



**ΕΛ.ΜΕ.ΠΑ.**  
ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

## Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

Πτυχιακή Εργασία

Ενεργειακή προσομοίωση κατοικίας στο Ηράκλειο Κρήτης, με τη χρήση των λογισμικών REVIT®, GREEN BUILDING STUDIO (GBS) και INSIGHT . Συγκρίσεις με KENAK

Φοιτήτρια: Πιθαμίτση Μαργαρίτα, ΤΜ 6233

Επιβλέπων Καθηγητής: Μονιάκης Μύρων, Καθηγητής Εφαρμογών ΕΛ.ΜΕ.ΠΑ.

Ηράκλειο, Ιούνιος 2019

## Περίληψη

Ο κτηριακός τομέας παίζει σημαντικό ρόλο στη συνολική κατανάλωση της ενέργειας. Τις τελευταίες δεκαετίες, τόσο τα κράτη με τη θέσπιση συγκεκριμένου νομοθετικού πλαισίου, όσο και ο επιστημονικός κόσμος, με την ανάπτυξη κατάλληλων «εργαλείων», στοχεύουν στη μείωση αυτής της κατανάλωσης.

Στη παρούσα εργασία μελετάται ένα κτήριο κατοικίας, με σκοπό αφ' ενός την ενεργειακή του μελέτη και αφ' ετέρου την ενεργειακή του αναβάθμιση. Για το λόγο αυτό, απαιτείται η χρήση εξειδικευμένων λογισμικών. Συγκεκριμένα, επιλέχθηκαν να χρησιμοποιηθούν τα λογισμικά Revit, Green Building Studio και Insight. Με τη βοήθεια αυτών έγινε η ενεργειακή προσομοίωση του κτηρίου και διερευνήθηκαν βελτιωτικά σενάρια.

Λέξεις κλειδιά: Ενεργειακή μελέτη, Εξοικονόμηση ενέργειας, Revit, Green Building Studio, Insight.

## Abstract

The building sector plays an important role in the total consumption of energy. Over the last decades, both the states through the establishment a specific legal context and the academia through the development of appropriate tools aim at the reduction of that consumption.

In this paper, a single family building is examined for the development of its energy study and updating its energy efficiency. For this reason, the usage of specialized software is required. Specifically, the programs of Revit, Green Building Studio and Insight were utilized. With that help, the building energy simulation and scenarios for upgrading it were explored.

Key words: Energy study, Energy savings, Revit, Green Building Studio, Insight.

## Περιεχόμενα

Περίληψη.....	1
Abstract .....	1
Περιεχόμενα.....	2
Πίνακας περιεχομένων εικόνων.....	4
Πίνακας περιεχομένων πινάκων .....	7
1. Το ενεργειακό ζήτημα .....	8
1.1 Το κτηριακό ζήτημα.....	9
1.1.1 Κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα .....	9
1.1.2 Πλήθος και χρήση κτηρίων.....	11
1.1.3 Ηλικίες κτηρίων .....	13
1.1.4 Κατηγοριοποίηση των κτηρίων και ενεργειακή κατανάλωση .....	14
1.1.5 Νομικό πλαίσιο.....	20
1.1.6 Ανάγκη Ενεργειακής Αναβάθμισης.....	21
2. Ανάπτυξη εργαλείων προσομοίωσης κτηρίων .....	22
2.1 Η μεθοδολογία B.I.M.....	22
2.2 Το λογισμικό Revit.....	24
2.2.1 Περιβάλλον εργασίας του Revit .....	24
2.2.1 Σχεδίαση του κτηρίου .....	29
2.2.3. Ορισμός «περιβαλλοντικών» παραμέτρων του έργου .....	33
2.3 Ενεργειακή προσομοίωση στο Revit .....	43
2.3.1 Παρουσίαση παραμέτρων .....	43
2.3.2 Ενεργειακή Προσομοίωση Κτηρίου στο Revit.....	47
2.4 Λογισμικό Green Building Studio (GBS) .....	50
2.4.1 Τρόπος λειτουργίας του Green Building Studio .....	50
2.5 Insight .....	54
2.5.1 Χαρακτηριστικά του Insight.....	55
3. Ενεργειακή μελέτη υφιστάμενου κτηρίου .....	57
3.1 Τοποθεσία κτηρίου .....	57
3.2 Σχέδια του κτηρίου.....	59
3.2.1 Κατόψεις ισογείου και πρώτου ορόφου του κτηρίου .....	59
3.2.2 Όψεις του κτηρίου.....	61
3.2.3 Τρισδιάστατες απεικονίσεις του κτηρίου .....	62
3.3 Χαρακτηριστικά κτηρίου .....	63
3.3.1 Τοιχοποιία σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα.....	64
4.3.2 Φέροντας Οργανισμός .....	65

3.3.3 Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος.....	66
3.3.4 Οροφή.....	67
3.3.5 Τύποι υπολογισμών .....	68
3.4 Συνθήκες Λειτουργίας του κτηρίου.....	69
3.5 Σύστημα HVAC.....	72
3.6 Ορισμός χώρων και θερμικών ζωνών .....	73
3.7 Ηλιασμός του κτηρίου .....	74
3.8 Μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής.....	76
4. Αποτελέσματα ενεργειακής ανάλυσης και σενάρια βελτίωσης.....	81
4.1 Αποτελέσματα ενεργειακής ανάλυσης του κτηρίου .....	81
4.1.1. Αποτελέσματα ενεργειακής κατανάλωσης στο Revit .....	81
4.1.2 Αποτελέσματα ανάλυσης στο Project Solon του Green Building Studio (GBS) .....	92
4.1.3 Εκτίμηση κατανάλωσης ενέργειας στο Green Building Studio .....	94
4.1.4 Αποτελέσματα ενεργειακής μελέτης στο λογισμικό Insight.....	96
4.2 Σενάρια βελτίωσης υπάρχοντος κτηρίου με χρήση του λογισμικού Insight .....	99
4.2.1 Πρώτο βελτιωτικό σενάριο-Αλλαγή συστήματος HVAC .....	99
4.2.2 Δεύτερο βελτιωτικό σενάριο-Μείωση πυκνότητας ισχύος φωτισμού.....	100
4.2.3 Τρίτο βελτιωτικό σενάριο- Επιπλέον μόνωση οροφής.....	101
4.2.4 Τέταρτο βελτιωτικό σενάριο- Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών.....	102
4.2.5 Πέμπτο βελτιωτικό σενάριο-Συνδυασμός των προηγούμενων τεσσάρων σεναρίων	104
4.2.6 Σύγκριση σεναρίων .....	105
4.3 Αποτελέσματα ενεργειακής ανάλυσης του υπάρχοντος κτηρίου στο λογισμικό TEE-KENAK .....	106
5. Συμπεράσματα .....	108
Βιβλιογραφία.....	109

## Πίνακας περιεχομένων εικόνων

Εικόνα 1. Κατανομή Κατανάλωσης Ενέργειας για το έτος 2012 (ΚΑΠΕ, 2012) .....	10
Εικόνα 2. Κατανομή κατανάλωσης ενέργειας για το 2016. (Υ.Π.Ε.Κ.Α., 2018) .....	10
Εικόνα 3. Πλήθος νέων οικοδομικών αδειών 2006-2017 (Υ.Π.Ε.Κ.Α., 2018) .....	13
Εικόνα 4. Πλήθος ΠΕΑ να δεκαετία κατασκευής και ενεργειακή κατηγορία. (Υ.Π.Ε.Κ.Α., 2018) .....	15
Εικόνα 5. Σχηματική Απεικόνιση κλιματικών ζωνών της ελληνικής επικράτειας. (Ρίζος, 2012) .....	16
Εικόνα 6. Ενδεικτική μέση κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας κτηρίων κατοικιών σε kWh/m <sup>2</sup> .....	18
Εικόνα 7. Ενδεικτική μέση κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας κτηρίων τριτογενούς τομέα σε kWh/m <sup>2</sup> . ....	19
Εικόνα 8. Μέση ετήσια κατανάλωση ενέργειας ανά νοικοκυριό 2011-2012. (ΕΛΣΤΑΤ, 2013) .....	20
Εικόνα 9. Διαστάσεις του B.I.M. (BIMPANZEE.COM, χ.χ.).....	24
Εικόνα 10. Project Files .....	25
Εικόνα 11. Περιβάλλον σχεδίασης του Revit Architecture .....	25
Εικόνα 12. Ribbon και Architecture .....	26
Εικόνα 13. Ribbon και Structure .....	26
Εικόνα 14. Option Bar.....	26
Εικόνα 15. Properties Palette.....	27
Εικόνα 16. Project Browser.....	28
Εικόνα 17. Project Units-Ορισμός συστήματος μονάδων .....	29
Εικόνα 18. Σχεδιασμός επιπέδων.....	30
Εικόνα 19. Περιβάλλον σχεδίασης του Revit και σχεδίαση τοίχων, πατωμάτων, οροφής.....	31
Εικόνα 20. Περιβάλλον σχεδίασης του Revit και σχεδίαση τοίχων, πατωμάτων, οροφής.....	31
Εικόνα 21. Sun Settings .....	32
Εικόνα 22. Sun Settings, Single Day.....	32
Εικόνα 23. Sun Settings, Multi-Day.....	33
Εικόνα 24. Sun Path Off/ Sun Path On.....	33
Εικόνα 25. Type Properties .....	34
Εικόνα 26. Edit Assembly .....	34
Εικόνα 27. Material Browser .....	35
Εικόνα 28. Area and Volume Computations.....	35
Εικόνα 29. Computations .....	36
Εικόνα 30. Rotate True North.....	38
Εικόνα 31. Location Weather and Site .....	38
Εικόνα 32. Location Weather and Site, Location .....	39
Εικόνα 33. Location Weather and Site, Weather.....	39
Εικόνα 34. Επιλογή μετεωρολογικού σταθμού .....	40
Εικόνα 35. MEP Settings.....	40
Εικόνα 36. MEP settings .....	41
Εικόνα 37. Building/Space Type Settings .....	41
Εικόνα 38. Schedule Settings, Home Occupancy .....	42
Εικόνα 39. Schedule Settings, Office Lighting.....	42
Εικόνα 40. Schedule Settings, Home Occupancy- 24 Hours .....	43
Εικόνα 41. Tab Analyze.....	43
Εικόνα 42. Energy settings .....	44
Εικόνα 43. Building Data, Single Family.....	45
Εικόνα 44. Outdoor Air Information .....	46
Εικόνα 45. Advanced Energy Settings .....	47
Εικόνα 46. Create Energy Model .....	47
Εικόνα 47. Create the Energy Analytical Model .....	48
Εικόνα 48. Το αναλυτικό ενεργειακό μοντέλο του κτηρίου.....	48
Εικόνα 49. Generate.....	49
Εικόνα 50. Optimize .....	49
Εικόνα 51. Προσομοιώσεις στο Green Building Studio.....	50

Εικόνα 52. Αποτελέσματα προσομοίωσης στο Green Building Studio .....	51
Εικόνα 53. Αποτελέσματα προσομοίωσης στο Green Building Studio .....	52
Εικόνα 54. Αποτελέσματα προσομοίωσης στο Green Building Studio .....	53
Εικόνα 55. Αποτελέσματα προσομοίωσης στο Green Building Studio .....	54
Εικόνα 56. Παρουσίαση έργων στο Insight.....	55
Εικόνα 57. Περιβάλλον εργασίας του Insight.....	56
Εικόνα 58. Αεροφωτογραφία του κτηρίου από το Google Earth και γεωγραφικές συντεταγμένες .....	57
Εικόνα 59. Αεροφωτογραφία του κτηρίου από το Google Earth και απόσταση από την θάλασσα .....	58
Εικόνα 60. Κάτοψη Ισογείου.....	59
Εικόνα 61. Κάτοψη Πρώτου Ορόφου.....	60
Εικόνα 62. Αριστερή πλάγια όψη .....	61
Εικόνα 63. Δεξιά πλάγια όψη.....	61
Εικόνα 64. Πρόσοψη.....	61
Εικόνα 65. Πίσω όψη.....	62
Εικόνα 66. 3D αναπαράσταση κτηρίου .....	62
Εικόνα 67. 3D αναπαράσταση κτηρίου .....	63
Εικόνα 68. Εξωτερική τοιχοποιία .....	64
Εικόνα 69. Φέροντας οργανισμός .....	65
Εικόνα 70. Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος .....	66
Εικόνα 71. Οροφή.....	67
Εικόνα 72. Ορισμός επιφάνειας δαπέδου ανά άτομο.....	69
Εικόνα 73. Χρονοδιάγραμμα οικιακής χρήσης Occupancy Schedule.....	70
Εικόνα 74. Χρονοδιάγραμμα λειτουργίας φωτισμού Lighting Schedule.....	70
Εικόνα 75. Χρονοδιάγραμμα λειτουργίας εξοπλισμού Power Schedule.....	71
Εικόνα 76. Παράμετροι λειτουργίας κτηρίου.....	72
Εικόνα 77. Επιλογή συστήματος HVAC .....	72
Εικόνα 78. Ορισμός χώρων ισογείου .....	73
Εικόνα 79. Ορισμός χώρων ορόφου .....	74
Εικόνα 80. Απεικόνιση σκιάσεων στις 21/3/2019, στις 12 το μεσημέρι (Εαρινή Ισημερία) .....	74
Εικόνα 81. Απεικόνιση σκιάσεων στις 21/6/2019, στις 12 το μεσημέρι (Θερινό Ηλιοστάσιο) .....	75
Εικόνα 82. Απεικόνιση σκιάσεων στις 21/9/2019, στις 12 το μεσημέρι (Φθινοπωρινή Ισημερία) .....	75
Εικόνα 83. Απεικόνιση σκιάσεων στις 21/12/2019, στις 12 το μεσημέρι (Χειμερινό Ηλιοστάσιο) .....	76
Εικόνα 84. Δεδομένα μετεωρολογικού σταθμού στο GBS .....	76
Εικόνα 85. Επιλογές παραμέτρων για γραφήματα .....	77
Εικόνα 86. Θερμοκρασιακό εύρος κάθε μήνα .....	77
Εικόνα 87. Ετήσιο αιολικό δυναμικό .....	78
Εικόνα 88. Κατανομή συχνότητας ξηρού βολβού και αθροιστική κατανομή συχνότητας ξηρού βολβού.....	79
Εικόνα 89. Κατανομή συχνότητας σημείου δρόσου και κατανομή συχνότητας σχετικής υγρασίας.....	79
Εικόνα 90. Ετήσιο ηλιακό δυναμικό.....	80
Εικόνα 91. Analyze, Heating and Cooling Loads.....	81
Εικόνα 92. Widgets, Project Solon .....	92
Εικόνα 93. Μηνιαία ψυκτικά φορτία- Monthly cooling loads.....	93
Εικόνα 94. Μηνιαία θερμικά φορτία-Monthly heating loads.....	94
Εικόνα 95. Εκτιμώμενη ετήσια κατανάλωση ενέργειας .....	94
Εικόνα 96. Βασική παρουσίαση ετήσιας ενεργειακής κατανάλωσης.....	95
Εικόνα 97. Λεπτομερής παρουσίαση ετήσιας ενεργειακής κατανάλωσης.....	95
Εικόνα 98. Βασική ετήσια κατανάλωση καυσίμων.....	96
Εικόνα 99. Λεπτομερής ετήσια κατανάλωση καυσίμων.....	96
Εικόνα 100. Εκτιμώμενη ετήσια κατανάλωση ενέργειας, όπως εμφανίζεται στο Insight.....	97
Εικόνα 101. Διαγράμματα απεικόνισης της βασικής προσομοίωσης, όπως εμφανίζονται στο Insight.....	99
Εικόνα 102. Αλλαγή συστήματος HVAC.....	100
Εικόνα 103. Εκτιμώμενη κατανάλωση ενέργειας-Σενάριο 1 .....	100
Εικόνα 104. Αλλαγή εγκατεστημένης ισχύς φωτισμού .....	101

<i>Εικόνα 105. Εκτιμώμενη κατανάλωση ενέργειας-Σενάριο 2 .....</i>	<i>101</i>
<i>Εικόνα 106. Αλλαγή χαρακτηριστικών οροφής .....</i>	<i>102</i>
<i>Εικόνα 107. Εκτιμώμενη κατανάλωση ενέργειας-Σενάριο 3 .....</i>	<i>102</i>
<i>Εικόνα 108. ΦΒ- Κάλυψη της στέγης κατά 75% .....</i>	<i>103</i>
<i>Εικόνα 109. ΦΒ-Συντελεστής αποδοτικότητας 20,4%.....</i>	<i>103</i>
<i>Εικόνα 110. ΦΒ-Περίοδος αποπληρωμής 20 χρόνια.....</i>	<i>103</i>
<i>Εικόνα 111. Εκτιμώμενη κατανάλωση ενέργειας-Σενάριο 4 .....</i>	<i>104</i>
<i>Εικόνα 112. Εκτιμώμενη κατανάλωση ενέργειας-Σενάριο 5 .....</i>	<i>104</i>
<i>Εικόνα 113. Σύγκριση σεναρίων .....</i>	<i>105</i>
<i>Εικόνα 114. Ενεργειακή κατάταξη κτηρίου, σύμφωνα με το λογισμικό TEE-KENAK .....</i>	<i>106</i>

## Πίνακας περιεχομένων πινάκων

Πίνακας 1. Μέση ετήσια κατά κεφαλήν κατανάλωση ενέργειας σε διάφορες χώρες (Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, 2017) .....	8
Πίνακας 2. Κατανομή της τελικής ενεργειακής κατανάλωσης ανά χρήση, έτος 2016 .....	11
Πίνακας 3. Πλήθος κτηρίων απογραφής 2011. (Υ.Π.Ε.Κ.Α., 2018) .....	12
Πίνακας 4. Ηλικιακή κατανομή κτηρίων χώρας από τη βάση δεδομένων της ΕΛΣΤΑΤ (Υ.Π.Ε.Κ.Α., 2018) ..	14
Πίνακας 5. Διαχωρισμός της ελληνικής επικράτειας σε κλιματικές ζώνες κατά νομούς. (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε., 2017) ..	16
Πίνακας 6. Μέση ενεργειακή κατανάλωση ανά κλιματική ζώνη σε kWh/m <sup>2</sup> (Υ.Π.Ε.Κ.Α., 2018) .....	17
Πίνακας 7. Σταθμισμένος Μέσος Όρος Κατανάλωσης σε kWh/m <sup>2</sup> ανά κλιματική ζώνη για κτήρια κατοικιών. (Υ.Π.Ε.Κ.Α., 2018) .....	18
Πίνακας 8. Σταθμισμένος Μέσος Όρος Κατανάλωσης σε kWh/m <sup>2</sup> ανά κλιματική ζώνη για κτήρια τριτογενούς τομέα. (Υ.Π.Ε.Κ.Α., 2018) .....	19
Πίνακας 9. Συντελεστές Θερμοπερατότητας .....	63
Πίνακας 10. Τιμές των αντιστάσεων θερμικής μετάβασης για κάθε δομικό στοιχείο (TOTEE-2, 2010) .....	64
Πίνακας 11. Φύλλο Υπολογισμού Αντίστασης Θερμοδιαφυγής (R <sub>1</sub> ) εξωτερικής τοιχοποιίας .....	65
Πίνακας 12. Φύλλο υπολογισμού συντελεστή θερμοπερατότητας εξωτερικής τοιχοποιίας .....	65
Πίνακας 13. Φύλλο Υπολογισμού Αντίστασης Θερμοδιαφυγής (R <sub>1</sub> ) φέροντα οργανισμού .....	66
Πίνακας 14. Φύλλο υπολογισμού συντελεστή θερμοπερατότητας φέροντα οργανισμού .....	66
Πίνακας 15. Φύλλο Υπολογισμού Αντίστασης Θερμοδιαφυγής (R <sub>1</sub> ) δαπέδου σε επαφή με το έδαφος .....	67
Πίνακας 16. Φύλλο υπολογισμού συντελεστή θερμοπερατότητας δαπέδου σε επαφή με το έδαφος .....	67
Πίνακας 17. Φύλλο Υπολογισμού Αντίστασης Θερμοδιαφυγής (R <sub>1</sub> ) οροφής .....	68
Πίνακας 18. Φύλλο υπολογισμού συντελεστή θερμοπερατότητας οροφής .....	68
Πίνακας 19. Τιμές θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας στους εσωτερικούς χώρους .....	71
Πίνακας 20. Αποτελέσματα για όλο το κτήριο .....	81
Πίνακας 21. Καθιστικό, Ισόγειο, Revit .....	82
Πίνακας 22. Καθιστικό, Ισόγειο, .....	82
Πίνακας 23. Κουζίνα, Ισόγειο, Revit .....	83
Πίνακας 24. Κουζίνα, Ισόγειο .....	84
Πίνακας 25. Γραφείο, Ισόγειο .....	85
Πίνακας 26. WC, Ισόγειο .....	86
Πίνακας 27. Υπνοδωμάτιο 1, Ισόγειο .....	87
Πίνακας 28. Σκάλα και χολ, Ισόγειο και Όροφος .....	88
Πίνακας 29. Υπνοδωμάτιο 2, Όροφος .....	89
Πίνακας 30. Υπνοδωμάτιο 3, Όροφος .....	90
Πίνακας 31. WC, Όροφος .....	91
Πίνακας 32. Χαρακτηριστικά οροφής R15 .....	101
Πίνακας 33. Ετήσια Ενεργειακή Κατανάλωση κάθε σεναρίου και ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας .....	105
Πίνακας 34. Ετήσια Πρωτογενής Ενέργεια Κτηρίου (kWh/m <sup>2</sup> ), TEE-KENAK .....	106
Πίνακας 35. Ετήσιες Ενεργειακές Απαιτήσεις Κτηρίου (kWh/m <sup>2</sup> ), TEE-KENAK .....	106
Πίνακας 36. Ετήσιες Καταναλώσεις Κτηρίου (kWh/m <sup>2</sup> ), TEE-KENAK .....	107



## 1. Το ενεργειακό ζήτημα

Το ενεργειακό είναι ένα ζήτημα υψίστης σημασίας σε παγκόσμιο επίπεδο. Τα τελευταία χρόνια γίνεται μια συντονισμένη προσπάθεια των κρατών για τη νομική προστασία του περιβάλλοντος, ταυτόχρονα με την επέκταση της χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η πιο πρόσφατη προσπάθεια, σε διεθνές επίπεδο, είναι η λεγόμενη Συμφωνία των Παρισίων που υπεγράφη στις 12 Δεκεμβρίου 2018 στην ομώνυμη πόλη. (EUR-Lex, 2016)

Το ζήτημα αυτό είναι αρκετά σημαντικό τόσο σε πολιτικό, όσο και σε κοινωνικό επίπεδο και σχετίζεται με την πρόοδο, την ευημερία και τη βελτίωση της ποιότητας της ζωής των ανθρώπων. Όταν μια χώρα διαθέτει ενεργειακά αποθέματα καθίσταται ενεργειακά αυτόνομη με αποτέλεσμα οι πολίτες της να έχουν τη δυνατότητα να ευημερήσουν. Μπορεί, όμως, οι πηγές ενέργειας μιας χώρας να γίνουν η αιτία πολεμικών συγκρούσεων και εξαρτήσεων.

Σε κάθε περίπτωση, ο σύγχρονος τρόπος ζωής, τουλάχιστον στον δυτικό κόσμο, απαιτεί μεγάλη κατανάλωση ενέργειας από το κάθε σπίτι, εφόσον αυτά είναι εξοπλισμένα από πληθώρα ηλεκτρικών συσκευών.

Στο βαθμό που αυτά είναι εξοπλισμένα από πληθώρα ηλεκτρικών συσκευών, οι πολίτες οδηγούνται σε βελτίωση της ποιότητας της ζωής τους. Στον αντίποδα οδηγεί εκείνους που δεν έχουν την οικονομική δυνατότητα απόκτησης τους σε ενεργειακή φτώχεια. (Κονιδάρη, 2017)

Το φαινόμενο της ενεργειακής φτώχειας οδηγεί σε αποκλεισμό από τις σύγχρονες ανάγκες, είτε αυτές είναι ζωτικής σημασίας, όπως για παράδειγμα η θέρμανση, είτε κοινωνικής σημασίας, όπως το διαδίκτυο.

Παρατίθεται ενδεικτικά ένας πίνακας με την μέση κατά κεφαλήν κατανάλωση των κατοίκων χωρών του λεγόμενου «ανεπτυγμένου» και «αναπτυσσόμενου» κόσμου.

*Πίνακας 1. Μέση ετήσια κατά κεφαλήν κατανάλωση ενέργειας σε διάφορες χώρες (Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, 2017)*

Χώρα ή ομοσπονδία χωρών	Μέση κατά κεφαλήν κατανάλωση ενέργειας ανά έτος
Καναδάς	7,6 toe/κάτοικο
ΗΠΑ	7,1 toe/κάτοικο
Ρωσία	4,1 toe/κάτοικο
Κορέα	3,8 toe/κάτοικο
Ιαπωνία	3,6 toe/κάτοικο
ΕΕ	3,3 toe/κάτοικο

Βραζιλία	3,0 toe/κάτοικο
Μεξικό	1,4 toe/κάτοικο
Κίνα	1,2 toe/κάτοικο
Ινδία	0,4 toe/κάτοικο

Σε περιβαλλοντικό επίπεδο, δεν μπορεί να μην γίνει αναφορά σε ένα πολύ σημαντικό πρόβλημα που προκύπτει από την «εκτεταμένη» χρήση της συμβατικής ενέργειας και δεν είναι άλλο από τη μόλυνση του περιβάλλοντος. Παρά το γεγονός ότι τα τελευταία χρόνια γίνονται μεγάλες προσπάθειες, ώστε να αναπτυχθούν τεχνολογίες, οι οποίες είναι συμβατές με την χρήση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε.) προκειμένου να μειωθεί η κατανάλωση συμβατικών ορυκτών καυσίμων, το πρόβλημα παραμένει μεγάλο.

Γίνεται, λοιπόν, επιτακτική η ανάγκη να σταματήσει η σπατάλη πρώτων υλών (ενεργειακών) και να εξοικονομηθεί ενέργεια. Μια πιο ορθολογιστική χρήση της ενέργειας, χωρίς αυτό να σημαίνει την υποβάθμιση της ποιότητας της ζωής του σύγχρονου ανθρώπου, θα μπορούσε να οδηγήσει στην εξασφάλιση πόρων, που κρίνονται απαραίτητοι για την συνέχιση της ανθρωπότητας.

## 1.1 Το κτηριακό ζήτημα

Το σύνολο των καθημερινών δραστηριοτήτων του σύγχρονου ανθρώπου απαιτεί την δαπάνη ενέργειας. Η παρούσα εργασία εστιάζει στις ενεργειακές απαιτήσεις των κτηρίων, αφού αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της ζωής του σύγχρονου ανθρώπου σε μια προσπάθεια να προταθούν λύσεις ώστε να μειωθεί η ενεργειακή τους κατανάλωση. Πιο συγκεκριμένα, ασχολείται με την βελτίωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος ενός ανακαινιζόμενου κτηρίου, μέσω λογισμικών προσομοίωσης.

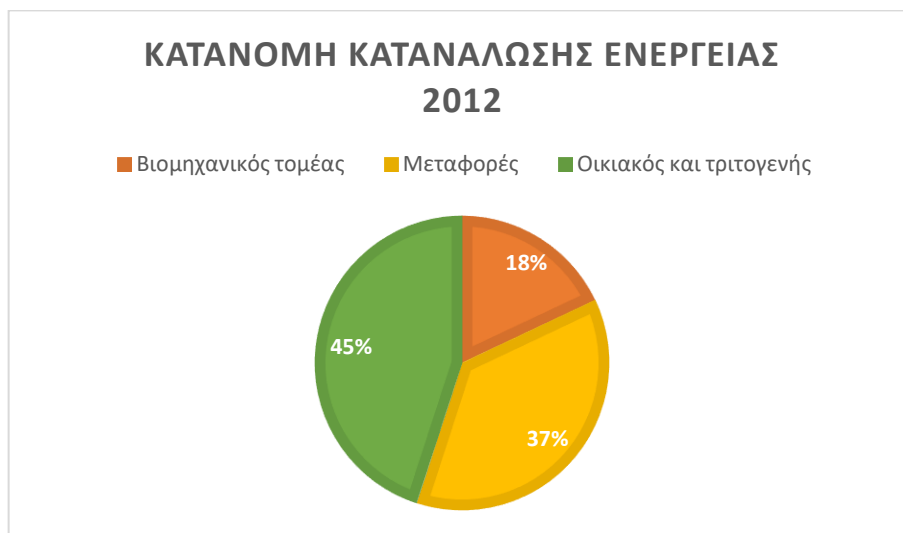
### 1.1.1 Κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα

Οι τρεις σημαντικότεροι τομείς κατανάλωσης ενέργειας στην Ελλάδα είναι ο βιομηχανικός, ο κτηριακός και ο τομέας των μεταφορών.

Σύμφωνα με στοιχεία του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ) για το έτος 2012, η κατανομή της ενέργειας στους 3 βασικούς τομείς γίνεται ως εξής: Στον τομέα της βιομηχανίας καταναλώνεται το 18%, στον τομέα των μεταφορών καταναλώνεται το 37%, ενώ στον οικιακό και τον τριτογενή τομέα το 45%. (ΚΑΠΕ, 2012)

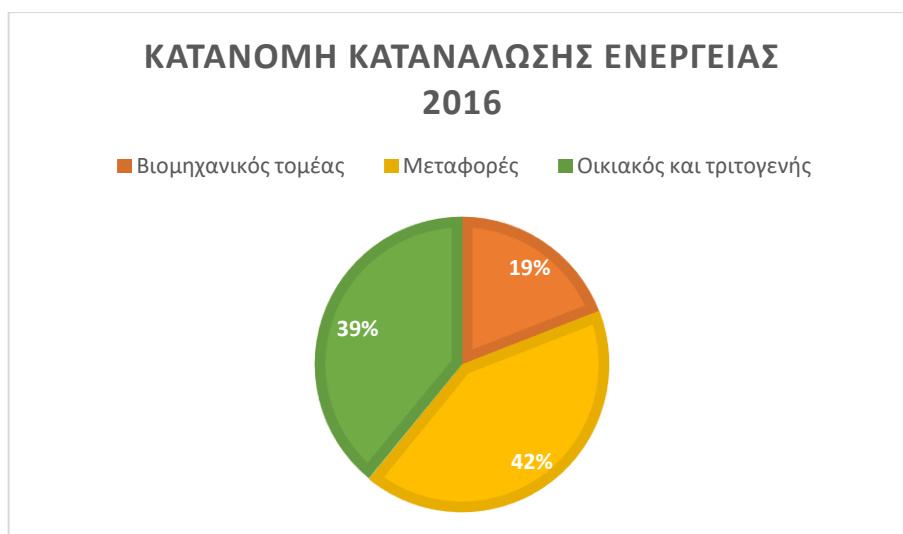
Το 2012, ο οικιακός τομέας αύξησε την κατανάλωσή του κατά 64.8% σε σχέση με το 1990, ενώ ο τριτογενής τομέας τριπλασίασε την κατανάλωσή του, φτάνοντας τα 2,233 Μτοε. Η ετήσια κατανάλωση ενέργειας κάθε ελληνικού σπιτιού κατά μέσο όρο ανέρχεται στις 13.994 kWh ετησίως. (ΚΑΠΕ, 2013)

Η τελική κατανάλωση ενέργειας ήταν 17,129 Μτοε. (Κονιδάρη, 2017)



Εικόνα 1. Κατανομή Κατανάλωσης Ενέργειας για το έτος 2012 (ΚΑΠΕ, 2012)

Επιπλέον, σύμφωνα με στοιχεία του έτους 2016, η συνολική ενέργεια που καταναλώθηκε στα οικιακά και επαγγελματικά κτίρια αντιστοιχεί στο 39,1% της συνολικής κατανάλωσης. Στον βιομηχανικό τομέα αντιστοιχεί το 19,1% και στις μεταφορές το 41,8%. (Υ.Π.Ε.Κ.Α., 2018)



Εικόνα 2. Κατανομή κατανάλωσης ενέργειας για το 2016. (Υ.Π.Ε.Κ.Α., 2018)

Πίνακας 2. Κατανομή της τελικής ενεργειακής κατανάλωσης ανά χρήση, έτος 2016

Τομέας Χρήσης	Ποσοστό κατανάλωσης (%)	Κατανάλωση (Mtoe)
Βιομηχανικός Τομέας	19,1	3,095
Μεταφορές	41,8	6,753
Οικιακός και Τριτογενής Τομέας	39,1	3,322
Σύνολο	100,0	16,170

Η τελική κατανάλωση ενέργειας στην Ελλάδα το έτος 2016 ήταν 16,170 Mtoe. (Υ.Π.Ε.Κ.Α., 2018)

\*Η μονάδα μέτρησης της ενέργειας που χρησιμοποιείται παραπάνω είναι το toe δηλαδή τόνος ισοδύναμου πετρελαίου(T.I.Π.). Ένα T.I.Π. ισοδυναμεί με την ενέργεια που εκλύεται από την καύση ενός τόνου αργού πετρελαίου και είναι περίπου ίσος με 42 GJ ή 11630GWh. Καθώς όμως το αργό πετρέλαιο δεν έχει πάντα την ίδια σύνθεση, η τιμή αυτή ορίζεται βάσει σύμβασης. (Wikipedia, 2014)

#### 1.1.2 Πλήθος και χρήση κτηρίων

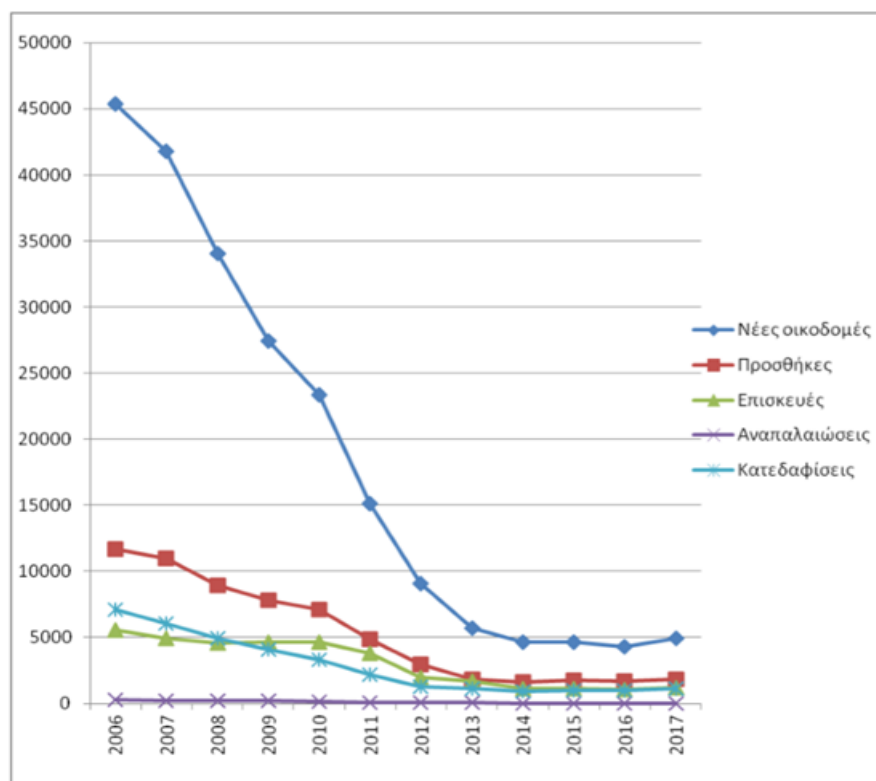
Το πλήθος των κτηρίων, κατηγοριοποιημένο ανάλογα με τη χρήση του, απογράφεται κάθε δέκα χρόνια. Η τελευταία απογραφή έλαβε χώρα το 2011 και παρατίθενται τα αποτελέσματά της.

Πίνακας 3. Πλήθος κτηρίων απογραφής 2011. (Υ.Π.Ε.Κ.Α., 2018)

Χρήση κτηρίων		Κατοικία	Εκκλησία-Μοναστήρι	Ξενοδοχείο	Εργοστάσιο-Εργαστήριο	Σχολικό κτήριο	Κατάστημα-Γραφείο	Σταθμός αυτοκινήτων (πάρκινγκ)	Νοσοκομείο, κλινική κ.λπ.	Άλλη χρήση
Πλήθος κτηρίων ανά χρήση	3.246.008	48.387	43.516	33.762	21.853	206.254	17.467	1.973	486.417	
Ποσοστό (%)	79,06	1,18	1,06	0,82	0,53	5,02	0,43	0,05	11,85	
<b>ΓΕΝΙΚΟ ΠΛΗΘΟΣ ΚΤΗΡΙΩΝ 4.105.637</b>										

Με βάση τα παραπάνω στοιχεία ο οικιακός τομέας αποτελεί το 79,06%, ενώ όλα τα υπόλοιπα κτήρια αποτελούν 20,94% των συνολικών κτηρίων.

Επιπλέον, ο τομέας της οικοδομής στην Ελλάδα τα τελευταία χρόνια περνάει κρίση. Τα στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ που αφορούν τις οικοδομικές άδειες που εκδόθηκαν την περίοδο 2006-2017, δείχνουν ότι αυτές οι άδειες είναι συγκριτικά λίγες. Συνεπώς, οι νεόδμητες οικοδομές, οι οποίες είναι χτισμένες με βάση τα καινούργια ενεργειακά πρότυπα δεν αποτελούν την πλειονότητα των κτηρίων.



Εικόνα 3. Πλήθος νέων οικοδομικών αδειών 2006-2017 (Υ.Π.Ε.Κ.Α., 2018)

Κατά το διάστημα 2006-2017 έχουν κατασκευαστεί περίπου 105.713.098 τ.μ. (νέα κτήρια και προσθήκες). (Υ.Π.Ε.Κ.Α., 2018).

### 1.1.3 Ηλικίες κτηρίων

Με βάση το νομικό πλαίσιο που ίσχυε την περίοδο κατασκευής τους, τα κτήρια μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής: (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε., 2017)

Α) Κτήρια, των οποίων η οικοδομική άδεια έχει εκδοθεί πριν από την εφαρμογή του Κανονισμού Θερμομόνωσης Κτηρίων (4 Ιουλίου 1979). Για τα κτήρια αυτά δεν υπήρχε καμία απαίτηση θερμομονωτικής προστασίας του κελύφους.

Β) Κτήρια, των οποίων η οικοδομική άδεια εκδόθηκε κατά την περίοδο 1979 – 2010 και κατασκευάστηκαν με βάση τον Κανονισμό Θερμομόνωσης Κτηρίων (ΚΘΚ) (1980).

Γ) Κτήρια, των οποίων η οικοδομική άδεια εκδόθηκε μετά την εφαρμογή του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης των Κτηρίων (Κ.Εν.Α.Κ.) (2010) και μέχρι την αναθεώρησή του (2017).

