$T \leq 0,33$
A	$0,33R_R < EP \leq 0,50R_R$	$0,33 < T \leq 0,50$
B ⁺	$0,50R_R < EP \leq 0,75R_R$	$0,50 < T \leq 0,75$
B	$0,75R_R < EP \leq 1,00R_R$	$0,75 < T \leq 1,00$
Γ	$1,00R_R < EP \leq 1,41R_R$	$1,00 < T \leq 1,41$
Δ	$1,41R_R < EP \leq 1,82R_R$	$1,41 < T \leq 1,82$
E	$1,82R_R < EP \leq 2,27R_R$	$1,82 < T \leq 2,27$
Z	$2,27R_R < EP \leq 2,73R_R$	$2,27 < T \leq 2,73$
H	$2,73R_R < EP$	$2,73 < T$

Πηγή: Κ.ΕΝ.Α.Κ., ΦΕΚ Β' 407/09.04.2010, άρθρο 13

Όπως αναφέρθηκε, για την υποστήριξη της εφαρμογής του Κ.ΕΝ.Α.Κ. καταρτίστηκαν οι απαραίτητες Τεχνικές Οδηγίες του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας (ΤΟΤΕΕ), οι οποίες εγκρίθηκαν με την οικ.2618/23.10.2014 Απόφαση Αναπληρωτή Υπουργού ΠΕΚΑ (ΦΕΚ Β' 2945). Αυτές είναι οι εξής (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, επίσημη ιστοσελίδα):

- ΤΟΤΕΕ 20701-1/2010 «Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης»
- ΤΟΤΕΕ 20701-2/2010 «Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτιρίων»
- ΤΟΤΕΕ 20701-3/2010 «Κλιματικά δεδομένα ελληνικών περιοχών»
- ΤΟΤΕΕ 20701-4/2010 «Οδηγίες και έντυπα ενεργειακών επιθεωρήσεων κτιρίων, λεβήτων και εγκαταστάσεων θέρμανσης και εγκαταστάσεων κλιματισμού»
- ΤΟΤΕΕ 20701-5/2012 «Συμπαγωγή Ηλεκτρισμού, Θερμότητας και Ψύξης: Εγκαταστάσεις σε Κτήρια».

Με το Ν.3851/2010 (ΦΕΚ Α' 85/04.06.2010) «Επιτάχυνση της ανάπτυξης των ΑΠΕ για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής», τροποποιείται ο Ν.3661/2008. Τα κυριότερα σημεία τροποποίησης του νόμου αφορούν στην υποχρέωση κάλυψης του 60% των αναγκών σε ζεστό νερό χρήσης από ηλιοθερμικά συστήματα για να νέα κτίρια (αίτηση χορήγησης οικοδομικής άδειας μετά την 1.1.2011), ενώ έως το τέλος του 2019 όλα τα νέα κτίρια θα πρέπει να καλύπτουν το σύνολο της πρωτογενούς ενεργειακής κατανάλωσής τους από ΑΠΕ, συμπαγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας, συστήματα τηλεθέρμανσης σε κλίμακα περιοχής ή οικοδομικού τετραγώνου, καθώς και αντλίες θερμότητας με ορισμένο εποχιακό βαθμό απόδοσης (SPF). Για τα δημόσια κτίρια,

η υποχρέωση αυτή οφείλει να τεθεί σε ισχύ έως το τέλος του 2014. Σημαντικό στοιχείο του νόμου είναι η πρόβλεψη χρηματοδότησης από το Πρόγραμμα Δημοσίων Επενδύσεων (ΠΔΕ) εργασιών, που έχουν σκοπό τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και τη χρήση ΑΠΕ σε οικίες.

Η εναρμόνιση της ελληνικής νομοθεσίας με την οδηγία 2010/31/ΕΕ έγινε με το Ν. 4122/13 (ΦΕΚ Α' 42/19.02.2013), όπου καθορίζεται το συγκριτικό μεθοδολογικό πλαίσιο για τον υπολογισμό των επιπέδων βέλτιστου κόστους των ελάχιστων απαιτήσεων ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων και των δομικών στοιχείων (άρθρο 5). Επιπλέον, η χώρα δεσμεύτηκε ότι από την 01.01.2021, όλα τα νέα κτίρια πρέπει να είναι κτίρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας (άρθρο 9). Για τα νέα κτίρια που στεγάζουν υπηρεσίες του δημόσιου και ευρύτερου δημόσιου τομέα, η υποχρέωση αυτή τίθεται σε ισχύ από την 01.01.2019.

Με το άρθρο 58 του Ν.4342 (ΦΕΚ Α' 143/09.11.2015) «*Συνταξιοδοτικές ρυθμίσεις, ενσωμάτωση στο Ελληνικό Δίκαιο της Οδηγίας 2012/27/ΕΕ [...] και άλλες διατάξεις*», αναφέρεται η υποχρέωση της αναγραφής του αριθμού πρωτοκόλλου του Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ) στις συμβολαιογραφικές πράξεις αγοραπωλησίας ακινήτων και στην περίπτωση μίσθωσης ακινήτου, στην αντίστοιχη ηλεκτρονική εφαρμογή της ιστοσελίδας της Γενικής Γραμματείας Πληροφοριακών Συστημάτων.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, η απαίτηση εναρμόνισης της ελληνικής νομοθεσίας με τις απαιτήσεις της Ευρωπαϊκής Κοινότητας, αποτέλεσε το εφαλτήριο εισαγωγής κανονισμών με στόχο τη βελτίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς των κτιρίων και τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Ο βασικότερος ήταν ο Κανονισμός της Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων, ο οποίος τονίζει τον ιδιαίτερο ρόλο του βιοκλιματικού σχεδιασμού τόσο στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων, όσο και στην επίτευξη θερμικής άνεσης στο εσωτερικό τους μέσω παθητικών συστημάτων. Ωστόσο, στο πλαίσιο της μελέτης, θεωρείται σκόπιμη μία σύντομη αναφορά στην εισαγωγή της έννοιας και των μεθόδων του βιοκλιματικού σχεδιασμού στο Νέο Οικοδομικό Κανονισμό.

Αξίζει να αναφερθεί ότι οι έννοιες του «*παθητικού ηλιακού συστήματος θέρμανσης ή δροσισμού*» και του «*βιοκλιματικού κτιρίου*» εισάγονται για πρώτη φορά στο Ν. 2831/2000 (ΦΕΚ Α' 140/13.06.2000) «*Τροποποίηση των διατάξεων του Ν. 1577/1985 'Γενικός Οικοδομικός Κανονισμός' και άλλες πολεοδομικές διατάξεις*», ο οποίος αποτελεί τροποποίηση των διατάξεων του Γενικού Οικοδομικού Κανονισμού (Ν. 1577/1985, ΦΕΚ Α' 210/18.12.1985). Η σημαντικότερη διάταξη του νόμου αφορά στην προσαύξηση των πολεοδομικών μεγεθών ως κίνητρο για το σχεδιασμό ενός βιοκλιματικού κτιρίου. Πιο συγκεκριμένα, προβλέπεται αύξηση του συντελεστή όγκου, ανεξάρτητα με το ύψος του κτιρίου.

Όσον αφορά στο Νέο Οικοδομικό Κανονισμό (Ν. 4067/2012, ΦΕΚ Α' 79/09.04.2012), στο άρθρο 2 εισάγεται για πρώτη φορά σε οικοδομικό κανονισμό η έννοια του σχεδιασμού

με στόχο την ελάχιστη δυνατή κατανάλωση ενέργειας και την επίτευξη θερμικής άνεσης στο εσωτερικό του κτιρίου, ορίζεται η έννοια του «βιοκλιματικού σχεδιασμού», ενώ επαναπροσδιορίζεται η έννοια του «βιοκλιματικού κτιρίου». Πιο συγκεκριμένα, ως βιοκλιματικός σχεδιασμός κτιρίου νοείται «ο σχεδιασμός του κτιρίου που αποσκοπεί στη βέλτιστη εκμετάλλευση των φυσικών και κλιματολογικών συνθηκών με σκοπό να επιτυγχάνονται οι βέλτιστες εσωτερικές συνθήκες θερμικής άνεσης και ποιότητας αέρα κατά τη διάρκεια όλου του έτους με την ελάχιστη δυνατή κατανάλωση ενέργειας». Βιοκλιματικό κτίριο ονομάζεται «ένα κτίριο που ανταποκρίνεται στις κλιματικές συνθήκες του περιβάλλοντός του, καθώς έχει σχεδιαστεί με τρόπο ώστε να επιτυγχάνονται οι βέλτιστες εσωτερικές συνθήκες θερμικής άνεσης και ποιότητας αέρα κατά τη διάρκεια όλου του έτους, με την ελάχιστη δυνατή κατανάλωση ενέργειας και κατατάσσεται στις ανώτερες ενεργειακά κατηγορίες όπως αυτές κάθε φορά ορίζονται» (παράγραφοι 10 και 11 άρθρου 2 Ν. 4067/2012, αντίστοιχα).

Στην προσπάθεια με την εναρμόνιση με την οδηγία για τα κτίρια με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας - nearly zero-energy buildings¹⁷, ορίζεται η έννοια του κτιρίου ελάχιστης ενεργειακής κατανάλωσης, ως «το κτίριο που, τόσο από το βιοκλιματικό σχεδιασμό του όσο και από τη χρήση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, παρουσιάζει πολύ υψηλή ενεργειακή κατάταξη σύμφωνα με τον Κ.ΕΝ.Α.Κ., όπως ισχύει και η σχεδόν μηδενική ή πολύ χαμηλή ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για τη λειτουργία της χρήσης του, καλύπτεται από ανανεώσιμες πηγές, μονάδες Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Αποδοτικότητας (ΣΗΘΥΑ), καθώς και της παραγομένης ενέργειας επιτόπου ή πλησίον».

Η βιοκλιματική λειτουργία του κτιρίου δύναται να εξυπηρετηθεί με παθητικά και ενεργητικά ηλιακά συστήματα ψύξης/θέρμανσης, ενώ προτείνεται και η χρήση διπλού κελύφους στο οποίο η εσωτερική και εξωτερική επιφάνεια διαχωρίζεται με στρώμα αέρα. Ακόμη, ο κανονισμός προβλέπει την κατασκευή υπόσκαφων κτιρίων ή τμημάτων αυτών, κάτω από τη στάθμη του φυσικού εδάφους και με μία μόνο ορατή όψη, καθώς και την κατασκευή φυτεμένων δωματίων σε νέα και υφιστάμενα κτίρια. Η απαίτηση της Ευρωπαϊκής Κοινότητας για αύξηση του ποσοστού της ενέργειας που προέρχεται από ΑΠΕ σε 20% μέχρι το 2020, ικανοποιείται, πέρα από την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων, με τη χρήση αιολικών ενεργειακών συστημάτων για την κάλυψη τμήματος των ενεργειακών αναγκών του κτιρίου.

¹⁷ Σύμφωνα με το άρθρο 2 της οδηγίας 2010/31/ΕΕ ως «κτίριο με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας» ορίζεται το κτίριο με πολύ υψηλή ενεργειακή απόδοση. Η σχεδόν μηδενική ή πολύ χαμηλή ποσότητα ενέργειας που απαιτείται θα πρέπει να συνίσταται σε πολύ μεγάλο βαθμό σε ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές, συμπεριλαμβανομένης της παραγομένης επιτόπου ή πλησίον του κτιρίου.

Σε περίπτωση υιοθέτησης βιοκλιματικών στρατηγικών, ο Κανονισμός προβλέπει προσαύξηση των πολεοδομικών μεγεθών, όπως σε περίπτωση ύπαρξης φυτεμένου δώματος ή συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ, όπου προβλέπεται προσαύξηση του μέγιστου επιτρεπόμενου ύψους του κτιρίου. Άλλο παράδειγμα αποτελεί η εξαίρεση από την προσμέτρηση στο συντελεστή δόμησης και όγκου, των υπόγειων ορόφων που φιλοξενούν μηχανολογικές εγκαταστάσεις για την υποστήριξη του ενεργειακού σχεδιασμού του κτιρίου, για τη διαχείριση και εξοικονόμηση νερού, ΑΠΕ, μονάδων Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Αποδοτικότητας (ΣΗΘΥΑ), τα διπλά ενεργειακά κελύφη, το 50% της επιφάνειας υπόσκαφων κτιρίων με χρήση κατοικίας (και το 20% σε αντίθετη περίπτωση), καθώς και η επιφάνεια που προκύπτει από την προσθήκη εξωτερικής θερμομόνωσης (πάχους άνω των 6cm για νέες κατασκευές), παθητικών ηλιακών και φωτοβολταϊκών συστημάτων (για διάσταση μέχρι 15cm). Τέλος, στο άρθρο 25 περιγράφονται τα κίνητρα για τη δημιουργία κτιρίων ελάχιστης ενεργειακής κατανάλωσης. Σε περίπτωση κατάταξης του κτιρίου στην ενεργειακή κατηγορία A+ σύμφωνα με τον Κ.Ε.Ν.Α.Κ., τότε ο συντελεστής δόμησης δύναται να προσαυξηθεί κατά 5%. Ειδικά για κτίρια ελάχιστης ενεργειακής κατανάλωσης (ετήσια πρωτογενή ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση, κλιματισμό, φωτισμό, αερισμό και ζεστό νερό χρήσης κάτω των 10 kWh/m²) και εξαιρετικής περιβαλλοντικής απόδοσης (ισοδύναμη ή καλύτερη από το χρυσό LEED και με χρήση διεθνώς αναγνωρισμένης μεθοδολογίας περιβαλλοντικής αξιολόγησης), παρέχεται μία επιπλέον προσαύξηση του συντελεστή δόμησης κατά 5%.

2.5 Η συμβολή της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας στη δημιουργία «πράσινων» κτιρίων

Όπως έχει αναφερθεί, η Μοντελοποίηση της Κτιριακής Πληροφορίας συμβάλλει στην υλοποίηση του οράματος της «Ολοκληρωμένης Παράδοσης Έργου» (Integrated Project Delivery) και του «Ολοκληρωμένου Σχεδιασμού» (Integrated Design). Μέσω της ενσωμάτωσης ενός διαδραστικού συστήματος πληροφοριών στο κτιριακό μοντέλο δημιουργείται ένα ολοκληρωμένο πολυδιάστατο μοντέλο το οποίο συνδέεται με ένα πλήθος εξωτερικών βάσεων δεδομένων σε πραγματικό χρόνο.

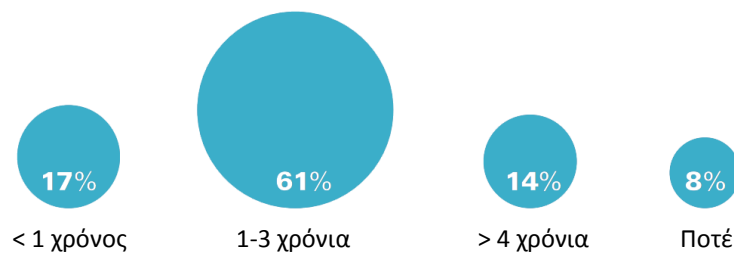
Η έννοια του «Ολοκληρωμένου Σχεδιασμού» έχει και περιβαλλοντικές προεκτάσεις, αφού καθιστά δυνατή την προσομοίωση της περιβαλλοντικής συμπεριφοράς ενός έργου. Σήμερα, ένα από τα βασικότερα προβλήματα που αντιμετωπίζει ο κλάδος της κατασκευής ενεργειακά αποδοτικών κτιρίων είναι το γεγονός ότι δίδεται περισσότερη έμφαση στην τεχνολογία που θα χρησιμοποιηθεί παρά στο σχεδιασμό (Yuan and Yuan, 2011). Έτσι, η προσοχή εστιάζεται περισσότερο στην ενεργειακή κατανάλωση του Η/Μ εξοπλισμού (διατάξεων και συστημάτων θέρμανσης, κλιματισμού, παραγωγής ζεστού νερού χρήσης και φωτισμού) παρά στην ενεργειακή απόδοση των διαφανών και αδιαφανών στοιχείων του κελύφους ή στην ενέργεια που δαπανάται για την παραγωγή και τη μεταφορά εξοπλισμού και υλικών, παρά το γεγονός ότι έρευνες έχουν αποδείξει ότι η χρήση ενεργειακά αποδοτικών υλικών μπορεί να επιφέρει έως και 31% μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων (Mithraratne and Vale, 2004).

Έτσι, για την πλήρη αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης ενός κτιρίου κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του θα πρέπει να γίνει μία παράλληλη αξιολόγηση υλικών και εξοπλισμού. Το παραπάνω προϋποθέτει το συγκερασμό ενεργειακού και παθητικού σχεδιασμού μέσω του «Ολοκληρωμένου Σχεδιασμού». Στόχος είναι η επίτευξη ικανοποιητικών επιπέδων θερμικής άνεσης με τα χαμηλότερα δυνατά επίπεδα ενεργειακής κατανάλωσης και τις λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, ενθαρρύνοντας παράλληλα την οικονομική, κοινωνική και πολιτιστική βελτίωση σε τοπικό, περιφερειακό και παγκόσμιο επίπεδο (Yuan and Yuan, 2011 και Häkkinen and Kiviniemi, 2008). Η μεθοδολογία της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην ανάλυση της ενεργειακής κατανάλωσης ενός κτιρίου σε πρώιμο στάδιο σχεδιασμού, στον παθητικό σχεδιασμό και στην αξιολόγηση της ενεργειακής κατανάλωσης, καθώς και στην εύρεση μεθόδων εξοικονόμησης ενέργειας, ενώ μπορεί να ισορροπήσει αποτελεσματικά το κόστος του έργου και της ενεργειακής απόδοσης. Τα παραπάνω επιτυγχάνονται μέσω της εκτέλεσης πολύπλοκων ενεργειακών αναλύσεων, επιτρέποντας την ενσωμάτωση διεπιστημονικών πληροφοριών καθ' όλη τη διάρκεια του σχεδιασμού (Kolekar, 2015). Πιο συγκεκριμένα, η Μοντελοποίηση της Κτιριακής Πληροφορίας μπορεί να συμβάλει ουσιαστικά στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης ενός κτιρίου μέσω της ενσωμάτωσής της τόσο στα αρχικά στάδια του σχεδιασμού και στην κατασκευή εναλλακτικών μοντέλων βασικής διάταξης όγκων όσο και στο λεπτομερή σχεδιασμό και την παραγωγή των τελικών αρχιτεκτονικών, στατικών, κατασκευαστικών και ηλεκτρομηχανολογικών σχεδίων και τη μετέπειτα διαχείριση και συντήρηση των

εγκαταστάσεων (Häkkinen and Kiviniemi, 2008). Επιπλέον, συμβάλλει στην καλύτερη ενσωμάτωση των προτύπων (π.χ. ISO) στο σχεδιασμό, όπως είναι τα εξής (ISO, επίσημη ιστοσελίδα):

- ISO/TC 59/SC 17 Sustainability in buildings and civil engineering works
- ISO/TC 59/SC 14 Design life
- ISO/TC 205 Building environment design

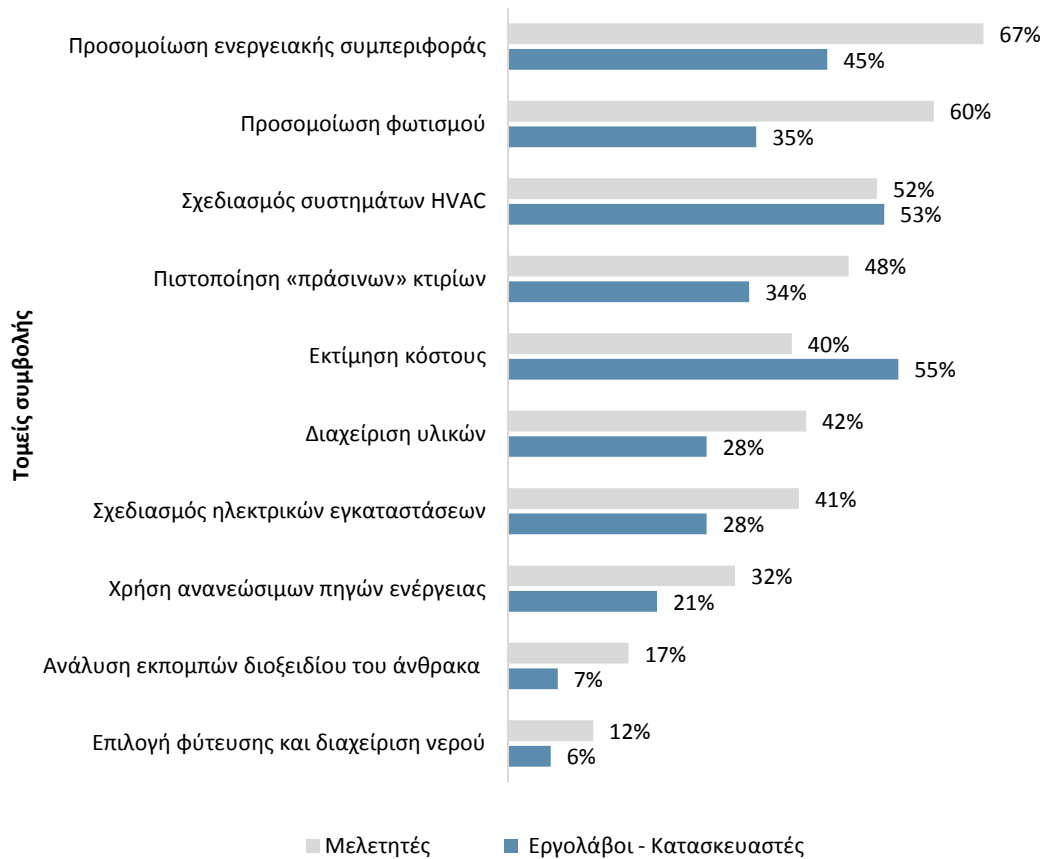
Αν και σήμερα η χρήση της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας στην κατασκευή «πράσινων» κτιρίων (Green BIM) είναι περιορισμένη, αναμένεται να αυξηθεί με ραγδαίους ρυθμούς τα επόμενα χρόνια. Όπως απεικονίζεται στο γράφημα 14, το 78% των χρηστών BIM που δε χρησιμοποιούν τη μεθοδολογία στην κατασκευή «πράσινων» κτιρίων, αναμένεται να το κάνουν στα επόμενα τρία χρόνια. Επιπλέον, το 95% των χρηστών «Green BIM» θα πραγματοποιεί ενεργειακές προσομοιώσεις στα επόμενα δύο χρόνια σε σχέση με το 73% σήμερα. Το ίδιο ποσοστό για τους μη-χρήστες αναμένεται να αγγίξει το 79%, μία αξιοσημείωτη αύξηση σε σχέση με τα σημερινά επίπεδα (21%), γεγονός που υποδηλώνει την αυξανόμενη σημασία της ενεργειακής αποδοτικότητας των κτιρίων και την ικανότητα της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας να συμβάλει προς αυτή την κατεύθυνση (AIA, 2010).



Γράφημα 14. Αναμενόμενος χρόνος διείσδυσης του «Green BIM» στην αγορά
Πηγή: AIA, 2010, ίδια επεξεργασία

Οι βασικότεροι τομείς συμβολής είναι η προσομοίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιρίου, του τεχνητού και φυσικού φωτισμού, ο σχεδιασμός των συστημάτων θέρμανσης, ψύξης και κλιματισμού (HVAC systems), η πιστοποίηση των «πράσινων» κτιρίων (συμπεριλαμβανομένου του ελέγχου συμμόρφωσης με τον κανονισμό ενεργειακής απόδοσης ή με συγκεκριμένες προδιαγραφές), η εκτίμηση του κόστους, η διαχείριση των υλικών, ο σχεδιασμός των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων, η χρήση ΑΠΕ, η ανάλυση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και η επιλογή της κατάλληλης φύτευσης σε συνδυασμό με τη διαχείριση του νερού. Τα ποσοστά ανά τομέα απεικονίζονται στο γράφημα 15, όπου παρατηρείται το ιδιαίτερα αυξημένο ενδιαφέρον των εργολάβων – κατασκευαστών για τη χρήση της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας στην εκτίμηση του κόστους, σε αντίθεση με τους μελετητές, των οποίων το ενδιαφέρον

εστιάζεται στην προσομοίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιρίου και του φωτισμού.

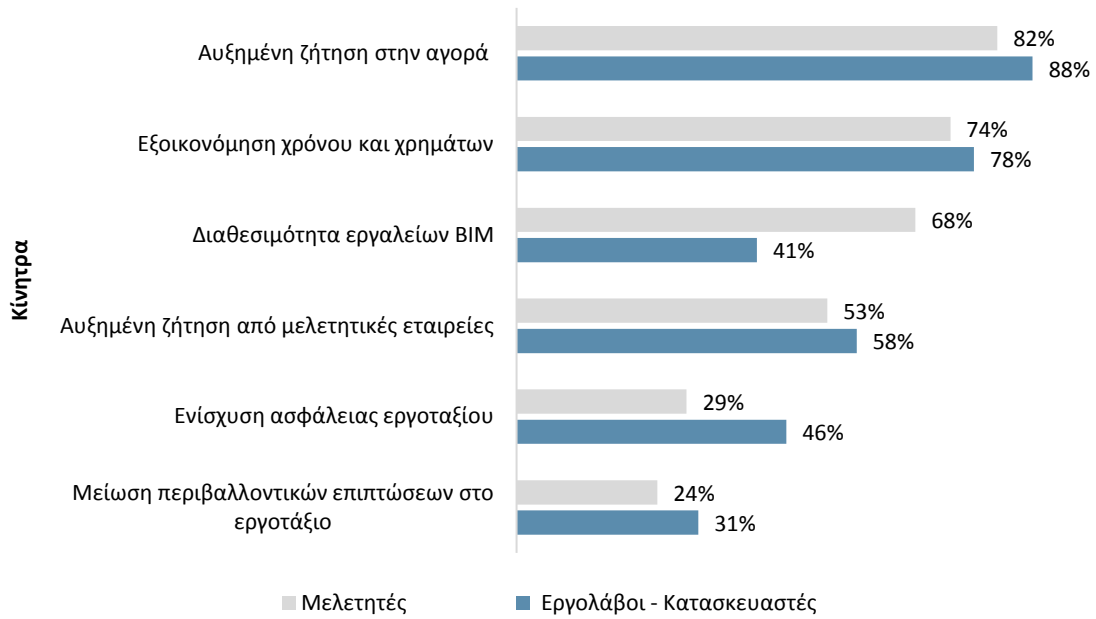


Γράφημα 15. Οι βασικότεροι τομείς συμβολής της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας στο σχεδιασμό «πράσινων» κτιρίων.

Πηγή: AIA, 2010, ίδια επεξεργασία

Στο γράφημα 16 απεικονίζονται τα σημαντικότερα κίνητρα που οδηγούν στην υιοθέτηση της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας στο σχεδιασμό «πράσινων» κτιρίων. Αυτά είναι η αυξημένη ζήτηση στην αγορά κυρίως από τους ιδιοκτήτες των κτιρίων, η εξοικονόμηση χρόνου και χρημάτων, η διαθεσιμότητα των εργαλείων BIM, η αυξημένη ζήτηση από μελετητικές εταιρείες, η ενίσχυση της ασφάλειας του εργοταξίου και η μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε αυτό (π.χ. ελαχιστοποίηση θορύβου και κραδασμών, διαχείριση αποβλήτων εκσκαφών, κατασκευών και κατεδαφίσεων). Η αυξημένη ζήτηση στην αγορά και η εξοικονόμηση χρόνου και χρημάτων συγκεντρώνουν τα μεγαλύτερα ποσοστά, καθώς σχετίζονται σε μεγάλο βαθμό με την κερδοφορία της εταιρείας/οργανισμού και την ανάπτυξη ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος. Ιδιαίτερη εντύπωση προξενεί το γεγονός ότι η διαθεσιμότητα των εργαλείων BIM αποτελεί αρκετά ισχυρό κίνητρο για τους μελετητές σε αντίθεση με τους εργολάβους – κατασκευαστές, των οποίων το ενδιαφέρον σχετικά με την ασφάλεια του εργοταξίου και τη μείωση των

περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε αυτό συγκεντρώνει αρκετά υψηλότερα ποσοστά σε σχέση με αυτά των μελετητών.



Γράφημα 16. Τα σημαντικότερα ερεθίσματα που οδηγούν στην υιοθέτηση της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας στο σχεδιασμό «πράσινων» κτιρίων.

Πηγή: AIA, 2010, ίδια επεξεργασία

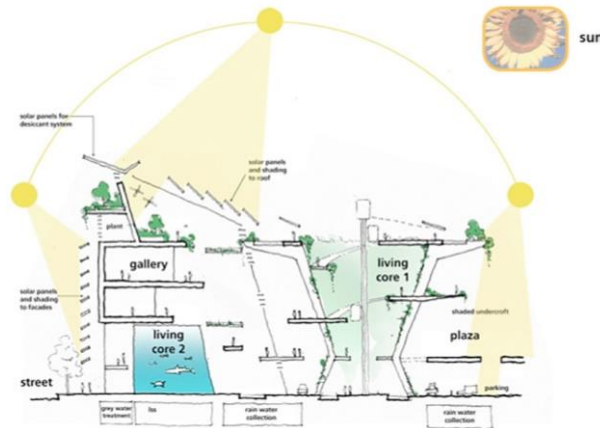
2.6 Παραδείγματα

Παράδειγμα 1. Miami Science Museum

Χαρακτηριστικό παράδειγμα σχεδιασμού ενός «πράσινου» κτιρίου μέσω της χρήσης λογισμικού προγράμματος το οποίο βασίζεται στη λογική BIM, αποτελεί το Μουσείο Επιστημών του Μαϊάμι το οποίο αναμένεται να ολοκληρωθεί το καλοκαίρι του 2016. Ως πολιτιστικό, εκπαιδευτικό και ερευνητικό ίδρυμα, το MiaSci (Miami Science Museum) αναμένεται να λειτουργήσει με τα υψηλότερα περιβαλλοντικά πρότυπα, συμβάλλοντας παράλληλα στη δημιουργία μίας υγιούς τοπικής οικονομίας και κοινότητας. Για το σκοπό αυτό, το MiaSci, σχεδιασμένο από το γραφείο Grimshaw, κέρδισε μία επιδότηση από το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ το 2009 προκειμένου να ενσωματώσει τη BIM στη διαδικασία σχεδιασμού για τη διερεύνηση διάφορων περιβαλλοντικών ζητημάτων και τελικά τη δημιουργία ενός πιο «πράσινου» κτιρίου.

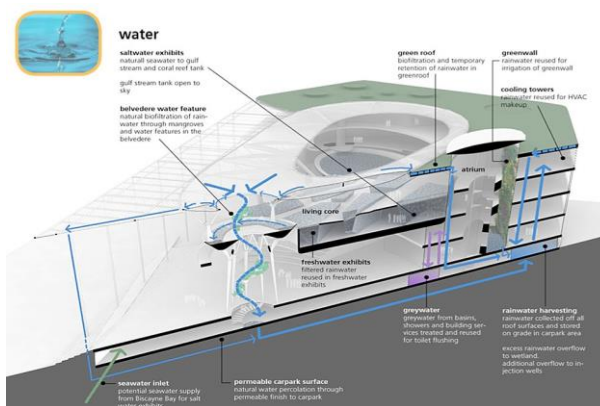
Η μερικός υπαίθρια δομή του κτιρίου αναμένεται να φιλοξενήσει εκθέσεις με θέμα την επιστήμη και την ιστορία, πλανητάριο και ένα «ζωντανό πυρήνα» αποτελούμενο από ενυδρείο και ένα κέντρο άγριας ζωής βασισμένα στα οικοσυστήματα της Νότιας Φλόριντας. Η κεντρική ιδέα του σχεδιασμού είναι το «κτίριο ως έκθεμα» (αρχιτεκτονικό γραφείο Grimshaw, επίσημη ιστοσελίδα). Πιο συγκεκριμένα, στόχος είναι το μουσείο να αποτελέσει ένα «ζωντανό κτίριο» εναλλασσόμενο σε σχέση με εξωτερικά ερεθίσματα. Συστήματα εξαερισμού και κλιματισμού υψηλής απόδοσης θα επιτυγχάνουν θερμική άνεση στους εσωτερικούς χώρους με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Το φυτεμένο δώμα θα λειτουργεί σε συνδυασμό με έναν τεχνητό υγροβιότοπο δίπλα στο κτίριο για τον έλεγχο της απορροής των ομβρίων υδάτων και την ενίσχυση της βιοποικιλότητας.

Στρατηγική ηλιασμού: Ο σχεδιασμός του MiaSci έλαβε υπόψη τη θέση και την κατεύθυνση του ήλιου με σκοπό τη δημιουργία τόσο παθητικών όσο και ενεργητικών ηλιακών συστημάτων. Η τεχνολογία της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση των διαφορετικών ηλιακών συνθηκών καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας και του έτους για το σχεδιασμό του σχήματος του κτιρίου και την τοποθέτηση των σκιάστρων, των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων στο δώμα και την όψη, καθώς και των φωτοβολταϊκών πάνελ λεπτού υμενίου (thin film) σε μέρη όπως το αίθριο και οι φεγγίτες. Σε πολλές περιπτώσεις, τα φωτοβολταϊκά πάνελ λειτουργούν και ως παθητικά ηλιακά συστήματα, προσφέροντας σκίαση στους εσωτερικούς χώρους (εικόνα 22).



Εικόνα 22. Διάγραμμα ηλιασμού σε τομή του MiaSci
Πηγή: Fehrenbacher, 2011

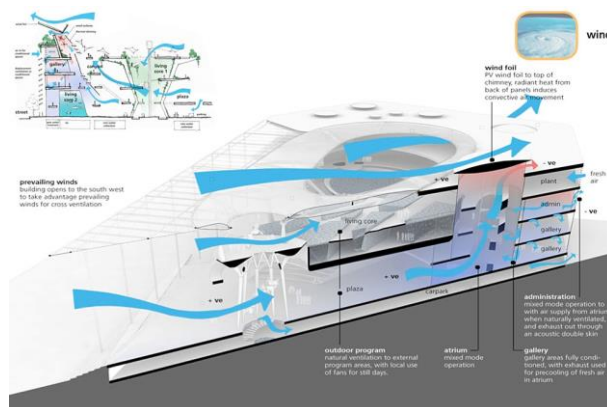
Στρατηγική διαχείρισης των ομβρίων υδάτων: Βασικός σκοπός του σχεδιασμού ήταν το MiaSci να λειτουργήσει ως ένα «σφουγγάρι» ομβρίων υδάτων. Το πράσινο δώμα του μουσείου και ο εσωτερικός φυτεμένος τοίχος λειτουργούν ταυτόχρονα ως μέσα βιοδιήθησης των ομβρίων υδάτων και ως προσωρινά μέσα συγκράτησης των ομβρίων υδάτων για μετέπειτα αρδευτική χρήση. Η συλλογή των ομβρίων υδάτων γίνεται επίσης στην επιφάνεια της οροφής, ενώ το σύνολό τους αποθηκεύεται στο επίπεδο του χώρου στάθμευσης. Η πλεονάζουσα της δυναμικότητας ποσότητα ύδατος κατευθύνεται στον υδροβιότοπο ή σε βαθιές γεωτρήσεις έκχυσης (injection wells). Ο όγκος των συλλεχθέντων υδάτων χρησιμοποιείται και για τη μερική ικανοποίηση των αναγκών ύδρευσης των λουτρών, καθώς και για την κάλυψη των αναγκών των εκθεμάτων γλυκού νερού. Παράλληλα, για την εξυπηρέτηση των αναγκών των εκθεμάτων θαλασσινού νερού, κάτω από το κτίριο έχει κατασκευαστεί αγωγός για την άντληση θαλασσινού νερού από το γειτονικό κόλπο Biscayne Bay (εικόνα 23).



Εικόνα 23. Διάγραμμα διαχείρισης των ομβρίων υδάτων σε τομή του MiaSci
Πηγή: Fehrenbacher, 2011

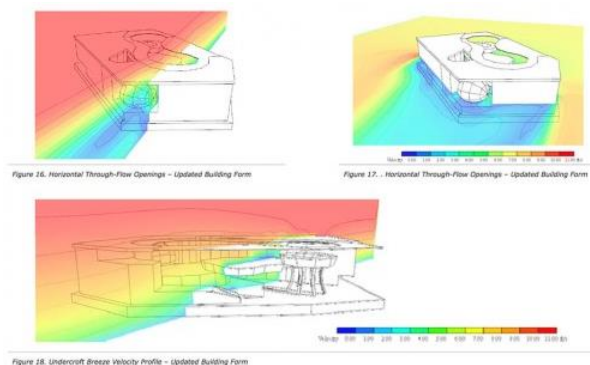
Στρατηγική αερισμού: Η τεχνολογία της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας αποδείχθηκε ιδιαίτερα χρήσιμη στο σχεδιασμό της μορφής του κτιρίου, λαμβάνοντας υπόψη την κατεύθυνση του ανέμου για τη βελτιστοποίηση του αερισμού στο εσωτερικό του. Έτσι, το κτίριο διατηρεί μία συμπαγή μορφή στο Βορρά και στο Νότο, ενώ παρουσιάζει μία πιο «ανοιχτή» μορφή στα νοτιοδυτικά προκειμένου να εκμεταλλευθεί τους επικρατούντες ανέμους για το διαμπερή αερισμό του κτιρίου.

Από τα αρχικά μόλις στάδια της σχεδιαστικής διαδικασίας έγινε κατανοητή η σημαντικότητα της θέσης και της διάταξης των ανοιγμάτων για το διαμπερή αερισμό του κτιρίου και την επίτευξη συνθηκών άνεσης στον εσωτερικό χώρο. Έτσι, μία ενδελεχής εξέταση της ταχύτητας των επικρατούντων ανέμων και της άσκησης πιθανών «πιέσεων» στο κτίριο μέσω λογισμικών BIM, οδήγησε στη δημιουργία ενός «καναλιού» αέρα διαμέσου του κτιρίου για την εκμετάλλευση των πλευρικών ρευμάτων (εικόνα 24). Επιπλέον, χρειάστηκε ένας σημαντικός αριθμός προσομοιώσεων σε λογισμικό BIM της ροής του αέρα στο «κανάλι» προκειμένου να προσδιοριστεί η βέλτιστη μορφή της οροφής και το ύψος του κτιρίου (εικόνα 25).



Εικόνα 24. Διάγραμμα αερισμού σε τομή του MiaSci

Πηγή: Fehrenbacher, 2011



Εικόνα 25. Προσομοίωση σε λογισμικό BIM της έντασης του αέρα μέσα στο «κανάλι», η οποία ενώ στο άνω τμήμα του κτιρίου είναι εξαιρετικά υψηλή, τελικά δημιουργεί ευχάριστες συνθήκες άνεσης στο επίπεδο του εδάφους.

Πηγή: Fehrenbacher, 2011

Παράδειγμα 2. Saudi Arabia's KAUST University

Το KAUST (King Abdullah University of Science and Technology) στο Thuwal της Σαουδικής Αραβίας είναι το πρώτο κτίριο της Σαουδικής Αραβίας με πιστοποίηση LEED και το μεγαλύτερο έργο παγκοσμίως με πιστοποίηση LEED Platinum. Σχεδιασμένο από το αρχιτεκτονικό γραφείο HOK (ολοκλήρωση 2009), το πανεπιστήμιο στοχεύει στην προώθηση της καινοτομίας στους τομείς της τεχνολογίας και της επιστήμης, καθώς και στην υποστήριξη της έρευνας σε τομείς όπως η ενέργεια και το περιβάλλον. Βρίσκεται σε πανεπιστημιούπολη χωρητικότητας 12.000 ατόμων και έκτασης 650 εκταρίων σε μία ευρύτερη περιοχή 3.200 εκταρίων κοντά στην Ερυθρά Θάλασσα. Βασική απαίτηση ήταν η δημιουργία ενός πρότυπου βιοκλιματικού κτιρίου χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης, παρά το γεγονός της χαμηλής οικονομικής ανταπόδοσης λόγω της χαμηλής τιμής του ηλεκτρικού ρεύματος (υψηλές κρατικές επιδοτήσεις). Το κτίριο, το οποίο φιλοξενεί εγκαταστάσεις έρευνας, εκπαίδευσης και διαμονής υψηλών προδιαγραφών, ανταποκρίνεται στις εξαιρετικά δύσκολες περιβαλλοντικές προκλήσεις συμπεριλαμβανομένου του ιδιαίτερα θερμού και υγρού κλίματος και του χαμηλού ποσοστού βροχόπτωσης (περίπου 54mm ετησίως), με άμεσο επακόλουθο ιδιαίτερα υψηλές ενεργειακές δαπάνες για την αφαλάτωση του θαλασσινού νερού.

Έτσι, όπως και στην περίπτωση του MiaSci, ο προσανατολισμός των 27 κτιριακών όγκων στοχεύει στη μέγιστη αξιοποίηση του ηλιακού φωτός ενώ η μορφή και η διάταξή τους υπαγορεύθηκε από την κατεύθυνση του ανέμου, για την επίτευξη φυσικού ηλιασμού και δροσισμού, αντίστοιχα. Ο σχεδιασμός της πανεπιστημιούπολης δανείζεται αρκετά στοιχεία από τη δομή της παραδοσιακής αραβικής πόλης. Τέτοιο στοιχείο αποτελεί η πυκνή δομή των κτιριακών όγκων με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός ευχάριστου εσωτερικού μικροκλίματος (ελαχιστοποίηση της εκτεθειμένης στον ήλιο δομημένης επιφάνειας και παθητικός αερισμός ενδιάμεσων ζωνών κυκλοφορίας) και τη μείωση των εξωτερικών αποστάσεων που χρειάζεται να διανυθούν με τα πόδια. Επιπλέον, εφαρμόστηκαν τεχνικές μείωσης του ενεργειακού αποτυπώματος όπως παθητική ψύξη των χώρων κίνησης των πεζών για την επίτευξη θερμικής άνεσης (με αναφορά στην παραδοσιακή αραβική αγορά - souk), εγκατάσταση ηλιακών καμινάδων¹⁸, εφαρμογή τεχνικών ανάκτησης νερού από την επεξεργασία λυμάτων, κ.ά. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον προξενεί το ειδικά σχεδιασμένο σύστημα της οροφής το οποίο σκιάζει τόσο τις προσόψεις όσο και το εσωτερικό δίκτυο ροής πεζών. Εμπνευσμένο από την αραβική «mashrabiya», δικτυωτό σύστημα σκίασης της παραδοσιακής αραβικής αρχιτεκτονικής,

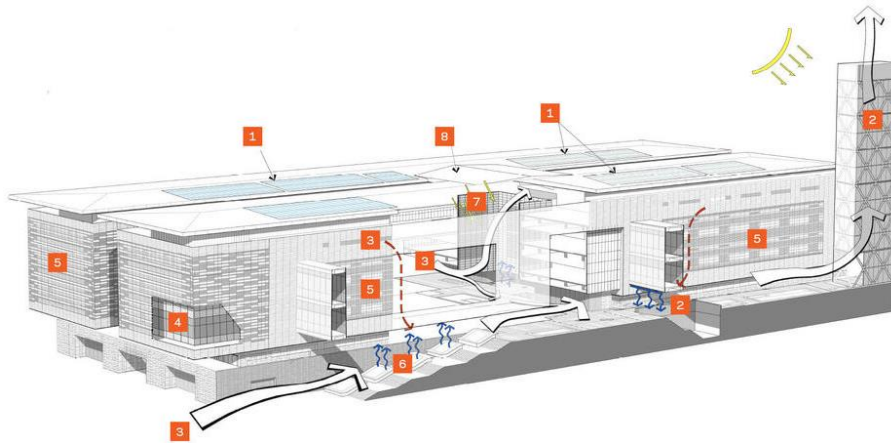
¹⁸ Σύστημα παθητικού αερισμού των στεγασμένων κοινόχρηστων χώρων, όπου το εξωτερικό περίβλημα από διπλούς υαλοπίνακες επιτρέπει τη συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας. Καθώς ο θερμός αέρας κινείται ανοδικά, αντικαθίσταται με τον πιο δροσερό αέρα των κοινόχρηστων χώρων, λόγω του φαινομένου του φυσικού ελκυσμού.

«φιλτράρει» την ηλιακή ακτινοβολία ενώ παράλληλα επιτρέπει το φυσικό φωτισμό και την οπτική επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον. Με τον τρόπο αυτό μειώνονται τόσο οι ανάγκες ψύξης όσο και τεχνητού φωτισμού. Ακόμη, η μερική κάλυψη της οροφής από ηλιακούς συλλέκτες συμβάλλει στην παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων ηλεκτρικής ενέργειας ετησίως.

