



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ»

Μεταπτυχιακή Εργασία

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΚΙΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ ΓΡΑΦΕΙΩΝ

Λεωνίδας Κοντός

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Μαρία Φούντη

Περίληψη

Η Ευρωπαϊκή ένωση το 2018 με την οδηγία 2018/844/EU έθεσε υψηλούς στόχους ως προς την μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης κτιρίων, δείχνοντας την σαφή θέληση της για την ενεργειακή ανεξαρτησία και συμβολή της στην προστασία του παγκόσμιου κλίματος. Η Ελλάδα ως μέλος της συμβάλλει και αυτή ενισχύοντας την πρωτοβουλία για κτιριακή ανακαίνιση με διάφορα χρηματοδοτικά προγράμματα, όπως το εξοικονομώ κατ'οίκον για κατοικίες και τη χρήση του Ταμείου Υποδομών για δημόσια κτίρια τριτογενή τομέα.

Σε αυτή τη διπλωματική εργασία ερευνήθηκε η επίδραση της σκίασης στην εξοικονόμηση ενέργειας ειδικά σε κτίρια τριτογενή τομέα τα οποία χαρακτηρίζονται από υψηλό ποσοστό κατακόρυφων διαφανών επιφανειών. Για την διερεύνηση αυτή θα χρησιμοποιηθούν δύο διαφορετικά προγράμματα ενεργειακής προσομοίωσης, το TEE KENAK και το EnergyPlus, θα αναλυθούν οι διαφορετικοί τρόποι επεξεργασίας των δεδομένων που εξετάζουν καθώς και η αξιοπιστία των συστημάτων τους, καθώς το EnergyPlus προσομοιώνει αναλυτικά τα transient φαινόμενα του ηλιασμού/σκίασης μέσω χρονικών βημάτων ενώ το TEE KENAK απλά εφαρμόζει μειωτικούς συντελεστές.

Συγκεκριμένα εξετάστηκε ένα θεωρητικό κτίριο με ποσοστό 40% διαφανών επιφανειών, όπου εφαρμόστηκαν σενάρια σταθερής σκίασης (με προβόλους και μακρινά εμπόδια στους τέσσερις ορίζοντες και συνδυασμούς τους) και κινητής σκίασης (εσωτερικές/εξωτερικές περσίδες). Στα κινητά συστήματα σκίασης εφαρμόστηκαν διαφορετικοί τύποι αυτόματου ελέγχου (έλεγχος θάμβωσης, υψηλού ρυθμού ψύξης, υψηλής πρόσπτωσης ηλιακής ισχύος) ενώ ταυτόχρονα έγινε έλεγχος του φωτισμού με βάση το φυσικό φωτισμό.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι υπάρχει ένα αξιόλογο δυναμικό αξιοποίησης της εξοικονόμησης ενέργειας μέσω σταθερής σκίασης (κυρίως προβόλων) όπου είναι δυνατή η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας έως και 24%. Η κινητή σκίαση έδειξε πολλά υποσχόμενα αποτελέσματα ιδιαίτερα με τις εξωτερικές περσίδες που απωθούν την ηλιακή ακτινοβολία που εισέρχεται μέσω διαφανών επιφανειών, αλλά για να επιτευχθούν τα μέγιστα αποτελέσματα πρέπει να γίνει ακριβής έλεγχος. Τέλος, ο αυτόματος έλεγχος φωτισμού είναι σχεδόν δεδομένος για την επίτευξη καλύτερης ενεργειακής απόδοσης γιατί έχει μεγάλη επίπτωση στην συνολική πρωτογενή ενέργεια καθώς δεν υπάρχουν συντελεστές απόδοσης όπως στην ψύξη και θέρμανση αντίστοιχα (EER και COP).

Λέξεις κλειδιά: Σκίαση, εξοικονόμηση, ενέργεια, τριτογενής τομέας, γραφείο, αυτόματος έλεγχος, KENAK, EnergyPlus.

Abstract

The European Union in 2018 with Directive 2018/844/EU set high goals in terms of reducing energy consumption of buildings, showing its clear will for energy independence and its contribution to the protection of the global climate against global warming. Greece, as a member, also contributes in its own way by strengthening the initiative for building renovation with various financing programs, such as «Εξοικονομώ κατ' οίκον» for house dwellings and the use of the Infrastructure Fund for public buildings in the tertiary sector.

This dissertation investigated the effect of shading on energy savings especially in tertiary sector buildings, which are characterized by a high percentage of vertical transparent surfaces (fenestration). Two different energy simulation programs will be used for this investigation, TEE KENAK and EnergyPlus. Their different ways of processing the examined data will be analyzed as well as the reliability of their systems, as EnergyPlus analytically simulates the transient phenomena of sunlight / shading through time steps while TEE KENAK simply applies reduction rates.

Specifically, a theoretical building with 40% fenestration percentage was examined, where scenarios of fixed shading (with cantilevers and distant obstacles on the four cardinal directions and their combinations) and moving shading (internal and external blinds) were applied. Different types of automatic control were applied to the moving shading systems (glare control, high cooling rate, high incidence of solar power) while at the same time the lighting was automatically controlled based on natural light.

The results showed that there is a significant potential for energy savings through fixed shading (mainly cantilevers) where it is possible to reduce energy consumption by up to 24%. Mobile shading has shown promising results, especially with external blinds that reflect sunlight coming in through transparent surfaces, but to achieve maximum results, careful automatic control design must be applied. Finally, automatic lighting control is almost a given to achieve better energy efficiency because it has a large impact on the total primary energy consumed as there are no efficiency factors such as cooling and heating respectively (EER and COP).

Keywords: Shading, energy efficiency, tertiary sector, office, automatic control, KENAK, EnergyPlus.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την καθηγήτρια κα Μαρία Φούντη για την επίβλεψη της διπλωματικής εργασίας μου, καθώς τον Ιωάννη Ατσόνιο για την πολύτιμη βοήθεια του στη σύνταξη αυτής.

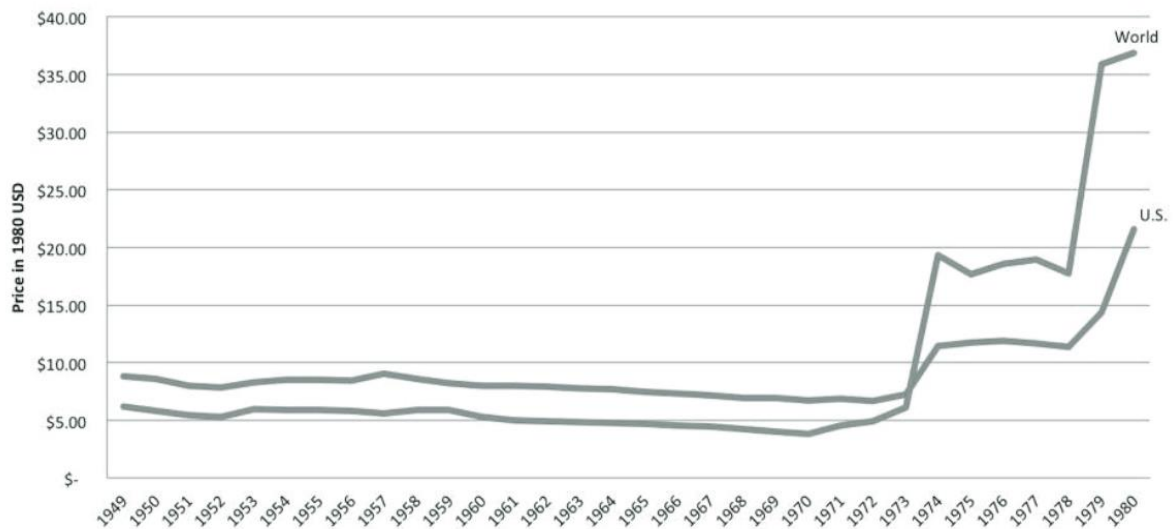
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη.....	1
Abstract	2
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	5
1.1 ΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ	5
1.2 ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ.....	6
1.3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΚΙΑΣΗΣ – ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	11
1.4 ΣΤΟΧΟΙ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	14
2. ΣΧΕΤΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	15
3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	22
3.1 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ.....	22
3.2 ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΚΤΙΡΙΟ.....	26
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	38
4.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΤΑΘΕΡΗΣ ΣΚΙΑΣΗΣ	40
4.1.1 ΑΜΟΝΩΤΟ ΚΤΙΡΙΟ.....	40
4.1.2 ΜΟΝΩΜΕΝΟ ΚΤΙΡΙΟ	44
4.2 ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	47
4.2.1 ΑΜΟΝΩΤΟ ΚΤΙΡΙΟ.....	47
4.2.2 ΜΟΝΩΜΕΝΟ ΚΤΙΡΙΟ	50
4.3 ΚΙΝΗΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΚΙΑΣΗΣ	52
4.3.1 ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΠΕΡΣΙΔΕΣ (ΕΛΕΓΧΟΣ ΘΑΜΒΩΣΗΣ).....	53
4.3.2 ΕΞΩΤΕΡΙΚΕΣ ΠΕΡΣΙΔΕΣ (ΕΛΕΓΧΟΣ ΘΑΜΒΩΣΗΣ)	56
4.3.3 ΕΞΩΤΕΡΙΚΕΣ ΠΕΡΣΙΔΕΣ (ΕΛΕΓΧΟΣ ΥΨΗΛΗΣ ΨΥΞΗΣ)	59
4.3.4 ΕΞΩΤΕΡΙΚΕΣ ΠΕΡΣΙΔΕΣ (ΕΛΕΓΧΟΣ ΥΨΗΛΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΙΣΧΥΣ ΕΠΙ ΤΟΥ ΠΑΡΑΘΥΡΟΥ)	62
5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	64
6 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ.....	66
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	67

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ

Η πρώτη ενεργειακή κρίση που οδήγησε τον κόσμο περισσότερο στην αναζήτηση εναλλακτικών πηγών ενέργειας πέραν των ορυκτών καυσίμων έγινε τη δεκαετία του 1970.



Εικόνα 1: Τιμές πετρελαίου 1949-1980 [1].

Οι τιμές του πετρελαίου ήδη είχαν μειωθεί από το 1930 λόγω της μειωμένης ζήτησης λόγω της κρίσης (Great Depression) και λόγω της εύρεσης νέων κοιτασμάτων στην Αμερική, οδηγώντας την κυβέρνηση της να θέσει όρια παραγωγής για να περιορίσει την μεταβλητότητα τους. Αυτό έγινε δυνατό και μεταπολεμικά όπως φαίνεται στην **Εικ. 1**. Παρ' όλα αυτά λόγω [1]:

- 1) Της αύξησης της ζήτησης λόγω της οικονομικής ανάπτυξης και τη μείωση της παραγωγής από τις χώρες του OPEC,
- 2) Της αδυναμίας εύρεσης φτηνού αερίου,
- 3) Της κρίσης στην τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς δεχόταν πιέσεις από περιβαλλοντικούς νόμους που παρεμπόδισαν την επέκταση της παραγωγής της με ορυκτά καύσιμα.

Οι τιμές του πετρελαίου και φυσικού αερίου εκτοξεύτηκαν και ανάγκασαν όλες τις χώρες ιδιαίτερα τις αναπτυγμένες (first world countries) να αφοσιωθούν στην εύρεση λύσεων για την

ενεργειακή αυτονομία τους, και αυτές κατέληξαν στη χρήση ανανεώσιμων πηγών καθώς και φυσικά στην εξοικονόμηση ενέργειας.

Ως πρωτοπόρα σε αυτή την κατεύθυνση ήταν η Ευρωπαϊκή Ένωση καθώς μετά αυτά τα σημαντικά οικονομικά σοκ, θέσπισε αρκετές πολιτικές και προγράμματα. Μερικά από αυτά ήταν [2]:

- 1) Το πρόγραμμα Valoren (1986), ένα πρόγραμμα που αποσκοπούσε στην ανάπτυξη μη ευνοημένων περιοχών εκμεταλλευόμενο το ενδογενές ενεργειακό δυναμικό.
- 2) Προγράμματα έρευνας και ανάπτυξης (R&D) για την τεχνολογική ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ώστε να γίνουν πιο οικονομικώς προσιτά (1990).
- 3) Τα JOULE και THERMIE προγράμματα (1989-1990) που προσέφεραν κίνητρα για επιδείξεις χρήσης ενέργειας (εξαιρουμένης της ατομικής).
- 4) Το πρόγραμμα ALTENER (1993), ένα εξαιρετικά σημαντικό πρόγραμμα που λειτούργησε ως προπομπός πιο σύγχρονων προγραμμάτων, που συμπεριλάμβανε σημαντικά μέτρα για την ενέργεια και το κλίμα (ιδιαίτερα ως ακόλουθος της διάσκεψης κορυφής του Ρίο το 1992). Μάλιστα προσπάθησε να δημιουργήσει από τότε ένα είδος φόρου ενέργειας/άνθρακα, αλλά λόγω της αντίδρασης πολλών χωρών-μελών δεν κατάφερε να ευδοκιμήσει.

1.2 ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ

Στη πιο σύγχρονη ιστορία, το 2002 η Ευρωπαϊκή Ένωση εξέδωσε την οδηγία 2002/91/EC που αφορούσε την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων [3]. Σ' αυτήν, σημειώνεται η σπουδαιότητα της κατανάλωσης ενέργειας των κτιρίων και τον αντίκτυπο που έχουν στο συνολικό μέγεθος της εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα μιας χώρας που επηρεάζει το παγκόσμιο κλίμα. Επίσης, μέσα περιγράφεται η ανάγκη για τη θέσπιση μιας μεθοδολογίας για την διαπίστευση της ενεργειακής απόδοσης ενός κτιρίου σε εθνικό ή περιφερειακό επίπεδο, και του συνεπαγόμενου πιστοποιητικού του εκδίδεται από αυτή.

Βασισόμενη σε αυτή, το 2010 έγινε ένα μεγάλο βήμα για την ενεργειακή αυτονομία της Ευρωπαϊκής Ένωσης με την οδηγία 2010/31/EU, όπου θεσπίστηκαν οι περίφημοι 20/20/20 στόχοι:

- 20% μείωση της εκπομπής αερίων θερμοκηπίου (με πιο σημαντικό το διοξείδιο του άνθρακα)
- 20% βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης
- 20% της ενέργειας που καταναλώνεται εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης πρέπει να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Μέσα τονίζεται ξανά η σημασία των κτιρίων για την επίτευξη των ανωτέρω στόχων, κάνοντας υποχρεωτική την έκδοση και επίδειξη πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης (ΠΕΑ) για την ενοικίαση ή πώληση κτιρίων, καθώς και την συντήρηση των συστημάτων κλιματισμού τους. Επίσης αναφέρει ότι είναι σημαντικό ο δημόσιος τομέας να πρωτοπορήσει στην ανακαίνιση παλιών δημοσίων κτιρίων ενώ πρέπει να ωθήσει την αγορά προς αυτή την κατεύθυνση με τη χρήση χρηματοδοτικών οργάνων (είτε μέσω της Ευρωπαϊκής Ένωσης από την Ευρωπαϊκή Επενδυτική Τράπεζα, είτε μέσω δικών του προγραμμάτων).