Δ) Κτήρια, των οποίων η οικοδομική άδεια εκδόθηκε μετά την αναθεώρηση του Κ.Εν.Α.Κ. (2017). (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε., 2017)

Η ηλικιακή κατανομή του κτηριακού αποθέματος της χώρας σύμφωνα με στοιχεία της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής (ΕΛΣΤΑΤ) φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί. (Υ.Π.Ε.Κ.Α., 2018)

*Πίνακας 4. Ηλικιακή κατανομή κτηρίων χώρας από τη βάση δεδομένων της ΕΛΣΤΑΤ (Υ.Π.Ε.Κ.Α., 2018)*

ΗΛΙΚΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΤΗΡΙΩΝ ΧΩΡΑΣ							
Ιδιοκτησία	Προ του 1919	1919 – 1960	1961- 1980	1981- 2000	2001- 2011	Υπό κατασκευή 2001	ΣΥΝΟΛΟ
Δημοσίου	17891	33025	28308	27669	10063	945	117901
Ιδιωτική	135498	863761	1313331	1203360	413448	51202	3980600
Μικτή	617	1165	2176	2329	810	39	7136
Σύνολο	154006	897951	1343815	1233358	424321	52186	4105637

#### 1.1.4 Κατηγοριοποίηση των κτηρίων και ενεργειακή κατανάλωση

Με βάση τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων, τα κτήρια κατατάσσονται σε εννέα ενεργειακές κατηγορίες, ανάλογα με την ενεργειακή τους απόδοση. Οι κατηγορίες αυτές είναι από το Α+ έως το Η. Για τα κτήρια που υφίστανται ήδη και ανακαινίζονται ριζικά, η ελάχιστη απαίτηση είναι η κατηγορία Β.

Η κατηγορία στην οποία κατατάσσεται ένα κτήριο, ή με άλλα λόγια η ενεργειακή του απόδοση σχετίζεται με την περίοδο κατασκευής του, αφού από περίοδο σε περίοδο αλλάζει το νομοθετικό πλαίσιο. Αυτό διαπιστώνεται από τα στατιστικά στοιχεία των Πιστοποιητικών Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ). Αφορούν τα ΠΕΑ που έχουν εκδοθεί ανά δεκαετία μέχρι τον Ιούνιο του 2018 και αριθμούν περίπου 1.180.000. (Υ.Π.Ε.Κ.Α., 2018)



Εικόνα 4. Πλήθος ΠΕΑ να δεκαετία κατασκευής και ενεργειακή κατηγορία. (Υ.Π.Ε.Κ.Α., 2018)

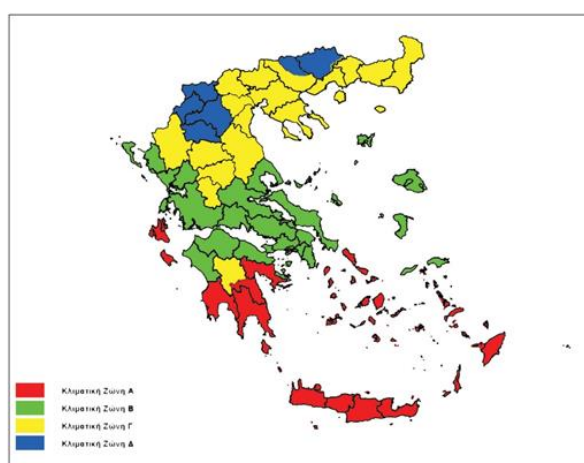
Ακόμη, οι νομοί της Ελλάδα κατατάσσονται σε τέσσερις κλιματικές ζώνες (Α,Β,Γ και Δ) με βάση κλιματολογικά χαρακτηριστικά.

Η κατανομή των νομών στις ζώνες (η ζώνη Α είναι η θερμότερη ενώ η Δ η ψυχρότερη) φαίνεται στον παρακάτω πίνακα. (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε., 2017)



Πίνακας 5. Διαχωρισμός της ελληνικής επικράτειας σε κλιματικές ζώνες κατά νομούς. (T.O.T.E.E., 2017)

Κλιματική Ζώνη	Νομοί
Ζώνη Α	Ηρακλείου, Χανίων, Ρεθύμνου, Λασιθίου, Κυκλάδων, Δωδεκανήσου, Σάμου, Μεσσηνίας, Λακωνίας, Αργολίδας, Ζακύνθου, Κεφαλληνίας & Ιθάκης, Κύθηρα & νησιά Σαρωνικού (Αττικής), Αρκαδίας (πεδινή).
Ζώνη Β	Αττικής (εκτός Κυθήρων & νησιών Σαρωνικού), Κορινθίας, Ηλείας, Αχαΐας, Αιτωλοακαρνανίας, Φθιώτιδας, Φωκίδας, Βοιωτίας, Ευβοίας, Μαγνησίας, Λέσβου, Χίου, Κέρκυρας, Λευκάδας, Θεσπρωτίας, Πρέβεζας, Άρτας.
Ζώνη Γ	Αρκαδίας (ορεινή), Ευρυτανίας, Ιωαννίνων, Λάρισας, Καρδίτσας, Τρικάλων, Πιερίας, Ημαθίας, Πέλλας, Θεσσαλονίκης, Κιλκίς, Χαλκιδικής, Σερρών (εκτός ΒΑ τμήματος), Καβάλας, Ξάνθης, Ροδόπης, Έβρου.
Ζώνη Δ	Γρεβενών, Κοζάνης, Καστοριάς, Φλώρινας, Σερρών (ΒΑ τμήμα), Δράμας.



Εικόνα 5. Σχηματική Απεικόνιση κλιματικών ζωνών της ελληνικής επικράτειας. (Ρίζος, 2012)

Πίνακας 6. Μέση ενεργειακή κατανάλωση ανά κλιματική ζώνη σε kWh/m<sup>2</sup> (Υ.Π.Ε.Κ.Α., 2018)

Ενεργειακή Κατηγορία	Μέση Ενεργειακή Κατανάλωση ανά Κλιματική Ζώνη			
	A	B	Γ	Δ
Κτήρια Κατοικιών				
A+	18,58	23,34	42,66	26,60
A	37,74	53,98	52,44	76,53
B+	57,88	65,49	87,21	94,74
B	83,51	93,49	121,90	123,16
Γ	118,64	133,50	175,51	181,11
Δ	148,59	164,24	217,11	227,22
E	178,69	197,42	259,21	281,67
Z	216,80	229,51	311,82	327,40
H	328,61	338,03	506,46	560,10
Κτήρια τριτογενούς τομέα				
A+	79,66	46,21	76,73	29,70
A	110,91	81,29	97,03	81,60
B+	161,24	144,80	155,09	198,35
B	230,65	231,21	226,44	237,88
Γ	341,42	337,01	334,42	386,15
Δ	430,77	427,77	431,36	441,67
E	528,32	535,55	538,26	546,22
Z	635,32	639,95	645,72	662,59
H	1070,83	995,35	959,31	920,73

Πίνακας 7. Σταθμισμένος Μέσος Όρος Κατανάλωσης σε kWh/m<sup>2</sup> ανά κλιματική ζώνη για κτήρια κατοικιών. (Υ.Π.Ε.Κ.Α., 2018)

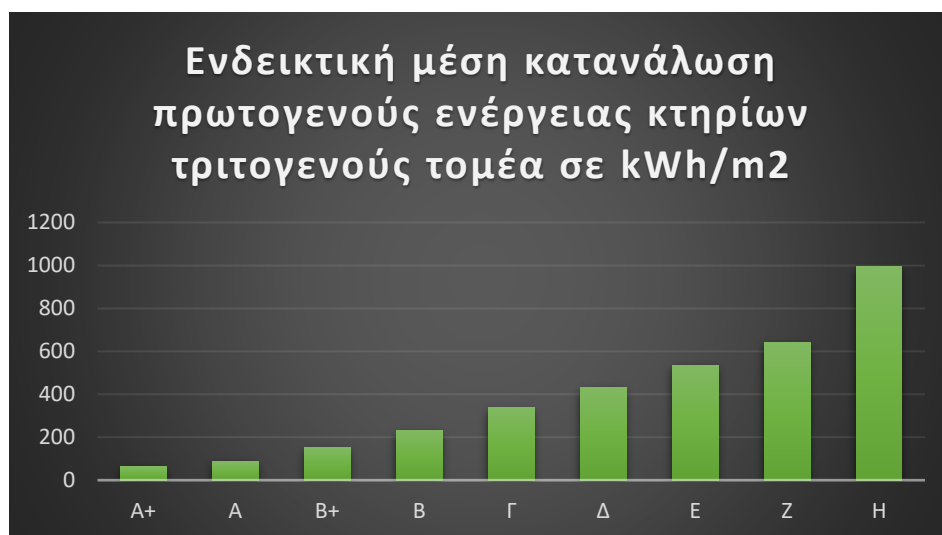
Κτήρια Κατοικιών	
Κλιματική Ζώνη	Σταθμισμένος Μέσος Όρος Κατανάλωσης σε kWh/m <sup>2</sup>
A+	25,95
A	49,31
B+	70,92
B	133,21
Γ	147,92
Δ	183,60
E	215,70
Z	247,76
H	389,21



Εικόνα 6. Ενδεικτική μέση κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας κτηρίων κατοικιών σε kWh/m<sup>2</sup>.

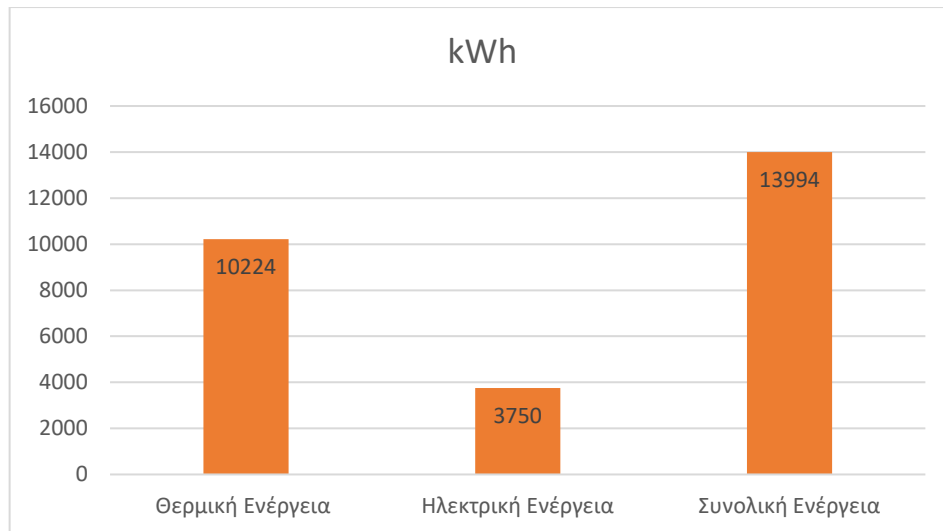
Πίνακας 8. Σταθμισμένος Μέσος Όρος Κατανάλωσης σε kWh/m<sup>2</sup> ανά κλιματική ζώνη για κτήρια τριτογενούς τομέα. (Υ.Π.Ε.Κ.Α., 2018)

Κλιματική Ζώνη	Σταθμισμένος Μέσος Όρος Κατανάλωσης σε kWh/m <sup>2</sup>
A+	65,55
A	87,38
B+	152,02
B	229,91
Γ	338,22
Δ	429,63
E	535,63
Z	642,26
H	994,74



Εικόνα 7. Ενδεικτική μέση κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας κτηρίων τριτογενούς τομέα σε kWh/m<sup>2</sup>.

Σύμφωνα με την Ελληνική Στατιστική Αρχή, σε έρευνα που διεξήχθη την περίοδο 2011-2012 διαπιστώθηκε ότι κάθε οικία της χώρας καταναλώνει ετησίως, κατά μέσο όρο, 10.244kWh θερμική ενέργεια και 3.750 kWh ηλεκτρική ενέργεια.



Εικόνα 8. Μέση ετήσια κατανάλωση ενέργειας ανά νοικοκυριό 2011-2012. (ΕΛΣΤΑΤ, 2013)

Υπολογίζεται ότι αν τα υφιστάμενα κτήρια ήταν κατασκευασμένα σύμφωνα με τις προδιαγραφές του ΚΕΝΑΚ θα εξοικονομούνταν σημαντικά ποσά ενέργειας. Συγκεκριμένα το ποσοστό εξοικονόμησης για τα κτήρια κατοικίας εκτιμάτε ότι είναι 61%, ενώ για κτήρια του τριτογενούς τομέα 41%. (Υ.Π.Ε.Κ.Α., 2018)

Σύμφωνα με τα παραπάνω, τα κτήρια στην Ελλάδα είναι αρκετά ενεργοβόρα λόγω: α) παλαιότητας, και β) μη ενσωμάτωσης σύγχρονης τεχνολογίας σε αυτά, που οφείλεται στην έλλειψη σχετικής νομοθεσίας τα τελευταία 30 έτη. Πολλά κτήρια αντιμετωπίζουν θέματα όπως: (Κονιδάρη, 2017)

- μερική ή παντελής έλλειψη θερμομόνωσης
- κουφώματα προηγούμενης τεχνολογίας (πλαίσια/μονοί υαλοπίνακες),
- ανεπαρκής ηλιοπροστασία των νότιων και δυτικών όψεων τους,
- ελλιπής αξιοποίηση του ηλιακού δυναμικού,
- μη επαρκής συντήρηση συστημάτων θέρμανσης και κλιματισμού

#### 1.1.5 Νομικό πλαίσιο

Από το 1979 με την εφαρμογή του Κανονισμού Θερμομόνωσης Κτηρίων (Κ.Θ.Κ.) και μετά παρατηρείται από τη μεριά του κράτους, μια προσπάθεια δημιουργίας συγκεκριμένου νομικού πλαισίου που να αφορά τόσο την κατασκευή όσο και την ανακαίνιση των κτηρίων στην Ελλάδα. Το υφιστάμενο νομικό πλαίσιο περιλαμβάνει επιγραμματικά τους εξής νόμους, οδηγίες και κανονισμούς. (Σαραφιανός Δημήτρης, 2018):

- ΚΕΝΑΚ 2010 (ΚΥΑ 58/2010) (ΦΕΚ, 2010)
- Οδηγία 31/2010/ΕΕ (Θέσπιση 2012-Εφαρμογή 2013) (ΥΠΕΚΑ, 2010)
- Ν.4122/2013 (Εναρμόνιση) (ΦΕΚ, 2013)

- Ανάθεση σε ΤΕΕ (ΑΠ 186659/2069/21-11-2016) (Παντελίδης, 2017)
- ΚΕΝΑΚ 2017 (ΚΥΑ 178581/2017) (ΦΕΚ, 2017)
- Έγκριση ΤΟΤΕΕ (ΚΥΑ 182365/17-11-2017 & 23-11-2017) (ΦΕΚ, 2017)

#### 1.1.6 Ανάγκη Ενεργειακής Αναβάθμισης

Από τα παραπάνω στοιχεία διαπιστώνεται ότι ο κτηριακός όγκος στην Ελλάδα αποτελείται από παλιά και ενεργειακά μη αποδοτικά κτήρια. Με δεδομένο ότι η κατασκευή νέων κατοικιών είναι πολύ μικρή γεννάται η ανάγκη ανακαίνισης, βελτιστοποίησης και ενεργειακής αναβάθμισης των υφιστάμενων κτηρίων. Για το σκοπό αυτό έχουν δημιουργηθεί αρκετά λογισμικά, τα οποία παρέχουν ένα πλούσιο πακέτο εργαλείων, από το στάδιο του σχεδιασμού μέχρι και το στάδιο της ενεργειακής μελέτης ενός κτηρίου. Με ένα τέτοιο λογισμικό, το Revit της Autodesk, σχεδιάστηκε και μελετήθηκε το κτήριο της παρούσας εργασίας, καθώς και με τη βοήθεια των Green Building Studio (GBS) και Insight.

Είναι χρέος της ακαδημαϊκής κοινότητας να ασχοληθεί με το ζήτημα της εξοικονόμησης ενέργειας κτηρίων στα ανακαινιζόμενα κτήρια. Οι προς μελέτη παράγοντες θα πρέπει να αφορούν τόσο το τεχνικό μέρος (γνώσεις του κελύφους των κτηρίων και των συστημάτων των εγκαταστάσεων), όσο και τη συμπεριφορά των χρηστών τους.

## 2. Ανάπτυξη εργαλείων προσομοίωσης κτηρίων

Η αβεβαιότητα της ενεργειακής επάρκειας, λόγω των αυξημένων ενεργειακών απαιτήσεων οδήγησε προφανώς σε αναζήτηση λύσεων. Από τη δεκαετία του '80 επιχειρείται από την διεθνή ακαδημαϊκή κοινότητα και από πολλές εταιρίες η ανάπτυξη τεχνολογιών για την αντιμετώπιση του ενεργειακού ζητήματος (Βραγγάλας, 2016). Ειδικότερα, για το κτηριακό ζήτημα αναπτύσσονται διάφορα λογισμικά, τα οποία με χρήση μαθηματικών μοντέλων και δεδομένων, μπορούν να προσομοιάσουν και να αναλύσουν ενεργειακά ένα κτήριο, πριν αυτό κατασκευαστεί ή ανακαινιστεί.

Επομένως, μπορούν να εκτιμηθούν και να διορθωθούν διάφοροι παράγοντες που σχετίζονται με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που θα επιφέρει η χρήση του κτηρίου από τις προβλεπόμενες ενεργειακές απαιτήσεις του. Επιπλέον, μπορούν να εκτιμηθούν τα κόστη ή τα οικονομικά οφέλη που προκύπτουν ανάλογα με τις επιλογές των σχεδιαστών/μηχανικών.

### 2.1 Η μεθοδολογία B.I.M.

Ο σχεδιασμός και η μελέτη του κτηρίου βασίζεται στην μεθοδολογία BIM, με τη χρήση του λογισμικού Revit της Autodesk και των λογισμικών GBS και Insight. Τα αρχικά BIM προέρχονται από το «Building Information Modeling», το οποίο στα ελληνικά αποδίδεται είτε ως «Πληροφοριακό Ομοίωμα Κτηρίου (ΠΟΚ)» είτε ως «Μοντελοποίηση Κτηριακών Πληροφοριών». (Βενέρης, 2011)

Ο ορισμός για το BIM, σύμφωνα με τη Διεθνή Επιτροπή Προτύπων BIM, είναι ο ακόλουθος: «Το BIM είναι η ψηφιακή αναπαράσταση των φυσικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών ενός κτηριακού συγκροτήματος. Μέσου αυτού συγκροτείται κοινό γνωστικό πλαίσιο για τις πληροφορίες που αφορούν το κτηριακό συγκρότημα και διευκολύνονται οι αποφάσεις που αναφέρονται σε αυτό, από τη σύλληψή του έως την κατεδάφισή του» (National BIM Standards Committee-NBIMS, n.d.)

Μέσω της μεθοδολογίας BIM εισάγονται και αναλύονται δεδομένα που αφορούν ένα κτήριο με χρήση τρισδιάστατων δυναμικών μοντέλων. Ουσιαστικά το BIM είναι η μετεξέλιξη του CAD, όπου το CAD ορίζεται ως: « Computer-Aided Design (CAD): – Τεχνολογία χρήσης υπολογιστικών συστημάτων με στόχο την υποβοήθηση στη δημιουργία, μετατροπή, ανάλυση και βελτιστοποίηση μιας κατασκευής. [Groover and Zimmers, 1984]» (Στεργίου, χ.χ.) [3]

Το βασικό πλεονέκτημα του BIM είναι ότι δημιουργούνται τα πάντα σε ένα σχεδιαστικό περιβάλλον, στο οποίο αν τροποποιηθεί ένα στοιχείο του σχεδίου αλλάζουν αυτομάτως και τα υπόλοιπα. Ο σχεδιασμός και η μελέτη γίνονται ταχύτερα, με μικρότερο κόστος, ποιοτικότερα και με μικρότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα.

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του BIM σε σχέση με το CAD είναι: (Eddy Krygiel, 2008)

- 3D προσομοίωση σε αντίθεση με 2D αναπαράσταση.  
Μέσω του B.I.M. δίνεται η δυνατότητα προσομοίωσης ολόκληρου του κτηρίου ή μερών του. Με αυτό τον τρόπο μπορούν να επιλεγούν τα βέλτιστα δομικά στοιχεία και κουφώματα, να εξεταστούν μεταβλητές που σχετίζονται με το ενεργειακό αποτύπωμα του κτηρίου, να εκτιμηθούν τα κόστη και να προβλεφθούν και διορθωθούν πιθανά λάθη.
- Ακρίβεια σε αντίθεση με εκτίμηση.  
Μέσω του τρισδιάστατου μοντέλου μπορούν να υπολογιστούν με ακρίβεια οι ποσότητες των υλικών που θα χρειαστούν για την κατασκευή.
- Αυτόματη προσαρμογή δεδομένων σε αντίθεση με σταδιακή.  
Όλα τα σχεδιαστικά μέρη στο B.I.M. συνδέονται μεταξύ τους. Αυτό σημαίνει ότι μια αλλαγή σε ένα τμήμα του σχεδίου επηρεάζει όλο το σχέδιο και ουσιαστικά το «διορθώνει» αυτόματα, χωρίς να χρειάζεται να σχεδιαστεί από την αρχή.

Οι επιπλέον ικανότητες των προγραμμάτων B.I.M. αναφέρονται στη βιβλιογραφία ως επιπλέον διαστάσεις. Θεωρώντας ότι στα προγράμματα C.A.D. η σχεδίαση γίνεται σε 2 ή 3 διαστάσεις, στα προγράμματα B.I.M., η σχεδίαση γίνεται σε 7 διαστάσεις.

Οι διαστάσεις του BIM είναι οι εξής: (BIMPANZEE.COM, χ.χ.)

- 3D: Σχεδίαση
  - Μοντέλα προσομοίωσης υφιστάμενων συνθηκών (σαρωτής laser, μηχανήματα GPR)
  - Μοντέλα ασφάλειας και logistics
- 4D: Χρονικός προγραμματισμός
  - Προσομοιώσεις σταδίων ανάπτυξης του έργου
  - Χρονοδιαγράμματα
  - Έλεγχος εγκυρότητας για έγκριση πληρωμών
- 5D: Κοστολόγηση και προϋπολογισμός
  - Μοντελοποίηση δεδομένων και σχεδιασμός κόστους σε πραγματικό χρόνο
  - Δυνατότητα επιμέτρηση λεπτομερειών (υλικών και εργασιών)
  - Επαλήθευση των εμπορικών τιμών των διαφόρων στοιχείων (χάλυβας, οπλισμός, υδραυλικά κ.λπ.)
  - Αποτίμηση της αξίας του κόστους εργασίας των μηχανικών
  - Λύσεις από την προκατασκευή (χώροι για την αποθήκευση του εξοπλισμού, ΗΜ εγκαταστάσεις κ.λπ.)
- 6D: Βιωσιμότητα
  - Ανάλυση ενεργειακής απόδοσης
  - Έλεγχος βιωσιμότητας
  - Παρακολούθηση βιώσιμων στοιχείων με βάση αναγνωρισμένα πρότυπα
- 7D: Διαχείριση εγκαταστάσεων
  - Στρατηγικές σε σχέση με τον κύκλο ζωής
  - Ενημέρωση του BIM με as-built δεδομένα
  - Ενσωμάτωση εγχειριδίων στο BIM



- Δημογραφικά δεδομένα των χρηστών
- Ενημέρωση του BIM με τα πλάνα συντήρησης και τεχνικής υποστήριξης



Εικόνα 9. Διαστάσεις του B.I.M. (BIMPANZEE.COM, χ.χ.)

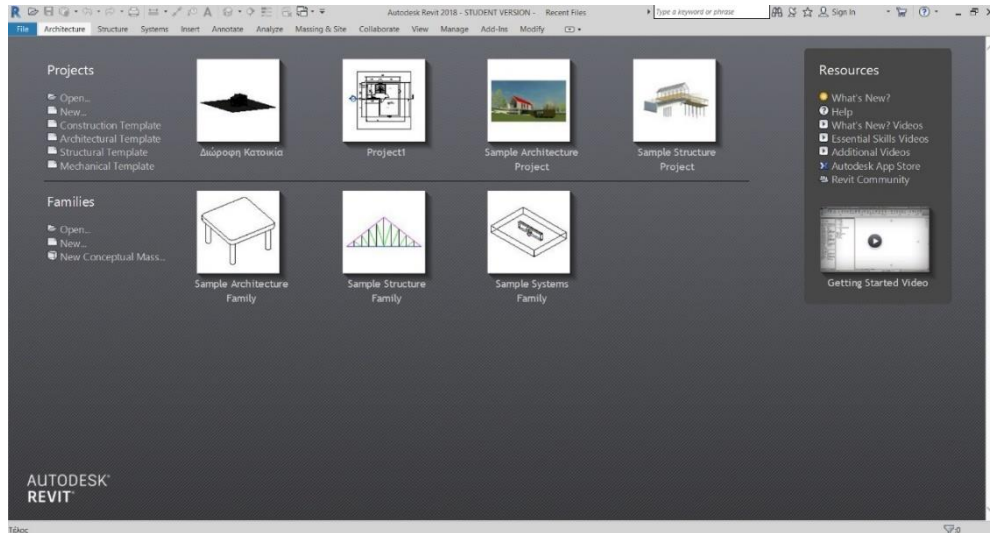
## 2.2 Το λογισμικό Revit

Ένα από τα πιο διαδεδομένα προγράμματα BIM είναι το Revit της εταιρίας Autodesk, στην οποία ανήκουν πλήθος σχεδιαστικών προγραμμάτων, όπως το πασίγνωστο Autocad. (Autodesk, n.d.) Το Revit είναι ένα παραμετρικό λογισμικό. Αυτό σημαίνει ότι οι διαστάσεις που τίθενται κατά το σχεδιασμό λειτουργούν ως «παράμετροι». Επομένως, μεταβάλλοντας τις τιμές των διαστάσεων, μεταβάλλονται και τα αντικείμενα. Το λογισμικό επιτρέπει τη δημιουργία «οικογενειών»(families), στις οποίες συμπεριλαμβάνονται οι παραμετρικές οντότητες. Τα families είναι ομοιώματα τμημάτων του κτιρίου τα οποία αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους, ανταλλάζοντας πληροφορίες. (Βραγγάλας, 2016) Στο Revit τα σχέδια αναπαριστούν ομοιώματα τμημάτων του κτηρίου, ενώ όλο το ομοίωμα υπάρχει σε ένα αρχείο, στο οποίο ενυπάρχουν τόσο αρχιτεκτονικές όσο και κατασκευαστικές πληροφορίες.

### 2.2.1 Περιβάλλον εργασίας του Revit

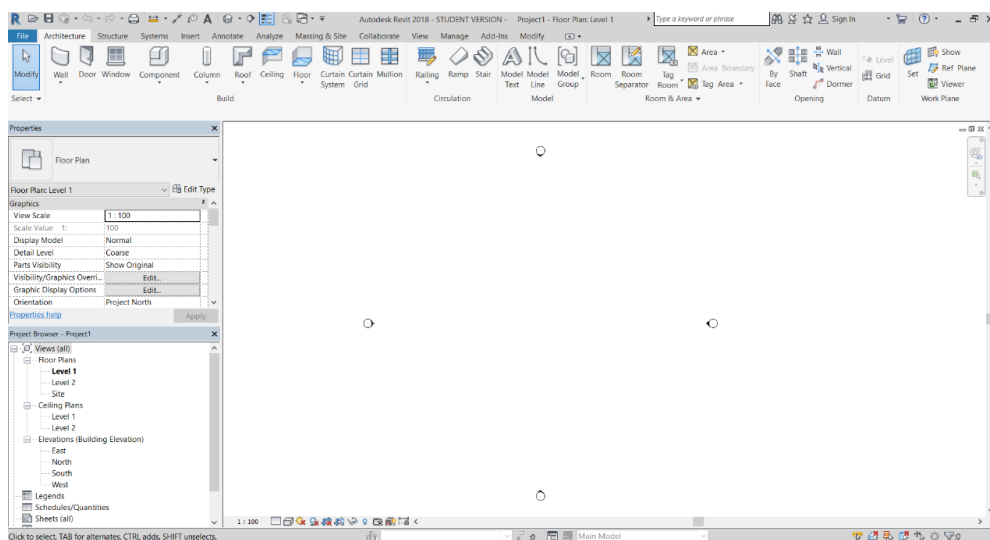
Το περιβάλλον εργασίας του Autodesk Revit Architecture κινείται στο ίδιο «μήκος κύματος» με τις περισσότερες εφαρμογές της Autodesk. Μετά την εκκίνηση του

προγράμματος εμφανίζεται η αρχική οθόνη του περιβάλλοντος εργασίας του Revit Architecture, η οποία ονομάζεται Recent Files. Στο κεντρικό τμήμα της οθόνης εμφανίζονται τα projects (έργα) και ακριβώς από κάτω τα families που έχουν δημιουργηθεί από τον σχεδιαστή. Στο δεξί τμήμα εμφανίζονται τα Resource (Πόροι) που παρέχουν πρόσβαση σε αρχεία βοήθειας. Από το αριστερό τμήμα επιλέγεται το Project ή το Family στο οποίο επιθυμεί κανείς να δουλέψει.



Εικόνα 10. Project Files

Μετά το άνοιγμα ενός νέου αρχείου σε Architectural Template εμφανίζεται το ακόλουθο περιβάλλον σχεδίασης.

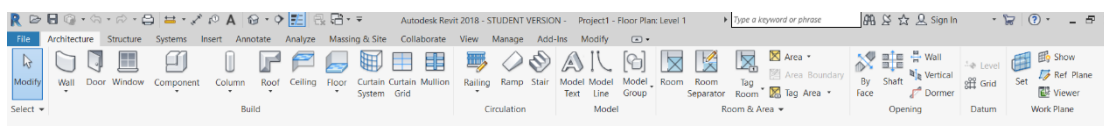


Εικόνα 11. Περιβάλλον σχεδίασης του Revit Architecture

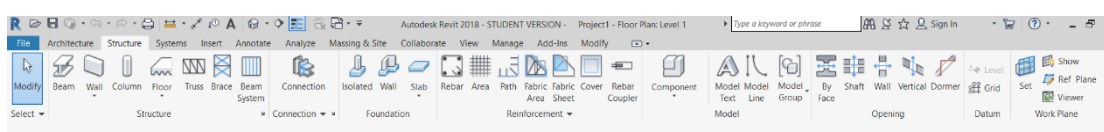
Ακολουθεί η παρουσίαση κάποιων βασικών περιοχών σχεδίασης.

### 2.2.1.1 Ribbon

Στην κορυφή του περιβάλλοντος σχεδίασης εμφανίζεται η κορδέλα (Ribbon). Η Ribbon περιέχει μια συλλογή Tabs (Καρτελών), όπως Architecture, Structure, Insert και λοιπά. Κάθε Tab περιέχει Panels όπου υπάρχουν πολλά εργαλεία.



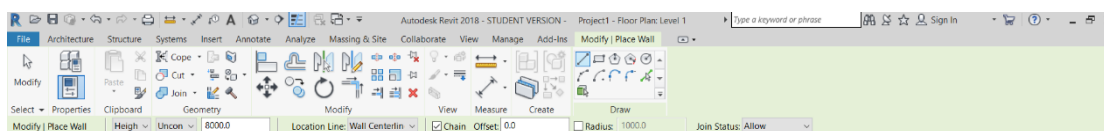
Εικόνα 12. Ribbon και Architecture



Εικόνα 13. Ribbon και Structure

### 2.2.1.2 Option Bar

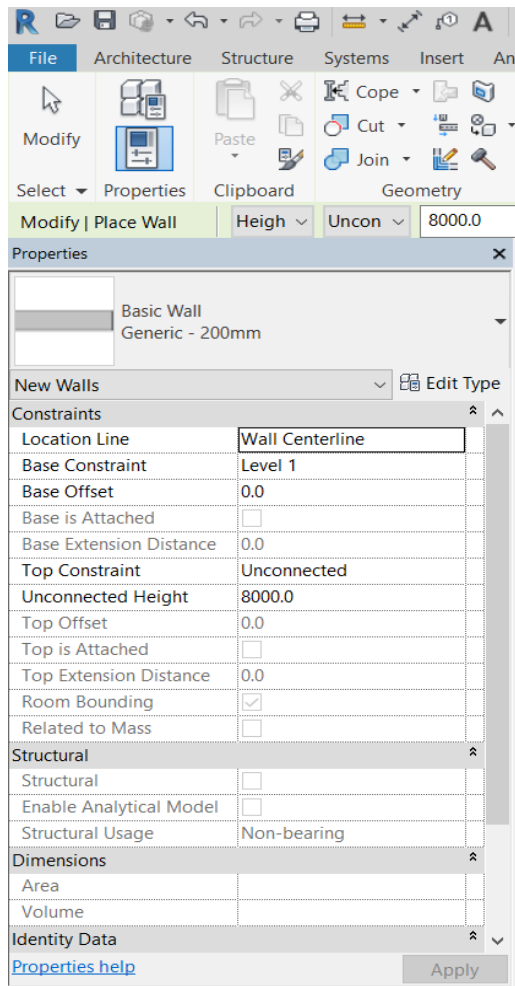
Στην Option Bar (Μπάρα Επιλογών) ορίζονται οι παράμετροι για τη δημιουργία ή την τροποποίηση ενός στοιχείου, παραδείγματος χάριν ενός τοίχου.



Εικόνα 14. Option Bar

### 2.2.1.3 Properties Palette

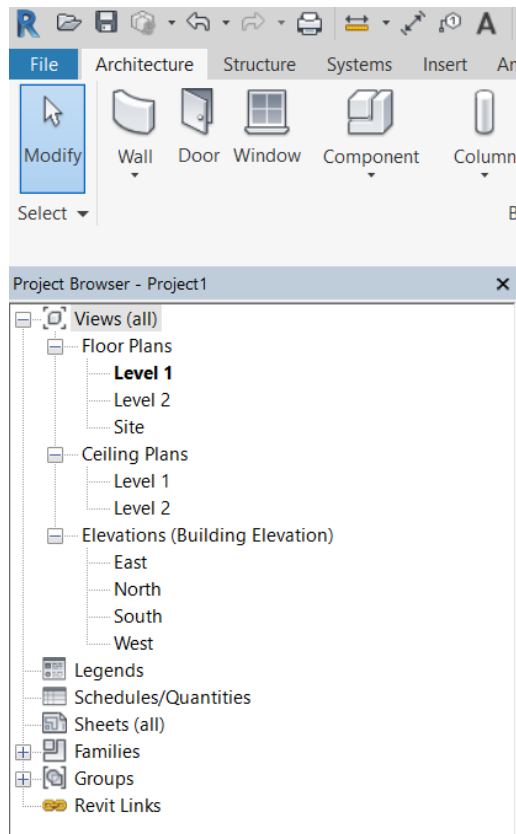
Από το Properties Palette δίνεται η δυνατότητα επεξεργασίας ενός στοιχείου που έχει επιλεγεί (π.χ. ένας τοίχος) ή της οικογένειας στην οποία ανήκει.



Εικόνα 15. Properties Palette

#### 2.2.1.4 Project Browser

Στο Project Browser εμφανίζονται όλες οι Views (Όψεις και Τομές) του έργου, τα Sheets που συνήθως προορίζονται για εκτύπωση, τα Schedules, τα Families-Types και τα Groups/Links. Επιλέγοντας κάποιο από αυτά, αυτό εμφανίζεται στο χώρο σχεδίασης.



Εικόνα 16. Project Browser

#### 2.2.1.5 Βασικοί χειρισμοί

Παρατίθενται στη συνέχεια κάποιες εντολές που εισάγονται στο πρόγραμμα από το πληκτρολόγιο. (Πέππα, 2014)

- Πληκτρολόγηση της διάστασης του στοιχείου και Enter κατά τη δημιουργία του στοιχείου εισάγει τις διαστάσεις του
- Μέσω της εντολής Esc και με ένα κλικ πραγματοποιείται έξοδος από τη διαδικασία, ενώ με δύο έξοδος από την εντολή
- Με Ctrl και Z πραγματοποιείται Undo
- Με επιλογή ενός αντικειμένου και Del, το αντικείμενο διαγράφεται.
- Με Enter πραγματοποιείται επανάληψη της προηγούμενης εντολής

Επιπλέον, παρατίθενται ορισμένοι βασικοί χειρισμοί των όψεων. (Πέππα, 2014)

- Με την περιστροφή του μεσαίου πλήκτρου του ποντικιού (ροδέλα) πραγματοποιείται zoom in ή zoom out
- Με το πάτημα του μεσαίου πλήκτρου του ποντικιού πραγματοποιείται pan, δηλαδή μεταφέρεται ολόκληρο το σχέδιο σε οποιοδήποτε σημείου του επιπέδου επιλεγεί
- Με διπλό κλικ του μεσαίου πλήκτρου γίνεται zoom extents

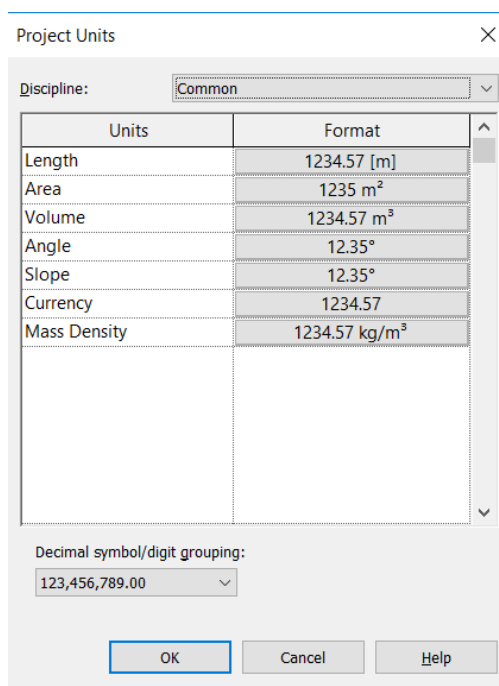
- Με την εντολή Shift και το μεσαίο πλήκτρο γίνεται orbit σε 3D view
- Με την πληκτρολόγηση των Z και P πραγματοποιείται zoom previous
- Με την πληκτρολόγηση των Z και R πραγματοποιείται zoom region για επεξεργασία λεπτομερειών

## 2.2.1 Σχεδίαση του κτηρίου

Ακολουθεί η περιγραφή των απαραίτητων ενεργειών για τον σχεδιασμό ενός έργου.

### 2.2.2.1 Ορισμός Μονάδων

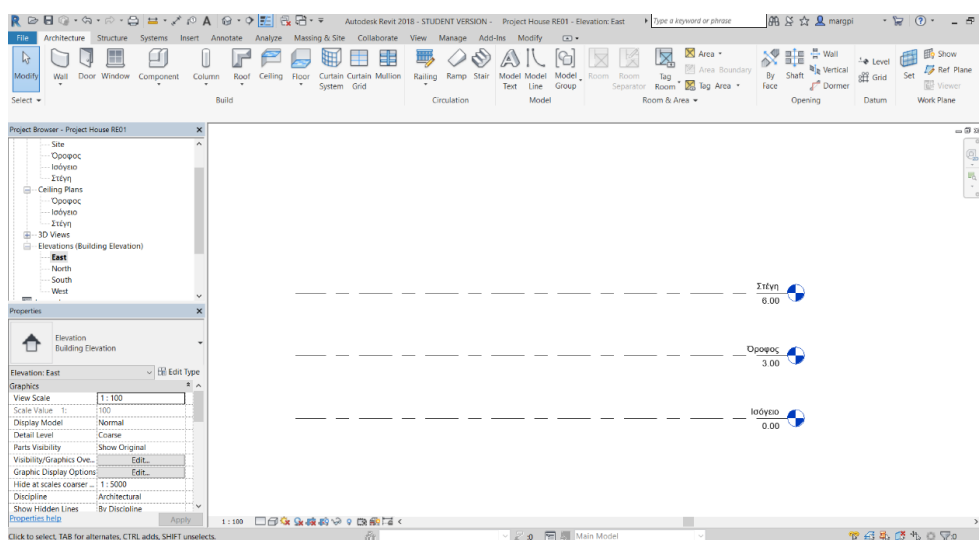
Πριν αρχίσει η σχεδίαση ενός έργου πρέπει να οριστεί το σύστημα των μονάδων. Πληκτρολογώντας U και N ανοίγει το παράθυρο Project Units, στο οποίο ορίζεται ως μονάδα μέτρησης του μήκους το μέτρο (m) και ως μονάδα μέτρησης της γωνίας οι μοίρες (°). Επιπλέον, ορίζεται κάθε τιμή να εμφανίζεται με 2 δεκαδικά ψηφία.