Συνολικά, η περιβαλλοντική επίδοση του KAUST συνοψίζεται στους τομείς της διαχείρισης των υδάτων (επανάχρηση του 100% των λυμάτων, μείωση της κατανάλωσης νερού κατά 42%), της ενεργειακής κατανάλωσης (27,1% ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας, παραγωγή του 7,8% της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές εντός του χώρου της πανεπιστημιούπολης, σκίαση του 80% της επιφάνειας των υαλοπινάκων καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου) και της διαχείρισης των υλικών (20% ανακυκλώσιμα υλικά, 38% υλικά παραγόμενα σε μέγιστη ακτίνα 800 χιλιομέτρων, 99% του ξύλου πιστοποιημένο από τον οργανισμό Forest Stewardship Council¹⁹, 80% επανάχρηση των αποβλήτων κατασκευής, αρχιτεκτονικό γραφείο HOK, επίσημη ιστοσελίδα).

Η τεχνική της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας συνέβαλλε στην υλοποίηση του παραπάνω οράματος σε μόλις 28 μήνες (Pham, 2014). Χρησιμοποιήθηκε σε όλα τα στάδια σχεδιασμού του συγκροτήματος, για τη μοντελοποίηση τόσο της μορφής των κτιριακών όγκων, όσο και της ενεργειακής τους συμπεριφοράς. Ιδιαίτερη ήταν η συμβολή της στο σχεδιασμό της μορφής της οροφής, αφού η δημιουργία διαφόρων εναλλακτικών σεναρίων προσομοίωσης του φυσικού φωτισμού και των θερμικών ροών οδήγησε στην επιλογή της βέλτιστης λύσης. Επιπλέον, η χρήση λογισμικού BIM συνέβαλλε στην καλύτερη συνεργασία και επικοινωνία μεταξύ των μελών της ομάδας, παρά το γεγονός ότι αποτελούνταν από 9 μικρότερες ομάδες που εργάζονταν σε διαφορετικές τοποθεσίες. Το παραπάνω επετεύχθη με τη χρήση ενός κοινού μοντέλου BIM ως μοντέλο – αναφορά και αναθέτοντας τις λεπτομέρειες σχεδιασμού κάθε μεμονωμένου δομικού στοιχείου (π.χ. εξωτερικό περίβλημα, οροφή, κ.λπ.) σε διαφορετικό υποσύνολο της ομάδας.

¹⁹ Διεθνής, μη κερδοσκοπικός οργανισμός που ιδρύθηκε το 1993 για την προώθηση της υπεύθυνης διαχείρισης των δασών. Η πιστοποίηση FSC αφορά σε προϊόντα που προέρχονται από το δάσος (π.χ. ξυλεία, χαρτί).



Εικόνα 26. Διαγραμματική απεικόνιση της ενεργειακής συμπεριφοράς του KAUST (1) οροφή υψηλής ενεργειακής απόδοσης, (2) ηλιακός πύργος, (3) παθητικός αερισμός, (4) υαλοπετάσματα υψηλής ενεργειακής απόδοσης, (5) συστήματα σκιασμού, (6) εξάτμιση, (7) παθητικά αεριζόμενες εσωτερικές αυλές και (8) φιλτράρισμα ηλιακού φωτός

Πηγή: The American Institute of Architects, επίσημη ιστοσελίδα

Ιδιαίτερη ήταν η συμβολή της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας στο σχεδιασμό και στην κατασκευή των δύο ηλιακών καμινάδων, αφού χρησιμοποιήθηκε για τη λεπτομερή απεικόνιση της αλληλουχίας της κατασκευής (εικόνα 27), την κατασκευή των απαραίτητων καλουπιών για τα στοιχεία του προεντεταμένου, προκατασκευασμένου σκυροδέματος, την κοπή με CNC των μεταλλικών στοιχείων, καθώς και τον ποιοτικό έλεγχο όλων των προκατασκευασμένων στοιχείων πριν την άφιξή τους στο εργοτάξιο για την τελική συναρμολόγηση της κατασκευής.



Εικόνα 27. Οι διαδοχικές φάσεις κατασκευής των ηλιακών πύργων, όπως προσομοιώθηκαν σε λογισμικό BIM

Πηγή: Gerber *et al.*, 2010

Παράδειγμα 3. Shanghai Tower

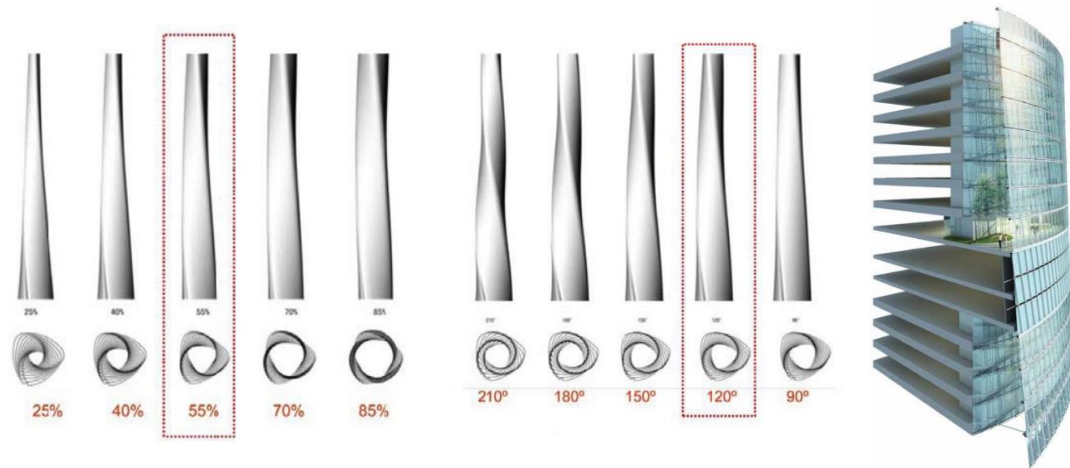
Ο πύργος της Σαγκάη, σχεδιασμένος από το αρχιτεκτονικό γραφείο M. Arthur Gensler Jr. & Associates, Inc, είναι ο ψηλότερος από ένα συγκρότημα τριών ουρανοξυστών στο Pudong της Σαγκάη. Με 632 μέτρα ύψος, 128 ορόφους και συνολική επιφάνεια 380 χιλιάδων τετραγωνικών μέτρων, είναι το ψηλότερο κτήριο στην Κίνα και το δεύτερο ψηλότερο στον κόσμο, μετά τον πύργο Burj Khalifa στο Ντουμπάι. Περιλαμβάνει διαφορετικές ζώνες χώρων γραφείων, ξενοδοχείων, λιανικού εμπορίου, εστίασης και αναψυχής. Η κατασκευή ξεκίνησε το 2009, ενώ μέχρι σήμερα έχει ολοκληρωθεί η κατασκευή του εξωτερικού κελύφους. Για την εξαιρετική περιβαλλοντική του απόδοση, ο πύργος έχει λάβει πιστοποίηση από την Green Building Committee της Κίνας (Three Star, AIA, 2010) και το Green Building Council των ΗΠΑ (LEED Platinum, US Green Building Council, επίσημη ιστοσελίδα).

Ο πύργος αποτελείται από εννέα κυλινδρικά τμήματα διαταγμένα καθ' ύψος, τα οποία περιβάλλονται από διπλό κέλυφος, το εξωτερικό γυάλινο τμήμα του οποίου περιστρέφεται κατά 120°. Παράλληλα τα τμήματα αυτά αποτελούν διακεκριμένες λειτουργικά ζώνες, ύψους 12-15 ορόφων η κάθε μία. Ο χώρος μεταξύ των δύο στρωμάτων του κελύφους δημιουργεί εννέα αίθρια με δημόσιο χαρακτήρα, τα οποία φιλοξενούν χρήσεις εστίασης και αναψυχής, αλλά και πλούσια βλάστηση. Τα αίθρια λειτουργούν ως «καμινάδες αερισμού», αξιοποιώντας το φαινόμενο του φυσικού ελκυσμού, με το θερμό αέρα των αιθρίων να κινείται προς τα επάνω, μεταφέροντας τη θερμότητα εκτός του κτιρίου. Έτσι, βελτιώνεται η ποιότητα του αέρα στους εσωτερικούς χώρους, ενώ δημιουργούνται θερμικές ζώνες ανάσχεσης - buffer zones (εικόνα 29, Schaffer, 2008). Η σπειροειδής, αεροδυναμική μορφή της γυάλινης πρόσοψης στοχεύει στη μείωση του φορτίου του ανέμου κατά 24%, ενώ διευκολύνει τη συλλογή ομβρίων υδάτων, τα οποία χρησιμοποιούνται στα συστήματα θέρμανσης και κλιματισμού. Παράλληλα, επιτρέπει την τοποθέτηση ανεμογεννητριών οι οποίες παράγουν 350.000 kWh ηλεκτρικής ενέργειας ετησίως, καθώς και τη μέγιστη διείσδυση του φυσικού φωτός, μειώνοντας τις ενεργειακές απαιτήσεις.

Ο πολύπλοκος σχεδιασμός του διπλού κελύφους πραγματοποιήθηκε σε λογισμικό BIM (Autodesk Revit Architecture, Structure και MEP), το οποίο συνέβαλλε στην εξοικονόμηση χρόνου και κόστους, καθώς και στην καλύτερη συνεργασία μεταξύ του πελάτη, της μελετητικής και της κατασκευαστικής ομάδας (AIA, 2010). Παράλληλα, η χρήση λογισμικού BIM ήταν καθοριστικής σημασίας για την πιστοποίηση, καθώς και για το σχεδιασμό της πολύπλοκης μορφής του κτιρίου. Η αποτελεσματικότερη σχεδίαση του σκελετού του κτιρίου είχε ως αποτέλεσμα την εξοικονόμηση δομικών υλικών, κυρίως χάλυβα, και μείωση του κόστους κατασκευής. Η χρήση μικρότερων ποσοτήτων χάλυβα συνέβαλε στην κατανάλωση μικρότερων ποσοτήτων ενέργειας, δεδομένου ότι η παραγωγή χάλυβα είναι μία εξαιρετικά ενεργοβόρος διεργασία, η οποία απελευθερώνει

μεγάλες ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου²⁰. Ταυτόχρονα, η μείωση της χρήσης χάλυβα κατά 5% υπολογίστηκε ότι συνέβαλε στην εξοικονόμηση USD \$12 εκατομμυρίων. Επιπλέον, το σχήμα του κτιρίου οδήγησε στη μείωση των γυάλινων επιφανειών κατά 14% σε σχέση με ένα κτίριο ορθογώνιου σχήματος.

Στην εικόνα 28 απεικονίζεται η διαδικασία προσομοίωσης διαδοχικών δοκιμών για την εύρεση της βέλτιστης μορφής του κτιρίου. Στόχος ήταν η επίτευξη της μέγιστης δυνατής μείωσης του φορτίου του ανέμου και η ικανοποίηση αισθητικών κριτηρίων. Έτσι, πραγματοποιήθηκαν διαφορετικές δοκιμές για τη διάμετρο του εσωτερικού δακτυλίου και της γωνίας στρέψης του εξωτερικού κελύφους. Τελικά, επιλέχθηκε διάμετρος ποσοστού 55% και γωνία στρέψης 120°. Η συγκεκριμένη μορφή επέτρεψε τη μείωση του φορτίου του ανέμου κατά 24%, το οποίο ισοδυναμεί με εξοικονόμηση USD \$50 εκατομμυρίων. Παρά το γεγονός ότι το φορτίο του ανέμου θα μπορούσε να είχε μειωθεί επιπλέον κατά 9% στην περίπτωση γωνίας στρέψης 180°, η λύση αυτή τελικά δεν επιλέχθηκε καθώς δεν πληρούσε τα αισθητικά κριτήρια που είχαν τεθεί.



Εικόνες 28 και 29. Προσομοίωση διαδοχικών δοκιμών της μορφής του κτιρίου (δεξιά). Το διπλό κέλυφος του πύργου της Σαγκάη το οποίο λειτουργεί ως θερμική ζώνη ανάσχεσης (αριστερά).

Πηγή: Zeljic, 2010 και αρχιτεκτονικό γραφείο Gensler, επίσημη ιστοσελίδα, αντίστοιχα

Όσον αφορά στην εξοικονόμηση ενέργειας, η μοντελοποίηση του κτιρίου στο λογισμικό Autodesk Revit Architecture και η διεξαγωγή ενεργειακών αναλύσεων επέτρεψε τη συνεχή ανατροφοδότηση με σκοπό τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης. Ιδιαίτερα σημαντική ήταν και η συμβολή της μοντελοποίησης στη διαχείριση και το συντονισμό

²⁰ Συνολικά, η παραγωγή χάλυβα ευθύνεται για το 5-6% των ποσοτήτων CO₂ που εκλύονται από ανθρώπινες δραστηριότητες και για το 27% των εκπομπών του κλάδου της κατασκευής προϊόντων (Παρατηρητήριο Μεταλλευτικών Δραστηριοτήτων, επίσημη ιστοσελίδα).

της κατασκευαστικής διαδικασίας και στη μείωση των αποβλήτων εκσκαφών, κατασκευών και κατεδαφίσεων. Η προκατασκευή των δομικών στοιχείων πριν τη μεταφορά τους στο εργοτάξιο βελτίωσε σημαντικά την κατασκευαστική αποδοτικότητα. Ακόμα και μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής, η Μοντελοποίηση της Κτιριακής Πληροφορίας θα εξακολουθήσει να διαδραματίζει ζωτικό ρόλο για τη λειτουργία και συντήρηση του πύργου της Σαγκάη καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του (Autodesk, 2012).

information
business
Level
Government
involved
likely
start
approach
modeling
parties
least
sector
already
effect
makes
rights
confirms
Modeling
Standardisation
the
least
parties
everyone
actually
made
requirements
CAD
Government
involved
likely
start
approach
modeling
parties
least

construction
company
work
industry
requirements
changes
maintenance
costs
model
one
time
managing
now
demolition
building
data
Ready
able
model
one
cut
computer
coming
remodelling
cut
computer
coming
remodelling
cut

Μέρος_Γ Εφαρμογή της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας στο κτιριακό συγκρότημα του ΜΕ.Κ.Δ.Ε. στο Μέτσοβο

BIM

3. Εφαρμογή της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας στο κτιριακό συγκρότημα του ΜΕ.Κ.Δ.Ε. στο Μέτσοβο

3.1 Το αντικείμενο της μοντελοποίησης

Η παρούσα μελέτη επικεντρώνεται στη μοντελοποίηση με τη μεθοδολογία BIM του κτιριακού συγκροτήματος του Μετσόβιου Κέντρου Διεπιστημονικής Έρευνας (ΜΕ.Κ.Δ.Ε.) του ΕΜΠ στο Μέτσοβο. Η επιλογή του κτιρίου έγινε λόγω της σημαντικότητάς του για την επιτέλεση της αποστολής της δεύτερης κατεύθυνσης του Διεπιστημονικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών (ΔΠΜΣ) του ΕΜΠ «Περιβάλλον και Ανάπτυξη» με αντικείμενο «Περιβάλλον και Ανάπτυξη των Ορεινών Περιοχών», της συστηματικής συνεργασίας του με την πρώτη κατεύθυνση για την εφαρμογή των αρχών της διεπιστημονικής και ολιστικής μεθοδολογίας της Ολοκληρωμένης Ανάπτυξης, καθώς και της ιδιαίτερης πρόκλησης που είχε να αντιμετωπίσει στην προσπάθεια συγκερασμού στοιχείων παραδοσιακής αρχιτεκτονικής σε ένα κτιριακό συγκρότημα με σύγχρονη οργάνωση και λειτουργία.

Πιο συγκεκριμένα, η αποστολή του ΜΕ.Κ.Δ.Ε. μπορεί να συνοψιστεί στα εξής σημεία (ΜΕ.Κ.Δ.Ε., επίσημη ιστοσελίδα):

- *«Στη συμβολή του στην ανάπτυξη και προστασία του ορεινού περιβάλλοντος και των τοπικών ευρωπαϊκών πολιτισμών με δράσεις παιδείας – ως μόρφωσης και πολιτισμού – και συνεχιζόμενης εκπαίδευσης».*
- *«Στη διεξαγωγή ερευνών, μελετών και σεμιναρίων σχετικών με την προστασία και ανάπτυξη του ορεινού περιβάλλοντος και των τοπικών Ευρωπαϊκών πολιτισμών».*
- *«Στη δικτύωση και αξιοποίηση του Κέντρου από τα μέλη της Πολυτεχνικής και Πανεπιστημιακής κοινότητας [...] ώστε το Μέτσοβο να γίνει Ευρωπαϊκό Κέντρο αποκεντρωμένης διεπιστημονικής, εκπαιδευτικής, ερευνητικής, τεχνολογικής και πολιτισμικής δραστηριότητας του ΕΜΠ στην πατρίδα των ιδρυτών και μεγάλων ευεργετών του²¹».*

Το ΜΕ.Κ.Δ.Ε. ιδρύθηκε το 1993 από το ΕΜΠ με απόφαση της Συγκλήτου και συγκροτήθηκε το 1998. Η κατασκευή του συγκροτήματος ξεκίνησε το 2002 και ολοκληρώθηκε την Άνοιξη του 2005, κατόπιν προκήρυξης σχετικού αρχιτεκτονικού διαγωνισμού και χρηματοδότησης της κατασκευής του από το Γ΄ Κ.Π.Σ. για την Περιφέρεια Ηπείρου. Η έναρξη της λειτουργίας του έγινε το Δεκέμβριο του 2005, με τα πρώτα επιστημονικά του στελέχη και την προμήθεια του βασικού εξοπλισμού του. Από το 2008 λειτουργεί στις εγκαταστάσεις του ΜΕ.Κ.Δ.Ε. η 2^η κατεύθυνση σπουδών του

²¹ Πρόκειται για τους: Νικόλαο Στουρνάρη, Γεώργιο Αβέρωφ, Μιχαήλ Τσοίτσα και Ελένη Μιχαήλ Τσοίτσα, ιδρυτών και μεγάλων ευεργετών του ΕΜΠ (ΜΕ.Κ.Δ.Ε., επίσημη ιστοσελίδα).

ΔΠΜΣ του ΕΜΠ «Περιβάλλον και Ανάπτυξη» με αντικείμενο «Περιβάλλον και Ανάπτυξη των Ορεινών Περιοχών».

Το κτιριακό συγκρότημα του ΜΕ.Κ.Δ.Ε. έπρεπε να ανταποκριθεί σε ένα πλήθος δεσμευτικών απαιτήσεων, οι οποίες λειτούργησαν ως κατευθυντήριες γραμμές για τη συνθετική του επίλυση και διαμόρφωσαν την τελική μορφή, την κατασκευαστική δομή και την κτιριολογική και λειτουργική οργάνωσή του. Μεταξύ άλλων, περιλάμβαναν την εφαρμογή συγκεκριμένου κτιριολογικού προγράμματος σε έναν παραδοσιακό ορεινό οικισμό με αυξημένες ενεργειακές απαιτήσεις αλλά και περιορισμούς που αφορούν στην προστασία των μορφολογικών του χαρακτηριστικών. Ο τρόπος με τον οποίο το κτιριακό συγκρότημα ικανοποίησε τους παραπάνω περιορισμούς παρουσιάζεται αναλυτικά στη συνέχεια.

Δομή και λειτουργική οργάνωση

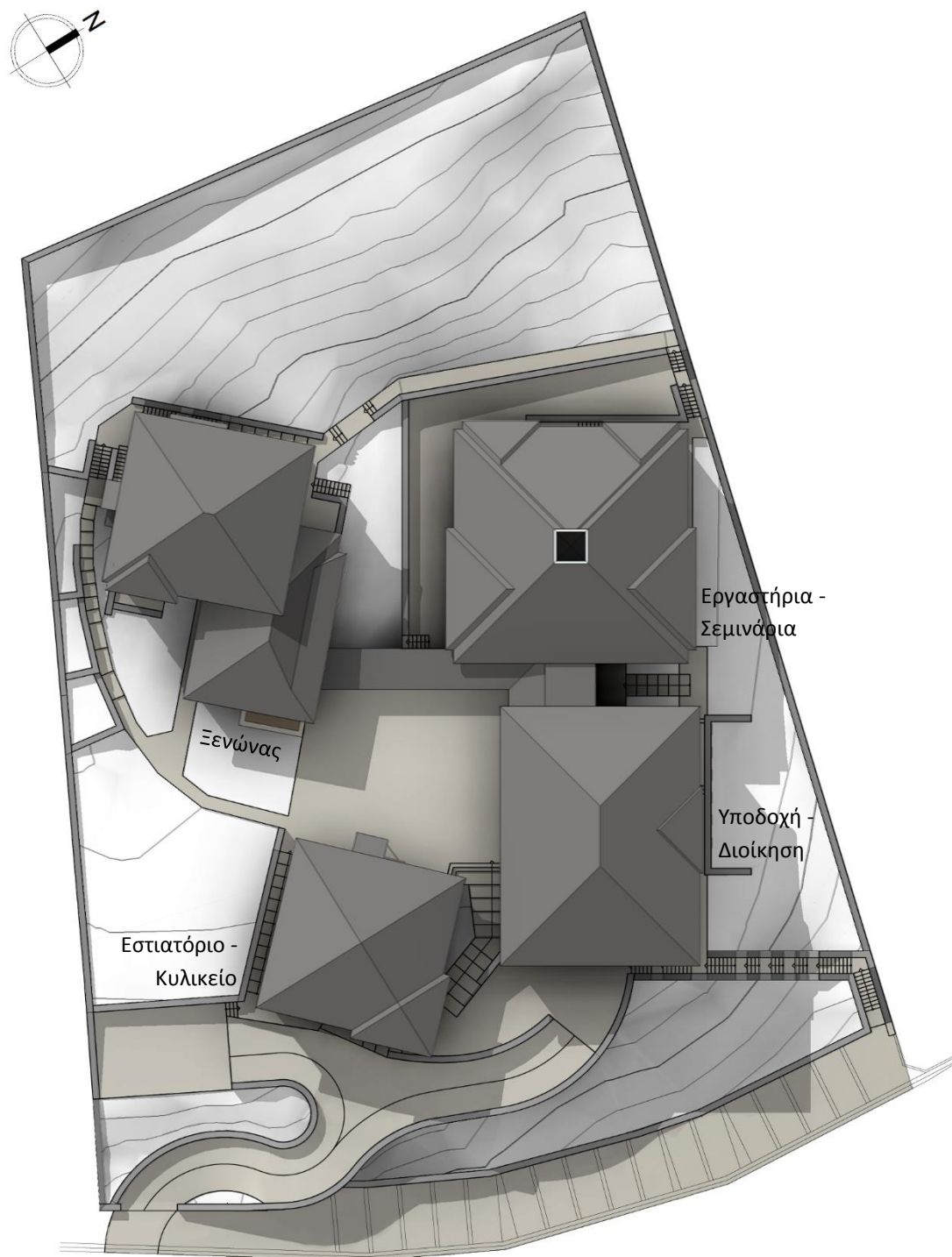
Όπως προαναφέρθηκε, οι εγκαταστάσεις του ΜΕ.Κ.Δ.Ε. έπρεπε να ανταποκριθούν σε ένα ιδιαίτερα απαιτητικό κτιριολογικό πρόγραμμα, το οποίο περιελάμβανε, μεταξύ άλλων, τους απαραίτητους χώρους για τη διεξαγωγή των αυτόνομων δραστηριοτήτων στους τομείς της προστασίας και της ανάπτυξης του ορεινού περιβάλλοντος και των τοπικών ευρωπαϊκών πολιτισμών, των συναντήσεων, συσκέψεων εργασίας και σεμιναρίων, κυρίως σε συνεργασία με το ΕΜΠ και το Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, τη διεξαγωγή Διεπιστημονικών Διαπανεπιστημιακών Συνεδρίων και τη φιλοξενία μελών της Πολυτεχνικής Κοινότητας, του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων καθώς και ξένων επισκεπτών. Για την κάλυψη των αναγκών οι εγκαταστάσεις του ΜΕ.Κ.Δ.Ε. έπρεπε να περιλαμβάνουν *«αίθουσες σεμιναρίων, αίθουσες εργαστηρίων, βιβλιοθήκη και αναγνωστήριο, καθώς και εστιατόριο, κουζίνα, κυλικείο, ξενώνες και άλλους βοηθητικούς χώρους»* (Ρόκος και Μιχαηλίδου, 2007).

Σύμφωνα με τα αρχιτεκτονικά σχέδια (κατόψεις, όψεις, τομές) που χρησιμοποιήθηκαν για τη σύσταση του φακέλου της οικοδομικής αδείας, το συγκρότημα αναπτύσσεται σε συνολική έκταση 4 περίπου στρεμμάτων και περιλαμβάνει τέσσερις κτιριακές μονάδες, η θέση και η διάταξη των οποίων απεικονίζεται στην εικόνα 30. Πιο συγκεκριμένα, το κτίριο του ξενώνα αναπτύσσεται σε τέσσερα επίπεδα και συνολικά περιλαμβάνει δεκαεπτά αυτόνομες μονάδες υπνοδωματίων φιλοξενίας δασκάλων και φοιτητών καθώς και βοηθητικούς χώρους για την εξυπηρέτηση αυτών (χώρος πλυντηρίου - σιδερωτηρίου και παρασκευαστηρίου). Το κτίριο των εργαστηρίων - σεμιναρίων αναπτύσσεται σε τρία επίπεδα και περιλαμβάνει τέσσερις αίθουσες εργαστηρίων στο επίπεδο του ισογείου και ισάριθμες αίθουσες διδασκαλίας και σεμιναρίων στο επίπεδο του ορόφου. Το κτίριο της υποδοχής - διοίκησης αναπτύσσεται σε τέσσερα επίπεδα και συνολικά περιλαμβάνει χώρο υποδοχής, σαλόνι, καθημερινό, πέντε γραφειακούς χώρους, βιβλιοθήκη και εκθεσιακό χώρο. Το κτίριο του εστιατορίου - κυλικείου αναπτύσσεται σε τρία επίπεδα και περιλαμβάνει από ένα χώρο εστιατορίου - κυλικείου και μαγειρείου σε κάθε ένα από

τα επίπεδα της ανωδομής. Το κτίριο της υποδοχής - διοίκησης επικοινωνεί με αυτό των εργαστηρίων - σεμιναρίων στο επίπεδο του ισογείου και του 1^{ου} ορόφου, ενώ επικοινωνεί και με το κτίριο του εστιατορίου - κυλικείου στο επίπεδο του υπογείου και του ισογείου, μέσω εσωτερικού διαδρόμου. Επιπλέον, όλα τα κτίρια περιλαμβάνουν πέρα από τους κύριους χώρους που προαναφέρθηκαν, λοιπούς βοηθητικούς και αποθηκευτικούς χώρους όπως χώρους υγιεινής, ιματιοθήκες, αποθήκες καυσίμων, χώρους ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους, λεβητοστάσια και μηχανοστάσια ανελκυστήρα και κλιματισμού. Η κατακόρυφη επικοινωνία των επιπέδων κάθε κτιρίου πραγματοποιείται μέσω εσωτερικών κλιμακοστασίων και ανελκυστήρων. Η επιφάνεια (όπως μετρήθηκε από τα αρχιτεκτονικά σχέδια) των κτιριακών εγκαταστάσεων ανά κτίριο και στάθμη, συμπεριλαμβανομένων των υπόγειων χώρων, παρουσιάζεται στον πίνακα 6.

Πίνακας 6. Η επιφάνεια των κτιριακών εγκαταστάσεων του ΜΕ.Κ.Δ.Ε. ανά κτίριο και στάθμη.

	Κτίριο				Σύνολο (m²)
	Ξενώνας				
Στάθμη (m)	+0,10	+3,45	+6,65	+9,85	
Επιφάνεια (m ²)	237,40	261,00	227,60	148,70	874,70
	Εργαστήρια – Σεμινάρια				
Στάθμη (m)	-3,30	+0,00	+3,50		
Επιφάνεια (m ²)	330,60	326,10	300,20		956,90
	Υποδοχή - Διοίκηση				
Στάθμη (m)	-6,35	-3,25	+0,00	+3,50	
Επιφάνεια (m ²)	246,80	269,00	275,80	248,80	1040,40
	Εστιατόριο - Κυλικείο				
Στάθμη (m)	-3,80	+0,00	+3,40		
Επιφάνεια (m ²)	126,00	135,50	144,90		406,40
					3278,40



Εικόνα 30. Άνοψη του κτιριακού συγκροτήματος του ΜΕ.Κ.Δ.Ε. υπό κλίμακα 1:500.

Ο παραδοσιακός οικισμός του Μετσόβου

Οι κτιριακές εγκαταστάσεις του ΜΕ.Κ.Δ.Ε. χωροθετούνται στο δυτικό όριο του οικισμού του Μετσόβου²². Η ευρύτερη περιοχή είναι μέρος της οροσειράς της Πίνδου και οριοθετείται από τις κορυφογραμμές της Κατάρας, του Ζυγού και του Περιστερίου. Ο αμφιθεατρικός οικισμός του Μετσόβου είναι κτισμένος σε πλαγιά με έντονη κλίση και νότιο - νοτιοανατολικό προσανατολισμό που εξασφαλίζει την ανοιχτή θέα προς την κοιλάδα και το βουνό απέναντι, την προστασία του τόσο από τις εχθρικές επιδρομές όσο και από τις δυσμενείς καιρικές συνθήκες, τον απρόσκοπτο ηλιασμό των κατοικιών και των σημαντικότερων υπαίθριων χώρων, καθώς και την προστασία τους από τους επικρατούντες ανέμους με προσεκτική χρήση στοιχείων του φυσικού περιβάλλοντος γι' αυτό το σκοπό (φυτεύσεις, μορφολογία του εδάφους, δημιουργία κλιμακωτών ημιυπαίθριων χώρων, κ.λπ., Ρόκος, 1998).

Ο οικισμός διαιρείται σε δύο τμήματα, το πάνω και το κάτω, καθένα από τα οποία διαιρείται σε δύο και τέσσερις συνοικίες, αντίστοιχα (Χαρίσης, 1988). Το κέντρο του οικισμού, η αγορά, βρίσκεται στη διασταύρωση των δύο βασικών οδικών αξόνων οι οποίοι τέμνουν εγκάρσια τον οικισμό. Εκεί και σε υψόμετρο 1.150m βρίσκεται και η κεντρική πλατεία, γύρω από την οποία συγκεντρώνονται όλες οι εμπορικές, θρησκευτικές και κοινωνικές χρήσεις - καφενεία, δημόσια κτίρια, εκκλησία, βρύση. Το Μέτσοβο είναι πυκνοδομημένος και κλειστός οικισμός, με μόνιμο πληθυσμό 2.503 κατοίκους σύμφωνα με την απογραφή της ΕΛ.ΣΤΑΤ του 2011. Γύρω από το κέντρο ακολουθείται το συνεχές σύστημα δόμησης, ενώ προς τα έξω το ελεύθερο. Η πολεοδομική οργάνωση του οικισμού διέπεται από αρχές βιοκλιματικού σχεδιασμού, παρόμοιες με αυτές που αφορούν στη χωροθέτησή του. Η δομή του οικισμού δεν είναι πολύ πυκνή, με αποτέλεσμα να επιτρέπει το σχηματισμό υπαίθριων ή ημιυπαίθριων χώρων (κήποι, αυλές, κ.λπ.), οι οποίοι συμβάλλουν στη δημιουργία ευνοϊκού μικροκλίματος τόσο για τους εσωτερικούς όσο και για τους άμεσα προσαρτημένους εξωτερικούς χώρους της κατοικίας, καθώς και για τους κοινόχρηστους χώρους συνάθροισης της γειτονιάς (Ρόκος, 1998). Οι δρόμοι είναι στενοί και οφιοειδείς, ενώ οι υψηλοί μανδρότοιχοι ή οι εξωτερικοί τοίχοι των κατοικιών παρέχουν προστασία από τους ανέμους, δημιουργώντας την αίσθηση ενός κλειστού, «εντοιχισμένου» χώρου, μερικώς στεγασμένου από τις προεξοχές των κατοικιών.

Οι βασικοί τύποι κατοικιών είναι δύο, το τρίχωρο πλατυμέτωπο λαϊκό και το τετράχωρο αρχοντικό. Ένας τρίτος τύπος είναι η μονόχωρη καλύβα, η οποία χρησιμοποιείται ως χώρος διαμονής στους χώρους σταβλισμού των κοπαδιών (εικόνα 31, Χαρίσης, 1988).

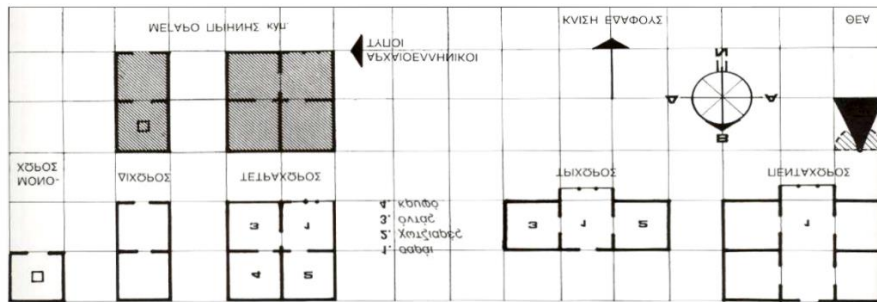
²² Οικισμός της Δ.Ε. Μετσόβου, η οποία μαζί με τις Δ.Ε. της Εγνατίας και της Μηλέας συνθέτουν το Δήμο Μετσόβου της Π.Ε. Ιωαννίνων της Περιφέρειας Ηπείρου.

Και οι δύο βασικοί τύποι είναι διώροφοι με τους χώρους διαμονής (*σαράι*²³, *οντάς*²⁴, *χωτζιαρές*²⁵) στον όροφο και τους βοηθητικούς (στάβλος, κελάρι) στο ισόγειο ή στο υπόγειο, όταν υπάρχει. Ιδιαίτερα το *σαχνισί* ή *κεπέγκι*, προεξοχή στην όψη των δύο αυτών τύπων, αποτελεί χαρακτηριστικό μορφολογικό στοιχείο της ηπειρωτικής αρχιτεκτονικής αλλά και της βαλκανικής αρχιτεκτονικής εν γένει. Διαμορφώνεται λόγω της προεξοχής του μεσαίου χώρου των ορόφων, οι οποίοι διατάσσονται εν σειρά, και το κλείσιμο του κλειστού αυτού εξώστη με ελαφρύ τοίχο (*τσατμάς*). Στην όψη του φέρει δύο ή τρία ανοίγματα, διαμορφώνεται με επιμέλεια και συχνά πρόσθετη διακόσμηση, ενώ αποτελεί ενιαία λειτουργική ενότητα ως χώρος υποδοχής με το *σαράι*. Και οι δύο βασικοί τύποι κατοικιών διαθέτουν αυλή, η οποία είναι μεγαλύτερη στα αρχοντικά και περιβάλλεται από ψηλό τοίχο με στεγασμένη αυλόθυρα. Οι κατοικίες είναι συνήθως διώροφες ή τριώροφες, επιλογή που ορισμένες φορές συνδέεται με την έντονη κλίση του εδάφους. Τα αρχοντικά διακρίνονται από τα λαϊκά σπίτια λόγω της καλύτερης ποιότητας κατασκευής τους, της πλουσιότερης διακόσμησης, το μεγαλύτερο μέγεθος και το μεγαλύτερο αριθμό των ορόφων (τριώροφα, με το μεσαίο όροφο να αξιοποιείται το χειμώνα και τον τελευταίο το καλοκαίρι). Ο κύριος όγκος της κατοικίας είναι προσανατολισμένος νότια ή νοτιοανατολικά, ενώ ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η διαφοροποίηση μεταξύ χειμερινών και θερινών διευθετήσεων, με την εσωτερική μετανάστευση των χρηστών του χώρου να είναι ένα εποχιακό φαινόμενο, το οποίο συντέινε στο να επιτευχθούν οι καλύτερες δυνατές συνθήκες θερμικής άνεσης (Καλογήρου, 2009). Έτσι, ο *οντάς* χρησιμοποιούνταν περισσότερο κατά τους χειμερινούς μήνες και ο *χωτζιαρές* κατά τους καλοκαιρινούς. Παράλληλα, η λειτουργία του *κεπεγκιού* προσομοιάζει αυτή του ηλιακού χώρου, προσφέροντας ηλιακά κέρδη και έμμεσο φωτισμό. Ωστόσο, η εκτενής ανάλυση των χώρων που περιέχονται στον κάθε τύπο ξεφεύγει από τα όρια της συγκεκριμένης μελέτης.

²³ Χώρος εισόδου, πρώτης υποδοχής και επικοινωνίας με το υπόγειο - ισόγειο. Στον τύπο της τρίχωρης κατοικίας (διάταξη χώρων εν σειρά), αποτελεί τον κεντρικό - νότιο χώρο, ενώ σε αυτόν της τετράχωρης κατοικίας (διάταξη χώρων σε τετράγωνο), βρίσκεται νοτιοδυτικά. Σχηματίζει προεξοχή 0,80-1,00m η οποία αποτελείται από τζαμωτό χώρο με υπερυψωμένο συνήθως δάπεδο κατά 0,20-0,30m περίπου (*σαχνισί* ή *κεπέγκι*, Χαρίσης, 1988).

²⁴ Χώρος ο οποίος αποτελεί το χειμωνιάτικο καθιστικό, αλλά και χώρο ύπνου και μαγειρέματος. Στον τύπο της τρίχωρης κατοικίας βρίσκεται νοτιοδυτικά, ενώ σε αυτόν της τετράχωρης, βορειοδυτικά. Διαθέτει λίγα ανοίγματα και τζάκι. Από αυτόν γίνεται η είσοδος στο *κρυφό*, χώρος διαμονής στον τύπο της τετράχωρης κατοικίας με βορειοανατολικό προσανατολισμό (Χαρίσης, 1988).

²⁵ Χώρος καλοκαιρινής διαμονής και υποδοχής με περισσότερα ανοίγματα και χωρίς τζάκι. Στον τύπο της τρίχωρης κατοικίας βρίσκεται βορειοανατολικά, ενώ σε αυτόν της τετράχωρης, νοτιοανατολικά. (Χαρίσης, 1988).



Εικόνα 31. Κύριοι τύποι του μετσοβίτικου σπιτιού

Πηγή: Χαρίσης, 1988

Τα βασικά υλικά δόμησης της παραδοσιακής αρχιτεκτονικής του Μετσόβου, και της παραδοσιακής αρχιτεκτονικής της Ηπείρου εν γένει, είναι η πέτρα και το ξύλο - η περιοχή διαθέτει άφθονα δάση. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται η γκριζοκαφετιά ή γκριζοπράσινη πέτρα για τις τοιχοποιίες, οι γκριζοπράσινες σχιστολιθικές πλάκες για τις επικαλύψεις και δαπεδοστρώσεις και το ξύλο οξιάς, του ρόμπολου και της πεύκης για τις ξυλοκατασκευές (Χαρίσης, 1988). Το ρόμπολο ειδικά παρουσιάζει μεγάλη αντοχή στην υγρασία και τους μικροοργανισμούς, ενώ η καρυδιά χρησιμοποιείται για την κατασκευή ξυλόγλυπτων. Η χρήση μετάλλων είναι σχεδόν ανύπαρκτη.

Οι εξωτερικές τοιχοποιίες έχουν πάχος 0,70-0,90m και μένουν σχεδόν πάντα ανεπίχριστες, καθώς τα επιχρίσματα είναι ευάλωτα στην παγωνιά και στην υγρασία. Η μεγάλη θερμική τους μάζα συμβάλλει στην αποφυγή των έντονων θερμοκρασιακών διακυμάνσεων κατά τη διάρκεια της ημέρας, αφού επιτρέπει την εκπομπή της θερμότητας που απορροφούν τα δομικά στοιχεία του κτιρίου με χρονική υστέρηση. Σε διάφορες στάθμες (περίπου ανά 0,80-1,0m) παρατηρούνται ξυλοδεσιές οι οποίες επιτρέπουν την κατασκευή κτιρίων ύψους 9-10m περίπου. Τόσο οι εξωτερικές όσο και οι εσωτερικές τοιχοποιίες κατασκευάζονται από λιθοδομή, με εξαίρεση αυτές που έχουν πολλά ανοίγματα και κάποιες του τελευταίου ορόφου, όπου χρησιμοποιείται ο τσατμάς (ξύλινη κατασκευή) και το μπαγδατί (εσωτερική τοιχοποιία). Η χρήση του ξύλου συμβάλλει στην ταχεία θέρμανση του εσωτερικού χώρου και στη μείωση της συμπύκνωσης του αέρα. Ως συνδετικό υλικό χρησιμοποιείται λάσπη από τα αργιλώδη εδάφη του τόπου. Στο υπόγειο οι τοίχοι διατηρούνται ανεπίχριστοι, ενώ στον όροφο, εσωτερικά, επιχρίζονται και ασβεστώνονται.

Τα ανοίγματα είναι λίγα και μικρά στα ισόγεια των κατοικιών, ενώ αυξάνονται σε μέγεθος και αριθμό στον ή στους ορόφους, με εξαίρεση τα κτίρια που στο επίπεδο του ισογείου φιλοξενούν μαγαζιά ή εργαστήρια. Προς τον εσωτερικό χώρο του κτιρίου διευρύνονται προκειμένου να διευκολύνουν τη διείσδυση της ηλιακής ακτινοβολίας και να μειώσουν τη θάμβωση. Παράλληλα, είναι περισσότερα στη νότια και νοτιοανατολική πλευρά του κτιρίου προκειμένου να μεγιστοποιηθούν τα ηλιακά κέρδη. Οι εσωτερικές πόρτες, με ορθογώνιο πλαίσιο παλαιότερα και τοξωτό, είναι ταμπλαδωτές, ενώ οι εξωτερικές είναι καρφωτές με πολύ πλατιές σανίδες. Τα ανοίγματα του κτιρίου

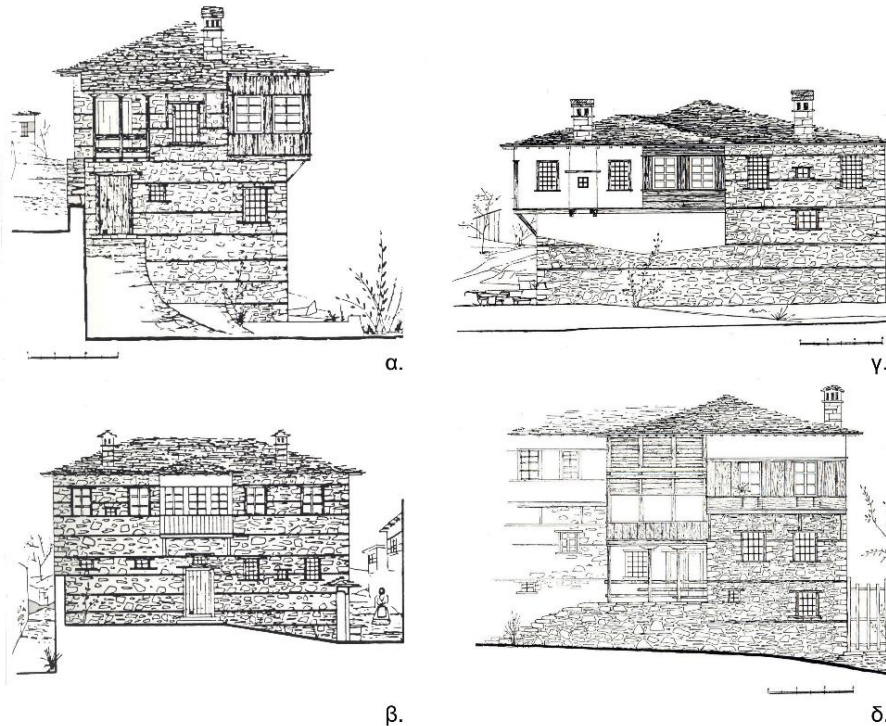
κλείνονται με τζαμλίκια που χωρίζονται με καΐτια και ταμπλαδωτά πατζούρια ή κάγκελα, τα οποία παλιότερα ήταν ξύλινα (Χαρίσης, 1988). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η χρήση πατζουριών, πέρα από την παροχή ηλιοπραστασίας, εστιάζεται και στη λειτουργία τους ως κινητή μόνωση για τη μείωση των θερμικών απωλειών το χειμώνα και τη μείωση των θερμικών κερδών το καλοκαίρι.