Αυτή η οδηγία αναθεωρήθηκε το 2012 με την οδηγία 2012/27/EU [4], όπου σημειώθηκε η σημασία της ενημέρωσης του κοινού για την ενεργειακή εξοικονόμηση μέσω της σωστής πληροφόρησης του για την χρέωση της ενέργειας που καταναλώνει σπίτι του με την εγκατάσταση μετρητών για όλων των ειδών ενέργειας που χρησιμοποιεί και την σωστή διάρθρωση των λογαριασμών που πληρώνει. Εδώ εισάγεται και η έννοια του ενεργειακού ελέγχου (energy audit), που αφορά κυρίως μικρές και μεσαίες επιχειρήσεις του δευτερογενούς και τριτογενούς τομέα και χρησιμοποιείται ως εργαλείο εξακρίβωσης της ενεργειακής κατανάλωσης τους και εύρεσης τρόπων βελτίωσης του.

Τέλος, η πιο πρόσφατη οδηγία που αφορά την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων εκδόθηκε το 2018 (2018/844/EU) [5]. Σε αυτήν, τέθηκαν ακόμα πιο αυστηρότεροι στόχοι :

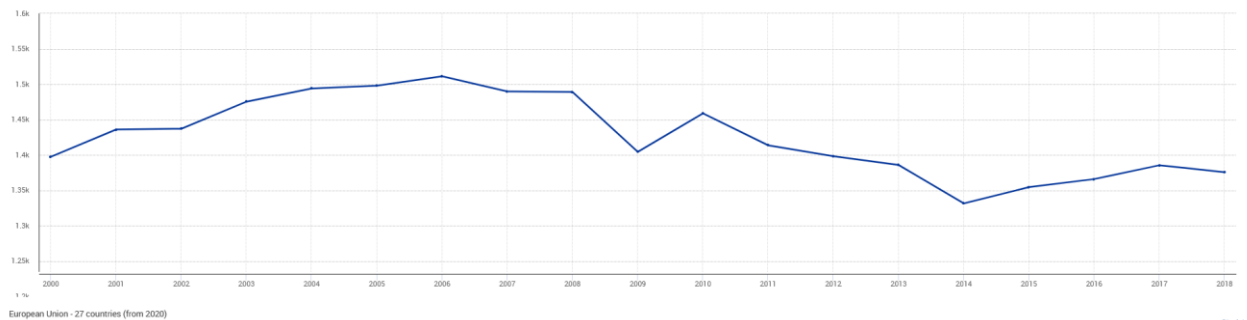
- Μηδενική συμβολή του άνθρακα στην αλυσίδα κατασκευής νέων κτιρίων έως το 2050, που είναι υπεύθυνη για την έκλυση του 36% του συνολικού διοξειδίου του άνθρακα στην Ευρωπαϊκή Ένωση
- Μείωση των εκλύσεων αερίων θερμοκηπίου τουλάχιστο κατά 40% σε σύγκριση με το 1990 μέχρι το 2030.
- Εξοικονόμηση στην κατανάλωση τελικής ενέργειας κατά 50% μέσω της ανακαίνισης του κτιριακού αποθέματος. Αν πραγματοποιείται με ρυθμό τουλάχιστον 3% το χρόνο, αυτό μεταφράζεται σε εξοικονόμηση τουλάχιστον 2,6% στην εισαγωγή ενέργειας από χώρες εκτός Ευρωπαϊκής Ένωσης, κάτι πολύ σημαντικό για την ενεργειακή αυτονομία και βιωσιμότητα της.
- Χορήγηση χρηματικών κινήτρων για τη χρήση ηλεκτρικών οχημάτων καθώς και την ενίσχυση των σχετικών υποδομών (εγκατάσταση φορτιστών κτλ.).

Αυτές οι πολιτικές συνάδουν και με την πολιτική των βιώσιμων στόχων (Sustainable Development Goals, **Εικ. 2**) που έθεσε η γενική συνέλευση των Ηνωμένων Εθνών το 2015 [6], μέσα στην οποία βρίσκονται φυσικά και οι βιώσιμες πόλεις (στόχος 11) και η κλιματική δράση (στόχος 13).



Εικόνα 2: Οι 17 βιώσιμοι στόχοι των Ηνωμένων Εθνών [6].

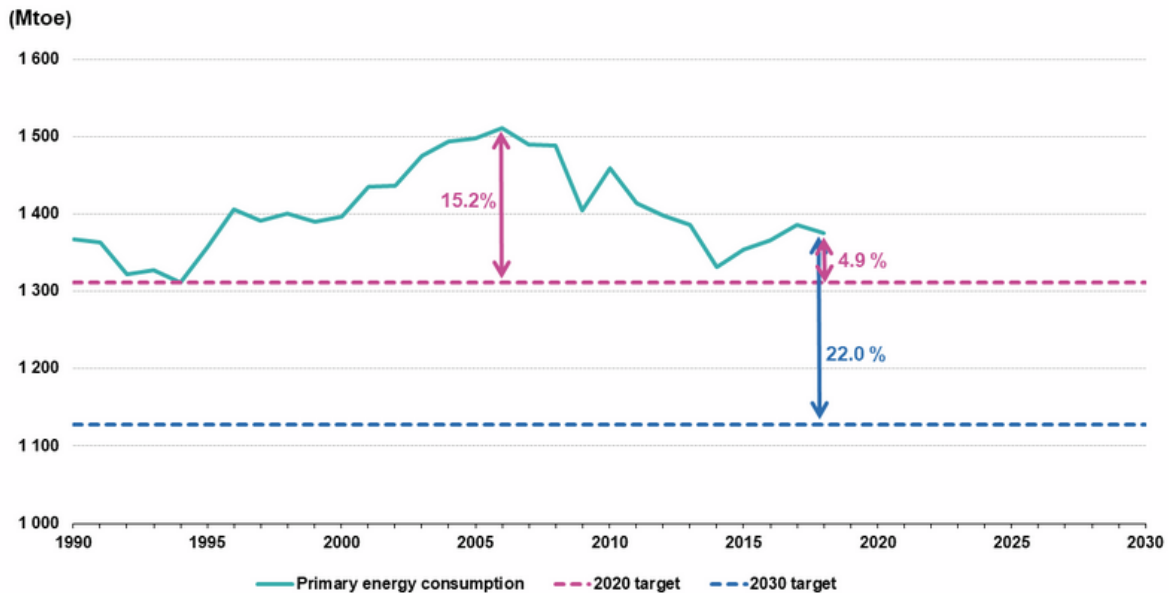
Το αποτέλεσμα των παραπάνω πολιτικών φαίνεται και στην εξέλιξη της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση από το παρακάτω διάγραμμα (Εικ. 3):



Εικόνα 3: Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση [7].

Από την εικόνα φαίνεται ότι η συνολική κατανάλωση όντως έχει μειωθεί, ιδιαίτερα από το υψηλό του 2006. Βέβαια μέρος αυτού μπορεί να αποδοθεί και στην παγκόσμια οικονομική κρίση του 2009 που οδήγησε σε μείωση της επιχειρηματικής δραστηριότητας [8] και μείωση των διαθέσιμων χρημάτων ιδιωτών ακόμα και βασικές τους ανάγκες (ψύξη - θέρμανση οικίας). Φυσικά, υπάρχει ακόμα μεγάλος δρόμος μέχρι να επιτευχθούν οι στόχοι που τέθηκαν με την πιο πρόσφατη Ευρωπαϊκή οδηγία, όπως φαίνεται και από την παρακάτω εικόνα (Εικ. 4).

Distance to 2020 and 2030 targets for primary energy consumption, EU-27



Source: Eurostat (online data code: nrg_ind_eff)

eurostat

Εικόνα 4: Απόσταση κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση από τους στόχους του 2020 και τους στόχους του 2030 [9].

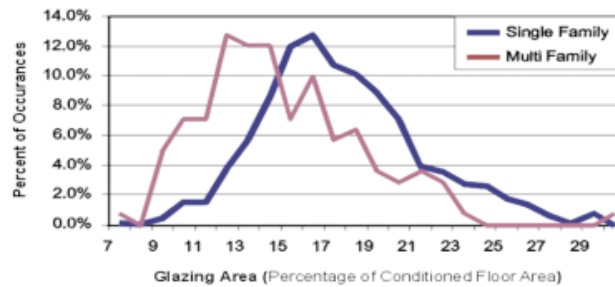
Για να επιτευχθούν οι ανώτεροι στόχοι έχουν θεσπιστεί στην Ελλάδα πολιτικές και προγράμματα ως κίνητρα εφαρμογής μέτρων εξοικονόμησης. Μερικά από αυτά είναι [10]:

- 1) Στα νέα κτίρια που κτίζονται, γίνεται μελέτη ενεργειακής απόδοσης μέσω της οποίας κάθε καινούργιο κτίριο οφείλει να χρησιμοποιεί ηλιακούς συλλέκτες για τη κάλυψη τουλάχιστον του 60% των αναγκών του σε ζεστό νερό χρήσης (όπου αυτό είναι τεχνικά δυνατό).
- 2) Επιδότηση της αλλαγής λέβητα πετρελαίου σε λέβητα φυσικού αερίου για την ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτησίας.
- 3) Μια δράση που λειτούργησε στις αρχές του 2010 ήταν το «Αλλάζω ΚΛΙΜΑτιστικό» που επιδοτούσε την εγκατάσταση νέων αποδοτικότερων κλιματιστικών.
- 4) Μέσω του προγράμματος Ενίσχυση Μικρομεσαίων Επιχειρήσεων που δραστηριοποιούνται στους τομείς Μεταποίησης, Τουρισμού, Εμπορίου – Υπηρεσιών, ήταν δυνατό να εφαρμοστούν διάφορα μέτρα εξοικονόμησης κατανάλωσης ενέργειας όπως μόνωση, αλλαγή κουφωμάτων, αναβάθμιση συστήματος κλιματισμού κτλ.
- 5) Ταυτόχρονα, μέσω του Ταμείου Υποδομών υπάρχει η δυνατότητα για επιδότηση παρεμβάσεων σε δημόσια κτίρια, που στεγάζουν κατά ένα μεγάλο ποσοστό υπηρεσίες.

- 6) Τέλος, με το πιο γνωστό πρόγραμμα στο ευρύ κοινό, το «Εξοικονομώ Κατ' οίκον II», μπορούν οι οικιακοί καταναλωτές να επιδοτηθούν για διάφορες δράσεις εξοικονόμησης στην κύρια οικία τους, ενώ με την πιο καινούργια του έκδοση το «Εξοικονομώ – Αυτονομώ» γίνονται πιο ευρείες οι δράσεις που περιλαμβάνουν (όπως μηχανικός αερισμός, αυτοματισμοί σε σπίτι για συστήματα κ.ο.κ.).

Καθώς η εξοικονόμηση ενέργειας στα σπίτια έχει διεισδύσει στη καθημερινή ζωή μας λόγω της προσπάθειας που κάνει το ελληνικό κράτος να ακολουθήσει τους στόχους που έχουν τεθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση μέσω των προαναφερθέντων προγραμμάτων, η εξοικονόμηση ενέργειας σε κτίρια τριτογενούς τομέα παραμένει ακόμα σε εμβρυικό επίπεδο. Συνεπώς η διερεύνηση όλων των πιθανών σεναρίων εξοικονόμησης ιδιαίτερα σε κτίρια με χρήσεις πολύ πιο απαιτητικές όπως γραφεία, ξενοδοχεία έχει μεγάλη αξία γιατί:

- 1) Συνήθως τέτοια μεγάλα κτίρια ανήκουν εξ' ολοκλήρου σε έναν ιδιοκτήτη και συνεπώς υπάρχει μεγαλύτερη ευχέρεια εφαρμογής ριζικών παρεμβάσεων από την απαίτηση σε ίδιας έκτασης κτίρια (όπως πολυκατοικίας) να υπάρξει συναίνεση και συνεννόηση σε όλους τους διαφορετικούς ιδιοκτήτες.
- 2) Τα περισσότερα σπίτια έχουν πολύ χαμηλό ποσοστό παραθύρων επί του συνολικού κελύφους του κτιρίου (συνήθως από 11% έως 20% [11], βλέπε **Εικ. 5**). Εν αντιθέσει, τα κτίρια τριτογενούς τομέα μπορεί να φτάσουν πολύ παραπάνω τιμές λόγω της υψηλής χρήσης γυάλινων προσόψεων.



Εικόνα 5: Ποσοστό έκτασης διαφανών επιφανειών σε πολυκατοικίες (ροζ γραμμή) και μονοκατοικίες (μπλε γραμμή) [11].

- 3) Τα κτίρια τριτογενούς τομέα έχουν πολύ απαιτητικές ανάγκες σε ενέργεια λόγω της διαφορετικής χρήσης (είτε π.χ. σε ζεστό νερό χρήσης για ξενοδοχεία, είτε σε αερισμό, είτε σε φωτισμό κτλ.) οι οποίες δε συναντιούνται σε κατοικίες που έχουν πιο απλούστερες απαιτήσεις. Για παράδειγμα, τα γραφεία στις Ηνωμένες Πολιτείες χρησιμοποιούν έως και διπλάσια ενέργεια ανά τετραγωνικό (**Εικ. 6**), ενώ η χρήση ενέργειας τους είναι πολύ πιο πολύπλοκη από απλά ZNX – ψύξη – θέρμανση (**Εικ. 7**).

Average energy use intensity by building type in USA

Building type	kWh/m ² year	Ratio
Dwellings	147	1
Retail	233	1.6
Schools	262	1.8
Offices	293	2
Hotels	316	2.1
Supermarkets	631	4.3
Hospitals	786	5.3
Restaurants	814	5.5

Εικόνα 6: Μέση χρήση ενέργειας σε kWh/m² για διάφορα είδη χρήσης [12].

Energy consumption in offices by end use

Energy end uses	USA (%)	UK (%)	Spain (%)
HVAC	48	55	52
Lighting	22	17	33
Equipment (appliances)	13	5	10
DHW	4	10	–
Food preparation	1	5	–
Refrigeration	3	5	–
Others	10	4	5

Εικόνα 7: Κατανάλωση ενέργειας σε ποσοστό ανά κατηγορία χρήσης σε USA, UK και Ισπανία [12].

1.3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΚΙΑΣΗΣ – ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Ένα από τα μέτρα που επιδοτείται από τα προαναφερθέντα προγράμματα είναι η τοποθέτηση σταθερών ή κινητών συστημάτων καταδεικνύοντας τη σημασία τους στην εξοικονόμηση ενέργειας. Ιστορικά, η σκίαση ήταν από την αρχαιότητα πολύ σημαντική και την είχε επισημάνει ο Σωκράτης (όπως διηγείται ο Ξενοφώντας στα «Απομνημονεύματα Σωκράτους») [13]:

«Όταν κάποιος θέλει να χτίσει ένα σπίτι, δεν πρέπει να το κάνει όσο γίνεται πιο ευχάριστο, αφού θα ζήσει μέσα σ' αυτό, και όσο πιο χρήσιμο γίνεται; Και δεν είναι ευχάριστο ένα σπίτι που το καλοκαίρι είναι δροσερό και το χειμώνα ζεστό; Τώρα, από την εμπειρία μας βλέπουμε ότι στα σπίτια που έχουν νότιο προσανατολισμό, οι ακτίνες του ήλιου περνούν μέσα από τις

στοές (σκεπαστές βεράντες), αλλά το καλοκαίρι η διαδρομή του ήλιου είναι ακριβώς πάνω από τα κεφάλια μας και πάνω από την οροφή, έτσι έχουμε σκιά...»