Εικόνα 17. Project Units-Ορισμός συστήματος μονάδων

### 2.2.2.2 Καθορισμός Σταθμών -Ορόφων

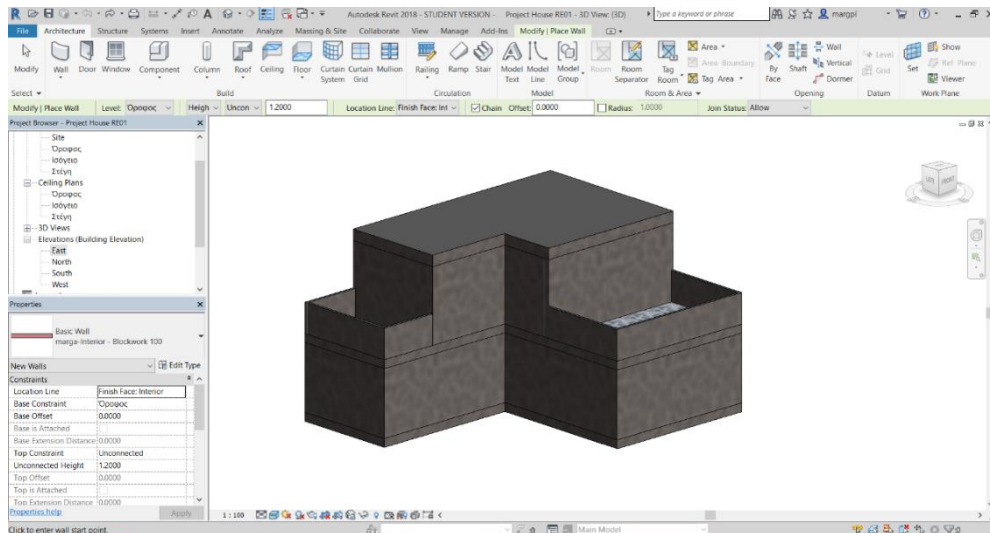
Απαραίτητος είναι τους ο ορισμός τους κάθε στάθμης πάνω στην οποία θα σχεδιαστούν τα δομικά στοιχεία. Οι στάθμες φαίνονται επιλέγοντας μια όψη, για παράδειγμα την ανατολική(East), τους φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Στην όψη σχεδιάζονται οι στάθμες και ορίζονται τα υψόμετά τους.



Εικόνα 18. Σχεδιασμός επιπέδων

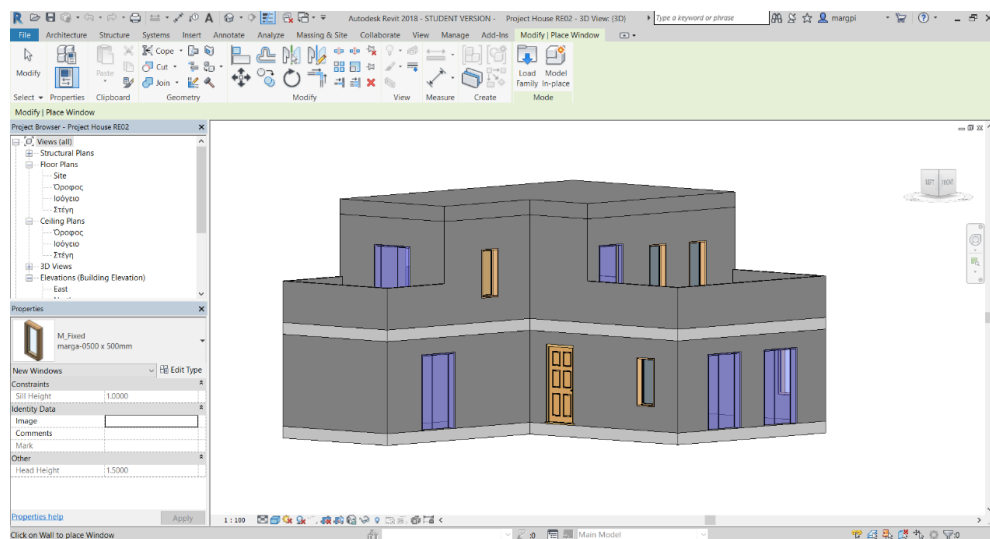
### 2.2.2.3 Σχεδίαση δομικών στοιχείων και ανοιγμάτων

Στην κορδέλα Architecture υπάρχουν τα δομικά στοιχεία με τα οποία θα σχεδιαστεί το κτήριο. Από εκεί επιλέγονται οι τοίχοι (wall), τα πατώματα (floor), η οροφή (roof), οι κολώνες (column), τα δοκάρια (beam), η σκάλα (stair) κλπ. Προφανώς, το πρόγραμμα δίνει τη δυνατότητα επεξεργασίας του κάθε στοιχείου, τόσο σε σχέση με τις διαστάσεις του, όσο και σε σχέση με τα υλικά που το αποτελούν. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα «κατεβάσματος» (download) επιπλέον στοιχείων από βιβλιοθήκες της Autodesk.



Εικόνα 19. Περιβάλλον σχεδίασης του Revit και σχεδίαση τοίχων, πατωμάτων, οροφής

Με τον ίδιο τρόπο, από τις επιλογές Door και Window σχεδιάζονται αντιστοίχως οι πόρτες και τα παράθυρα.

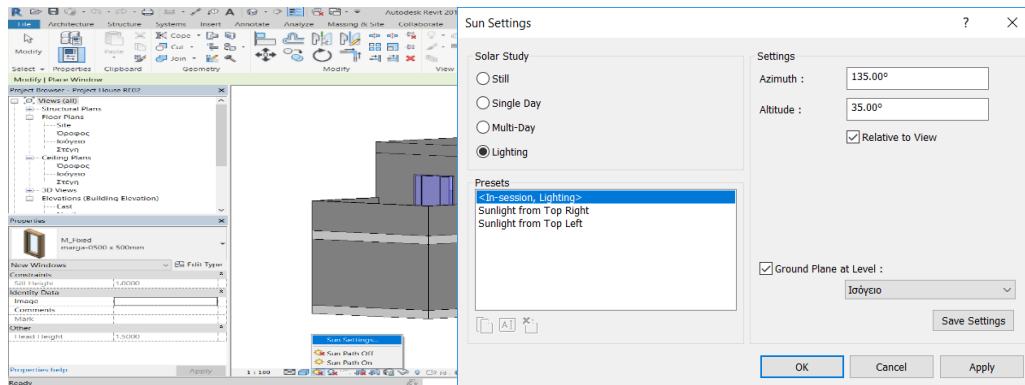


Εικόνα 20. Περιβάλλον σχεδίασης του Revit και σχεδίαση τοίχων, πατωμάτων, οροφής

#### 2.2.2.4 Ρυθμίσεις Ήλιου (Solar Study)

Το Solar Study γίνεται από το εικονίδιο με σύμβολο τον Ήλιο, που βρίσκεται στην κορδέλα κάτω από το χώρο σχεδίασης, όπως φαίνεται στο αριστερό μέρος της εικόνας. Στην συνέχεια ανοίγει ένα πτυσσόμενο μενού και από εκεί επιλέγεται το Sun Settings, με αποτέλεσμα να ανοίγει ένα νέο παράθυρο διαλόγου, όπως φαίνεται στο δεξί μέρος της εικόνας.





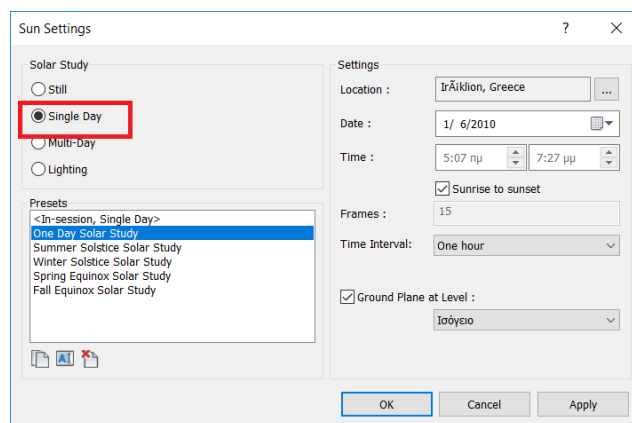
Εικόνα 21. Sun Settings

- Still (Ακίνητο)

Από τη ρύθμιση Still (Ακίνητο) επιλέγεται ημέρα και ώρα. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι να έχει οριστεί ο πραγματικός προσανατολισμός του κτηρίου (αναλυτικά ο ορισμός του προσανατολισμού στην ενότητα 2.2.2.3).

- Single Day (Μία Ημέρα)

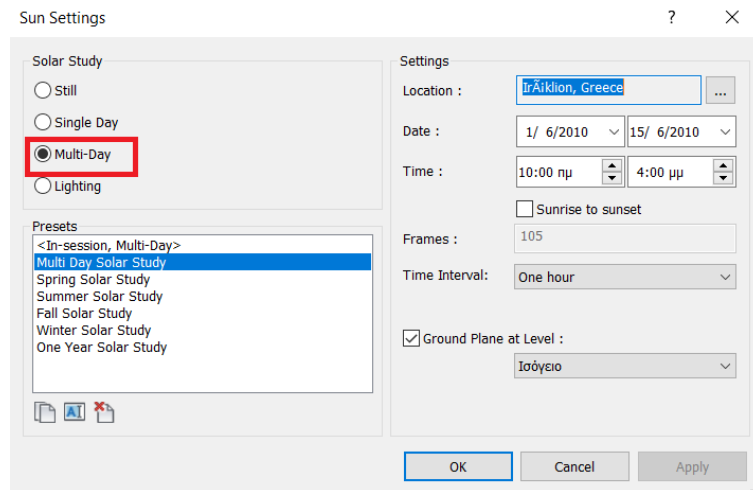
Από τη ρύθμιση Single Day (Μία Ημέρα) επιλέγεται ημέρα και εύρος ώρας. Με τη δημιουργία βίντεο, όπου φαίνεται η κίνηση του Ήλιου την συγκεκριμένη ημέρα που ορίστηκε και σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα, γίνεται η μελέτη σκιασμού.



Εικόνα 22. Sun Settings, Single Day

- Multi Day (Πολλές Ημέρες)

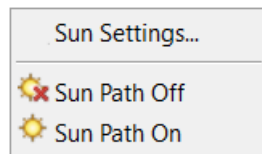
Από τη ρύθμιση Multi Day (Πολλές Ημέρες) επιλέγεται το εύρος ημερών και ώρας. Λειτουργεί παρόμοια με την παραπάνω εντολή. Δημιουργείται βίντεο με την κίνηση του Ήλιου για χρονικά διαστήματα μεγαλύτερα της μίας ημέρας.



Εικόνα 23. Sun Settings, Multi-Day

- Διαδρομή Ήλιου (Sun Path)

Τέλος, με τις εντολές Sun Path On και Sun Path Off, οι οποίες επιλέγονται από το πτυσσόμενο μενού (εικόνα 24), εμφανίζεται ή αποκρύπτεται η διαδρομή του Ήλιου.



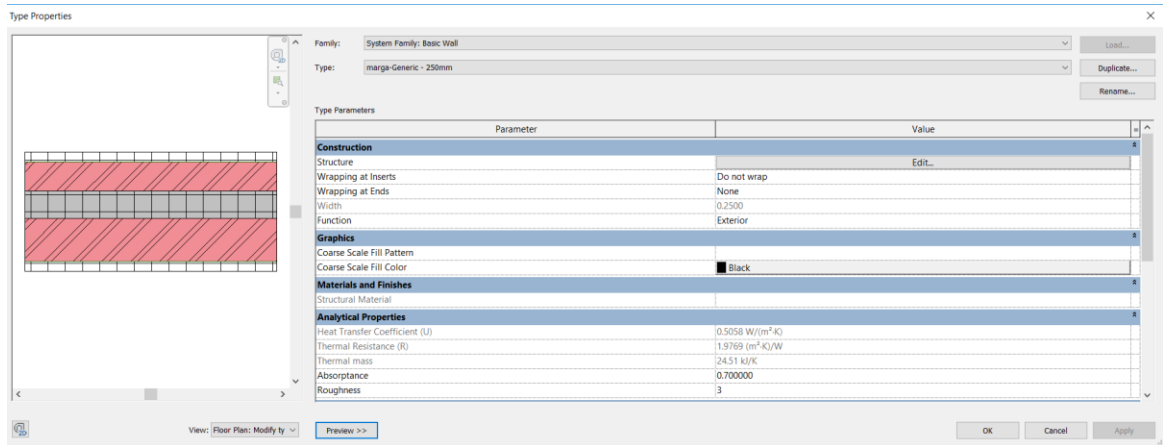
Εικόνα 24. Sun Path Off/ Sun Path On

### 2.2.3. Ορισμός «περιβαλλοντικών» παραμέτρων του έργου

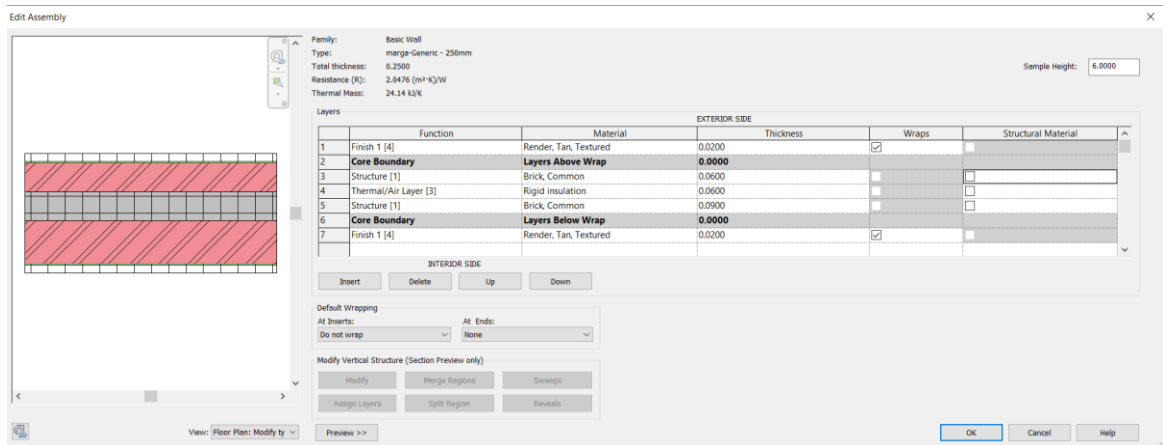
Στη συνέχεια περιγράφεται ο τρόπος με τον οποίο ορίζονται οι περιβαλλοντικοί παράμετροι.

#### 2.2.3.1 Ορισμός παραμέτρων του κελύφους

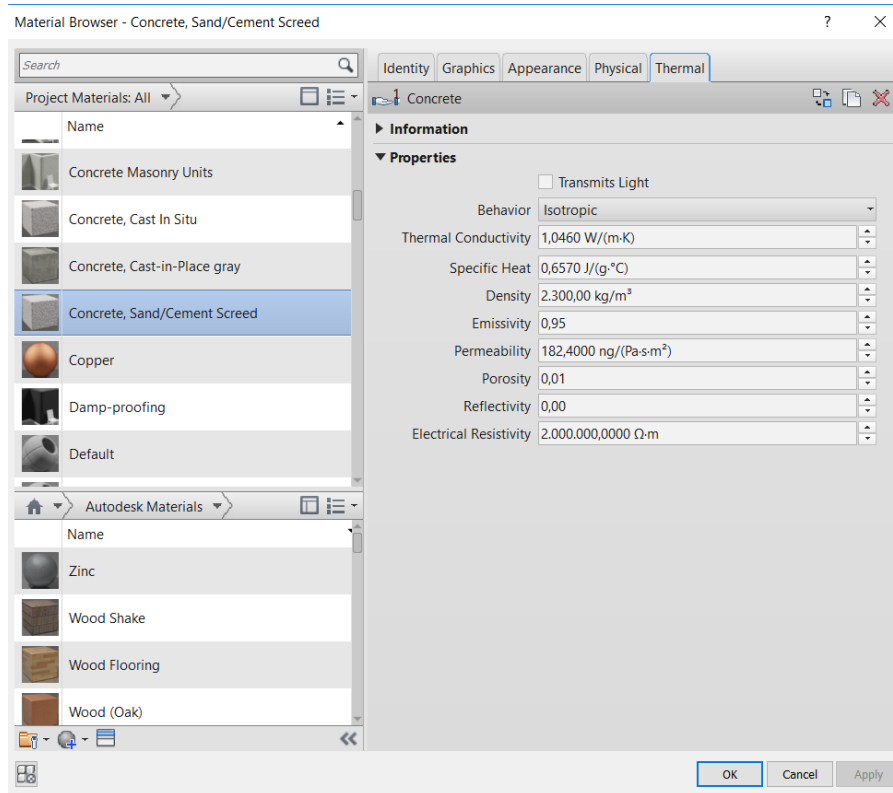
Αφού σχεδιαστούν τα στοιχεία του κελύφους ή κατά τη διάρκεια της σχεδίασής τους ορίζεται τόσο το πάχος (thickness) τους, όσο και τα υλικά από τα οποία να κατασκευαστούν. Με αυτόν τον τρόπο προκύπτουν στοιχεία για τη θερμική αγωγιμότητά τους (Thermal Conductivity), την ειδική θερμοχωρητικότητά τους (Specific Heat) και την πυκνότητά τους (Density). Η επεξεργασία των στοιχείων γίνεται από το Properties Palette και μέσω των εντολών Edit Type και Edit προσδιορίζονται τα υλικά κατασκευής.



Εικόνα 25. Type Properties



Εικόνα 26. Edit Assembly

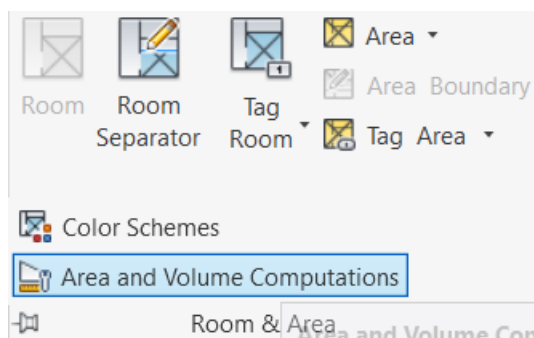


Εικόνα 27. Material Browser

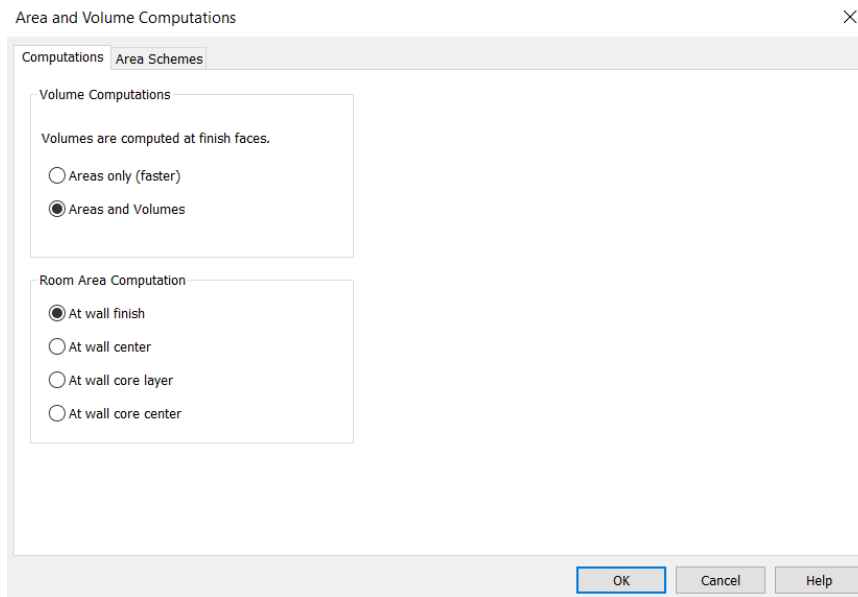
Τα στοιχεία του κελύφους του κτηρίου της εργασίας παρουσιάζονται αναλυτικά στο κεφάλαιο 3.

#### 2.2.3.2 Υπολογισμός εμβαδών-όγκων και καθορισμός θερμικών ζωνών

Για τον καθορισμό των ορίων του κτηρίου ώστε να υπολογιστούν τα εμβαδά και οι όγκοι των χώρων, επιλέγεται από την καρτέλα Architecture η εντολή Room and Area. Στην συνέχεια επιλέγοντας την εντολή Area and Volume Computations ανοίγει ένα νέο παράθυρο διαλόγου. Από εκεί επιλέγεται να υπολογίζονται εμβαδά και όγκοι επιλέγοντας Areas and Volumes και ορίζεται αυτά να υπολογίζονται ως το τέλος των τοίχων, επιλέγοντας At wall finish.



Εικόνα 28. Area and Volume Computations



Εικόνα 29. Computations

Στη συνέχεια ορίζονται οι θερμικές ζώνες του κτηρίου ανάλογα με την ανάγκη για θέρμανση, ψύξη και υγρασία του κάθε χώρου. Αυτό γίνεται από την καρτέλα Analyze.

Στην κορδέλα Analyze υπάρχουν 2 επιλογές, το Space (Χώρος) και το Zone (Ζώνη), μέσω των οποίων ορίζονται επιπλέον παράμετροι, ώστε να γίνει η ενεργειακή μελέτη.

Space: Μέσω της εντολής space επιλέγονται οι επιμέρους χώροι του κτηρίου. Τα spaces περιέχουν πληροφορίες για τον όγκο του κάθε χώρου και μέσω αυτών γίνεται ο υπολογισμός των θερμικών και των ψυκτικών φορτίων.

Zone: Μέσω της εντολής Zone, δίνεται η δυνατότητα ομαδοποίησης των χώρων (Spaces). Για παράδειγμα, αν δύο χώροι (Spaces) έχουν τις ίδιες απαιτήσεις ως προς την θέρμανση, τον κλιματισμό και την υγρασία θα ενταχθούν στην ίδια ζώνη (Zone). Οι χώροι αυτοί μπορεί να ανήκουν στα ίδια ή σε διαφορετικά επίπεδα του κτηρίου.

Όταν δημιουργείται ένας χώρος (Space) το λογισμικό το τοποθετεί αυτόματα σε μία Default Zone, όμως αν δημιουργηθεί νέα Zone, τότε υπάρχει δυνατότητα να τοποθετηθούν εκεί τα Spaces και να διαγραφούν αυτόματα από την Default Zone.

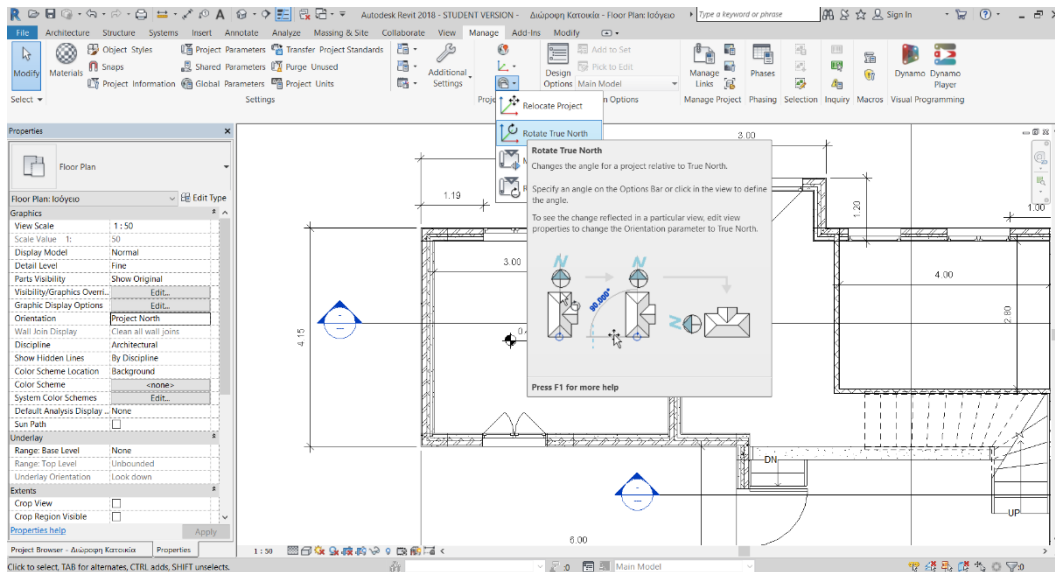
Αφού οριστεί ένας χώρος, εμφανίζονται οι παράμετροί του στο Properties. Από αυτές, κάποιες ορίζονται από το χρήστη και άλλες από το λογισμικό. Σε αυτές, συνοπτικά, περιλαμβάνονται τα εξής:

- Constrains: Αφορά επιλογές σχετικά με τα άνω και κάτω όρια των χώρων
- Electrical-Lighting: Αφορά στοιχεία για το φωτισμό
- Electrical-Load: Εμφανίζει τιμές για τα φορτία κλιματισμού, θέρμανσης και λοιπών φορτίων
- Dimensions: Εμφανίζει τις διαστάσεις του χώρου (Εμβαδόν, Περίμετρο κ.λπ.)
- Mechanical-Flow: Αφορά την παροχή αέρα που εισέρχεται ή εξέρχεται από το χώρο

- Identity Data: Δείχνει αριθμό και ονομασία χώρου, σχόλια, άτομα που χρησιμοποιούν το χώρο
- Phasing: Εμφανίζει σε ποια φάση βρίσκεται η κατασκευή του χώρου
- Energy Analysis: Καθορίζει τις ενεργειακές παραμέτρους. Κρίνεται χρήσιμο να γίνει εκτενής αναφορά σε αυτό. Παρακάτω παρατίθενται οι επιμέρους επιλογές.
  - Zone: Εμφανίζει τη θερμική ζώνη, στην οποία κατατάσσεται ο χώρος
  - Plenum: Αν επιλεγθεί, σημαίνει κενός χώρος, χωρίς δραστηριότητα
  - Occupiable: Αν επιλεγθεί, σημαίνει ότι υπάρχει ανθρώπινη δραστηριότητα
  - Condition Type: Επιλέγεται το είδος των φορτίων κάθε χώρου
  - Space Type: Επιλέγεται ο τύπος του χώρου από τη λίστα του Revit. Υπάρχει η δυνατότητα και νέου τύπου χώρου.
  - Construction Type: Προσδιορίζονται τα χαρακτηριστικά κάθε δομικού στοιχείου του κτηρίου
  - Outdoor Air Method  
Calculated Heating Load: Εμφανίζεται η τιμή του συνολικού θερμικού φορτίου. Υπολογίζεται από το πρόγραμμα.
  - Design Heating Load: Εμφανίζεται η τιμή του συνολικού θερμικού φορτίου. Υπάρχει δυνατότητα να οριστεί είτε από το πρόγραμμα είτε από το χρήστη.
  - Calculated Cooling Load Εμφανίζεται η τιμή του συνολικού φορτίου ψύξης. Υπολογίζεται από το πρόγραμμα.
  - Design Cooling Load: Εμφανίζεται η τιμή του συνολικού φορτίου ψύξης. Μπορεί να οριστεί είτε από το πρόγραμμα είτε από το χρήστη.

### 2.2.3.3 Προσανατολισμός του κτηρίου

Ο σχεδιασμός του κτηρίου αρχικά πραγματοποιείται με τυχαίο προσανατολισμό που στο πρόγραμμα εμφανίζεται ως Project North στο Properties, στη επιλογή Orientation. Για να οριστεί ο πραγματικός βορράς, από Tab Manage επιλέγεται το Project Location και στη συνέχεια η εντολή Rotate True North. Εφαρμόζοντας την μπίλια, που εμφανίζεται στην οθόνη, σε ένα σημείο του σχεδίου δίνεται η δυνατότητα περιστροφής του. Έτσι ο πραγματικός προσανατολισμός του κτηρίου και πλέον εμφανίζεται στην πραγματική του κατεύθυνση όταν επιλέγεται από την παλέτα Properties και Orientation το True North.

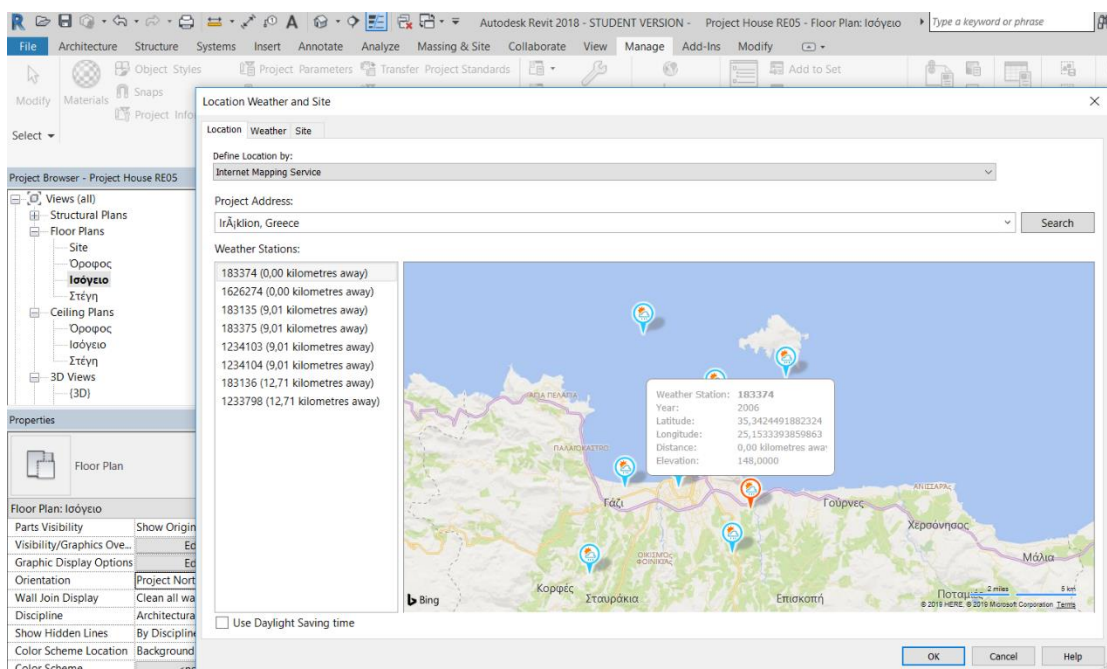


Εικόνα 30. Rotate True North

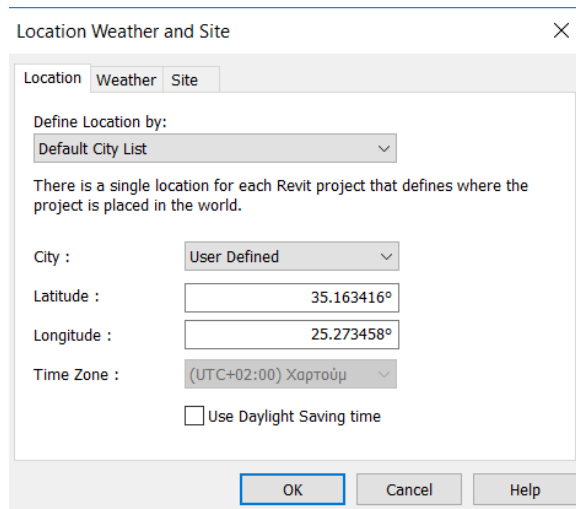
Στην εικόνα φαίνεται το υπό μελέτη κτήριο. Ο πραγματικός βοράς βρίσκεται 15 μοίρες βόρεια βορειοανατολικά σε σχέση με τον Project North.

#### 2.2.3.4 Γεωγραφικός προσδιορισμός του κτηρίου

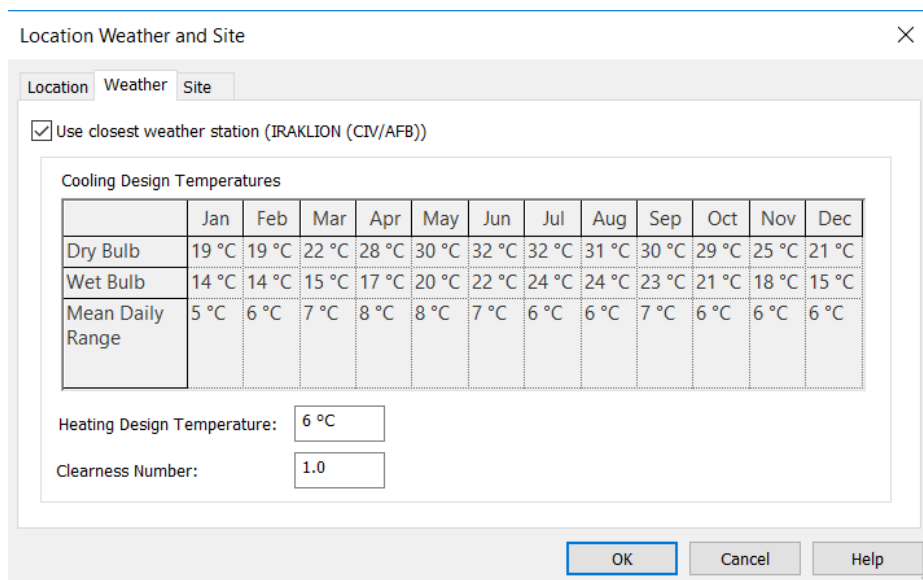
Ο ορισμός της γεωγραφικής θέσης του κτηρίου δηλώνεται από το Tab Manage και επιλέγοντας το Location. Στο Location Weather and Site επιλέγεται, είτε η πόλη στην οποία βρίσκεται το κτήριο, είτε ορίζονται οι γεωγραφικές συντεταγμένες.



Εικόνα 31. Location Weather and Site



Εικόνα 32. Location Weather and Site, Location

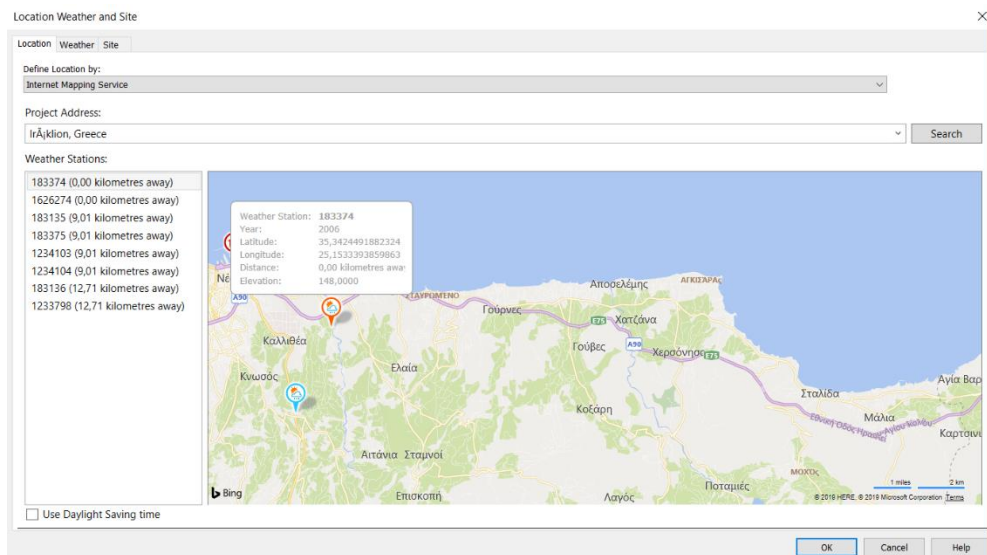


Εικόνα 33. Location Weather and Site, Weather

Οι συντεταγμένες που φαίνονται στην εικόνα 32 αφορούν την τοποθεσία του υπό μελέτη κτηρίου, ενώ τα κλιματικά δεδομένα της δεύτερης αντλήθηκαν από τον μετεωρολογικό σταθμό του Ηρακλείου, μέσω του λογισμικού.

Για την μελέτη επιλέχθηκε ο μετεωρολογικός σταθμός 183374, διότι είναι ο πλησιέστερος στο κτήριο που μελετάται.

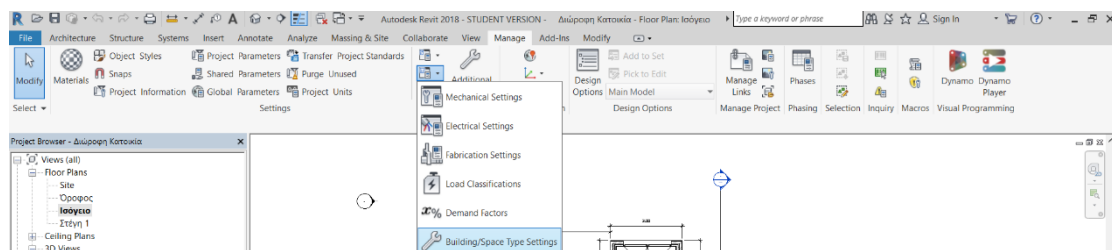




Εικόνα 34. Επιλογή μετεωρολογικού σταθμού

#### 2.2.3.5 Ορισμός τύπου του κτηρίου

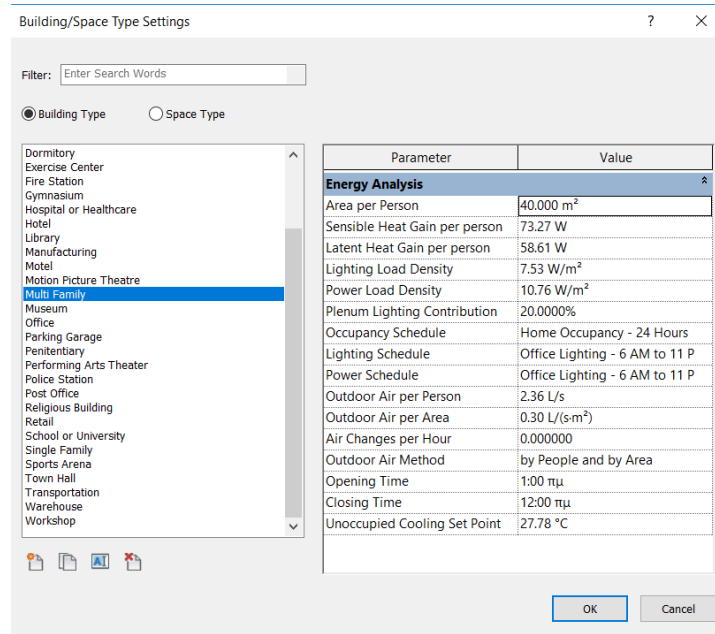
Ο καθορισμός του είδους του κτηρίου γίνεται από το Tab Manage. Επιλέγοντας το MEP Settings και στη συνέχεια το Building/Space Type Settings ανοίγει ένα παράθυρο διαλόγου, από όπου επιλέγεται η χρήση του κτηρίου.