Η στέγαση γίνεται με τετράρριχτη στέγη, με ξύλινα ζευκτά (συνήθως από ακατέργαστη οξιά) και επικάλυψη με σχιστόπλακες, η οποία προεξέχει περιμετρικά του κτιρίου περίπου 0,50-0,70m (ΜΕ.Κ.Δ.Ε, επίσημη ιστοσελίδα). Η στέγη είναι επικλινή, με κλίση περίπου 45% προκειμένου να αποβάλλει τα αυξημένα ύψη χιονιού και βροχοπτώσεων, ενώ η προεξοχή στοχεύει στη σκίαση των ανοιγμάτων, στην προστασία τους (καθώς και μέρους της τοιχοποιίας) από τη βροχή, καθώς και στη σκίαση και προστασία από τη βροχή τμήματος του εξωτερικού χώρου, σχηματίζοντας υπόστεγο. Στο εσωτερικό του κτιρίου, οι οροφές είναι ξύλινες είτε απλές με πλατιά σανίδια ή σκαλιστές είτε σύνθετες (παλαιότερα), ανάλογα με τη χρήση του χώρου, ενώ οι διακοσμημένες οροφές φέρουν απαραίτητα στο κέντρο μεγάλο ρόδακα. Τα δάπεδα στους ορόφους είναι ξύλινα από πλατιές σανίδες, ενώ στα υπόγεια και στις αυλές είναι χωμάτινα ή πλακόστρωτα. Το χρώμα συναντιέται σπάνια, εκτός από το λευκό του ασβέστη στους τοίχους και τα βαθιά χρώματα του κουμπέ. Στο εσωτερικό ορισμένων κατοικιών, συνήθως αρχοντικών, συναντάται πλούσια ζωγραφική διακόσμηση. Σημαντική είναι και η συμβολή στη μορφή του εσωτερικού χώρου των ξύλινων διακοσμήσεων και των υφαντών τα οποία, πέρα από αισθητικό πλούτο, μεταφέρουν συμβολικά αρχέτυπες μνήμες²⁶. Τέλος, κεντρικό στοιχείο του χώρου αποτελεί το τζάκι το οποίο είναι κατασκευασμένο από ξύλινο σκελετό επιχρισμένο και φέρει μέσα στη φούσκα μικρό φεγγίτη με τζάμι χωρισμένο κατά το σχήμα του σταυρού (Χαρίσης, 1988).

Θεωρώντας αισθητικά τις συνθετικές αρχές του μετσοβίτικου σπιτιού παρατηρούμε ότι εξωτερικά δεν εμφανίζει ιδιαίτερη μορφολογική προσπάθεια, αφού καταφέρνει να *«εκφράζεται απλά κατά τις επιταγές και τις απαιτήσεις της λειτουργίας και της κατασκευής. Η εξωτερική του μορφή είναι λιτή και αυστηρή σαν μονόλιθος, ογκοπλαστικά και ποιοτικά. Έτσι, ο μονολιθικός του όγκος [...], το οξυκόρυφο της τετράρριχτης στέγης [...] και η ταύτιση των υλικών της όψης με τα υλικά της φύσης, συνθέτουν αναμφίβολα μία βαθύτερη σχέση ομολογίας μεταξύ κτίσματος και φυσικού χώρου»* (Χαρίσης, 1988). Ο εσωτερικός χώρος του μετσοβίτικου σπιτιού έρχεται σε αντίθεση με την εξωτερική του λιτότητα, λόγω του ιδιότυπου πλούσιου κόσμου ο οποίος

²⁶ «Ο συμβολισμός του ουρανού στο ταβάνι με τον κουμπέ ή τον ήλιο ως ρόδακα και τ' αστέρια, αλλά και ο συμβολισμός της Γης στα στρωσίδια και στα άλλα υφαντά [...], θεμελιώνουν τη συνείδηση πρωταρχικών κοσμογονικών αναφορών. Και η εστία με το αέναο φως της [...] επιβάλλει την ιερότητά της, ως σημείο σύγκλισης της οικογένειας και των Θεών» (Χαρίσης, 1988).

συντίθεται από την ποικίλη συμπεριφορά των επιμέρους χώρων του, αυτών του *σαραγιού*, του *οντά*, του *χωτζιαρέ* και του *κρυφού*.



Εικόνα 32. α. όψη σπιτιού, β. όψη του σπιτιού του Μέρανου, γ. όψη του σπιτιού του Μπρίση και δ. όψη του αρχοντικού του Βατιπούλη

Πηγή: Χαρίσης, 1988

Οι όροι και περιορισμοί δόμησης που αφορούν στον παραδοσιακό οικισμό του Μετσόβου αναλύονται στο Ειδικό Διάταγμα Προστασίας οικισμού Μετσόβου (ΦΕΚ Δ' 214/19.09.1975) «Περί καθορισμού ειδικών όρων και περιορισμών δόμησης του υφιστάμενου προ του 1923 Οικισμού Μετσόβου Ιωαννίνων» και στο Γενικό Διάταγμα Παραδοσιακών Οικισμών (ΦΕΚ Δ' 594/13.11.1978) «Περί χαρακτηρισμού ως Παραδοσιακών Οικισμών τινών του Κράτους και καθορισμού των όρων και περιορισμών δόμησης των οικοπέδων αυτών».

Στο Ειδικό Διάταγμα Προστασίας οικισμού Μετσόβου καθορίζονται οι όροι δόμησης και επισημαίνεται ο τρόπος κατασκευής διαφόρων στοιχείων του κτιρίου. Αναφορικά με τους όρους δόμησης, το ποσοστό κάλυψης ορίζεται ίσο με 50% και 60% όσον αφορά στο παραδοσιακό τμήμα του οικισμού. Το μέγιστο ύψος των κτιρίων, μη συμπεριλαμβανομένης της στέγης, είναι τα 7,50m, ενώ σε περίπτωση κλίσης του εδάφους δε δύναται να υπερβεί τα 10m. Ο μέγιστος αριθμός ορόφων είναι δύο και απαγορεύεται η κατασκευή ορόφου σε εσοχή (άρθρο 1). Επιπλέον, καθορίζονται περιορισμοί για το μέγεθος της προεξοχής (0,50-0,80m από την όψη του κτιρίου) και τα

υλικά της στέγης (επικάλυψη από σχιστολιθικές πλάκες, κεραμίδια ή ακροσανίδες). Περιορισμοί υπάρχουν και για το υλικό κατασκευής των εξωτερικών τοίχων. Πιο συγκεκριμένα, η εξωτερική τοιχοποιία πρέπει να κατασκευάζεται αποκλειστικά από εμφανή λιθοδομή στο επίπεδο του ισογείου, ενώ στο ύψος των ορόφων δίνεται η δυνατότητα χρήσης και άλλων δομικών υλικών υπό την προϋπόθεση επένδυσης των εξωτερικών όψεων με ξύλινες σανίδες ή επίχρισμα. Τα υπέρθυρα των κουφωμάτων πρέπει να διαθέτουν συνεχή περιμετρικά εμφανή διαζώματα (σενάζ) από ξύλο ή σκυρόδεμα πάχους 0,05-0,14m στο ύψος των ποδιών. Σε περίπτωση κατασκευής του φέροντος οργανισμού από οπλισμένο σκυρόδεμα, οι δοκοί και τα υποστυλώματα δεν πρέπει να είναι εμφανή. Παράλληλα, τα κουφώματα των παραθύρων πρέπει να έχουν αναλογία ύψους προς πλάτους περίπου 3:2, να διαθέτουν ξύλινα υαλοστάσια με ξύλινες υποδιαίρέσεις (καΐτια) σε τετράγωνα περίπου πλαίσια, καθώς και ξύλινα πτυσσόμενα (γαλλικά) ταμπλαδωτά ή καρφωτά εξώφυλλα. Στα εξωτερικά επιχρίσματα απαγορεύεται η χρήση άλλου χρώματος πλην του λευκού (με εξαίρεση μικρές επιφάνειες στη βάση των τοίχων, όπου επιτρέπεται η χρήση του ερυθρού, της ώχρας ή του κυανού). Τα κιγκλιδώματα πρέπει να είναι ξύλινα, με τη χρήση σιδηρών κιγκλιδωμάτων μαύρου χρώματος να επιτρέπεται μόνο ως κιγκλιδώματα ασφαλείας παραθύρων και θυρών. Ξύλινα πρέπει να είναι και τα προστεγασμάτα, ενώ η προεξοχή και η έκταση των προστεγασμάτων και των εξωστών (ανοιχτών ή κλειστών) καθορίζεται από την Επιτροπή Αρχιτεκτονικού Ελέγχου. Τέλος, καθορίζονται λοιποί περιορισμοί για τους μανδρότοιχους, τις αυλόθυρες, τις όψεις, βοηθητικά και επαγγελματικά κτίσματα και κτίρια κοινής ωφέλειας (άρθρο 2).

Στο Γενικό Διάταγμα Παραδοσιακών Οικισμών, ο οικισμός του Μετσόβου χαρακτηρίζεται ως παραδοσιακός. Το Διάταγμα καθορίζει την αρτιότητα και οικοδομησιμότητα των οικοπέδων του κεντρικού (συνεκτικού) τμήματος και του λοιπού τμήματος του οικισμού κατά κανόνα και κατά παρέκκλιση²⁷. Το ποσοστό κάλυψης και ο συντελεστής δόμησης ανέρχονται σε 80% και 0,80, αντίστοιχα, για το κεντρικό τμήμα του οικισμού, ενώ για το

²⁷ Τα οικόπεδα του κεντρικού τμήματος του οικισμού θεωρούνται άρτια και οικοδομήσιμα εφ' όσον έχουν ελάχιστο πρόσωπο 12m, ελάχιστο βάθος 18m και ελάχιστο εμβαδόν 300m². Κατά παρέκκλιση θεωρούνται άρτια και οικοδομήσιμα τα οικόπεδα με τις διαστάσεις και το εμβαδόν τα οποία είχαν στις 2 Ιουλίου 1968, ημέρα δημοσίευσης του από 15 Ιουνίου 1968 Β. Δ/τος «περί καθορισμού των όρων και περιορισμών δόμησης των οικοπέδων, των κειμένων εντός των νομίμων υφισταμένων προ του έτους 1923 οικισμών των στερουμένων εγκεκριμένου ρυμοτομικού σχεδίου» (ΦΕΚ 111 Δ'). Ακόμη θεωρούνται κατά παρέκκλιση άρτια και οικοδομήσιμα τα οικόπεδα τα οποία μέχρι δημοσίευσης του παρόντος έχουν ελάχιστο πρόσωπο 8m, ελάχιστο βάθος 12m και ελάχιστο εμβαδόν 150m². Τα οικόπεδα του λοιπού τμήματος του οικισμού θεωρούνται άρτια και οικοδομήσιμα εφόσον έχουν ελάχιστο πρόσωπο 25m, ελάχιστο βάθος 40m και ελάχιστο εμβαδόν 2.000m². Κατά παρέκκλιση θεωρούνται άρτια και οικοδομήσιμα τα οικόπεδα με τις διαστάσεις και το εμβαδόν τα οποία είχαν στις 2 Ιουλίου 1968, ημέρα δημοσίευσης του ως άνω από 15.06.1968 Β. Δ/τος. Ακόμη θεωρούνται κατά παρέκκλιση άρτια και οικοδομήσιμα τα οικόπεδα τα οποία μέχρι δημοσίευσης του παρόντος έχουν ελάχιστο πρόσωπο 12m, ελάχιστο βάθος 18m και ελάχιστο εμβαδόν 300m² (άρθρο 2).

υπόλοιπο τμήμα ανέρχονται σε 50% και 0,50, αντίστοιχα. Ο μέγιστος αριθμός ορόφων ορίζεται σε δύο, ενώ η κατασκευή τρίτου ορόφου επιτρέπεται μόνο στην περίπτωση που προκύπτει λόγω κλίσης του εδάφους. Το μέγιστο ύψος των κτιρίων μη συμπεριλαμβανομένης της στέγης είναι τα 7m, ενώ σε περίπτωση κλίσης του εδάφους δε δύναται να υπερβεί τα 10m (άρθρο 2). Οι υπόλοιπες διατάξεις αφορούν στη σύνθεση, διάταξη και καθορισμό επιμέρους μορφολογικών στοιχείων των κτιρίων, καθώς και στον καθορισμό των επιτρεπόμενων χρήσεων γης.

Στον πίνακα που ακολουθεί περιγράφονται τα μνημεία που έχουν χαρακτηριστεί ως διατηρητέα μέχρι σήμερα, εκ των οποίων οι μονές και το αρχοντικό ανήκουν στη Βυζαντινή/Μεταβυζαντινή περίοδο, ενώ όλα τα υπόλοιπα στη Νεοελληνική. Το αρχοντικό ιδιοκτησίας Τσανάκα χαρακτηρίστηκε ως ιστορικό διατηρητέο μνημείο καθώς *«πρόκειται για μεγάλων διαστάσεων αρχοντικό των αρχών του 19ου αιώνα, τυπικό δείγμα πεντάχωρου σπιτιού, όπως αυτό διαμορφώθηκε στην ελληνική παραδοσιακή αρχιτεκτονική του 18^{ου} και 19^{ου} αιώνα»* (ΦΕΚ Β' 371/19.05.1994). Όσον αφορά στα καταστήματα ιδιοκτησίας της Ιεράς Μητροπόλεως Ιωαννίνων, στο κτίριο του καφενείου και στα καταστήματα ιδιοκτησίας του Δήμου Μετσόβου, καθώς και στο κατάστημα ιδιοκτησίας Σταχούλη, όλα επί της κεντρικής πλατείας του Μετσόβου, *«πρόκειται για αντιπροσωπευτικά δείγματα τοπικής αρχιτεκτονικής απόλυτα εναρμονισμένα με το περιβάλλον τους, σημαντικά για τη μελέτη της ιστορίας της αρχιτεκτονικής και άρρηκτα συνδεδεμένα με τις ιστορικές μνήμες των κατοίκων»* (ΦΕΚ Β' 899/14.10.1997 και ΦΕΚ Β' 65/04.02.1998). Επιπλέον, το αγροτικό κτιριακό συγκρότημα (νερόμυλος, νεροτριβή, μαντάνια, αποθήκες, στάβλοι, κατοικία), με τον εξοπλισμό του και τον περιβάλλοντα χώρο του στα όρια της ιδιοκτησίας, χαρακτηρίστηκε ως ιστορικό διατηρητέο μνημείο καθώς *«πρόκειται για συγκρότημα κτιρίων ειδικής λειτουργίας, τα οποία χαρακτηρίζονται από μορφολογικά στοιχεία της τοπικής αρχιτεκτονικής και μαρτυρούν την ευστροφία και επιδεξιότητα των λαϊκών μαστόρων»* (ΦΕΚ Β' 991/27.05.1999, Υπουργείο Πολιτισμού και Τουρισμού - Διεύθυνση Εθνικού Αρχείου Μνημείων, Διαρκής Κατάλογος των Κηρυγμένων Αρχαιολογικών Χώρων και Μνημείων της Ελλάδος, επίσημη ιστοσελίδα).

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το 1974 το Μέτσοβο είχε χαρακτηριστεί ως τόπος ιδιαίτερου φυσικού κάλλους και τοπίο χρήζοντος ειδικής κρατικής προστασίας για τη διατήρηση του παραδοσιακού του χαρακτήρα και προστασία του από την *«ανεξελέγκτη ανέγερση ακαλαισθήτων ογκωδών οικοδομών»* (ΦΕΚ Β' 1011/08.10.1974). Ωστόσο δύο χρόνια αργότερα άρθηκε ο παραπάνω χαρακτηρισμός δεδομένου ότι *«[...] πλέον το Μέτσοβο έχει απολέσει τον παραδοσιακό του χαρακτήρα, ωστόσο δε δια του προεδρικού διατάγματος της 12 Σεπτεμβρίου 1975 προσδιορίζονται επαρκείς ειδικοί όροι και περιορισμοί δομήσεως εντός του οικισμού Μετσόβου»* (ΦΕΚ Β' 1175/24.09.1976).

Πίνακας 7. Ιστορικά διατηρητέα μνημεία στον οικισμό του Μετσόβου ανά είδος μνημείου, ονομασία και αριθμό Υπουργικής Απόφασης και αριθμό ΦΕΚ

Μοναστηριακά Συγκροτήματα, Θρησκευτικοί Χώροι
- Μονή Αγίου Νικολάου: ΥΑ 15904/24-11-1962, ΦΕΚ Β' 473/17.12.1962
- Μονή Θεοτόκου: ΥΑ 15904/24-11-1962, ΦΕΚ Β' 473/17.12.1962
Αρχοντικά, Αστικά Κτίρια
- Κτίριο ιδ. Τσανάκα: ΥΑ ΥΠΠΟ/ΑΡΧ/Β1/Φ33/20307/409/10-5-1994, ΦΕΚ Β' 371/19.05.1994
Εμπόριο, Αστικά Κτίρια
- Καταστήματα στην κεντρική πλατεία, ιδ. Ιεράς Μητροπόλεως Ιωαννίνων: ΥΑ ΥΠΠΟ/ΔΙΛΑΠ/Γ/2707/45508/11-7-1997, ΦΕΚ Β' 899/14.10.1997
- Κτίρια Καταστημάτων στην Κεντρική Πλατεία Μετσόβου: ΥΑ ΥΠΠΟ/ΔΙΛΑΠ/Γ/2703/45509/11-7-1997, ΦΕΚ Β' 899/14.10.1997
- Κατάστημα στην κεντρική πλατεία, ιδ. Σταχούλη ΥΑ ΥΠΠΟ/ΔΙΛΑΠ/Γ/2808/1836/11-11-1997, ΦΕΚ Β' 65/04.02.1998
Καφενεία, Αστικά Κτίρια
- Κτίριο Καφενείου στην κεντρική πλατεία Μετσόβου: ΥΑ ΥΠΠΟ/ΔΙΛΑΠ/Γ/2706/45507/11-7-1997, ΦΕΚ Β' 899/14.10.1997
Αγροτική Οικονομία, Βοηθητικοί Χώροι, Μύλοι
- Αγροτικό κτιριακό συγκρότημα (νερόμυλος, νεροτριβή, μαντάνια, αποθήκες, στάβλοι, κατοικία): ΥΑ ΥΠΠΟ/ΔΙΛΑΠ/Γ/1432/22581/11-5-1999, ΦΕΚ Β' 991/27.05.1999

Πηγή: Υπουργείο Πολιτισμού και Τουρισμού - Διεύθυνση Εθνικού Αρχείου Μνημείων, Διαρκής Κατάλογος των Κηρυγμένων Αρχαιολογικών Χώρων και Μνημείων της Ελλάδος, επίσημη ιστοσελίδα

Οι αυξημένες ενεργειακές απαιτήσεις

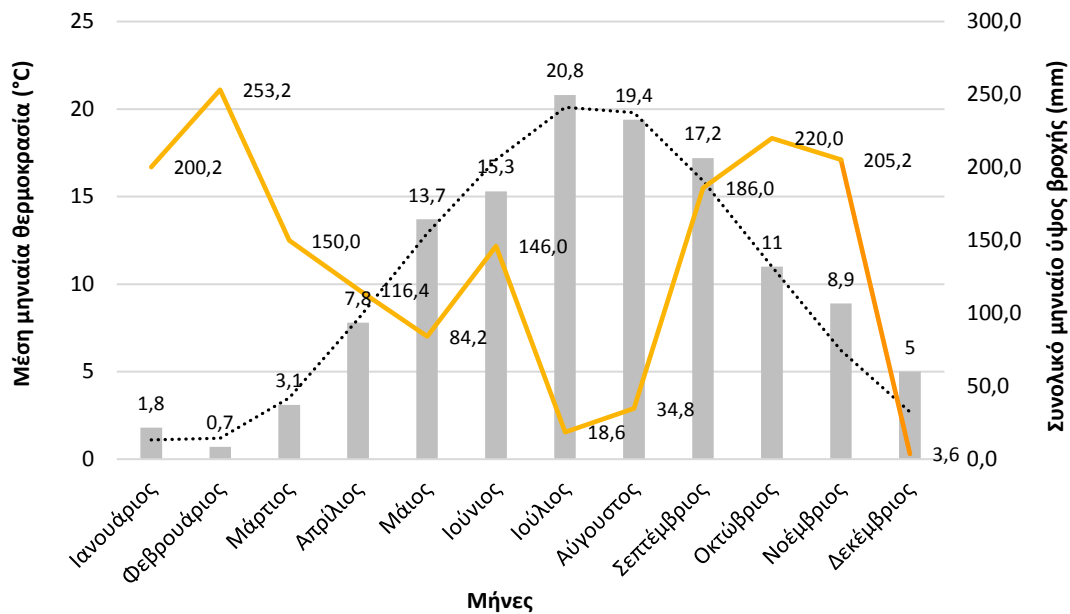
Οι ορεινές περιοχές συνεπάγονται και αυξημένες ενεργειακές απαιτήσεις. Η ιδιαίτερη ενεργειακή τους ταυτότητα χαρακτηρίζεται «από αυξημένες ενεργειακές καταναλώσεις για θέρμανση και από προβλήματα στην ενεργειακή τροφοδοσία λόγω της απομόνωσης και του γεωγραφικού αναγλύφου» (Βερροίου, 2014). Για το λόγο αυτό «τα παραδοσιακά πολεοδομικά και κτιριοδομικά χαρακτηριστικά των ορεινών οικισμών κινούνταν στην κατεύθυνση της ελαχιστοποίησης της ενεργειακής κατανάλωσης, με βάση τη διαθέσιμη τεχνολογία και τεχνογνωσία, ενώ παράλληλα ο τρόπος ζωής των ορεισίβιων χαρακτηριζόταν από την ορθολογική χρήση των φυσικών πόρων» (Κατσουλάκος, 2011).

Ως εκ τούτου, πέρα από τους περιορισμούς που αφορούν στην προστασία και ανάδειξη της παραδοσιακής αρχιτεκτονικής του Μετσόβου, το κτιριακό συγκρότημα του ΜΕ.Κ.Δ.Ε. έπρεπε να ανταποκριθεί στο ιδιαίτερο κλίμα του ορεινού οικισμού, ο οποίος είναι κτισμένος σε υψόμετρο που κυμαίνεται από 1.000m έως 1.250m. Το κλίμα του Μετσόβου κατατάσσεται με βάση την κατά Köppen κατηγοριοποίηση, στην κατηγορία

Cbf, η οποία περιγράφεται ως εξής: «κλίμα εύκρατο βροχερό με μέση θερμοκρασία του θερμότερου μήνα του έτους έως 22°C και του ψυχρότερου κάτω των 18°C. Η μέση μηνιαία θερμοκρασία τουλάχιστον 4 μηνών είναι πάνω από 10°C. Στην ξηρή περίοδο, μετά το θερινό ηλιοστάσιο, ο ξηρότερος μήνας δέχεται βροχή μεγαλύτερη των 40mm» (Κατσουλάκος, 2013). Σύμφωνα με τις μετρήσεις του μετεωρολογικού σταθμού του ΕΘΙΑΓΕ (Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας) που αφορούν σε 28 έτη από το 1961 έως το 2009, προκύπτει ότι η περιοχή του Μετσόβου διακρίνεται για τις ιδιαίτερα χαμηλές θερμοκρασίες της (Κατσουλάκος, 2013).

Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με τις μετρήσεις του μετεωρολογικού σταθμού του Μετσόβου, ο οποίος βρίσκεται σε υψόμετρο 1240m, η χαμηλότερη μέση μηνιαία θερμοκρασία για το έτος 2015 σημειώθηκε κατά το μήνα Φεβρουάριο (0,7°C), ενώ η μεγαλύτερη κατά το μήνα Ιούλιο (20,8°C). Το Φεβρουάριο σημειώθηκε και το μεγαλύτερο ύψος βροχής (253mm). Σύμφωνα με τις μετρήσεις του ΕΘΙΑΓΕ, η ελάχιστη μέση μηνιαία θερμοκρασία κατά το διάστημα 1961-2009 σημειώθηκε τον Ιανουάριο του 2009 (-5,9°C), ενώ η μέγιστη τον Ιούλιο του 1965 (25,9°C). Η μέση ετήσια θερμοκρασία ανέρχεται σε μόλις 10°C, τιμή ιδιαίτερα χαμηλή για τα ελληνικά δεδομένα. Οι βροχοπτώσεις αποτελούν χαρακτηριστικό της περιοχής, κάτι το οποίο αποδεικνύεται από το ύψος βροχής, το οποίο είναι αρκετά υψηλό, λόγω της ορειογραφικής κατακρήμνισης. Αυτό λειτουργεί ευνοϊκά στην ύπαρξη εκτεταμένων δασικών εκτάσεων, οι οποίες ανέρχονται σε 107.300 στρέμματα, σύμφωνα με στοιχεία της ΕΛ.ΣΤΑΤ, ενώ σε συνδυασμό με τη γεωλογική δομή της περιοχής δημιουργεί έντονα προβλήματα κατολισθήσεων (Κατσουλάκος, 2013).

Η αποτύπωση της αυξημένης ζήτησης θερμικής ενέργειας στον οικισμό του Μετσόβου μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω της μεθόδου των βαθμομερών θέρμανσης. Πρόκειται για ένα μέτρο της διακύμανσης της εξωτερικής θερμοκρασίας μίας περιοχής και ένα δείκτη για το πόσο δριμύ είναι το κλίμα της. Είναι επίσης ανάλογες της θερμικής ζήτησης. Εφόσον είναι γνωστά τα χαρακτηριστικά του κτιριακού κελύφους και του συστήματος θέρμανσης που χρησιμοποιείται, είναι δυνατός ο υπολογισμός της κατανάλωσης ενέργειας με πολύ μικρά περιθώρια σφάλματος. Είναι αξιοσημείωτο ότι ο αριθμός των βαθμομερών θέρμανσης στο Μέτσοβο είναι κατά 53% μεγαλύτερος σε σχέση με τα γειτονικά Ιωάννινα και κατά 166% μεγαλύτερος σε σχέση με την Κέρκυρα, πόλεις χαμηλότερου υψομέτρου και παραπλήσιου γεωγραφικού πλάτους (Κατσουλάκος και Καλιαμπάκος, 2010).



Γράφημα 17. Μέση μηνιαία θερμοκρασία (°C) κατά το έτος 2015, συνολικό μηνιαίο ύψος βροχής (mm) κατά το έτος 2015 (κίτρινη γραμμή) και μέση μηνιαία θερμοκρασία (°C) για 28 έτη κατά το διάστημα 1961-2009 (διακεκομμένη γραμμή).

Πηγή: Μετρήσεις μετεωρολογικού σταθμού Μετσόβου και Κατσουλάκος, 2013, ίδια επεξεργασία

Μορφολογικά χαρακτηριστικά και υλικά δόμησης

Το ΜΕ.Κ.Δ.Ε. ακολουθεί τις αρχές της ηπειρώτικης αρχιτεκτονικής και ενσωματώνεται άριστα στο ηπειρώτικο τοπίο με το έντονο γεωμορφολογικό ανάγλυφο και την ιδιαίτερη αρχιτεκτονική. Η εξωτερική επένδυση από πέτρα, η επικάλυψη των τετράριχτων στεγών με σχιστόπλακες και η τοποθέτηση ξύλινων στοιχείων στα κουφώματα, στις στέγες, στους εξώστες και στα στέγαστρα ακολουθούν το μεσοβίτιο τρόπο δόμησης και τη φιλοσοφία της ελληνικής παραδοσιακής αρχιτεκτονικής εν γένει. Σύμφωνα με αυτή, η κατασκευή ενός κτιρίου θα πρέπει να αξιοποιεί και να ενσωματώνει τα υλικά τα οποία είναι διαθέσιμα στο φυσικό περιβάλλον. Η αξιοποίηση των στοιχείων του φυσικού περιβάλλοντος στην παραδοσιακή αρχιτεκτονική «απαντά στην επίλυση αντίστοιχων αναγκών, δεδομένης της έλλειψης των σημερινών μέσων τεχνολογίας, ενώ ταυτόχρονα φανερώνει τη βαθιά γνώση των περιορισμών και των δυνατοτήτων του φυσικού περιβάλλοντος - αποτέλεσμα της μακράιωνης συμβίωσης των τοπικών κοινωνιών με τη φύση. Το αποτέλεσμα είναι η δημιουργία οικισμών απόλυτα ενσωματωμένων στο τοπικό, φυσικό τους περιβάλλον, λειτουργικά και αισθητικά άρτιων» (ΜΕ.Κ.Δ.Ε, επίσημη ιστοσελίδα).

Οι τέσσερις λιτοί κτιριακοί όγκοι παραπέμπουν στην αυστηρή γεωμετρική μορφή των παραδοσιακών κτισμάτων. Οι προεξοχές που δημιουργούνται στον τελευταίο όροφο

κάθε κτιρίου με τα περιμετρικά ανοίγματα είναι αναφορά στο ηπειρώτικο *σαχνισί* ή *κεπέγκι*, για το οποίο έχει γίνει ήδη λόγος. Τα δάπεδα και οι οροφές είναι στην πλειοψηφία τους ξύλινα. Η ράμπα ανόδου θυμίζει τους οφιοειδείς δρόμους του Μετσόβου, ενώ οι υπαίθριοι λιθόστρωτοι χώροι κίνησης και ο εξωτερικός κεκλιμένος χώρος στάθμευσης αυτοκινήτων παραπέμπουν στα λιθόστρωτα καλντερίμια με τις εγκάρσιες υπερυψωμένες λωρίδες κάθε 0,50-0,80m για την ασφάλεια του βηματισμού και την απορροή των υδάτων σε αυλάκι δεξιά ή αριστερά κατά τις ανάγκες (Χαρίσης, 1988). Ο μεγάλου ύψους μανδρότοιχος είναι άμεση αναφορά στις μεσοβίτικες κατοικίες με τις υψηλές μάντρες και τις σκεπαστές αυλόθυρες, οι οποίες σε συνδυασμό με τα στενά καλντερίμια και τις έντονες προεξοχές των στεγών και των σαχνισιών, δημιουργούσαν την αίσθηση του *«κλειστού χώρου με ανοίγματα κατά διαστήματα και όπου, λόγω μεγάλης κλίσης, οι οικοδομές υποχωρούν»* (Χαρίσης, 1988).

Παράλληλα, το κτιριακό συγκρότημα του ΜΕ.Κ.Δ.Ε. καταφέρνει να συγκεράσει τις ιδιαίτερες σχεδιαστικές και κλιματολογικές απαιτήσεις και τους μορφολογικούς περιορισμούς με το σύγχρονο τρόπο δόμησης. Ο φέρων οργανισμός του είναι από οπλισμένο σκυρόδεμα, με πλήρωση από οπτοπλινθοδομή (μπατική στους εξωτερικούς τοίχους, δρομική στους εσωτερικούς). Οι εξωτερικοί τοίχοι έχουν θερμομόνωση ικανοποιητικού πάχους (φτάνει μέχρι και τα 10cm), η οποία παρεμβάλλεται μεταξύ του φέροντος οργανισμού ή της οπτοπλινθοδομής και της εξωτερικής επένδυσης από πέτρα. Μόνωση έχει επίσης η οροφή και τα δάπεδα που έρχονται σε επαφή με το έδαφος και τους μη θερμαινόμενους χώρους. Τέλος, τα κουφώματα είναι ξύλινα με διπλούς υαλοπίνακες.

Τα παραπάνω καταδεικνύουν ότι κατά την κατασκευή του κτιρίου δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στην εξασφάλιση ενός καλού επιπέδου θερμομόνωσης. Ωστόσο θα πρέπει να αναφερθεί ότι η πρόχειρη αρμολόγηση σε ορισμένα σημεία διευκολύνει την είσοδο υγρασίας προς το εσωτερικό του κτιρίου, επηρεάζοντας αρνητικά τη θερμική του συμπεριφορά. Επιπλέον, τα οφέλη που επιτυγχάνονται από την τοποθέτηση διπλών υαλοπινάκων στα κουφώματα αντισταθμίζονται από τις ιδιαίτερα αυξημένες θερμικές απώλειες λόγω του υλικού κατασκευής τους (ξύλο), το οποίο σε ορισμένα σημεία παρουσιάζει κακή συναρμογή και αλλοιώσεις στο αρχικό σχήμα (πετσικάρισμα), ενώ σε πολλές περιπτώσεις επιτρέπει την εισροή αέρα στο κενό μεταξύ των υαλοπινάκων (Κατσουλάκος 2011).

Η κάλυψη των αναγκών σε θέρμανση γίνεται με δύο λέβητες πετρελαίου (OE COSTAR, ELINOX, 89,2% βαθμός απόδοσης). Η διανομή της θερμότητας πραγματοποιείται μέσω σωμάτων νερού (καλοριφέρ) και fan coil units, ενώ τέσσερις αναλογικοί θερμοστάτες ρυθμίζουν τη θερμοκρασία των εσωτερικών χώρων των τεσσάρων επιμέρους κτιρίων. Συμπληρωματικά, υπάρχουν ηλεκτρικά θερμικά σώματα τοποθετημένα στα υπνοδωμάτια του ξενώνα και σε κάποιους κοινόχρηστους χώρους. Οι λέβητες πετρελαίου σε συνδυασμό με ηλεκτρικούς θερμοαντήρες (boilers) διπλής ενέργειας, παράγουν τη θερμότητα για το ζεστό νερό χρήσης (ΖΝΧ), μέσω 2 δεξαμενών 300lt η κάθε μία. Στην αίθουσα εκδηλώσεων υπάρχει σύστημα ψύξης, ενώ τους χώρους υποδοχής και

στο κτίριο του εστιατορίου - κυλικείου είναι εγκατεστημένο σύστημα εξαερισμού. Κατά τη διάρκεια των ετών 2010-2013, η μέση ετήσια ποσότητα πετρελαίου που καταναλώθηκε ήταν 20.000lt, με μέσο ετήσιο κόστος περίπου τα 19.000€ (Κατσουλάκος 2011 και Βερροίου, 2014).

3.2 Η επιλογή του λογισμικού

Ένα από τα κυριότερα πλεονεκτήματα της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας είναι η ικανότητα παραγωγής μοντέλων ενεργειακής απόδοσης καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής ενός κτιρίου. Έτσι, καθίσταται δυνατή η πραγματοποίηση επαναλαμβανόμενων δοκιμών, η ανάλυση και η βελτίωση του σχεδιασμού ενός κτιρίου. Αυτή η διαδικασία είναι γνωστή ως Μελέτη Ενεργειακής Απόδοσης του Κτιρίου (Building Performance Analysis - BPA). Σύμφωνα με το Ν. 4122/13 (ΦΕΚ Α' 19.02.2013), η Μελέτη Ενεργειακής Απόδοσης ορίζεται ως «η μελέτη που αναλύει και αξιολογεί την απόδοση του ενεργειακού σχεδιασμού του κτιρίου ή της κτιριακής μονάδας» (άρθρο 2). Για τη Μελέτη της Ενεργειακής Απόδοσης του Κτιρίου θα πρέπει να ληφθούν υπόψη τα πραγματικά θερμικά χαρακτηριστικά του κτιρίου, η εγκατάσταση θέρμανσης και παροχής ζεστού νερού χρήσης (ΖΝΧ), η εγκατάσταση κλιματισμού, ο φυσικός και μηχανικός αερισμός, η εγκατάσταση γενικού φωτισμού, ο σχεδιασμός, η θέση και ο προσανατολισμός του κτιρίου, τα παθητικά και υβριδικά ηλιακά συστήματα και η ηλιακή προστασία, η παθητική θέρμανση και ο δροσισμός, οι κλιματικές συνθήκες εσωτερικού χώρου και τα εσωτερικά φορτία. Συμπληρωματικά, λαμβάνεται υπόψη η θετική επίδραση των ΑΠΕ, της ωφέλιμης θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας παραγόμενης με συμπαραγωγή, των συστημάτων τηλεθέρμανσης και τηλεψύξης σε κλίμακα περιοχής ή οικοδομικού τετραγώνου και του φυσικού φωτισμού (ΦΕΚ Α' 19.02.2013, άρθρο 3). Δεδομένου ότι τα αντικείμενα BIM εκτός από γεωμετρία περιλαμβάνουν και σημασιολογικά χαρακτηριστικά, είναι δυνατή η εκτίμηση του ενεργειακού κόστους, ο υπολογισμός της ετήσιας ενεργειακής κατανάλωσης, καθώς και η πιθανή εξοικονόμηση ενέργειας μέσω της υιοθέτησης εναλλακτικών σχεδιαστικών λύσεων.

Καθοριστικής σημασίας για την εξέλιξη της μελέτης ήταν η επιλογή του κατάλληλου λογισμικού για τη μοντελοποίηση του κτιρίου. Παρακάτω παρατίθεται μία μη εξαντλητική λίστα πακέτων λογισμικών BIM. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι κανένα πακέτο δεν υπερτερεί πλήρως έναντι ενός άλλου, ενώ υπάρχουν και επιπρόσθετα εργαλεία ανάλυσης τα οποία επιτρέπουν για παράδειγμα θερμική και ενεργειακή προσομοίωση, εκτίμηση κόστους, προγραμματισμό της κατασκευής, κ.ά. Έτσι, η επιλογή του κατάλληλου λογισμικού εξαρτάται από τις απαιτήσεις του χρήστη και τη σωστή ενημέρωσή του σχετικά με τις δυνατότητες και τους περιορισμούς του κάθε λογισμικού. Τα βασικά σημεία επιλογής του κατάλληλου πακέτου λογισμικού είναι (Langdon, 2012):

- Οι συνολικές δυνατότητες του λογισμικού:
 - εύρος υποστήριξης στην αγορά
 - μέγεθος και δυνατότητα διαχείρισης των βιβλιοθηκών (συμπεριλαμβανομένης της υποστήριξης για τα IFC συμβατά αντικείμενα)
 - εύρος των διαθέσιμων εργαλείων μοντελοποίησης (π.χ. μοντελοποίηση της κατασκευαστικής αλληλουχίας)
 - οπτική απεικόνιση και δυνατότητα εικονικών περιηγήσεων

- απαιτούμενο λειτουργικό σύστημα (π.χ. Windows, Mac OS X) και υλικό (hardware)
- Η διαλειτουργικότητα με άλλα συστήματα και υποστηρικτικά εργαλεία ανάλυσης
- Το κόστος και η ευκολία εγκατάστασης

Πίνακας 8. Μη εξαντλητική λίστα πακέτων λογισμικών BIM

Προμηθευτής πακέτου λογισμικού ανά τομέα εφαρμογής	Προϊόν
Αρχιτεκτονικές μελέτες	
Autodesk	Revit Architecture
Bentley	Architecture
Graphisoft	Archicad
Gehry Technologies	Digital Project
Στατικές μελέτες	
Autodesk	Revit Structure
Bentley	Structural Modeller
Design Data	SDS/2
Tekla	Tekla Structures
AceCad	StruCad
Ηλεκτρομηχανολογικές μελέτες	
Autodesk	Revit MEP
Bentley	Building Electrical Systems Building Mechanical Systems

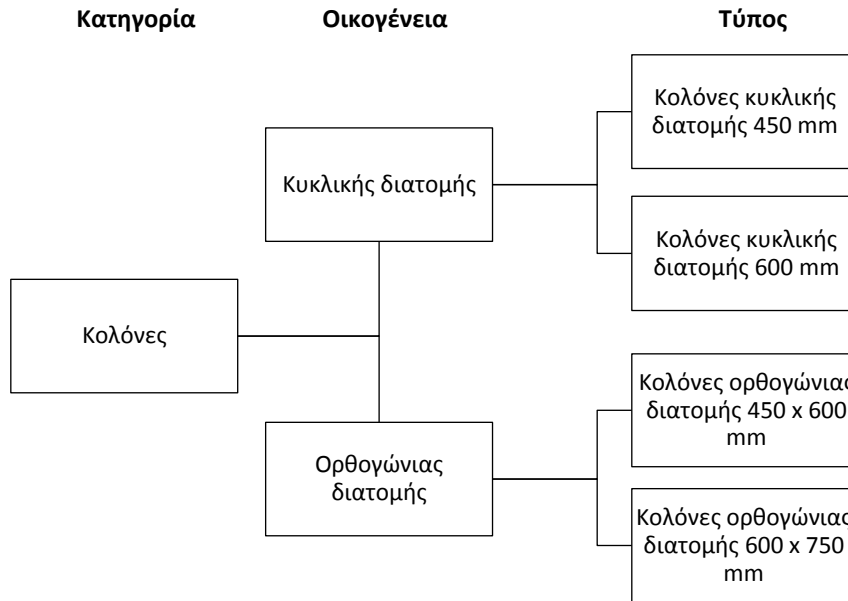
Πηγή: Langdon, 2012

Για το τρίτο μέρος της μελέτης, η επεξεργασία πραγματοποιήθηκε σε λογισμικό Revit Architecture. Όπως προαναφέρθηκε, το Revit αποτελεί από τον Απρίλιο του 2002 προϊόν της Autodesk, μετά την εξαγορά της Revit Technologies Inc (πρώην Charles River Software). Σήμερα, η πλατφόρμα του Revit περιλαμβάνει το Revit Architecture, το Revit Structure και το Revit MEP (για το σχεδιασμό των μηχανολογικών, ηλεκτρικών και υδραυλικών εγκαταστάσεων). Το Revit Architecture αποτελεί ένα πακέτο μοντελοποίησης κτιριακών δεδομένων με χρήση της παραμετρικής τεχνολογίας και ως εκ τούτου τα αντικείμενα ορίζονται με βάση τις παραμέτρους. Επιπλέον, κάθε αντικείμενο ταξινομείται με βάση τη λειτουργία του στο κτίριο (π.χ. πόρτες, παράθυρα, δομικά στοιχεία, στοιχεία επίπλωσης, κ.λπ.), ενώ η σχέση μεταξύ τους βασίζεται επίσης στην αρχιτεκτονική τους λειτουργία (π.χ. οι τοίχοι μπορούν να φιλοξενήσουν ανοίγματα). Ακόμη, η θέση, το μέγεθος και άλλες ιδιότητες των αντικειμένων μπορούν να προσδιοριστούν έμμεσα μέσω περιορισμών και σχέσεων με άλλα αντικείμενα (π.χ. μία πόρτα πρέπει να βρίσκεται στο μέσο ενός τοίχου, ανεξαρτήτως του μήκους του τοίχου ή ένα παράθυρο θα βρίσκεται σε σταθερή απόσταση από ένα άλλο). Με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται ο συνεχής έλεγχος των διαστάσεων και της θέσης των αντικειμένων κατά

τη διάρκεια του σχεδιασμού (Fox and Balding, 2009). Η ιεραρχία που αναπτύσσεται μεταξύ των αντικειμένων εκφράζεται μέσω των κατηγοριών (categories), των οικογενειών (families) και των τύπων (types). Η **κατηγορία** είναι μία ομάδα αντικειμένων που χρησιμοποιούνται για τη μοντελοποίηση του κτιρίου (π.χ. τοίχος, δοκάρι, κ.λπ.). Η **οικογένεια** αφορά στην ιεράρχηση των αντικειμένων μίας κατηγορίας. Μία οικογένεια είναι μία ομάδα στοιχείων με ένα κοινό σύνολο παραμέτρων, παρόμοιας χρήσης, και παρόμοιας γραφικής απεικόνισης. Διαφορετικά αντικείμενα σε μία οικογένεια μπορούν να έχουν διαφορετικές τιμές σε κάποιες ή όλες τις ιδιότητές τους, αλλά το σύνολο των ιδιοτήτων – το όνομά τους και η σημασία τους – είναι κοινό. Για παράδειγμα, όλες οι πόρτες των έξι πάνελ μπορούν να θεωρηθούν μία οικογένεια, παρά το γεγονός ότι έχουν διαφορετικές διαστάσεις και υλικά. Υπάρχουν τρία είδη οικογενειών (Autodesk, 2010):

- *Loadable families* είναι οι οικογένειες που μπορούν να εισαχθούν σε ένα αρχείο, ενώ δημιουργούνται από πρότυπα (templates) οικογενειών. Οι ιδιότητες και η γραφική απεικόνιση αυτών των οικογενειών καθορίζονται από το χρήστη.
- Ο όρος *system families* αναφέρεται στις οικογένειες που περιλαμβάνουν τους τοίχους, τις διαστάσεις, τις οροφές, τις στέγες, τα πατώματα και τα επίπεδα, ενώ δεν μπορούν να εισαχθούν σε ένα αρχείο ή να δημιουργηθούν ως ξεχωριστά αρχεία. Το Revit Architecture προκαθορίζει το σύνολο των ιδιοτήτων και τη γραφική απεικόνιση αυτών των οικογενειών. Ωστόσο, είναι εφικτή η χρήση των προκαθορισμένων τύπων για τη δημιουργία νέων της ίδιας οικογένειας. Για παράδειγμα, αν και η συμπεριφορά ενός τοίχου είναι προκαθορισμένη, είναι δυνατή η δημιουργία διαφορετικών τύπων τοίχων με διαφορετική σύνθεση. Επίσης, είναι δυνατή η ανταλλαγή αυτών των βιβλιοθηκών μεταξύ διαφορετικών αρχείων.
- Οι οικογένειες *in-place* ορίζουν στοιχεία μοναδικής γεωμετρίας (custom elements), τα οποία αναμένεται να έχουν περιορισμένη χρήση στο μοντέλο. Για το λόγο αυτό περιέχουν ένα μόνο τύπο.