Την ίδια άποψη υιοθετούσε αυστηρά και ο Αισχύλος, λέγοντας:

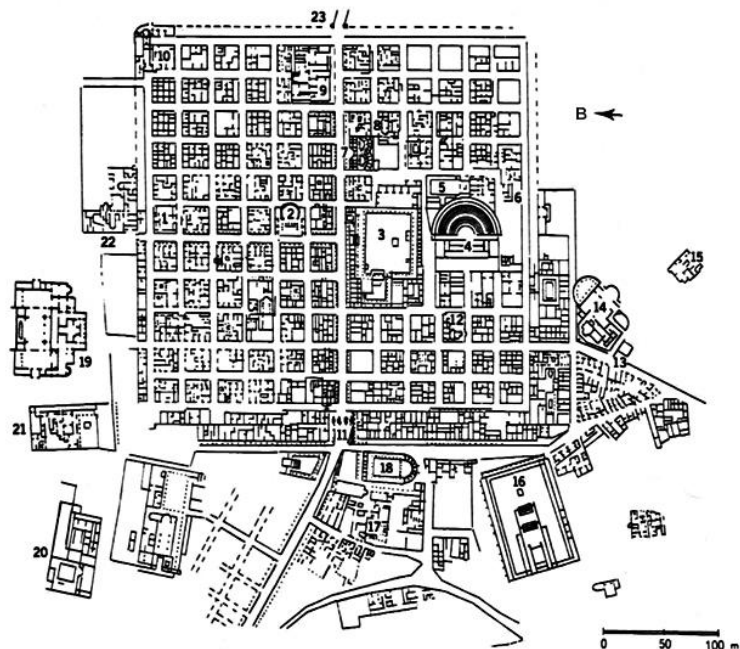
«Μόνο οι πρωτόγονοι και οι βάρβαροι δεν γνωρίζουν τον τρόπο να κάνουν τα σπίτια τους να αντικρίζουν τον ήλιο το χειμώνα».

Οι αρχαίοι αρχιτέκτονες ακολούθησαν αυτές τις τεχνικές στην δόμηση πόλεων και αρχιτεκτονική κατοικιών, δημιουργώντας δύο διαφορετικές πόλεις παραδείγματα της σωστής δόμησης με γνώμονα τη σωστή σκίαση των χώρων εντός του σπιτιού, με πρώτη την Πριήνη (Εικ. 8).



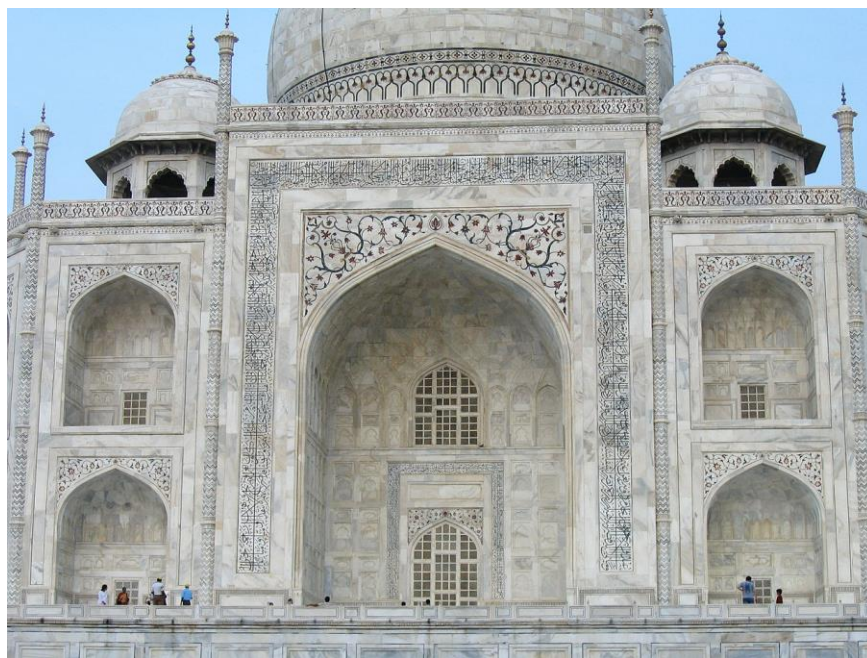
Εικόνα 8: Πριήνη, μια αρχαία πόλη χτισμένη στην νότια πλευρά του βουνού Μυκάλη [14].

Η Πριήνη κατασκευάστηκε εξ' ολοκλήρου σε νότια πλευρά βουνού ώστε να εκμεταλλεύεται πλήρως τον ηλιασμό τον χειμώνα και την σκίαση το καλοκαίρι. Αντίστοιχα και ο Όλυνθος χτίστηκε με τον ίδιο τρόπο, ενώ στις κατοικίες του υπήρχε ψηλός βορεινός τοίχος για την προστασία από τους βόρειους κρύους ανέμους (Εικ. 9).



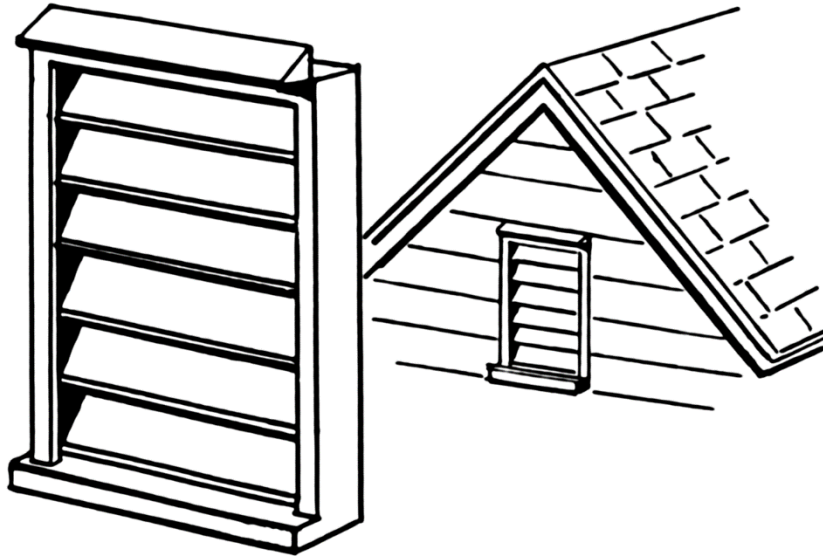
Εικόνα 9: Ο Όλυθος είχε προσανατολισμό στους δρόμους από τη Δύση στην Ανατολή εκμεταλλευόμενος τη παθητική ηλιακή σκίαση [15].

Αντίστοιχες τεχνικές υιοθετήθηκαν και επόμενες εποχές από Πέρσες, Σασσανίδες και Ισλαμικά γενικά κράτη με τη χρήση των iwan. Τα iwan (Εικ. 10) είναι ψηλές πύλες που τοποθετούνται μπροστά από τις εισόδους μεγάλων κτιρίων για πρόσθετη σκίαση του κτιρίου.



Εικόνα 10: Εικόνα ενός iwan σε είσοδο του Taj Mahal.

Άλλο είδος σκίασης που επικράτησε σε σπίτια από τον Μεσαίωνα είναι οι γρίλιες (σε εξώφυλλα ή σταθερές), που είναι οριζόντια πηγάκια υπό γωνία για να αφήνουν μέσα το διαχέων φως και τον αέρα, αλλά να κρατάνε έξω τη βροχή και την άμεση ακτινοβολία (Εικ. 11).



Εικόνα 11: Γρίλιες σε σπίτι.

1.4 ΣΤΟΧΟΙ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο στόχος της διπλωματικής είναι η ποσοτική διερεύνηση της επίπτωσης της σκίασης στην ενεργειακή απόδοση ενός κτιρίου τριτογενούς τομέα (συγκεκριμένα ένα γραφείο), καθώς και η επίδραση εγκατεστημένων αυτοματισμών σε αυτό με διάφορα σενάρια όπως:

- 1) Σκίαση οριζόντια από διπλανά κτίρια
- 2) Σκίαση από σταθερούς προβόλους
- 3) Αυτοματισμός φωτισμού χώρου
- 4) Αυτοματισμός ενεργοποίησης – απενεργοποίησης περσίδων τοποθετημένες εντός και εκτός του κτιριακού κελύφους είτε λόγω θάμβωσης, είτε λόγω υπερβολικού φορτίου ψύξης, είτε λόγω πρόσπτωσης ηλιακής ακτινοβολίας.
- 5) Συνδυασμός των ανωτέρω.

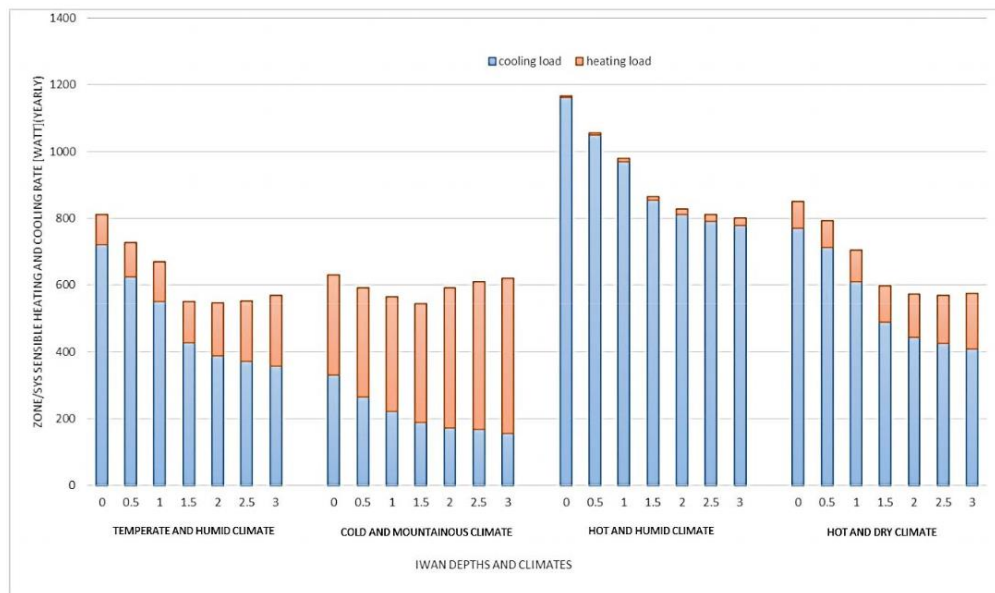
Η έρευνα θα γίνει με δυο διαφορετικά προγράμματα, το TEE KENAK, το επίσημο εργαλείο του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος για την διαπίστευση ενεργειακής κατανάλωσης κτιρίων

και το EnergyPlus, αντίστοιχο εργαλείο εγκεκριμένο από το Υπουργείο Ενέργειας των Ηνωμένων Πολιτειών. Αυτό θα γίνει για μια άμεση σύγκριση των δυνατοτήτων των δύο προγραμμάτων στην ακριβή απεικόνιση κατανάλωσης ενέργεια κτιρίων.

Θα μελετηθεί ένας όροφος κτιρίου γραφείων με ανοίγματα προς όλες τις κατευθύνσεις βασισμένο σε πραγματικό κτίριο. Η ανάλυση θα βασιστεί τόσο στις ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση, ψύξη και φωτισμό όσο και σε συνολική καταναλισκόμενη πρωτογενής ενέργεια με βάση τα συστήματα που διαθέτει. Παράλληλα όλα τα ανωτέρω σενάρια θα προσομοιωθούν για δύο περιπτώσεις: αμόνωτου και μονωμένου κτιρίου με σκοπό να παρουσιαστεί η επίδραση της σκίασης σε σχέση με τη μονωτική ικανότητα του κελύφους.

2. ΣΧΕΤΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

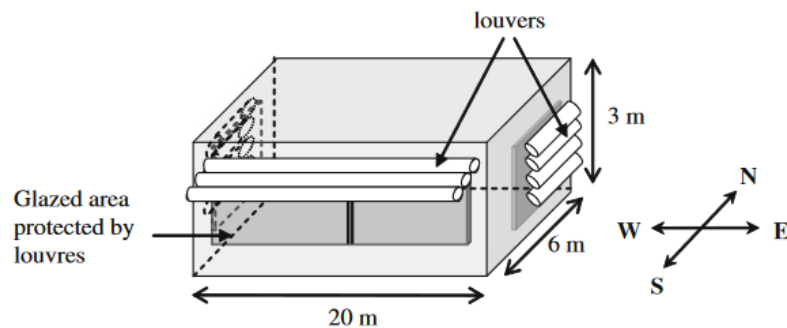
Οι Eskandari et al εξέτασαν την επίδραση των iwan, της παραδοσιακής αυτής ισλαμικής αρχιτεκτονικής τεχνικής σκίασης στην ενεργειακή κατανάλωση ενός κτιρίου. Συγκεκριμένα χρησιμοποίησαν το EnergyPlus για να προσομοιώσουν την κατανάλωση ενός κτιρίου με 4 διαφορετικούς τύπους iwan στις 4 κατευθύνσεις του ορίζοντα σε 4 διαφορετικές κλιματικές ζώνες [16]. Αφού συμπέραναν ότι η καταλληλότερη κατεύθυνση είναι ο νότος, ερεύνησαν το ιδανικό βάθος του Iwan για κάθε περιοχή (**Εικ. 12**):



Εικόνα 12: Θερμικά φορτία για τέσσερις διαφορετικές κλιματικές ζώνες σε σχέση με το βάθος των iwan (kW/έτος) [16].

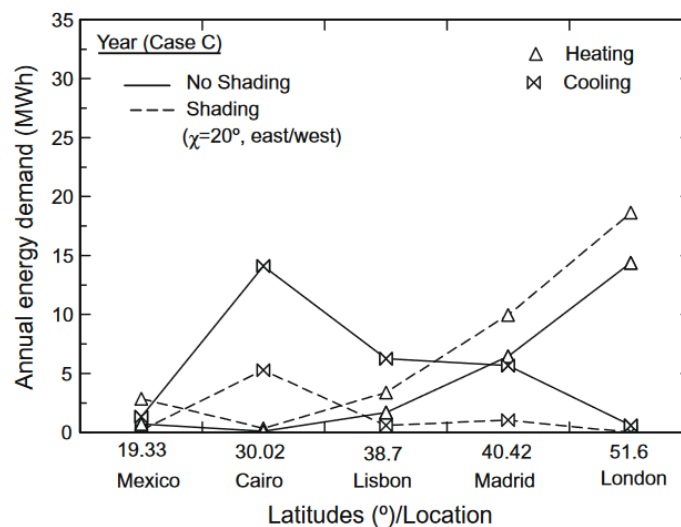
Κατέληξαν ότι τα *iwan* μειώνουν την ενεργειακή κατανάλωση κτιρίου κατά 32% σε εύκρατο και υγρό κλίμα, 26% σε ζεστό και υγρό κλίμα, 29% σε ξηρό και ζεστό κλίμα και 14% σε κρύο κλίμα, καταδεικνύοντας τη σημασία της σκίασης.