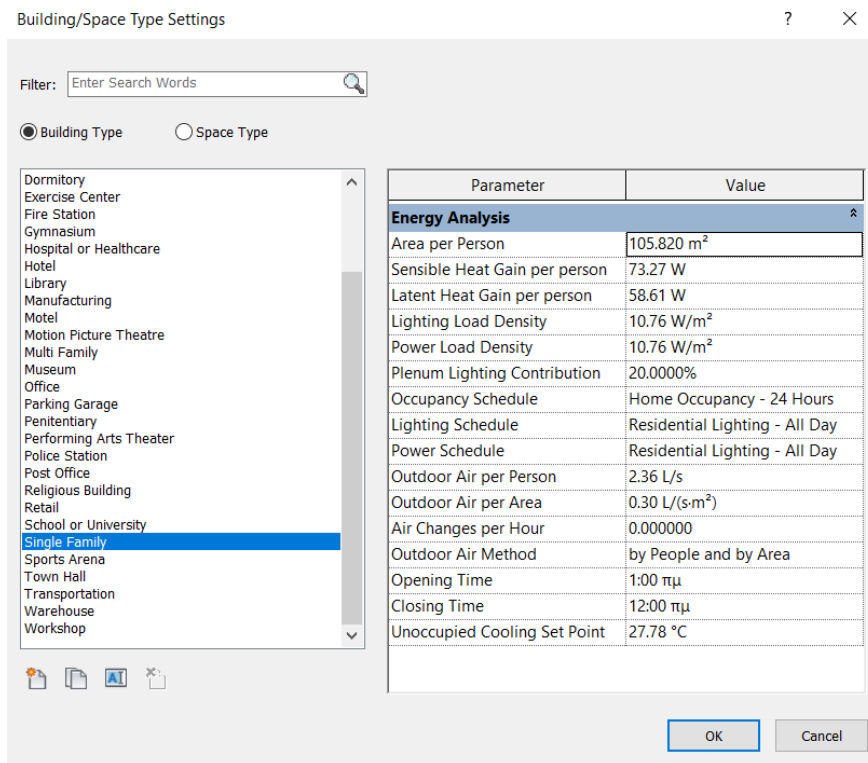
Εικόνα 35. MEP Settings

Στην αριστερά πλευρά της οθόνης εμφανίζονται διάφοροι τύποι κτηρίων, παραδείγματος χάριν single family και multifamily (για κτήριο κατοικίας), hotel (ξενοδοχείο), school or university (σχολείο ή πανεπιστήμιο) κ.α.

Στην αριστερή πλευρά της οθόνης εμφανίζονται οι τιμές των παραμέτρων της ενεργειακής ανάλυσης που έχουν οριστεί για τους διάφορους τύπους κτηρίων. Σε αυτές περιλαμβάνονται το εμβαδόν του δαπέδου που αντιστοιχεί σε κάθε άτομο (Area per Person), αισθητό φορτίο θερμότητας ανά άτομο (Sensible Heat Gain per person), λανθάνον φορτίο θερμότητας ανά άτομο (Latent Heat Gain per person) και άλλα.



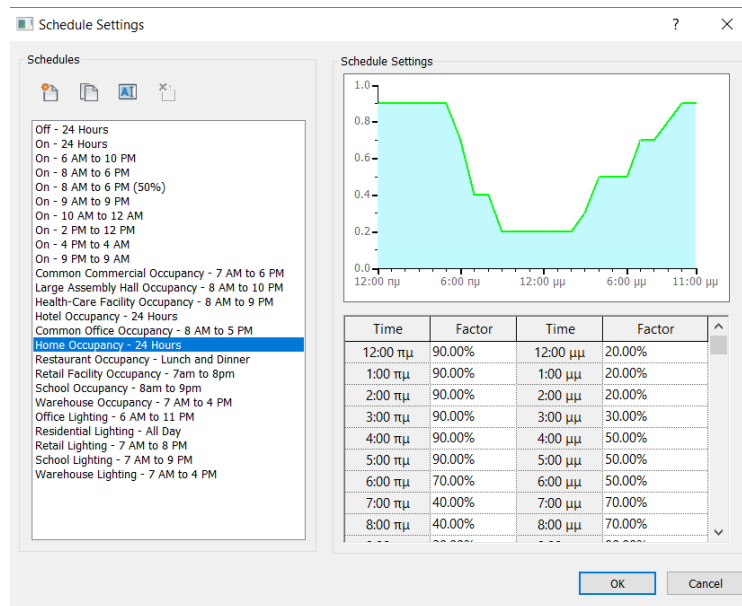
Εικόνα 36. MEP settings



Εικόνα 37. Building/Space Type Settings

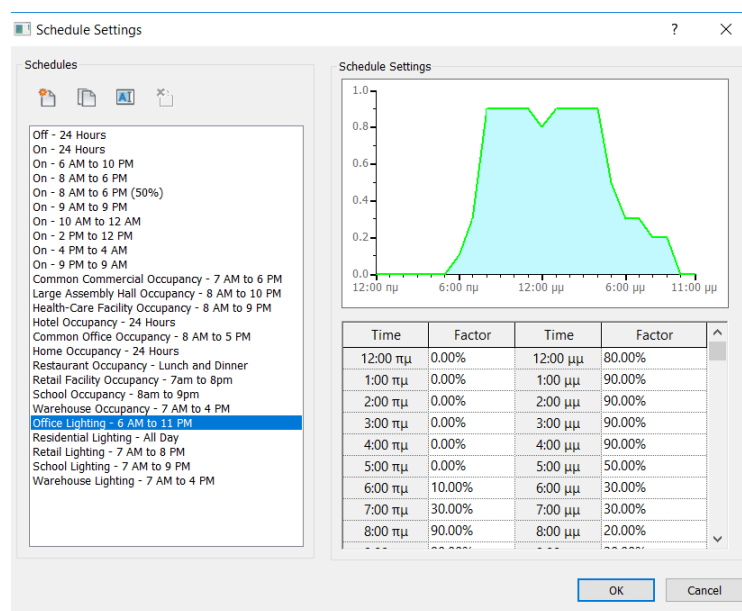
Στο υπό μελέτη κτήριο επιλέχθηκε το Single Family.

Επιπλέον, επιλέγοντας το Home Occupancy-24Hours εμφανίζονται ο πίνακας και το γράφημα που αφορούν το ποσοστά χρήσης (Factor) του κτηρίου ανά ώρα, για τα οποία υπάρχει δυνατότητα τροποποίησης «κλικάροντας» πάνω στο ποσοστό.

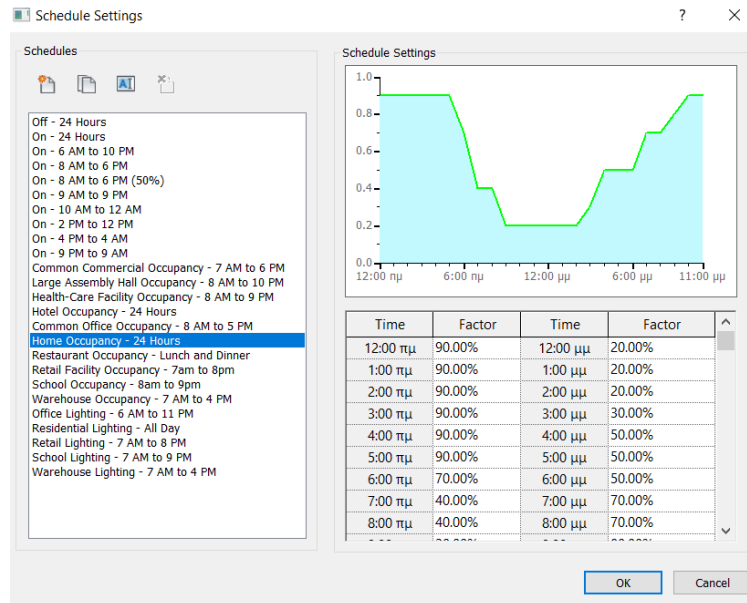


Εικόνα 38. Schedule Settings, Home Occupancy

Ακόμη, παρέχονται πληροφορίες μέσω πίνακα και γραφήματος για λειτουργία των φωτιστικών (Lighting) στο εκάστοτε κτήριο. Προφανώς, όπως στο Home Occupancy, έτσι και στο Lighting υπάρχει η δυνατότητα τροποποίησης του ποσοστού χρήσης (Factor).



Εικόνα 39. Schedule Settings, Office Lighting

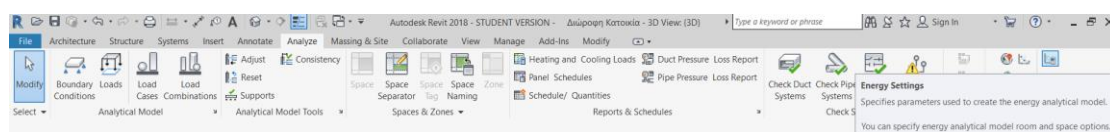


Εικόνα 40. Schedule Settings, Home Occupancy- 24 Hours

Για το υπό μελέτη κτήριο επιλέχθηκαν οι παράμετροι που αφορούν κτήριο κατοικίας.

## 2.3 Ενεργειακή προσομοίωση στο Revit

Ο καθορισμός των παραμέτρων της ενεργειακής ανάλυσης γίνεται από το tab Analyze. Επιλέγοντας το εικονίδιο Energy Settings εμφανίζεται ένα παράθυρο διαλόγου στο οποίο εμφανίζονται οι ενεργειακές παράμετροι (Parameter) καθώς και αντίστοιχες τιμές τους (Value).



Εικόνα 41. Tab Analyze

### 2.3.1 Παρουσίαση παραμέτρων

Η πρώτη οικογένεια παραμέτρων αφορά το Energy Analytical Model. Αυτό περιλαμβάνει:

- Mode- Τρόπος Ανάλυσης

Για τον τρόπο ανάλυσης υπάρχουν τρεις επιλογές: α) Use Conceptual Masses and Building Elements, b) Use Building Elements, c) Use Conceptual Masses . Η επιλογή Use

Conceptual Masses χρησιμοποιείται συνήθως κατά την προμελέτη ενός κτηρίου ή για τον υπολογισμό σκίασης. (Βαρδάκη, 2018)

Για την προσομοίωση της ενεργειακής ανάλυσης του κτηρίου της εργασίας επιλέχθηκε το Use Building Elements.

- Ground Plane- Επίπεδο Εδάφους

Ορίζεται το επίπεδο του κτηρίου το οποίο βρίσκεται σε επαφή με το έδαφος. Ότι βρίσκεται κάτω από αυτό το επίπεδο θεωρείται υπόγειο.

Στο υπό μελέτη κτήριο, Ground Plane θεωρείται το πάτωμα του ισόγειου.

- Project Phase- Στάδιο Κατασκευής

Υπάρχουν δύο επιλογές. Η επιλογή New Construction αφορά καινούρια κατασκευή, ενώ η Existing αφορά υφιστάμενη. Τελικώς, για την εργασία επιλέχθηκε η New Construction, διότι η εκπαιδευτική έκδοση του Revit δεν υποστηρίζει την Existing, παρότι προτείνεται η ανακαίνιση υφιστάμενου κτηρίου.

- Analytical Space Resolution-Ρύθμιση απόστασης 2 στοιχείων

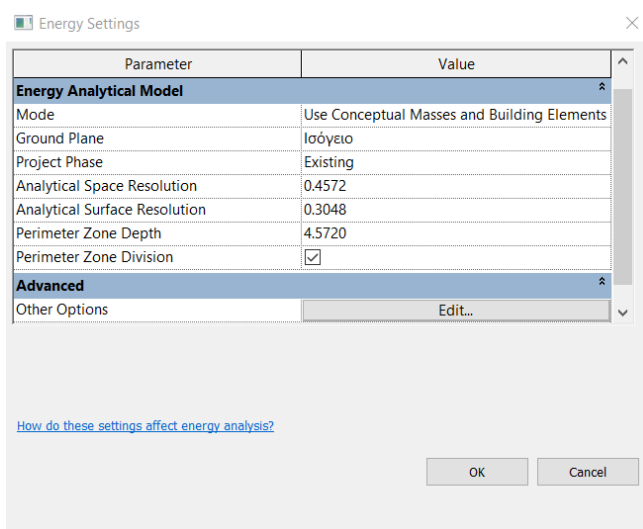
Καθορίζεται η μέγιστη απόσταση μεταξύ 2 στοιχείων του σχεδίου. Η προκαθορισμένη τιμή είναι 0,4572m, ενώ το επιτρεπτό εύρος τιμών είναι από 0,1524m έως 0,3048m.

Επιλέγεται για το κτήριο της εργασίας η τιμή 0,3048m.

- Analytical Surface Resolution- Ρύθμιση απόστασης μεταξύ 2 επιφανειών

Αυτή η παράμετρος σε συνδυασμό με την παραπάνω ρυθμίζει την απόσταση μεταξύ 2 επιφανειών ώστε να εκτελεστεί σωστά η προσομοίωση. Το εύρος τιμών που μπορεί να πάρει είναι από 0,0762m έως 0,03048m.

Η τιμή που επιλέχθηκε επιλέχθηκε για το κτήριο της εργασίας είναι 0,3048m.



Εικόνα 42. Energy settings

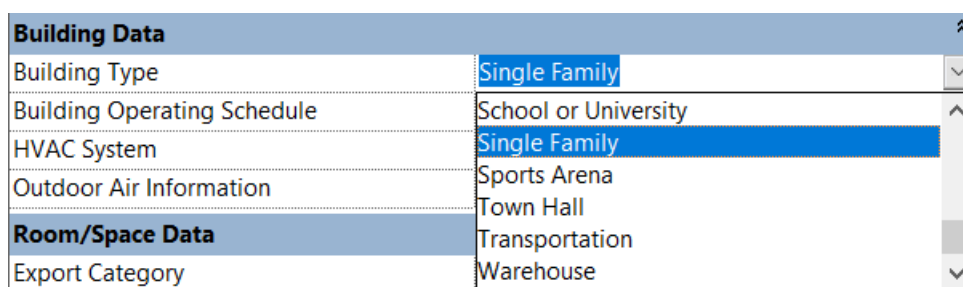
Στη συνέχεια, επιλέγοντας edit στο Other Options ανοίγει δεύτερο παράθυρο διαλόγου, το Advanced Energy Settings στο οποίο εμφανίζονται επιπλέον παράμετροι με τις αντίστοιχες τιμές τους.

Στο Building Data:

Building Type-Τύπος Κτηρίου

Στο Building Type εμφανίζεται πολλές κατηγορίες κτηρίων. Ανάμεσα σε αυτές κτήριο κατοικιών (Single Family ή Multi Family), σχολείο ή πανεπιστήμιο (School ή University), γυμναστήριο (Gymnasium), ξενοδοχείο (Hotel) και πολλά άλλα.

Για το υπό μελέτη κτήριο επιλέχθηκε Single Family.



Εικόνα 43. Building Data, Single Family

- Building Operating Schedule- Χρονοδιάγραμμα λειτουργίας κτηρίου

Υπάρχει πλήθος επιλογών που σε κάθε μία αντιστοιχεί ένα συγκεκριμένο χρονοδιάγραμμα χρήσης. Αφορά μέρες και ώρες λειτουργίας του κτηρίου.

Στην περίπτωση του διώροφου επιλέχθηκε το 24/7 Facility. Δηλαδή, γίνεται η παραδοχή ότι το κτήριο χρησιμοποιείται 24 ώρες ημερησίως, 7 ημέρες την εβδομάδα αλλά με μειωμένους συντελεστές χρήσης. Ο KENAK ορίζει 18 ώρες ημερησίως, 7 ημέρες την εβδομάδα αλλά το πρόγραμμα δεν δίνει αυτή την επιλογή.

- HVAC System- Σύστημα θέρμανσης, ψύξης, αερισμού

Τα αρχικά HVAC προέρχονται από τις λέξεις: Heating, Ventilating, Air Conditioning. Το λογισμικό παρέχει διάφορες επιλογές για σύστημα θέρμανσης, ψύξης, αερισμού.

Για την εργασία επιλέχθηκε το σύστημα: Residential 14 SEER/0.9 AFUE Split/ Packaged Gas<5.5ton.

- Outdoor Air Information- Πληροφορίες για τον εξωτερικό αέρα

Επιλέγοντας Edit ανοίγει ένα νέο παράθυρο διαλόγου, στο οποίο ορίζονται: α) ο εξωτερικός αέρας ανά άτομο (Outdoor Air per Person) σε L/s, β) ο εξωτερικός αέρας ανά εμβαδόν επιφανείας (Outdoor Air per Area) σε L/sm<sup>2</sup>, γ) οι εναλλαγές αέρα ανά ώρα (Air Changes per Hour), δηλαδή πόσες φορές την ώρα αντικαθίσταται ο εσωτερικός αέρας του κτηρίου με εξωτερικό.

Outdoor Air Information

Outdoor Air per Person: 8.00 L/s

Outdoor Air per Area: 0.00 L/(s·m<sup>2</sup>)

Air Changes per Hour: 0.000000

OK Cancel Help

*Εικόνα 44. Outdoor Air Information*

Ακολουθούν τα Rooms/Space Data και η παράμετρος:

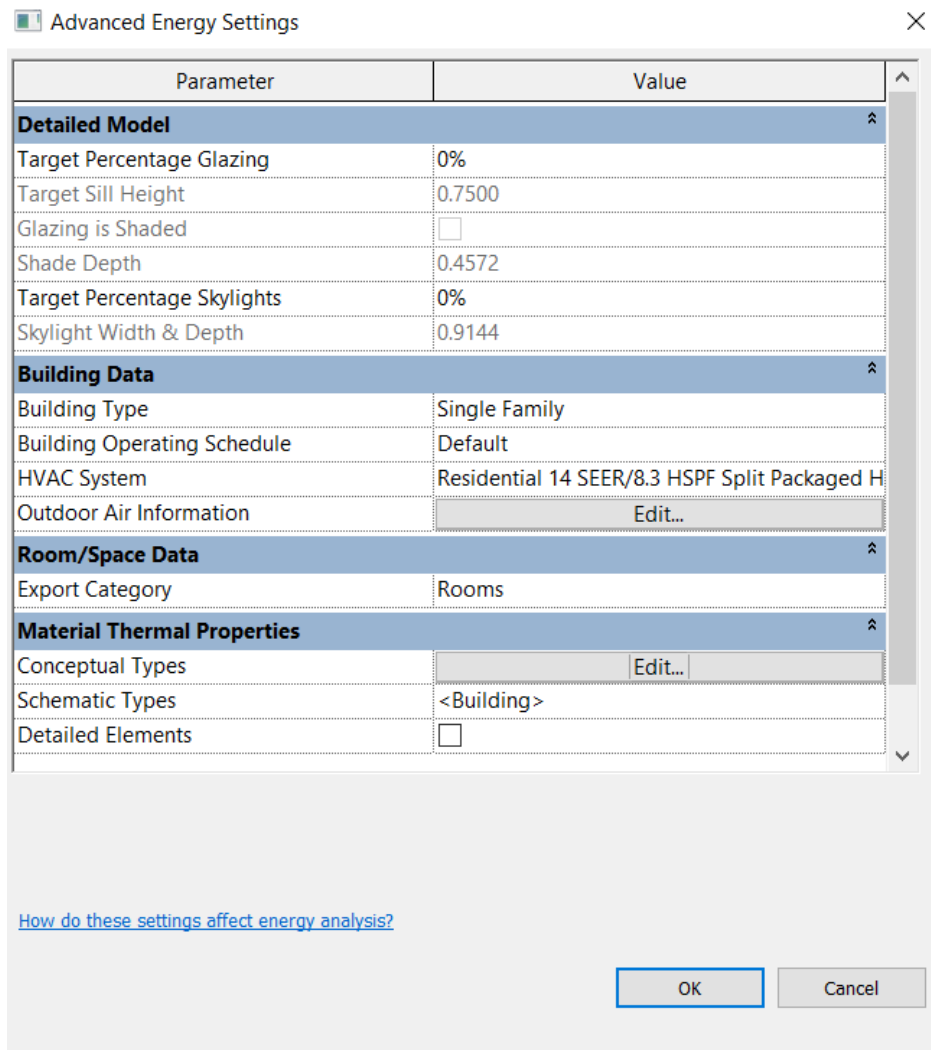
- Export Category- Κατηγορία Εξαγωγής

Για αυτήν την παράμετρο υπάρχουν δύο επιλογές Rooms (Δωμάτια) και Spaces (Χώροι).

Για το κτήριο της εργασίας επιλέγονται τα Spaces ώστε να υπάρχει δυνατότητα υπολογισμού θερμικών και ψυκτικών φορτίων.

Τέλος, υπάρχουν οι παράμετροι που αφορούν τις θερμικές ιδιοτήτων των υλικών (Material Thermal Properties). Εκεί υπάρχουν οι εξής παράμετροι:

- Conceptual Types- Κτηριακοί Τύποι
- Schematic Types- Σχηματοποιημένοι Τύποι
- Detailed Elements- Λεπτομερή Στοιχεία

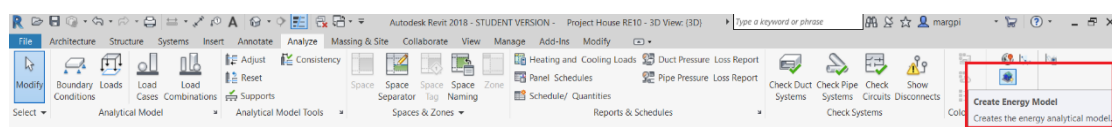


Εικόνα 45. Advanced Energy Settings

## 2.3.2 Ενεργειακή Προσομοίωση Κτηρίου στο Revit

### 2.3.2.1 Δημιουργία Ενεργειακού Μοντέλου

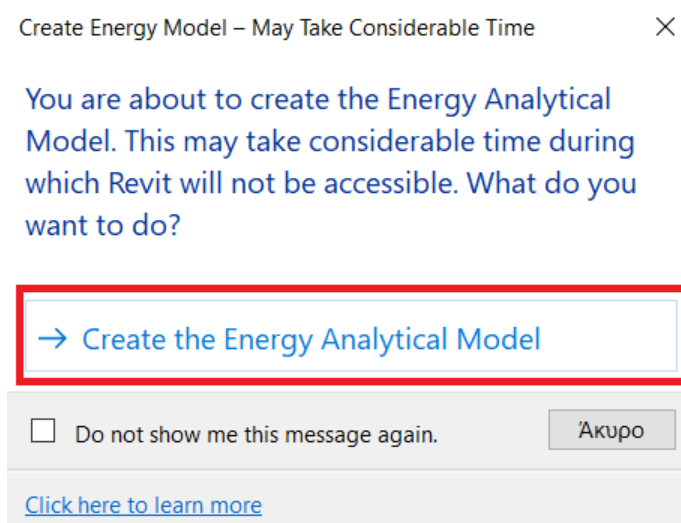
Για την εκτέλεση της ενεργειακής προσομοίωσης είναι απαραίτητη η δημιουργία αναλυτικού ενεργειακού μοντέλου. Αυτό γίνεται από το tab Analyze και το εικονίδιο Create Energy Model, όπως φαίνεται στην εικόνα 46.



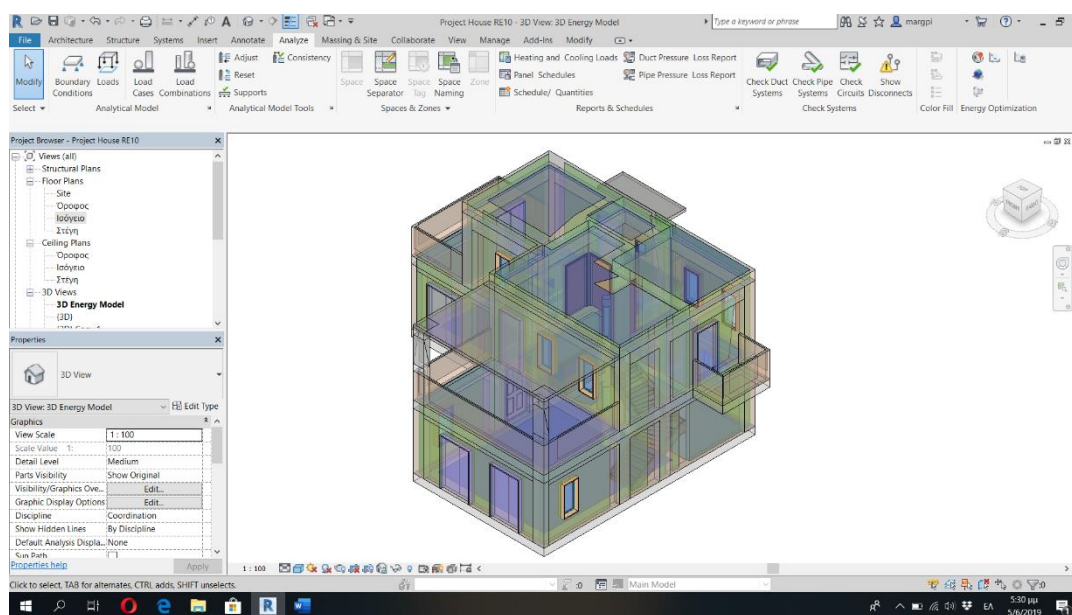
Εικόνα 46. Create Energy Model



Στη συνέχεια εμφανίζεται ένα παράθυρο διαλόγου, όπου επιλέγεται το «Create the Energy Analytical Model». Αφού εκτελεστεί η εντολή, δημιουργείται το ενεργειακό μοντέλο του κτηρίου.



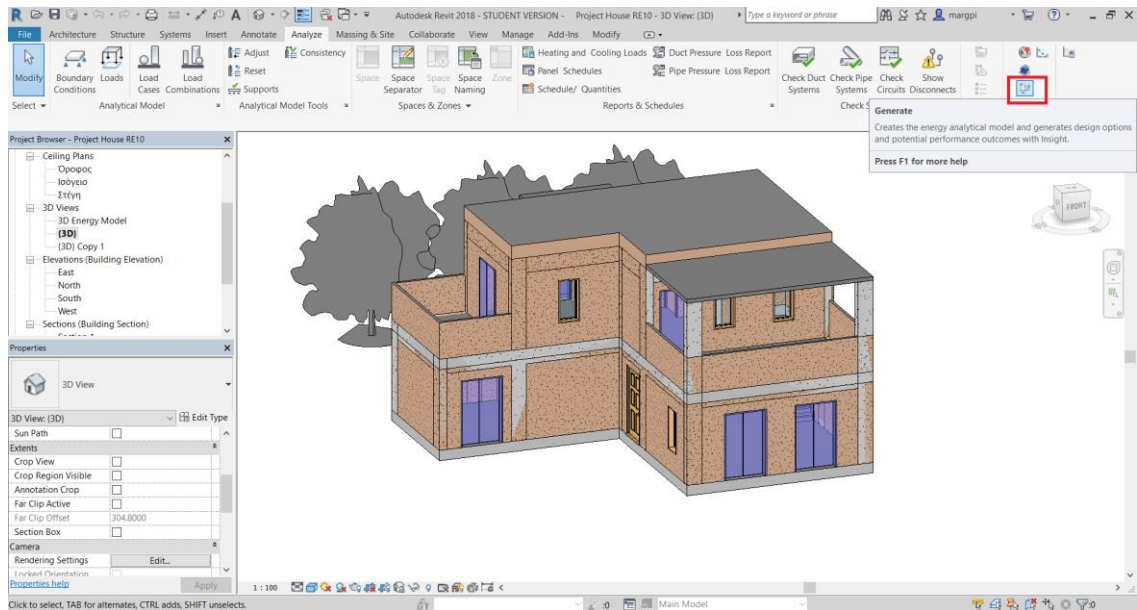
Εικόνα 47. Create the Energy Analytical Model



Εικόνα 48. Το αναλυτικό ενεργειακό μοντέλο του κτηρίου

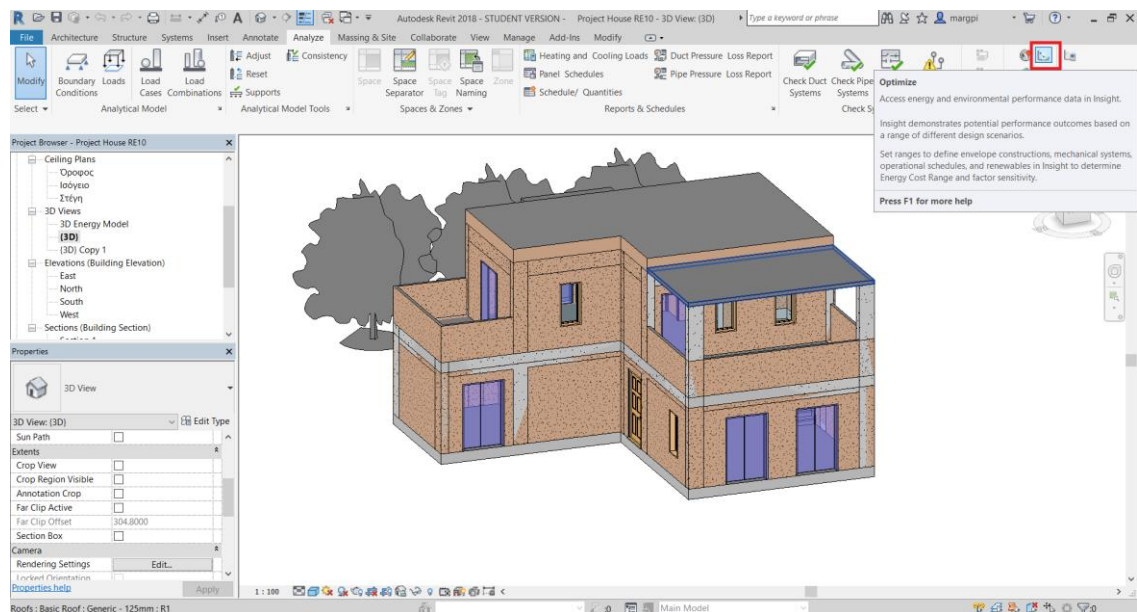
Το αναλυτικό ενεργειακό μοντέλο βασίζεται στους χώρους (και στις θερμικές ζώνες) που ορίστηκαν κατά τον σχεδιασμό, καθώς και στις παραμέτρους του Energy Settings.

Στη συνέχεια, επιλέγοντας το εικονίδιο Regenerate, δημιουργείται το αναλυτικό ενεργειακό μοντέλο και εξάγονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης με το Insight.



Εικόνα 49. Generate

Επιπλέον μέσω του Optimize (Βελτιστοποίηση) παρέχεται πρόσβαση στα δεδομένα ενέργειας και περιβαλλοντικής απόδοσης στο Insight. Το Insight υποδεικνύει αποτελέσματα απόδοσης με βάση μια σειρά από διαφορετικά σενάρια σχεδίασης.



Εικόνα 50. Optimize

Τα αναλυτικά αποτελέσματα της προσομοίωσης για διάφορα ενεργειακά σενάρια παρουσιάζονται στην διαδικτυακή υπηρεσία Green Building Studio της Autodesk.

## 2.4 Λογισμικό Green Building Studio (GBS)

Το λογισμικό Green Building Studio (GBS) είναι ο πυρήνας της προσομοίωσης ενέργειας ενός έργου. Επιτρέπει την υλοποίηση της ενεργειακής ανάλυσης στα λογισμικά Autodesk Insight 360, Autodesk Revit και Autodesk FormIt 360. (BEST Directory, 2018)

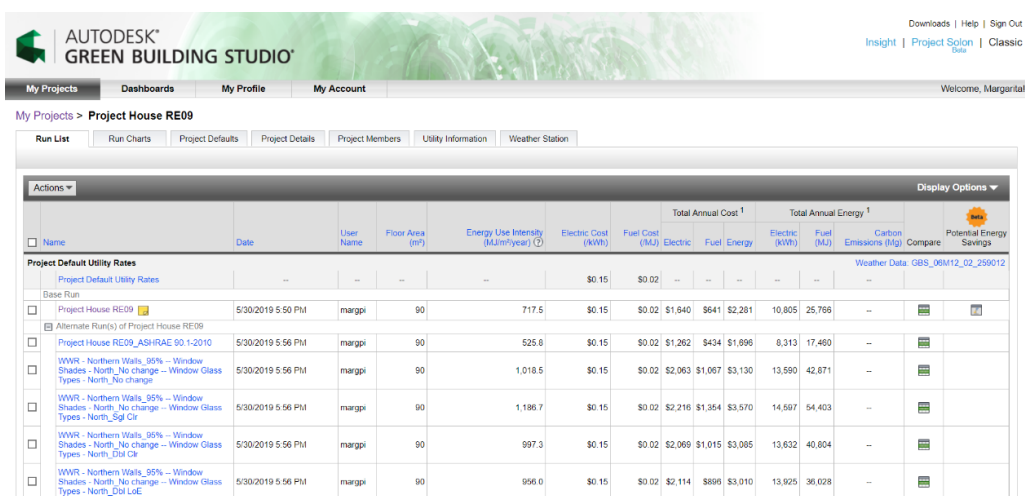
Το Green Building Studio είναι μια ευέλικτη υπηρεσία νέφους, μέσω της οποίας πραγματοποιούνται προσομοιώσεις για τη βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης και την μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα ενός κτηρίου.

### 2.4.1 Τρόπος λειτουργίας του Green Building Studio

Ο χρήστης αφού εισέρχεται στον ιστότοπο του Green Building Studio δημιουργεί ένα λογαριασμό με τα στοιχεία του. Από το GBS γίνεται σύνδεση στο Autodesk 360 και δίνεται η δυνατότητα να εκτελεστούν οι προσομοιώσεις των έργων που έχουν σχεδιαστεί στο Revit, καθώς επίσης και πλήθος εναλλακτικών σεναρίων και να γίνει η παρουσίαση των αποτελεσμάτων.

Η υπηρεσία Green Building Studio ελέγχει πρώτα το μοντέλο του Revit για ελλιπή δεδομένα ή σφάλματα και εάν υπάρχουν, εμφανίζει ένα μήνυμα σφάλματος.

Εφόσον δεν υπάρχουν σφάλματα, ανοίγει το παράθυρο του προγράμματος περιήγησης παρουσιάζοντάς την ενεργειακή κατάσταση ολόκληρου του κτηρίου. Το χρονικό διάστημα που απαιτείται για την εκτέλεση των προσομοιώσεων ποικίλλει από λιγότερο από ένα λεπτό έως 5 ή 10 λεπτά. Ο χρόνος εκτέλεσης εξαρτάται από την επισκεψιμότητα του διακομιστή, την πολυπλοκότητα του μοντέλου και τον αριθμό των επιφανειών, των παραθύρων, των δωματίων, των χώρων και των ζωνών. Οι περισσότερες προσομοιώσεις ολοκληρώνονται μέσα σε λίγα λεπτά.



The screenshot displays the Autodesk Green Building Studio web interface. At the top, there are navigation tabs for 'My Projects', 'Dashboards', 'My Profile', and 'My Account'. Below this, the user is logged in as 'Margaretal'. The main content area is titled 'My Projects > Project House RE09' and contains a 'Run List' table. The table has columns for Name, Date, User Name, Floor Area (m²), Energy Use Intensity (MJ/m²/year), Electric Cost (kWh), Fuel Cost (MJ), Total Annual Cost, Total Annual Energy, Carbon Emissions (kg), and Potential Energy Savings. The table lists several simulation runs, including 'Project Default Utility Rates', 'Base Run', and 'Alternate Run(s) of Project House RE09' with various window shading and glass type configurations.

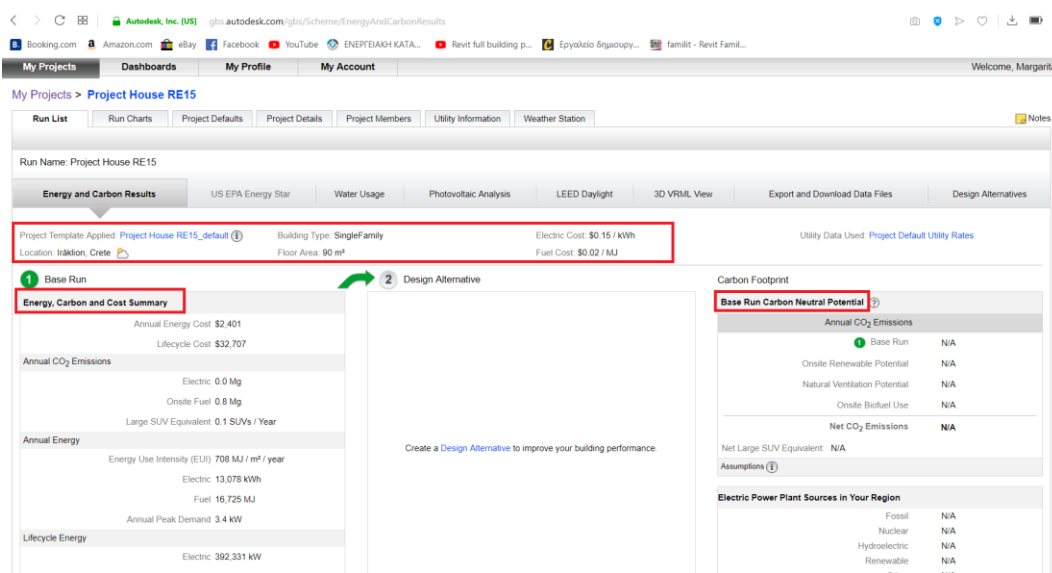
Name	Date	User Name	Floor Area (m <sup>2</sup> )	Energy Use Intensity (MJ/m <sup>2</sup> /year)	Electric Cost (kWh)	Fuel Cost (MJ)	Total Annual Cost <sup>1</sup>	Total Annual Energy <sup>1</sup>	Carbon Emissions (kg)	Potential Energy Savings
Project Default Utility Rates										
Project Default Utility Rates										
Base Run										
Project House RE09	5/30/2019 5:50 PM	margpi	90	717.5	\$0.15	\$0.02	\$1,640 \$641 \$2,281	10,805 25,766	--	
Alternate Run(s) of Project House RE09										
Project House RE09_ASHRAE 90.1-2010	5/30/2019 5:56 PM	margpi	90	525.6	\$0.15	\$0.02	\$1,262 \$434 \$1,696	6,313 17,460	--	
WWR - Northern Walls_95% - Window Shades - North_No change - Window Glass Types - North_No change	5/30/2019 5:56 PM	margpi	90	1,018.5	\$0.15	\$0.02	\$2,063 \$1,067 \$3,130	13,590 42,871	--	
WWR - Northern Walls_95% - Window Shades - North_No change - Window Glass Types - North_Sgl Clr	5/30/2019 5:56 PM	margpi	90	1,186.7	\$0.15	\$0.02	\$2,216 \$1,354 \$3,570	14,597 54,403	--	
WWR - Northern Walls_95% - Window Shades - North_No change - Window Glass Types - North_Sgl Clr	5/30/2019 5:56 PM	margpi	90	997.3	\$0.15	\$0.02	\$2,069 \$1,015 \$3,085	13,632 40,604	--	
WWR - Northern Walls_95% - Window Shades - North_No change - Window Glass Types - North_Dbl LoE	5/30/2019 5:56 PM	margpi	90	956.0	\$0.15	\$0.02	\$2,114 \$886 \$3,010	13,925 36,628	--	

Εικόνα 51. Προσομοιώσεις στο Green Building Studio

Οι σελίδες των αποτελεσμάτων παρέχουν ακριβείς και εύκολες στην κατανόηση πληροφορίες, σχετικά με την ενεργειακή μελέτη, την εκτιμώμενη κατανάλωση ενέργειας, τις ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, τις υποθέσεις, τα φορτία θέρμανσης και ψύξης, την δυνατότητα παραγωγής ενέργειας μέσω ΑΠΕ και το κόστος. (Βαρδάκη, 2018). Αυτά τα αποτελέσματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη σύγκριση του κόστους ενέργειας πολλών σεναρίων σχεδιασμού του κτιρίου.

#### 2.4.1.1 Αποτελέσματα ενεργειακής ανάλυσης και ανάλυσης άνθρακα

Επιλέγοντας ένα αρχείο, από την αρχική σελίδα, ανοίγει ένα νέο παράθυρο, όπου παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης.



Εικόνα 52. Αποτελέσματα προσομοίωσης στο Green Building Studio

Στις γενικές πληροφορίες στην κορυφή της σελίδας περιγράφεται το σενάριο του έργου, ο τύπος του κτηρίου, η γεωγραφική θέση και η επιφάνεια δαπέδου.