Τέλος, κάθε οικογένεια μπορεί να περιέχει πολλούς **τύπους**. Ένας τύπος μπορεί να εκπροσωπεί ένα συγκεκριμένο μέγεθος ή στυλ μίας οικογένειας, ως υποσύνολο της οικογένειας. Παρακάτω απεικονίζεται διαγραμματικά ένα παράδειγμα ιεραρχίας κατηγοριών, οικογενειών και τύπων.



Γράφημα 18. Παράδειγμα διάρθρωσης της ιεραρχίας της κατηγορίας «κολόνα»

Πηγή: Autodesk, 2010, ίδια επεξεργασία

Επιπλέον, στο Revit Architecture υπάρχουν τρεις κατηγορίες **αντικειμένων**:

- Τα *αντικείμενα μοντελοποίησης (model elements)* τα οποία αντιπροσωπεύουν την πραγματική 3D γεωμετρία του κτιρίου, π.χ. τοίχοι, παράθυρα, πόρτες, στέγες.
- *Αντικείμενα αναφοράς (datum elements)* ονομάζονται τα στοιχεία εκείνα τα οποία πλαισιώνουν το σχεδιασμό όπως είναι οι κίονες, οι στάθμες και τα επίπεδα αναφοράς.
- Τα *αντικείμενα εμφάνισης (view-specific elements)* εμφανίζονται μόνο στην όψη στην οποία έχουν τοποθετηθεί και συμβάλουν στην περιγραφή ή στην τεκμηρίωση του μοντέλου. Τέτοια αντικείμενα αποτελούν οι διαστάσεις, τα στοιχεία κειμένου και τα δισδιάστατα στοιχεία όπως οι διακεκομμένες γραμμές και οι διαγραμμίσεις.

Σχετικά με τις ιδιότητες των αντικειμένων οι οποίες ορίζουν τη μορφή και τη συμπεριφορά τους, αυτές χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- Οι *ιδιότητες τύπου (type properties)* είναι κοινές για όλα τα αντικείμενα μίας οικογένειας, ενώ έχουν την ίδια τιμή για όλα τα αντικείμενα ενός συγκεκριμένου τύπου. Για παράδειγμα, όλα τα αντικείμενα που ανήκουν στην οικογένεια των γραφείων έχουν την ιδιότητα του πλάτους, αλλά η τιμή της ποικίλλει ανάλογα με τον κάθε τύπο. Έτσι, η αλλαγή της τιμής μίας ιδιότητας επηρεάζει όλα τα αντικείμενα του συγκεκριμένου τύπου.
- Οι *ιδιότητες αντικειμένου (instance properties)* είναι κοινές για όλα τα αντικείμενα ενός συγκεκριμένου τύπου, αλλά οι τιμές τους μπορούν να ποικίλουν

ανάλογα με τη θέση ενός αντικειμένου στο μοντέλο. Για παράδειγμα, οι διαστάσεις ενός παραθύρου ή οι διαστάσεις της διατομής μίας δοκού αποτελούν ιδιότητες τύπου, ενώ το ύψος της ποδιάς και το μήκος της δοκού, αντίστοιχα, αποτελούν ιδιότητες αντικειμένου. Η τροποποίηση της τιμής μίας ιδιότητας αντικειμένου επηρεάζει μόνο τα επιλεγμένα στοιχεία.

Όσον αφορά στην ενεργειακή ανάλυση, αυτή πραγματοποιήθηκε σε συνδυασμό με το διαδικτυακό λογισμικό Green Building Studio της Autodesk μέσω του gbXML format (Green Building Extensive Markup Language). Το gbXML διευκολύνει τη μεταφορά των ιδιοτήτων ενός κτιρίου μέσω διαδικτύου, οι οποίες αποθηκεύονται σε τρισδιάστατα μοντέλα κτιριακών πληροφοριών.

Μία από τις πιο χρονοβόρες διαδικασίες της Μελέτης Ενεργειακής Απόδοσης ενός κτιρίου είναι οι απαιτούμενες ρυθμίσεις για τη διενέργεια της ανάλυσης. Αυτό συχνά περιλαμβάνει την επαναδημιουργία της γεωμετρίας του κτιρίου, καθώς και τον καθορισμό των απαραίτητων μεταβλητών του εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος του κτιρίου. Ωστόσο, μετά την κυκλοφορία της οικογένειας προϊόντων Revit το 2008, η παραπάνω διαδικασία απλοποιήθηκε μέσω της δυνατότητας άμεσης εξαγωγής αρχείων gbXML από το περιβάλλον εργασίας του Revit (Autodesk, 2007).

Το Green Building Studio παρουσιάστηκε για πρώτη φορά το 2004 και μέχρι το 2007 είχε πιστοποιηθεί από το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ²⁸. Η σύνδεση με την πλατφόρμα του Revit πραγματοποιείται μέσω μίας προσθήκης (plug-in) που επιτρέπει στους εγγεγραμμένους χρήστες να έχουν πρόσβαση στην υπηρεσία απευθείας από το περιβάλλον εργασίας του Revit. Για την προσομοίωση της ενεργειακής απόδοσης ενός κτιρίου χρησιμοποιείται η μηχανή προσομοίωσης DOE-2, η οποία αναπτύχθηκε από τον James J. Hirsch & Associates (JH) σε συνεργασία με το Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL), χρηματοδοτούμενη κυρίως από το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ (United States Department of Energy, USDOE) και ένα ευρύ φάσμα οργανισμών της κατασκευαστικής βιομηχανίας.

Η διαδικτυακή υπηρεσία (cloud-based) του Green Building Studio επιτρέπει την ανάλυση της κατανάλωσης ενέργειας, της διαχείρισης νερού και των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα ενός κτιρίου το οποίο έχει σχεδιαστεί σε λογισμικό Revit. Αυτό απλοποιεί τη διαδικασία της ανάλυσης και επιτρέπει την άμεση ανατροφοδότηση σχετικά με το σχεδιασμό εναλλακτικών λύσεων, καθιστώντας το σχεδιασμό «πράσινων» κτιρίων πιο αποτελεσματικό και οικονομικά αποδοτικό (Autodesk, 2008). Η διερεύνηση εναλλακτικών λύσεων σχεδιασμού πραγματοποιείται μέσω της τροποποίησης των

²⁸ Βασική προϋπόθεση για την πιστοποίηση του Green Building Studio ήταν να ακολουθεί το πρότυπο ASHRAE Standard 140 το οποίο σχετίζεται με την αξιολόγηση των λογισμικών ανάλυσης της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων (Επιτροπή Έργου ASHRAE Standard 140, επίσημη ιστοσελίδα).

παραμέτρων του σχεδιασμού (π.χ. προσανατολισμός, συντελεστής θερμοπερατότητας υλικών), είτε μέσω απλών αναπτυσσόμενων (drop-down) μενού στο Green Building Studio, είτε αναθεωρώντας ορισμένες από τις παραμέτρους στο Revit. Επανεκτελώντας την ανάλυση, το αποτέλεσμα της αλλαγής γίνεται άμεσα ορατό στην προσομοίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιρίου, καθώς και στην εκτίμηση του κόστους. Το αποτέλεσμα της ανάλυσης αφορά στον υπολογισμό της κατανάλωσης και του κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας και των καυσίμων, καθώς και στην εκτίμηση της δυνατότητας επίτευξης ουδέτερου ισοζυγίου του άνθρακα βάσει του διαθέσιμου δυναμικού των ΑΠΕ και της δυνατότητας φυσικού αερισμού και χρήσης βιοκαυσίμων. Επιπλέον, περιλαμβάνει τον υπολογισμό της κατανάλωσης νερού και τη μελέτη της αποδοτικής χρήσης του, τον υπολογισμό της βαθμολογίας ENERGY STAR²⁹, τη μελέτη της επάρκειας του φυσικού φωτισμού και τη διερεύνηση εναλλακτικών σχεδιαστικών επιλογών.

²⁹ Πιστοποίηση προϊόντων τα οποία πληρούν ορισμένες προδιαγραφές ενεργειακής απόδοσης. Η πιστοποίηση ENERGY STAR δημιουργήθηκε από την κυβέρνηση των ΗΠΑ για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και άλλες ρυπογόνες ουσίες που προκαλούνται από τη μη αποδοτική χρήση της ενέργειας. Για παράδειγμα, για τη λήψη πιστοποίησης LEED, είναι απαραίτητη η χρήση προϊόντων (π.χ. κλιματιστικά, εξοπλισμός θέρμανσης, παράθυρα, λαμπτήρες φωτισμού, κ.λπ.) με πιστοποίηση ENERGY STAR.

3.3 Η διαδικασία της μοντελοποίησης

Κατασκευή του μοντέλου κτιριακής πληροφορίας

Η μοντελοποίηση βασίστηκε στα αρχιτεκτονικά σχέδια (κατόψεις, όψεις, τομές) που χρησιμοποιήθηκαν για τη σύσταση του φακέλου της οικοδομικής αδείας, τα οποία είχαν δημιουργηθεί χρησιμοποιώντας «παραδοσιακές» μεθόδους σχεδιασμού, δηλαδή 2D σχέδια CAD. Σε πρώτο στάδιο, δημιουργήθηκαν οι στάθμες του κτιριακού συγκροτήματος. Οι στάθμες είναι οριζόντια επίπεδα που εκτείνονται στο άπειρο και λειτουργούν ως επίπεδα αναφοράς για τη διευκόλυνση της τοποθέτησης των διαφόρων αντικειμένων όπως τα δάπεδα, οι στέγες και οι οροφές. Ο αριθμός τους συνήθως ταυτίζεται με τον αριθμό των επιπέδων ενός κτιρίου, ωστόσο στάθμες μπορούν να δημιουργηθούν για κάθε επίπεδο που χρειάζεται αναφορά, π.χ. στάθμη θεμελίωσης. Το βάθος της απεικόνισης ορίζεται από το χρήστη, προκειμένου να απεικονίζεται ό,τι είναι επιθυμητό. Οι στάθμες των επιπέδων κάθε κτιρίου απεικονίζονται στον πίνακα 6. Όπως προκύπτει από τον πίνακα, συνολικά το κτιριακό συγκρότημα αναπτύσσεται σε έντεκα διαφορετικές στάθμες, χωρίς να προσμετρούνται οι στάθμες των στεγών. Ωστόσο, για την απλοποίηση της διαδικασίας της μοντελοποίησης, δημιουργήθηκαν οκτώ στάθμες, με τις υπόλοιπες τρεις να ορίζονται συναρτήσει των υφιστάμενων στάθμεων. Για παράδειγμα, οι στάθμες +0,10 και +3,45 του κτιρίου του Ξενώνα ορίστηκαν ως 0,10m υψηλότερα και 0,05m χαμηλότερα από τις στάθμες +0,00 και +3,50, αντίστοιχα. Έτσι, δημιουργήθηκαν οι εξής στάθμες (χωρίς να προσμετρούνται οι στάθμες των στεγών, όπου δημιουργήθηκε μία για κάθε κτίριο): -6,35, -3,80, -3,25, +0,00, +3,40, +3,50, +6,65 και +9,85.

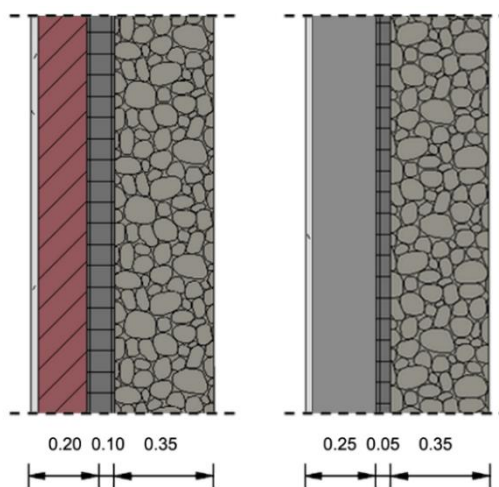
Στη συνέχεια, σε κάθε στάθμη εισήχθησαν οι κατόψεις των επιμέρους κτιρίων σε μορφή .dwg, αφού πρώτα δόθηκε προσοχή στη μετατροπή των μονάδων (units). Η μοντελοποίηση των διαφόρων αντικειμένων ακολούθησε την ίδια λογική με την εισαγωγή των κατόψεων, πραγματοποιήθηκε δηλαδή ανάλογα με τη στάθμη στην οποία άνηκε το κάθε αντικείμενο, με οδηγό το «ίχνος» της δυσδιάστατης κάτοψης. Οι κατηγορίες των αντικειμένων μοντελοποίησης που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τοιχοποιίες, πλάκες, στέγες, πόρτες, παράθυρα, κλίμακες, κιγκλιδώματα, ράμπες, ανοίγματα (τοιχών) και επιφάνεια εδάφους. Για την κατασκευή του μοντέλου δημιουργήθηκαν συνολικά 1.974 αντικείμενα. Ενδεικτικά παρουσιάζονται οι τύποι των αντικειμένων για την κατηγορία τοιχοποιίες (*walls*, πίνακας 9). Με βάση τα αρχιτεκτονικά σχέδια, επιδιώχθηκε η απόδοση της σύνθεσης των διαφόρων τύπων της τοιχοποιίας με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να αναφερθεί ότι η εξαγωγή του παρακάτω πίνακα έγινε σε μεγάλο βαθμό στο ίδιο το πρόγραμμα. Η οργάνωση και εποπτεία των επιμέρους στοιχείων ενός μοντέλου βάσει ορισμένων ιδιοτήτων τις οποίες προεπιλέγει ο χρήστης (π.χ. τύπος, διαστάσεις, επιφάνεια, όγκος, κόστος, θερμικές ιδιότητες, στοιχεία κατασκευαστή, κ.λπ.), αποτελεί βασικό πλεονέκτημα της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας.

Πίνακας 9. Τύποι της κατηγορίας *τοιχοποιίες* που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του μοντέλου. Η σύνθεση αναφέρεται στη δομή των υλικών από τον εξωτερικό προς τον εσωτερικό χώρο.

Περιγραφή	Πάχος (cm)	Ποσότητα
Εσωτερικές τοιχοποιίες		
Σύνθεση: Ασβεστοκονίαμα - Οπτοπλινθοδομή (δρομική ή μπατική) - Ασβεστοκονίαμα		
Γενικός Εσωτερικός 10cm	10	210
Γενικός Εσωτερικός 15cm	15	3
Γενικός Εσωτερικός 20cm	20	90
Γενικός Εσωτερικός 25cm	25	13
Γενικός Εσωτερικός 30cm	30	3
Σύνθεση: Ασβεστοκονίαμα - Οπτοπλινθοδομή (δρομική) - Αέρας - Οπτοπλινθοδομή (δρομική) - Ασβεστοκονίαμα		
Γενικός Εσωτερικός 25cm (αέρας: 5cm)	25	8
Σύνθεση: Ασβεστοκονίαμα – Οπλισμένο σκυρόδεμα - Ασβεστοκονίαμα		
Εσωτερικό Τοιχείο 10cm	10	13
Εσωτερικό Τοιχείο 15cm	15	2
Εσωτερικό Τοιχείο 20cm	20	32
Εσωτερικό Τοιχείο 25cm	25	144
Εσωτερικό Τοιχείο 30cm	30	86
Εσωτερικό Τοιχείο 35cm	35	5
Εσωτερικό Τοιχείο 50cm	50	4
Τοιχοποιίες μεσοτοιχίας κτιρίων		
Σύνθεση: Οπτοπλινθοδομή (δρομική ή μπατική) - Ασβεστοκονίαμα		
Τοίχος μεσοτοιχίας 10cm	10	10
Τοίχος μεσοτοιχίας 20cm	20	1
Τοίχος μεσοτοιχίας 25cm	25	4
Τοίχος μεσοτοιχίας 30cm	30	7
Σύνθεση: Οπλισμένο σκυρόδεμα - Ασβεστοκονίαμα		
Τοιχείο μεσοτοιχίας 25cm	25	114
Τοιχείο μεσοτοιχίας 30cm	30	5
Σύνθεση: Θερμομόνωση - Οπλισμένο σκυρόδεμα - Ασβεστοκονίαμα		
Τοιχείο μεσοτοιχίας με μόνωση 30cm (θερμομόνωση: 5cm)	30	34
Εξωτερικές τοιχοποιίες		
Σύνθεση: Λιθοδομή - Θερμομόνωση - Οπτοπλινθοδομή (μπατική) - Ασβεστοκονίαμα		
Εξωτερικός Τοίχος με πέτρα 50cm (λιθοδομή: 15cm, θερμομόνωση: 10cm)	50	6
Εξωτερικός Τοίχος με πέτρα 65cm (λιθοδομή: 35cm, θερμομόνωση: 10cm)	65	102

Σύνθεση: Ασβεστοκονίαμα - Οπτοπλινθοδομή (δρομική) - Θερμομόνωση - Οπτοπλινθοδομή (δρομική) - Ασβεστοκονίαμα		
Γενικός Εξωτερικός με μόνωση 25cm (θερμομόνωση: 5cm)	25	29
Σύνθεση: Λιθοδομή - Θερμομόνωση - Οπλισμένο σκυρόδεμα - Ασβεστοκονίαμα		
Εξωτερικό Τοιχείο με πέτρα 65cm (λιθοδομή: 35cm, θερμομόνωση: 5cm)	65	241
Εξωτερικές διαμορφώσεις		
Σύνθεση: Λιθοδομή - Οπλισμένο σκυρόδεμα - Λιθοδομή		
Επενδεδυμένο τοιχείο 50cm (λιθοδομή: 15cm, οπλισμένο σκυρόδεμα 20cm)	50	137
Επενδεδυμένο τοιχείο 40cm (λιθοδομή: 15cm, οπλισμένο σκυρόδεμα 10cm)	40	3
Σύνολο		1306

Από τον πίνακα παρατηρούμε ότι οι συνηθέστερα χρησιμοποιούμενοι τύποι για τις εξωτερικές τοιχοποιίες αποτελούνται από λιθοδομή πάχους 35cm, θερμομόνωση (διογκωμένη πολυστερίνη) πάχους 5-10cm και οπτοπλινθοδομή (μπατική) πάχους 20cm ή οπλισμένο σκυρόδεμα πάχους 25cm (συμπεριλαμβανομένου του πάχους του ασβεστοκονιάματος), ανάλογα με τη λειτουργία της τοιχοποιίας ως φέρουσας ή μη. Η σύνθεση των δύο αυτών τύπων απεικονίζεται στην εικόνα 33.



Εικόνα 33. Σχηματική τομή των δύο συνηθέστερα χρησιμοποιούμενων τύπων εξωτερικών τοιχοποιιών σε κλίμακα 1:25.

Στη συνέχεια, για κάθε υλικό επιλέχθηκε η γραφική αναπαράστασή του, η οποία αφορά στο χρώμα και στο μοτίβο που θα έχει η επιφάνεια του υλικού σε τομή και όψη. Ακόμη, επιλέχθηκαν οι θερμικές ιδιότητές του, απαραίτητες για τη διεξαγωγή της ενεργειακής ανάλυσης του έργου (energy analysis), οι οποίες περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω. Γενικά, ο χρήστης έχει επιπλέον τη δυνατότητα να ορίσει την εμφάνιση του υλικού για τη δημιουργία φωτορεαλιστικών απεικονίσεων, να ορίσει τις φυσικές ιδιότητές του για τη

διεξαγωγή της δομικής ανάλυσης του έργου (structural analysis), ενώ μπορεί να εισάγει και επιπρόσθετες πληροφορίες που αφορούν στο κάθε αντικείμενο όπως μία σύντομη περιγραφή του, τον κατασκευαστή, το μοντέλο, το κόστος, τον σύνδεσμο (link), κ.λπ.

Από το μοντέλο κτιριακής πληροφορίας στο μοντέλο ενεργειακής απόδοσης

Κατά την εισαγωγή του μοντέλου στο Green Building Studio, ήταν απαραίτητη η εισαγωγή ορισμένων πληροφοριών όπως ο τύπος του κτιρίου, το πρόγραμμα κατάληψης του από τους χρήστες του χώρου (building occupancy schedule), το πρόγραμμα λειτουργίας του (building operating schedule), η τοποθεσία, η κατηγορία της εξαγωγής (export category), η πολυπλοκότητα της εξαγωγής (export complexity) και ο υπολογισμός ή όχι των θερμικών ιδιοτήτων. Εν συνεχεία περιγράφεται αναλυτικά ο τρόπος υπολογισμού κάθε παραμέτρου.

Αρχικά, για τη διεξαγωγή της ενεργειακής ανάλυσης ενός κτιρίου, ο χρήστης θα πρέπει να εισάγει δεδομένα που αφορούν στον **τύπο** του κτιρίου. Με αυτόν τον τρόπο και σε συνδυασμό με την τοποθεσία, τα μετεωρολογικά δεδομένα, το πρόγραμμα κατάληψης και το πρόγραμμα λειτουργίας του κτιρίου (αναλύονται παρακάτω), μπορούν να υπολογιστούν με μεγαλύτερη ακρίβεια οι ενεργειακές απαιτήσεις για φωτισμό, θέρμανση, κλιματισμό και εξαερισμό. Οι παραδοχές που γίνονται ανά τύπο κτιρίου βασίζονται στα πρότυπα ASHRAE. Λόγω του ότι πρόκειται για κτίριο μικτών χρήσεων, η επιλογή του τύπου του κτιρίου σχετίζεται με τις επιμέρους παραμέτρους που αφορούν στην κάθε κατηγορία. Παρακάτω παρατίθενται οι παράμετροι που αφορούν στις κατηγορίες «Σχολείο ή Πανεπιστήμιο», «Motel» και «Κοιτώνας».

Πίνακας 10. Παράμετροι ανά τύπο κτιρίου.

Παράμετρος	Τιμή ανά τύπο κτιρίου		
	Σχολείο ή Πανεπιστήμιο	Motel	Κοιτώνας
Αριθμός ατόμων / 100m ²	25	2,5	10
Αισθητό θερμικό κέρδος που προκαλείται από τους ανθρώπους (W/άτομο)	73	73	73
Λανθάνον θερμικό κέρδος που προκαλείται από τους ανθρώπους (W/άτομο)	59	59	59
Φορτία φωτισμού (W/m ²)	12,9	10,9	10,9
Φορτία εξοπλισμού (W/m ²)	10,8	5,4	10,8
Φορτία εξαερισμού (ACH)	0,25	0,25	0,25
Παροχή εξωτερικού αέρα ανά άτομο (λίτρα ανά δευτερόλεπτο)	7,8	5,5	4
Παροχή εξωτερικού αέρα ανά χώρο (κυβικά μέτρα ανά ώρα ανά m ²)	3,7	3,7	3,7
Ρύθμιση θερμοκρασίας για ψύξη όταν ο χώρος δεν είναι κατειλημμένος (°C)	29,4	29,4	29,4

Πηγή: Autodesk, επίσημη ιστοσελίδα.

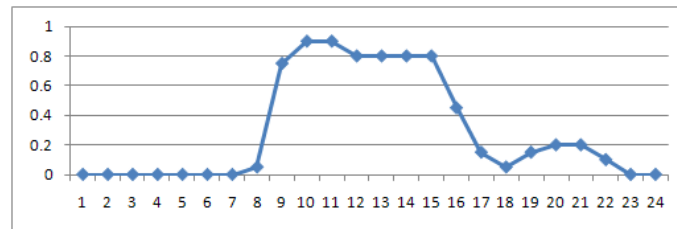
Για την καλύτερη κατανόηση των παραπάνω παραμέτρων, θα πρέπει να πρέπει να σημειωθεί ότι η διαδικασία κλιματισμού του αέρα μπορεί να έχει ως στόχο είτε την αύξηση της θερμοκρασίας (θέρμανση) είτε τη μείωση της θερμοκρασίας (ψύξη) του αέρα και κατά συνέπεια του κλιματιζόμενου χώρου. Η διαδικασία της θέρμανσης προσθέτει αισθητή θερμότητα στο χώρο (η θερμότητα που απαιτείται για τη μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα χωρίς να μεταβάλλεται το περιεχόμενο του σε υγρασία), ενώ η διαδικασία της ψύξης αφαιρεί αισθητή θερμότητα. Στην περίπτωση που ο αέρας δεν έχει την απαραίτητη ποσότητα υγρασίας, τότε αυτή προστίθεται μέσω της κλιματιστικής συσκευής. Η διαδικασία ύγρυνσης του αέρα λαμβάνει χώρα με την προσθήκη λανθάνουσας θερμότητας (η θερμότητα που απαιτείται για τη μεταβολή μίας ποσότητας του νερού σε υδρατμό, χωρίς να μεταβληθεί η θερμοκρασία ή η πίεση του αέρα) μέσω του υγραντήρα και αποτελεί στοιχείο μίας κεντρικής κλιματιστικής μονάδας (Πατρωνάκη, 2012).

Επιπλέον, τα *φορτία φωτισμού* (lighting loads) εκφράζουν την ενέργεια που απαιτείται για την τροφοδότηση του φωτισμού. Αποτελούν περίπου το ένα τρίτο της της ενεργειακής κατανάλωσης των εμπορικών κτιρίων στις ΗΠΑ, με το αντίστοιχο ποσοστό για τα κτίρια κατοικιών να κυμαίνεται στο 10-15%. Τα *φορτία εξοπλισμού* (equipment loads) εκφράζουν την ενέργεια που απαιτείται για την τροφοδότηση του εξοπλισμού ενός κτιρίου, όπως των ηλεκτρονικών υπολογιστών και των ηλεκτρικών συσκευών. Αποτελούν το 20-30% των συνολικών ενεργειακών φορτίων των εμπορικών κτιρίων στις ΗΠΑ και το 15-20% των κτιρίων κατοικίας, με τα ποσοστά να αυξάνονται συνεχώς λόγω της αυξανόμενης χρήσης των ηλεκτρονικών και ηλεκτρικών συσκευών (Autodesk, Sustainability Workshop, επίσημη ιστοσελίδα). Παράλληλα, τα *φορτία εξαερισμού* μετρούνται σε ACH (Air Changes per Hour - Εναλλαγές Αέρα ανά Ώρα) και εκφράζουν το ρυθμό διείσδυσης του αέρα ανά ώρα, διαιρεμένο με τον όγκο του κτιρίου. Υπολογίζονται πολλαπλασιάζοντας τον ογκομετρικό ρυθμό ροής του εξωτερικού αέρα σε ένα κτίριο, ο οποίος συνήθως μετράται σε κυβικά πόδια ανά λεπτό (Cubic Feet per Minute - CFM) ή λίτρα ανά δευτερόλεπτο (Liters per Second - LPS), επί 60 και διαιρώντας με τον όγκο του κτιρίου.

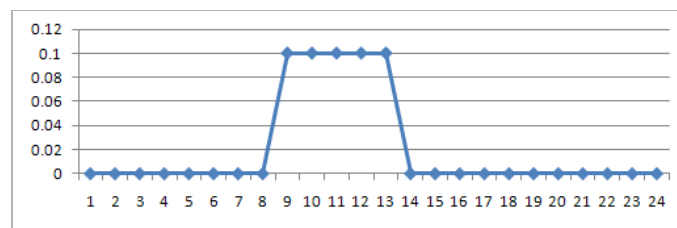
Από τον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε ότι οι διαφορές στις τιμές των διαφόρων παραμέτρων των τριών κτιριακών τύπων δεν είναι μεγάλες, ενώ εστιάζονται στο διαφορετικό αριθμό ατόμων, στα διαφορετικά φορτία φωτισμού και εξοπλισμού και στις διαφορετικές απαιτήσεις εξαερισμού. Η βασικότερη διαφορά έγκειται στον αριθμό των ατόμων, ο οποίος στην κατηγορία «Σχολείο ή Πανεπιστήμιο» τίθεται στα 25 άτομα ανά 100m², ποσοστό το οποίο θεωρείται αρκετά υψηλό για το εξεταζόμενο κτιριακό συγκρότημα. Ωστόσο για την επιλογή του κατάλληλου τύπου κτιρίου, έπρεπε να εξεταστεί και το **πρόγραμμα κατάληψης του κτιρίου** από τους χρήστες του χώρου (building occupancy schedule), το οποίο σχετίζεται άμεσα με τον τύπο του κτιρίου. Όπως και προηγουμένως, οι παραδοχές που γίνονται ανά τύπο κτιρίου βασίζονται στα πρότυπα ASHRAE και στοχεύουν στον υπολογισμό των ενεργειακών απαιτήσεων του κτιρίου με περισσότερη ακρίβεια. Για κάθε πρόγραμμα, τα παρακάτω διαγράμματα παρέχουν

ωριαίες τιμές για περίοδο 24 ωρών. Οι τιμές (0-1 στον άξονα γ) εκφράζουν το ποσοστό των ατόμων που καταλαμβάνουν τη συγκεκριμένη ώρα το κτίριο.

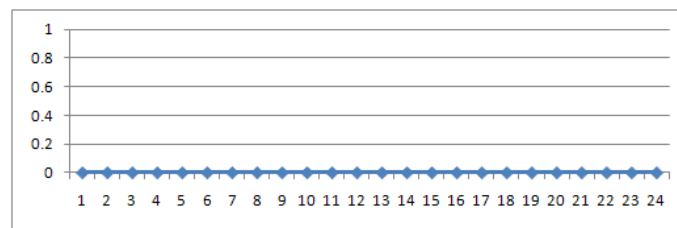
Για τον τύπο κτιρίου «Σχολείο ή Πανεπιστήμιο», το πρόγραμμα κατάληψης του κτιρίου θεωρείται το εξής:



Εργάσιμες ημέρες



Σάββατο

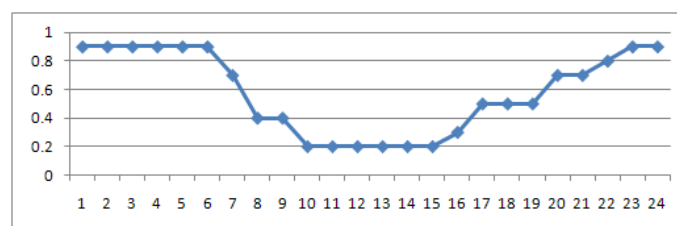


Κυριακή

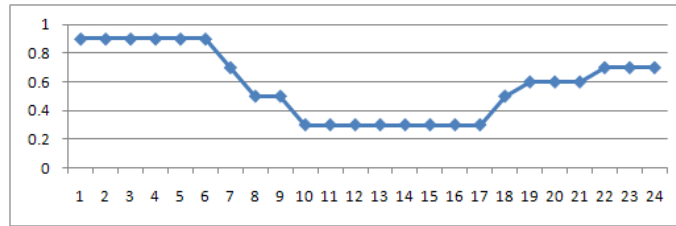
Εικόνα 34. Πρόγραμμα κατάληψης του τύπου κτιρίου «Σχολείο ή Πανεπιστήμιο»

Πηγή: Autodesk, επίσημη ιστοσελίδα

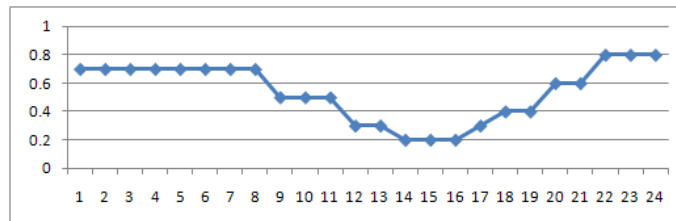
Θα πρέπει να σημειωθεί ότι κατά τη διάρκεια των περιόδων σχολικής αργίας, το πρόγραμμα λαμβάνει υπόψη ότι το ποσοστό των χρηστών του κτιρίου είναι μηδενικό για όλες τις ώρες της ημέρας. Για τον τύπο κτιρίου «Motel», το πρόγραμμα κατάληψης του κτιρίου θεωρείται το εξής:



Εργάσιμες ημέρες



Σάββατο

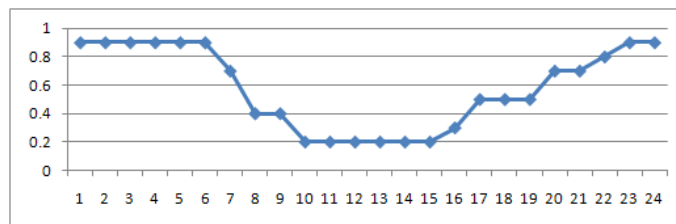


Κυριακή

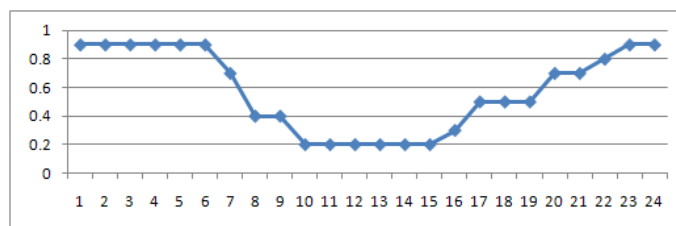
Εικόνα 35. Πρόγραμμα κατάληψης του τύπου κτιρίου «Motel»

Πηγή: Autodesk, επίσημη ιστοσελίδα

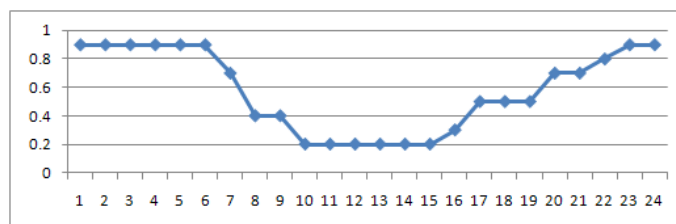
Για τον τύπο κτιρίου «Κοιτώνας», το πρόγραμμα κατάληψης του κτιρίου θεωρείται το ίδιο με τον τύπο «Κατοικία» ως εξής:



Εργάσιμες ημέρες



Σάββατο



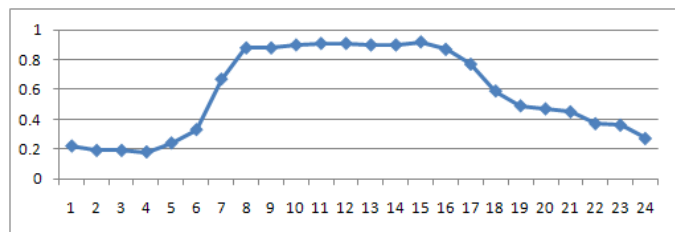
Κυριακή

Εικόνα 36. Πρόγραμμα κατάληψης του τύπου κτιρίου «Κατοικία»

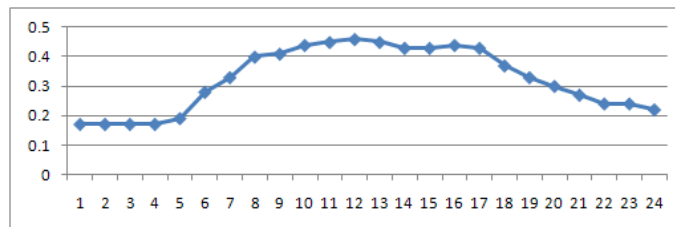
Πηγή: Autodesk, επίσημη ιστοσελίδα

Παρατηρώντας τα παραπάνω γραφήματα, συμπεραίνουμε ότι για την κατηγορία «Σχολείο ή Πανεπιστήμιο», ο αριθμός των χρηστών κατά τις μη εργάσιμες ώρες και ημέρες, θεωρείται μηδενικός. Συνεπώς ο συγκεκριμένος τύπος κτιρίου θα πρέπει να απορριφθεί καθώς γνωρίζουμε ότι οι κτιριακές εγκαταστάσεις του ΜΕ.Κ.Δ.Ε. βρίσκονται σε συνεχή λειτουργία καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας και του έτους. Οι ώρες κατάληψης των κτιρίων στις κατηγορίες «Motel» και «Κοιτώνας» είναι παρόμοιες, με τον αριθμό των χρηστών να εμφανίζεται μεγαλύτερος κατά τις βραδινές ώρες. Θα επιλεχθεί ωστόσο η κατηγορία «Motel» λόγω του αριθμού ατόμων που φιλοξενεί (2,5 άτομα/100m²) και των φορτίων εξοπλισμού (5,4W/m²).

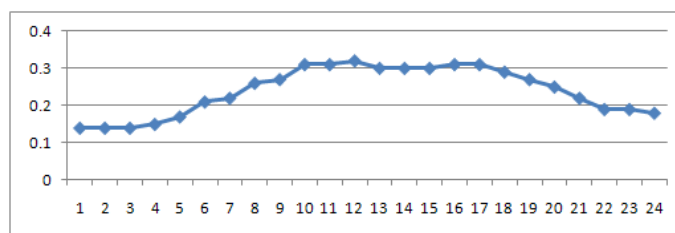
Με την ίδια λογική όπως και παραπάνω, το **πρόγραμμα λειτουργίας του κτιρίου** (building operating schedule) επιλέχθηκε το 24/7, το οποίο αφορά στη συνεχή λειτουργία των κτιριακών εγκαταστάσεων. Από τα γραφήματα παρατηρούμε ότι η λειτουργία του κτιρίου εντατικοποιείται κατά τις μεσημεριανές ώρες.



Εργάσιμες ημέρες



Σάββατο



Κυριακή

Εικόνα 37. Πρόγραμμα λειτουργίας 24/7

Πηγή: Autodesk, επίσημη ιστοσελίδα

Σχετικά με την **τοποθεσία** του έργου, αυτή δίδεται μέσω της εφαρμογής Google Maps, προκειμένου να υπολογιστεί κατά προσέγγιση το κόστος των καυσίμων και ο

μετεωρολογικός σταθμός από όπου θα αντληθούν τα μετεωρολογικά δεδομένα. Πιο συγκεκριμένα, ο χρήστης εισάγει τη διεύθυνση ή τις συντεταγμένες (39.771152, 21.177841), τη ζώνη ώρας (UTC/GMT +2 ώρες), το νόμισμα (€ - Euro) και το μετεωρολογικό σταθμό από όπου επιθυμεί να ληφθούν τα μετεωρολογικά δεδομένα για την προσομοίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς του έργου. Γενικά, το Green Building Studio χρησιμοποιεί ακριβή ωριαία μετεωρολογικά δεδομένα και δεδομένα βροχόπτωσης σε ακτίνα 14,5 χιλιομέτρων (9 μιλίων) από την τοποθεσία του έργου. Οι μετεωρολογικοί σταθμοί μπορεί να είναι είτε πραγματικοί είτε εικονικοί βασιζόμενοι σε αριθμητικές προσομοιώσεις μετεωρολογικών δεδομένων. Η διαδικασία της προσομοίωσης περιλαμβάνει τη διάσπαση μίας μεγάλης σε έκταση περιοχή, συνήθως αρκετών εκατοντάδων τετραγωνικών χιλιομέτρων, σε κάναβο των 10 και 20 τετραγωνικών χιλιομέτρων. Στη συνέχεια, η προσομοίωση εκτελείται για κάθε τμήμα του κανάβου και ο εικονικός σταθμός τοποθετείται στο κέντρο κάθε τμήματος. Οι προσομοιώσεις λαμβάνουν ως είσοδο δεδομένα από ένα σύνολο πηγών, όπως μετεωρολογικούς σταθμούς επιφανείας, πλωτούς μετρητικούς σταθμούς (buoys), αεροσκάφη της πολιτικής αεροπορίας, επίγεια συστήματα αισθητήρων για τη μέτρηση της κατακόρυφης κατατομής του ανέμου (wind profilers), όργανα όπως rawinsondes και dropwinsondes, Radio Acoustic Sounding System (RASS), μετεωρολογικά RADAR τεχνολογίας Doppler και δορυφορικά δεδομένα (GOES, GPS, and SSM/I). Τα μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή των μετεωρολογικών σταθμών του Green Building Studio ήταν τα Rapid Update Cycle (RUC) και Mesoscale Meteorological Model version 5 (MM5). Συνολικά ο μετεωρολογικός διακομιστής της Autodesk (Autodesk Climate Server) περιλαμβάνει 1.800 φυσικούς μετεωρολογικούς σταθμούς και 1,6 εκ. εικονικούς μετεωρολογικούς σταθμούς. Στη συγκεκριμένη περίπτωση επιλέχθηκε ο πλησιέστερος σταθμός στην τοποθεσία του κτιρίου (GBS_06M12_02_223047, εικόνα 38), ο οποίος απέχει 0,7km από το κτιριακό συγκρότημα του ΜΕ.Κ.Δ.Ε. και βρίσκεται σε υψόμετρο 1.325m. Πρόκειται για εικονικό μετεωρολογικό σταθμό ο οποίος χρησιμοποιεί δεδομένα τα οποία προέρχονται από προσομοιώσεις του έτους 2006. Τα διαθέσιμα μετεωρολογικά δεδομένα από το συγκεκριμένο σταθμό απεικονίζονται με τη μορφή πινάκων και γραφημάτων στο Παράρτημα 1.



Εικόνα 38. Ο κοντινότερος μετεωρολογικός σταθμός

Για τον ορισμό της **κατηγορίας εξαγωγής** (export category), της **πολυπλοκότητας της εξαγωγής** (export complexity) και τον **υπολογισμό ή όχι των θερμικών ιδιοτήτων**, θα πρέπει να επισημανθεί ότι για τη σωστή εξαγωγή του μοντέλου στο Green Building Studio, αυτό υπόκειται σε ορισμένους «κανόνες». Τα «δωμάτια» και οι «χώροι» αποτελούν θεμελιώδη στοιχεία στη διαδικασία της διεξαγωγής μίας Μελέτης Ενεργειακής Απόδοσης, αφού υπαγορεύουν την πλειοψηφία των γεωμετρικών χαρακτηριστικών, ενώ περιέχουν ένα μεγάλο αριθμό πρόσθετων παραμέτρων οι οποίες θα εξαχθούν στο λογισμικό ανάλυσης. Εάν ένα «δωμάτιο» δεν οριστεί με ακρίβεια, τότε και το μοντέλο δεν θα είναι πολύ ακριβές. Η διαφορά «δωματίων» και «χώρων» είναι θέμα αντίληψης με τους αρχιτέκτονες να χρησιμοποιούν συνήθως «δωμάτια» και να επικεντρώνονται σε παραμέτρους που σχετίζονται με την κατάληψη του χώρου από τους χρήστες του και τις υπόλοιπες ειδικότητες (μηχανολόγους, ηλεκτρολόγους, πολιτικούς μηχανικούς) να χρησιμοποιούν «χώρους» και να επικεντρώνονται στην κατανομή των θερμικών φορτίων (Bregianni, 2013). Πιο συγκεκριμένα τα όρια ενός «δωματίου» ορίζονται από τα στοιχεία που τα περιβάλλουν, όπως οι τοίχοι, τα δάπεδα και οι οροφές. Ωστόσο, πολλαπλοί «χώροι» μπορούν να αποτελούν τμήμα του ίδιου «δωματίου», ενώ δεν επηρεάζονται από τη μεταβολή της γεωμετρίας του (Autodesk, επίσημη ιστοσελίδα). Για παράδειγμα, για έναν αρχιτέκτονα, ένας χώρος γραφείων ανοιχτής διάταξης αποτελεί ένα «δωμάτιο», ενώ για ένα μηχανολόγο διαιρείται σε τουλάχιστον πέντε «χώρους» (βόρειο, ανατολικό, νότιο, δυτικό, και κεντρικό), προκειμένου να υπολογίσει τα θερμικά φορτία. Για τη συγκεκριμένη μελέτη επιλέχθηκε η χρήση «δωματίων» (rooms). Συνολικά δημιουργήθηκαν 122 δωμάτια, η ονομασία, η επιφάνεια και ο όγκος των οποίων παρουσιάζεται αναλυτικά στο Παράρτημα 2.

Επιπλέον, στο Revit Architecture υπάρχουν δύο τρόποι διεξαγωγής της ενεργειακής ανάλυσης ενός κτιρίου:

- *Conceptual Constructions*: Εδώ η δομή των επιμέρους στοιχείων του μοντέλου ορίζεται βάσει προεπιλογής. Για παράδειγμα, όλοι οι εξωτερικοί τοίχοι του κτιρίου μπορούν να θεωρηθούν ότι διαθέτουν την ίδια κατασκευαστική δομή. Αυτός είναι ένας εύκολος τρόπος προκειμένου ο χρήστης να έχει στη διάθεσή του προκαταρκτικά αποτελέσματα της ανάλυσης, χωρίς να είναι απαραίτητη η εισαγωγή όλων των θερμικών ιδιοτήτων των επιμέρους υλικών.
- *Building Elements*: Εδώ ο χρήστης ορίζει με ακρίβεια τη δομή των επιμέρους στοιχείων, καθώς και τις θερμικές παραμέτρους κάθε υλικού.