Αντίστοιχα, οι Ana et al. εξέτασαν την επίδραση των γριλιών στην ενεργειακή οικονομία ενός κτιρίου χρησιμοποιώντας δύο διαφορετικά προγράμματα (EES για την γεωμετρία της σκίασης και την ενεργειακή προσομοίωση μέσω του TRNSYS) [17]. Όπως φαίνεται στην **Εικ. 13** εξετάστηκαν οριζόντιες και κάθετες γριλίες:



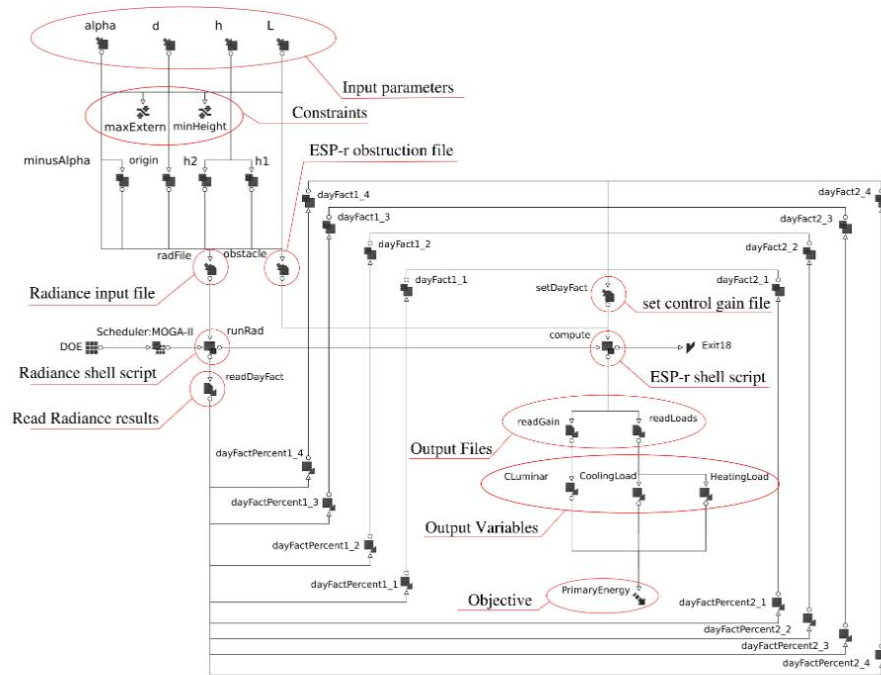
Εικόνα 13: Χρήση γριλιών για την προστασία κουφωμάτων (οριζόντια για νότο και κάθετα δύση/ανατολή) [17].

Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η σκίαση με γρίλιες μειώνει σημαντικά τις απαιτήσεις σε θέρμανση, ιδιαίτερα σε περιοχές με μεγάλη ηλιοφάνεια (όπως π.χ. το Κάιρο), αλλά αυξάνει τις απαιτήσεις σε θέρμανση, το οποίο επηρεάζει περιοχές με χαμηλή ηλιοφάνεια (όπως το Λονδίνο, **Εικ. 14**).



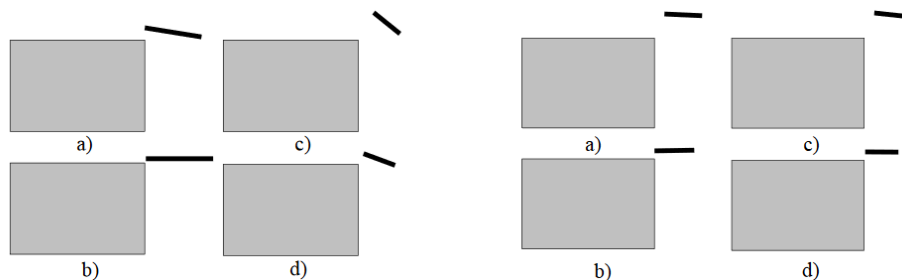
Εικόνα. : Ενεργειακή απαίτηση σε MWh για ένα κτίριο με γρίλιες και κτίριο χωρίς σκίαση για διαφορετικές πόλεις [17].

Οι Marko Manzan και Francesco Pinto χρησιμοποίησαν μια διαφορετική προσέγγιση, της γενετικής βελτιστοποίησης για να βρεθεί η βέλτιστη γεωμετρία για σταθερή εξωτερική σκίαση ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση, ψύξη και φωτισμό [18]. Οι θερμικές προσομοιώσεις έγιναν μέσω του ESP-r και του φωτισμού μέσω του λειτουργικού Radiance, ενώ η γενετική βελτιστοποίηση έγινε μέσω του modeFRONTIER όπου στην επόμενη εικόνα φαίνεται το διάγραμμα ροής που χρησιμοποιήθηκε (Εικ. 15).



Εικόνα 15: Διάγραμμα ροής του modeFRONTIER [18].

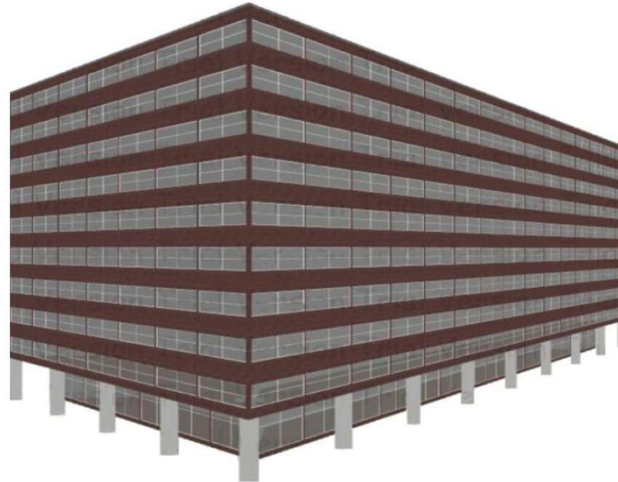
Μέσω αυτής της προσομοίωσης, κατέληξαν ότι συνολικά το μεγαλύτερο μήκος είναι προτιμητέο και όταν υπάρχει η δυνατότητα για μεγαλύτερο μήκος η προσομοίωση τείνει να οριζοντιώνει τα σκίαστρα. Αντιθέτως, αν υπάρχει περιορισμός για το μέγεθος του σκίαστρου προτιμάται η κεκλιμένη γεωμετρία του, καθώς και η ανώτερη τοποθέτηση του από το ύψος των τοίχων που καλύπτει (ώστε να καλύπτει μεγαλύτερη επιφάνεια, Εικ. 16).



Εικόνα 16: Γεωμετρίες που προέκυψαν από διαφορετικά μήκη μέσω του λειτουργικού modeFRONTIER [18].

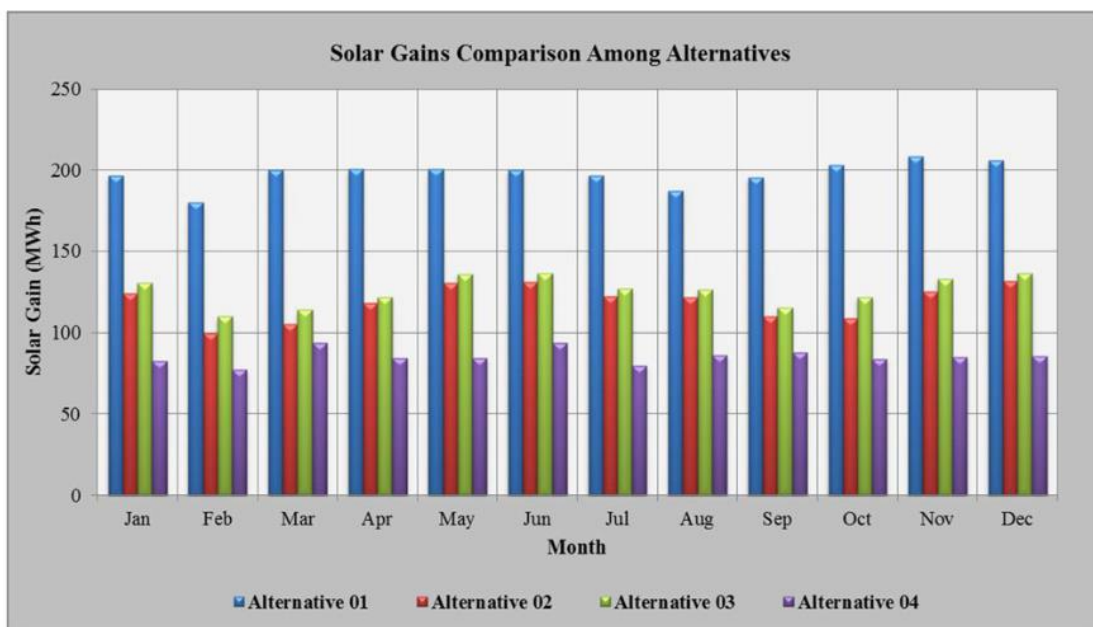
Ο Abdelsalam Aldawoud ερεύνησε την διαφορά στην ενεργειακή απόδοση ενός κτιρίου γραφείων (**Εικ. 17**) στο οποίο εφάρμοσε τρία διαφορετικά σενάρια εξοικονόμησης ενέργειας:

- 1) Σκίαση με οριζόντιους προβόλους 1.5 μέτρο.
- 2) Σκίαση με τους προηγούμενους προβόλους συν τη προσθήκη πλάγιων φτερών για περαιτέρω σκίαση του κτιρίου.
- 3) Χρήση ηλεκτροχρωμικών υαλοπινάκων στα κουφώματα.



Εικόνα 17: Κτίριο που προσομοιώθηκε στη βασική του μορφή χωρίς κανένα μέτρο [19].

Κάνοντας προσομοιώσεις έβγαλε τις παρακάτω συγκρίσεις (**Εικ. 18-19**):



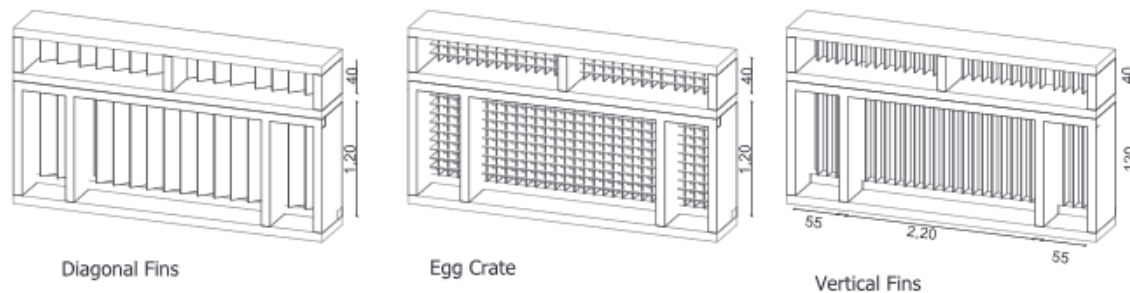
Εικόνα 18: Ηλιακά κέρδη μεταξύ των εναλλακτικών σεναρίων [19].

Month	Alternative 01 kW	Alternative 02 kW	Alternative 03 kW	Alternative 04 kW
January		-37%	-34%	-58%
February		-44%	-39%	-57%
March		-47%	-43%	-53%
April		-41%	-39%	-58%
May		-35%	-32%	-58%
June		-34%	-32%	-53%
July		-38%	-35%	-59%
August		-35%	-33%	-54%
September		-44%	-41%	-55%
October		-46%	-40%	-59%
November		-40%	-36%	-59%
December		-36%	-34%	-59%

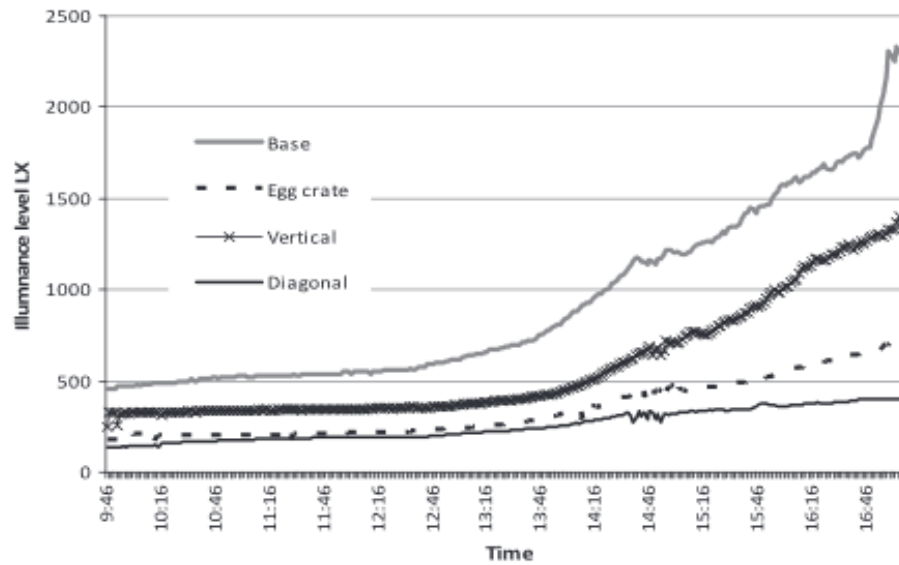
Εικόνα 19: Ποσοστιαία μείωση μεταξύ των εναλλακτικών σεναρίων σε σχέση με το βασικό σενάριο [19].

Στην έρευνα του παρατηρεί ότι αν και οι σκιάσεις έχουν πολλές μεταβλητές (όπως το κλίμα, το μέγεθος της ηλιοφάνειας κτλ.) και για αυτό το 3^ο σενάριο παρόλο που έχει παραπάνω σκίαση δεν αποδίδει καλύτερα, το ηλεκτροχρωματικό παράθυρο αποδίδει καλύτερα και με μεγάλη διαφορά με σχεδόν σταθερή διαφορά ανεξάρτητα του μήνα, καταδεικνύοντας τη μεγάλη προσαρμοστικότητα του.

Αντίστοιχα ο Ahmed Freewan διερεύνησε την επίδραση των συστημάτων σκίασης (οριζόντια, κάθετα και "θήκες αυγού", **Εικ. 20**) όχι μόνο στην ενεργειακή απόδοση αλλά και στην θερμοκρασία αέρα, θερμική άνεση και επίπεδο φωτισμού (**Εικ. 21**) σε γραφεία σε ζεστά κλίματα [20].