#### 2.4.1.2 Εκτιμώμενη συνολική ενέργεια και κόστος-Energy, Carbon and Cost Summary

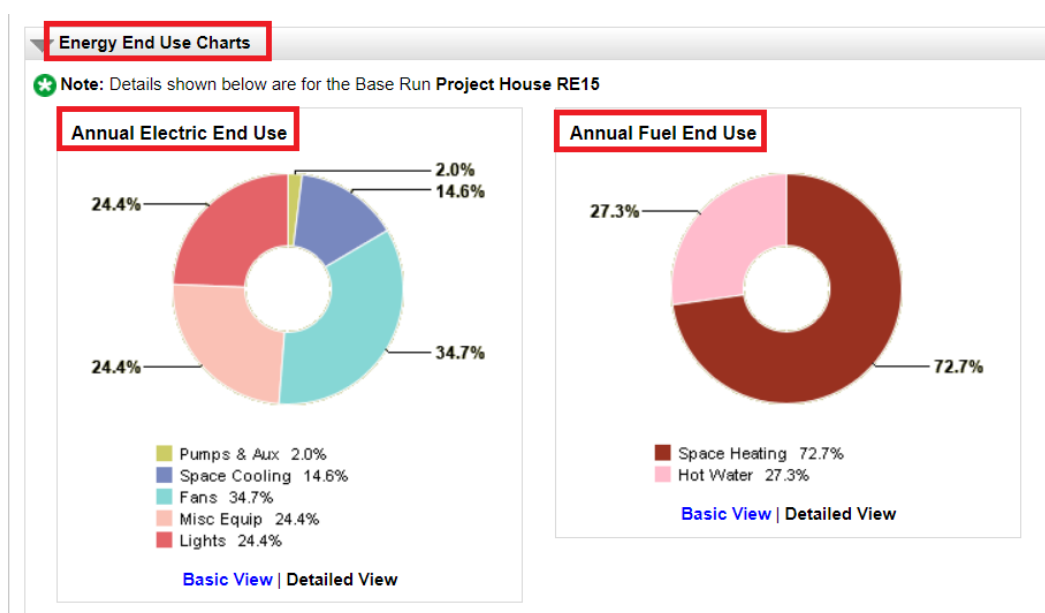
Οι περισσότερες συγκρίσεις ενεργειακής κατανάλωσης και μπορούν να γίνουν χρησιμοποιώντας ετήσια δεδομένα. Τα έξοδα υπολογίζονται χρησιμοποιώντας είτε τις προκαθορισμένες τιμές του λογισμικού είτε καθορίζονται προσαρμοσμένες τιμές από το χρήστη.

Το λογισμικό παρέχει εκτιμήσεις για τα παρακάτω μεγέθη:

- Ετήσιο ενέργεια κόστος.
- Κόστος ενέργειας ανά κύκλο ζωής (30 έτη).
- Ετήσια κατανάλωση ενέργειας (ηλεκτρική και αέριο).
- Μέγιστη ηλεκτρική ζήτηση (kW).
- Κατανάλωση ενέργειας ανά κύκλο ζωής (ηλεκτρική και αέριο).
- Οι εκπομπές CO<sub>2</sub> βασίζονται στη χρήση καυσίμων στο εν λόγω κτήριο και στις πηγές καυσίμων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην περιοχή.

#### 2.4.1.3 Γραφήματα τελικής ενεργειακής χρήσης-Energy End Use Charts

Επιπλέον πληροφορίες της εκτιμώμενης κατανάλωσης ενέργειας για κύριες χρήσεις, όπως π.χ. φωτισμός, συστήματα HVAC και θέρμανσης χώρων παρέχονται σε γραφήματα.



Εικόνα 53. Αποτελέσματα προσομοίωσης στο Green Building Studio

#### 2.4.1.4 Αποτύπωμα του διοξειδίου του άνθρακα-Carbon Footprint

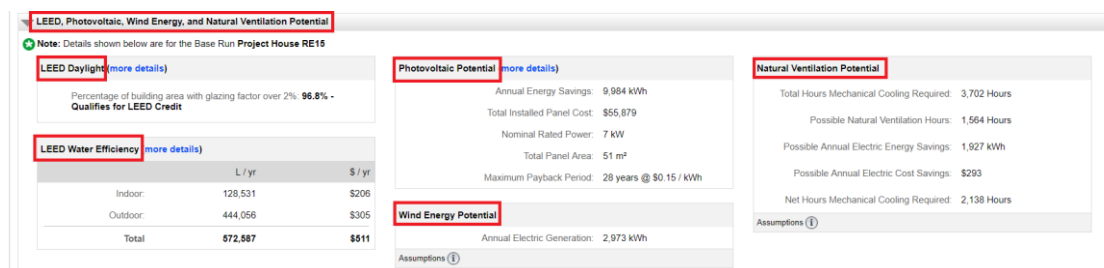
Εκτός από τη κατανάλωση ενέργειας και το κόστος, η υπηρεσία web παρέχει τις πρόσθετες πληροφορίες που απαιτούνται για να βοηθήσουν στο σχεδιασμό ενός κτηρίου μηδενικής παραγωγής άνθρακα.

#### 2.4.1.5 Χρήση και Κόστος Νερού Water Usage and Cost

Παρουσιάζεται μια σύνοψη της εκτιμώμενης χρήσης του νερού στο κτήριο, βάσει του αριθμού των ανθρώπων που το χρησιμοποιούν καθώς και τον τύπο του κτηρίου.

#### 2.4.1.6 Φωτοβολταϊκό δυναμικό-Photovoltaic Potential

Το λογισμικό αναλύει αυτόματα κάθε εξωτερική επιφάνεια του κτηρίου, συμπεριλαμβανομένων των οροφών, των τοίχων και των παραθύρων, για την εκτιμώμενη δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιώντας φωτοβολταϊκά. Κατά την ανάλυση γίνεται η υπόθεση ότι τα φωτοβολταϊκά μπορούν να εγκατασταθούν σε κάθετες και οριζόντιες επιφάνειες, στις οποίες προσπίπτουν σημαντικά ποσά ηλιακής ενέργειας.



Εικόνα 54. Αποτελέσματα προσομοίωσης στο Green Building Studio

#### 2.4.1.7 Αιολικό δυναμικό-Wind Energy Potential

Παρέχει πληροφορίες για την εκτιμώμενη ετήσια ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να παραχθεί από μία ανεμογεννήτρια, διαμέτρου 4,572 μέτρων (15 foot-diameter).

#### 2.4.1.8 Φυσικό δυναμικό εξαερισμού-Natural Ventilation Potential

Το εργαλείο αυτό προσεγγίζει τις ετήσιες ώρες λειτουργίας και την ενέργεια που απαιτείται για την ψύξη και τον αερισμό του κτηρίου. Εκτιμά επίσης, τον ετήσιο αριθμό ωρών, κατά τις οποίες ο εξωτερικός αέρας θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τον φυσικό αερισμό του κτηρίου.



#### 2.4.1.9 Βαθμολογία υαλοπινάκων-LEED Glazing Score

Η βαθμολογία υαλοπινάκων LEED είναι το ποσοστό της επιφάνειας δαπέδου που έχει παράγοντα υαλοπίνακα μεγαλύτερο από 0,02. Η βαθμολογία πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 75 τοις εκατό για να βαθμολογήσει τα σημεία LEED και να επωφεληθεί πλήρως από τους ελέγχους της ημέρας σε όλη την έκταση του κτηρίου.

#### 2.4.1.10 Σύνοψη του κτιρίου-Building Summary

Παρέχονται επίσης λεπτομερή στατιστικά στοιχεία, παραδοχές και πληροφορίες για την κατασκευή του κτιρίου. Αυτές οι πληροφορίες βοηθούν τον σχεδιαστή να επιλέξει τον κατάλληλο εξοπλισμό για θέρμανση, ψύξη και θέρμανση νερού, καθώς και τα κατάλληλα υλικά για παράθυρα, τοίχους και δάπεδα.

Note: Details shown below are for the Base Run Project House RE10 Updating your building assumptions

Building Summary - Quick Stats	
Number of People:	1 people
Average Lighting Power Density:	10.76 W / m <sup>2</sup>
Average Equipment Power Density:	10.76 W / m <sup>2</sup>
Specific Fan Flow:	4.2 LPerSec / m <sup>2</sup>
Specific Fan Power:	-2,104,266.140 W / LPerSec
Specific Cooling:	0 m <sup>2</sup> / kW
Specific Heating:	0 m <sup>2</sup> / kW
Total Fan Flow:	380 LPerSec
Total Cooling Capacity:	-234,448 KW
Total Heating Capacity:	234,467 KW

Base Run Construction		
Roofs	R20 over Roof Deck - Cool Roof U-Value: 0.25	72 m <sup>2</sup>
Exterior Walls	R13 Wood Frame Wall, Wood Shingle U-Value: 0.46	183 m <sup>2</sup>
	R15 Wood Frame Wall U-Value: 0.31	33 m <sup>2</sup>
Interior Walls	Uninsulated Interior Wall U-Value: 2.35	85 m <sup>2</sup>
Interior Floors	R0 Wood Frame Carpeted Floor U-Value: 1.16	27 m <sup>2</sup>
Slabs On Grade	Uninsulated concrete slab U-Value: 0.16	63 m <sup>2</sup>
Nonsliding Doors	R2 Default Door (15 doors) U-Value: 2.39	32 m <sup>2</sup>
Operable Windows	North Facing Windows: Double Clear U-SI 3.16, U-IP 0.56, SHGC 0.69, VLT 0.78 (7 windows) U-Value: 3.16 W / (m <sup>2</sup> -K), SHGC: 0.69, Vlt: 0.78	7 m <sup>2</sup>
	Non-North Facing Windows: Double Clear U-SI 3.16, U-IP 0.56, SHGC 0.69, VLT 0.78 (5 windows) U-Value: 3.16 W / (m <sup>2</sup> -K), SHGC: 0.69, Vlt: 0.78	5 m <sup>2</sup>

> 3D VRML View

Base Run Hydronic Equipment		Note: this information should not be used for sizing purposes.
Domestic Hot Water	Average Demand	454

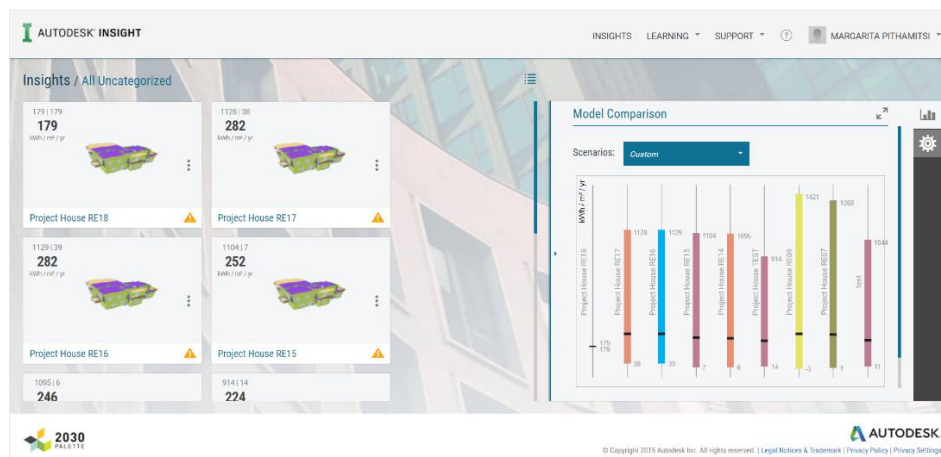
Base Run Air Equipment		Note: this information should not be used for sizing purposes.
Packaged Single Zone	Supply Fan Flow	40 LPerSec
	Annual Supply Fan Run Time	8,760 Hours
	Cooling Capacity	-29,306
	Heating Capacity	29,308
Packaged Single Zone	Supply Fan Flow	60 LPerSec
	Annual Supply Fan Run Time	8,760 Hours
	Cooling Capacity	-58,613

Εικόνα 55. Αποτελέσματα προσομοίωσης στο Green Building Studio

## 2.5 Insight

Η Autodesk κυκλοφόρησε πρόσφατα ένα νέο εργαλείο το οποίο υποστηρίζεται από την έκδοση του Revit 2016 και ύστερα. Μέσω αυτού δίνεται η δυνατότητα σε αρχιτέκτονες και μηχανικούς να σχεδιάζουν ενεργειακώς πιο αποδοτικά κτήρια με προηγμένες μηχανές προσομοίωσης και δεδομένα κτηρίων που είναι ενσωματωμένα στο Revit. Αυτό συμβαίνει γιατί μέσα από το Insight ο χρήστης έχει πρόσβαση σε διαγράμματα στα οποία οι

προσομοιώσεις είναι πλήρως οπτικοποιημένες και με πολύ εύκολους και γρήγορους χειρισμούς μπορεί να δημιουργήσει εναλλακτικά σενάρια.



Εικόνα 56. Παρουσίαση έργων στο Insight

### 2.5.1 Χαρακτηριστικά του Insight

**Καλύτερη απόδοση κτηρίου:** Το Insight προσφέρει άμεση, εξελικτική γνώση της ενεργειακής και περιβαλλοντικής βελτιστοποίησης, από το σχεδιασμό έως τη λειτουργία.

**Feedback σε πραγματικό χρόνο:** Μέσω του Insight οπτικοποιούνται βασικοί δείκτες απόδοσης, σημεία αναφοράς, παράγοντες και προδιαγραφές, όπου μπορούν εύκολα να μεταβληθούν, ώστε ο χρήστης να λαμβάνει καλύτερες αποφάσεις σχεδίασης.

**Ανάλυση ημέρας:** Δίνεται η δυνατότητα προσομοίωσης, υπολογισμού και οπτικοποίησης των βασικών μετρήσεων φωτισμού ημέρας, όπως η ετήσια έκθεση στο ηλιακό φως.

**Συνολική ενέργεια του κτηρίου:** Γίνεται καταγραφή ολόκληρου του κτηρίου και των αλληλεπιδράσεων του συστήματος με πλήρη δυναμική προσομοίωση της θερμικής ενέργειας, χρησιμοποιώντας το DOE 2.2 και το EnergyPlus. (Autodesk, 2019)

**Ηλιακή ακτινοβολία και σκίαση:** Υπολογίζεται η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία ανά επιφάνεια κτηρίου, το ηλιακό δυναμικό και την περίοδο απόσβεσης χρημάτων.

**Θέρμανση και ψύξη:** Υπολογίζονται τα μέγιστα φορτία θέρμανσης και ψύξης τόσο ανά χώρο όσο και συνολικά, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του ισοζυγίου θερμότητας EnergyPlus. (Autodesk, 2019)





*Εικόνα 57. Περιβάλλον εργασίας του Insight*

### 3. Ενεργειακή μελέτη υφιστάμενου κτηρίου

Το κτήριο που μελετάται σε αυτή την εργασία είναι μια διώροφη μονοκατοικία, η οποία βρίσκεται στην ευρύτερη περιοχή των Μαλιών, στον νομό Ηρακλείου.

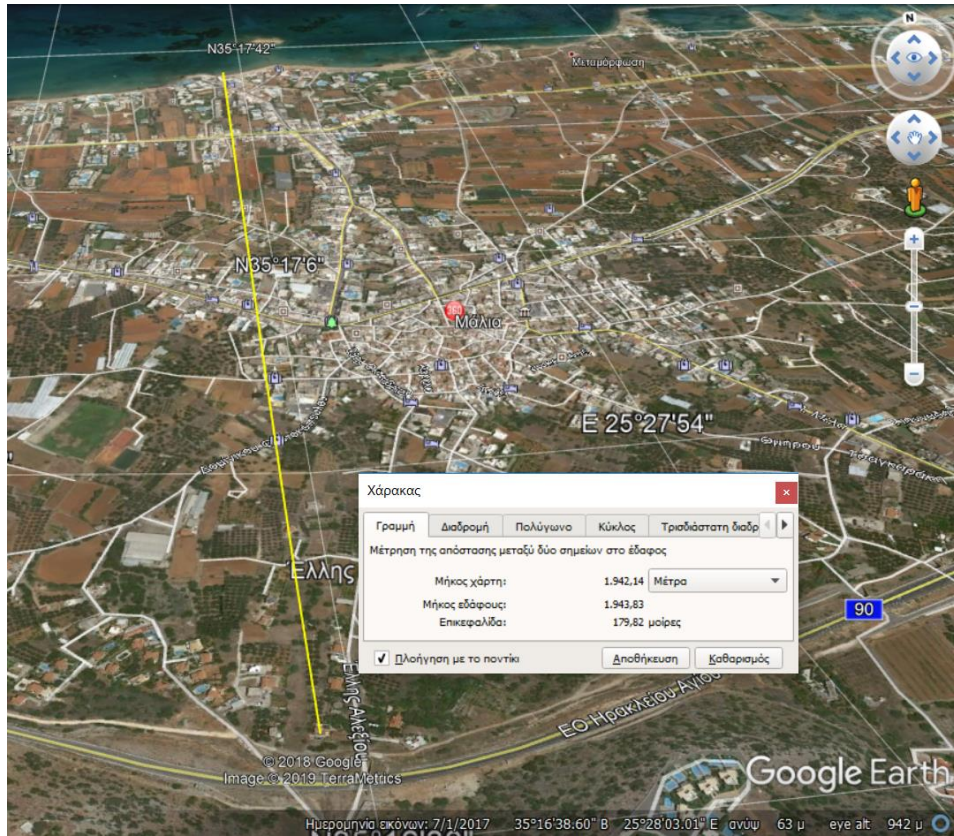
#### 3.1 Τοποθεσία κτηρίου

Το κτήριο βρίσκεται στην οδό Έλλης Αλεξίου 62, με γεωγραφικές συντεταγμένες  $35^{\circ}16'34.16\text{B}$ ,  $25^{\circ}27'34.58\text{E}$  και υψόμετρο 81 μέτρα. Η απόστασή του από τη θάλασσα είναι περίπου 2 χιλιόμετρα, ενώ ο προσανατολισμός του είναι 15 μοίρες βόρεια βορειοανατολικά.

Η κατασκευή του κτηρίου ολοκληρώθηκε το έτος 1994 και έχει εμβαδό  $137,5 \text{ m}^2$ . Το δάπεδο βρίσκεται σε επαφή με το έδαφος.



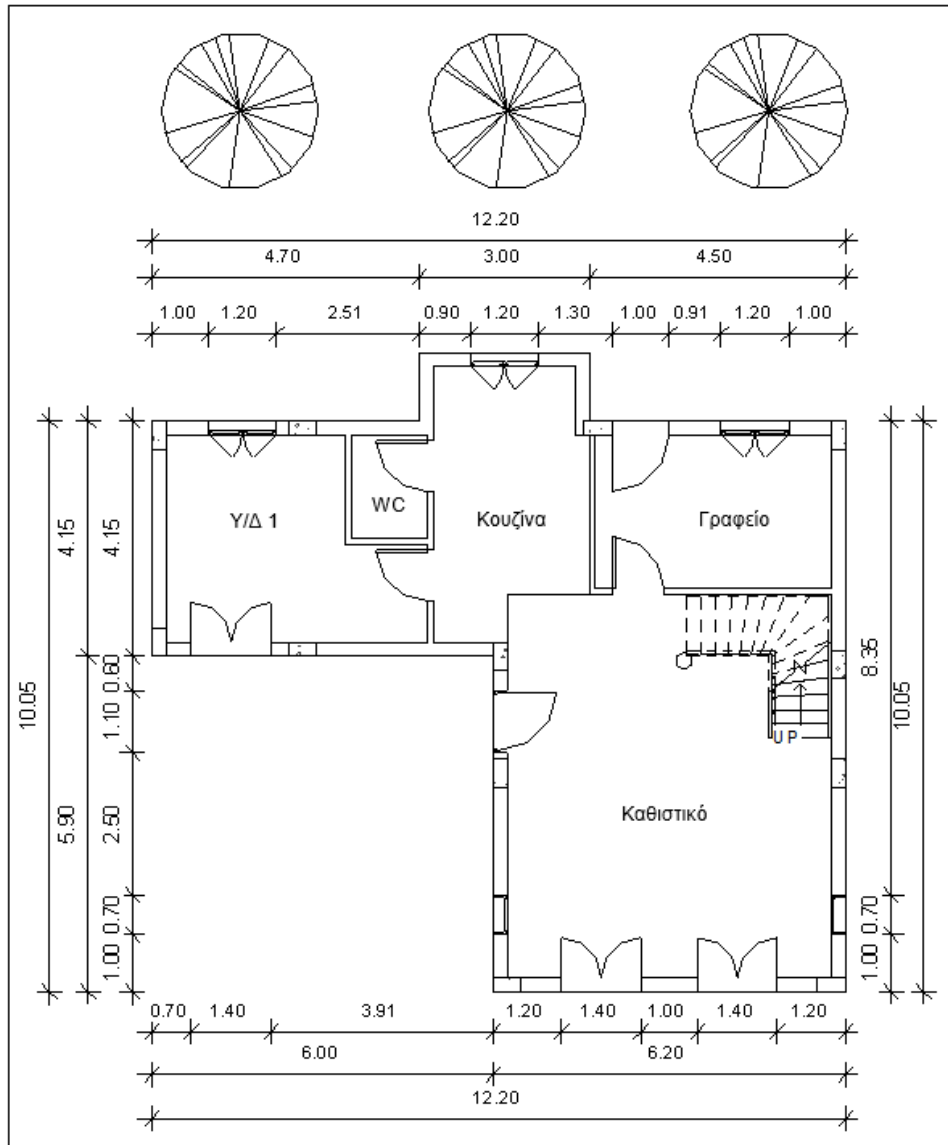
*Εικόνα 58. Αεροφωτογραφία του κτηρίου από το Google Earth και γεωγραφικές συντεταγμένες*



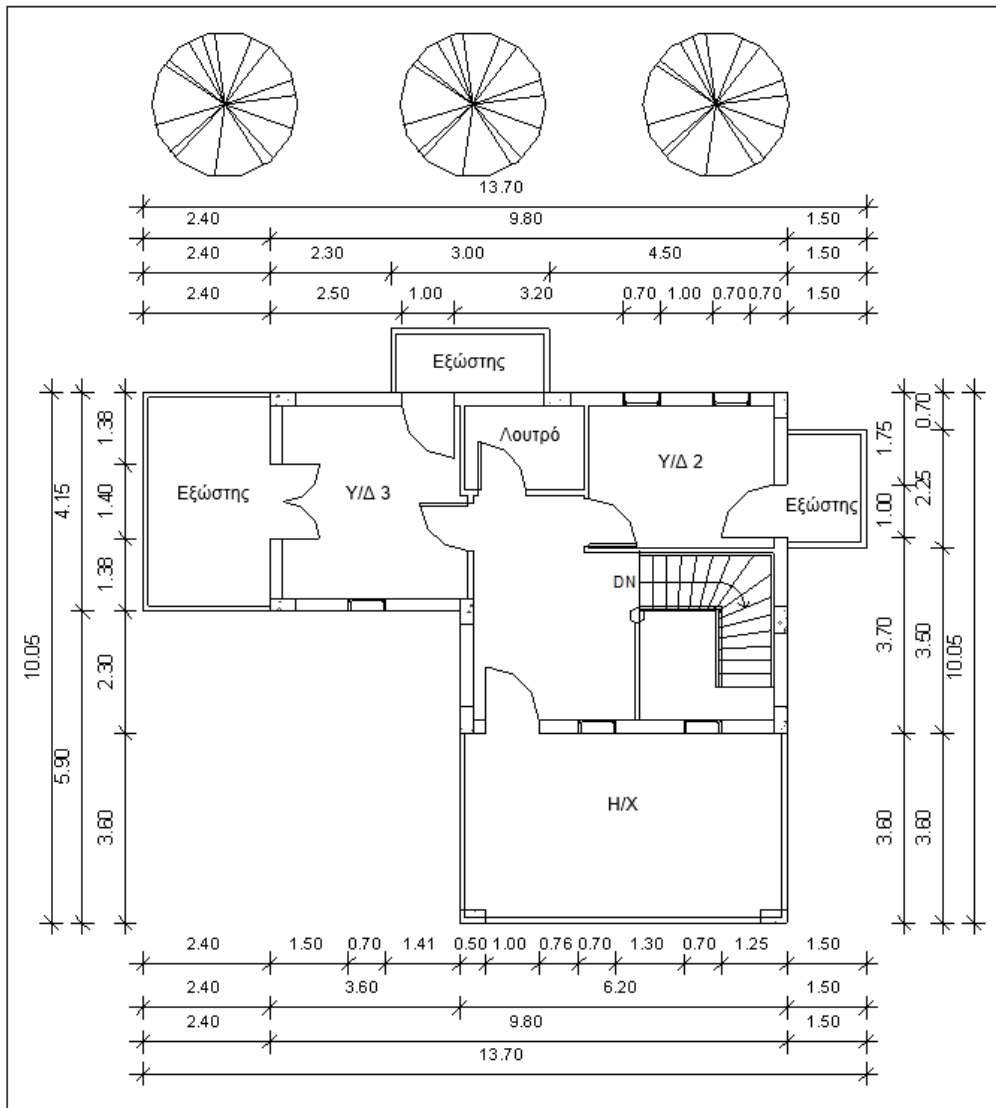
Εικόνα 59. Αεροφωτογραφία του κτηρίου από το Google Earth και απόσταση από την θάλασσα

### 3.2 Σχέδια του κτηρίου

#### 3.2.1 Κατόψεις ισογείου και πρώτου ορόφου του κτηρίου

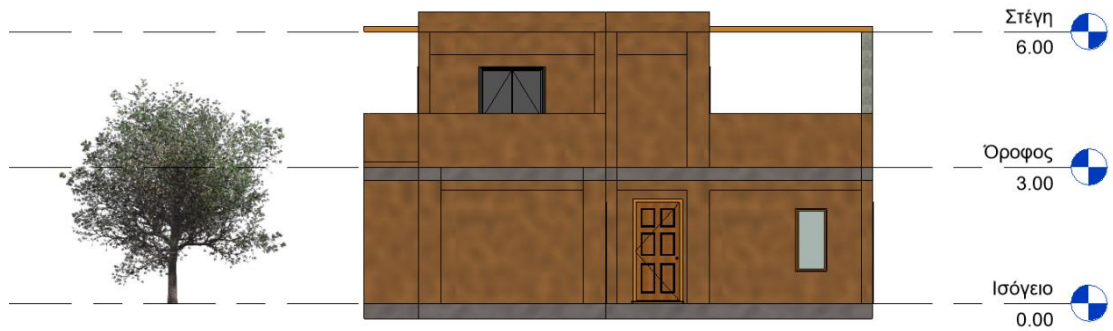


Εικόνα 60.Κάτοψη Ισογείου

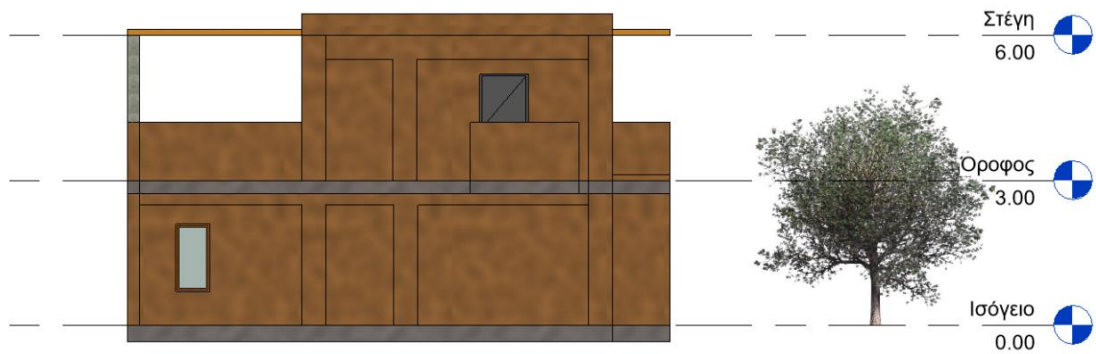


Εικόνα 61. Κάτοψη Πρώτου Ορόφου

### 3.2.2 Όψεις του κτηρίου



Εικόνα 62. Αριστερή πλάγια όψη



Εικόνα 63. Δεξιά πλάγια όψη



Εικόνα 64. Πρόσοψη





*Εικόνα 65. Πίσω όψη*

### 3.2.3 Τρισδιάστατες απεικονίσεις του κτηρίου



*Εικόνα 66. 3D αναπαράσταση κτηρίου*



Εικόνα 67. 3D αναπαράσταση κτηρίου

### 3.3 Χαρακτηριστικά κτηρίου

Οι συντελεστές θερμοπερατότητας των επιμέρους δομικών στοιχείων του κτηρίου, όπως αυτοί έχουν καταγραφεί στη μελέτη θερμομόνωσης δίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 9. Συντελεστές Θερμοπερατότητας

Στοιχείο	Συντελεστής Θερμοπερατότητας U (W/m <sup>2</sup> K)
Φέροντας Οργανισμός	2,9515
Τοιχοποιία	0,5056
Πάτωμα	0,6142
Οροφή	0,4587
Παράθυρα/ Μπαλκονόπορτες	5,2300
Πόρτα εισόδου	3,7021

Στην συνέχεια παρατίθενται 4 πίνακες, οι οποίοι περιλαμβάνουν όλες τις πληροφορίες για τα δομικά στοιχεία του κελύφους. Οι πληροφορίες για τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για το κάθε δομικό στοιχείο πάρθηκαν από την μελέτη θερμομόνωσης. Συγκεκριμένα, για το κάθε ένα υλικό αναφέρεται το πάχος του, η πυκνότητά του καθώς και ο συντελεστής

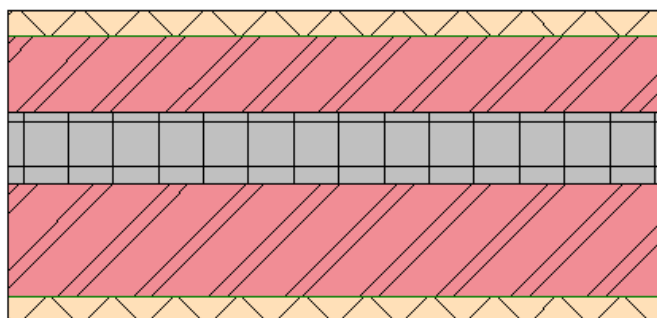


θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda$ . Επιπλέον, οι τιμές για τις αντιστάσεις θερμικής μετάβασης  $R_i$  και  $R_a$  αντλήθηκαν από τον πίνακα 3β της ΤΟΤΕΕ-20701-2/2010, σελίδα 54. (ΤΟΤΕΕ-2, 2010)

Πίνακας 10. Τιμές των αντιστάσεων θερμικής μετάβασης για κάθε δομικό στοιχείο (ΤΟΤΕΕ-2, 2010)

	<b>ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ</b>	<b><math>R_i</math> (εσωτερ.)</b>	<b><math>R_a</math> (εξωτερ.)</b>
<b>ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ</b>	Εξωτερικοί τοίχοι και παράθυρα (προς εξωτ. αέρα)	0,130	0,040
	Τοίχος που συνορεύει με μη θερμαινόμενο χώρο	0,130	0,130
	Τοίχος σε επαφή με το έδαφος	0,130	0,000
	Στέγες, δώματα (ανερχόμενη ροή θερμότητας)	0,100	0,040
	Οροφή που συνορεύει με μη θερμαινόμενο χώρο	0,100	0,100
	Δάπεδο επάνω από ανοικτή διάβαση (pilotis)	0,170	0,040
	Δάπεδο επάνω από μη θερμαινόμενο χώρο (κατερχόμενη ροή)	0,170	0,170
	Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος	0,170	0,000

### 3.3.1 Τοιχοποιία σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα



Εικόνα 68. Εξωτερική τοιχοποιία

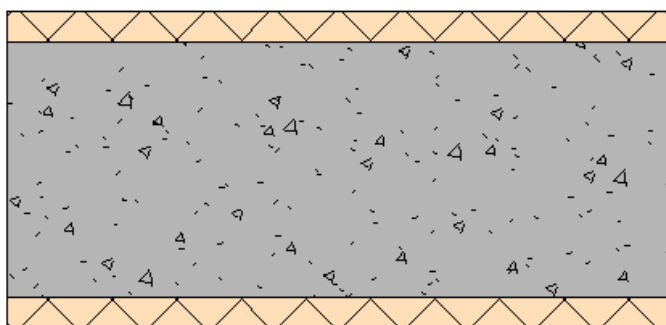
Πίνακας 11. Φύλλον Υπολογισμού Αντίστασης Θερμοδιαφυγής ( $R_{\Lambda}$ ) εξωτερικής τοιχοποιίας

a/a	Στρώσεις δομικού στοιχείου	Πυκνότητα P	Πάχος στρ. d	Συντ. θέρμ. αγ. λ	Θερμ. αντίστ. d/λ
		kg/m <sup>3</sup>	m	W/(mK)	(m <sup>2</sup> K)/W
1	Επίχρισμα (Ασβεστοτσιμεντοκονίαμα)	1900	0,02	0,872	0,023
2	Οπλισμένο σκυρόδεμα (πλάκα)	2400	0,18	2,034	0,089
3	Θερμομονωτικό υλικό		0,06	0,041	1,475
4	Ελαφροσκυρόδεμα κλίσεων	800	0,10	0,349	0,287
5	Στεγάνωση	1050	0,01	0,174	0,057
6	Γαρμπιλωμοσαϊκό	1500	0,07	0,639	0,1095
Σd=			0,44	$R_{\Lambda} =$	2,040

Πίνακας 12. Φύλλο υπολογισμού συντελεστή θερμοπερατότητας εξωτερικής τοιχοποιίας

Αντίσταση θερμικής μετάβασης (εσωτερικά)	$R_i$	(m <sup>2</sup> K)/W	0,100
Αντίσταση θερμοδιαφυγής	$R$	(m <sup>2</sup> K)/W	2,040
Αντίσταση θερμικής μετάβασης (εξωτερικά)	$R_a$	(m <sup>2</sup> K)/W	0,040
Αντίσταση θερμοπερατότητας	$R_{o\lambda}$	(m <sup>2</sup> K)/W	2,180
Συντελεστής θερμοπερατότητας	$U$	W/(m <sup>2</sup> K)	0,4587

#### 4.3.2 Φέροντας Οργανισμός



Εικόνα 69. Φέροντας οργανισμός

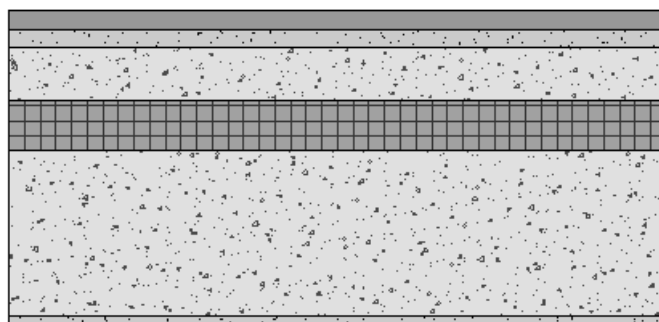
Πίνακας 13. Φύλλου Υπολογισμού Αντίστασης Θερμοδιαφυγής ( $R_L$ ) φέροντα οργανισμού

a/a	Στρώσεις δομικού στοιχείου	Ποκνότητα P	Πάχος στρ. d	Συντ. θέρμ. αγωγιμ. λ	Θερμ. αντίστ. d/λ
		kg/m <sup>3</sup>	m	W/(mK)	(m <sup>2</sup> K)/W
1	Επίχρισμα (Ασβεστοτσιμεντοκονίαμα)	1900	0,025	0,872	0,029
2	Οπλισμένο σκυρόδεμα	2400	0,200	2,034	0,098
3	Επίχρισμα (Ασβεστοτσιμεντοκονίαμα)	1900	0,025	0,872	0,029
Σd=			0,25	R <sub>L</sub> =	0,156

Πίνακας 14. Φύλλο υπολογισμού συντελεστή θερμοπερατότητας φέροντα οργανισμού

Αντίσταση θερμικής μετάβασης (εσωτερικά)	<b>R<sub>i</sub></b>	(m <sup>2</sup> K)/W	0,130
Αντίσταση θερμοδιαφυγής	<b>R</b>	(m <sup>2</sup> K)/W	0,156
Αντίσταση θερμικής μετάβασης (εξωτερικά)	<b>R<sub>a</sub></b>	(m <sup>2</sup> K)/W	0,040
Αντίσταση θερμοπερατότητας	<b>R<sub>ολ</sub></b>	(m <sup>2</sup> K)/W	0,326
Συντελεστής θερμοπερατότητας	<b>U</b>	W/(m <sup>2</sup> K)	3,0704

### 3.3.3 Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος



Εικόνα 70. Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος

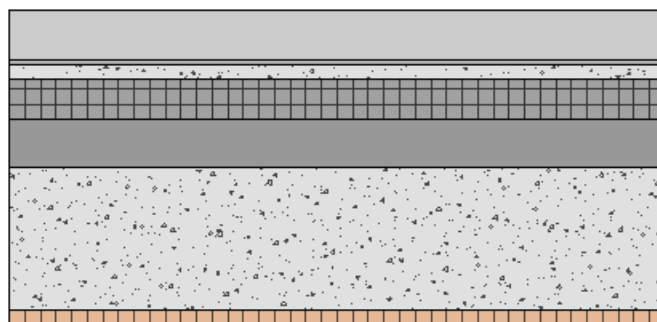
Πίνακας 15. Φύλλον Υπολογισμού Αντίστασης Θερμοδιαφυγής ( $R_{\Lambda}$ ) δαπέδου σε επαφή με το έδαφος

a/a	Στρώσεις δομικού στοιχείου	Πυκνότητα P	Πάχος στρ. d	Συντ.θερμ.Αγ. λ	Θερμ. αντ. d/λ
		kg/m <sup>3</sup>	m	W/(mK)	(m <sup>2</sup> K)/W
1	Μάρμαρο		0,020	3,487	0,006
2	Ασβεστοκονίαμα		0,020	0,872	0,023
3	Ελαφροσκυρόδεμα		0,060	1,104	0,054
4	Θερμομονωτικό υλικό		0,050	0,041	1,229
5	Στεγάνωση	1050	0,010	0,174	0,057
6	Οπλισμένο σκυρόδεμα (πλάκα)	2400	0,18	2,034	0,089
		Σd=	0,34	$R_{\Lambda}$ =	1,458

Πίνακας 16. Φύλλο υπολογισμού συντελεστή θερμοπερατότητας δαπέδου σε επαφή με το έδαφος

Αντίσταση θερμικής μετάβασης (εσωτερικά)	$R_1$	(m <sup>2</sup> K)/W	0,170
Αντίσταση θερμοδιαφυγής	$R$	(m <sup>2</sup> K)/W	1,458
Αντίσταση θερμικής μετάβασης (εξωτερικά)	$R_a$	(m <sup>2</sup> K)/W	0,000
Αντίσταση θερμοπερατότητας	$R_{ολ}$	(m <sup>2</sup> K)/W	1,628
Συντελεστής θερμοπερατότητας	$U$	W/(m <sup>2</sup> K)	0,6142

### 3.3.4 Οροφή



Εικόνα 71. Οροφή

Πίνακας 17. Φύλλου Υπολογισμού Αντίστασης Θερμοδιαφυγής ( $R_A$ ) οροφής

a/a	Στρώσεις δομικού στοιχείου	Πυκνότητα P	Πάχος στρ. d	Συντ. θερμ. αγ. λ	Θερμ. αντίστ. d/λ
		kg/m <sup>3</sup>	m	W/(mK)	(m <sup>2</sup> K)/W
1	Επίχρισμα (Ασβεστοτσιμεντοκονίαμα)	1900	0,02	0,872	0,023
2	Οπλισμένο σκυρόδεμα (πλάκα)	2400	0,18	2,034	0,089
3	Θερμομονωτικό υλικό		0,06	0,041	1,475
4	Ελαφροσκυρόδεμα κλίσεων	800	0,10	0,349	0,287
5	Στεγάνωση	1050	0,01	0,174	0,057
6	Γαρμπιλομωσαϊκό	1500	0,07	0,639	0,1095
		Σd=	0,44	R <sub>Λ</sub> =	2,040

Πίνακας 18. Φύλλο υπολογισμού συντελεστή θερμοπερατότητας οροφής

Αντίσταση θερμικής μετάβασης (εσωτερικά)	<b>R<sub>1</sub></b>	(m <sup>2</sup> K)/W	0,100
Αντίσταση θερμοδιαφυγής	<b>R</b>	(m <sup>2</sup> K)/W	2,040
Αντίσταση θερμικής μετάβασης (εξωτερικά)	<b>R<sub>a</sub></b>	(m <sup>2</sup> K)/W	0,040
Αντίσταση θερμοπερατότητας	<b>R<sub>ολ</sub></b>	(m <sup>2</sup> K)/W	2,180
Συντελεστής θερμοπερατότητας	<b>U</b>	W/(m <sup>2</sup> K)	0,6142

### 3.3.5 Τύποι υπολογισμών

Οι τύποι που χρησιμοποιήθηκαν για τους υπολογισμούς των συντελεστών θερμοπερατότητας είναι οι εξής:

- Αντίσταση που προβάλλει μια ομογενής στρώση ενός δομικού στοιχείου στη ροή θερμότητας:

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad [m^2K/W]$$

Όπου:  $d$  [m] πάχος στρώσης

$\lambda$  [W/(mK)] συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού της στρώσης

- Αντίσταση θερμοδιαφυγής

$$R_A = \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} = \sum_j R_j \quad [m^2K/W]$$

- Συνολική θερμική αντίσταση πολυστρωματικού δομικού στοιχείου

$$R_{o\lambda} = R_i + R_A + R_a \quad [m^2K/W]$$

Όπου:  $R_i$  [ $m^2K/W$ ] αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση της θερμότητας από τον εσωτερικό χώρο προς το δομικό στοιχείο.