Στη συγκεκριμένη μελέτη, η ενεργειακή ανάλυση βασίστηκε στις θερμικές παραμέτρους των υλικών. Παράλληλα, ως HVAC system (Heating Ventilating and Air Conditioning System, σύστημα θέρμανσης - ψύξης - κλιματισμού) ορίστηκε το default, δηλαδή το «Central VAV (Variable Air Volume - Μεταβλητού Όγκου Αέρα), HW (Hot Water – Ζεστό Νερό) Heat, Chiller 5.96 COP, Boilers 84.5 eff». Ο συγκεκριμένος τύπος HVAC system αναφέρεται σε κεντρική θέρμανση. Για την καλύτερη κατανόηση των θερμικών παραμέτρων που επιλέχθηκαν, παρατίθεται μία σύντομη περιγραφή των βασικότερων θερμικών ιδιοτήτων των υλικών.

α. Συντελεστής Θερμικής αγωγιμότητας - Thermal Conductivity (k)

Εκφράζει την ποσότητα της θερμότητας σε βατώρες (ή BTU), η οποία ρέει σε 1 ώρα μέσα από στρώμα υλικού που έχει επιφάνεια 1m^2 (ή 1ft^2) και πάχος 1m (ή 1in.), όταν η πτώση της θερμοκρασίας προς την κατεύθυνση της ροής της θερμότητας (διαφορά θερμοκρασίας των δύο επιφανειών) είναι ένας βαθμός Κέλβιν (ή 1°F) και το σύστημα βρίσκεται σε μόνιμη κατάσταση, δηλαδή η θερμοκρασία τοπικά παραμένει σταθερή με το χρόνο (Κορωναίος και Πουλάκος, 2005 και Autodesk, επίσημη ιστοσελίδα). Μετράται σε $\text{W}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$ ή $\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ (metric system) ή σε $\text{BTU}\cdot\text{in}/\text{hr}\cdot\text{ft}\cdot^\circ\text{F}$ (imperial system). Γενικά όσο πιο γρήγορα ρέει η θερμότητα μέσα από ένα υλικό, τόσο περισσότερο θερμικά αγωγίμο είναι.

β. Συντελεστής Θερμοδιαφυγής - Thermal Conductance (C)

Εκφράζει την ποσότητα της θερμότητας σε βατώρες (ή BTU), η οποία ρέει σε 1 ώρα μέσα από στρώμα υλικού που έχει επιφάνεια 1m^2 (ή 1ft^2) και πάχος $d\text{m}$, όταν μεταξύ των δύο επιφανειών υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας ενός βαθμού Κέλβιν (ή 1°F) και το σύστημα βρίσκεται σε μόνιμη κατάσταση (Κορωναίος και Πουλάκος, 2005 και Autodesk, επίσημη ιστοσελίδα). Με άλλα λόγια, πρόκειται για τη θερμική αγωγιμότητα (k) ενός υλικού δια το πάχος του (d). Μετράται σε $\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ (metric system) ή σε $\text{BTU}/\text{hr}\cdot\text{ft}^2\cdot^\circ\text{F}$ (imperial system). Εξαρτάται τόσο από το υλικό όσο και από το πάχος του. Λόγω του ότι πολλά από τα δομικά υλικά, όπως τα τούβλα, το ξύλο, ο υαλοβάμβακας, η διογκωμένη πολυστερίνη, η γυψοσανίδα κ.λπ. είναι διαθέσιμα σε συγκεκριμένες διαστάσεις και σύνθεση, είναι ιδιαίτερα χρήσιμο να γνωρίζουμε το συντελεστή θερμοδιαφυγής.

γ. Συντελεστής θερμοπερατότητας - U Factor (U)

Εκφράζει την ποσότητα της θερμότητας σε βατώρες (ή BTU), η οποία διέρχεται σε 1 ώρα μέσα από επιφάνεια 1m^2 (ή 1ft^2) της κατασκευής, όταν η διαφορά θερμοκρασίας του αέρα που βρίσκεται στη μία και στην άλλη πλευρά της κατασκευής είναι ένας βαθμός Κέλβιν (ή 1°F) και το σύστημα βρίσκεται σε μόνιμη κατάσταση (Κορωνάιος και Πουλάκος, 2005 και Autodesk, επίσημη ιστοσελίδα). Οι μονάδες μέτρησης είναι οι ίδιες με αυτές του συντελεστή θερμοδιαφυγής, καθώς ουσιαστικά αποτελούν έκφραση του ίδιου μεγέθους, με τη διαφορά ότι ο συντελεστής θερμοδιαφυγής αναφέρεται σε συγκεκριμένο υλικό, ενώ ο συντελεστής θερμοπερατότητας αναφέρεται σε συγκεκριμένη κατασκευή η οποία αποτελείται από στρώματα υλικών, π.χ. η κατασκευή ενός κουφώματος. Μικρότερος συντελεστής θερμοπερατότητας σημαίνει μικρότερη θερμοδιαφυγή και συνεπώς καλύτερη θερμομόνωση. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο συντελεστής θερμοπερατότητας αφορά σε όλους τους τρόπους μετάδοσης θερμότητας (αγωγή, μεταβίβαση και ακτινοβολία), αλλά όχι στη μεταφορά λανθάνουσας θερμότητας, αυτής δηλαδή που σχετίζεται με την υγρασία. Επιπλέον, αναφέρεται στη ροή της θερμότητας από τον εξωτερικό προς τον εσωτερικό χώρο του κτιρίου και δε θα πρέπει να χρησιμοποιείται για δομικά στοιχεία που δεν έρχονται σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα, όπως οι τοίχοι του υπογείου.

δ. Αντίσταση θερμοπερατότητας - Thermal Resistance (R-value = 1/U)

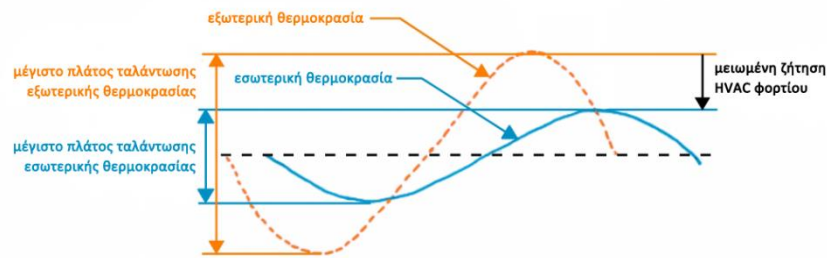
Ορίζεται ως το αντίστροφο του συντελεστή θερμοπερατότητας, εκφράζει δηλαδή τις ώρες που χρειάζονται για 1βατώρα (ή BTU) να διέλθει μέσα από επιφάνεια 1m^2 (ή 1ft^2) του υλικού, όταν η διαφορά θερμοκρασίας του αέρα που βρίσκεται στη μία και στην άλλη πλευρά της κατασκευής είναι ένας βαθμός Κέλβιν (ή 1°F) και το σύστημα βρίσκεται σε μόνιμη κατάσταση. Υποδηλώνει την ικανότητα ενός υλικού να αντιστέκεται στη ροή της θερμότητας και άρα την αποτελεσματικότητα των θερμομονωτικών ιδιοτήτων του υλικού. Μετράται σε $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ (metric system) ή σε $\text{ft}^2\cdot^\circ\text{F}\cdot\text{hr}/\text{BTU}$ (imperial system) και σε αντίθεση με το συντελεστή θερμοπερατότητας, συνήθως δεν αναφέρεται σε κατασκευή η οποία αποτελείται από στρώματα υλικών. Για ένα ομοιογενές υλικό όπως είναι το ξύλο, ο διπλασιασμός του πάχους του σημαίνει και διπλασιασμό της αντίστασης θερμοπερατότητας. Επιπλέον, η θερμομονωτική ικανότητα της μόνωσης η οποία αποτρέπει τη ροή της θερμότητας δια μέσου του κελύφους του κτιρίου, εκφράζεται μέσω της αντίστασης θερμοπερατότητας. Υψηλότερη αντίσταση θερμοπερατότητας υποδηλώνει καλύτερη θερμομονωτική συμπεριφορά.

ε. Θερμική μάζα - Thermal Mass

Εκφράζει την ικανότητα ενός υλικού να αντιστέκεται στις θερμοκρασιακές μεταβολές και αποτελεί πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό ενός κτιρίου, καθώς έχει τη δυνατότητα να εκπέμπει τη θερμότητα που απορροφούν τα δομικά του στοιχεία με χρονική υστέρηση.

Οι τέσσερις παράγοντες που σχετίζονται με αυτή είναι: η πυκνότητα, η ειδική θερμοχωρητικότητα, η θερμοχωρητικότητα και η θερμική υστέρηση.

- Πυκνότητα (density): Όσο μεγαλύτερη είναι η πυκνότητα ενός υλικού τόσο μεγαλύτερη είναι η ποσότητα θερμότητας που αποθηκεύει και άρα η θερμική μάζα του. Μετράται σε kg/m^3 (metric system) ή σε lb/ft^3 (imperial system).
- Ειδική θερμοχωρητικότητα (specific heat): Εκφράζει την ποσότητα της θερμότητας σε βατώρες (ή kJ ή BTU), η οποία απαιτείται για την αύξηση της θερμοκρασίας 1 kg του υλικού κατά 1°K (ή 1°F). Μετράται σε $\text{kJ/kg}\cdot\text{K}$ ή $\text{W}\cdot\text{h/kg}\cdot\text{K}$ (metric system) ή σε $\text{Btu/lb}\cdot^\circ\text{F}$ (imperial system). Απαιτείται περισσότερη ενέργεια για την ανύψωση της θερμοκρασίας ενός υλικού με χαμηλή ειδική θερμοχωρητικότητα από ότι με υψηλή (Κορωναίος και Πουλάκος, 2005 και Autodesk, επίσημη ιστοσελίδα).
- Θερμοχωρητικότητα (thermal mass): Ισούται με την πυκνότητα επί την ειδική θερμοχωρητικότητα και εκφράζει την ποσότητα της θερμότητας που μπορεί να αποθηκευτεί ανά μονάδα όγκου υλικού ή κατασκευής. Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοχωρητικότητα, τόσο περισσότερη θερμότητα μπορεί να αποθηκευτεί σε δεδομένο όγκο υλικού ή κατασκευής ανά βαθμό αύξησης της θερμοκρασίας. Μετράται σε J/K . Η υψηλότερη θερμοχωρητικότητα μπορεί σε ορισμένες περιπτώσεις να μειώσει τη ροή θερμότητας από το εξωτερικό προς το εσωτερικό περιβάλλον, αποθηκευμένη μέσα στο υλικό ή στην κατασκευή, όπως συμβαίνει για παράδειγμα κατά τις βραδινές ώρες, όταν η αποθηκευμένη θερμότητα σε μία τοιχοποιία αποδίδεται σταδιακά στο χώρο.
- Θερμική υστέρηση (thermal lag): Εκφράζει τη διαφορά φάσης στις χρονικές στιγμές όπου παρουσιάζεται η μέγιστη θερμοκρασία στην εξωτερική και η μέγιστη θερμοκρασία στην εσωτερική πλευρά του μέλους της κατασκευής. Ως μέτρο χρησιμοποιείται η θερμική αδράνεια (Κορωναίος και Πουλάκος, 2005). Ορισμένα υλικά όπως το γυαλί, δεν παρουσιάζουν μεγάλη θερμική υστέρηση. Ωστόσο, η θερμική υστέρηση μπορεί να αγγίξει και τις 8-9 ώρες για κατασκευές με μεγάλη θερμική μάζα όπως η διπλή τοιχοποιία, όπου η θερμότητα αποθηκεύεται εντός της τοιχοποιίας μέχρι το σημείο κορεσμού, όταν και ξεκινά να διοχετεύεται προς τον εσωτερικό χώρο, ανάλογα με τη θερμική αγωγιμότητα του υλικού.

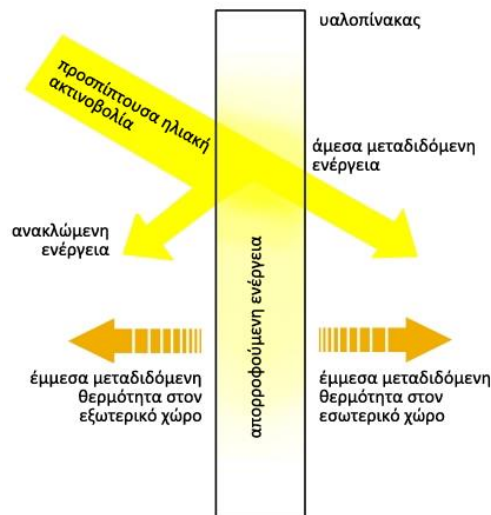


Εικόνα 39. Θερμική υστέρηση και μετρίαση του πλάτους ταλάντωσης της εσωτερικής θερμοκρασίας εξαιτίας της θερμικής μάζας.

Πηγή: Autodesk, επίσημη ιστοσελίδα, ιδία επεξεργασία

ε. Ιδιότητες υαλοπινάκων - Glazing Properties

Η θερμότητα μεταδίδεται μέσω ενός υαλοπίνακα μέσω αγωγής, μεταβίβασης και ακτινοβολίας. Από την ολική ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε έναν υαλοπίνακα, ένα μέρος της ανακλάται στο εξωτερικό περιβάλλον, ένα άλλο απορροφάται από το υλικό του υαλοπίνακα και το υπόλοιπο εισέρχεται στο χώρο και μετατρέπεται σε θερμότητα (εικόνα 40). Η ιδιότητα αυτή των υαλοπινάκων εξαρτάται από πολλές παραμέτρους, όπως το μήκος κύματος της ακτινοβολίας και τη γωνία πρόσπτωσης της, την ταχύτητα του εξωτερικού αέρα, τη χημική σύσταση και το πάχος του υλικού. Η διαπερατότητα του υαλοπίνακα μειώνεται με τη χρήση προσμίξεων υλικών και με την αύξηση του πάχους του υλικού. Σήμερα, τα περισσότερα είδη υαλοπινάκων είναι αδιαπέραστα από την ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος. Οι θερμομονωτικές ιδιότητες των υαλοπινάκων μετρώνται μέσω του συντελεστή θερμοπερατότητας U . Άλλα μεγέθη τα οποία χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της διερχόμενης ηλιακής ενέργειας μέσω του υαλοπίνακα και του αντίστοιχου ηλιακού θερμικού κέρδους είναι ο Συντελεστής Ηλιακού Θερμικού Κέρδους (Solar Heat Gain Coefficient - SHGC) και η Οπτική Διαπερατότητα (Visible Light Transmittance - VLT). Το πρώτο μέγεθος εκφράζει την ικανότητα του υαλοπίνακα να αποκόπτει τα θερμικά κέρδη από την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία. Κυμαίνεται μεταξύ 0 και 1. Στα θερμά κλίματα οι χαμηλότερες τιμές είναι γενικά πιο επιθυμητές, καθώς αποτρέπουν τη διείσδυση της θερμικής ακτινοβολίας. Η δεύτερη εκφράζει το ποσοστό του ορατού φάσματος της ηλιακής ακτινοβολίας που διαπερνά μία επιφάνεια και συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 0,3 και 0,8. Γενικά οι υψηλότερες τιμές είναι περισσότερο επιθυμητές καθώς υποδηλώνουν μετάδοση περισσότερου φυσικού φωτός στο χώρο, ωστόσο θα πρέπει να δοθεί προσοχή σε πιθανά προβλήματα θάμβωσης.



Εικόνα 40. Μετάδοση θερμότητας μέσω υαλοπίνακα.
Πηγή: Autodesk, επίσημη ιστοσελίδα, ίδια επεξεργασία

Στον πίνακα 11 παρουσιάζονται οι τιμές του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, της ειδικής θερμοχωρητικότητας και της πυκνότητας για τα δομικά υλικά που χρησιμοποιήθηκαν στη μοντελοποίηση του κτιριακού κελύφους. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι αν και το Revit Architecture ορίζει τις θερμικές ιδιότητες των υλικών βάσει προεπιλογής, αυτές τροποποιήθηκαν προκειμένου να ανταποκρίνονται σε αυτές που ορίζονται από τον Κ.ΕΝ.Α.Κ. και την ΤΟΤΕΕ 20701-2/2010 «*Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτιρίων*». Για την καλύτερη κατανόηση του πίνακα αναφέρεται ότι το υλικό *ασβεστόλιθος σκληρός* περιγράφει την εξωτερική επένδυση από πέτρα και αυτό των *κωνοφόρων (πεύκο, έλατο, κ.λπ.)*, την ξύλινη επένδυση (ραμποτέ) της οροφής, καθώς και την κατασκευή των πατωμάτων.

Πίνακας 11. Τιμές συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, ειδικής θερμοχωρητικότητας και πυκνότητας για τα δομικά υλικά που χρησιμοποιήθηκαν στη μοντελοποίηση του κτιριακού κελύφους.

Υλικό	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας (W/m·K)	Ειδική θερμοχωρη- τικότητα (J/g·°C)	Πυκνότητα (kg/m ³)
Ασβεστοκονίαμα	0,870	1,000	1.800,00
Ασβεστόλιθος σκληρός	1,700	1,000	2.200,00
Ασφαλτικά φύλλα (ασφαλτόπανα)	0,230	1,000	1.100,00
Διογκωμένη πολυστερίνη σε πλάκες	0,033	1,500	12,00
Κεραμικά πλακίδια δαπέδου	1,840	0,840	2.000,00
Κωνοφόρα (πέυκο, έλατο, κ.λπ.)	0,140	1,600	600,00
Ξηρός αέρας (στους 20°C)	0,025	1,008	1,23
Οπλισμένο σκυρόδεμα (1% σίδηρος)	2,300	1,000	2.300,00
Οπτοπλινθοδομή με διάτρητες οπτοπλίνθους	0,510	1,000	1.500,00
Σκυρόδεμα άοπλο ή ελαφρώς οπλισμένο μέσης πυκνότητας	1,150	1,000	1.800,00
Σχιστόλιθος	2,200	1,000	2.000,00
Τσιμεντοκονίαμα, επίστρωση τσιμέντου	1,400	1,100	2.000,00

Πηγή: ΤΟΤΕΕ 20701–2/2010 «Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτιρίων»

Μετά την εισαγωγή των θερμικών ιδιοτήτων στα υλικά, υπολογίστηκε αυτόματα η τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας (U) για τα διάφορα δομικά στοιχεία, όπως οι τοίχοι, οι στέγες, τα παράθυρα και οι πόρτες. Στον πίνακα που ακολουθεί παρατίθενται οι τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας για τις εξωτερικές τοιχοποιίες, τις στέγες και τα εξωτερικά κουφώματα. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι σε ορισμένες περιπτώσεις η τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας ξεπερνάει τη μέγιστη επιτρεπόμενη σύμφωνα με τον Κ.ΕΝ.Α.Κ. (ΤΟΤΕΕ 20701–2/2010). Πιο συγκεκριμένα, στην κλιματική ζώνη Δ στην οποία εντάσσεται ο οικισμός του Μετσόβου (καθώς βρίσκεται σε υψόμετρο άνω των 500m και άρα εντάσσεται στην επόμενη ψυχρότερη κλιματική ζώνη από τη ζώνη Γ στην οποία ανήκει η Π.Ε. Ιωαννίνων), η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή του συντελεστή για τους εξωτερικούς τοίχους που βρίσκονται σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα είναι 0,40. Ωστόσο, οι εξωτερικοί τοίχοι του ΜΕ.Κ.Δ.Ε. από οπλισμένο σκυρόδεμα και λιθοδομή έχουν συντελεστή 0,54 πιθανώς λόγω του μικρού πάχους του θερμομονωτικού υλικού (5 cm) σε σχέση με τους εξωτερικούς τοίχους από οπτοπλινθοδομή. Το ίδιο συμβαίνει και στην περίπτωση των εξωτερικών κουφωμάτων, όπου η τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας αυτών που διαθέτουν υαλοπίνακες ξεπερνάει τη μέγιστη επιτρεπόμενη, παρά το γεγονός ότι για τους σκοπούς της μοντελοποίησης έχει θεωρηθεί

η τοποθέτηση διπλών υαλοπινάκων χαμηλού συντελεστή εκπομπής (low-emissivity, low-e)³⁰ με τις εξής ιδιότητες: U-Value: 1,74 W/m²·K, SHGC: 0,40, VLT: 0,60.

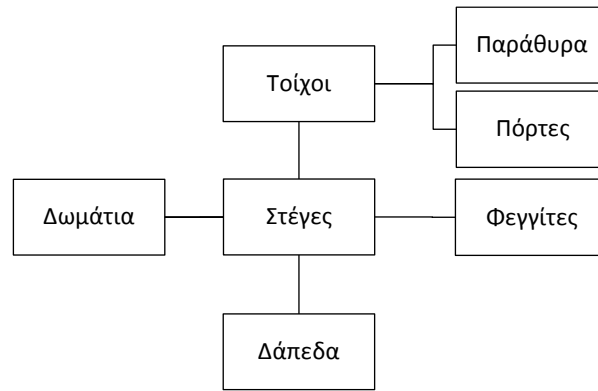
Πίνακας 12. Τιμές συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας για δομικά στοιχεία του μοντέλου τα οποία έρχονται σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα.

Σύνθεση δομικού στοιχείου ανά κατηγορία	Συντελεστής Θερμοπερατότητας (W/m ² ·K)	Μέγιστος επιτρεπόμενος σ.θ. κατά τον Κ.ΕΝ.Α.Κ. (W/m ² ·K)
Εξωτερικές τοιχοποιίες		
Εξωτερικός Τοίχος με πέτρα 65cm (λιθοδομή: 35cm, θερμομόνωση: 10cm, μπατική οπτοπλινθοδομή: 20cm)	0,28	0,40
Εξωτερικό Τοιχείο με πέτρα 65cm (λιθοδομή: 35cm, θερμομόνωση: 5cm, οπλισμένο σκυρόδεμα: 25cm)	0,54	
Στέγες		
Στέγη με επικάλυψη από σχιστόπλακες 36cm με πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος 15cm και θερμομόνωση 10cm	0,28	0,35
Εξωτερικά κουφώματα		
Ξύλινο παράθυρο με διπλό τζάμι (SHGC=0,50)	2,86, 3,13*	
Ξύλινη γαλλική πόρτα με διπλό τζάμι	2,96	2,60
Ξύλινη ταμπλαδωτή πόρτα μασίφ	2,56	

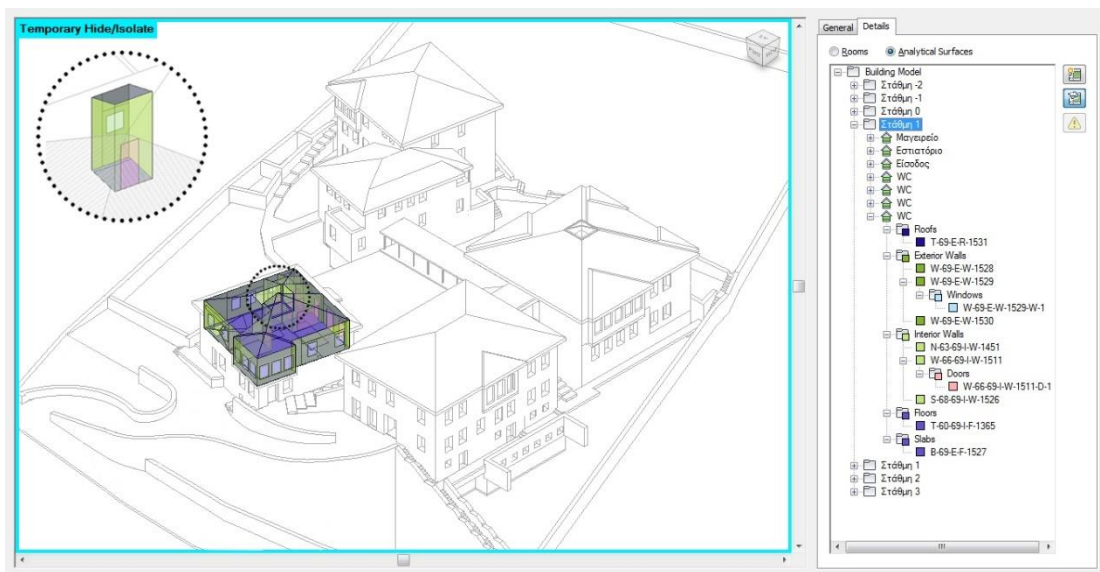
* ανάλογα με την αναλογία του κουφώματος

Πριν την εξαγωγή του μοντέλου σε gbXML format, ορίστηκε η μέγιστη επιτρεπτή απόσταση δύο όμορων δωματίων (sliver space tolerance) προκειμένου να ενσωματωθούν στους όγκους των δωματίων τυχών «κενοί» χώροι οι οποίοι έχουν προκύψει είτε για να φιλοξενήσουν οδεύσεις η/μ δικτύων (shafts) είτε λόγω σχεδιαστικών αστοχιών. Επιπλέον, το έργο προσανατολίστηκε με βάση τον πραγματικό βορρά (true north) και όχι το βορρά του σχεδίου (project north) ο οποίος χρησιμοποιήθηκε κατά τη μοντελοποίηση. Το menu της εξαγωγής παρουσιάζει μία προεπισκόπηση των δωματίων (rooms) και της ιεραρχίας των αναλυτικών επιφανειών (analytical surfaces) ανά στάθμη, δωμάτιο και αντικείμενο (εικόνες 41 και 42). Γενικά, η ιεραρχία των δομικών στοιχείων στο Green Building Studio παρουσιάζει την εξής δομή (Autodesk, 2007):

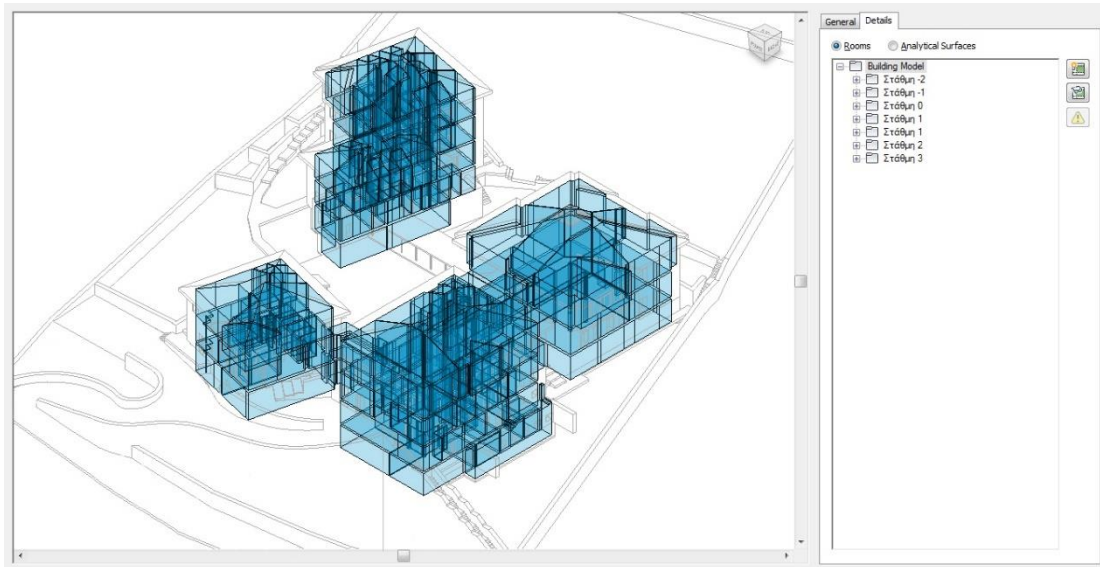
³⁰ Πρόκειται για υαλοπίνακες τελευταίας τεχνολογίας που εμποδίζουν τη μεταφορά θερμότητας από και προς το εσωτερικό του κτιρίου. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της τοποθέτησης μίας ειδικής επιστρώσης μεταλλικών οξειδίων στην εσωτερική πλευρά ενός εκ των δύο υαλοπινάκων, η οποία εμφανίζει υψηλή ανακλαστικότητα στο υπέρυθρο τμήμα της ηλιακής ακτινοβολίας.



Γράφημα 19. Η ιεραρχία των δομικών στοιχείων στο Green Building Studio
Πηγή: Autodesk, 2007



Εικόνα 41. Στιγμιότυπο οθόνης από το Revit Architecture κατά την εξαγωγή του μοντέλου σε gbXML format, όπου απεικονίζεται η ιεραρχία των αναλυτικών επιφανειών (analytical surfaces) ενός WC στη στάθμη +3,40 του κτιρίου του Εστιατορίου - Κυλικείου.



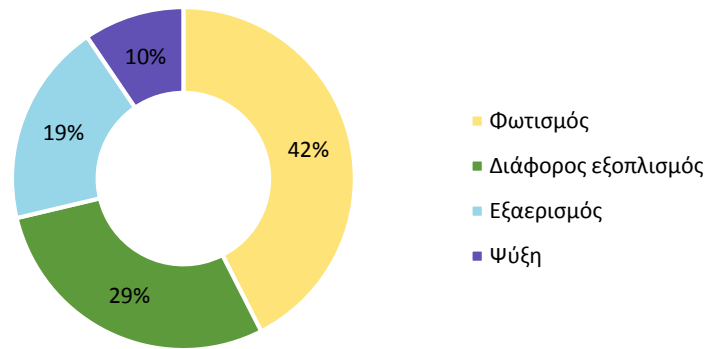
Εικόνα 42. Στιγμιότυπο οθόνης από το Revit Architecture κατά την εξαγωγή του μοντέλου σε gbXML format, όπου απεικονίζεται το σύνολο των «δωματίων» (rooms) του μοντέλου.

3.4 Αποτελέσματα της ανάλυσης της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιριακού συγκροτήματος του ΜΕ.Κ.Δ.Ε.

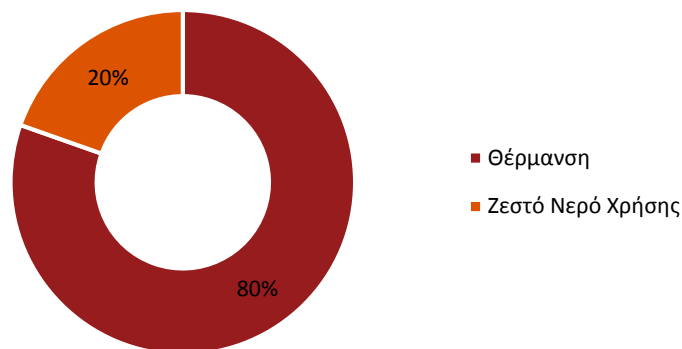
Η κατανομή της κατανάλωσης ενέργειας

Κατά την εισαγωγή του αρχείου gbXML στο Green Building Studio, τα δεδομένα που αφορούν στις θερμικές παραμέτρους των υλικών και στη δομή των δομικών στοιχείων αντλούνται αυτόματα, ενώ απαιτείται η επανεισαγωγή του τύπου του κτιρίου, του προγράμματος λειτουργίας και της τοποθεσίας. Σε περίπτωση ασυμφωνίας με αυτά που έχουν οριστεί κατά τη δημιουργία του αρχείου gbXML, η νέα πληροφορία εγγράφεται επί της παλαιάς. Η ενεργειακή συμπεριφορά του κτιριακού συγκροτήματος του ΜΕ.Κ.Δ.Ε. μπορεί να συνοψιστεί χρησιμοποιώντας το μέγεθος της Έντασης Κατανάλωσης Ενέργειας (Energy Use Intensity - EUI). Αποτελεί μέτρο του συνόλου της ενέργειας από όλες τις διαθέσιμες πηγές ανά μονάδα εμβαδού (m^2 σε metric system ή ft^2 σε imperial system). Η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται από kWh σε MJ (1 kWh ισούται με 3,6 MJ, metric system) ή σε kBtu (1 kWh ισούται με 3,412 kBtu, imperial system). Η Ένταση Κατανάλωσης Ενέργειας του κτιριακού συγκροτήματος του ΜΕ.Κ.Δ.Ε. υπολογίστηκε σε **1.174,50 MJ/m²**, δηλαδή σε **326,25 kWh/m²** ανά έτος. Εάν συγκρίνουμε το μέγεθος αυτό με την Ένταση Κατανάλωσης Ενέργειας ανά χρήση επαγγελματικού κτιρίου στις ΗΠΑ το 2003 (γράφημα 7) παρατηρούμε ότι η ενεργειακή κατανάλωση του κτιριακού συγκροτήματος του ΜΕ.Κ.Δ.Ε. είναι μεγαλύτερη από αυτή ενός τυπικού κτιρίου εκπαίδευσης (262,10 kWh/m²), αλλά βρίσκεται αρκετά κοντά σε αυτή των ξενοδοχειακών καταλυμάτων (315,50 kWh/m²). Η ενέργεια αυτή επιμερίζεται σε **288.660 kWh** ηλεκτρικής ενέργειας και σε **2.274.820 MJ** θερμικής ενέργειας το χρόνο, δηλαδή σε **631.894 kWh**. Συνεπώς, η ηλεκτρική ενέργεια αποτελεί το **31,4%** της συνολικής καταναλισκόμενης ενέργειας. Τέλος, οι ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα υπολογίζεται ότι ανέρχονται σε **220,50 Mg**.

Στη συνέχεια απεικονίζονται τα γραφήματα της συνολικής ετήσιας τελικής κατανάλωσης ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας. Οι μεγαλύτερες ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας δαπανώνται για την κάλυψη των αναγκών φωτισμού, ενώ οι ενεργειακές απαιτήσεις των συστημάτων θέρμανσης, ψύξης και κλιματισμού (HVAC systems) αποτελούν το 29% της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Παράλληλα οι μεγαλύτερες ποσότητες θερμικής ενέργειας δαπανώνται για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης.

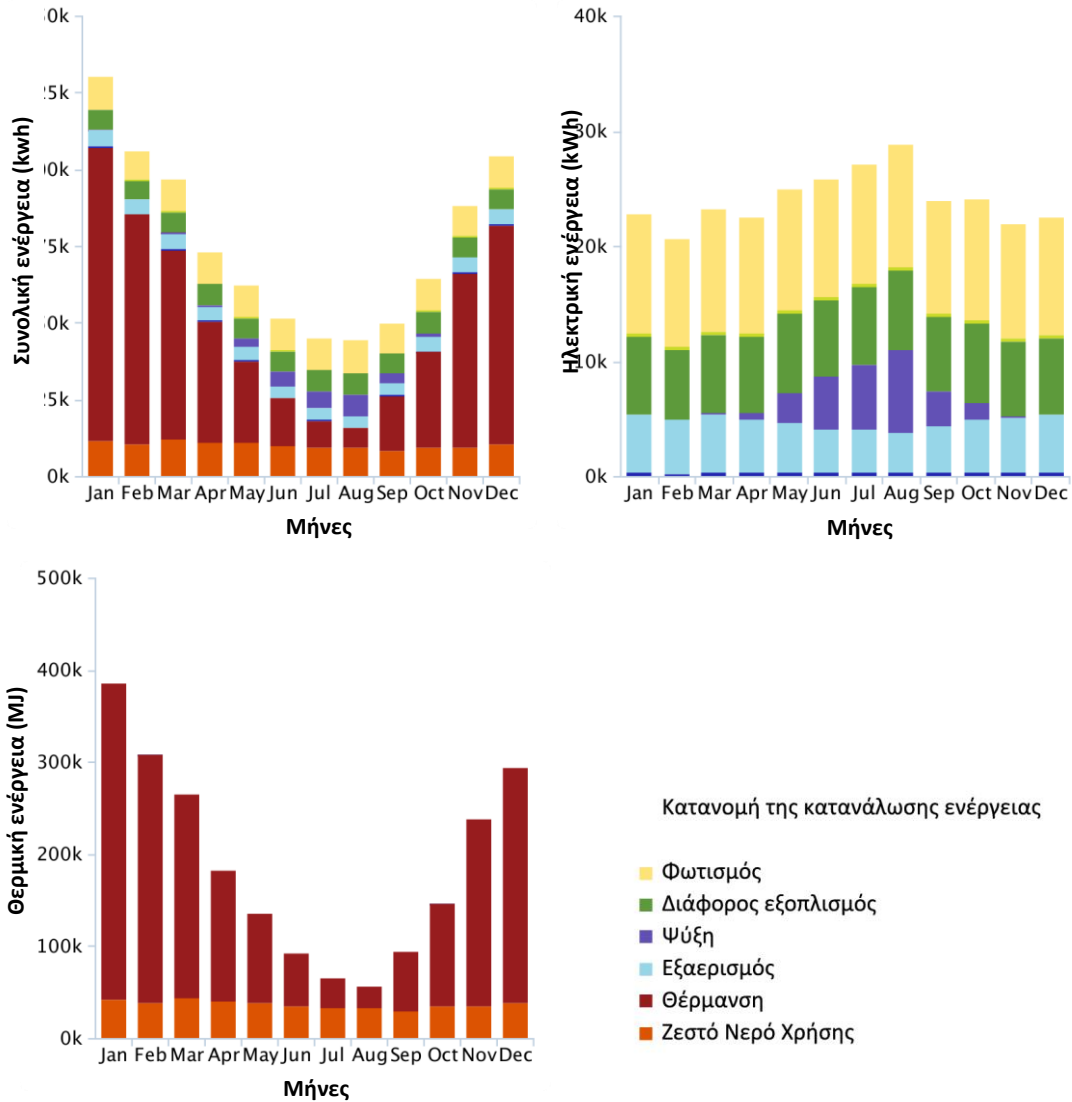


Γράφημα 20. Κατανομή της ετήσιας τελικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας.



Γράφημα 21. Κατανομή της ετήσιας τελικής κατανάλωσης θερμικής ενέργειας.

Στα γραφήματα που ακολουθούν παρουσιάζεται η κατανομή της κατανάλωσης της συνολικής, της ηλεκτρικής και της θερμικής ενέργειας ανά μήνα. Παρατηρείται ότι οι απαιτήσεις για ηλεκτρική ενέργεια των διαφόρων δραστηριοτήτων ισοκατανέμονται κατά τη διάρκεια του έτους, με εξαίρεση τις ανάγκες για ψύξη οι οποίες υπάρχουν μόνο κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Επιπλέον, οι ενεργειακές ανάγκες για εξαερισμό εμφανίζονται ελαφρώς μειωμένες κατά το ίδιο χρονικό διάστημα. Όσον αφορά στην κατανομή της κατανάλωσης της θερμικής ενέργειας, οι ανάγκες για ζεστό νερό χρήσης παραμένουν σχεδόν αμετάβλητες καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, ενώ οι ανάγκες για θέρμανση παρουσιάζονται ιδιαίτερα αυξημένες κατά τους χειμερινούς μήνες, κάτι το οποίο οφείλεται στον αυξημένο αριθμό των βαθμομερών θέρμανσης του οικισμού του Μετσόβου. Το παραπάνω, σε συνδυασμό με την αυξημένη συμμετοχή της θερμικής ενέργειας στη συνολική ενέργεια, εξηγεί τη σημαντική διαφορά που παρατηρείται στην ενεργειακή ζήτηση κατά τη διάρκεια των θερινών και καλοκαιρινών μηνών.



Γραφήματα 22-24. Κατανομή της κατανάλωσης της συνολικής, της ηλεκτρικής και της θερμικής ενέργειας ανά μήνα.

Η δυνατότητα επίτευξης ουδέτερου ισοζυγίου άνθρακα

Στόχος της ανάλυσης της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιριακού συγκροτήματος του ΜΕ.Κ.Δ.Ε. είναι η μείωση του ενεργειακού του αποτυπώματος. Για το λόγο αυτό διερευνάται η δυνατότητα επίτευξης ουδέτερου ισοζυγίου άνθρακα μέσω της αύξησης του ποσοστού της ενέργειας που προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές. Για τον υπολογισμό λαμβάνονται υπόψη οι διαθέσιμες πηγές ενέργειας. Για τα έργα που βρίσκονται εκτός των ΗΠΑ, η πληροφορία αυτή αντλείται από τη βάση δεδομένων CAR.M.A. (Carbon Monitoring for Action), η οποία περιέχει πληροφορίες σχετικά με τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα για πάνω από 60.000 σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και 20.000 προμηθευτές ενέργειας παγκοσμίως. Όσον αφορά στον

οικισμό του Μετσόβου, οι διαθέσιμες πηγές ενέργειας θεωρείται πως είναι τα ορυκτά καύσιμα σε ποσοστό 87%, η υδροηλεκτρική ενέργεια σε ποσοστό 9% και οι ΑΠΕ σε ποσοστό 4%. Από τα **221Mg** ετήσιων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, τα **72Mg** μπορούν δυνητικά να αφαιρεθούν αξιοποιώντας το δυναμικό των ΑΠΕ μέσω της εγκατάστασης φωτοβολταϊκού συστήματος ή ανεμογεννήτριας. Επιπλέον, μπορούν δυνητικά να αφαιρεθούν **19Mg** ετήσιων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα μέσω της αξιοποίησης του φυσικού δροσισμού για την ψύξη του κτιρίου και της μείωσης της χρήσης μηχανικών συστημάτων ψύξης. Τέλος, μπορούν δυνητικά να αφαιρεθούν **113Mg** ετήσιων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα μέσω της χρήσης βιοκαυσίμων σε αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων. Λόγω της οργανικής τους προέλευσης (ο άνθρακας επανέρχεται στην ατμόσφαιρα μετά την καύση, από όπου είχε δεσμευτεί κατά την ανάπτυξη της οργανικής ύλης), το ισοζύγιο εκπομπών κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους θεωρείται μηδενικό. Συνεπώς, οι καθαρές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα υπολογίζονται σε **17Mg** ανά έτος, μέγεθος που αντιπροσωπεύει μόλις το 7,7% των αρχικών εκπομπών. Το δυναμικό των ΑΠΕ και του φυσικού δροσισμού περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω.

α. Το δυναμικό των Α.Π.Ε.: Οι υπολογισμοί του αιολικού δυναμικού υποθέτουν αιολικό στροβιλοκινητήρα διαμέτρου 15 ποδιών, ο οποίος τοποθετείται στη θέση που βρίσκεται ο μετεωρολογικός σταθμός και λειτουργεί με ελάχιστη και μέγιστη ταχύτητα ανέμου τα 6m/h και 45m/h, αντίστοιχα. Βάσει των παραπάνω παραδοχών υπολογίζεται ότι η δυνητική ετήσια παραγωγή ενέργειας ανέρχεται στις **1.386 kWh**.

Οι υπολογισμοί του δυναμικού από την εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος υποθέτουν ότι τα φωτοβολταϊκά πάνελ μπορούν να εγκατασταθούν σε όλες τις οριζόντιες επιφάνειες και στις επιφάνειες με κλίση μικρότερη των 120°. Ως προς τον τύπο των πάνελ, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επιλέξει ανάμεσα σε μονοκρυσταλλικά με απόδοση 13,8%, πολυκρυσταλλικά με απόδοση 12,3% και λεπτού υμενίου (thin film) με απόδοση 7,5%. Εδώ επιλέχθηκε ο πρώτος τύπος. Στη συνέχεια, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να ορίσει το κόστος εγκατάστασης των φωτοβολταϊκών πάνελ, το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας και τη μέγιστη περίοδο αποπληρωμής. Βάσει προεπιλογής, το κόστος εγκατάστασης των φωτοβολταϊκών πάνελ ορίζεται με γνώμονα σχετική έρευνα του Lawrence Berkeley National Laboratory (7,60\$ μέσο κόστος εγκατάστασης ανά εγκατεστημένο W στις ΗΠΑ το 2007, 3,90\$ και 3,10\$ για εμπορικά και οικιστικά κτίρια, αντίστοιχα, συνυπολογίζοντας τα φορολογικά κίνητρα). Στη συγκεκριμένη περίπτωση το κόστος εγκατάστασης των φωτοβολταϊκών πάνελ ορίστηκε στα 3,50€/W (λόγω και του μεγέθους της εγκατάστασης), το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας στα 0,11€/kWh, με την παραδοχή ότι θα αναπροσαρμόζεται κατά 2% ανά έτος, και η μέγιστη περίοδος αποπληρωμής στα 50 έτη. Βάσει των παραπάνω παραδοχών προέκυψε ότι για την εγκατάσταση **914m²** φωτοβολταϊκών πάνελ (μέγιστη διαθέσιμη επιφάνεια) το κόστος ανέρχεται στα **441.802€** και η ετήσια παραγωγή ενέργειας στις **166.247 kWh**. Η ετήσια παραγωγή ενέργειας εκφράζει την ποσότητα του παραγόμενου συνεχούς ρεύματος βάσει των μετεωρολογικών δεδομένων (π.χ. ποσοστό νεφοκάλυψης, γράφημα 37), τον

προσανατολισμό και τα επίπεδα σκιασμού των φωτοβολταϊκών πάνελ. Επιπλέον, η δυνητική εξοικονόμηση χρημάτων ανέρχεται στα **18.287€** και η περίοδος αποπληρωμής στα **20 έτη**. Για τον υπολογισμό της δυνητικής εξοικονόμησης δαπανών και της περιόδου αποπληρωμής λαμβάνεται υπόψη μόνο η ετήσια παραγωγή ενέργειας, το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας και ο ρυθμός αναπροσαρμογής του, ενώ δεν προσμετρώνται διάφορα κίνητρα όπως επιδοτήσεις και φορολογικές απαλλαγές. Η συμβολή κάθε επιφάνειας επί της οποίας τοποθετούνται φωτοβολταϊκά πάνελ στην παραγωγή ενέργειας και στη δυνητική εξοικονόμηση δαπανών παρουσιάζεται αναλυτικά στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 13. Ανάλυση της συμβολής των κεκλιμένων ή οριζόντιων επιφανειών επί των οποίων τοποθετούνται φωτοβολταϊκά πάνελ στην παραγωγή ενέργειας και στη δυνητική εξοικονόμηση δαπανών.