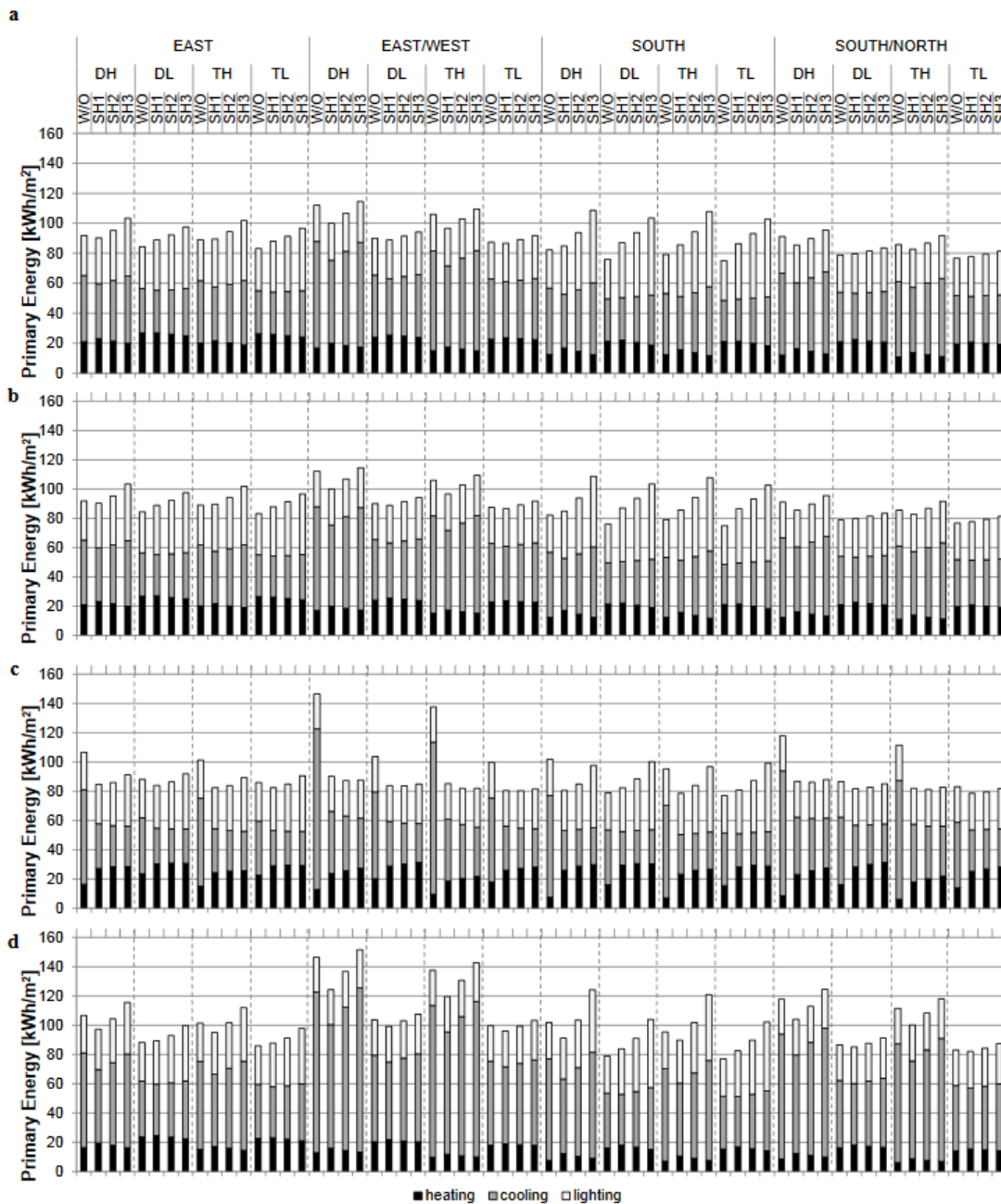


Εικόνα 20: Είδη σκίασης που χρησιμοποιήθηκαν στη προσομοίωση [20].



Εικόνα 21: Επίπεδο φωτισμού σε χώρο γραφείου συγκριτικά με το βασικό σενάριο τον Ιούλιο.

Οι Anna Atzeri et al. εξέτασαν την διαφορά μεταξύ εσωτερικών και εξωτερικών συστημάτων σκίασης σε κτίριο γραφείων με μικρό και μεγάλο ποσοστό διαφανών επιφανειών χρησιμοποιώντας το EnergyPlus [21]. Η θερμική άνεση ερευνήθηκε με τη μέθοδο που περιγράφεται στο EN ISO 7730:2005 [22], της προβλεπόμενης μέσης ψήφου (Predicted Mean Vote), ενώ παρατίθενται τα αποτελέσματα της έρευνας ως προς τις ενεργειακές απαιτήσεις (Εικ. 22):



Εικόνα. 22: Ενεργειακές απαιτήσεις με μικρό ποσοστό διαφανών επιφανειών με (a) εξωτερική κ' (b) εσωτερική σκίαση, και αντίστοιχα για μεγάλο ποσοστό (c) και (d) [21].

Παρατηρείται ότι η εξωτερική σκίαση μειώνει κατά πολύ τις απαιτήσεις για ψύξη με μικρή αύξηση των θερμικών απαιτήσεων, η εσωτερική σκίαση αυξάνει κατά πολύ το απαιτούμενο ψυκτικό φορτίο χωρίς αντίστοιχη μείωση του θερμικού φορτίου.

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η σκίαση έχει μεγάλη επιρροή στην ενεργειακή απόδοση, ιδιαίτερα με την αυξημένη επιφάνεια διαφανών επιφανειών που συναντάται σε κτίρια τριτογενούς τομέα και συγκεκριμένα στη περίπτωση μας, γραφεία, κάτι που επισημάνθηκε και στη σχετική προαναφερθείσα βιβλιογραφία. Θα χρησιμοποιηθούν δύο διαφορετικά προγράμματα (TEE KENAK και EnergyPlus) για την προσομοίωση του κτιρίου που θα επιλεγεί και των σεναρίων σκίασης του, τα οποία θα αναλυθούν παρακάτω.

3.1 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ

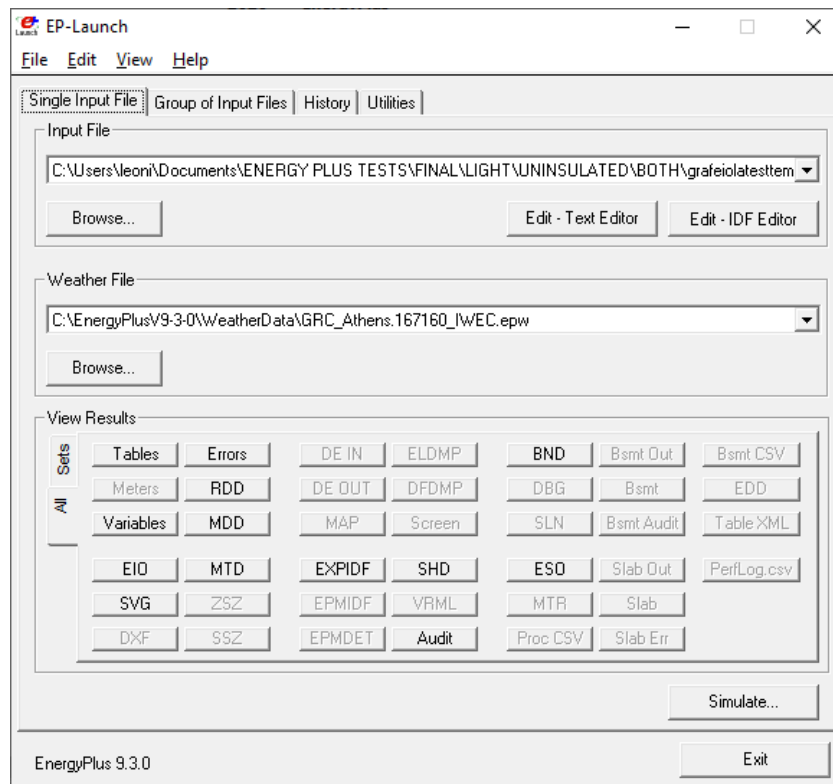
Για την σφαιρικότερη αντιμετώπιση της και ως ένας τρόπος σύγκρισης των αποτελεσμάτων θα χρησιμοποιηθούν δύο κυρίως προγράμματα για την προσομοίωση της ενεργειακής κατανάλωσης του επιλεγθέντος κτιρίου, το EnergyPlus και το TEE KENAK.

Το EnergyPlus είναι ένα ευρέως διαδεδομένο πρόγραμμα προσομοίωσης κτιρίων το οποίο αναπτύχθηκε το 2001 από το Lawrence Berkeley National Laboratory και του οποίου η ανάπτυξη συνεχίζεται μέχρι και τώρα. Προσφέρει σύμφωνα με την επίσημη περιγραφή του [23]:

- Ολοκληρωμένη, ταυτόχρονη λύση συνθηκών θερμικής ζώνης και απόκριση συστήματος HVAC που δεν προϋποθέτει ότι το σύστημα HVAC μπορεί να καλύψει φορτία ζώνης και μπορεί να προσομοιώσει χώρους χωρίς κλιματισμό ή ακόμα και υποκλιματιζόμενους.
- Λύση βασισμένη στη θερμική ισορροπία και ακτινοβολία που παράγει επιφανειακές θερμοκρασίες, θερμική άνεση και συμπύκνωση.
- Υποωριαία, καθοριζόμενα από τον χρήστη χρονικά βήματα για αλληλεπίδραση μεταξύ θερμικών ζωνών και περιβάλλοντος, με αυτόματα ποικίλα χρονικά βήματα για αλληλεπιδράσεις μεταξύ θερμικών ζωνών και συστημάτων HVAC. Αυτά επιτρέπουν στο EnergyPlus να μοντελοποιεί συστήματα με γρήγορη δυναμική, ενώ παράλληλα ανταλλάσσει ταχύτητα προσομοίωσης για ακρίβεια.
- Συνδυασμένο μοντέλο μεταφοράς θερμότητας και μάζας που αντιπροσωπεύει την κίνηση του αέρα μεταξύ των ζωνών.
- Προηγμένα μοντέλα διαφανών επιφανειών, συμπεριλαμβανομένων των ελεγχόμενων περσίδων παραθύρων, των ηλεκτροχρωμικών υαλοπινάκων και των ισοζυγίων θερμότητας ανά στρώμα που υπολογίζουν την ηλιακή ενέργεια που απορροφάται από τους υαλοπίνακες.

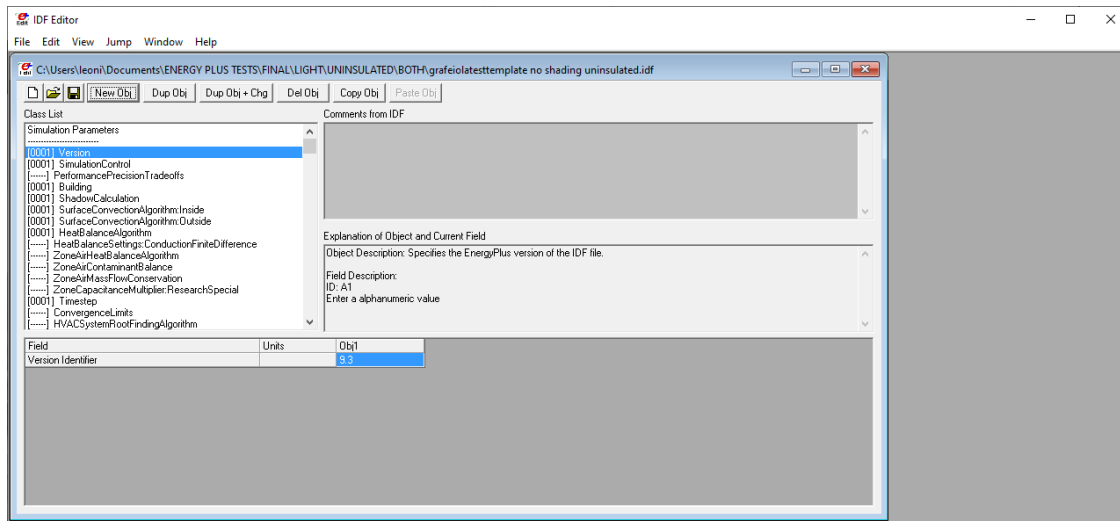
- Υπολογισμοί φωτισμού και λάμψης για την αναφορά της οπτικής άνεσης και την οδήγηση των ελέγχων φωτισμού.
- HVAC βάσει συστατικών που υποστηρίζει τυπικές και νέες διαμορφώσεις συστήματος.
- Ένας μεγάλος αριθμός ενσωματωμένων HVAC και στρατηγικών ελέγχου φωτισμού και ένα επεκτάσιμο σύστημα εκτέλεσης script για έλεγχο από τον χρήστη.
- Λειτουργική εισαγωγή και εξαγωγή διασύνδεσης mockup για συν-προσομοίωση με άλλες μηχανές.
- Τυπική περίληψη και αναλυτικές αναφορές εξόδου, καθώς και αναφορές προσδιορίσιμες από τον χρήστη με επιλέξιμη ανάλυση χρόνου από ετήσια έως ωριαία, όλα με πολλαπλασιαστές πηγών ενέργειας.

Παρακάτω είναι η εικόνα έναρξης του EnergyPlus (Εικ. 23):



Εικόνα 23: Εικόνα έναρξης του EnergyPlus.

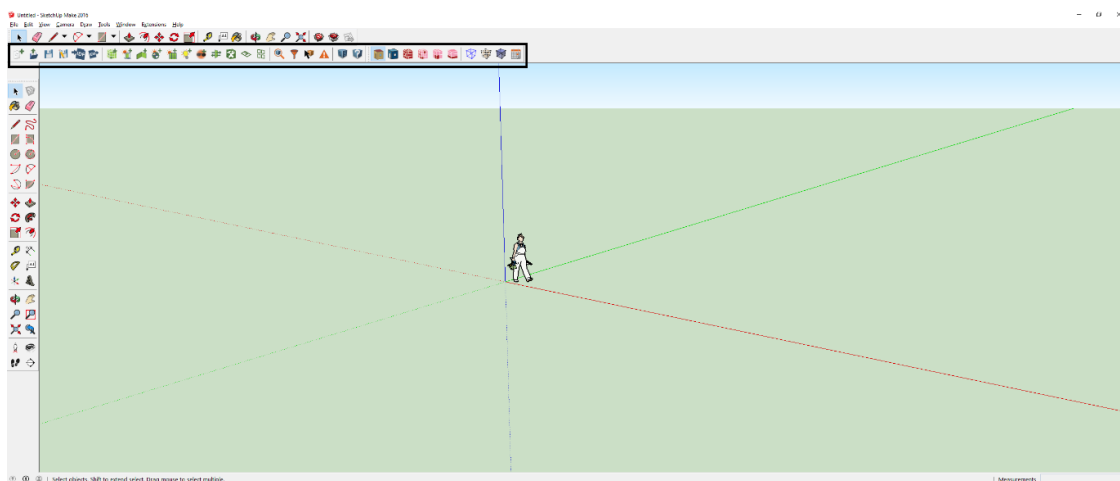
Τα βασικά στοιχεία είναι το αρχείο εισαγωγής μορφής .idf, το αρχείο καιρού για κλιματικά δεδομένα και ο πίνακας για την ανάγνωση των αποτελεσμάτων μετά την προσομοίωση. Το .idf αρχείο είναι το αρχείο όπου υπάρχουν όλα τα απαραίτητα δεδομένα που έχουν δοθεί, και το EnergyPlus διαθέτει δικό του επεξεργαστή που είναι όπως φαίνεται στη παρακάτω εικόνα (Εικ. 24):



Εικόνα 24: Εικόνα έναρξης του .idf επεξεργαστή του EnergyPlus.