$R_a$  [ $m^2K/W$ ] αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση της θερμότητας από το δομικό στοιχείο προς το εξωτερικό περιβάλλον.

- Συντελεστής θερμοπερατότητας ενός δομικού στοιχείου:

$$U = \frac{1}{R_{o\lambda}} \quad [W/(m^2K)] \quad (\text{TOTEE-2, 2010})$$

### 3.4 Συνθήκες Λειτουργίας του κτηρίου

Οι συνθήκες λειτουργίας ενός κτηρίου εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τα άτομα τα οποία διαμένουν σε αυτό. Ο μελετητής/μηχανικός είναι δύσκολο να έχει λεπτομερή γνώση αυτών των συνθηκών (εκτός αν χρησιμοποιεί εργαλεία παρακολούθησης της κατανάλωσης της ενέργειας, που προφανώς δεν συνηθίζεται). Για αυτό το λόγο έχουν καθοριστεί πρότυπες συνθήκες λειτουργίας, σε εθνικό επίπεδο από τον KENAK, ανάλογα με το είδος του κτηρίου και την περιοχή στην οποία βρίσκεται. Όμως το Revit χρησιμοποιεί άλλα πρότυπα (πρότυπα ASHRAE), ορίζοντας κάποιες συνθήκες, οι οποίες δεν είναι πάντα εφικτό να αλλαχθούν.

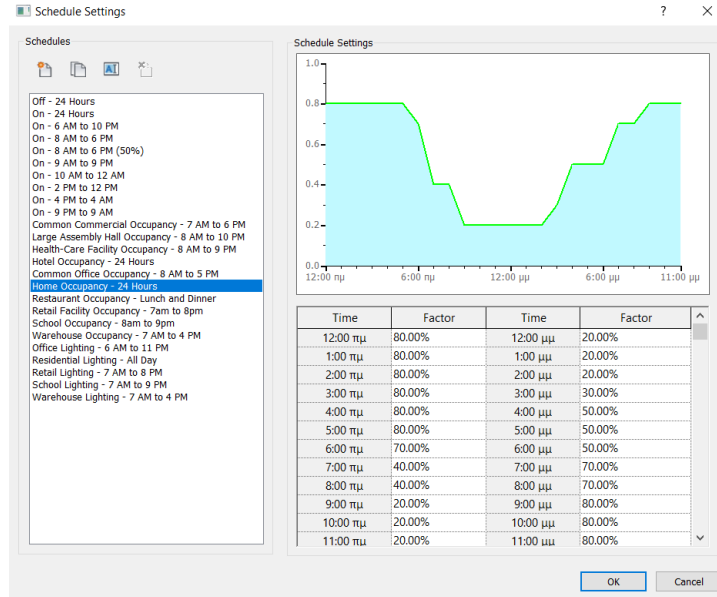
Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω ορίστηκαν οι συνθήκες λειτουργίας του κτηρίου. Κάποιες τιμές επιλέχθηκαν με βάση τον KENAK και άλλες κατά εκτίμηση.

Υπενθυμίζεται ότι στο λογισμικό, ο τύπος του κτηρίου είναι δηλωμένος ως single family.

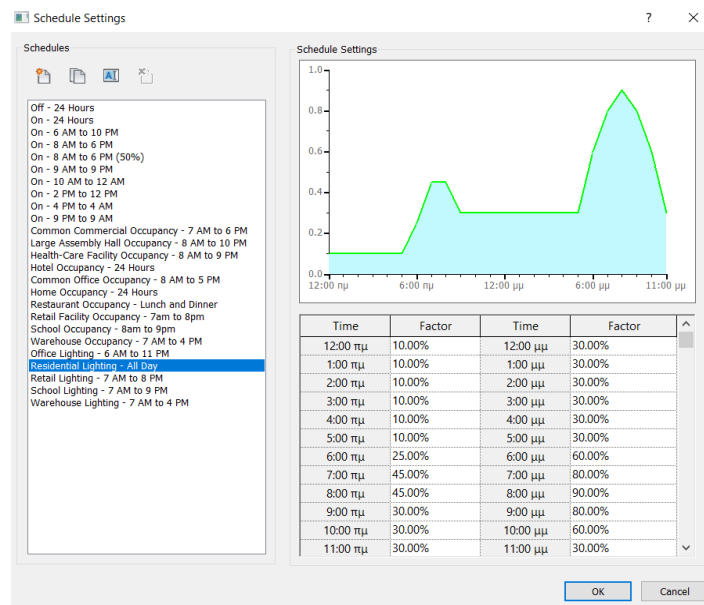
- Επιφάνεια δαπέδου ανά άτομο: 20  $m^2$  (σύμφωνα με τον KENAK).

Εικόνα 72. Ορισμός επιφάνειας δαπέδου ανά άτομο

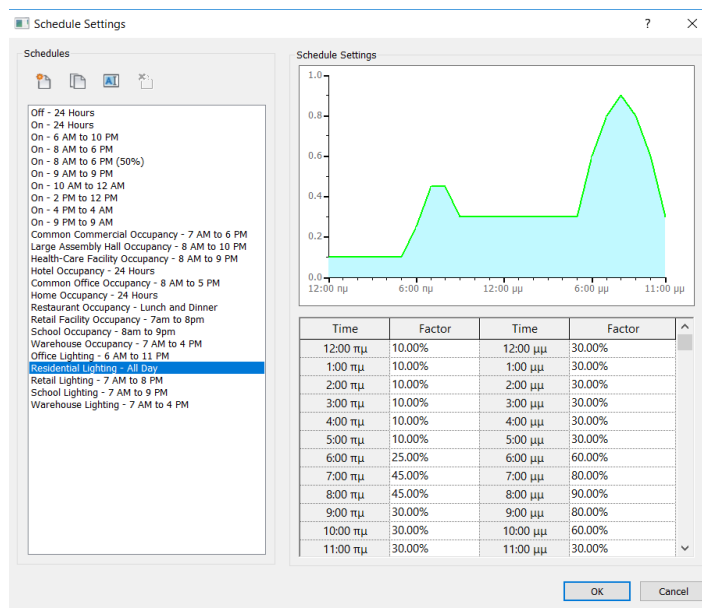
- ii. Ωράριο χρήσης και λειτουργίας: 24 ώρες ημερησίως, 7 ημέρες εβδομαδιαίως. Σύμφωνα με τον ΚΕΝΑΚ το ωράριο χρήσης και λειτουργίας ορίζεται ως 18/7, όμως το λογισμικό δεν προσφέρει τέτοια επιλογή. Έτσι επιλέχθηκε το 24/7 με ελάττωση κάποιων ποσοστών χρήσης στο Schedule Settings.



Εικόνα 73. Χρονοδιάγραμμα οικιακής χρήσης Occupancy Schedule



Εικόνα 74. Χρονοδιάγραμμα λειτουργίας φωτισμού Lighting Schedule



Εικόνα 75. Χρονοδιάγραμμα λειτουργίας εξοπλισμού Power Schedule

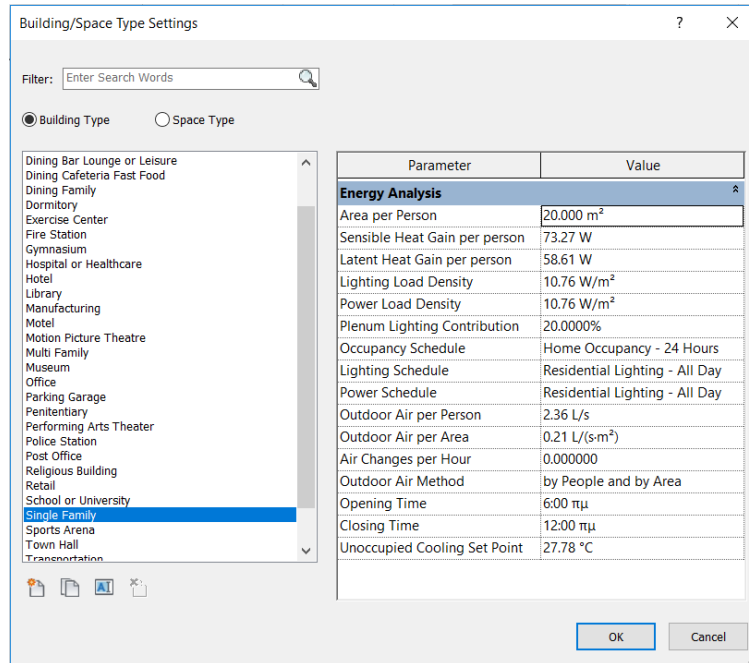
iii. Θερμοκρασία και σχετική υγρασία εσωτερικών χώρων (σύμφωνα με KENAK)

Πίνακας 19. Τιμές θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας στους εσωτερικούς χώρους

Θερμοκρασία (°C)		Σχετική Υγρασία(%)	
Χειμερινή Περίοδος	Θερινή Περίοδος	Χειμερινή Περίοδος	Θερινή Περίοδος
20	26	40	45

- iv. Εγκατεστημένη ισχύς φωτισμού:  $10,76 \text{ W/m}^2$  (χρησιμοποιήθηκε η προεπιλεγμένη τιμή του λογισμικού)
- v. Ισχύς εξοπλισμού:  
 Αισθητό κέρδος θερμότητας:  $73,27 \text{ W/m}^2$   
 Λανθάνον κέρδος θερμότητας:  $58,61 \text{ W/m}^2$   
 (χρησιμοποιήθηκε η προεπιλεγμένη τιμή του λογισμικού)
- vi. Πυκνότητα ισχύος από εξοπλισμό:  $10,76 \text{ W/m}^2$  (χρησιμοποιήθηκε η προεπιλεγμένη τιμή του λογισμικού)



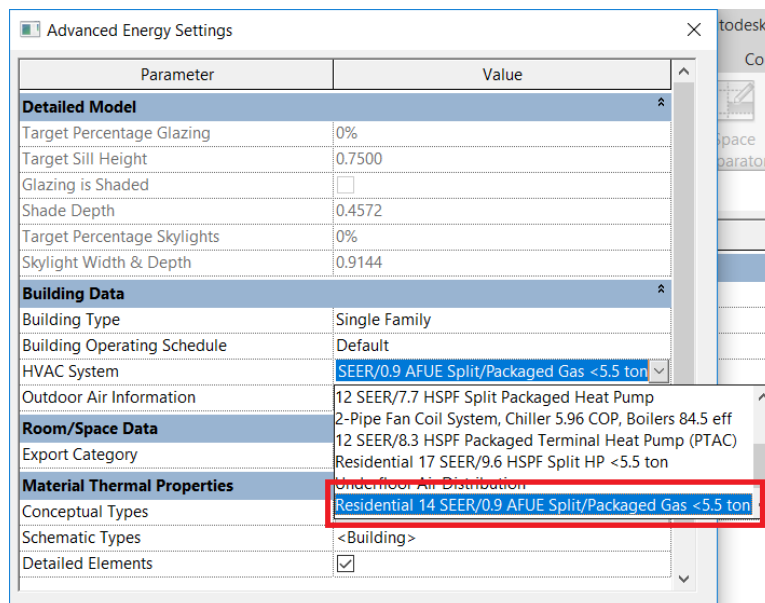


Εικόνα 76. Παράμετροι λειτουργίας κτηρίου

### 3.5 Σύστημα HVAC

Το σύστημα θέρμανσης, ψύξης, εξαερισμού, παραγωγής ζεστού νερού χρήσης που επιλέχθηκε από το λογισμικό είναι το εξής:

Residential 14 SEER/0.9 AFUE Split/Packaged Gas <5.5 ton



Εικόνα 77. Επιλογή συστήματος HVAC

Ακολουθούν τα χαρακτηριστικά του συστήματος, όπως παρουσιάζονται στη σελίδα της Autodesk. (Autodesk, 2012)

- Efficient 14 SEER/90% AFUE furnace <5.5-ton split/package system with gas heat
- Residential constant volume cycling fan
- 2.0 inch of water gauge (498 pascals) static pressure Constant Volume duct system
- Domestic hot water unit (0.575 Energy Factor)

Σύμφωνα με τα παραπάνω, το συγκεκριμένο σύστημα χρησιμοποιεί αερολέβητα με βαθμό απόδοσης 90%. Η παροχή αέρα γίνεται με ανεμιστήρα. Όσον αφορά την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης (ZNX), ο Energy Factor που αναφέρεται είναι ένας παλιός δείκτης αποδοτικότητας των συσκευών θέρμανσης, που χρησιμοποιείται στις Η.Π.Α. και ο οποίος πλέον έχει αντικατασταθεί από τον Uniform EF (UEF). (Βαρδάκη, 2018)

Στις επιλογές που αφορούν τα συστήματα HVAC στο Revit, εμφανίζονται συστήματα που χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο στις Η.Π.Α. Δεν υπάρχουν επιλογές που να αφορούν λέβητα πετρελαίου, ηλιακό θερμοσίφωνα ή κλιματιστικό, που είναι πολύ διαδεδομένα στην Ελλάδα. Επομένως, η επιλογή του συγκεκριμένου συστήματος HVAC έγινε σχετικά αυθαίρετα, προσπαθώντας να βρεθεί ένα σύστημα που να μοιάζει με σύστημα λέβητα πετρελαίου.

### 3.6 Ορισμός χώρων και θερμικών ζωνών

Κάθε δωμάτιο στο Revit ορίζεται ως ξεχωριστός χώρος (Space), στον οποίο ορίζονται εκ νέου οι συνθήκες λειτουργίας. Οι συνθήκες λειτουργίας που ορίστηκαν για τον κάθε χώρο είναι αυτές της ενότητας 3.4. Κάθε χώρος εμφανίζεται με διαφορετικό χρώμα.



Εικόνα 78. Ορισμός χώρων ισογείου



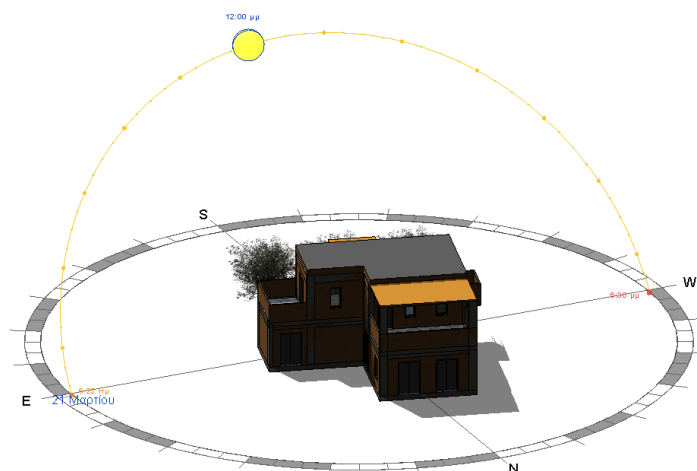
Εικόνα 79. Ορισμός χώρων ορόφου

Επίσης, επιλέγοντας ομάδες χώρων φτιάχνονται οι ζώνες (Zones). Στο κτήριο της εργασίας εντάχθηκαν στην ίδια ζώνη, με τις συνθήκες λειτουργίας που αναφέρονται στην ενότητα 3.4.

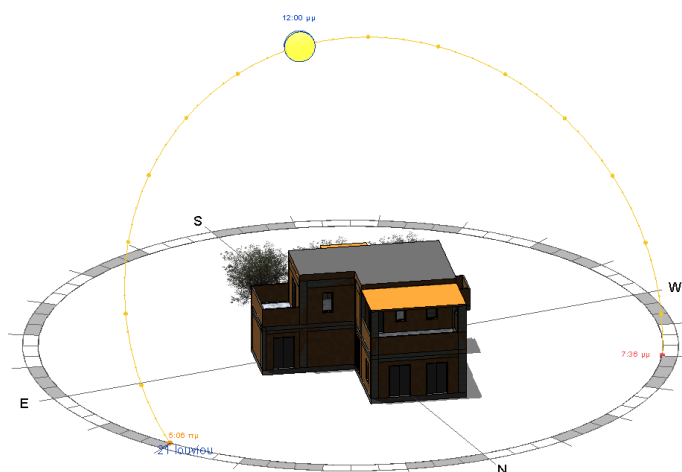
### 3.7 Ηλιασμός του κτηρίου

Το λογισμικό Revit δίνει τη δυνατότητα οπτικής αναπαράστασης της τροχιάς του Ήλιου (σε χρονικά διαστήματα που ορίζει ο χρήστης) πάνω από το κτήριο. Έτσι ο σχεδιαστής έχει πλήρη εικόνα του σχεδιασμού κτηρίου σε κάθε εποχή και μπορεί να προβεί στις κατάλληλες επεμβάσεις ώστε να πετύχει τις βέλτιστες συνθήκες σκίασης.

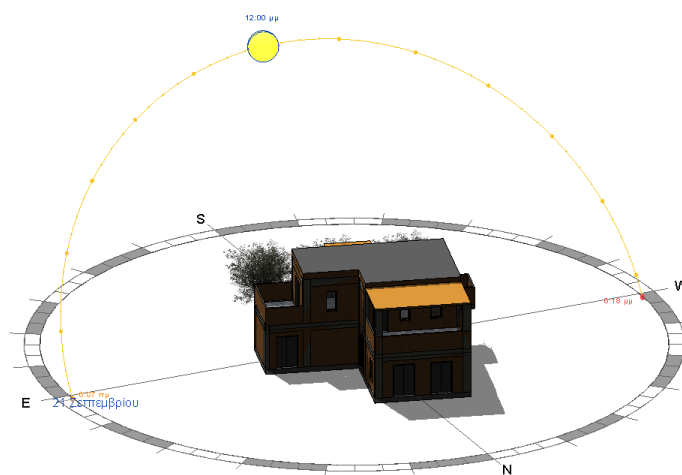
Ακολουθούν απεικονίσεις του κτηρίου στις τέσσερις διαφορετικές εποχές. Επιλέχθηκε να παρουσιαστεί ο ηλιασμός κατά τις ισημερίες και τα ηλιοστάσια και ώρα 12.00 το μεσημέρι.



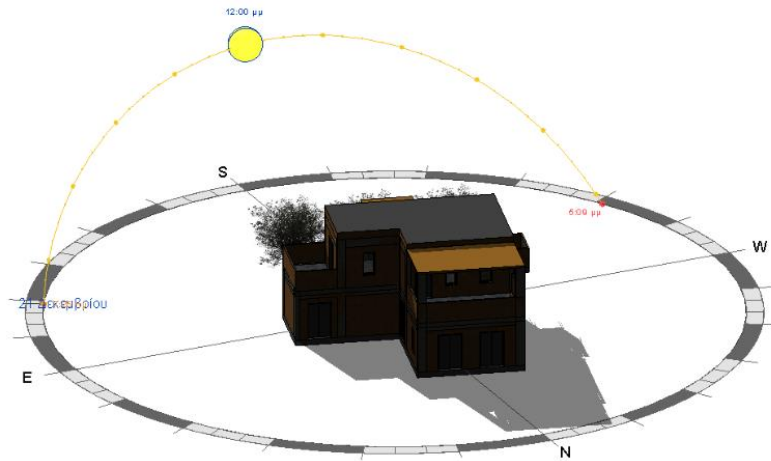
Εικόνα 80. Απεικόνιση σκιάσεων στις 21/3/2019, στις 12 το μεσημέρι (Εαρινή Ισημερία)



Εικόνα 81. Απεικόνιση σκιάσεων στις 21/6/2019, στις 12 το μεσημέρι (Θερινό Ηλιοστάσιο)



Εικόνα 82. Απεικόνιση σκιάσεων στις 21/9/2019, στις 12 το μεσημέρι (Φθινοπωρινή Ισημερία)



Εικόνα 83. Απεικόνιση σκιάσεων στις 21/12/2019, στις 12 το μεσημέρι (Χειμερινό Ηλιοστάσιο)

### 3.8 Μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής

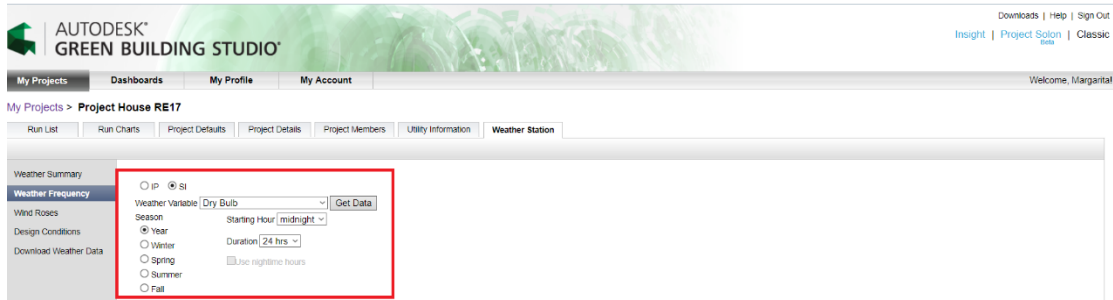
Για την υλοποίηση της ενεργειακής μελέτης η υπηρεσία Green Building Studio αντλεί πληροφορίες από έναν μετεωρολογικό σταθμό, ο οποίος ορίζεται από τον χρήστη και συνήθως είναι ο πλησιέστερος στο κτήριο. Στην συγκεκριμένη περίπτωση έχει επιλεγεί ο σταθμός 183374, όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω.

Τα μετεωρολογικά αυτά δεδομένα παρουσιάζονται αναλυτικά στο Green Building Studio, κάνοντας κλικ στην επιλογή Weather Station.



Εικόνα 84. Δεδομένα μετεωρολογικού σταθμού στο GBS

Στο GBS υπάρχουν μετεωρολογικά δεδομένα που αφορούν τη θερμοκρασία της περιοχής, την υγρασία, το αιολικό δυναμικό, το ηλιακό δυναμικό και άλλα. Αυτά παρουσιάζονται σε γραφήματα τα οποία μπορεί να αναφέρονται είτε σε ένα έτος είτε σε κάποια συγκεκριμένη περιοχή. Οι τιμές βάσει των οποίων δημιουργούνται τα διαγράμματα μπορεί να είναι είτε ανά 24ωρο είτε ανά μικρότερα ωριαία διαστήματα.

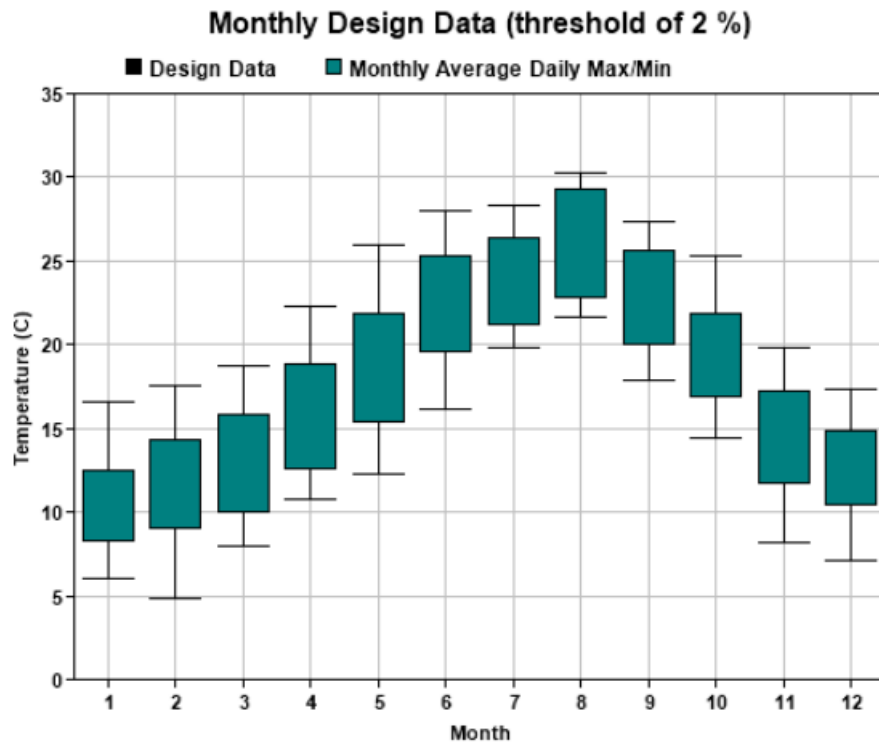


Εικόνα 85. Επιλογές παραμέτρων για γραφήματα

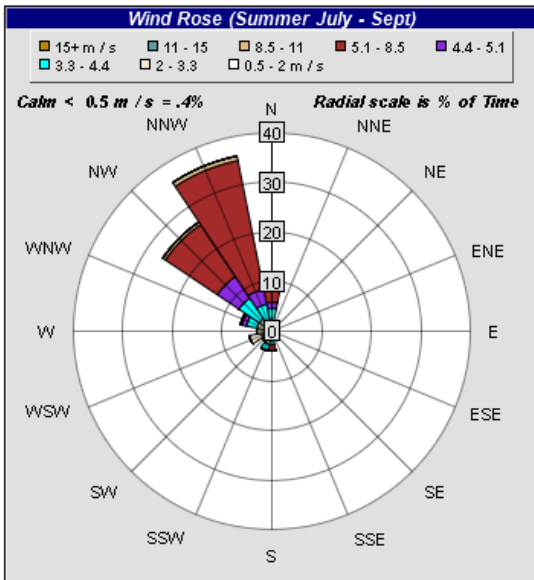
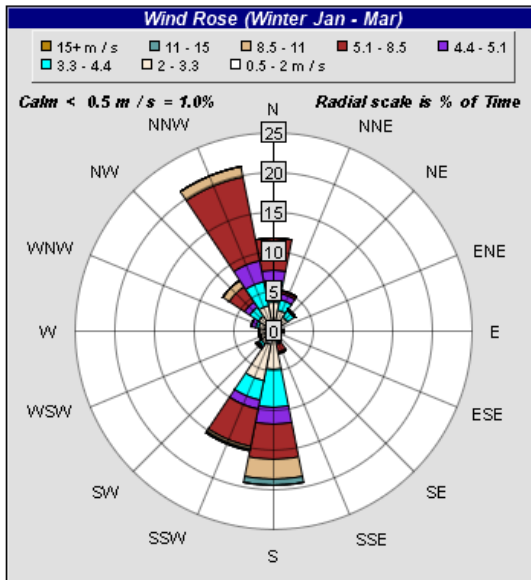
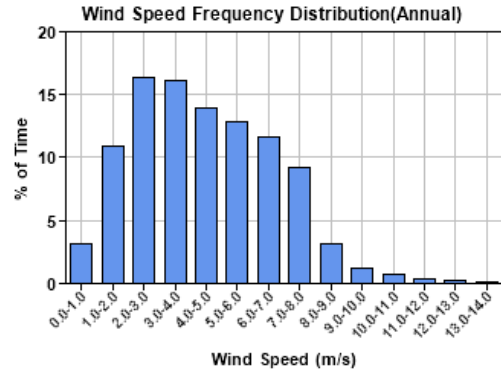
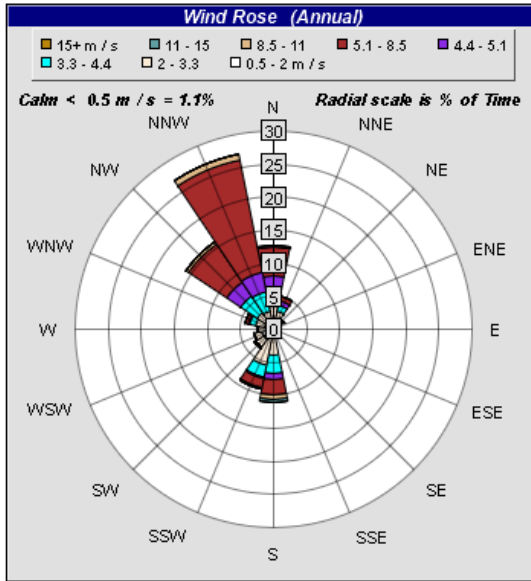
Στη συνέχεια, παρουσιάζονται κάποια ενδεικτικά γραφήματα σε σχέση με τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής. Το κάθε γράφημα αναφέρεται σε περίοδο ενός έτους, με τιμές που λαμβάνονται σε ημερήσια βάση.

Threshold

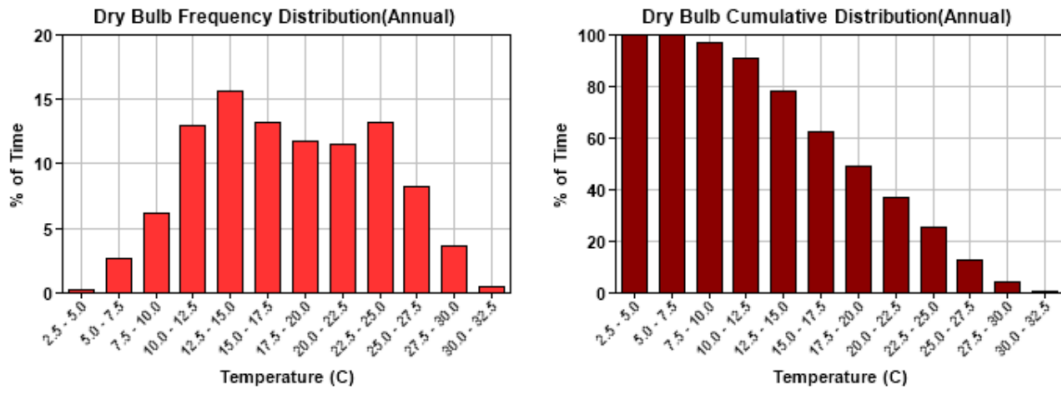
Weather Station: GBS\_06M12\_02\_259012



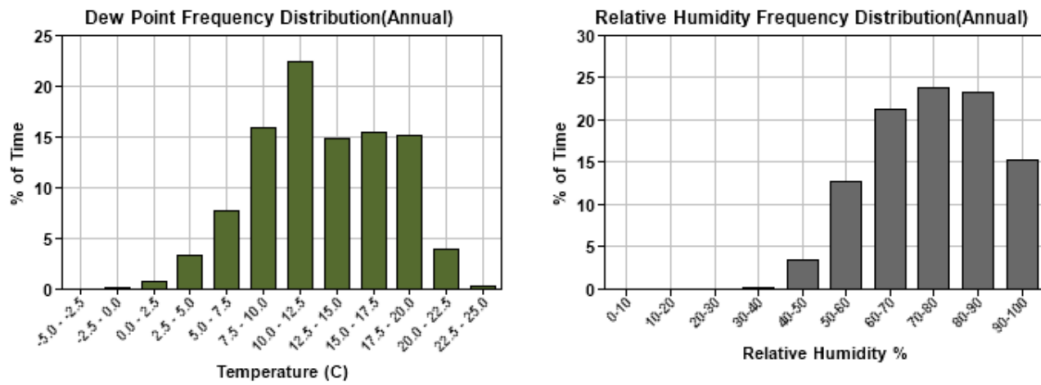
Εικόνα 86. Θερμοκρασιακό εύρος κάθε μήνα



Εικόνα 87. Ετήσιο αιολικό δυναμικό

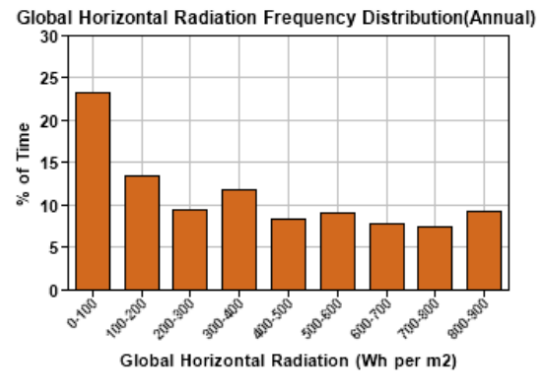
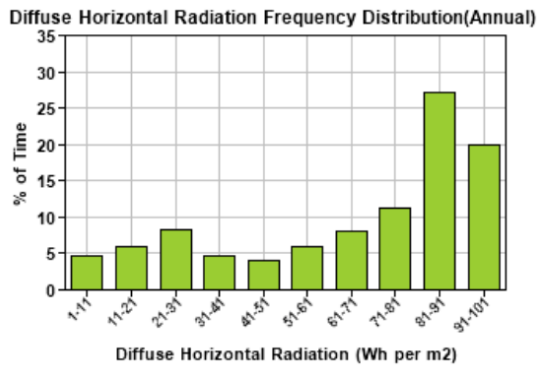
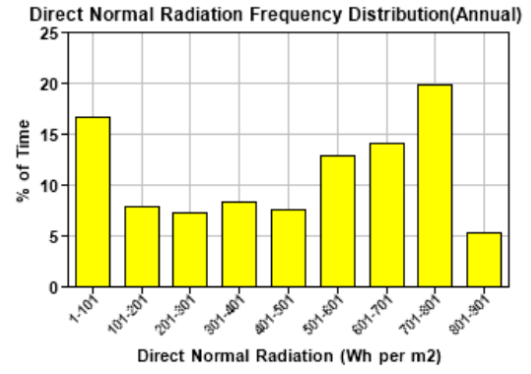
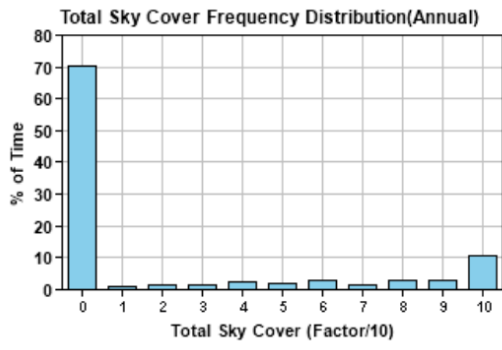


Εικόνα 88. Κατανομή συχνότητας ξηρού βολβού και αθροιστική κατανομή συχνότητας ξηρού βολβού



Εικόνα 89. Κατανομή συχνότητας σημείου δρόσου και κατανομή συχνότητας σχετικής υγρασίας





*Εικόνα 90. Ετήσιο ηλιακό δυναμικό*

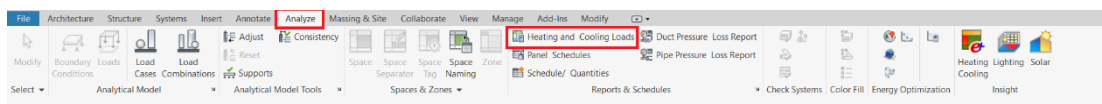
## 4. Αποτελέσματα ενεργειακής ανάλυσης και σενάρια βελτίωσης

### 4.1 Αποτελέσματα ενεργειακής ανάλυσης του κτηρίου

Αφού ολοκληρωθεί ο σχεδιασμός του κτηρίου και καθοριστούν οι τιμές στις ενεργειακές παραμέτρους, εκτελείται η προσομοίωση και τα αποτελέσματα αυτής παρουσιάζονται στα λογισμικά Revit, Green Building Studio και Insight.

#### 4.1.1. Αποτελέσματα ενεργειακής κατανάλωσης στο Revit

Από το tab Analyze και μέσω της εντολής Heating and Cooling Loads δίνεται η δυνατότητα να παρουσιαστούν τα φορτία του κτηρίου, τόσο συνολικά όσο και ξεχωριστά για τον κάθε χώρο.



Εικόνα 91. Analyze, Heating and Cooling Loads

Παρατίθεται ο πίνακας που αφορά το σύνολο του κτηρίου.

Πίνακας 20. Αποτελέσματα για όλο το κτήριο

Δεδομένα	
Τύπος κτηρίου	Μονοκατοικία
Τοποθεσία	Μάλια, Ηράκλειο
Θερμοκρασία ξηρού βολβού (θερινή περίοδος)	31 °C
Θερμοκρασία υγρού βολβού (θερινή περίοδος)	24 °C
Θερμοκρασία ξηρού βολβού (χειμερινή περίοδος)	6 °C
Μέση ημερήσια διακύμανση θερμοκρασίας	8 °C
Εμβαδόν (m <sup>2</sup> )	137,5
Όγκος (m <sup>3</sup> )	416
Αποτελέσματα	
Φορτίο αιχμής ψύξης (W)	7563
Μήνας και ώρα φορτίου αιχμής ψύξης	Αύγουστος 3:00 μμ
Αισθητό φορτίο αιχμής ψύξης (W)	6508
Λανθάνον φορτίο αιχμής ψύξης (W)	441
Φορτίο αιχμής θέρμανσης (W)	5336
Φορτία ανά μονάδα επιφάνειας	
Ψυκτικό φορτίο ανά μονάδα επιφάνειας (W/m <sup>2</sup> )	65,58
Θερμικό φορτίο ανά μονάδα επιφάνειας (W/m <sup>2</sup> )	46,20

Παρατηρείται πως το φορτίο αιχμής της ψύξης είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο της θέρμανσης κατά 29,4% και σημειώνεται το μήνα Αύγουστο.

Στη συνέχεια παρατίθενται οι πίνακες που αφορούν τους επιμέρους χώρους. Παρουσιάζονται ενδεικτικά δύο πίνακες με τη μορφή που εμφανίζονται στο Revit .