Προσανατολισμός	Κλίση (°)	Επιφάνεια πάνελ (m ²)	Ποσοστό έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία	Ποσοστό σκίασης	Ετήσια παραγωγή ενέργειας (kWh)	Ετήσια δυνητική εξοικονόμηση δαπανών (€/m ²)	Ετήσια (€)	Περίοδος αποπληρωμής (έτη)
SSW	22	77	72,1%	1,0%	16.830	23,90	1.851	16,9
SSW	22	33	71,3%	0,0%	7.099	23,75	781	17,1
SSW	22	33	70,4%	2,2%	7.112	23,37	782	17,3
SSW	22	16	69,9%	4,7%	3.298	23,02	363	17,5
SSW	22	1	69,5%	4,3%	300	22,97	33	17,5
ESE	22	6	67,9%	0,0%	1.227	22,22	135	18,0
ESE	22	4	67,4%	0,0%	801	22,06	88	18,2
ESE	22	46	65,3%	0,0%	8.894	21,34	978	18,7
ESE	22	2	64,8%	3,1%	474	21,08	52	18,8
SSW	22	3	63,0%	1,9%	468	20,56	51	19,3
WNW	22	11	62,7%	3,5%	1.954	20,39	215	19,3
SSW	22	52	63,0%	3,5%	9.656	20,49	1.062	19,3
WNW	22	49	62,7%	3,3%	9.062	20,40	997	19,3
ESE	22	30	62,9%	4,5%	5.524	20,45	608	19,3
WNW	22	38	62,8%	3,4%	6.981	20,40	768	19,3
ESE	22	34	62,7%	4,9%	6.235	20,41	686	19,3
WNW	22	45	62,5%	5,6%	8.362	20,30	920	19,4
ESE	22	65	62,3%	7,6%	12.018	20,21	1.322	19,5
ESE	22	19	62,5%	6,2%	3.495	20,25	384	19,5
ESE	22	2	61,9%	9,4%	450	20,02	49	19,7
NNE	22	72	61,6%	9,1%	13.048	19,96	1.435	19,8
NNE	22	3	61,6%	9,5%	453	19,92	50	19,8
NNE	22	52	61,7%	9,2%	9.404	19,96	1.034	19,8
WNW	22	2	61,4%	10,3%	446	19,84	49	19,8
WNW	22	1	61,4%	10,9%	259	19,84	29	19,8

NNE	22	32	61,4%	10,7%	5.799	19,83	638	19,8
WNW	22	5	55,4%	0,0%	818	18,49	90	21,0
WNW	22	5	55,4%	0,0%	818	18,50	90	21,0
WNW	22	2	53,9%	4,5%	401	17,83	44	21,7
NNE	22	13	55,8%	23,7%	2.159	17,78	237	21,7
SSW	22	26	54,7%	20,2%	4.213	17,78	463	21,7
WNW	22	33	51,8%	2,1%	5.207	17,11	573	22,3
NNE	22	6	49,8%	0,0%	892	16,15	98	23,4
NNE	22	30	49,6%	0,5%	4.341	16,07	478	23,5
NNE	30	18	50,3%	32,9%	2.635	15,90	290	23,8
NNE	22	7	48,3%	0,0%	942	15,71	104	23,9
NNE	22	16	48,2%	0,0%	2.249	15,70	247	24,0
FLAT	0	19	28,4%	58,7%	1.618	9,18	178	36,0
WNW	22	5	23,5%	71,6%	309	7,14	34	42,8
WNW	22	1	61,1%	11,3%	0	0,00	0	100,0+
ESE	22	1	64,2%	5,2%	0	0,00	0	100,0+
NNE	22	1	61,4%	10,4%	0	0,00	0	100,0+
SSW	22	1	63,1%	1,9%	0	0,00	0	100,0+
FLAT	0	0	2,2%	97,6%	0	0,00	0	100,0+
WNW	22	0	11,7%	78,0%	0	0,00	0	100,0+
SSW	22	0	42,6%	36,2%	0	0,00	0	100,0+
WNW	30	0	32,0%	38,3%	0	0,00	0	100,0+
NNE	22	1	49,2%	1,4%	0	0,00	0	100,0+
SSW	22	1	63,3%	1,6%	0	0,00	0	100,0+
914			166.247	20,00	18.287			

Από τον πίνακα παρατηρείται η σταδιακή μείωση της ετήσιας δυνητικής εξοικονόμησης δαπανών ανά τετραγωνικό μέτρο των φωτοβολταϊκών πάνελ ως συνεπακόλουθο του βόρειου προσανατολισμού της κεκλιμένης επιφάνειας ή/και του υψηλού ποσοστού σκίασης των πάνελ. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι το ποσοστό έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία κυμαίνεται μεταξύ 0% και 100%, με το 100% να εκφράζει τη μέγιστη αποτελεσματικότητα η οποία επιτυγχάνεται από φωτοβολταϊκά πάνελ εγκατεστημένα υπό κατάλληλη κλίση και ικανά να παρακολουθούν την ηλιακή πορεία. Επιφάνειες οι οποίες βρίσκονται υπό πλήρη σκίαση λόγω προσανατολισμού ή πολύ μικρές επιφάνειες (<1m²) δεν προσμετρώνται. Το ποσοστό σκίασης κυμαίνεται μεταξύ του ίδιου εύρους. Η διαφορά του από το προηγούμενο μέγεθος έγκειται στο γεγονός ότι είναι ανεξάρτητο του προσανατολισμού της επιφάνειας του πάνελ και σχετίζεται με τη σκίαση της επιφάνειας από στοιχεία του περιβάλλοντα χώρου όπως κτίρια, εξώστες, αρχιτεκτονικές προεξοχές, κ.λπ.

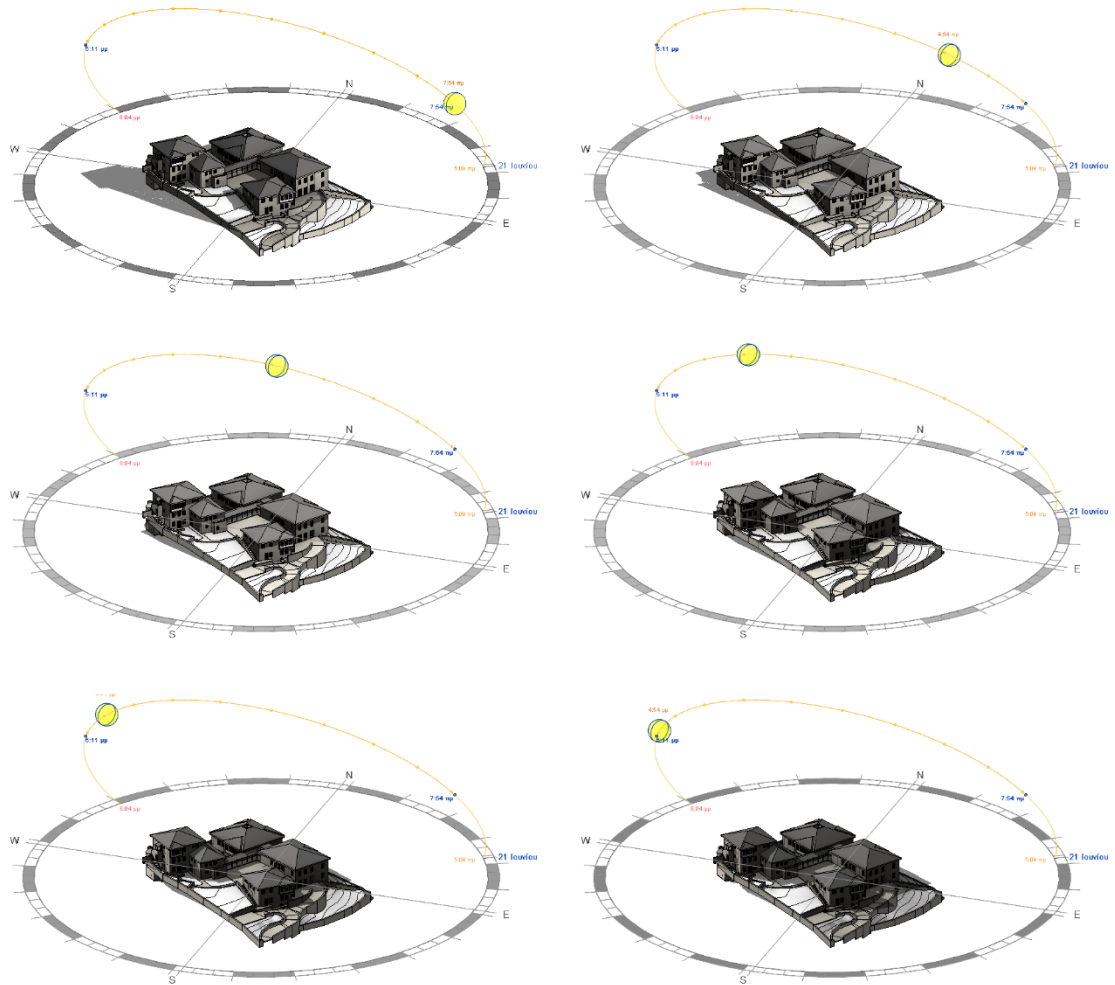
β. Το δυναμικό του φυσικού δροσισμού: Για τον υπολογισμό της ενέργειας που μπορεί να εξοικονομηθεί μέσω του φυσικού δροσισμού, υπολογίζεται ο αριθμός των ωρών ανά

έτος κατά τις οποίες η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα είναι ικανή (κάτω από το σημείο ρύθμισης του θερμοστάτη) να καλύψει τις ανάγκες σε ψύξη, όταν υπάρχει η ανάγκη ψυκτικού φορτίου³¹. Για τον υπολογισμό του χρονικού διαστήματος κατά το οποίο η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα ευνοεί το φυσικό δροσισμό, χρησιμοποιούνται τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής. Επιπλέον, λαμβάνεται υπόψη το αισθητό και λανθάνον ψυκτικό φορτίο ανά ώρα, καθώς και το θερμικό φορτίο, ενώ αγνοείται πιθανός φυσικός αερισμός του χώρου. Για τους υπολογισμούς γίνεται η παραδοχή ότι η γεωμετρία του μοντέλου, το μέγεθος και η διάταξη των ανοιγμάτων επιτρέπουν το διαμπερή αερισμό ο οποίος θα έχει ως αποτέλεσμα 20 Εναλλαγές Αέρα ανά Ώρα (Air Changes per Hour), χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η πραγματική διάταξη και το μέγεθός τους. Τα παραπάνω χαρακτηριστικά μπορεί να αγνοούνται για τον υπολογισμό του φυσικού δροσισμού, επηρεάζουν ωστόσο τον υπολογισμό των ψυκτικών φορτίων.

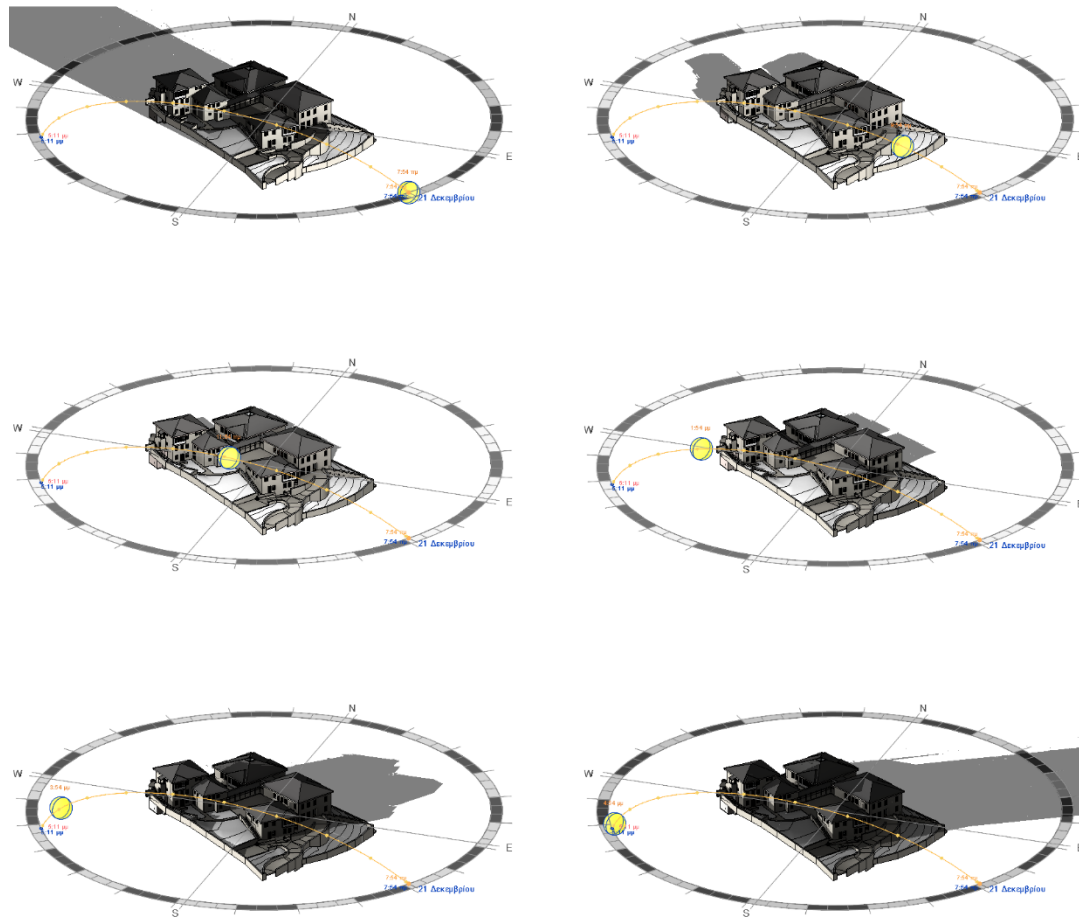
LEED Daylight

Κατά τη μοντελοποίηση του κτιριακού συγκροτήματος στο Revit Architecture είναι δυνατή η εξαγωγή διαγραμμάτων ηλιασμού. Πρόκειται για διαγράμματα τα οποία προσδιορίζουν τον ηλιασμό ενός κτιρίου ή ενός οικοπέδου υπό την παραδοχή των φαινόμενων τροχιών του ήλιου, υπό την θεώρηση δηλαδή ότι η γη παραμένει σταθερή ενώ ο ήλιος κινείται. Στις παρακάτω εικόνες απεικονίζονται τα διαγράμματα ηλιασμού του μοντέλου κατά τη διάρκεια της ημέρας (ανά δύο ώρες) του χειμερινού και θερινού ηλιοστάσιου, όταν ο ήλιος έχει τη χαμηλότερη και την υψηλότερη τροχιά, αντίστοιχα. Η θέση του ήλιου προσδιορίζεται κάθε φορά από τη στερεά γωνία, η οποία αναλύεται σε δύο επίπεδες γωνίες: τη γωνία ύψους που ορίζεται από τη θέση του ήλιου στον ουρανό ως προς το οριζόντιο επίπεδο και τη γωνία αζιμουθίου που ορίζεται από την ορθή προβολή της θέσης του ήλιου στο οριζόντιο επίπεδο, σε σχέση με την πραγματική κατεύθυνση του νότου. Ο προσδιορισμός του ηλιασμού βασίζεται στη συσχέτιση των γεωμετρικών δεδομένων του κτιρίου με τα γεωμετρικά δεδομένα της εκάστοτε θέσης του ήλιου (Ανδρεαδάκη, 2006).

³¹ Το ποσό της θερμότητας που απαιτείται να αφαιρεθεί από το χώρο με σκοπό την κάλυψη των εισροών θερμότητας που δημιουργούνται λόγω του θερμού περιβάλλοντος, αλλά και των αναπτυσσόμενων και παραγόμενων εντός του χώρου ποσοτήτων θερμότητας (Εργαστήριο Ενεργειακών και Περιβαλλοντικών Ερευνών Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. Τ.Ε.Ι. Στερεάς Ελλάδας, επίσημη ιστοσελίδα).



Εικόνα 43. Διαγράμματα ηλιασμού του μοντέλου ανά δύο ώρες κατά τη διάρκεια της ημέρας (από την ανατολή έως τη δύση του ηλίου - 5:09-20:04) του θερινού ηλιοστάσιου.



Εικόνα 44. Διαγράμματα ηλιασμού του μοντέλου ανά δύο ώρες κατά τη διάρκεια της ημέρας (από την ανατολή έως τη δύση του ηλίου - 7:54-17:11) του χειμερινού ηλιοστάσιου.

Προκειμένου να μελετηθεί η επάρκεια του φυσικού φωτισμού βάσει των προτύπων LEED (credit 8.1), υπολογίζονται για κάθε «δωμάτιο» οι τιμές ενός συντελεστή (glazing factor) ο οποίος αποτελεί το λόγο του επιπέδου φωτισμού του εσωτερικού χώρου προς το επίπεδο φωτισμού του εξωτερικού χώρου του κτιρίου, υπό δεδομένες συνθήκες νεφοκάλυψης. Για τους υπολογισμούς και την απόδοση των κατάλληλων μονάδων πιστοποίησης (credits), χρησιμοποιείται μία απλοποιημένη διαδικασία με μεταβλητές την επιφάνεια του χώρου, την επιφάνεια των παραθύρων, την οπτική διαπερατότητα, τη γεωμετρία των παραθύρων και το ύψος τους. Προκειμένου να συγκεντρωθούν οι απαραίτητες μονάδες για την πιστοποίηση LEED, πάνω από το 75% των χώρων κύριας χρήσης του κτιρίου πρέπει να έχει συντελεστή (glazing factor) μεγαλύτερο του 2%. Το κτιριακό συγκρότημα του ΜΕ.Κ.Δ.Ε. πληροί τις άνω προϋποθέσεις. Παρακάτω περιγράφονται αναλυτικά τα μεγέθη που χρησιμοποιούνται για τους υπολογισμούς.

- Επιφάνεια χώρου

- Περιμετρικά ανοίγματα θέασης (vision glazing): Πρόκειται για την επιφάνεια των παραθύρων των περιμετρικών τοίχων που βρίσκεται μεταξύ των 0,76m και των 2,29m, ύψος στο οποίο επιτυγχάνεται άμεση οπτική επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον και φυσικός φωτισμός της ζώνης περιμετρικά του κτιρίου. Η επιφάνεια των παραθύρων που βρίσκεται κάτω από τα 0,76m δε θεωρείται ότι συμβάλλει στην αύξηση των επιπέδων του φυσικού φωτισμού και συνεπώς δεν προσμετράται.
- Περιμετρικά ανοίγματα φυσικού φωτισμού (daylight glazing): Πρόκειται για την επιφάνεια των παραθύρων των περιμετρικών τοίχων που βρίσκεται πάνω από τα 2,29m, η οποία θεωρείται ότι συμβάλλει στο μέγιστο βαθμό στη μετάδοση του φυσικού φωτός στο εσωτερικό του κτιρίου.
- Ανοίγματα επί της οροφής (toplighting sawtooth monitor και toplighting vertical monitor): Πρόκειται για την επιφάνεια των ανοιγμάτων της οροφής τα οποία προσομοιάζουν σε φεγγίτες, με τη διαφορά ότι τοποθετούνται υπό κλίση (συνήθως κάθετα) ως προς το επίπεδο της στέγης.
- Φεγγίτες

Ενδεικτικά παρατίθενται οι τιμές που αφορούν στο επίπεδο 2/ στάθμη +6,65 (κτίριο Ξενώνα), λόγω της περιορισμένης έκτασής του σε σχέση με άλλα επίπεδα. Το εν λόγω επίπεδο περιλαμβάνει συνολικά 17 δωμάτια με συνολική επιφάνεια **166,80m²** (Παράρτημα 2). Οι επιφάνειες των περιμετρικών ανοιγμάτων θέασης και φυσικού φωτισμού ανέρχονται σε **24m²** και **2m²**, αντίστοιχα (η ποδιά της πλειοψηφίας των ανοιγμάτων βρίσκεται στα 0,85m και το πρέκι στα 2,40m). Ανοίγματα στην οροφή και φεγγίτες δεν υπάρχουν. Με βάσει τα παραπάνω, ο συντελεστής (glazing factor) υπολογίζεται στο **2,6%**.

LEED Water Efficiency

Προκειμένου να μελετηθεί η Αποδοτική χρήση του Νερού βάσει των προτύπων LEED, υπολογίζεται η ετήσια κατανάλωση νερού και διερευνώνται τρόποι μείωσής της. Η ετήσια κατανάλωση εξαρτάται κυρίως από το πλήθος των χρηστών του χώρου και το πρόγραμμα λειτουργίας του κτιρίου και σε μικρότερο βαθμό από τον αριθμό των ειδών υγιεινής και των οικιακών συσκευών που καταναλώνουν νερό. Για τον τύπο κτιρίου «Motel», ο αριθμός των ατόμων ανά 100m² ορίζεται σε 2,5 (πίνακας 10), ενώ γίνεται η παραδοχή ότι το κτιριακό συγκρότημα βρίσκεται σε συνεχή λειτουργία. Συνεπώς για το συγκεκριμένο έργο, ο αριθμός των χρηστών υπολογίζεται σε 67 άτομα και η ετήσια κατανάλωση νερού περίπου σε **7,1εκ. L**, εκ των οποίων περίπου το 6,4% χρησιμοποιείται για την άρδευση του εξωτερικού χώρου, με την παραδοχή ότι η αρδευόμενη έκταση έχει επιφάνεια 500m². Στη συνέχεια, διερευνήθηκε η δυνατότητα μείωσης της κατανάλωσης νερού μέσω της αντικατάστασης των ειδών υγιεινής και των συσκευών με περισσότερο αποδοτικά. Σύμφωνα με τα αρχιτεκτονικά σχέδια, εκτιμάται ότι στο κτιριακό συγκρότημα

του ΜΕ.Κ.Δ.Ε. υπάρχουν 30 τουαλέτες, 36 νιπτήρες και νεροχύτες, 18 ντουζιέρες, 4 πλυντήρια ρούχων και 2 πλυντήρια πιάτων. Αντικαθιστώντας τα είδη υγιεινής με χαμηλής ροής επιτυγχάνεται συνολικά 22,5% εξοικονόμηση νερού (10% από τις λεκάνες, 6,1% από τους νιπτήρες και τους νεροχύτες και 6,4% από τις ντουζιέρες). Μικρότερη εξοικονόμηση επιτυγχάνεται αντικαθιστώντας τις συσκευές με περισσότερο αποδοτικές (εξοικονόμηση 1,1% χρησιμοποιώντας πλυντήρια ρούχων οριζόντιου άξονα και 0,1% χρησιμοποιώντας περισσότερο αποδοτικά πλυντήρια πιάτων). Τέλος, υπολογίζεται το ποσοστό της εξοικονόμησης νερού μέσω της υιοθέτησης διαφόρων τεχνικών όπως η συλλογή του βρόχινου ή/και του ημικάθαρτου - «γκρίζου» νερού και η χρήση αυτοφυούς βλάστησης με μειωμένες ή και μηδενικές απαιτήσεις άρδευσης. Πιο συγκεκριμένα, υπολογίζεται ότι είναι εφικτό να συλλεχθούν 1,2εκ. L βρόχινο νερό προκειμένου να χρησιμοποιηθεί σε δευτερεύουσες χρήσεις με μειωμένες απαιτήσεις ποιότητας, όπως η άρδευση και τα καζανάκια της τουαλέτας. Για τους υπολογισμούς γίνεται η παραδοχή ότι το ετήσιο ύψος βροχόπτωσης ανέρχεται περί των 1.755mm (μέσος όρος του ετήσιου ύψους βροχόπτωσης για τα έτη 2015 και 2016 βάσει των μετρήσεων του μετεωρολογικού σταθμού του Μετσόβου) και η επιφάνεια (λεκάνη απορροής) από την οποία συλλέγεται το νερό και διοχετεύεται σε κατάλληλες δεξαμενές αποθήκευσης, είναι 855m². Η επιφάνεια αυτή είναι προεπιλεγμένη από το Green Building Studio και αφορά στη συνολική επιφάνεια της στέγης. Η συλλογή του ημικάθαρτου ή «γκρίζου» νερού το οποίο προέρχεται από τους νιπτήρες ή από δραστηριότητες όπως το πλύσιμο των ρούχων και το ντους, περιλαμβάνει τη συλλογή, την επεξεργασία, την πλήρη ανάκτηση και τελικά την επαναχρησιμοποίηση του νερού σε δευτερεύουσες χρήσεις, όμοιες με αυτές του βρόχινου νερού. Υπολογίζεται ότι με την υιοθέτηση της συγκεκριμένης τεχνικής μπορούν να συλλεχθούν περί των 113.000L νερού.

Διερεύνηση εναλλακτικών σχεδιαστικών επιλογών

Όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 1, ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας είναι η δυνατότητα προσομοίωσης της ενεργειακής συμπεριφοράς (performance) του έργου μέσω της διερεύνησης της συμπεριφοράς ενός πλήθους εναλλακτικών σχεδιαστικών λύσεων. Η διερεύνηση των δυνατοτήτων εξοικονόμησης ενέργειας μπορεί να πραγματοποιηθεί από τα αρχικά μόλις στάδια του σχεδιασμού μέσω της δημιουργίας εναλλακτικών μοντέλων βασικής διάταξης όγκων μέχρι τα τελικά στάδια του σχεδιασμού μέσω της τροποποίησης ορισμένων σχεδιαστικών παραμέτρων και υλικών κατασκευής. Επανεκτελώντας την ανάλυση, το αποτέλεσμα της αλλαγής γίνεται άμεσα αντιληπτό στη μεταβολή της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιρίου και της εκτίμησης του κόστους, ενώ η άμεση οπτικοποίηση του αποτελέσματος διευκολύνει την παρουσίαση και κατανόηση του τελικού αποτελέσματος από τον πελάτη. Με τον τρόπο αυτό διευκολύνεται η λήψη αποφάσεων, ενώ ο σχεδιασμός «πράσινων» κτιρίων γίνεται πιο αποτελεσματικός και οικονομικά αποδοτικός.

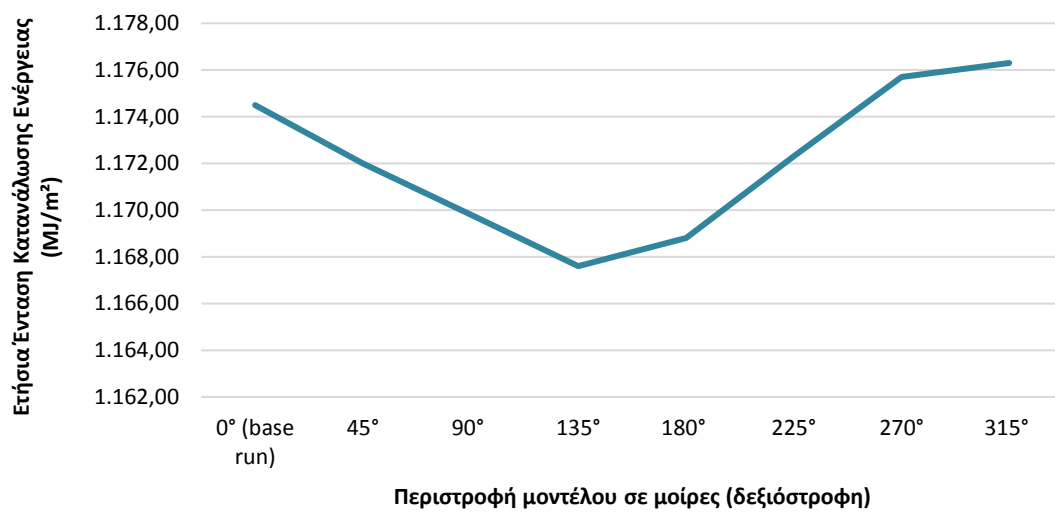
Το Green Building Studio προσφέρει τη δυνατότητα προσομοίωσης της ενεργειακής συμπεριφοράς ενός πλήθους εναλλακτικών σχεδιαστικών επιλογών (alternative runs) και σύγκρισης με αυτή της αρχικής λύσης (base run). Η εκτέλεση των εναλλακτικών αυτών λύσεων στοχεύει στη δημιουργία μίας συνολικής εικόνας της ευαισθησίας της ενεργειακής συμπεριφοράς ενός κτιρίου σε ένα πλήθος χαρακτηριστικών όπως ο προσανατολισμός του κτιρίου, το σύστημα θέρμανσης, ψύξης και κλιματισμού (HVAC system), οι ώρες λειτουργίας, η κατασκευή, τα φορτία φωτισμού και εξοπλισμού και η εγκατάσταση συστήματος ελέγχου φωτισμού. Ακολουθεί μία σύντομη αναφορά στην επίδραση της μεταβολής ορισμένων εκ των παραπάνω παραμέτρων στην ενεργειακή συμπεριφορά του κτιριακού συγκροτήματος του ΜΕ.Κ.Δ.Ε.

Προκειμένου να μελετηθεί η επίδραση της μεταβολής του **προσανατολισμού** του κτιριακού συγκροτήματος στην ενεργειακή του συμπεριφορά, πραγματοποιήθηκε διαδοχική δεξιόστροφη περιστροφή του μοντέλου κατά 45°. Με τον τρόπο αυτό δημιουργήθηκαν επτά εναλλακτικές λύσεις, πέραν της αρχικής. Η γωνία περιστροφής των 45° επιλέχθηκε καθώς αποτελεί τη μικρότερη δυνατή περιστροφή η οποία μπορεί να έχει μία αξιοσημείωτη επίδραση στην ενεργειακή συμπεριφορά ενός κτιριακού συνόλου, η ευαισθησία της οποίας εξαρτάται από ένα πλήθος παραμέτρων όπως η γεωμετρία και η διάταξη των κτιριακών όγκων, η τοποθεσία, το πλήθος και η θέση των ανοιγμάτων, οι θερμικές ιδιότητες των υαλοπινάκων κ.ά. Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει την ενεργειακή συμπεριφορά του μοντέλου υπό διαφορετικές γωνίες περιστροφής. Η βέλτιστη γωνία στροφής του μοντέλου είναι οι 135°, όπου επιτυγχάνεται μείωση της ετήσιας Έντασης Κατανάλωσης Ενέργειας κατά 0,59% με ταυτόχρονη μείωση της ετήσιας κατανάλωσης θερμικής ενέργειας κατά 0,92%.

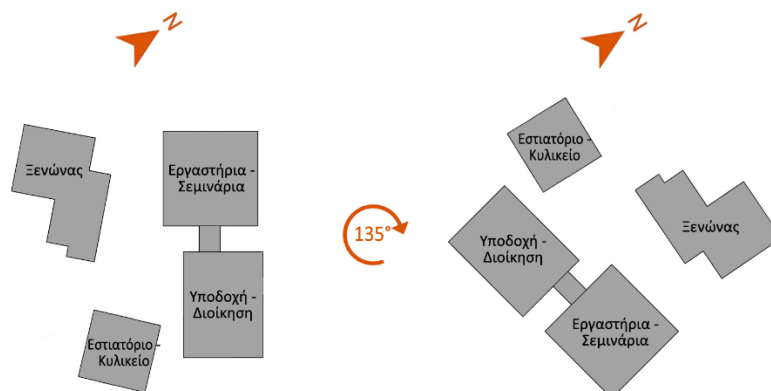
Πίνακας 14. Η μεταβολή της ενεργειακής συμπεριφοράς του μοντέλου ανάλογα με τη γωνία περιστροφής

Περιστροφή μοντέλου (δεξιόστροφη)	Ετήσια Ένταση Κατανάλωσης Ενέργειας (MJ/m ²)	Ποσοστό μεταβολής	Ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (kWh)	Ποσοστό μεταβολής	Ετήσια κατανάλωση θερμικής ενέργειας (MJ)	Ποσοστό μεταβολής	Ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (Mg)	Ποσοστό μεταβολής
0° (base run)	1.174,50		288.660		2.274.820		220,50	
45°	1.172,00	-0,21%	289.057	0,14%	2.266.274	-0,38%	220,20	-0,14%
90°	1.169,80	-0,40%	289.546	0,31%	2.258.208	-0,73%	220,00	-0,23%
135°	1.167,60	-0,59%	289.068	0,14%	2.253.851	-0,92%	219,60	-0,41%
180°	1.168,80	-0,49%	289.380	0,25%	2.256.052	-0,83%	219,80	-0,32%
225°	1.172,30	-0,19%	289.353	0,24%	2.265.959	-0,39%	220,30	-0,09%
270°	1.175,70	0,10%	288.752	0,03%	2.277.824	0,13%	220,60	0,05%
315°	1.176,30	0,15%	288.311	-0,12%	2.281.006	0,27%	220,60	0,05%

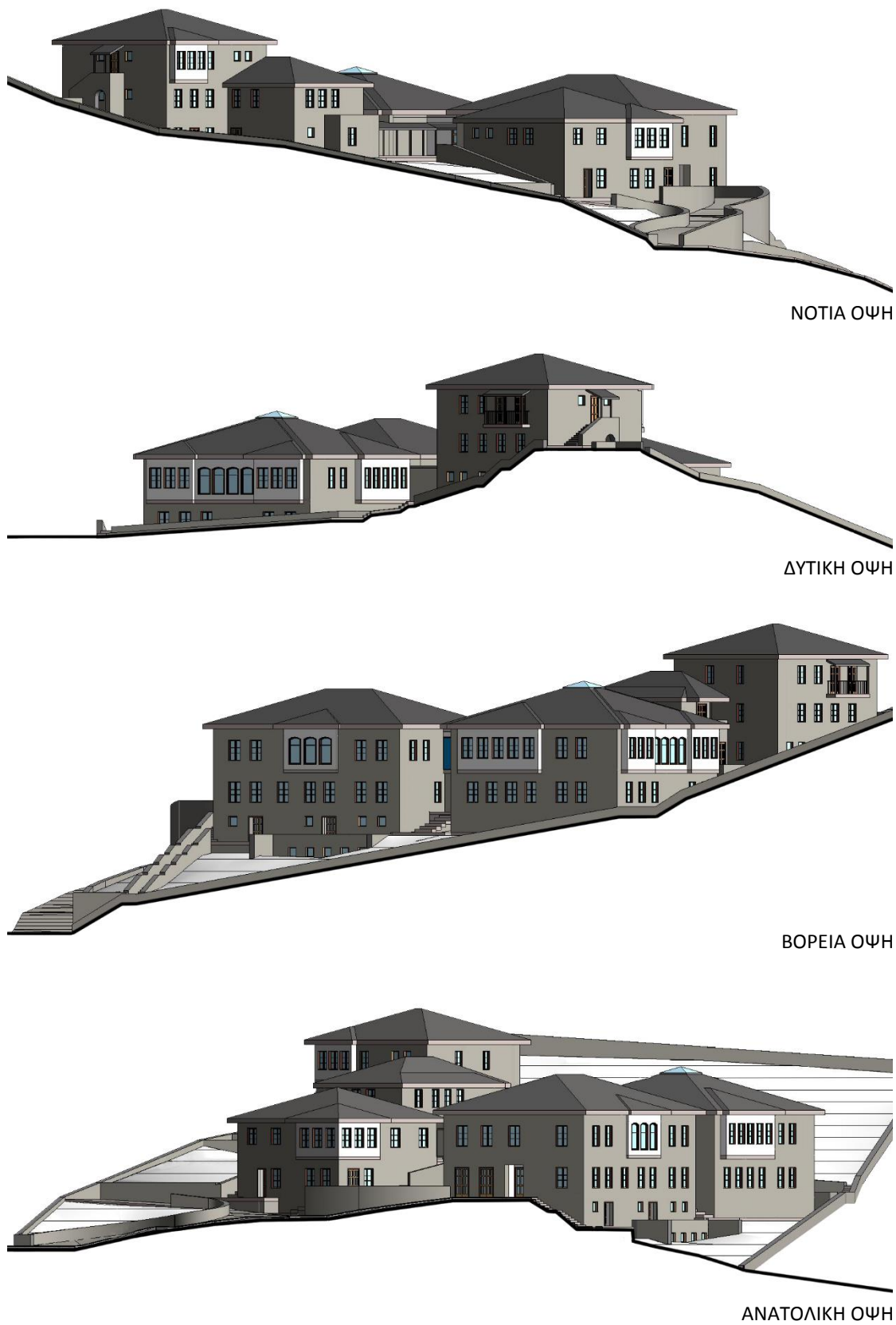
Παρά το γεγονός ότι δεν παρατηρούνται σημαντικές μεταβολές της ενεργειακής κατανάλωσης, γεγονός το οποίο πιθανώς οφείλεται στην περίπου ομοιόμορφη κατανομή των ανοιγμάτων στις όψεις του κτιριακού συγκροτήματος, από το γράφημα 25 παρατηρείται η τάση βελτιστοποίησης της ενεργειακής συμπεριφοράς του μοντέλου όσο πλησιάζουμε στην περιστροφή των 135°. Η γωνία αυτή αφορά στην τοποθέτηση της βορειοανατολικής όψης του κτιρίου προς το νότο (εικόνα 45). Όπως παρατηρείται από τις όψεις του κτιριακού συγκροτήματος του ΜΕ.Κ.Δ.Ε. (εικόνα 46), η βόρεια και η ανατολική όψη διαθέτουν τα περισσότερα ανοίγματα και συνεπώς παρέχουν τη δυνατότητα μεγιστοποίησης των ηλιακών κερδών.



Γράφημα 25. Η μεταβολή της ετήσιας Έντασης Κατανάλωσης Ενέργειας ανάλογα με τη γωνία περιστροφής



Εικόνα 45. Διαγραμματική απεικόνιση της περιστροφής του μοντέλου κατά 135°



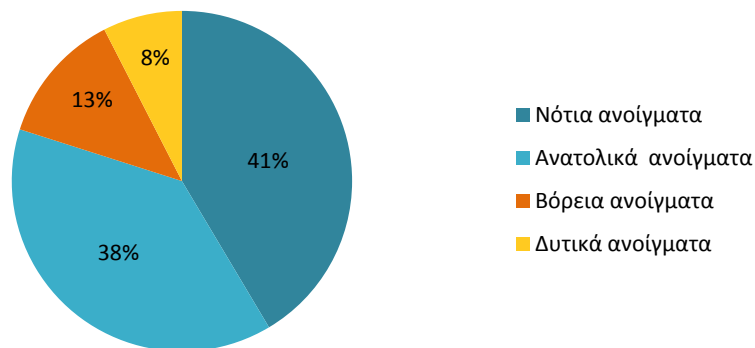
Εικόνα 46. Όψεις του κτιριακού συγκροτήματος του ΜΕ.Κ.Δ.Ε. σε κλίμακα 1:500

Η μεταβολή της **κατασκευής** του κτιρίου αφορά στη μεταβολή της σύνθεσης της τοιχοποιίας και της στέγης και στη σκίαση των υαλοπινάκων. Ο συντελεστής θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων του μοντέλου παρουσιάζεται στον πίνακα 12. Προκειμένου να εξεταστεί ο ρόλος της τοιχοποιίας και της στέγης στην ενεργειακή συμπεριφορά του μοντέλου, εκτελέστηκαν δύο προσομοιώσεις ακραίων κατασκευαστικών επιλογών, οι οποίες στην περίπτωση της τοιχοποιίας αφορούν σε μεταλλικό σκελετό χωρίς μόνωση με ιδιαίτερα υψηλό συντελεστή θερμοπερατότητας ($3,26 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$) και σε πάνελ με μόνωση R-44 συνολικού πάχους 31,1cm και ιδιαίτερα χαμηλό συντελεστή θερμοπερατότητας ($0,15 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$). Αντίστοιχα, για τη στέγη επιλέχθηκε μεταλλικός σκελετός χωρίς μόνωση (U-Value: $2,72 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$) και ξύλινος σκελετός με μόνωση R-60 (U-Value: $0,08 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$). Από την προσομοίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς των δύο ακραίων κατασκευαστικών λύσεων, προέκυψε ότι η σύνθεση των δύο αυτών δομικών στοιχείων έχει ιδιαίτερη επίδραση στην κατανάλωση θερμικής ενέργειας και στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Πιο συγκεκριμένα, βάσει της βέλτιστης λύσης με το χαμηλότερο συντελεστή θερμοπερατότητας για τα δύο δομικά στοιχεία, προέκυψε ότι η ετήσια κατανάλωση θερμικής ενέργειας μπορεί να μειωθεί κατά 7,0% και οι ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα κατά 3,6%. Αντιθέτως, η επιλογή δομικών στοιχείων με μεταλλικό σκελετό χωρίς μόνωση έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ετήσιας κατανάλωσης θερμικής ενέργειας κατά 78,6% και των ετήσιων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα κατά 43,6%.

Έχει ήδη αναφερθεί ότι για την προσομοίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιρίου του ΜΕ.Κ.Δ.Ε. θεωρείται ότι οι υαλοπίνακες είναι χαμηλού συντελεστή εκπομπής (low-e). Στον πίνακα που ακολουθεί εξετάζεται η μεταβολή της ενεργειακής συμπεριφοράς του μοντέλου ανάλογα με το ποσοστό σκίασης των ανοιγμάτων. Το μήκος των σκιάστρων θεωρήθηκε ίσο με τα 2/3 του ύψους του παραθύρου. Όπως παρατηρείται από τον παρακάτω πίνακα, η σκίαση των ανοιγμάτων έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ετήσιας κατανάλωσης θερμικής ενέργειας, αφού αποτρέπει τη διείσδυση της ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό του κτιρίου κατά τους χειμερινούς μήνες, με άμεσο συνεπακόλουθο τη μείωση των θερμικών ηλιακών κερδών. Επιπλέον, έχει ως αποτέλεσμα μικρή μείωση της ετήσιας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, λόγω μείωσης των αναγκών ψύξης κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Η επίδραση του προσανατολισμού των ανοιγμάτων στην αύξηση των θερμικών ηλιακών κερδών, απεικονίζεται στο γράφημα 26. Παρατηρείται ότι τα νότια και τα ανατολικά ανοίγματα έχουν μεγαλύτερη επίδραση στην αύξηση των θερμικών ηλιακών κερδών και συνεπώς, θα πρέπει να αποφευχθεί η τοποθέτηση μη κινητών σκιάστρων στις συγκεκριμένες πλευρές του κτιρίου.

Πίνακας 15. Η μεταβολή της ενεργειακής συμπεριφοράς του μοντέλου ανάλογα με τη σκίαση των ανοιγμάτων.

Σκίαση ανοιγμάτων	Ετήσια Ένταση Κατανάλωσης Ενέργειας (MJ/m ²)	Ποσοστό μεταβολής	Ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (kWh)	Ποσοστό μεταβολής	Ετήσια κατανάλωση θερμικής ενέργειας (MJ)	Ποσοστό μεταβολής	Ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (Mg)	Ποσοστό μεταβολής
Καθόλου (base run)	1.174,50		288.660		2.274.820		220,50	
Νότια ανοίγματα	1.178,00	0,30%	288.127	-0,18%	2.286.498	0,51%	220,80	0,14%
Ανατολικά ανοίγματα	1.177,60	0,26%	288.064	-0,21%	2.285.657	0,48%	220,70	0,09%
Βόρεια ανοίγματα	1.175,50	0,09%	288.404	-0,09%	2.278.355	0,16%	220,50	0,00%
Δυτικά ανοίγματα	1.175,10	0,05%	288.474	-0,06%	2.276.943	0,09%	220,50	0,00%
Σύνολο ανοιγμάτων	1.182,60	0,69%	287.126	-0,53%	2.303.063	1,24%	221,20	0,32%



Γράφημα 26. Η επίδραση του προσανατολισμού των ανοιγμάτων στην αύξηση των θερμικών ηλιακών κερδών.