Το EnergyPlus λειτουργεί με αντικειμενοστραφή τρόπο, δηλαδή κάθε στοιχείο του κτιρίου, είτε είναι τοίχος, είτε είναι παράθυρο, είτε HVAC σύστημα, είτε ακόμα και πρόγραμμα παρουσίας στη θερμική ζώνη αντικατοπτρίζεται σε ένα object. Το πιο εμφανές μειονέκτημα όμως του EnergyPlus είναι η έλλειψη γραφικού περιβάλλοντος που να αντικατοπτρίζει με εμφανή τρόπο τα προαναφερθέντα objects, καθώς τυπικά η γεωμετρία όλων των στοιχείων του κτιρίου εισάγεται μέσω object με ένα πολύπλοκο σύστημα συντεταγμένων, το οποίο ειδικά για μεγάλα κτίρια είναι σχεδόν αδύνατο να γίνει με το χέρι. Έτσι έχουν αναπτυχθεί διάφορα προγράμματα μοντελοποίησης για την εισαγωγή κτιρίων στο EnergyPlus, ένα από τα οποία είναι το SketchUp, σε συνδυασμό με το plugin του OpenStudio.

Το SketchUp είναι ένα πρόγραμμα τρισδιάστατης μοντελοποίησης που χρησιμοποιείται για διάφορες εφαρμογές όπως αρχιτεκτονικές, μηχανολογικές, ενεργειακές κοκ., με την αρχική του οθόνη να είναι όπως παρακάτω (Εικ. 25, φαίνονται οι 3 γραμμές για τις 3 διαστάσεις, κόκκινη για δύση, πράσινη για βορρά και μπλε και πάνω):



Εικόνα 25: Αρχική εικόνα του SketchUp. Με μαύρο η λωρίδα του plugin OpenStudio.

Το SketchUp έχει ένα περιβάλλον που θυμίζει αρκετά εφαρμογές AutoCAD, αλλά σε πιο απλοποιημένη μορφή. Μέσω αυτού, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να σχεδιάσει ακριβώς τη μορφή του κτιρίου που θέλει. Παρ' όλα αυτά, το SketchUp μόνο του μπορεί να σχηματίσει μόνο το σχήμα του κτιρίου, κάτι που από μόνο του δε μπορεί να αναγνωρίσει το EnergyPlus. Εδώ υπεισέρχεται το plugin OpenStudio, μέσω του οποίου οι τοίχοι, παράθυρα, επιφάνειες που δημιουργούνε σκίαση, ζώνες κτλ. μεταφράζονται σε αρχείο .idf έτοιμο προς ανάγνωση και περαιτέρω τροποποίηση από τον χρήστη.

Το άλλο που θα χρησιμοποιηθεί είναι το TEE-KENAK (Εικ. 26). Το TEE-KENAK δημιουργήθηκε από το Τεχνικό Επιμελητήριο της Ελλάδος, ωστόσο πρέπει να σημειωθεί ότι το ίδιο ήταν ένα fork ενός άλλου ευρωπαϊκού project, «Energy Performance Assessment of existing Non-Residential buildings» [24]. Αυτό το εργαλείο αναβαθμίστηκε από το TEE (σε συνεργασία με το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών) για προσαρμογή στις τοπικές ιδιαιτερότητες του ελληνικού κλίματος. Από την ίδρυσή της, ενσωματώνει πολλές ηλεκτρονικές βιβλιοθήκες που συμμορφώνονται με τις τεχνικές οδηγίες των προαναφερόμενων πολιτικών και οι μέθοδοι υπολογισμού έχουν έκτοτε πιστοποιηθεί από το Ευρωπαϊκό Πρότυπο ΕΛΟΤ (Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης) [25]. Χρησιμοποιώντας το TEE-KENAK θα δημιουργηθεί ένα ενεργειακό ισοζύγιο της ενεργειακής χρήσης του κτηρίου όπως αντίστοιχα θα γίνει και με το EnergyPlus και στη συνέχεια θα συγκριθούν μεταξύ τους τα διάφορα σενάρια σκιάσεις που θα προσομοιωθούν.

The screenshot shows the TEE-KENAK software interface. The window title is "Ενεργειακή Επιθεώρηση Κτιρίων - [Untitled] - [Γενικά στοιχεία ενεργειακής επιθεώρησης]". The interface is in Greek and contains several sections for data entry:

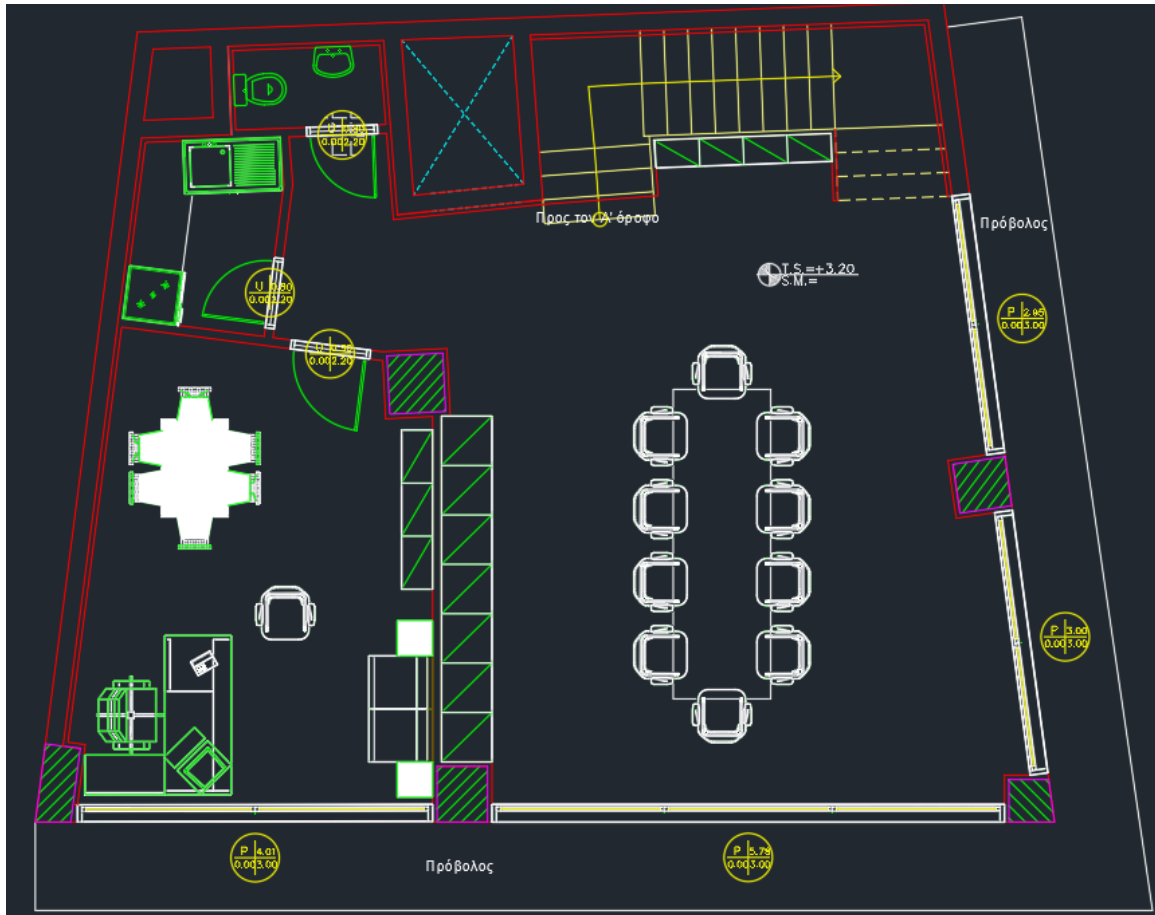
- Γενικά στοιχεία κτιρίου:** Includes a dropdown for "Χρήση κτιρίου", a "Εισαγωγή στοιχείων" button, and fields for "Κτίριο Αριθμός", "Κτιριακή μονάδα", "Τίτλος", "ΚΑΕΚ", "Ιδιοκτησιακό καθεστώς", "Όνομα ιδιοκτήτη", "Ταχυδρομική διεύθυνση", "Υπεύθυνος", "Όνοματεπώνυμο", "Τηλέφωνο / Φαξ", and "Ηλεκτρονικό ταχυδρομείο".
- Κατάσταση κατοικιών:** A table with columns: Κατάσταση κατοικιών, Συνοπτική περιγραφή, Πηγή, Έτος Ωκ. Αδ., Έτος.
- Κλιματολογικά δεδομένα:** Includes checkboxes for "Παλιό", "P.C. ανακαινισμένο (Κ.Εν.Α.Κ.)", "Νέο (Κ.Εν.Α.Κ.)", "P.C. ανακαινισμένο (αναθ. Κ.Εν.Α.Κ.)", and "Νέο (αναθ. Κ.Εν.Α.Κ.)". It also has a dropdown for "Κλιματολογικά δεδομένα" and checkboxes for "Υψόμετρο πάνω από 500 (m)" and "Ζώνη".
- Πηγές δεδομένων:** Includes checkboxes for "Αρχιτεκτονικά σχέδια", "Φωτό Συντήρησης Λέβητα", "Φωτομετρικά αρχεία φωτιστικών σωμάτων, μελέτη φωτισμού", "H.M. Σχέδια", "Φωτό Συντήρησης Συστήματος Κλιματισμού", "Εντυπο Ενεργειακής Επιθεώρησης Συστήματος Θέρμανσης", "Τυπολόγια ενεργειακών καταναλώσεων", "Εντυπο Ενεργειακής Επιθεώρησης Συστήματος Κλιματισμού", "Δείγνια αποστολής ή τυπολόγια αγοράς υλικών", and "Πληροφορίες από Διοκίτη/Διακεμιστή".

At the bottom, the footer reads: "Λογισμικό TEE - KENAK - [Ενεργειακή Πιστοποίηση Κτιρίων] - Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος - Copyright © TEE 2010".

Εικόνα. : Αρχική εικόνα του TEE-KENAK.

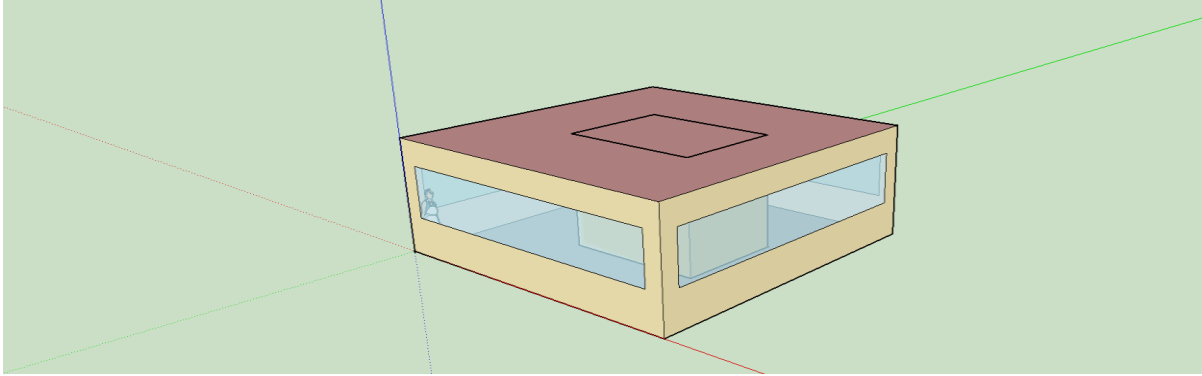
3.2 ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΚΤΙΡΙΟ

Βασισμένο σε πραγματικό κτίριο γραφείων, το κτίριο που θα προσομοιωθεί επιλέχθηκε με γνώμονα την όσο πιο μικρότερη επιρροή της γεωμετρίας του με σκοπό την ολοκληρωμένη διερεύνηση γύρω από το θέμα της σκίασης. Η κάτοψη του ενός ορόφου του φαίνεται παρακάτω (Εικ. 27):



Εικόνα 27: Κτίριο στο οποίο βασίστηκε το μοντέλο για τις προσομοιώσεις.

Αποτελείται από μια θερμαινόμενη ζώνη γύρω στα 81 τ.μ., και έναν μη θερμαινόμενο χώρο 12 τ.μ., ο οποίος για τις απαιτήσεις της προσομοίωσης θα θεωρηθεί κλειστός και περικυκλωμένος από την θερμαινόμενη ζώνη. Το κτίριο έχει περίμετρο 38,97 μέτρα και οι γυάλινες προσόψεις που έχει καταλαμβάνουν 15,75 μέτρα. Επειδή οι προσόψεις έχουν σχεδόν το ίδιο ύψος με τον τοίχο (3 μέτρα έναντι 3.20), δύναται να θεωρηθεί ότι η αναλογία τους είναι περίπου $15.75/38.97=0,404 \sim 40\%$. Με αυτές τις τιμές θα σχεδιαστεί το κτίριο στο SketchUp – OpenStudio ώστε να μπορεί να μεταφραστεί αρχικά στο EnergyPlus (Εικ. 28):

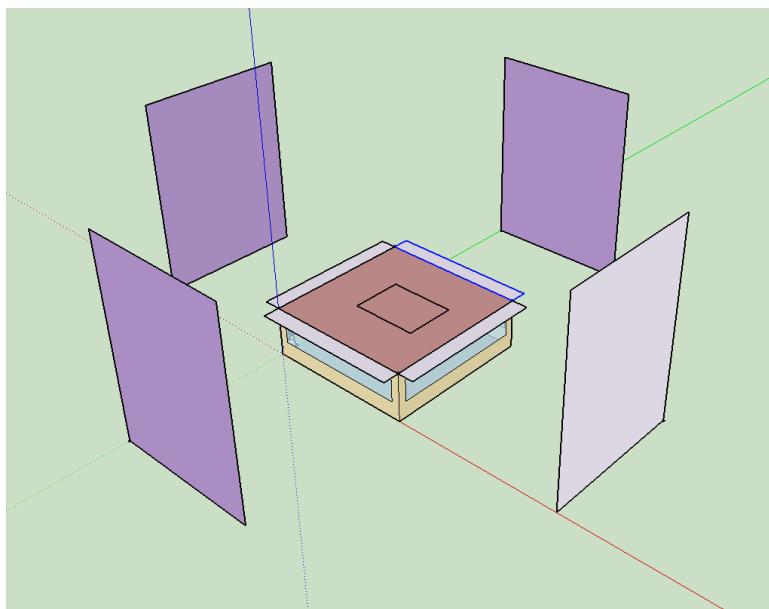


Εικόνα 28: Το βασικό κτίριο πάνω στο οποίο θα γίνουν οι προσομοιώσεις.

Το κτίριο έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να υπάρχει διαφορά σε όψη που βλέπουν οι 4 διευθύνσεις του ορίζοντα (Βορράς-Ανατολή-Νότος-Δύση), δηλαδή:

- 1) Οι τοίχοι έχουν το ίδιο μήκος, μετατρέποντας σε τετράγωνο από τραπέζιο το αρχικό κτίριο.
- 2) Τα παράθυρα έχουν το ίδιο μήκος, ύψος και ποδιά, τόσα όσο να καταλαμβάνουν περίπου το 40% της εξωτερικής επιφάνειας των κατακόρυφων τοίχων.
- 3) Τοποθετήθηκε εσωτερικά ο μη θερμαινόμενος χώρος, ώστε να μην επηρεάζει τις διαφανείς επιφάνειες και εξωτερικούς τοίχους σε καμία μεριά ως προς την σκίαση.
- 4) Επίσης, θεωρήθηκαν ως αδιαβατικές οι επιφάνειες του δώματος και δαπέδου προς έδαφος λόγω του ότι το κτίριο αποτελεί ενδιάμεσος όροφος (και άρα ανάμεσα από θερμαινόμενες ζώνες).
- 5) Θεωρείται ένα τυπικό ύψος 3 μέτρων για τους τοίχους.