Πίνακας 21. Καθιστικό, Ισόγειο, Revit

Inputs	
Area (m <sup>2</sup> )	38
Volume (m <sup>3</sup> )	130.61
Wall Area (m <sup>2</sup> )	66
Roof Area (m <sup>2</sup> )	0
Door Area (m <sup>2</sup> )	11
Partition Area (m <sup>2</sup> )	21
Window Area (m <sup>2</sup> )	2
Skylight Area (m <sup>2</sup> )	0
Lighting Load (W)	413
Power Load (W)	413
Number of People	2
Sensible Heat Gain / Person (W)	73
Latent Heat Gain / Person (W)	59
Infiltration Airflow (L/s)	12.8
Space Type	Single Family (Inherited from building type)
Calculated Results	
Peak Cooling Load (W)	1,789
Peak Cooling Month and Hour	August 14:00 μμ
Peak Cooling Sensible Load (W)	1,577
Peak Cooling Latent Load (W)	211
Peak Cooling Airflow (L/s)	94.9
Peak Heating Load (W)	1,279
Peak Heating Airflow (L/s)	120.2

Components	Cooling		Heating	
	Loads [W]	Percentage of Total	Loads [W]	Percentage of Total
Wall	266	14.87%	427	33.35%
Window	618	34.54%	86	6.71%
Door	337	18.87%	577	45.13%
Roof	9	0.51%	4	0.32%
Skylight	0	0.00%	0	0.00%
Partition	0	0.00%	0	0.00%
Infiltration	191	10.70%	185	14.49%
Lighting	123	6.86%		
Power	123	6.86%		
People	121	6.79%		
Pneum	0	0.00%		
<b>Total</b>	<b>1,789</b>	<b>100%</b>	<b>1,279</b>	<b>100%</b>

Πίνακας 22. Καθιστικό, Ισόγειο,

Δεδομένα	
Εμβαδό (m <sup>2</sup> )	38
Όγκος (m <sup>3</sup> )	130.61
Επιφάνεια τοίχων (m <sup>2</sup> )	66
Επιφάνεια οροφής (m <sup>2</sup> )	0
Επιφάνεια πόρτας (m <sup>2</sup> )	11
Επιφάνεια χωρισμάτων (m <sup>2</sup> )	21
Επιφάνεια παραθύρων (m <sup>2</sup> )	2
Επιφάνεια φεγγίτη (m <sup>2</sup> )	0
Φορτίο φωτισμού (W)	413
Φορτίο ισχύος (W)	413
Αριθμός ατόμων	2
Αισθητό κέρδος θερμότητας/άτομο (W)	73
Λανθάνον κέρδος θερμότητας/άτομο (W)	59
Διείσδυση αέρα (L/s)	12,8
Τύπος χώρου	Μονοκατοικία
Αποτελέσματα Υπολογισμών	
Μέγιστο φορτίο ψύξης(W)	1789
Μήνας και ώρα μέγιστου φορτίου ψύξης	Αύγουστος 4:00μμ

Μέγιστο αισθητό φορτίο ψύξης(W)	1577			
Μέγιστο λανθάνον φορτίο ψύξης(W)	211			
Μέγιστη διείσδυση αέρα για ψύξη (L/s)	94,9			
Μέγιστο φορτίο θέρμανσης (W)	1279			
Μέγιστη διείσδυση αέρα για θέρμανση (L/s)	120,2			
Στοιχεία	Ψύξη		Θέρμανση	
	Φορτίο (W)	Ποσοστό	Φορτίο (W)	Ποσοστό
Τοίχοι	266	14,87%	427	33,35%
Παράθυρα	618	34,54%	86	6,71%
Πόρτα	337	18,87%	577	45,13%
Οροφή	9	0,51%	4	0,32%
Φίλτραση αέρα	191	10,70%	185	14,49%
Φωτισμός	123	6,86%		
Ισχύς εξοπλισμού	123	6,86%		
Πλήθος ατόμων	121	6,79%		
Σύνολο	1789	100%	1279	100%

Πίνακας 23 .Κουζίνα, Ισόγειο, Revit

Inputs	
Area (m <sup>2</sup> )	12
Volume (m <sup>3</sup> )	32,11
Wall Area (m <sup>2</sup> )	20
Roof Area (m <sup>2</sup> )	3
Door Area (m <sup>2</sup> )	4
Partition Area (m <sup>2</sup> )	9
Window Area (m <sup>2</sup> )	1
Skylight Area (m <sup>2</sup> )	0
Lighting Load (W)	127
Power Load (W)	127
Number of People	1
Sensible Heat Gain / Person (W)	75
Latent Heat Gain / Person (W)	59
Infiltration Airflow (L/s)	3,8
Space Type	Single Family (inherited from building type)
Calculated Results	
Peak Cooling Load (W)	1,059
Peak Cooling Month and Hour	October 1:00 μμ
Peak Cooling Sensible Load (W)	1,042
Peak Cooling Latent Load (W)	17
Peak Cooling Airflow (L/s)	46,5
Peak Heating Load (W)	283
Peak Heating Airflow (L/s)	26,6

Components	Cooling		Heating	
	Loads (W)	Percentage of Total	Loads (W)	Percentage of Total
Wall	34	3.16%	126	44.59%
Window	861	81.31%	63	22.25%
Door	0	0.00%	0	0.00%
Roof	68	6.41%	39	13.74%
Skylight	0	0.00%	0	0.00%
Partition	0	0.00%	0	0.00%
Infiltration	2	0.16%	55	19.42%
Lighting	39	3.68%		
Power	39	3.68%		
People	17	1.60%		
People num	0	0.00%		
<b>Total</b>	<b>1,059</b>	<b>100%</b>	<b>283</b>	<b>100%</b>

Πίνακας 24 .Κουζίνα, Ισόγειο

Δεδομένα				
Εμβαδό (m <sup>2</sup> )	12			
Όγκος (m <sup>3</sup> )	32,11			
Επιφάνεια τοίχων (m <sup>2</sup> )	20			
Επιφάνεια οροφής (m <sup>2</sup> )	3			
Επιφάνεια πόρτας (m <sup>2</sup> )	4			
Επιφάνεια χωρισμάτων (m <sup>2</sup> )	9			
Επιφάνεια παραθύρων (m <sup>2</sup> )	1			
Επιφάνεια φεγγίτη (m <sup>2</sup> )	0			
Φορτίο φωτισμού (W)	127			
Φορτίο ισχύος (W)	127			
Αριθμός ατόμων	1			
Αισθητό κέρδος θερμότητας/άτομο (W)	73			
Λανθάνον κέρδος θερμότητας/άτομο (W)	59			
Διείσδυση αέρα (L/s)	3,8			
Τύπος χώρου	Μονοκατοικία			
Αποτελέσματα Υπολογισμών				
Μέγιστο φορτίο ψύξης(W)	1059			
Μήνας και ώρα μέγιστου φορτίου ψύξης	Οκτώβριος 1:00μμ			
Μέγιστο αισθητό φορτίο ψύξης(W)	1042			
Μέγιστο λανθάνον φορτίο ψύξης(W)	17			
Μέγιστη διείσδυση αέρα για ψύξη (L/s)	46,5			
Μέγιστο φορτίο θέρμανσης (W)	283			
Μέγιστη διείσδυση αέρα για θέρμανση (L/s)	26,6			
Στοιχεία	Ψύξη		Θέρμανση	
	Φορτίο (W)	Ποσοστό	Φορτίο (W)	Ποσοστό
Τοίχοι	34	3,16%	126	44,59%
Παράθυρα	861	81,31%	63	22,25%
Πόρτα	0	0%	0	0%
Οροφή	68	6,41%	39	13,74%
Φίλτραση αέρα	2	0,16%	55	19,42%
Φωτισμός	39	3,68%		
Ισχύς εξοπλισμού	39	3,68%		
Πλήθος ατόμων	17	1,60%		
Σύνολο	1059	100%	283	100%

Πίνακας 25. Γραφείο, Ισόγειο

Δεδομένα				
Εμβαδό (m <sup>2</sup> )	11			
Όγκος (m <sup>3</sup> )	30,48			
Επιφάνεια τοίχων (m <sup>2</sup> )	22			
Επιφάνεια οροφής (m <sup>2</sup> )	0			
Επιφάνεια πόρτας (m <sup>2</sup> )	4			
Επιφάνεια χωρισμάτων (m <sup>2</sup> )	13			
Επιφάνεια παραθύρων (m <sup>2</sup> )	1			
Επιφάνεια φεγγίτη (m <sup>2</sup> )	0			
Φορτίο φωτισμού (W)	121			
Φορτίο ισχύος (W)	121			
Αριθμός ατόμων	1			
Αισθητό κέρδος θερμότητας/άτομο (W)	73			
Λανθάνον κέρδος θερμότητας/άτομο (W)	59			
Διείσδυση αέρα (L/s)	4,2			
Τύπος χώρου	Μονοκατοικία			
Αποτελέσματα Υπολογισμών				
Μέγιστο φορτίο ψύξης(W)	1107			
Μήνας και ώρα μέγιστου φορτίου ψύξης	Οκτώβριος 2:00μμ			
Μέγιστο αισθητό φορτίο ψύξης(W)	1090			
Μέγιστο λανθάνον φορτίο ψύξης(W)	17			
Μέγιστη διείσδυση αέρα για ψύξη (L/s)	68,2			
Μέγιστο φορτίο θέρμανσης (W)	604			
Μέγιστη διείσδυση αέρα για θέρμανση (L/s)	64,3			
Στοιχεία	Ψύξη		Θέρμανση	
	Φορτίο (W)	Ποσοστό	Φορτίο (W)	Ποσοστό
Τοίχοι	45	4,11%	135	22,31%
Παράθυρα	825	74,49%	68	11,29%
Πόρτα	146	13,19%	173	28,69%
Οροφή	0	0%	0	0%
Χωρίσματα	0	0%	162	26,88%
Φίλτραση αέρα	2	0,17%	65	10,83%
Φωτισμός	37	3,30%		
Ισχύς εξοπλισμού	37	3,30%		
Πλήθος ατόμων	16	1,44%		
Σύνολο	1107	100%	604	100%

Πίνακας 26 .WC, Ισόγειο

Δεδομένα				
Εμβαδό (m <sup>2</sup> )	2			
Όγκος (m <sup>3</sup> )	6,70			
Επιφάνεια τοίχων (m <sup>2</sup> )	4			
Επιφάνεια οροφής (m <sup>2</sup> )	0			
Επιφάνεια πόρτας (m <sup>2</sup> )	2			
Επιφάνεια χωρισμάτων (m <sup>2</sup> )	0			
Επιφάνεια παραθύρων (m <sup>2</sup> )	0			
Επιφάνεια φεγγίτη (m <sup>2</sup> )	0			
Φορτίο φωτισμού (W)	27			
Φορτίο ισχύος (W)	27			
Αριθμός ατόμων	1			
Αισθητό κέρδος θερμότητας/άτομο (W)	73			
Λανθάνον κέρδος θερμότητας/άτομο (W)	59			
Διείσδυση αέρα (L/s)	0,8			
Τύπος χώρου	Μονοκατοικία			
Αποτελέσματα Υπολογισμών				
Μέγιστο φορτίο ψύξης(W)	187			
Μήνας και ώρα μέγιστου φορτίου ψύξης	Οκτώβριος 2:00μμ			
Μέγιστο αισθητό φορτίο ψύξης(W)	184			
Μέγιστο λανθάνον φορτίο ψύξης(W)	3			
Μέγιστη διείσδυση αέρα για ψύξη (L/s)	7,8			
Μέγιστο φορτίο θέρμανσης (W)	51			
Μέγιστη διείσδυση αέρα για θέρμανση (L/s)	4,8			
Στοιχεία	Ψύξη		Θέρμανση	
	Φορτίο (W)	Ποσοστό	Φορτίο (W)	Ποσοστό
Τοίχοι	24	13,09%	27	52,63%
Παράθυρα	143	76,26%	13	24,76%
Πόρτα	0	0%	0	0%
Οροφή	0	0%	0	0%
Χωρίσματα	0	0%	0	0%
Φίλτραυση αέρα	0	0,19%	12	22,61%
Φωτισμός	8	4,29%		
Ισχύς εξοπλισμού	8	4,29%		
Πλήθος ατόμων	4	1,88%		
Σύνολο	187	100%	51	100%

Πίνακας 27. Υπνοδωμάτιο 1, Ισόγειο

Δεδομένα				
Εμβαδό (m <sup>2</sup> )	14			
Όγκος (m <sup>3</sup> )	38,08			
Επιφάνεια τοίχων (m <sup>2</sup> )	36			
Επιφάνεια οροφής (m <sup>2</sup> )	0			
Επιφάνεια πόρτας (m <sup>2</sup> )	5			
Επιφάνεια χωρισμάτων (m <sup>2</sup> )	0			
Επιφάνεια παραθύρων (m <sup>2</sup> )	1			
Επιφάνεια φεγγίτη (m <sup>2</sup> )	0			
Φορτίο φωτισμού (W)	90			
Φορτίο ισχύος (W)	151			
Αριθμός ατόμων	1			
Αισθητό κέρδος θερμότητας/άτομο (W)	73			
Λανθάνον κέρδος θερμότητας/άτομο (W)	59			
Διείσδυση αέρα (L/s)	6,9			
Τύπος χώρου	Μονοκατοικία			
Αποτελέσματα Υπολογισμών				
Μέγιστο φορτίο ψύξης(W)	978			
Μήνας και ώρα μέγιστου φορτίου ψύξης	Οκτώβριος 2:00μμ			
Μέγιστο αισθητό φορτίο ψύξης(W)	952			
Μέγιστο λανθάνον φορτίο ψύξης(W)	26			
Μέγιστη διείσδυση αέρα για ψύξη (L/s)	53,2			
Μέγιστο φορτίο θέρμανσης (W)	609			
Μέγιστη διείσδυση αέρα για θέρμανση (L/s)	57,2			
Στοιχεία	Ψύξη		Θέρμανση	
	Φορτίο (W)	Ποσοστό	Φορτίο (W)	Ποσοστό
Τοίχοι	113	11,51%	219	35,88%
Παράθυρα	825	84,30%	63	10,36%
Πόρτα	-58	-5,98%	224	36,85%
Οροφή	4	0,36%	2	0,36%
Χωρίσματα	0	0%	0	0%
Φίλτραση αέρα	3	0,32%	101	16,56%
Φωτισμός	27	2,78%		
Ισχύς εξοπλισμού	46	4,67%		
Πλήθος ατόμων	20	2,04%		
Σύνολο	978	100%	609	100%



Πίνακας 28. Σκάλα και χολ, Ισόγειο και Όροφος

Δεδομένα				
Εμβαδό (m <sup>2</sup> )	12			
Όγκος (m <sup>3</sup> )	36,12			
Επιφάνεια τοίχων (m <sup>2</sup> )	21			
Επιφάνεια οροφής (m <sup>2</sup> )	13			
Επιφάνεια πόρτας (m <sup>2</sup> )	8			
Επιφάνεια χωρισμάτων (m <sup>2</sup> )	8			
Επιφάνεια παραθύρων (m <sup>2</sup> )	1			
Επιφάνεια φεγγίτη (m <sup>2</sup> )	0			
Φορτίο φωτισμού (W)	130			
Φορτίο ισχύος (W)	130			
Αριθμός ατόμων	1			
Αισθητό κέρδος θερμότητας/άτομο (W)	73			
Λανθάνον κέρδος θερμότητας/άτομο (W)	59			
Διείσδυση αέρα (L/s)	4			
Τύπος χώρου	Μονοκατοικία			
Αποτελέσματα Υπολογισμών				
Μέγιστο φορτίο ψύξης(W)	477			
Μήνας και ώρα μέγιστου φορτίου ψύξης	Αύγουστος 4:00μμ			
Μέγιστο αισθητό φορτίο ψύξης(W)	410			
Μέγιστο λανθάνον φορτίο ψύξης(W)	67			
Μέγιστη διείσδυση αέρα για ψύξη (L/s)	26,8			
Μέγιστο φορτίο θέρμανσης (W)	475			
Μέγιστη διείσδυση αέρα για θέρμανση (L/s)	44,6			
Στοιχεία	Ψύξη		Θέρμανση	
	Φορτίο (W)	Ποσοστό	Φορτίο (W)	Ποσοστό
Τοίχοι	95	20,02%	131	27,58%
Παράθυρα	79	16,51%	43	9,04%
Πόρτα	63	13,13%	160	33,77%
Οροφή	59	12,45%	82	17,27%
Χωρίσματα	0	0%	0	0%
Φίλτραυση αέρα	60	12,69%	59	12,34%
Φωτισμός	40	8,49%		
Ισχύς εξοπλισμού	40	8,49%		
Πλήθος ατόμων	39	8,22%		
Σύνολο	477	100%	475	100%

Πίνακας 29. Υπνοδωμάτιο 2, Όροφος

Δεδομένα				
Εμβαδό (m <sup>2</sup> )	9			
Όγκος (m <sup>3</sup> )	28,35			
Επιφάνεια τοίχων (m <sup>2</sup> )	23			
Επιφάνεια οροφής (m <sup>2</sup> )	11			
Επιφάνεια πόρτας (m <sup>2</sup> )	4			
Επιφάνεια χωρισμάτων (m <sup>2</sup> )	21			
Επιφάνεια παραθύρων (m <sup>2</sup> )	2			
Επιφάνεια φεγγίτη (m <sup>2</sup> )	0			
Φορτίο φωτισμού (W)	102			
Φορτίο ισχύος (W)	102			
Αριθμός ατόμων	1			
Αισθητό κέρδος θερμότητας/άτομο (W)	73			
Λανθάνον κέρδος θερμότητας/άτομο (W)	59			
Διείσδυση αέρα (L/s)	4,3			
Τύπος χώρου	Μονοκατοικία			
Αποτελέσματα Υπολογισμών				
Μέγιστο φορτίο ψύξης(W)	1213			
Μήνας και ώρα μέγιστου φορτίου ψύξης	Οκτώβριος 2:00μμ			
Μέγιστο αισθητό φορτίο ψύξης(W)	1196			
Μέγιστο λανθάνον φορτίο ψύξης(W)	17			
Μέγιστη διείσδυση αέρα για ψύξη (L/s)	74,8			
Μέγιστο φορτίο θέρμανσης (W)	685			
Μέγιστη διείσδυση αέρα για θέρμανση (L/s)	72,8			
Στοιχεία	Ψύξη		Θέρμανση	
	Φορτίο (W)	Ποσοστό	Φορτίο (W)	Ποσοστό
Τοίχοι	55	4,57%	138	20,14%
Παράθυρα	1122	92,52%	93	13,55%
Πόρτα	-36	-2,98%	173	25,31%
Οροφή	-9	-0,75%	71	10,42%
Χωρίσματα	0	0%	141	20,62%
Φίλτραση αέρα	2	0,16%	68	9,96%
Φωτισμός	32	2,61%		
Ισχύς εξοπλισμού	32	2,61%		
Πλήθος ατόμων	15	1,25%		
Σύνολο	1213	100%	685	100%

Πίνακας 30 Υπνοδωμάτιο 3, Όροφος

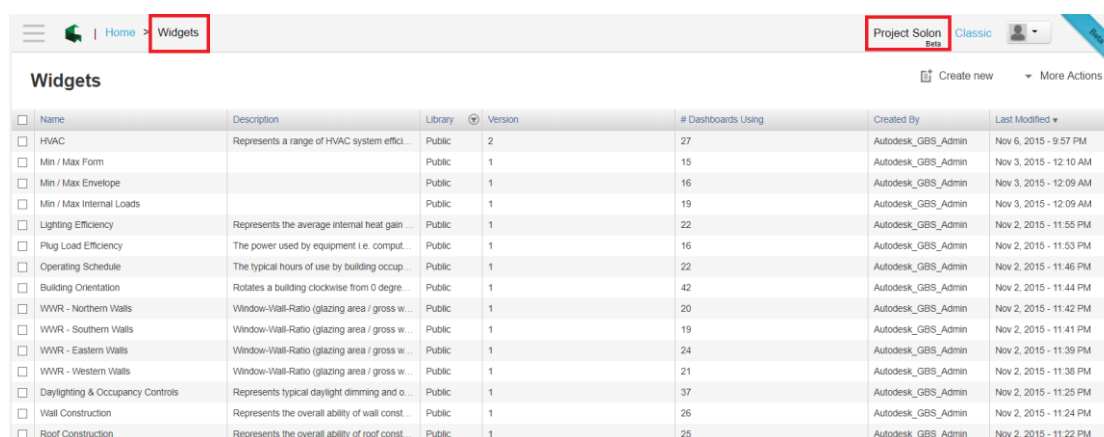
Δεδομένα				
Εμβαδό (m <sup>2</sup> )	13			
Όγκος (m <sup>3</sup> )	37,58			
Επιφάνεια τοίχων (m <sup>2</sup> )	38			
Επιφάνεια οροφής (m <sup>2</sup> )	14			
Επιφάνεια πόρτας (m <sup>2</sup> )	7			
Επιφάνεια χωρισμάτων (m <sup>2</sup> )	0			
Επιφάνεια παραθύρων (m <sup>2</sup> )	1			
Επιφάνεια φεγγίτη (m <sup>2</sup> )	0			
Φορτίο φωτισμού (W)	135			
Φορτίο ισχύος (W)	135			
Αριθμός ατόμων	1			
Αισθητό κέρδος θερμότητας/άτομο (W)	73			
Λανθάνον κέρδος θερμότητας/άτομο (W)	59			
Διείσδυση αέρα (L/s)	7,3			
Τύπος χώρου	Μονοκατοικία			
Αποτελέσματα Υπολογισμών				
Μέγιστο φορτίο ψύξης(W)	1036			
Μήνας και ώρα μέγιστου φορτίου ψύξης	Αύγουστος 5:00μμ			
Μέγιστο αισθητό φορτίο ψύξης(W)	929			
Μέγιστο λανθάνον φορτίο ψύξης(W)	106			
Μέγιστη διείσδυση αέρα για ψύξη (L/s)	57,9			
Μέγιστο φορτίο θέρμανσης (W)	839			
Μέγιστη διείσδυση αέρα για θέρμανση (L/s)	78,9			
Στοιχεία	Ψύξη		Θέρμανση	
	Φορτίο (W)	Ποσοστό	Φορτίο (W)	Ποσοστό
Τοίχοι	204	19,69%	218	25,98%
Παράθυρα	58	5,63%	43	5,12%
Πόρτα	464	44,81%	385	45,86%
Οροφή	76	7,32%	88	10,47%
Χωρίσματα	0	0%	0	0%
Φίλτραυση αέρα	109	10,52%	105	12,57%
Φωτισμός	42	4,04%		
Ισχύς εξοπλισμού	42	4,04%		
Πλήθος ατόμων	41	3,96%		
Σύνολο	1036	100%	839	100%

Πίνακας 31. WC, Όροφος

Δεδομένα				
Εμβαδό (m <sup>2</sup> )	4			
Όγκος (m <sup>3</sup> )	10,80			
Επιφάνεια τοίχων (m <sup>2</sup> )	8			
Επιφάνεια οροφής (m <sup>2</sup> )	4			
Επιφάνεια πόρτας (m <sup>2</sup> )	2			
Επιφάνεια χωρισμάτων (m <sup>2</sup> )	7			
Επιφάνεια παραθύρων (m <sup>2</sup> )	0			
Επιφάνεια φεγγίτη (m <sup>2</sup> )	0			
Φορτίο φωτισμού (W)	39			
Φορτίο ισχύος (W)	39			
Αριθμός ατόμων	1			
Αισθητό κέρδος θερμότητας/άτομο (W)	73			
Λανθάνον κέρδος θερμότητας/άτομο (W)	59			
Διείσδυση αέρα (L/s)	1,6			
Τύπος χώρου	Μονοκατοικία			
Αποτελέσματα Υπολογισμών				
Μέγιστο φορτίο ψύξης(W)	222			
Μήνας και ώρα μέγιστου φορτίου ψύξης	Οκτώβριος 3:00μμ			
Μέγιστο αισθητό φορτίο ψύξης(W)	215			
Μέγιστο λανθάνον φορτίο ψύξης(W)	7			
Μέγιστη διείσδυση αέρα για ψύξη (L/s)	11,1			
Μέγιστο φορτίο θέρμανσης (W)	116			
Μέγιστη διείσδυση αέρα για θέρμανση (L/s)	10,9			
Στοιχεία	Ψύξη		Θέρμανση	
	Φορτίο (W)	Ποσοστό	Φορτίο (W)	Ποσοστό
Τοίχοι	69	31,15%	54	46,99%
Παράθυρα	122	54,67%	13	10,93%
Πόρτα	0	0%	0	0%
Οροφή	-1	-0,50%	26	22,51%
Χωρίσματα	0	0%	0	0%
Φίλτραση αέρα	1	0,32%	23	19,57%
Φωτισμός	12	5,45%		
Ισχύς εξοπλισμού	12	5,45%		
Πλήθος ατόμων	8	3,47%		
Σύνολο	222	100%	116	100%

#### 4.1.2 Αποτελέσματα ανάλυσης στο Project Solon του Green Building Studio (GBS)

Στο Project Solon της cloud υπηρεσίας GBS και επιλέγοντας από το Menu τα Widgets, μπορεί κανείς να βρει πλήθος διαγραμμάτων αναφορικά με όλες τις παραμέτρους του κτηρίου που σχετίζονται με την κατανάλωση ενέργειας. Επιλέγεται εδώ να γίνει εκτενής αναφορά στα μηνιαία ψυκτικά και θερμικά φορτία.

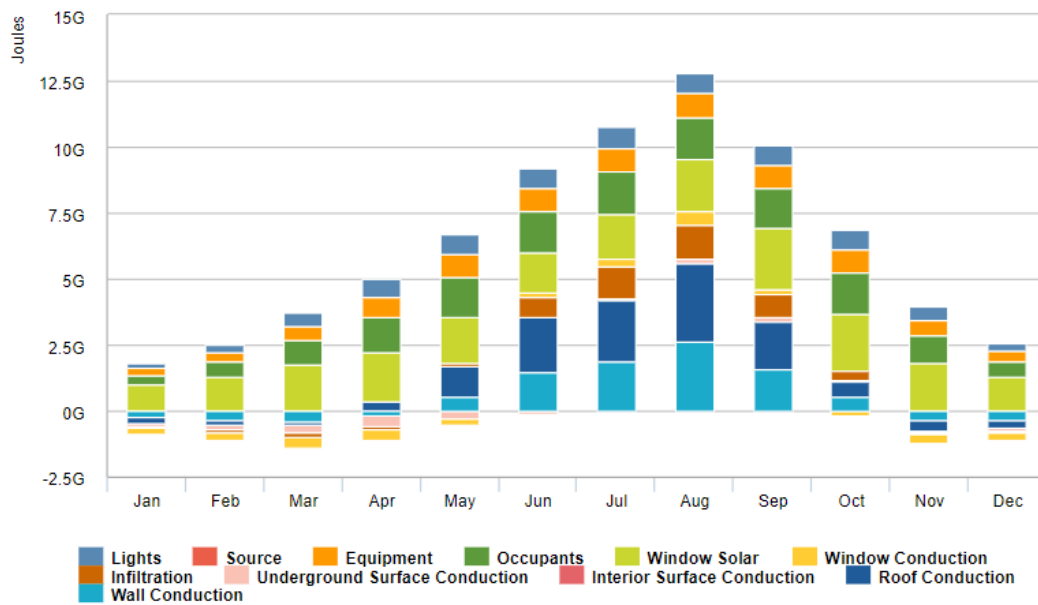


<input type="checkbox"/>	Name	Description	Library	Version	# Dashboards Using	Created By	Last Modified
<input type="checkbox"/>	HVAC	Represents a range of HVAC system effici...	Public	2	27	Autodesk_GBS_Admin	Nov 6, 2015 - 9:57 PM
<input type="checkbox"/>	Min / Max Form		Public	1	15	Autodesk_GBS_Admin	Nov 3, 2015 - 12:10 AM
<input type="checkbox"/>	Min / Max Envelope		Public	1	16	Autodesk_GBS_Admin	Nov 3, 2015 - 12:09 AM
<input type="checkbox"/>	Min / Max Internal Loads		Public	1	19	Autodesk_GBS_Admin	Nov 3, 2015 - 12:09 AM
<input type="checkbox"/>	Lighting Efficiency	Represents the average internal heat gain ...	Public	1	22	Autodesk_GBS_Admin	Nov 2, 2015 - 11:55 PM
<input type="checkbox"/>	Plug Load Efficiency	The power used by equipment i.e. comput...	Public	1	16	Autodesk_GBS_Admin	Nov 2, 2015 - 11:53 PM
<input type="checkbox"/>	Operating Schedule	The typical hours of use by building occup...	Public	1	22	Autodesk_GBS_Admin	Nov 2, 2015 - 11:46 PM
<input type="checkbox"/>	Building Orientation	Rotates a building clockwise from 0 degre...	Public	1	42	Autodesk_GBS_Admin	Nov 2, 2015 - 11:44 PM
<input type="checkbox"/>	WWR - Northern Walls	Window-Wall-Ratio (glazing area / gross w...	Public	1	20	Autodesk_GBS_Admin	Nov 2, 2015 - 11:42 PM
<input type="checkbox"/>	WWR - Southern Walls	Window-Wall-Ratio (glazing area / gross w...	Public	1	19	Autodesk_GBS_Admin	Nov 2, 2015 - 11:41 PM
<input type="checkbox"/>	WWR - Eastern Walls	Window-Wall-Ratio (glazing area / gross w...	Public	1	24	Autodesk_GBS_Admin	Nov 2, 2015 - 11:39 PM
<input type="checkbox"/>	WWR - Western Walls	Window-Wall-Ratio (glazing area / gross w...	Public	1	21	Autodesk_GBS_Admin	Nov 2, 2015 - 11:38 PM
<input type="checkbox"/>	Daylighting & Occupancy Controls	Represents typical daylight dimming and o...	Public	1	37	Autodesk_GBS_Admin	Nov 2, 2015 - 11:25 PM
<input type="checkbox"/>	Wall Construction	Represents the overall ability of wall const...	Public	1	26	Autodesk_GBS_Admin	Nov 2, 2015 - 11:24 PM
<input type="checkbox"/>	Roof Construction	Represents the overall ability of roof const...	Public	1	25	Autodesk_GBS_Admin	Nov 2, 2015 - 11:22 PM

Εικόνα 92. Widgets, Project Solon

##### 4.1.2.1 Μηνιαία ψυκτικά φορτία

Στο παρακάτω διάγραμμα, παρουσιάζονται τα μηνιαία ψυκτικά φορτία. Σε αυτό φαίνεται ότι οι περισσότεροι παράμετροι από τους οποίους εξαρτάται, δυσκολεύουν τη διατήρηση των συνθηκών λειτουργίας του κτηρίου όπως έχουν οριστεί και για αυτό παρουσιάζονται με θετικές τιμές στο διάγραμμα. Ενώ υπάρχουν κάποιοι, οι οποίοι σε κάποιες χρονικές περιόδους βοηθούν στην ψύξη του κτηρίου και για αυτό εμφανίζονται με αρνητικές τιμές στο γράφημα.

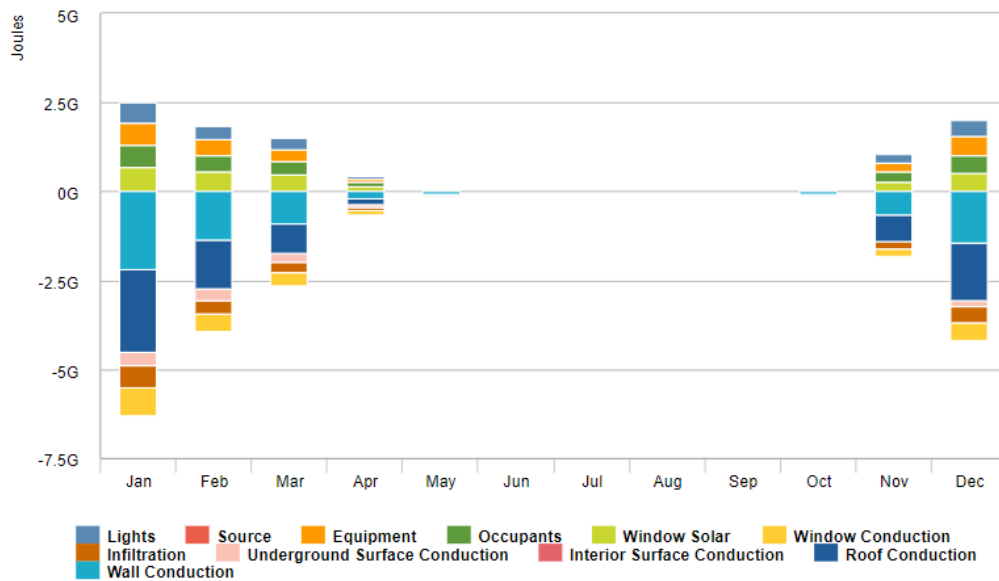


Εικόνα 93. Μηνιαία ψυκτικά φορτία- Monthly cooling loads

Παρατηρείται ότι ο συγκεκριμένος τύπος τοιχοποιίας και οροφής καθώς και ο αθέλητος αερισμός παίζουν σημαντικό ρόλο κατά τους θερινούς μήνες, αυξάνοντας αρκετά τα ψυκτικά φορτία.

#### 4.1.2.2 Μηνιαία θερμικά φορτία

Στη συνέχεια παρουσιάζεται το διάγραμμα μηνιαίων θερμικών φορτίων. Σε αυτό οι τιμές που εμφανίζονται με θετικό πρόσημο προσφέρουν ενέργεια ώστε να διατηρηθούν οι συνθήκες λειτουργίας του κτηρίου, όπως αυτές έχουν οριστεί, ενώ οι τιμές με το αρνητικό πρόσημο «δυσκολεύουν» τη θέρμανση του χώρου.



Εικόνα 94. Μηνιαία θερμικά φορτία-Monthly heating loads

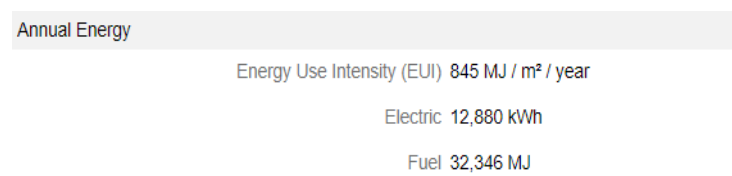
Παρατηρείται ότι η συγκεκριμένη τοιχοποιία και οροφή προκαλούν μεγάλες θερμικές απώλειες κατά τους θερινούς μήνες.

#### 4.1.3 Εκτίμηση κατανάλωσης ενέργειας στο Green Building Studio

Στην cloud υπηρεσία Green Building Studio παρουσιάζεται η εκτιμώμενη καταναλισκόμενη ενέργεια του κτηρίου και οι συνιστώσες της.

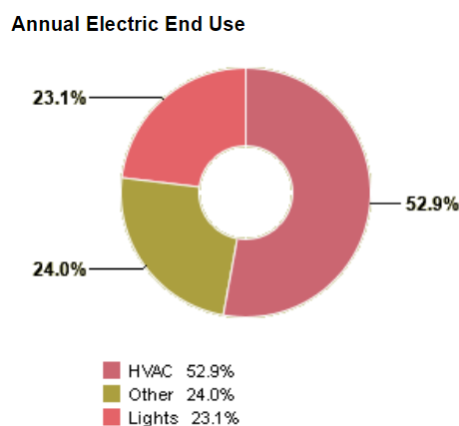
Εκτιμάται λοιπόν πως η ετήσια κατανάλωση ενέργειας ανά τετραγωνικό μέτρο ανέρχεται σε 845 MJ/m<sup>2</sup>/year (235 kWh/m<sup>2</sup>/year).

Η ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται ετησίως εκτιμάται στις 12880kWh (46368 MJ), ενώ η ενέργεια από τη χρήση καυσίμων στα 32346MJ (8985kWh).

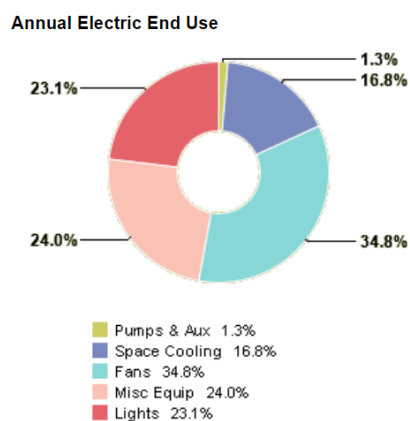


Εικόνα 95. Εκτιμώμενη ετήσια κατανάλωση ενέργειας

#### 4.1.3.1 Παρουσίαση γραφημάτων ενεργειακής κατανάλωσης



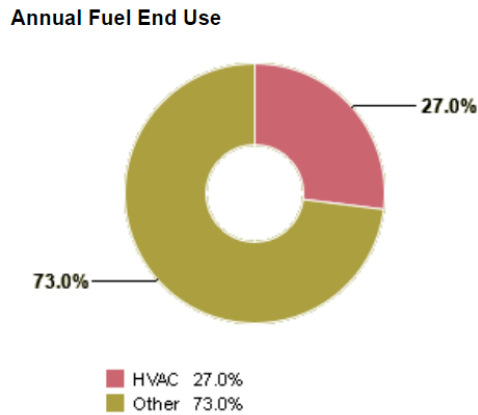
Εικόνα 96. Βασική παρουσίαση ετήσιας ενεργειακής κατανάλωσης



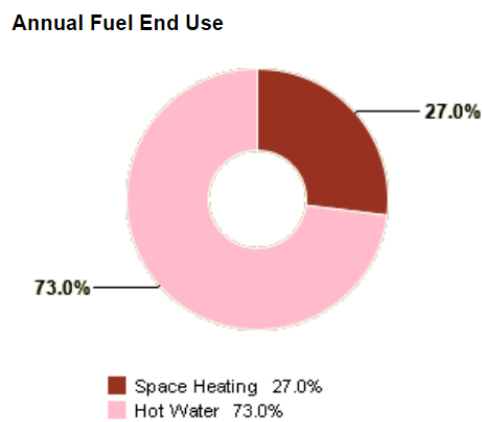
Εικόνα 97. Λεπτομερής παρουσίαση ετήσιας ενεργειακής κατανάλωσης

Παρατηρείται ότι το σύστημα HVAC παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας, αφού εξ' αιτίας αυτού καταναλώνεται το 52,9% αυτής. Επιπλέον, και ο φωτισμός επηρεάζει αρκετά την ηλεκτρική κατανάλωση με ποσοστό 23,1%.





*Εικόνα 98. Βασική ετήσια κατανάλωση καυσίμων*



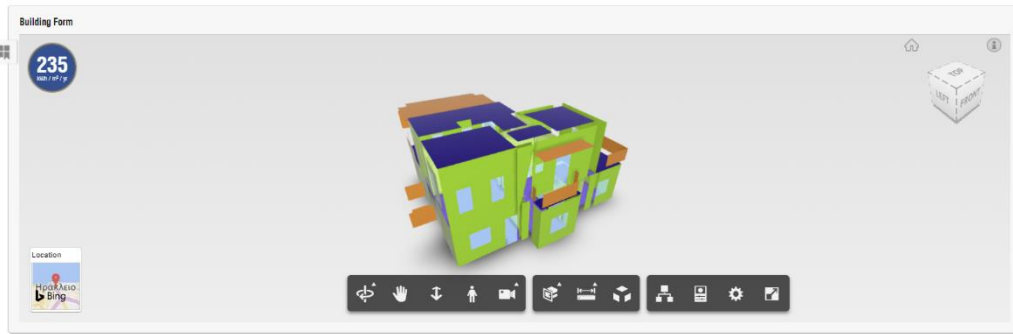
*Εικόνα 99. Λεπτομερής ετήσια κατανάλωση καυσίμων*

Από τα δύο προηγούμενα διαγράμματα γίνεται αντιληπτό ότι η ετήσια κατανάλωση καυσίμου οφείλεται κατά 73% στην παραγωγή ζεστού νερού και κατά 27% στο σύστημα HVAC για την θέρμανση των χώρων.