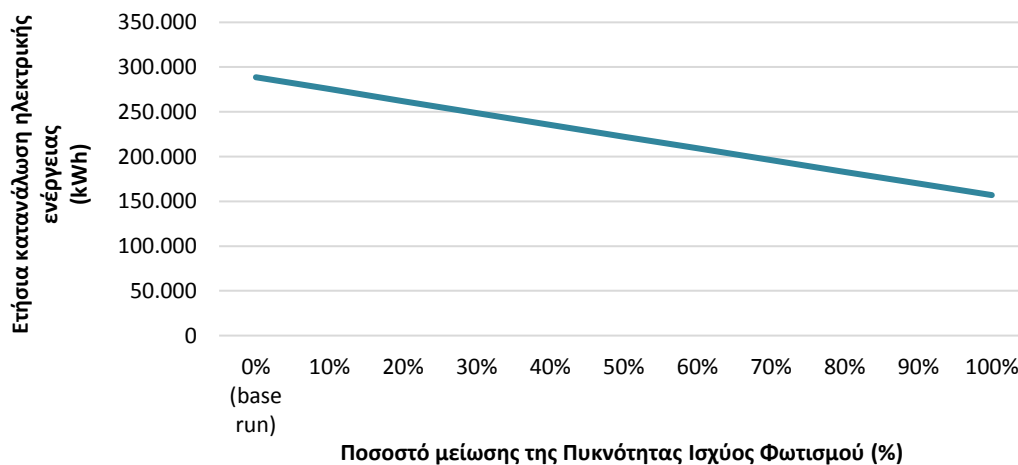
Τελευταία παράμετρος της κατασκευής του κτιρίου που εξετάζεται είναι ο ρυθμός διείσδυσης του αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου, ο οποίος λαμβάνεται ίσος με τιμές που κυμαίνονται από 2,0 ACH μέχρι 0,17 ACH (Air Changes per Hour - Εναλλαγές Αέρα ανά Ώρα), τιμές οι οποίες αναφέρονται σε εξαιρετικά αεροπερατό και μη κέλυφος, αντίστοιχα, για ταχύτητα ανέμου 10mph (στον τύπο κτιρίου «Motel» τα φορτία εξαερισμού είχαν ληφθεί ίσα με 0,25 ACH). Ενδεικτικά αναφέρεται ότι ενώ η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας δεν επηρεάζεται από το ρυθμό διείσδυσης του αέρα, η θεώρηση ενός εξαιρετικά αεροπερατού κελύφους (2,0 ACH) οδηγεί στην αύξηση της Έντασης Κατανάλωσης Ενέργειας κατά 7%, της κατανάλωσης θερμικής ενέργειας κατά 10% και των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα κατά 5%.

Τα **φορτία φωτισμού και εξοπλισμού** υπολογίζονται βάσει προεπιλογής ανάλογα με τον τύπο του κτιρίου. Για τον τύπο «Motel» λαμβάνονται ίσα με 10,9 W/m² και 5,4 W/m², αντίστοιχα (πίνακας 10). Το πρόγραμμα εκτελεί προσομοίωση για χαμηλής απόδοσης φορτία φωτισμού, η οποία εκφράζει την προεπιλεγμένη απόδοση και ταυτόχρονα τη χαμηλότερη επιτρεπτή σύμφωνα με τα πρότυπα ASHRAE 90.1 2001 και για χαμηλής απόδοσης φορτία εξοπλισμού, βάσει του κώδικα California Energy Code 2005 (καθώς τα φορτία εξοπλισμού δεν υποδεικνύονται από τα πρότυπα ASHRAE 90.1). Θα πρέπει να

σημειωθεί ότι χρησιμοποιώντας λαμπτήρες εξοικονόμησης ενέργειας και μειώνοντας τα επίπεδα φωτισμού, μπορεί να επιτευχθεί έως και 80% εξοικονόμηση της ενέργειας που καταναλώνεται για το φωτισμό. Η μείωση των επιπέδων φωτισμού μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας λαμπτήρες ψυχρού φωτός, καθώς το ανθρώπινο μάτι αντιλαμβάνεται τον ψυχρό φωτισμό (5.000K και άνω) ως πιο φωτεινό σε σχέση με το θερμό, ενώ θεωρείται ότι προσομοιάζει σε μεγαλύτερο βαθμό το φυσικό φωτισμό. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η δυνατότητα εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας υπό διαφορετικές τιμές της Πυκνότητας Ισχύος Φωτισμού (Lighting Power Density – LPD), η οποία εκφράζει την ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται για το φωτισμό ενός χώρου εκφρασμένη σε W ανά μονάδα επιφάνειας (m²).

Πίνακας 16. Μεταβολή της ενεργειακής συμπεριφοράς του μοντέλου ανάλογα με τη μείωση της Πυκνότητας Ισχύος Φωτισμού

Ποσοστό μείωσης της Πυκνότητας Ισχύος Φωτισμού (%)	Ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (kWh)	Ποσοστό μεταβολής	Ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (Mg)	Ποσοστό μεταβολής
0% (base run)	288.660		220,50	
10%	275.344	-4,61%	216,80	-1,68%
20%	262.018	-9,23%	213,10	-3,36%
30%	248.725	-13,83%	209,40	-5,03%
40%	235.517	-18,41%	205,80	-6,67%
50%	222.334	-22,98%	202,30	-8,25%
60%	209.224	-27,52%	198,80	-9,84%
70%	196.079	-32,07%	195,40	-11,38%
80%	182.968	-36,61%	192,00	-12,93%
90%	169.893	-41,14%	188,60	-14,47%
100%	156.953	-45,63%	185,30	-15,96%



Γράφημα 27. Μεταβολή της ενεργειακής συμπεριφοράς του μοντέλου ανάλογα με τη μείωση της Πυκνότητας Ισχύος Φωτισμού

Τέλος, εκτελούνται προσομοιώσεις για υποθετική εγκατάσταση **συστήματος ελέγχου των επιπέδων του φυσικού φωτισμού** το οποίο απενεργοποιεί τον ηλεκτρικό φωτισμό όταν η στάθμη του φυσικού φωτισμού ξεπεράσει ένα συγκεκριμένο επίπεδο (μέτρηση με φωτοηλεκτρικούς αισθητήρες). Ξεχωριστή προσομοίωση εκτελείται υποθέτοντας την τοποθέτηση αισθητήρων παρουσίας, όπου ο ηλεκτρικός φωτισμός απενεργοποιείται όταν δεν ανιχνεύεται κίνηση στο χώρο για προκαθορισμένο χρονικό διάστημα. Βάσει των προτύπων ASHRAE 90.1. μπορεί να επιτευχθεί μείωση της πυκνότητας ισχύος φωτισμού κατά 10% - 15%, ανάλογα με την επιφάνεια του χώρου. Από τον παρακάτω πίνακα παρατηρείται ότι με την εγκατάσταση των δύο παραπάνω συστημάτων μπορεί να επιτευχθεί έως και 6,33% μείωση της ετήσιας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και 2,31% μείωση των ετήσιων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.

Πίνακας 17. Μεταβολή της ενεργειακής συμπεριφοράς του μοντέλου ανάλογα με την εγκατάσταση συστημάτων ελέγχου φωτισμού

Τύπος συστήματος ελέγχου φωτισμού	Ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (kWh)	Ποσοστό μεταβολής	Ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (Mg)	Ποσοστό μεταβολής
Κανένα (base run)	288.660		220,50	
Φωτοηλεκτρικοί αισθητήρες	285.622	-1,05%	219,60	-0,41%
Αισθητήρες παρουσίας	273.067	-5,40%	216,10	-2,00%
Φωτοηλεκτρικοί αισθητήρες και αισθητήρες παρουσίας	270.387	-6,33%	215,40	-2,31%

Επίλογος

Η επιλογή της μοντελοποίησης σε λογισμικό BIM παρέχει πλήρη εποπτεία των συστατικών μερών του μοντέλου και διαφάνεια όσον αφορά στις παραδοχές του σχεδιασμού. Με τον τρόπο αυτό διευκολύνεται η λήψη αποφάσεων, εξοικονομείται χρόνος, ενώ προωθείται η συνέπεια και η διαλειτουργικότητα μεταξύ των εμπλεκόμενων μερών. Έτσι, επαναπροσδιορίζεται ο «παραδοσιακός» τρόπος σχεδιασμού, αφού καθίσταται δυνατή η μεταφορά πληροφοριών μεταξύ διαφορετικών μορφών αρχείων ή διαφορετικών ειδών λογισμικών. Μέσω της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας δίδεται η δυνατότητα κατασκευής ενός ενιαίου μοντέλου που αποτελείται από «οπτικά ισοδύναμα» δομικών στοιχείων, τα οποία φέρουν τις ιδιότητές τους υπό τη μορφή πληροφοριών. Πλέον, τον πρωτεύοντα ρόλο στο σχεδιασμό δεν κατέχει το ίδιο το αντικείμενο, αλλά οι ιδιότητες πίσω από αυτό. Στο μοντέλο αυτό έχουν πρόσβαση και δυνατότητα ενημέρωσης όλα τα εμπλεκόμενα μέρη στη διαδικασία σχεδιασμού και κατασκευής, ενώ οι όποιες αλλαγές ενημερώνονται αυτόματα σε όλες τις όψεις του κτιρίου. Η μείωση του κατακερματισμού του κατασκευαστικού κλάδου και η ύπαρξη μίας κοινής σχεδιαστικής πλατφόρμας έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της παραγωγικότητας της εργασίας και της ποιότητας σχεδιασμού, με ταυτόχρονη μείωση του κόστους. Στη διεθνή βιβλιογραφία, η Μοντελοποίηση της Κτιριακής Πληροφορίας φέρεται να έχει έξι διαστάσεις, με την έκτη διάσταση να σχετίζεται με το στάδιο εξέλιξης ενός έργου (Level of Development) και τη δυνατότητα επαναπροσδιορισμού του επιπέδου λεπτομέρειας των αντικειμένων, με στόχο την ικανοποίηση των ενεργειακών, κατασκευαστικών αρχιτεκτονικών ή/και ηλεκτρομηχανολογικών προδιαγραφών.

Ιδιαίτερα σημαντικά είναι τα οφέλη της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας στην υλοποίηση του οράματος του «*Ολοκληρωμένου Σχεδιασμού*» (Integrated Design). Αυτό περιλαμβάνει βελτιωμένες διαδικασίες συνεργασίας, συντονισμού, επικοινωνίας και υποστήριξης στη λήψη αποφάσεων, ενώ στοχεύει στην άκρως αποτελεσματική συνεργασία μεταξύ του ιδιοκτήτη και όλων των εμπλεκόμενων μερών στη σχεδιαστική και κατασκευαστική διαδικασία. Πρόκειται για την επέκταση της διαδικασίας μοντελοποίησης ενός κτιρίου, όχι μόνο σε ένα οπτικό περιβάλλον, αλλά σε ένα διαδραστικό σύστημα πληροφοριών όλων των αισθήσεων (nD modelling). Μέσα από τη διαδικασία της μοντελοποίησης της κτιριακής πληροφορίας καθίσταται δυνατή η ενσωμάτωση ποστού αριθμού διαστάσεων σε ένα ολοκληρωμένο πολυδιάστατο μοντέλο το οποίο θα συνδέεται με ένα πλήθος εξωτερικών βάσεων δεδομένων σε πραγματικό χρόνο.

Βασική διάσταση του «*Ολοκληρωμένου Σχεδιασμού*» είναι η προσομοίωση της περιβαλλοντικής συμπεριφοράς ενός έργου. Η Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας συμβάλλει στην προσομοίωση της περιβαλλοντικής συμπεριφοράς ενός έργου σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής του, από την κατασκευή εναλλακτικών μοντέλων βασικής διάταξης όγκων μέχρι το λεπτομερή σχεδιασμό και την παραγωγή των

τελικών σχεδίων και τη μετέπειτα διαχείριση και συντήρηση των εγκαταστάσεων. Με τον τρόπο αυτό δίδεται απάντηση σε ένα από τα μεγαλύτερα ζητήματα του κατασκευαστικού κλάδου που σχετίζεται με την «πράσινη» δόμηση, αυτό της μετατόπισης της προσοχής στην ενεργειακή κατανάλωση του Η/Μ εξοπλισμού, παρά στην ενεργειακή απόδοση των διαφανών και αδιαφανών στοιχείων του κελύφους ή στην ενέργεια που δαπανάται για την παραγωγή και τη μεταφορά εξοπλισμού και υλικών. Στόχος είναι η επίτευξη ικανοποιητικών επιπέδων θερμικής άνεσης με τα χαμηλότερα δυνατά επίπεδα ενεργειακής κατανάλωσης και τις λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, κάτι το οποίο προϋποθέτει το συγκεκριμένο ενεργειακό και παθητικό σχεδιασμό. Επιπλέον, καθίσταται εύκολη η ενσωμάτωση των προτύπων (π.χ. ISO) στο σχεδιασμό, ο έλεγχος συμμόρφωσης με συγκεκριμένες προδιαγραφές, αλλά και η περιβαλλοντική αξιολόγηση των κτιρίων.

Για την τεκμηρίωση της συμβολής της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας στην προσομοίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς των κτιρίων, επιλέχθηκε η μοντελοποίηση του κτιριακού συγκροτήματος του Μετσόβιου Κέντρου Διεπιστημονικής Έρευνας (ΜΕ.Κ.Δ.Ε.) του ΕΜΠ στο Μέτσοβο σε λογισμικό Revit Architecture. Η διαδικασία της μοντελοποίησης περιλάμβανε τη δημιουργία της γεωμετρίας του κτιρίου σε κάθε στάθμη, βάσει των δυσδιάστατων αρχιτεκτονικών σχεδίων που χρησιμοποιήθηκαν για τη σύσταση του φακέλου της οικοδομικής αδείας. Για την μοντελοποίηση χρησιμοποιήθηκαν συνολικά δέκα κατηγορίες αντικειμένων, η σύνθεση των επιμέρους τύπων των οποίων αποδόθηκε με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια βάση των αρχιτεκτονικών σχεδίων.

Ιδιαίτερης σημασίας για την οργάνωση και εποπτεία του μοντέλου είναι η δυνατότητα ταξινόμησης των επιμέρους στοιχείων του βάσει ιδιοτήτων που επιλέγονται από το χρήστη, όπως είναι ο τύπος, το μέγεθος ή οι θερμικές ιδιότητες ενός αντικειμένου. Βασικό πλεονέκτημα αποτελεί το γεγονός ότι για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου δεν απαιτείται η επαναδημιουργία της γεωμετρίας του. Μέσω του gbXML format είναι εφικτή η μεταφορά των ιδιοτήτων του μοντέλου μέσω διαδικτύου, οι οποίες αποθηκεύονται σε τρισδιάστατα μοντέλα κτιριακών πληροφοριών. Παράλληλα, η σύνδεση με την πλατφόρμα του Revit πραγματοποιείται μέσω μίας προσθήκης (plug-in) που επιτρέπει στους εγγεγραμμένους χρήστες να έχουν πρόσβαση στην υπηρεσία απευθείας από το περιβάλλον εργασίας του Revit.

Το Green Building Studio παρέχει δύο κατηγορίες πληροφοριών: εκτιμήσεις της κατανάλωσης ενέργειας και των αντίστοιχων δαπανών και των στοιχείων που θα μπορούσαν να τροποποιηθούν προς μία πιο «πράσινη» λογική και λειτουργία του κτιριακού συγκροτήματος. Έτσι, το αποτέλεσμα της ανάλυσης αφορά στον υπολογισμό της Έντασης Κατανάλωσης Ενέργειας του κτιριακού συγκροτήματος του ΜΕ.Κ.Δ.Ε., καθώς και της κατανάλωσης και του κόστους της ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας και του νερού. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι το κόστος της ενέργειας και του νερού δεν αναφέρεται σκόπιμα καθώς οι τιμές ποικίλουν ανάλογα την κατανάλωση, τον πάροχο και τη χρήση του κτιρίου. Επιπλέον, αναλύεται η κατανομή της κατανάλωσης ενέργειας για

την κάλυψη των διαφόρων αναγκών ανά μήνα, ενώ διερευνάται η δυνατότητα επίτευξης ουδέτερου ισοζυγίου του άνθρακα βάσει του διαθέσιμου δυναμικού των ΑΠΕ και της δυνατότητας φυσικού αερισμού και χρήσης βιοκαυσίμων. Το αποτέλεσμα της ανάλυσης περιλαμβάνει και τη μελέτη της επάρκειας του φυσικού φωτισμού και της αποδοτικής χρήσης του νερού βάσει των προτύπων LEED.

Ένα ακόμη πλεονέκτημα της χρήσης λογισμικού BIM αποτελεί η διαφάνεια των παραδοχών που έγιναν προκειμένου να εκτελεστεί η προσομοίωση, καθώς και η ευκολία τροποποίησης των παραμέτρων του σχεδιασμού. Τέτοιες παραμέτρους αποτελούν για παράδειγμα οι θερμικές παράμετροι των επιμέρους υλικών, ο τύπος και η τοποθεσία του κτιρίου και το πρόγραμμα λειτουργίας του. Έτσι, απλοποιείται η διαδικασία της ανάλυσης, ενώ επιτρέπεται η άμεση ανατροφοδότηση σχετικά με το σχεδιασμό εναλλακτικών σχεδιαστικών λύσεων προκειμένου να εξασφαλιστεί η μέγιστη δυνατή εξοικονόμηση ενέργειας, γεγονός το οποίο αποκτά βαρύνουσα σημασία σε έναν ορεινό οικισμό όπως είναι το Μέτσοβο. Οι εναλλακτικές λύσεις εστιάζονται στον προσανατολισμό του κτιρίου, στην κατασκευή του, στα φορτία φωτισμού και εξοπλισμού και στην εγκατάσταση συστήματος ελέγχου φωτισμού.

Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί ότι στην παρούσα μελέτη ως πρόγραμμα μοντελοποίησης επιλέχθηκε το Revit Architecture, το οποίο θέτει ερωτήματα σχετικά με την καταλληλότητα και τις δυνατότητες του συγκεκριμένου λογισμικού έναντι ομοειδών, ενώ η έρευνα θα μπορούσε να επεκταθεί και στη διερεύνηση των δυνατοτήτων άλλων λογισμικών. Δύο από τις σημαντικότερες αδυναμίες του προγράμματος αποτελούν η απόδοση του φωτορεαλιστικού αποτελέσματος και η μοντελοποίηση σύνθετων δομικών στοιχείων. Η απόδοση της περίπλοκης γεωμετρίας των ανοιγμάτων όσον αφορά στη «σφηνοειδή» κάτοψή τους, ή αυτή της κατασκευής των κουφωμάτων με τοξωτά υπέρθυρα, παρουσιάζουν ιδιαίτερα υψηλές σχεδιαστικές απαιτήσεις. Η απόδοση των δομικών στοιχείων ως αντικείμενα με τροποποιήσιμα παραμετρικά χαρακτηριστικά, και όχι ως γεωμετρικούς όγκους και η ταυτόχρονη απομάκρυνση της άμεσης παραγωγής αντικειμένων από τη δυσδιάστατα σχέδια, προϋποθέτει εμπειρία στην τρισδιάστατη σχεδίαση, ενώ μπορεί να αυξήσει το χρόνο παραγωγής του μοντέλου.

Βιβλιογραφία

Ali H.H. and Al Nsairat S.F. (2009). Developing a green building assessment tool for developing countries - Case of Jordan. *Building and Environment*. 44: 1053-1064.

Australian Institute of Architects, επίσημη ιστοσελίδα. Ανακτήθηκε από <http://www.architecture.com.au/> στις 24/5/2016

Autodesk (2007). *Building Performance Analysis Using Revit*. Ανακτήθηκε από http://www.iesve.com/corporate/media-center/white-papers/general/building_performance_analysis_using_revit.pdf στις 24/5/2016

Autodesk (2008). *BIM and the Autodesk Green Building Studio*. Ανακτήθηκε από http://www.kelarpacific.com/resources/Documents/bim_and_the_autodesk_green_building_studio_2008.pdf στις 22/5/2016

Autodesk (2010). *Revit Architecture 2011 User's Guide*. Ανακτήθηκε από http://images.autodesk.com/adsk/files/revit_architecture_2011_user_guide_en.pdf στις 14/5/2016

Autodesk (2012). *Rising to new heights with BIM*. Ανακτήθηκε από <http://static-dc.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/case-studies/shanghai-tower/shanghai-tower-customer-story.pdf> στις 21/5/2016

Autodesk (2014). *Transform business value with BIM*. Ανακτήθηκε από <http://www.autodesk.com/solutions/building-information-modeling/overview> στις 24/5/2016

Autodesk, επίσημη ιστοσελίδα. Ανακτήθηκε από <http://www.autodesk.com/> στις 23/5/2016

Bernstein P. (2005). Integrated Practice: It's Not Just About the Technology. *AIArchitect*, 03 October.

Bernstein P. (2005). Integrated Practice: It's Not Just About the Technology. *The American Institute of Architects*.

Better Buildings Partnership (2013). *Green Lease Toolkit*. Ανακτήθηκε από <http://www.betterbuildingspartnership.co.uk/green-lease-toolkit> στις 17/5/2016

BIM Framework, επίσημη ιστοσελίδα. Ανακτήθηκε από <http://www.bimframework.info> στις 10/5/2016

BIM6D, επίσημη ιστοσελίδα. Ανακτήθηκε από <http://data.bim6d.es/home> στις 12/5/2016

- Bono E. (1970). *Lateral Thinking; Creativity Step by Step*, New York, USA: Harper & Row.
- Bregianni A. (2013). *BIM Development for Cultural Heritage Management*. Diploma thesis, Lab of Photogrammetry, School of Rural & Surveying Engineering, National Technical University of Athens.
- BREEAM, επίσημη ιστοσελίδα. Ανακτήθηκε από <http://www.breeam.com/> στις 17/5/2016
- DCI Engineers (2013). *BIM + GREEN Buildings. Top 5 ways BIM and green building design work together*. Ανακτήθηκε από <http://www.dci-engineers.com/news/bim-green-building> στις 17/5/2016
- Dossick C. S. and Neff G. (2009). Organizational divisions in BIM-enabled commercial construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 136(4), 459-467.
- Eastman C. and Henrion M. (1977). GLIDE: A Language for Design Information systems. *ACMSIGGRAPH Computer Graphics*, Vol.11 (2) 24-33.
- Eastman C. M. and Siabiris A. (1995). A generic building product model incorporating building type information. *Automation in Construction*, 3: 283-304.
- Eastman C. M. (1999). *Building Product Models: Computer Environments Supporting Design and Construction*. Florida, USA: CRC Press.
- Eastman C., Lividini J. and Stoker D. (1975). *A Database for Designing Large Physical Systems*. National Computer Conference and Exposition 603-611.
- Eastman C., Teicholz P., Sacks R. and Liston K. (2008). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*. Hoboken, New Jersey, United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
- Eichholtz P., Kok N. and Quigley J.M. (2009). *Why do companies rent green? Real property and corporate social responsibility*. Program on Housing and Urban Policy, University of California. Berkeley.
- Engelbart D. C. (1962). *Augmenting Human Intellect: A Conceptual Framework*. Summary Report prepared for Director of Information Sciences, Air Force Office of Scientific Research, Washington DC.
- European Environmental Agency (2001). *Waste - Annual topic update 2000*. Copenhagen, Denmark: EEA.
- Fehrenbacher J. (2011). How Building Information Modelling (BIM) Helps Buildings Go Green. Ανακτήθηκε από <http://inhabitat.com/> στις 11/02/2016
- Forsberg A. and von Malmberg F. (2004). Tools for environmental assessment of the built environment. *Building and Environment*. 39: 223-228.

Fox L.C. and Balding J.J. (2009). *Introducing and Implementing Revit Architecture 2010*. New York, USA: Delmar

Franzoni E. (2011). Materials selection for green buildings: which tools for engineers and architects? *Procedia Engineering*. 21: 883- 890.

Gallagher M. P., O'Connor A. C., Dettbarn J. L., Jr. and Gilday L. T. (2004). Cost Analysis of Inadequate Interoperability in the US Capital Facilities Industry. *NIST*, GCR 04-867.

Gerber D. J., Becerik - Gerber B. And Kunz A. (2010). *Building Information Modelling and lean construction: technology, methodology and advances from practice*. 8th annual Conference, International Group for Lean Construction, 14-16 July 2010, Haifa, Israel.

Gonchar J. (2009). LEED Looks Ahead With an Ambitious Overhaul. *Architectural Record*. Ανακτήθηκε από http://www.syska.com/cms/docs/articles/ar_bolin_0509.pdf στις 24/02/2016

Graphisoft, επίσημη ιστοσελίδα. Ανακτήθηκε από http://www.graphisoft.com/archicad/open_bim/about_bim/ στις 11/05/2016

Häkkinen T. and Kiviniemi A. (2008). *Sustainable building and BIM*, Proc. 2008 World Sustainable Building Conference, 21-25 September 2008, Melbourne, Australia.

Hamil S. (2013)a. *Building Information Modelling (BIM) in action*. Presentation from the IMechE BIM conference.

Hamil S. (2013)b. *What is BIM? - National BIM Library - The information that matters*. Ανακτήθηκε από <https://www.youtube.com/watch?v=tsdKu7gTejA> στις 10/05/2016

Hampson K. and Brandon P. (2004). *Construction 2020: A Vision of Australia's Property and Construction Industry*. Brisbane Qld, Australia: CRC Construction Innovation.

Hernández A. P. (2015). *Business Logic Layer*. Ανακτήθηκε από <https://prezi.com/xe0vkfhutv8m/business-logic-layer/> στις 10/05/2016

HM Government (2012). *Building Information Modelling*. Ανακτήθηκε από https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/34710/12-1327-building-information-modelling.pdf στις 19/05/2016

Ibrahim M., Krawczyk, R. and Schipporeit, G. (2004). *A Web-Based Approach to transferring architectural information to the construction site based on the BIM object concept*. CAADRIA 2004 Conference: Culture, Technology and Architecture, Seoul, Korea.

ILAL M.E. (2007). The quest for integrated design system: a brief survey of past and current efforts. *Middle East Technical University Journal of the Faculty of Architecture (METU JFA)*, 24(2), 149-158.

Intelligent Energy Europe, programme of the European Union, 2015. *Energy Efficiency Trends and Policies in the Household and Tertiary Sectors. An Analysis Based on the ODYSSEE and MURE Databases*. Ανακτήθηκε από <http://www.odyssee-mure.eu/publications/br/energy-efficiency-in-buildings.html> στις 24/9/2016

Isikdag U. (2015). *Enhanced Building Information Models. Using IoT Services and Integration Patterns*. Cham, Switzerland: Springer.

ISO, επίσημη ιστοσελίδα. Ανακτήθηκε από <http://www.iso.org/iso/home.html> στις 16/5/2016

Kimmance A.G. (2002). *An integrated product and process information modelling system for on-site construction*. Thesis (Ph. D.), University of Loughborough, UK.

Klinger M. and Susong M. (2006). The Construction Project: Phases, people, terms, paperwork, processes, Anderson J., Huhn M., Rivera D.M. and Susong M. (Eds.), *Phases of the construction project*. Chicago, Illinois, USA: American Bar Association (ABA) Publishing.

Kolekar N.M. (2015). Thermal Comfort Assessment for Existing Buildings by using Building Information Modelling. *International Journal of Research in Engineering, Science and Technologies*. 1: 347-353.

Laiserin J. (2002), Comparing Pommés and Naranjas, The Laiserin Letter, December 16. Ανακτήθηκε από <http://www.laiserin.com/features/issue15/feature01.php> στις 12/5/2016

Langdon D. (2012). *BIM: A guide for clients*. Ανακτήθηκε από https://issuu.com/jojowasmydog/docs/davis_langdon_-_bim_guide_for_clients_-_apri_l2012 στις 12/5/2016

Latiffi A. A., Brahim J. and Fathi M. S. (2014). The Development of Building Information Modeling (BIM) Definition. *Applied Mechanics and Materials*, 567: 625-630.

Lee A., Wu S., Marshall-Ponting A., Aouad G., Cooper R., Tah J. H. M., Abbott C. and Barrett P. S. (2005). *nD Modelling Roadmap: A Vision for nD-Enabled Construction*. University of Salford.

MacLeamy P. (2014). *Keynote: BIM BAM BOOM!*. Ανακτήθηκε από <https://www.youtube.com/watch?v=WAnfYcWom4Q> στις 14/5/2016

Maia L., Mêda P. and Freitas J.G. (2015). BIM methodology, a new approach - case study of structural elements creation. *Procedia Engineering*, 114: 816-823.

Mithraratne N. and Vale B. (2004). Life cycle analysis model for New Zealand houses. *Building and Environment*. 39:483-492.

National Building Specification (NBS) (2016). National BIM Report 2016. Ανακτήθηκε από <file:///C:/Users/User/Desktop/BIM%20Report%202016.pdf> στις 9/10/2016

National Institute of Building Sciences, επίσημη ιστοσελίδα. Ανακτήθηκε από <https://www.wbdg.org/> στις 24/02/2016

Oyedokun T.B., Jones C.A. and Dunse N. (2015). *The growth of the green office market in the UK*. Institute for Social Policy, Housing, Environment and Real Estate. Heriot-Watt University, Edinburgh.

Papamichael K., LaPorta J., Chauvet H., Collins D., Trzcinski T., Thorpe J. and Selkowitz S. (1996). *The Building Design Advisor*. Proceedings of the ACADIA 1996 Conference, University of Arizona, Tucson, AZ, October 31-November 1, 1996.

Peansupap V., and Walker D. H. T. (2005). Factors Enabling Information and Communication Technology Diffusion and Actual Implementation in Construction Organisations. *Electronic Journal of Information Technology in Construction*, 10, 193-218.

Pham D. (2014). *INTERVIEW: HOK's Bill Odell on the Design of Saudi Arabia's KAUST University, the World's Largest LEED Platinum Project*. Ανακτήθηκε από <http://inhabitat.com/interview-hoks-bill-odell-on-the-design-of-saudi-arabias-kaust-university-the-worlds-largest-leed-platinum-project/> στις 19/02/2016

Quirk V. (2012). A Brief History of BIM. *Archdaily*, December 07. Ανακτήθηκε από <http://www.archdaily.com/302490/a-brief-history-of-bim/>, στις 29/10/2015

RICS (2008). *Carbon management of real estate. A guide to best practice*. 1st edition. Coventry, UK: Royal Institution of Chartered Surveyors.

Roaf S. (2004). *Closing the Loop. Benchmarks for Sustainable Buildings*. London, UK: RIBA Enterprises Ltd.

Santini S. (2002). Using language more responsibly. *Computer*, 35(12), 127-128.

Schaffer M. (2008). *Tallest Building in China Breaks Ground*. Shanghai Tower, News Release, Αρχιτεκτονικό γραφείο Gensler. Ανακτήθηκε από http://www.gensler.com/uploads/documents/pr_081128_Shanghai_Tower_11_24_2008.pdf στις 19/5/2016

Schumacher P. (2008). *Parametricism as Style - Parametricist Manifesto*. Ανακτήθηκε από <http://www.patrikschumacher.com/Texts/Parametricism%20as%20Style.htm> στις 03/02/2016

Succar B. (2009). Building information modelling framework: a research and delivery foundation for industry stakeholders. *Automation in Construction*, 18(3): 357-375.

Succar B. (2010)a. Building Information Modelling maturity matrix. In Underwood J. and Isikdag U. (Eds.), *Handbook of research on Building Information Modelling and construction informatics: concepts and technologies* (pp. 65-103): Information Science Reference, IGI Publishing.

Succar B. (2010)b. *The five components of BIM performance measurement*. Paper presented at the CIB World Congress, Salford, United Kingdom.

Succar B. (2013). *Building Information Modelling: conceptual constructs and performance improvement tools*, Doctor of Philosophy, School of Architecture and Built Environment, Faculty of Engineering and Built Environment, University of Newcastle.

Succar B., Sher W. and Aranda-Mena G. (2007). A proposed framework to investigate Building Information Modelling through knowledge elicitation and visual models. *Australasian Universities Building Education (AUBEA2007)*, Melbourne, Australia.

Sungwoo L., Sungho T., Seungjun R. and Taehyung K. (2015). Green Template for Life Cycle Assessment of Buildings Based on Building Information Modeling: Focus on Embodied Environmental Impact. *Sustainability 2015*, 7(12), 16498-16512.

Testa F., Iraldo F., Frey M. and O'Connor R. (2011). Life Cycle Costing, a View of Potential Applications: from Cost Management Tool to Eco-Efficiency Measurement. Supply Chain Management, Dr. pengzhong Li (Ed.), InTech.

The American Institute of Architects – AIA. (2010). *Green BIM. How Building Information Modeling is Contributing to Green Design and Construction*. Bedford, UK: McGraw-Hill Construction.

The American Institute of Architects (AIA). 2007. *Integrated Project Delivery: A Guide*. AIA California Council.

The American Institute of Architects, επίσημη ιστοσελίδα. Ανακτήθηκε από <http://www.aiaopten.org/> στις 19/02/2016

UK Cabinet Office (2011). *Government Construction Strategy*. Ανακτήθηκε από https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/61152/Government-Construction-Strategy_0.pdf στις 20/9/2016

United States Energy Information Administration, επίσημη ιστοσελίδα. Ανακτήθηκε από <http://www.eia.gov/> στις 20/9/2016

United States, Environmental Protection Agency (2007). *Municipal Solid Waste in the United States: 2007 Facts and Figures*. Ανακτήθηκε από http://www3.epa.gov/epawaste/nonhaz/municipal/pubs/msw07-rpt.pdf#_ga=1.226960916.862828442.1445521404 στις 20/9/2016

United States, Environmental Protection Agency (2014). *Green Building*. Ανακτήθηκε από <http://archive.epa.gov/greenbuilding/web/html/> στις 18/9/2016

US Green Building Council, επίσημη ιστοσελίδα. Ανακτήθηκε από <http://usgbc.org/leed>

Watt A. (2014). *Project Management*, BCcampus Open Textbook project. Ανακτήθηκε από <http://opentextbc.ca/projectmanagement/front-matter/introduction-2/> στις 18/9/2016

Yuan Y. and Yuan J. (2011). The theory and framework of integration design of building consumption efficiency based on BIM. *Procedia Eng.* 15: 5323–5327.

Zeljic A.S. (2010). *Shanghai Tower Façade Design Process*. Αρχιτεκτονικό γραφείο Gensler. Ανακτήθηκε από http://www.gensler.com/uploads/documents/Shanghai_Tower_Facade_Design_Process_11_10_2011.pdf στις 19/5/2016

Αδάμου Δ. (2014). *BIM & Βιώσιμος Σχεδιασμός*. Διάλεξη, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών.

Ανδρεαδάκη Ε. (2006). *Βιοκλιματικός Σχεδιασμός. Περιβάλλον και Βιωσιμότητα*. Θεσσαλονίκη: University Studio Press.

Αρχιτεκτονικό γραφείο Gensler, επίσημη ιστοσελίδα. Ανακτήθηκε από <http://du.gensler.com/vol6/shanghai-tower/> στις 19/5/2016

Αρχιτεκτονικό γραφείο Grimshaw, επίσημη ιστοσελίδα. Ανακτήθηκε από <http://grimshaw-architects.com/> στις 11/02/2016

Αρχιτεκτονικό γραφείο HOK, επίσημη ιστοσελίδα. Ανακτήθηκε από <http://www.hok.com/> στις 19/02/2016

Βαρώτσου Ε. (2012). Αιωρούμενα σωματίδια σε κλειστούς χώρους, σε διαφορετικούς τύπους κτιρίων. Ειδική Ερευνητική εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Φυσικής, Τομέας Εφαρμοσμένης Φυσικής, Διατμηματικό Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών στις Περιβαλλοντικές Επιστήμες.

Βερροίου Κ. (2014). *Ενεργειακή αναβάθμιση κτιριακού συγκροτήματος Μετσόβιου Κέντρου Διεπιστημονικής Έρευνας με χρήση συστήματος αβαθούς γεωθερμίας*. Διπλωματική Μεταπτυχιακή Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2^η κατεύθυνση σπουδών ΔΠΜΣ *Περιβάλλον και Ανάπτυξη των ορεινών περιοχών*.

Βλαχοπούλου Ε. (2010). *Μελέτη συστημάτων επιχειρηματικής ευφυΐας - δυνατότητες και προοπτικές*. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Οικονομικών Επιστημών, Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα στη Διοίκηση και Οικονομία.

Δημοπούλου Ε. (2015). *nD Κτηματολόγιο: Σχεδιασμός – Ανάπτυξη – Πρότυπα – Μοντελοποίηση*. Ζωγράφου: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών.

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. *Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων*. Σημειώσεις του διατμηματικού μαθήματος Περιβάλλον & Ανάπτυξη 8^{ου} Εξαμήνου.

Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛ.ΣΤΑΤ.), επίσημη ιστοσελίδα. Ανακτήθηκε από <http://www.statistics.gr/> στις 22/9/2016

Επιτροπή Έργου ASHRAE Standard 140, επίσημη ιστοσελίδα. Ανακτήθηκε από <http://sspc140.ashraepcs.org/index.html> στις 22/5/2016

Εργαστήριο Ενεργειακών και Περιβαλλοντικών Ερευνών Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. Τ.Ε.Ι. Στερεάς Ελλάδας, επίσημη ιστοσελίδα. Ανακτήθηκε από <https://renewablelab.wordpress.com/> στις 23/12/2016

Ζέρβας Π. (2011). *Εφαρμογές της ΨΑΚΠ (BIM) στη διαχείριση τεχνικών έργων*. Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Προγραμματισμού και Διαχείρισης Τεχνικών Έργων.

Ζυγούρας Μ. και Καραγιαννίδης Α. (2005). Αποτελέσματα λειτουργίας από μία πιλοτική μονάδα ανακύκλωσης στερεών αποβλήτων από κατασκευές και κατεδαφίσεις. *Heleco '05*, ΤΕΕ, Αθήνα.

Καλογήρου Χ. (2009). *Διερεύνηση των βιοκλιματικών χαρακτηριστικών της παραδοσιακής αρχιτεκτονικής του Μετσόβου. Δυνατότητες προσαρμογής σύγχρονων τρόπων δόμησης*. Διπλωματική Μεταπτυχιακή Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2^η κατεύθυνση σπουδών ΔΠΜΣ *Περιβάλλον και Ανάπτυξη των ορεινών περιοχών*

Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ). (2015). *Energy Efficiency trends and policies in Greece*. ODYSSEE- MURE. Ανακτήθηκε από <http://www.odyssee-mure.eu/publications/national-reports/energy-efficiency-greece.pdf> στις 2/10/2016

Κατσουλάκος Ν. (2011). *Αναβάθμιση της ενεργειακής συμπεριφοράς των κτιρίων στις ορεινές περιοχές: Η περίπτωση του ΜΕΚΔΕ*. Εργασία Ημερίδας *Η συμβολή του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου στην ολοκληρωμένη ανάπτυξη του Δήμου Μετσόβου*, Μέτσοβο.

Κατσουλάκος Ν. (2013). *Βέλτιστη Χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις ορεινές περιοχές. Η περίπτωση του Μετσόβου*. Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών.

Κατσουλάκος Ν. και Καλιαμπάκος Δ. (2010). *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Ορεινές Περιοχές*. 6^ο Διεπιστημονικό Διαπανεπιστημιακό Συνέδριο του ΕΜΠ και του ΜΕ.Κ.Δ.Ε. του ΕΜΠ *Η Ολοκληρωμένη Ανάπτυξη των Ορεινών Περιοχών*, Μέτσοβο, 16-19 Σεπτεμβρίου.

Κοΐνη Γ. Ν. (2005). *Ανάπτυξη λογισμικού για την παραμετρική σχεδίαση πτερυγώσεων στροβιλομηχανών*. Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης.

Κορωναίος Α. Γ. και Σαργέντης Γ. Φ. (2005). *Δομικά υλικά και οικολογία*. Ερευνητικό έργο, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αρχιτεκτόνων, Εργαστήριο Τεχνικών Υλικών.

Κορωναίος Α. και Πουλάκος Γ. (2005). *Τεχνικά Υλικά. Τόμος 2*. Αθήνα: πανεπιστημιακές εκδόσεις ΕΜΠ.

Κυπριακή Δημοκρατία, Γενικό Λογιστήριο της Δημοκρατίας, Διεύθυνση Δημοσίων Συμβάσεων. *Οδηγός βέλτιστων πρακτικών για τη σύναψη και εκτέλεση δημοσίων συμβάσεων*. Ανακτήθηκε από <http://www.publicprocurementguides.treasury.gov.cy> στις 19/9/2016

Μετσόβιο Κέντρο Διεπιστημονικής Έρευνας (ΜΕ.Κ.Δ.Ε), επίσημη ιστοσελίδα. Ανακτήθηκε από <http://www.ntua.gr/MIRC/> στις 25/9/2016

Παπαλεξόπουλος Δ. (2009). *Ο παραμετρικός σχεδιασμός και η τεχνολογία της κατασκευής*. Σημειώσεις του κατ' επιλογήν μαθήματος του 9^{ου} εξαμήνου της Σχολής Αρχιτεκτόνων Μηχανικών ΕΜΠ, Ψηφιακός Σχεδιασμός της Υλικότητας, Ψηφιακή Τεκμηρίωση και Διαχείριση της Πληροφορίας στο Συνεχές Σχεδιασμού - Κατασκευής - Χρήσης.

Παρατηρητήριο Μεταλλευτικών Δραστηριοτήτων, επίσημη ιστοσελίδα. Ανακτήθηκε από <http://antigoldgr.org/blog/2009/09/10/worldwatch/> στις 19/5/2016

Πατρωνάκη Μαριλένα (2012). *Συστήματα Κεντρικού Κλιματισμού*. Πτυχιακή εργασία, ΤΕΙ Καβάλας, Τμήμα Μηχανολογίας.

Πολυχρονάκη Ε. (2014). *Contemporary City-Scape: A Digital 'Assemblage' Εξετάζοντας τη λογική ενός υπολογιστικού αστικού σχεδιασμού*. Διάλεξη, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών.

Ρόκος Δ. (1998). *Το εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο για το Μέτσοβο. Επιστρέφοντας ένα μέρος του χρέους*. Αθήνα: πανεπιστημιακές εκδόσεις ΕΜΠ.

Ρόκος Δ. και Μιχαηλίδου Ε. (2007). *Η συμβολή του Μετσόβιου Κέντρου Διεπιστημονικής Έρευνας (ΜΕ.Κ.Δ.Ε.) του ΕΜΠ και του Ιδρύματος Ανάπτυξης του ΜΕ.Κ.Δ.Ε. του ΕΜΠ στην Ολοκληρωμένη Ανάπτυξη της Ηπείρου*. Πρακτικά 4^{ου} Διεπιστημονικού Διαπανεπιστημιακού Συνεδρίου του ΕΜΠ και του ΜΕ.Κ.Δ.Ε. του ΕΜΠ «Η Ολοκληρωμένη Ανάπτυξη της Ηπείρου», Συνεδριακό Κέντρο Μετσόβου, 23-26 Σεπτεμβρίου 2004, Δ. Ρόκος (Επιμ.), Εκδ. Α.Α. Λιβάνη, σελ. 323-354, Τόμος Α.

Σταθόπουλος Π. (2013). *Ηλεκτρονικές υποδομές και υπηρεσίες SaaS για τους φορείς έρευνας και πολιτισμού*. Εθνικό Πληροφοριακό Σύστημα Έρευνας και Τεχνολογίας.

Σφέτσος Π (χ.χ.). *Εισαγωγή στην Αλγοριθμική, στον Αντικειμενοστρεφή Προγραμματισμό ...και στη Java*. ΑΤΕΙ Θεσσαλονίκης, Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής, Αλγοριθμική και Προγραμματισμός.

Τσιλιάκου Ε. (2013). *Κανονιστική μοντελοποίηση στο 3D Κτηματολόγιο - Εφαρμογή στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου*. Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών.

Τσιριντάνη Μ. (2011). *Διδακτικές σημειώσεις για το μάθημα: «Βάσεις δεδομένων και πολυμέσα στην υγεία»*. Σχολή Διοίκησης και Οικονομίας, Τμήμα διοίκησης μονάδων υγείας και πρόνοιας.

Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, επίσημη ιστοσελίδα. Ανακτήθηκε από <http://www.ypeka.gr/> στις 25/9/2016

Υπουργείο Πολιτισμού και Τουρισμού - Διεύθυνση Εθνικού Αρχείου Μνημείων, *Διαρκής Κατάλογος των Κηρυγμένων Αρχαιολογικών Χώρων και Μνημείων της Ελλάδος*, επίσημη ιστοσελίδα. Ανακτήθηκε από <http://listedmonuments.culture.gr/> στις 14/10/2016

Χαρίσης Β. (1988). *Ελληνική Παραδοσιακή Αρχιτεκτονική, Μέτσοβο*. Αθήνα: εκδόσεις Μέλισσα.