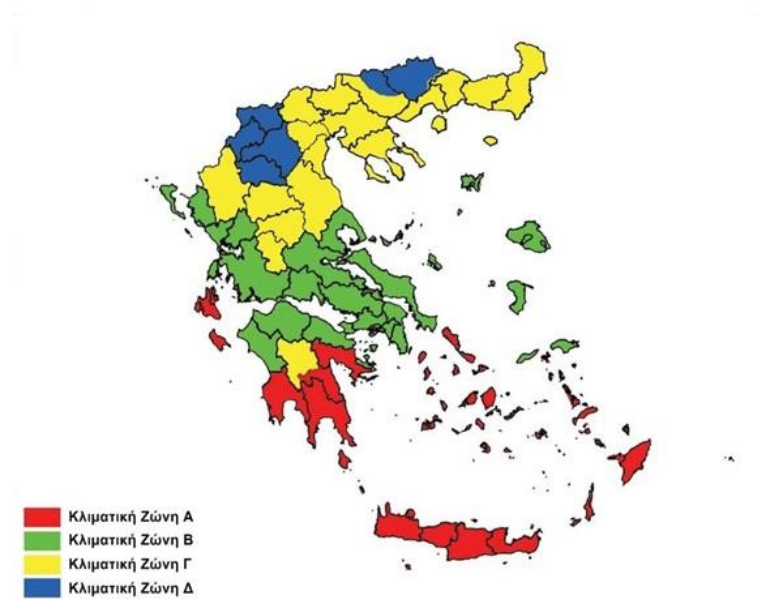
Συνεπώς η μοναδική διεπαφή που έχει με το εξωτερικό περιβάλλον είναι οι 4 εξωτερικοί τοίχοι, ενώ αντίστοιχα θα υπάρξουν παραπάνω απώλειες λόγω του εσωτερικού μη θερμαινόμενου χώρου. Επειδή όπως αναφέρθηκε το EnergyPlus είναι αντικειμενοστραφές, στην αρχική μορφή του .idf θα τοποθετηθούν όλων των ειδών οι σκιάσεις που θα εξεταστούν (ιδιαίτερα οι σταθερές σκιάσεις) και δεν είναι εύκολο να εισαχθούν απευθείας στο EnergyPlus. Ήτοι το αρχικό iteration του .idf δίνεται από το εξής σχέδιο (**Εικ. 29**):



Εικόνα 29: Αρχικό σχέδιο κτιρίου πριν την εισαγωγή του στο EnergyPlus.

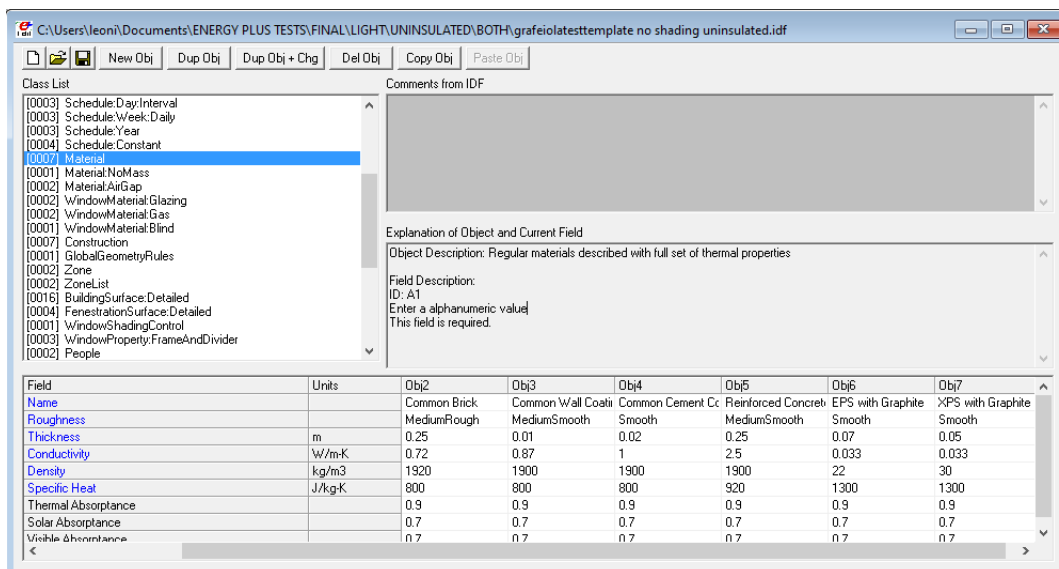
Έχουν τοποθετηθεί όλες οι σταθερές σκιάσεις, δηλαδή πρόβολοι μήκους 1 μέτρο και σκίαση από ορίζοντα σε απόσταση 10 μέτρων με ύψος 12 μέτρα. Ο ορίζοντας θεωρήθηκε ως τυπική τετραώροφη πολυκατοικία απέναντι από δρόμο διπλής λωρίδας.

Το κτίριο θα τοποθετηθεί στην Αθήνα για την εισαγωγή κλιματικών δεδομένων και άρα κατατάσσεται στην Β' κλιματική ζώνη, γνωρίζοντας ότι η Ελλάδα κατατάσσεται σε 4 κλιματικές ζώνες από Α έως Δ από ήπιο μέχρι πιο ακραίο κλίμα [26] (Εικ. 30).



Εικόνα 30: Κλιματικές ζώνες της Ελλάδας [26].

Τα σενάρια θα εξεταστούν σε δύο ειδών κτίρια, ένα αμόνωτο παλιό, και ένα μονωμένο με καινούργια παράθυρα. Οι τοίχοι στο EnergyPlus χτίζονται ως εξής (Εικ. 31):



Εικόνα 31: Παρουσίαση object Materials.

Πρώτα ορίζονται ως ξεχωριστά στοιχεία οι στρώσεις υλικών που αποτελούν ένα τοίχο, και μετά ορίζονται ακριβώς η σειρά των στρώσεων ως πιστός αντικατοπτρισμός του τοίχου ως construction object (Εικ. 32):

Field	Units	Obj1	Obj5
Name		Common Wall	Insulated Wall
Outside Layer		Common Wall Coati	Common Wall Coati
Layer 2		Common Brick	EPS with Graphite
Layer 3		Common Wall Coati	Common Brick
Layer 4			Common Wall Coati
Layer 5			
Layer 6			
Layer 7			
Layer 8			

Εικόνα 32: Δημιουργία των τυπικών στοιχείων.

Αντίστοιχα μπορούν να οριστούν με τον ίδιο τρόπο και τα ανοίγματα που θα χρησιμοποιηθούν, παρόλα αυτά ειδικά για κουφώματα υπάρχει ειδική εφαρμογή που λέγεται WINDOW που έχει δημιουργηθεί από το Lawrence Berkeley National Laboratory [27]. Μέσω αυτής μπορεί να χτιστεί ένα καινούργιο κούφωμα εξαρχής με ότι υαλοπίνακα, κούφωμα κτλ. είναι επιθυμητό. Μετά την εισαγωγή στοιχείων (αέρα μεταξύ του διακένου, πλαίσιο, υαλοπίνακες κ.ο.κ. Εικ. 33) μπορεί να εξαχθεί το αποτέλεσμα έτοιμο προς εισαγωγή στο EnergyPlus ως object.

W7.7 - Glass Library (C:\Users\Public\LBNL\WINDOW7.7\W7.mdb)

File Edit Libraries Record Tools View Help

Glass Library (C:\Users\Public\LBNL\WINDOW7.7\W7.mdb)

ID	Name	ProductName	Manufacturer	Source	Mode	Color	Thickness	Tsol	Rsol1	Rsol2	Tvis	Rvis1	Rvis2	Tir	emis1	emis2	Cond
							mm										
100	BRONZE_3.DAT	Generic Bronze Glass	Generic	IGDB v11.4	#		3.124	0.646	0.062	0.063	0.680	0.065	0.066	0.000	0.840	0.840	1.000
101	BRONZE_6.DAT	Generic Bronze Glass	Generic	IGDB v11.4	#		5.740	0.486	0.053	0.053	0.533	0.056	0.056	0.000	0.840	0.840	1.000
102	CLEAR_3.DAT	Generic Clear Glass	Generic	IGDB v11.4	#		3.048	0.834	0.075	0.075	0.899	0.083	0.083	0.000	0.840	0.840	1.000
103	CLEAR_6.DAT	Generic Clear Glass	Generic	IGDB v11.4	#		5.715	0.771	0.070	0.070	0.884	0.080	0.080	0.000	0.840	0.840	1.000
104	GRAY_3.DAT	Generic Grey Glass	Generic	IGDB v11.4	#		3.124	0.609	0.060	0.061	0.617	0.062	0.063	0.000	0.840	0.840	1.000
105	THIN_06.DAT	Generic thin glass 0.6 mm	Generic	IGDB v54.0			0.600	0.906	0.083	0.083	0.914	0.085	0.085	0.000	0.840	0.840	1.000
106	THIN_075.DAT	Generic thin glass 0.75 mm	Generic	IGDB v54.0			0.750	0.906	0.083	0.083	0.914	0.085	0.086	0.000	0.840	0.840	1.000
107	THIN_11.DAT	Generic thin glass 1.1 mm	Generic	IGDB v54.0			1.100	0.901	0.082	0.082	0.913	0.086	0.086	0.000	0.840	0.840	1.000
108	THIN_05.DAT	Generic thin glass 0.5 mm	Generic	IGDB v63.0			0.500	0.910	0.082	0.082	0.914	0.086	0.086	0.000	0.840	0.840	1.000
109	THIN_15.DAT	Generic thin glass 1.5 mm	Generic	IGDB v63.0			1.500	0.895	0.081	0.081	0.912	0.085	0.085	0.000	0.840	0.840	1.000
110	THINLOWE_05.DA	Generic thin glass with low-e 0.	Generic	IGDB v63.0			0.500	0.786	0.116	0.106	0.894	0.081	0.079	0.000	0.845	0.149	1.000
111	THINLOWE_075.D	Generic thin glass with low-e 0.	Generic	IGDB v63.0			0.750	0.783	0.115	0.105	0.893	0.081	0.079	0.000	0.845	0.149	1.000
112	THINLOWE_11.DA	Generic thin glass with low-e 1.	Generic	IGDB v63.0			1.100	0.779	0.114	0.105	0.893	0.081	0.079	0.000	0.845	0.149	1.000
113	THINLOWE_15.DA	Generic thin glass with low-e 1.	Generic	IGDB v63.0			1.500	0.774	0.113	0.105	0.892	0.081	0.079	0.000	0.845	0.149	1.000
114	BRONZE_4.DAT	Generic Bronze Glass 4 mm	Generic	IGDB v70.0	#		3.912	0.592	0.058	0.058	0.630	0.062	0.061	0.000	0.840	0.840	1.000
115	BRONZE_5.DAT	Generic Bronze Glass 5 mm	Generic	IGDB v70.0	#		4.851	0.535	0.056	0.055	0.576	0.059	0.058	0.000	0.840	0.840	1.000
116	BRONZE_8.DAT	Generic Bronze Glass 8 mm	Generic	IGDB v70.0	#		7.849	0.387	0.050	0.048	0.433	0.052	0.051	0.000	0.840	0.840	1.000
117	BRONZE_10.DAT	Generic Bronze Glass 10 mm	Generic	IGDB v70.0	#		9.931	0.311	0.047	0.046	0.356	0.049	0.048	0.000	0.840	0.840	1.000
118	BRONZE_12.DAT	Generic Bronze Glass 12 mm	Generic	IGDB v70.0	#		11.938	0.252	0.046	0.044	0.234	0.048	0.046	0.000	0.840	0.840	1.000
119	CLEAR_4.DAT	Generic Clear Glass 4 mm	Generic	IGDB v70.0	#		3.912	0.812	0.076	0.075	0.893	0.084	0.084	0.000	0.840	0.840	1.000

5741 records found.

Import Export Report Print Update IGDB NFRIC only

Εικόνα 33: Λίστα υλικών υαλοπινάκων του WINDOW [27].

Με όμοιο τρόπο ακολουθείται παρόμοια διαδικασία για την δημιουργία του αντίστοιχου .xml αρχείου που διαβάζεται από την υπολογιστική μηχανή του TEE KENAK (Εικ.). Αν και λόγω των περιορισμένων δυνατοτήτων και απλουστευτικής προσέγγισης του TEE KENAK η εισαγωγή στοιχείων απευθείας στα υπολογιστικά φύλλα του είναι θεωρητικά πιο εύκολο, θα χρησιμοποιηθεί επαγγελματικό εργαλείο απεικόνισης που κάνει την παρόμοια εργασία με το SketchUp, για την δημιουργία του πρώτου κελύφους του xml. Αυτό είναι το GCAD της εταιρείας 4M και θα χρησιμοποιηθεί η αντίστοιχη υπολογιστική μηχανή της, για την αρχικοποίηση του .xml.

Συνεπώς τα δυο κελύφη (μονωμένο και αμόνωτο) έχουν χτιστεί το καθένα ξεχωριστά με διαφορετικά εργαλεία, και ως προς τον σχεδιασμό τους και ως προς τα στοιχεία των υλικών που τα απαρτίζουν.

Ο υπολογισμός των συντελεστών θερμοδιαπερατότητας θα γίνεται με τον τύπο που περιγράφεται από την TOTEE «ΘΕΡΜΟΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΗΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΤΩΝ ΚΤΗΡΙΩΝ» [28] (Εικ. 34):

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας ενός δομικού στοιχείου n στρώσεων ορίζεται από τον τύπο:

$$U = \frac{1}{R_i + \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} + R_s + R_a} \quad [W/(m^2 \cdot K)] \quad (2.1.)$$

όπου: U	$[W/(m^2 \cdot K)]$	ο συντελεστής θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου,
n	$[-]$	το πλήθος των στρώσεων του δομικού στοιχείου,
d	$[m]$	το πάχος της κάθε στρώσης του δομικού στοιχείου,
λ	$[W/(m \cdot K)]$	ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού της κάθε στρώσης,
R_s	$[m^2 \cdot K/W]$	η θερμική αντίσταση στρώματος αέρα σε τυχόν υφιστάμενο διάκενο ανάμεσα στις στρώσεις του δομικού στοιχείου, με την προϋπόθεση ότι ο αέρας του διακένου δεν επικοινωνεί με το εξωτερικό περιβάλλον και θεωρείται πρακτικά ακίνητος,
R_i	$[m^2 \cdot K/W]$	η αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση της θερμότητας από τον εσωτερικό χώρο προς το δομικό στοιχείο,
R_a	$[m^2 \cdot K/W]$	η αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση της θερμότητας από το δομικό στοιχείο προς το εξωτερικό περιβάλλον.

Εικόνα 34: Υπολογισμός συντελεστή θερμοδιαπερατότητας [28].

Οι τοίχοι του αμόνωντου κτιρίου έχουν υπολογιστεί με κοινά υλικά από επίχρισμα ενός εκατοστού εντός και εκτός της τοιχοποιίας, η οποία αποτελείται από 25 εκατοστά τούβλου (κλασικός μπατικός/δικέλυφος). Ο συνολικός συντελεστής θερμοδιαπερατότητας είναι $1,851 W/(m^2 \cdot K)$ όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα (με κάθε στοιχείο να απεικονίζεται με τον συντελεστή λ του, τη θερμική αγωγιμότητα **Εικ. 35**).