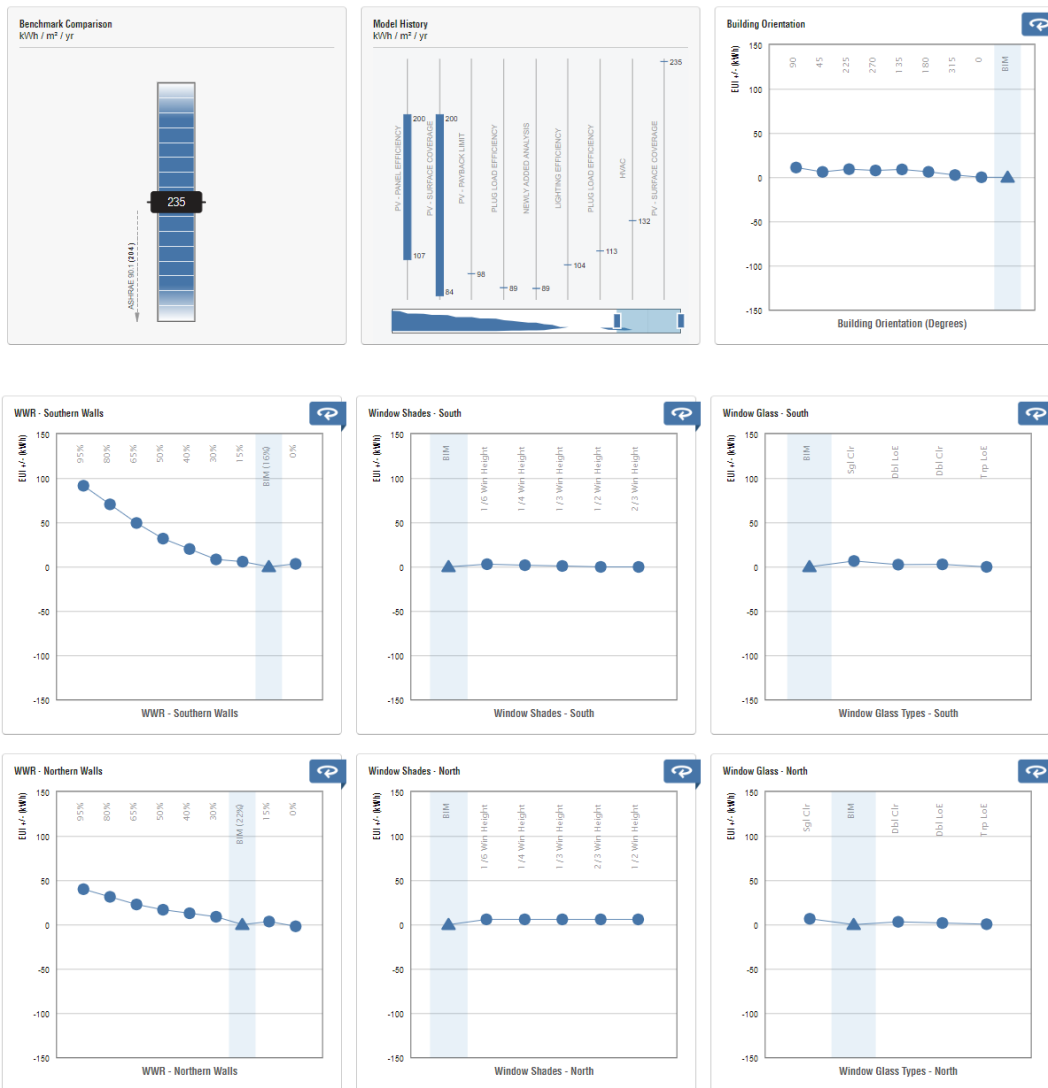
#### 4.1.4 Αποτελέσματα ενεργειακής μελέτης στο λογισμικό Insight

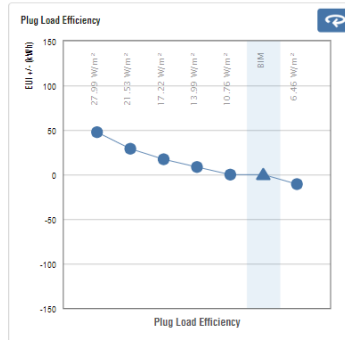
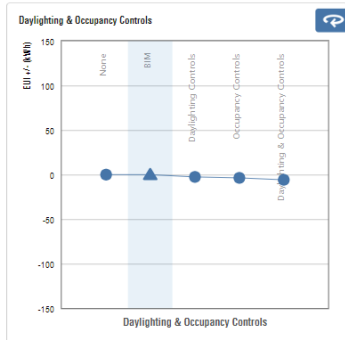
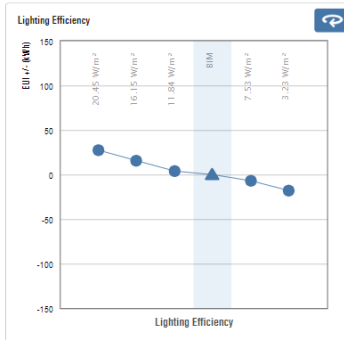
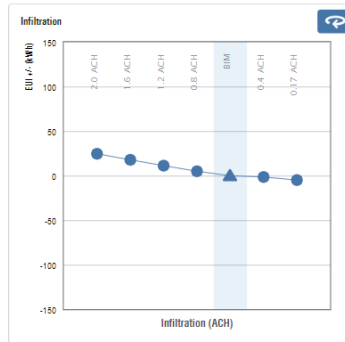
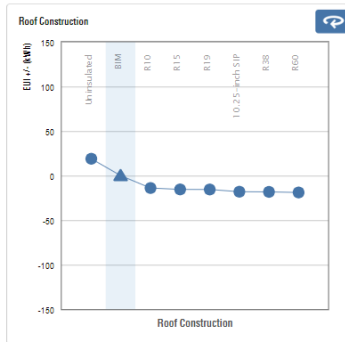
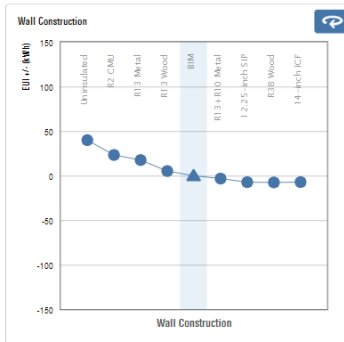
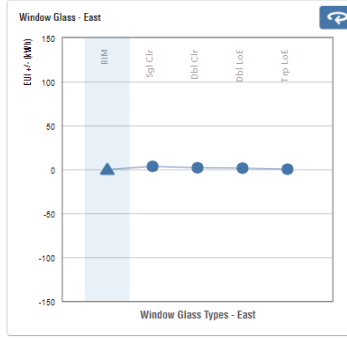
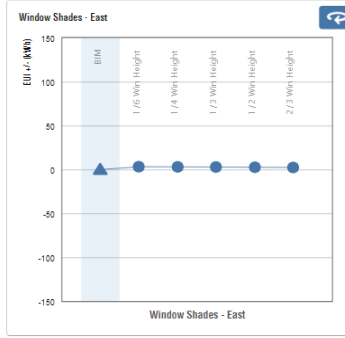
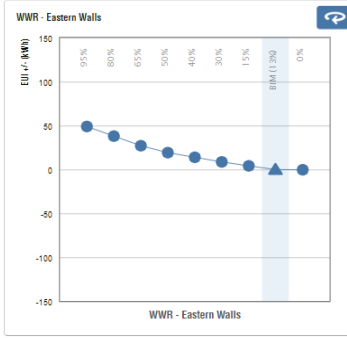
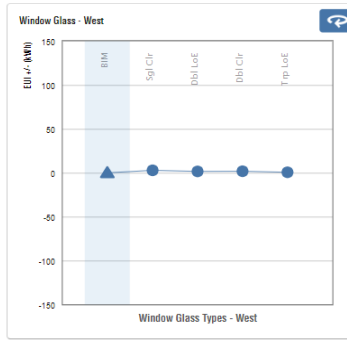
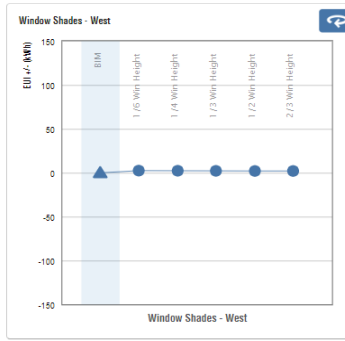
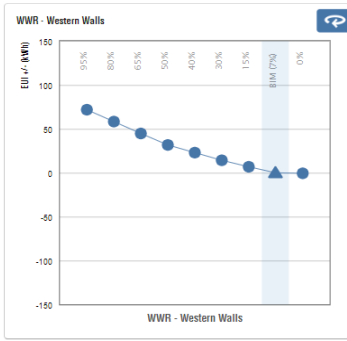
Η υπηρεσία νέφους Insight είναι ένα πολύτιμο εργαλείο, όπου αφ' ενός φαίνονται τα αποτελέσματα της ενεργειακής προσομοίωσης και αφ' ετέρου προτείνονται βελτιωτικά σενάρια με τη βοήθεια διαδραστικών διαγραμμάτων. Ρυθμίζοντας όλα τα διαγράμματα στην επιλογή «τρίγωνο», εμφανίζεται στην οθόνη, πάνω και αριστερά του κτηρίου, η εκτιμώμενη συνολική ετήσια κατανάλωση του κτηρίου.

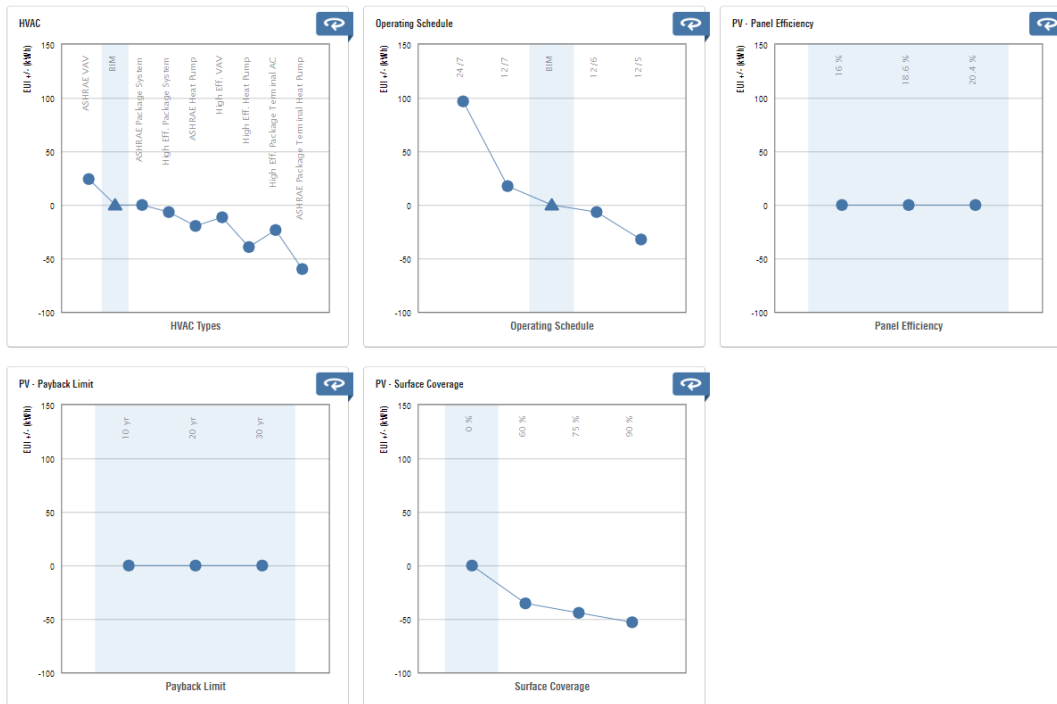
Παρατίθενται τα διαγράμματα που αφορούν το κτήριο, χωρίς βελτιώσεις. Έχει ήδη αναφερθεί πως η εκτιμώμενη ετήσια κατανάλωση είναι 235kWh/m<sup>2</sup>/year. Η τιμή αυτή εμφανίζεται και στο Insight.



Εικόνα 100. Εκτιμώμενη ετήσια κατανάλωση ενέργειας, όπως εμφανίζεται στο Insight.







Εικόνα 101. Διαγράμματα απεικόνισης της βασικής προσομοίωσης, όπως εμφανίζονται στο Insight

Σημειώνεται πως επειδή το κτήριο δεν διαθέτει φωτοβολταϊκά (ΦΒ) για την παραγωγή ενέργειας, το ποσοστό στο διάγραμμα επιφάνειας κάλυψης (PV-Surface Coverage) επιλέγεται 0%. Για τον ίδιο λόγο δεν επιλέγεται συγκεκριμένη τιμή στα διαγράμματα που αφορούν την αποδοτικότητα των ΦΒ (PV-Panel Efficiency) και την περίοδο απόσβεσης της επένδυσης (PV-Payback Limit).

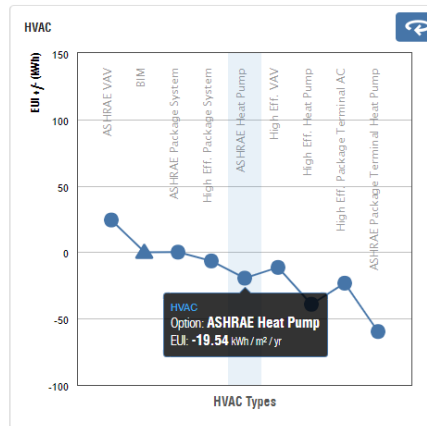
## 4.2 Σενάρια βελτίωσης υπάρχοντος κτηρίου με χρήση του λογισμικού Insight

Μεταβάλλοντας οποιαδήποτε τιμή επιθυμεί ο χρήστης για κάθε παράμετρο, από τα διαδραστικά διαγράμματα, εμφανίζεται η νέα εκτιμώμενη κατανάλωση ενέργειας. Με αυτό τον τρόπο δημιουργούνται τα εναλλακτικά σενάρια.

### 4.2.1 Πρώτο βελτιωτικό σενάριο-Αλλαγή συστήματος HVAC

Στο πρώτο σενάριο βελτίωσης επιλέγεται να αντισταθεί το υπάρχον σύστημα HVAC (το οποίο υπενθυμίζεται πως είναι το Residential 14 SEER/0.9 AFUE Split/Packaged Gas <5.5 ton) από ένα σύστημα που περιλαμβάνει αντλία θερμότητας. Στο Insight το σύστημα αυτό ονομάζεται ASHRAE Heat Pump και τα χαρακτηριστικά του είναι τα εξής:

- ASHRAE 90.1-2010
- minimum efficiency Heat Pump, 9.5 EER
- COP 3.2 Electric Heat
- 70F economizer (Autodesk, Insight, 2018)



Εικόνα 102. Αλλαγή συστήματος HVAC

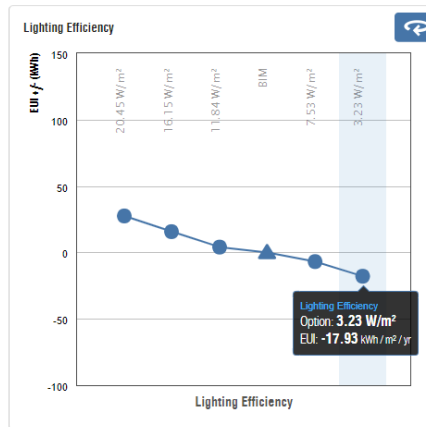
Παρατηρείται ότι αυτή η παρέμβαση ελαττώνει την ετήσια κατανάλωση κατά περίπου 20kWh/m<sup>2</sup>/year.



Εικόνα 103. Εκτιμώμενη κατανάλωση ενέργειας-Σενάριο 1

#### 4.2.2 Δεύτερο βελτιωτικό σενάριο-Μείωση πυκνότητας ισχύος φωτισμού

Κατά το δεύτερο βελτιωτικό σενάριο επιλέγεται η αντικατάσταση των λαμπτήρων με αποτέλεσμα τη μείωση της εγκατεστημένης ισχύς φωτισμού από 10,76 W/m<sup>2</sup> σε 3,23W/m<sup>2</sup>.



Εικόνα 104. Αλλαγή εγκατεστημένης ισχύος φωτισμού

Επίσης, παρατηρείται ότι αυτή η παρέμβαση ελαττώνει την ετήσια κατανάλωση κατά περίπου 20kWh/m<sup>2</sup>/year, όπως και στο σενάριο 1.



Εικόνα 105. Εκτιμώμενη κατανάλωση ενέργειας-Σενάριο 2

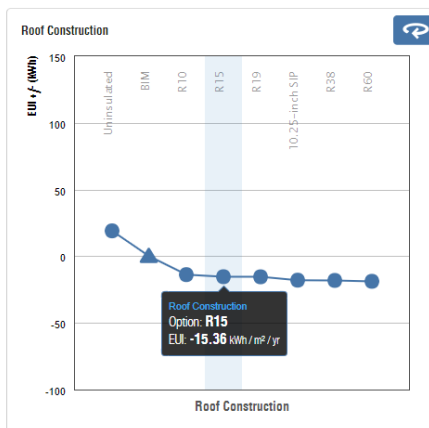
#### 4.2.3 Τρίτο βελτιωτικό σενάριο- Επιπλέον μόνωση οροφής

Στο τρίτο σενάριο επιλέγεται να ενισχυθεί η μόνωση της οροφής. Η προτεινόμενη από το Insight στέγη R15 έχει τα εξής χαρακτηριστικά (Autodesk, Insight, 2018):

Πίνακας 32. Χαρακτηριστικά οροφής R15

Roof Construction Name	Roof Construction	R-Value (hft <sup>2</sup> °F/BTU)	Heat Capacity (BTU/ft <sup>2</sup> °F)
R15	R15 Wood Frame Roof	15.61	2.03

Ο συντελεστής R-Value=15,61 hft<sup>2</sup>°F/BTU αντιστοιχεί σε U=0,3638 W/m<sup>2</sup>K. Υπενθυμίζεται πως ο αρχικός συντελεστής θερμοπερατότητας της οροφής είναι U=0,4587 W/m<sup>2</sup>K.



Εικόνα 106. Αλλαγή χαρακτηριστικών οροφής

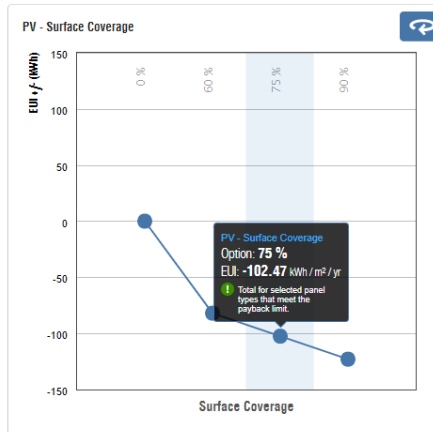
Με αυτή την παρέμβαση η εκτιμώμενη ετήσια κατανάλωση μειώνεται κατά περίπου 20kWh/m<sup>2</sup>/year.



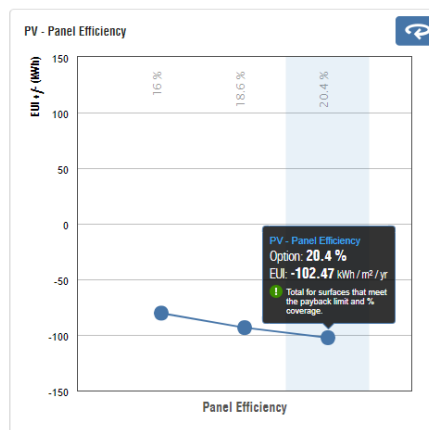
Εικόνα 107. Εκτιμώμενη κατανάλωση ενέργειας-Σενάριο 3

#### 4.2.4 Τέταρτο βελτιωτικό σενάριο- Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών

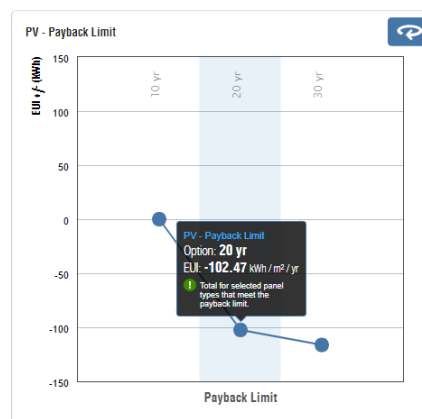
Σε αυτό το σενάριο επιλέγεται η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Προτείνεται 75% κάλυψη της στέγης με ΦΒ, με συντελεστή αποδοτικότητας 20,4%. Το λογισμικό υπολογίζει την περίοδο αποπληρωμής λαμβάνοντας υπόψη ότι το κόστος ανά εγκατεστημένη μονάδα ισχύος είναι \$3,47/W. Επιλέγεται ως περίοδος αποπληρωμής τα 20 χρόνια.



Εικόνα 108. ΦΒ- Κάλυψη της στέγης κατά 75%



Εικόνα 109. ΦΒ-Συντελεστής αποδοτικότητας 20,4%



Εικόνα 110. ΦΒ-Περίοδος αποπληρωμής 20 χρόνια



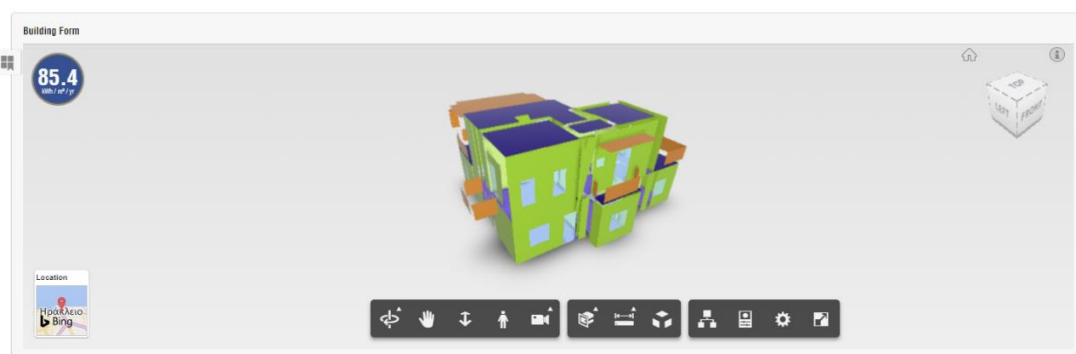
Το σενάριο αυτό είναι το αποδοτικότερο σε σχέση με τα προηγούμενα, αφού μειώνει την εκτιμώμενη κατανάλωση ενέργειας κατά περίπου 102 kWh/m<sup>2</sup>/year.



*Εικόνα 111. Εκτιμώμενη κατανάλωση ενέργειας-Σενάριο 4*

#### 4.2.5 Πέμπτο βελτιωτικό σενάριο-Συνδυασμός των προηγούμενων τεσσάρων σεναρίων

Στο πέμπτο και τελευταίο σενάριο γίνεται συνδυασμός όλων των παραπάνω παρεμβάσεων. Δηλαδή, χρησιμοποιείται το σύστημα ASHRAE Heat Pump, η εγκατεστημένη ισχύς φωτισμού μειώνεται σε 3,23W/m<sup>2</sup>, βελτιώνεται η μόνωση της οροφής σύμφωνα με τις προδιαγραφές του R15 και εγκαθίστανται φωτοβολταϊκά, με χαρακτηριστικά που έχουν περιγραφεί στην ενότητα 4.2.4.



*Εικόνα 112. Εκτιμώμενη κατανάλωση ενέργειας-Σενάριο 5*

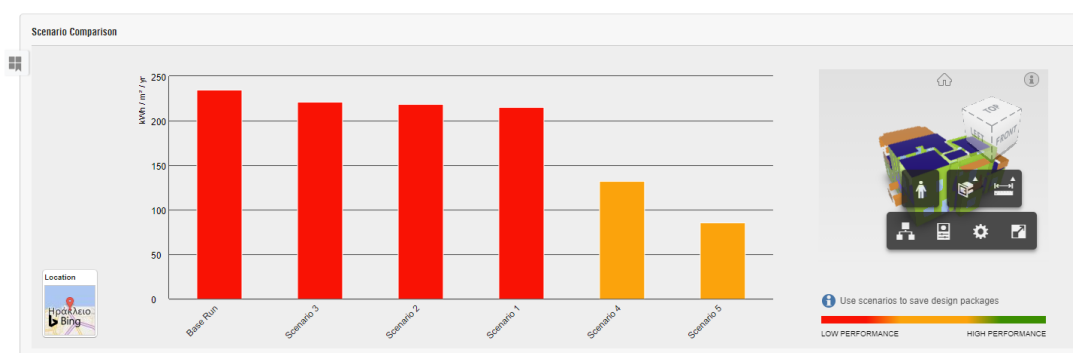
Προφανώς, αυτό το σενάριο είναι ενεργειακά το αποδοτικότερο. Η ελάττωση της ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας είναι αρκετά μεγάλη, της τάξης των 150 kWh/m<sup>2</sup>/year.

#### 4.2.6 Σύγκριση σεναρίων

Από την βασική προσομοίωση προέκυψε ότι η εκτιμώμενη κατανάλωση ενέργειας ετησίως ανέρχεται στις 234,7 kWh/m<sup>2</sup>/year. Στον συγκεντρωτικό πίνακα που ακολουθεί φαίνονται οι αντίστοιχες καταναλώσεις στο κάθε σενάριο καθώς και το ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας που προκύπτει από αυτό.

Πίνακας 33. Ετήσια Ενεργειακή Κατανάλωση κάθε σεναρίου και ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας

Σενάρια	Σύντομη Περιγραφή	Ετησ. Ενεργ. Καταν. (kWh/m <sup>2</sup> /year)	Ποσοστό Εξοικονόμησης (%)
1	HVAC	215,16	8,44
2	Φωτισμός	218,30	7,11
3	Οροφή	221,28	5,84
4	ΦΒ	132,23	43,73
5	Συνδυασμός	85,36	63,68



Εικόνα 113. Σύγκριση σεναρίων

Παρατηρείται ότι η μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας προκύπτει από την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών, με πολύ μεγάλο ποσοστό (43,73%). Ακολουθούν η αντικατάσταση συστήματος HVAC, αλλαγή συστημάτων φωτισμού και η μόνωση οροφής με πολύ συγκρίσιμα ποσοστά, της τάξης των 5-10%. Προφανώς, ο συνδυασμός όλων των παρεμβάσεων επιφέρει τη μεγαλύτερη ενεργειακή εξοικονόμηση (63,68%).

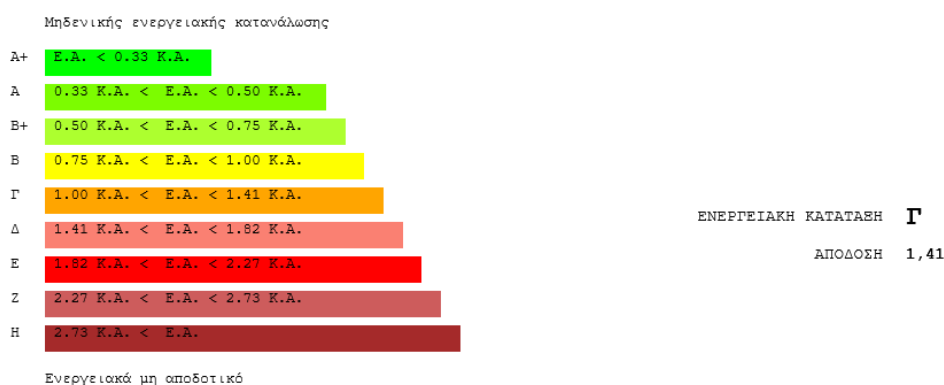
### 4.3 Αποτελέσματα ενεργειακής ανάλυσης του υπάρχοντος κτηρίου στο λογισμικό TEE-KENAK

Το λογισμικό TEE-KENAK χρησιμοποιείται από τους ενεργειακούς επιθεωρητές στην Ελλάδα για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης και κατάταξης των κτηρίων. Βασίζεται στη μεθοδολογία Ευρωπαϊκών προτύπων (ΕΛΟΤ EN ISO 13790, κ.α.) καθώς και στα σχετικά εθνικά πρότυπα και τις αντίστοιχες Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. (Τ.Ε.Ε., 2018)

Εισάγοντας στο λογισμικό TEE-KENAK τα στοιχεία που περιγράφουν το κτήριο της παρούσας μελέτης, προέκυψε πως το κτήριο είναι ενεργειακής κατάταξης Γ με αποδοχή 1,41.

TEE KENAK Έκδοση 1.29.1.19 - Engine 1.7.6.19

13/6/2019



Εικόνα 114. Ενεργειακή κατάταξη κτηρίου, σύμφωνα με το λογισμικό TEE-KENAK

Οι εκτιμήσεις για τις ετήσιες καταναλώσεις, που εξήχθησαν από το λογισμικό φαίνονται στους πίνακες που ακολουθούν.

Πίνακας 34. Ετήσια Πρωτογενής Ενέργεια Κτηρίου ( $kWh/m^2$ ), TEE-KENAK

Ετήσια Πρωτογενής Ενέργεια Κτηρίου ( $kWh/m^2$ )				
Θέρμανση	Ψύξη	ZNX	Φωτισμός	Σύνολο
64,1	28,9	27,6	0,0	120,6

Πίνακας 35. Ετήσιες Ενεργειακές Απαιτήσεις Κτηρίου ( $kWh/m^2$ ), TEE-KENAK

Ετήσιες Ενεργειακές Απαιτήσεις Κτηρίου ( $kWh/m^2$ )				
Θέρμανση	Ψύξη	ZNX	Υγρανση	Σύνολο
36,2	45,1	17,8	0,0	99,1

Πίνακας 36. Ετήσιες Καταναλώσεις Κτηρίου (kWh/m<sup>2</sup>), TEE-KENAK

Ετήσιες Καταναλώσεις Κτηρίου (kWh/m <sup>2</sup> )				
Θέρμανση	Ψύξη	ZNX	Φωτισμός	Σύνολο
58,0	10,0	9,5	0,0	77,5

Για τον υπολογισμό των καταναλώσεων από το λογισμικό TEE-KENAK δεν λαμβάνεται υπ' όψη ο φωτισμός. Επιπλέον, το σύστημα θέρμανσης που ορίστηκε στο πρόγραμμα περιλαμβάνει λέβητα 30000kcal/h (34,89 kW/h), 3 κλιματιστικά 9000 BTU έκαστο (δεκαετίας και νεότερα) καθώς και ηλιακό θερμοσίφωνα. Το συγκεκριμένο σύστημα δεν προσφέρεται σαν επιλογή από το Revit και ως εκ τούτου, δεν έχει πολύ νόημα η ευθεία σύγκριση των αποτελεσμάτων από τα δύο αυτά λογισμικά.

## 5. Συμπεράσματα

Η χρήση του λογισμικού Revit προϋποθέτει γνώσεις αρχιτεκτονικού σχεδιασμού, γεγονός που δυσκολεύει τη χρήση του από μηχανολόγους μηχανικούς.

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων της ενεργειακής προσομοίωσης από το Revit σε σχέση με αυτά του λογισμικού του ΤΕΕ-ΚΕΝΑΚ δεν έχει ιδιαίτερο νόημα, διότι χρησιμοποιούνται διαφορετικά συστήματα στο κάθε λογισμικό.

Ένα μειονέκτημα του Revit, που εντοπίστηκε κατά την εκπόνηση της εργασίας είναι πως σε περίπτωση παρουσίασης κάποιου σφάλματος στη φάση της ενεργειακής προσομοίωσης, το λογισμικό δεν εμφανίζει λεπτομέρειες για αυτό, παρά μόνο ενημερώνει για την ύπαρξή του γενικώς.

Το Revit είναι ένα λογισμικό BIM, το οποίο σε συνδυασμό με τα λογισμικά νέφους Green Building Studio και Insight παρέχουν πλήθος αξιόπιστων αποτελεσμάτων αναφορικά με την ενεργειακή μελέτη ενός έργου.

Ειδικά, μέσω του λογισμικού Insight είναι πολύ εύκολο να εντοπιστούν ποιοι παράμετροι επιδέχονται βελτίωσης και να διερευνηθούν εναλλακτικά σενάρια.

Η εκτιμώμενη ετήσια παραγόμενη ενέργεια, προφανώς δεν είναι απολύτως ακριβής αλλά είναι πολύ σημαντική συγκρινόμενη με εναλλακτικά σενάρια.

Τα λογισμικά Revit, Green Building Studio και Insight δύσκολα θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σαν ενεργειακά εργαλεία (το Revit μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για σχεδιασμό) διότι οι επιλογές που διαθέτουν σε διάφορα συστήματα είναι προσαρμοσμένες στα αμερικανικά πρότυπα.

Το Revit δίνει επιπλέον τη δυνατότητα ανάλυσης κόστους, που δεν αξιοποιήθηκε στην παρούσα εργασία αλλά θα μπορούσε να αποτελέσει συνέχειά της.

## Βιβλιογραφία

Autodesk, Insight, 2018.

<https://forums.autodesk.com/autodesk/attachments/autodesk/2022/1890/1/Insight360-widget-settings.pdf>. [Online].

Autodesk, 2012. <https://knowledge.autodesk.com/search-result/caas/vhelp/help-dev-autodesk-com/v/Revit/enu/2012/Help/Revit-User-s-Guide/3156-Referenc3156/3225-Referenc3225/3229-HVAC-Sys3229.html>. [Online]  
[Accessed 2018].

Autodesk, 2019. <https://www.autodesk.com/products/insight/overview>. [Online].

Autodesk, n.d. *Autodesk*. [Online]

Available at: <https://www.autodesk.com/products/revit/overview>

BEST Directory, 2018. <https://www.buildingenergysoftwaretools.com/software/autodesk-green-building-studio>. [Online].

BIMPANZEE.COM, χ.χ. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <http://www.bimpanzee.com/bim-3d-4d--5d--6d---7d.html>

Eddy Krygiel, B. N., 2008. *Green BIM-Successful Sustainable Design with Building Information Modeling*. s.l.:Wiley Publishing, Inc.

EUR-Lex, 2016. *EUR-Lex*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/?uri=CELEX:22016A1019\(01\)](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/?uri=CELEX:22016A1019(01))

International Energy Agency , 2019. [Online]

Available at: <https://www.iea.org/statistics/resources/unitconverter/>

National BIM Standards Committee-NBIMS, n.d. *National Institute of BUILDING SCIENCE*. [Online]

Available at: <https://www.nationalbimstandard.org/faqs#faq1>

[Accessed 2019].

Wikipedia, 2014. [Ηλεκτρονικό]

Available at: [https://el.wikipedia.org/wiki/Τόνος\\_ισοδύναμου\\_πετρελαίου](https://el.wikipedia.org/wiki/Τόνος_ισοδύναμου_πετρελαίου)

ΥΠΕΚΑ, 2010. *Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης*. [Ηλεκτρονικό]

Available at:

<http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=OqmW1H8Kg9A%3D&tabid=337&language=el-GR>

Βαρδάκη, Σ., 2018. *ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ ΣΤΙΣ 4 ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΛΟΓΙΣΜΙΚΩΝ REVIT ΚΑΙ GBS*. Ηρακλειο: ΤΕΙ Κρήτης.

Βενέρης, Ι., 2011. *ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ ΚΑΙ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ: Έννοιες και Τεχνολογίες*. s.l.:ΤΖΙΟΛΑ.

Βραγγάλας, Κ., 2016. *Building Information Modeling(B.I.M.): Περιγραφή, Δυνατότητες και Προοπτικές στην Κατασκευαστική Βιομηχανία*, MSc. Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, 2017. [Ηλεκτρονικό]

Available at:

<https://www.google.gr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2>

ahUKEwixz4moulbhAhWryqYKHb-  
[ICRAQFjAAegQIBxAC&url=https%3A%2F%2Fclass.duth.gr%2Fmodules%2Fdocument%2Ffile.php%2FTMC231%2F2017%2FCourse%25201%25202017.pptx&usg=AOvVaw3-koFmr](https://www.class.duth.gr/modules/document/file.php/FTMC231/2017/Course%25201%25202017.pptx&usg=AOvVaw3-koFmr)

ΕΛΣΤΑΤ, 2013. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <http://www.statistics.gr/documents/20181/e74d6134-8c02-404e-a02b-aa6d959219e3>

ΚΑΠΕ, 2012. *cres.gr*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <http://www.cres.gr/energyhubforall/Energeiaki%20apodosi%20ktirion.html>

ΚΑΠΕ, 2013. *cres.gr*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <http://www.cres.gr/energyhubforall/2.2.html>

Κονιδάρη, Π., 2017. *Intelligent Deep Analysis*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <http://www.indeepanalysis.gr/perivallon/energeiakh-katanalwsh-sta-ellhnika-kthria>

Κονιδάρη, Π., 2017. *Intelligent Deep Analysis*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <http://www.indeepanalysis.gr/perivallon/energeiakh-endeia>

Παντελίδης, Γ., 2017. *ASHRAE Hellenic Chapter*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: [http://www.ashrae.gr/EstaK2018/EinB-NH2018\\_Presentation\\_Pantelidis.pdf](http://www.ashrae.gr/EstaK2018/EinB-NH2018_Presentation_Pantelidis.pdf)

Πέππα, Ε., 2014. [Ηλεκτρονικό]

Available at:

[http://www.arch.ntua.gr/sites/default/files/resource/6089\\_/08b\\_revit\\_interface.pdf](http://www.arch.ntua.gr/sites/default/files/resource/6089_/08b_revit_interface.pdf)

Ρίζος, Δ., 2012. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://rizosdimitris.blogspot.com/2012/01/4.html>

Σαραφιανός Δημήτρης, 2018. [Ηλεκτρονικό]

Available at: [http://library.tee.gr/digital/m2641/m2641\\_sarafianos.pdf](http://library.tee.gr/digital/m2641/m2641_sarafianos.pdf)

Στεργίου, Κ., χ.χ. [Ηλεκτρονικό]

Available at:

<http://eclass.tepir.gr/openeclass/modules/document/file.php/MECH117/Εισαγωγή.pdf>

T.E.E., 2018.

[http://portal.tee.gr/portal/page/portal/SCIENTIFIC\\_WORK/GR\\_ENERGEIAS/kenak/tee\\_kenak](http://portal.tee.gr/portal/page/portal/SCIENTIFIC_WORK/GR_ENERGEIAS/kenak/tee_kenak).

[Ηλεκτρονικό].

T.O.T.E.E., 2017. [Ηλεκτρονικό]

Available at:

[http://portal.tee.gr/portal/page/portal/SCIENTIFIC\\_WORK/GR\\_ENERGEIAS/kenak/files/TOTEE\\_20701-1\\_2017\\_TEE\\_1st\\_Edition.pdf](http://portal.tee.gr/portal/page/portal/SCIENTIFIC_WORK/GR_ENERGEIAS/kenak/files/TOTEE_20701-1_2017_TEE_1st_Edition.pdf)

TOTEE-2, 2010. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <http://portal.tee.gr/portal/page/portal/tpree/totee/TOTEE-20701-2-Final-%D4%C5%C5....pdf>

Υ.Π.Ε.Κ.Α., 2018. [Ηλεκτρονικό]

Available at:

<http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=zW3CUxz37AY%3D&tabid=282&language=el-GR>

ΦΕΚ, 2010. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <http://portal.tee.gr/portal/page/portal/tpree/totee/FEK%20407-B-2010%20-%20KENAK.pdf>

ΦΕΚ, 2013. *buildingcert*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: [https://www.buildingcert.gr/N4122\\_2013.pdf](https://www.buildingcert.gr/N4122_2013.pdf)

ΦΕΚ, 2017. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://www.e-nomothesia.gr/kat-periballon/antiseismikos-kanonismos/koine-upourgike-apophase-depea-oik-178581-2017.html>

ΦΕΚ, 2017. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://app.box.com/s/c10qw2a9rmhmw31s0d06pe33pvk9fa8l>