Παράρτημα 1. Μετεωρολογικά δεδομένα για το Μέτσοβο

Πίνακας 18. Βαθμομέρες ψύξης και θέρμανσης

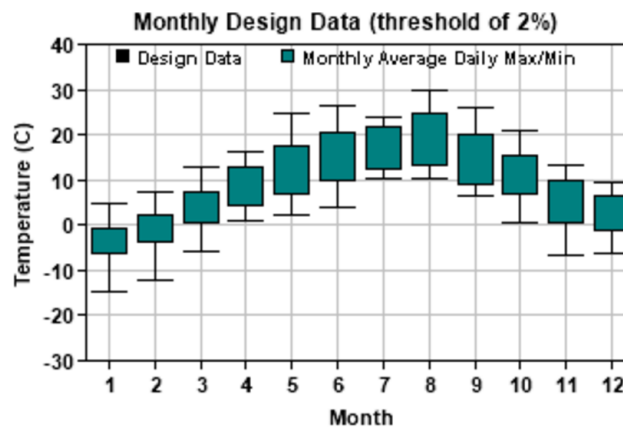
Cooling Degree Day		Heating Degree Day	
Threshold	Value	Threshold	Value
18.3 °C	95	18.3 °C	3563
21.1 °C	20	15.6 °C	2728
23.9 °C	5	12.8 °C	2015
26.7 °C	0	10 °C	1400

Πηγή: Green Building Studio

Πίνακας 19. Ετήσιες συνθήκες σχεδιασμού: θερμοκρασίες ξηρού³² και υγρού³³ (Mean Coincident Wet Bulb) βολβού

Annual Design Conditions				
Threshold	Cooling		Heating	
	Dry Bulb(°C)	MCWB(°C)	Dry Bulb(°C)	MCWB(°C)
0.1 %	30.6	18.5	-15.0	-15.5
0.2 %	29.6	18.0	-14.7	-15.1
0.4 %	28.5	17.1	-13.1	-13.6
0.5 %	28.0	17.0	-12.7	-13.2
1 %	26.4	16.4	-10.9	-11.7
2 %	25.0	16.6	-8.7	-9.3
2.5 %	24.3	16.5	-8.1	-8.5
5 %	22.4	15.8	-5.8	-7.0

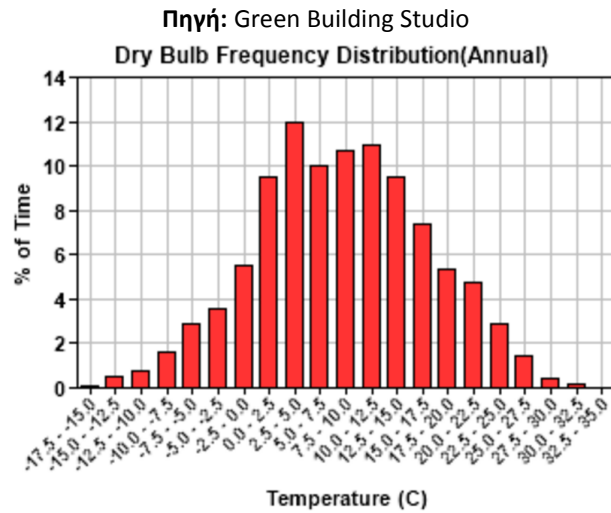
Πηγή: Green Building Studio



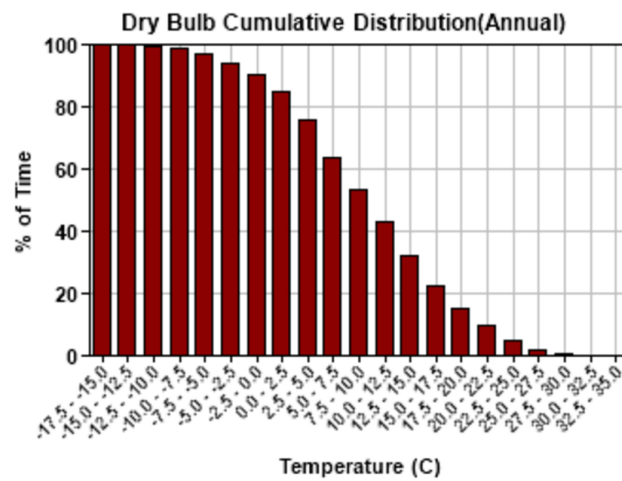
Γράφημα 28. Μηνιαία δεδομένα σχεδιασμού

³² Η θερμοκρασία του υγρού αέρα που προσδιορίζεται με ένα κοινό θερμόμετρο.

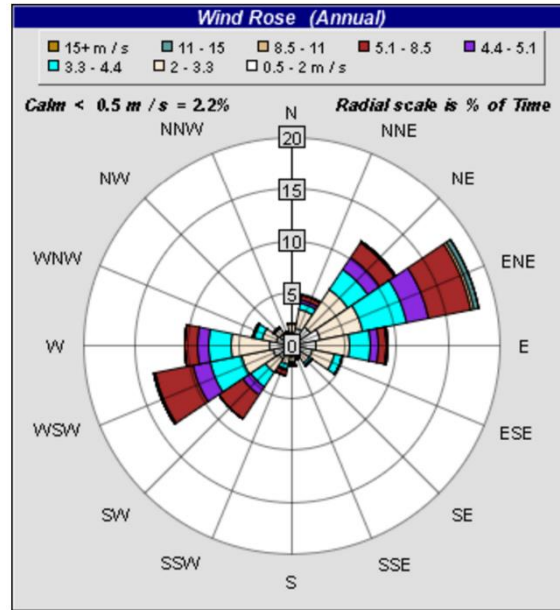
³³ Η θερμοκρασία του υγρού αέρα που προσδιορίζεται με ένα θερμόμετρο το οποίο έχει το βολβό μέτρησης της θερμότητας καλυμμένο με ένα λεπτό στρώμα νερού.



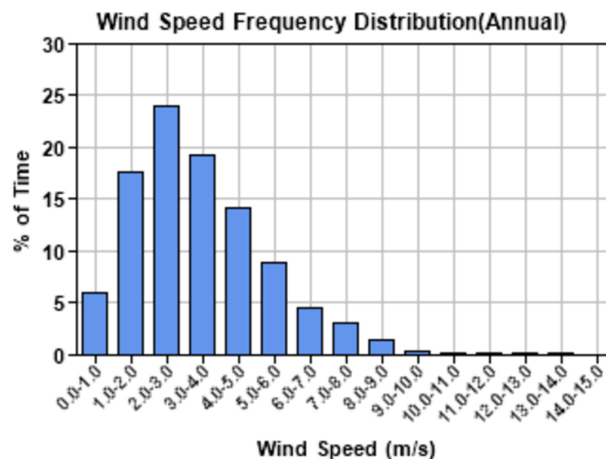
Γράφημα 29. Κατανομή συχνότητας ξηρού βολβού (ετήσια)
Πηγή: Green Building Studio



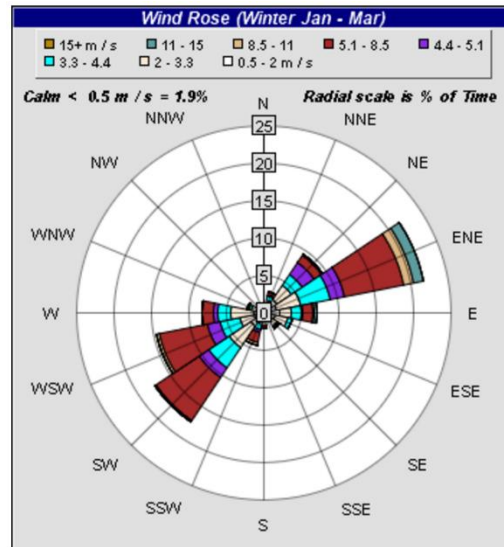
Γράφημα 30. Αθροιστική κατανομή ξηρού βολβού (ετήσια)
Πηγή: Green Building Studio



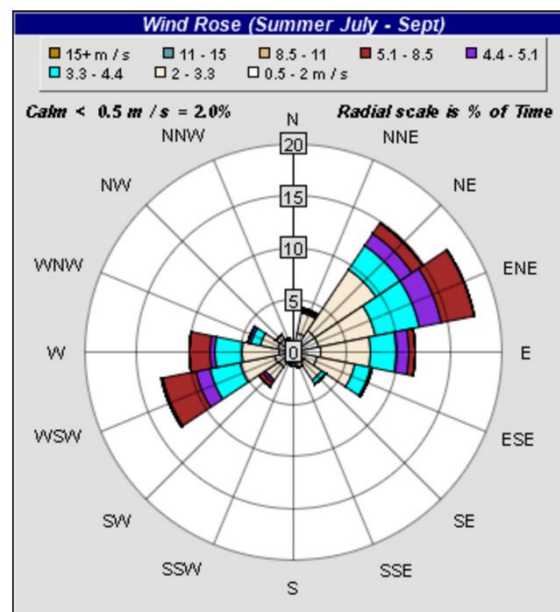
Γράφημα 31. Ροδόγραμμα ανέμου (ετήσιο)
 Πηγή: Green Building Studio



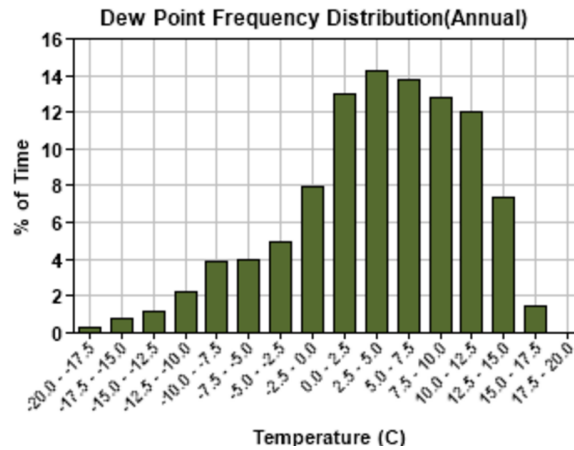
Γράφημα 32. Κατανομή συχνότητας ταχύτητας ανέμου (ετήσια)
 Πηγή: Green Building Studio



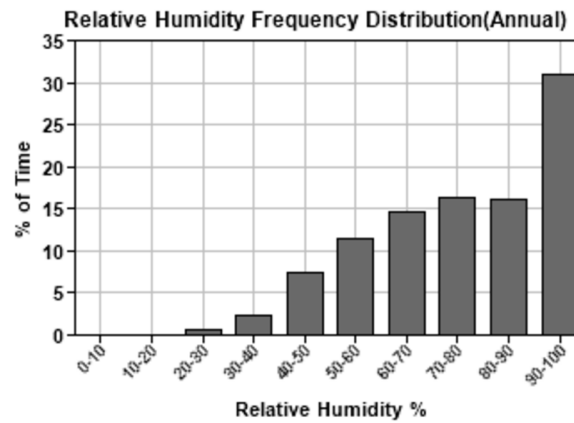
Γράφημα 33. Ροδόγραμμα ανέμου (Ιανουάριος - Μάρτιος)
 Πηγή: Green Building Studio



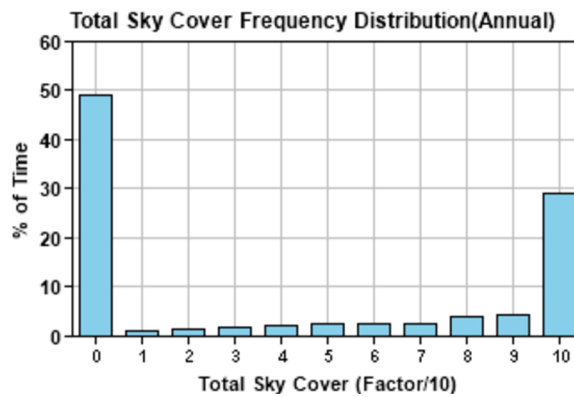
Γράφημα 34. Ροδόγραμμα ανέμου (Ιούλιος - Σεπτέμβριος)
 Πηγή: Green Building Studio



Γράφημα 35. Κατανομή συχνότητας σημείου δρόσου³⁴ (ετήσια)
 Πηγή: Green Building Studio

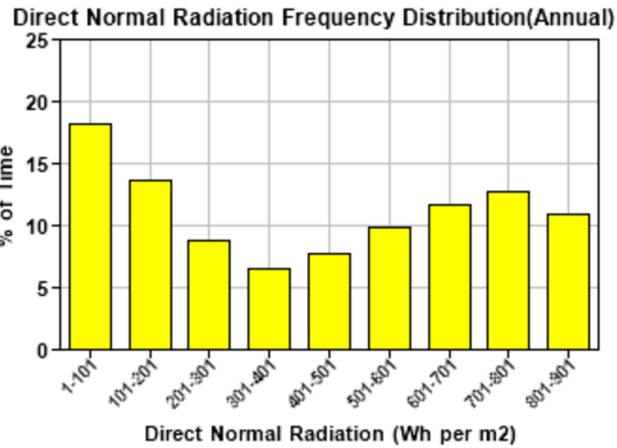


Γράφημα 36. Κατανομή συχνότητας σχετικής υγρασίας (ετήσια)
 Πηγή: Green Building Studio

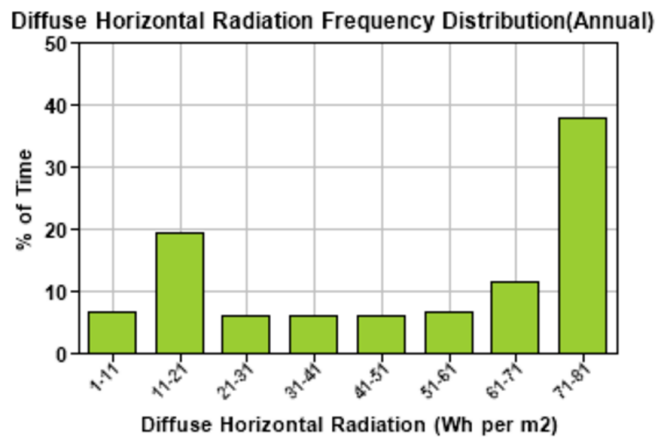


Γράφημα 37. Κατανομή συχνότητας νεφοκάλυψης (ετήσια)
 Πηγή: Green Building Studio

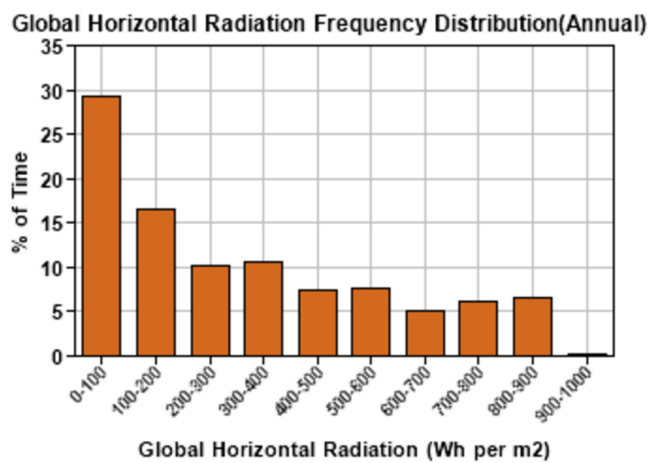
³⁴ Η θερμοκρασία στην οποία αρχίζει η συμπύκνωση των υδρατμών



Γράφημα 38. Κατανομή συχνότητας άμεσης ακτινοβολίας (ετήσια)
Πηγή: Green Building Studio



Γράφημα 39. Κατανομή συχνότητας διάχυτης ακτινοβολίας (ετήσια)
Πηγή: Green Building Studio



Γράφημα 40. Κατανομή συχνότητας συνολικής ακτινοβολίας (ετήσια)
Πηγή: Green Building Studio

Παράρτημα 2. Ονομασία, επιφάνεια και όγκος δωματίων που χρησιμοποιήθηκαν για τη μοντελοποίηση του κτιριακού συγκροτήματος του ΜΕ.Κ.Δ.Ε. ανά επίπεδο/στάθμη

Πίνακας 20. Λίστα των δωματίων του κτιριακού συγκροτήματος του ΜΕ.Κ.Δ.Ε.

A/A	Ονομασία δωματίου	Επιφάνεια (m ²)	Όγκος (m ³)
Επίπεδο -2 / Στάθμη -6,35			
1	Αποθήκη_1	36,70	104,50
2	Αποθήκη_2	36,90	105,20
3	Αποθήκη_3	19,10	54,30
4	Διάδρομος	30,80	88,10
5	Μηχανοστάσιο κλιματισμού	17,90	50,90
6	Φρεάτιο ανελκυστήρα	3,10	45,40
7	Μηχανοστάσιο ανελκυστήρα	3,40	9,60
8	Λεβητοστάσιο	43,90	125,10
9	Η/Ζ	5,20	14,80
10	Βοηθητικός χώρος	16,30	61,20
Σύνολο		213,30	659,10
Επίπεδο -1 / Στάθμες -3,80, -3,30, -3,25			
11	Διάδρομος	28,20	84,70
12	Αποθήκη	130,60	391,80
13	Γραφείο συντηρητού	12,00	35,90
14	Είσοδος	6,10	18,10
15	WC	3,90	11,70
16	Κουζίνα	6,00	17,90
17	Δωμάτιο	13,60	40,80
18	Καθημερινό	16,10	48,30
19	Κλιμακοστάσιο	7,30	22,20
20	Αποθήκη	271,90	799,00
21	Αποθήκη καυσίμων	21,00	62,40
22	Αποθήκη_1	36,10	124,70
23	Αποθήκη_2	74,60	261,20
Σύνολο		627,40	1918,70
Επίπεδο 0 / Στάθμες +0,00, +0,10			
24	Πυρασφαλές κλιμακοστάσιο	12,00	35,20
25	Διάδρομος	14,20	39,80
26	Είσοδος	5,60	18,00
27	Σαλόνι και υποδοχή	109,00	355,80
28	Γραφείο_1	24,10	78,40
29	Γραφείο_2	10,10	32,90
30	Αίθουσα Δ.Σ.	17,30	56,10
31	Γραφείο Προέδρου	16,50	53,60
32	Γραφείο Γραμματέως	14,80	47,90
33	Προθάλαμος WC	9,20	29,10

34	WC AMEA	4,80	14,30
35	WC	1,40	4,10
36	WC	1,40	4,20
37	WC AMEA	4,90	14,80
38	WC	1,50	4,40
39	WC	1,50	4,40
40	Προθάλαμος WC	9,50	30,00
41	Η/Μ Εγκαταστάσεις	5,30	16,80
42	Διάδρομος	17,40	55,70
43	Εργαστήριο_1	52,50	167,70
44	Εργαστήριο_2	54,30	173,90
45	Εργαστήριο_3	52,50	168,00
46	Εργαστήριο_4	55,60	177,90
47	Κυλικείο	51,20	156,00
48	Βοηθητικοί χώροι μαγειρείου	33,30	105,30
49	Διάδρομος	6,20	19,40
50	Αποθήκη_1	2,10	6,60
51	WC	2,10	6,60
52	WC	2,10	6,60
53	WC	2,30	7,30
54	WC	2,30	7,30
55	Αποθήκη_2	3,40	11,10
56	Αποθηκάκι σκάλας	0,90	3,10
57	Αποθήκη	92,10	281,00
58	Κλειστός χώρος	93,50	285,20
59	Μηχανοστάσιο ανελκυστήρα	4,20	12,70
60	Φρεάτιο ανελκυστήρα	3,40	44,00
61	Κλιμακοστάσιο	16,40	49,90
	Σύνολο	810,90	2585,10

Επίπεδο 1 / Στάθμες +3,40, +3,45, +3,50

62	Χώρος τηλ/κών μέσων	70,60	364,90
63	Εκθεσιακός χώρος	62,40	296,40
64	Βιβλιοθήκη	63,10	294,90
65	Ιματιοθήκη	7,00	29,50
66	Είσοδος	16,00	42,00
67	Προθάλαμος	38,50	212,10
68	Αίθουσα σεμιναρίων_1	54,00	254,70
69	Αίθουσα σεμιναρίων_2	53,90	254,20
70	Αίθουσα σεμιναρίων_3	50,70	239,60
71	Αίθουσα σεμιναρίων_4	50,70	239,60
72	Μαγειρείο	34,20	134,00
73	Εστιατόριο	63,40	240,70
74	Είσοδος	6,40	25,50
75	WC AMEA	2,60	10,90
76	WC AMEA	2,60	9,50
77	WC AMEA	2,30	8,10
78	WC AMEA	2,30	8,20
79	Είσοδος	5,40	15,40
80	Δωμάτιο_1	17,70	50,70
81	WC	4,50	12,90
82	Δωμάτιο_2	23,20	66,60

83	WC	5,50	15,70
84	Δωμάτιο_3	13,00	37,20
85	WC	2,80	8,00
86	Δωμάτιο_4	12,90	37,00
87	WC	2,80	7,90
88	Αποθήκη	13,00	37,20
89	Υλικά καθαρισμού	2,90	8,20
90	Πλυντήριο - Σιδερωτήριο	12,50	36,00
91	Λινοθήκη	3,20	9,10
92	Παρασκευαστήριο	16,10	46,30
93	Διάδρομος	15,30	44,30
94	Κλιμακοστάσιο	44,10	129,50
Σύνολο		775,60	3226,80

Επίπεδο 2 / Στάθμη +6,65

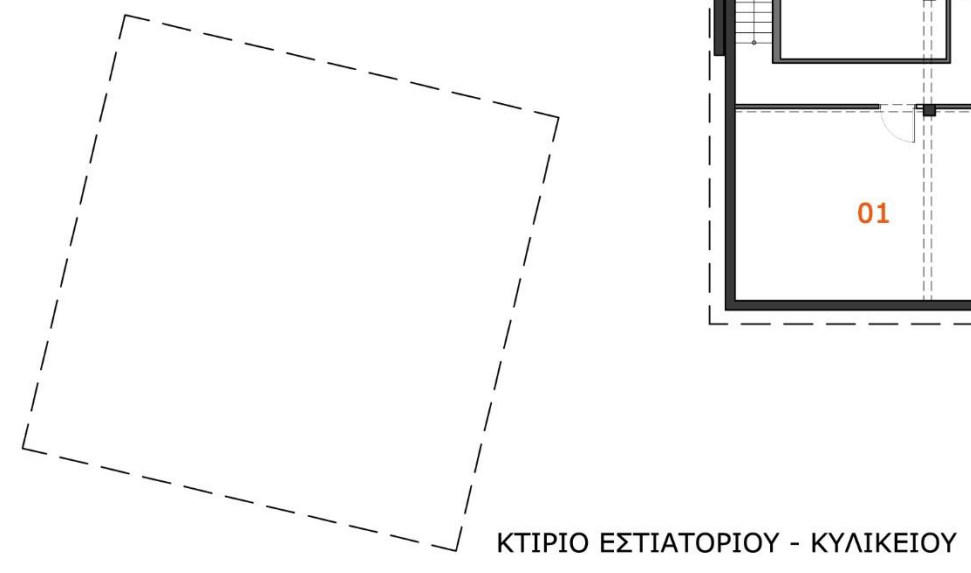
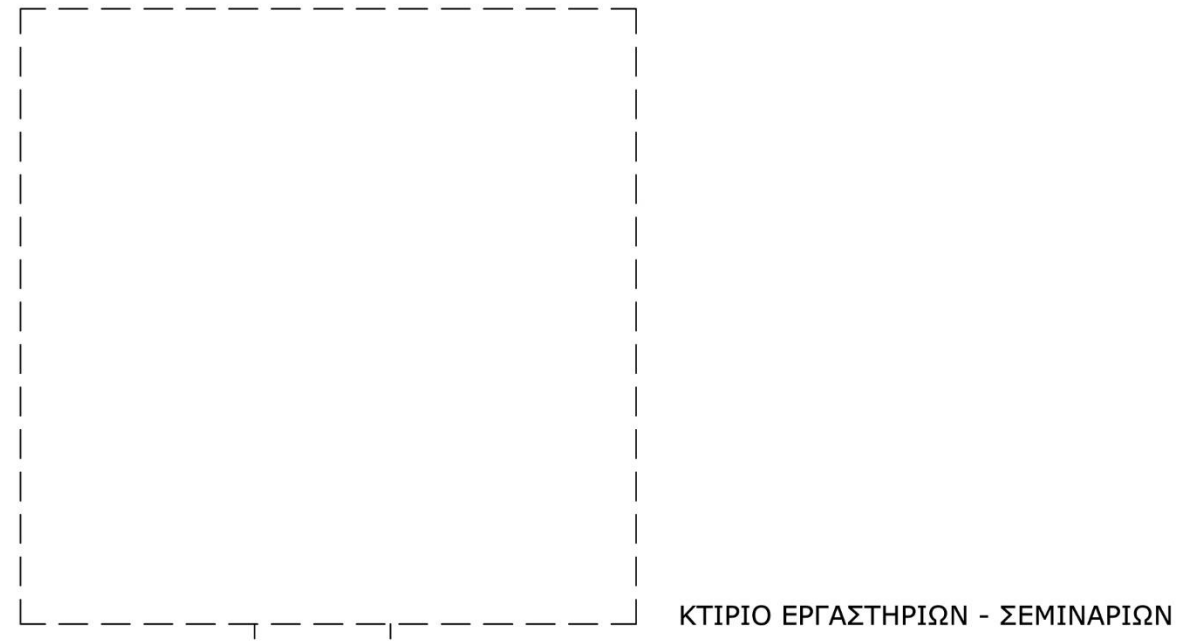
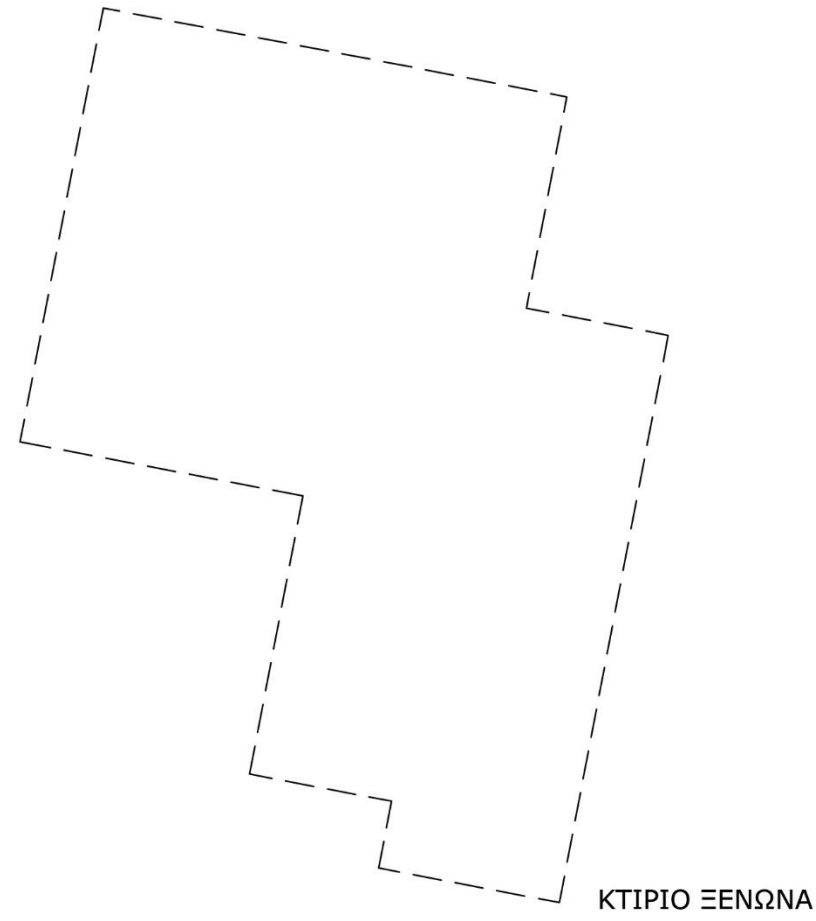
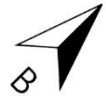
95	Δωμάτιο_5	13,00	46,80
96	WC	2,80	9,70
97	Δωμάτιο_6	13,00	47,40
98	WC	2,80	9,80
99	Δωμάτιο_7	12,90	50,10
100	WC	2,80	9,80
101	Δωμάτιο_8	13,00	37,90
102	WC	2,80	8,20
103	Δωμάτιο_9	13,00	37,90
104	WC	2,80	8,10
105	Δωμάτιο_10	13,00	37,90
106	WC	2,80	8,20
107	Δωμάτιο_11	13,00	37,90
108	WC	2,80	8,20
109	Δωμάτιο_12	12,90	37,60
110	WC	2,80	8,10
111	Διάδρομος	40,60	124,60
Σύνολο		166,80	528,20

Επίπεδο 3 / Στάθμη +9,85

112	Δωμάτιο_13	13,00	51,70
113	WC	2,80	10,70
114	Δωμάτιο_14	13,00	54,30
115	WC	2,80	13,70
116	Δωμάτιο_15	13,00	51,70
117	WC	2,80	10,70
118	Δωμάτιο_16	16,60	64,40
119	WC	2,80	10,70
120	Δωμάτιο_17	12,90	54,00
121	WC	2,80	13,70
122	Διάδρομος	25,70	110,00
Σύνολο		108,20	445,60

2702,20

9363,50



- 2_ΥΠΟΜΝΗΜΑ
- ΚΤΙΡΙΟ ΥΠΟΔΟΧΗΣ - ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ
- 01 Αποθήκη_1
 - 02 Αποθήκη_2
 - 03 Αποθήκη_3
 - 04 Διάδρομος
 - 05 Μηχανοστάσιο κλιματισμού
 - 06 Φρεάτιο ανελκυστήρα
 - 07 Μηχανοστάσιο ανελκυστήρα
 - 08 Λεβητοστάσιο
 - 09 Η/Ζ
 - 10 Βοηθητικός χώρος



-1_ΥΠΟΜΝΗΜΑ

ΚΤΙΡΙΟ ΥΠΟΔΟΧΗΣ - ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

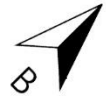
- 11 Διάδρομος
- 12 Αποθήκη
- 13 Γραφείο συντηρητού
- 14 Είσοδος
- 15 WC
- 16 Κουζίνα
- 17 Δωμάτιο
- 18 Καθημερινό
- 19 Κλιμακοστάσιο

ΚΤΙΡΙΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΩΝ - ΣΕΜΙΝΑΡΙΩΝ

- 20 Αποθήκη
- 21 Αποθήκη καυσίμων

ΚΤΙΡΙΟ ΕΣΤΙΑΤΟΡΙΟΥ - ΚΥΛΙΚΕΙΟΥ

- 22 Αποθήκη_1
- 23 Αποθήκη_2



Ο_ΥΠΟΜΝΗΜΑ

ΚΤΙΡΙΟ ΥΠΟΔΟΧΗΣ - ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

- 24 Πυρασφαλές κλιμακοστάσιο
- 25 Διάδρομος
- 26 Είσοδος
- 27 Σαλόνι και υποδοχή
- 28 Γραφείο_1
- 29 Γραφείο_2
- 30 Αίθουσα Δ.Σ.
- 31 Γραφείο Προέδρου
- 32 Γραφείο Γραμματέως
- 33 Προθάλαμος WC

ΚΤΙΡΙΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΩΝ - ΣΕΜΙΝΑΡΙΩΝ

- 34 WC ΑΜΕΑ
- 35 WC
- 36 WC
- 37 WC ΑΜΕΑ
- 38 WC
- 39 WC
- 40 Προθάλαμος WC
- 41 Η/Μ Εγκαταστάσεις
- 42 Διάδρομος
- 43 Εργαστήριο_1
- 44 Εργαστήριο_2
- 45 Εργαστήριο_3
- 46 Εργαστήριο_4

ΚΤΙΡΙΟ ΕΣΤΙΑΤΟΡΙΟΥ - ΚΥΛΙΚΕΙΟΥ

- 47 Κυλικείο
- 48 Βοηθητικοί χώροι μαγειρείου
- 49 Διάδρομος
- 50 Αποθήκη_1
- 51 WC
- 52 WC
- 53 WC
- 54 WC
- 55 Αποθήκη_2
- 56 Αποθηκάκι σκάλας

ΚΤΙΡΙΟ ΞΕΝΩΝΑ

- 57 Αποθήκη
- 58 Κλειστός χώρος
- 59 Μηχανοστάσιο ανελκυστήρα
- 60 Φρεάτιο ανελκυστήρα
- 61 Κλιμακοστάσιο

ΚΤΙΡΙΟ ΕΣΤΙΑΤΟΡΙΟΥ - ΚΥΛΙΚΕΙΟΥ

ΚΤΙΡΙΟ ΥΠΟΔΟΧΗΣ - ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:200



1_ΥΠΟΜΝΗΜΑ

ΚΤΙΡΙΟ ΥΠΟΔΟΧΗΣ - ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

- 62 Χώρος τηλ/κών μέσων
- 63 Εκθεσιακός χώρος
- 64 Βιβλιοθήκη
- 65 Ίματιοθήκη

ΚΤΙΡΙΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΩΝ - ΣΕΜΙΝΑΡΙΩΝ

- 66 Είσοδος
- 67 Προθάλαμος
- 68 Αίθουσα σεμιναρίων_1
- 69 Αίθουσα σεμιναρίων_2
- 70 Αίθουσα σεμιναρίων_3
- 71 Αίθουσα σεμιναρίων_4

ΚΤΙΡΙΟ ΕΣΤΙΑΤΟΡΙΟΥ - ΚΥΛΙΚΕΙΟΥ

- 72 Μαγειρείο
- 73 Εστιατόριο
- 74 Είσοδος
- 75 WC ΑΜΕΑ
- 76 WC ΑΜΕΑ
- 77 WC ΑΜΕΑ
- 78 WC ΑΜΕΑ

ΚΤΙΡΙΟ ΞΕΝΩΝΑ

- 79 Είσοδος
- 80 Δωμάτιο_1
- 81 WC
- 82 Δωμάτιο_2
- 83 WC
- 84 Δωμάτιο_3
- 85 WC
- 86 Δωμάτιο_4
- 87 WC
- 88 Αποθήκη
- 89 Υλικά καθαρισμού
- 90 Πλυντήριο - Σιδερωτήριο
- 91 Λινοθήκη
- 92 Παρασκευαστήριο
- 93 Διάδρομος
- 94 Κλιμακοστάσιο

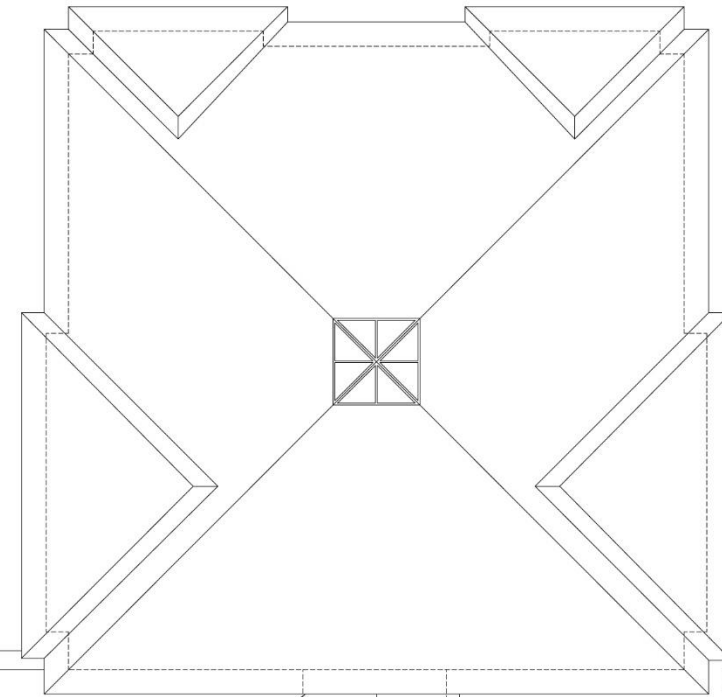
ΚΤΙΡΙΟ ΕΣΤΙΑΤΟΡΙΟΥ - ΚΥΛΙΚΕΙΟΥ

ΚΤΙΡΙΟ ΥΠΟΔΟΧΗΣ - ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

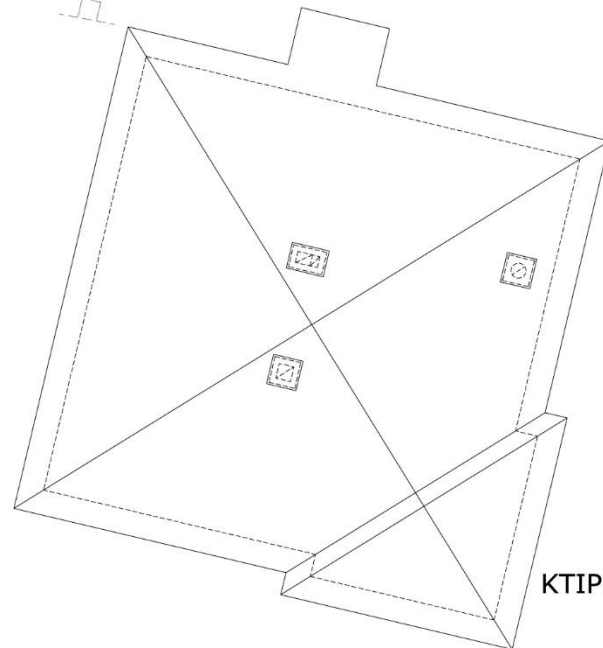
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:200



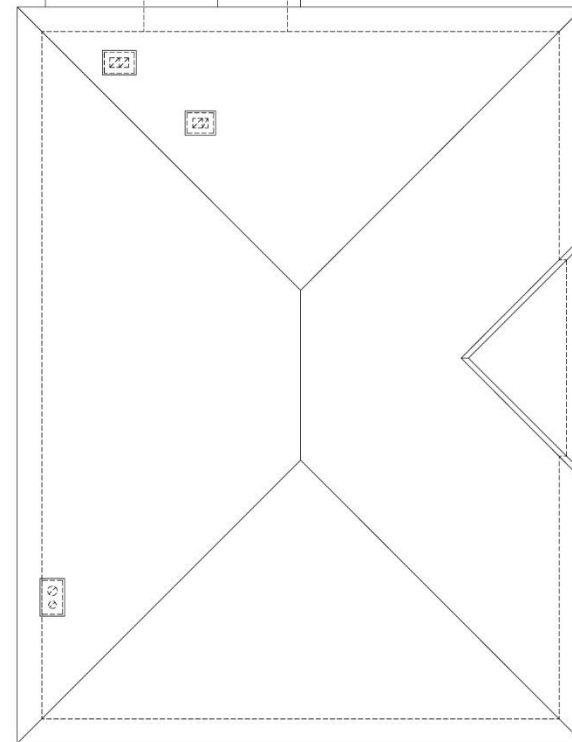
ΚΤΙΡΙΟ ΞΕΝΩΝΑ



ΚΤΙΡΙΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΩΝ - ΣΕΜΙΝΑΡΙΩΝ



ΚΤΙΡΙΟ ΕΣΤΙΑΤΟΡΙΟΥ - ΚΥΛΙΚΕΙΟΥ

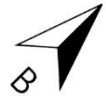


ΚΤΙΡΙΟ ΥΠΟΔΟΧΗΣ - ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

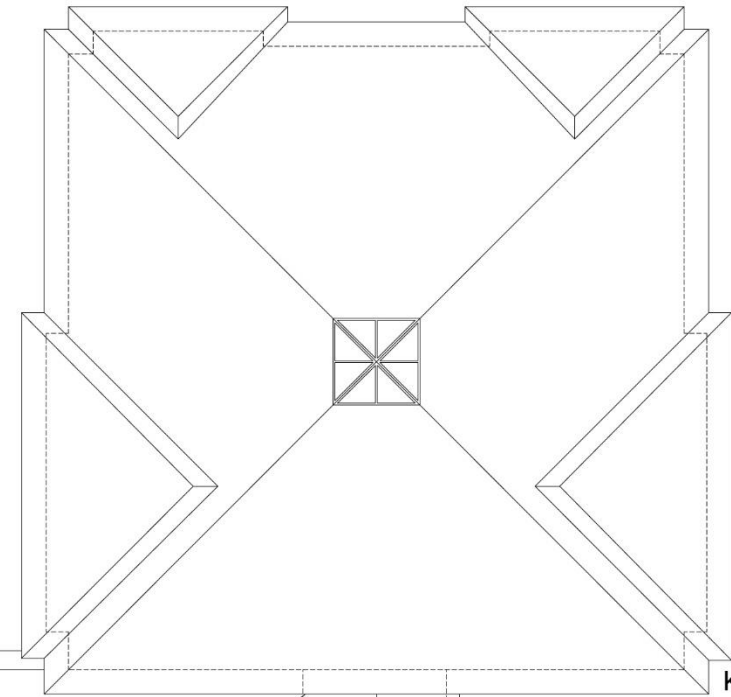
2_ΥΠΟΜΝΗΜΑ

ΚΤΙΡΙΟ ΞΕΝΩΝΑ

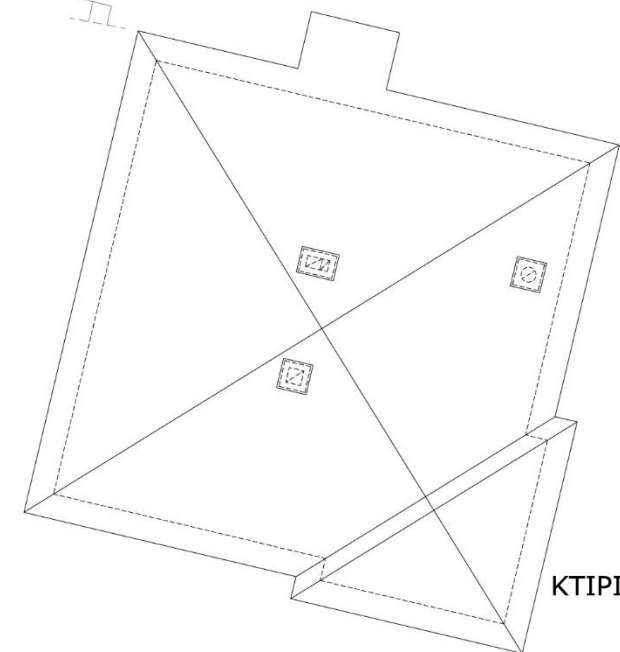
- 95 Δωμάτιο_5
- 96 WC
- 97 Δωμάτιο_6
- 98 WC
- 99 Δωμάτιο_7
- 100 WC
- 101 Δωμάτιο_8
- 102 WC
- 103 Δωμάτιο_9
- 104 WC
- 105 Δωμάτιο_10
- 106 WC
- 107 Δωμάτιο_11
- 108 WC
- 109 Δωμάτιο_12
- 110 WC
- 111 Διάδρομος



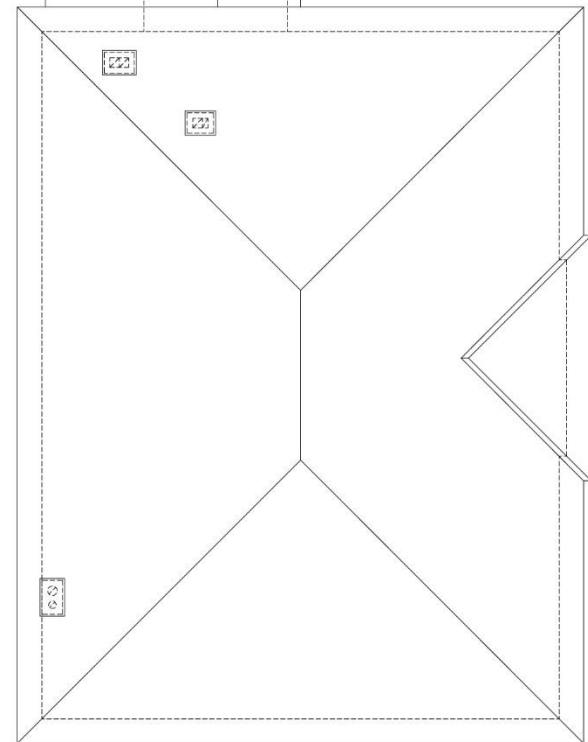
ΚΤΙΡΙΟ ΞΕΝΩΝΑ



ΚΤΙΡΙΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΩΝ - ΣΕΜΙΝΑΡΙΩΝ



ΚΤΙΡΙΟ ΕΣΤΙΑΤΟΡΙΟΥ - ΚΥΛΙΚΕΙΟΥ



ΚΤΙΡΙΟ ΥΠΟΔΟΧΗΣ - ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

- 3_ΥΠΟΜΝΗΜΑ
- ΚΤΙΡΙΟ ΞΕΝΩΝΑ
- 112 Δωμάτιο_13
- 113 WC
- 114 Δωμάτιο_14
- 115 WC
- 116 Δωμάτιο_15
- 117 WC
- 118 Δωμάτιο_16
- 119 WC
- 120 Δωμάτιο_17
- 121 WC
- 122 Διάδρομος