Υπολογισμός του συντελεστή θερμοπερατότητας U

ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ (ΔΠΛ)

Διαμικό Στοιχείο: ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ (ΔΠΛ)

Τύπος Κατασκευής:

Είδος Στοιχείου: Τοιχοποιία

Διπλό Πάχος

Τιμή από φωτογραφία

Με αεριζόμενο διάκενο αέρα Εξωτερικός αεριζόμενο προς τα έξω

Εμβασό θυρίδων Av (mm²) Ra2

Στρώσεις Υλικών	Πυκν. (Kg/m³)	Πάχος1 (m)	Συντ. β (W/mK)	Ri (m²K/W)
1 Επίχρυσμα	1900	0.01	0.872	0.011
2 Κοινό τοίβλο	1920	0.25	0.720	0.347
3 Επίχρυσμα	1900	0.01	0.872	0.011
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13 ΣΥΝΟΛΟ		0.270		

Μη Αποδεκτό U για εξωτερικούς τοίχους και για τοίχους προς ΜΕΧ και προς εδωφός

Ri 0.13 Ra 0.04 Συντ. Θερμ. U = 1.851

Αντίσταση θερμικής μετάβασης Αποδοχή Ακύρωση

Εικόνα 35: Συνολικός συντελεστής θερμοδιαπερατότητας αμόνωντου τοίχου.

Αντίστοιχα, για μονωμένο τοίχο επιλέγεται η χρήση διογκωμένη πολυστερίνης με ενσωματωμένο γραφίτη συνολικά 6 εκατοστών. Ο συνολικός συντελεστής θερμοδιαπερατότητας είναι $0,376 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, τιμή που ικανοποιεί την απαίτηση της ΤΟΤΕΕ για αδιαφανείς κατακόρυφες επιφάνειες νέων κτιρίων (Εικ. 36).

Υπολογισμός του συντελεστή θερμοπερατότητας U

ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ (Μον.)

Διαμικό Στοιχείο: ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ (Μον.)

Τύπος Κατασκευής:

Είδος Στοιχείου: Τοιχοποιία

Διπλό Πάχος

Τιμή από φωτογραφία

Με αεριζόμενο διάκενο αέρα Εξωτερικός αεριζόμενο προς τα έξω

Εμβασό θυρίδων Av (mm²) Ra2

Στρώσεις Υλικών	Πυκν. (Kg/m³)	Πάχος1 (m)	Συντ. β (W/mK)	Ri (m²K/W)
1 Επίχρυσμα	1900	0.01	0.872	0.011
2 Κοινό τοίβλο	1920	0.25	0.720	0.347
3 Διογκωμένη πολυστερ		0.07	0.033	2.121
4 Επίχρυσμα	1900	0.01	0.872	0.011
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13 ΣΥΝΟΛΟ		0.340		

Ri 0.13 Ra 0.04 Συντ. Θερμ. U = 0.376

Αντίσταση θερμικής μετάβασης Αποδοχή Ακύρωση

Εικόνα 36: Συνολικός συντελεστής θερμοδιαπερατότητας μονωμένου τοίχου.

Ομοίως υπολογίζονται και οι διαφανείς επιφάνειες και έτσι θα χρησιμοποιηθούν για τις δύο καταστάσεις του κτιρίου αντίστοιχα, οι οποίες είναι $3,348 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ για το αμόνωτο κτίριο (δηλαδή ένα τυπικό παράθυρο αλουμινίου με διπλούς υαλοπίνακες), ενώ το μονωμένο θα έχει $2,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ συνολικό συντελεστή θερμοδιαπερατότητας (ένα τυπικό ενεργειακό τζάμι με διπλούς υαλοπίνακες και θερμοδιακοπή).

Τα ίδια δεδομένα δεν εισάγονται απευθείας στο EnergyPlus (όπως γίνεται στο TEE KENAK), αλλά υπολογίζονται ξεχωριστά αναλόγως με τα υλικά (material objects) και κατασκευές (τοιχους) που έχουν οριστεί, όπως φαίνεται και στις εικόνες 35-36. Τα αποτελέσματα του EnergyPlus από τους εσωτερικούς υπολογισμούς του είναι :

- 1) $1,923 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ για αμόνωτο τοίχο
- 2) $0,379 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ για μονωμένο τοίχο

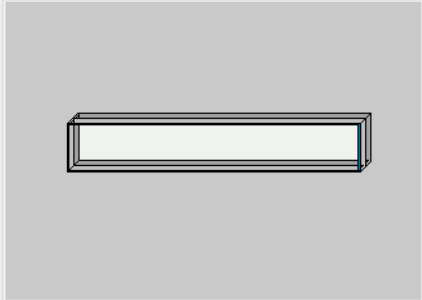
Οι τιμές όπως παρατηρείται είναι παραπλήσιες μεταξύ των δύο υπολογιστικών προγραμμάτων και οι διαφορές οφείλονται σε μικροδιαφορές των ορισμών των υλικών που αποτελούν τις τοιχοποιίες.

Για τις διαφανείς επιφάνειες που εισάγονται στο EnergyPlus, χρησιμοποιήθηκε το WINDOW και δημιουργήθηκαν αντίστοιχα δύο ειδών παράθυρα, ένα για το αμόνωτο κτίριο με συνολικό συντελεστή θερμοδιαπερατότητας $3,033 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ και ένα για το μονωμένο κτίριο με συνολικό συντελεστή θερμοδιαπερατότητας $2,005 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ (**Εικ. 37-38**).

The screenshot displays the WINDOW software interface. On the left, a configuration panel includes fields for ID #, Name (Common Window), Mode (NFRC), Type (Custom Single Vision), Width (8000 mm), Height (1350 mm), Area (10.800 m2), Tilt (90), and Environmental Conditions (NFRC 100-2010). A 3D model of a window is shown in the center. Below the configuration panel, the 'Total Window Results' section lists: U-factor (3.033 W/m2-K), SHGC (0.659), VT (0.709), and CR (N/A). A button labeled 'Click on a component to display characteristics below' is also visible.

Εικόνα 37: Συνολικός συντελεστής θερμοδιαπερατότητας παράθυρου αμόνωτου κτιρίου για το EnergyPlus.

ID #	2
Name	New Window
Mode	NFRC
Type	Custom Single Vision >>
Width	8000 mm
Height	1350 mm
Area	10.800 m2
Tilt	90
Environmental Conditions	NFRC 100-2010



Total Window Results	
U-factor	2.005 W/m2K
SHGC	0.406
VT	0.576
CR	N/A

Click on a component to display characteristics below

Εικόνα 38: Συνολικός συντελεστής θερμοδιαπερατότητας παράθυρου μονωμένου κτιρίου για το EnergyPlus.

Έχοντας καθορίσει το κέλυφος στη συνέχεια θα οριστούν στοιχεία που αφορούν τα συστήματα του συστήματος και ποιες απαιτήσεις πρέπει να καλύψουν. Βασικό στοιχείο που επηρεάζει αυτές είναι ο αερισμός, αθέλητος και ο μηχανικός για την προσαγωγή ναπού αέρα στον θερμαινόμενο χώρο.

Ο αθέλητος αερισμός καθορίζεται μέσω της TOTEE, όπου στο συγκεκριμένο κτίριο θα εξαρτάται αποκλειστικά από τον αερισμό μέσω των χαραμάδων των παραθύρων γιατί οι άλλες περιπτώσεις που αλλάζουν τον αερισμό δεν έχουν εφαρμογή στο κτίριο όμως (π.χ. καπνοδόχος τζακιού κτλ.). Έχοντας συνολικά 4 παράθυρα των 10,8 τ.μ., ο αθέλητος αερισμός είναι:

- 1) Για το αμόνωτο κτίριο, παράθυρα αλουμινίου με διπλό υαλοπίνακα αντιστοιχούν σε συντελεστή 6,8 κυβικών μέτρων αέρα ανά ώρα ανά τ.μ., ήτοι 293,76 m³/h συνολικά.
- 2) Για το μονωμένο κτίριο, θεωρήθηκε ότι τα παράθυρα θα έχουν κλάση αεροδιαπερατότητας 3 κατά EN 12207 [29] και συνεπώς 1,4 κυβικά μέτρα ανά ώρα ανά τ.μ., ήτοι 60,48 m³/h συνολικά.

Υπολογίστηκε και ο (μικρός) αθέλητος αερισμός που υφίσταται ο μη θερμαινόμενος χώρος από την TOTEE για χώρους που δεν έχουν κουφώματα σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα με συντελεστή 0,1 κυβικά μέτρα αέρα ανά ώρα ανά κυβικό μέτρο όγκου του χώρου (που είναι 3*12= 36 m³) και άρα 3,6 m³/h.

Για μηχανικό αερισμό θεωρήθηκε ότι δεν υπάρχει μονάδα VAM π.χ. ή άλλου είδους εναλλάκτη θερμότητας λόγω του ότι τυπικά σε τόσο μικρούς χώρους και για τη χρήση του ως γραφεία (που δεν θεωρείται ότι έχουν μεγάλο πληθυσμό) δεν εγκαθίσταται κάτι τέτοιο. Έτσι θα θεωρηθεί ένας μηχανικός αερισμός αναφοράς 3 κυβικά μέτρα αέρα ανά ώρα ανά τ.μ. και

άρα 243 m³/h. Φυσικά όλα τα ανωτέρω θα μεταφραστούν σε m³/s καθώς σε τέτοια μονάδα δέχεται τιμές το EnergyPlus.

Ο φωτισμός και η ισχύς που θα χρειάζεται για να φωτιστεί το κτίριο, θα υπολογιστεί από την TOTEE ως τον συνδυασμό των απαιτούμενων lux για τον φωτισμό της θερμικής ζώνης (γραφεία), τη μέση τιμή πυκνότητας φωτισμού σε watt ανά 100 lx ανά τ.μ. και το μέγεθος της ζώνης. Για γραφεία απαιτείται ένα (μεγάλο) ποσό των 500 lx και επιλέχθηκε μια τυπική τιμή πυκνότητας 3.2 W/100lx/m² τιμή που αντιστοιχεί σε έναν τυπικό φωτισμό από T5 φώτα φθορισμού. Άρα 3.2 * 5* 81 = 1296 Watt ισχύς φωτισμού. Αν και δεν υπάρχει δυνατότητα ρύθμισης φωτών αντίστοιχα για μη θερμαινόμενο χώρο στο TEE KENAK, στο EnergyPlus γίνεται και για την πληρότητα του ορισμού του κτιρίου θα θεωρηθεί ότι υπάρχει αντίστοιχα ισχύς φωτιστικών, που αντιστοιχεί σε 100 lux απαιτούμενης φωτεινότητας με 3,2 Watt ανά τ.μ. για την κάλυψη αυτών (άρα 3,2 * 12 = 38.4 Watt).

Στην συνέχεια πρέπει να καθοριστούν τα θερμικά κέρδη από την παρουσία ανθρώπων και τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται εντός της ζώνης. Αν και αυτό γίνεται αυτόματα (αλλά και χωρίς καμία δυνατότητα αλλαγής ή έστω εποπτείας του) στο TEE KENAK, στο EnergyPlus πρέπει να καθοριστεί εξαρχής. Άρα πάλι με αναφορά στην TOTEE, στον αερισμό θεωρεί ότι για χώρους με χρήση γραφεία υπάρχουν 10 άτομα / 100 τ.μ., άρα η αναλογία είναι 0.1 άτομα ανά τ.μ. (για τον ορισμό του object στο EnergyPlus). Τέλος, για τον εξοπλισμό τα κέρδη αντιστοιχούν σύμφωνα με την TOTEE σε 15 Watt/m² και άρα 1215 Watt.

Ένα σημαντικό κομμάτι της διαστασιολόγησης των συστημάτων είναι οι θερμοκρασιακές απαιτήσεις για την θερμική άνεση των ανθρώπων, οι οποίες για χρήση γραφείο κυμαίνονται μεταξύ 20 κ' 26 βαθμούς κελσίου, ενώ ταυτόχρονα καθορίζονται και οι ώρες λειτουργίας που αντιστοιχούν σε 12 μήνες το χρόνο, 5 μέρες την εβδομάδα και 10 ώρες την ημέρα. Αν και το TEE-KENAK δε διαθέτει δυνατότητα αλλαγής τους θεωρώντας τα δεδομένα αναλόγως τη χρήσης της ζώνης, θα πρέπει να σημειωθεί η δυνατότητα του EnergyPlus να δημιουργεί ακριβή χρονοδιάγραμμα (schedules) για οτιδήποτε αφορά σε μακροπρόθεσμο χρονικό διάστημα της ζώνης. Έτσι δημιουργήθηκε schedule:

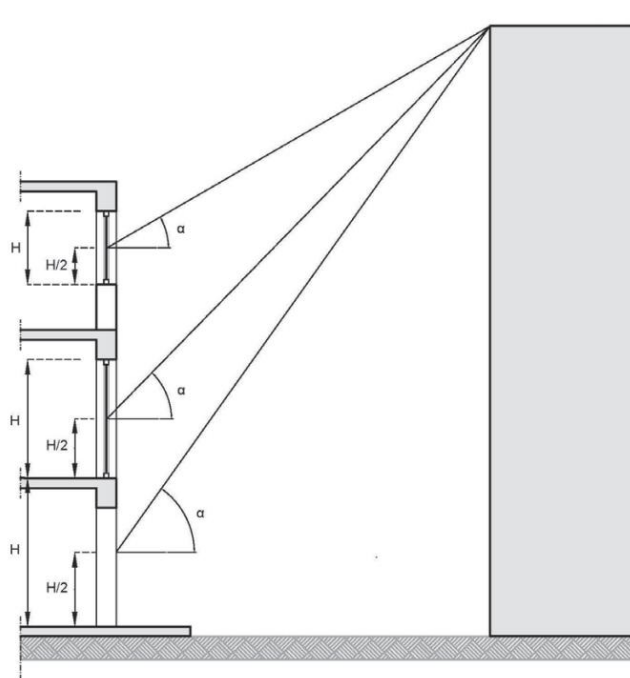
- 1) Για την χρήση της ζώνης σε ακριβείς ώρες, και συγκεκριμένα ένα ωράριο από τις 9 το πρωί μέχρι τις 7 το βράδυ (10 ώρες) με μέρες Δευτέρα έως Παρασκευή.
- 2) Ένα για την φυσική δραστηριότητα των ανθρώπων μέσα σε ένα χώρο με χρήση γραφείο, το οποίο όμως περιορίζεται από τον ετεροχρονισμό που επιβάλλεται από την TOTEE ως ένδειξη ότι ένα γραφείο δεν είναι πάντα γεμάτο από κόσμο (ο οποίος για την περίπτωση είναι 0,3).
- 3) Όμοιο χρονοδιάγραμμα με αντίστοιχο ετεροχρονισμό 0,3 για τη χρήση των αντικειμένων.
- 4) Σημαντικό είναι ότι ο φωτισμός θεωρήθηκε για την περίπτωση της εξέτασης του κτιρίου μέσω EnergyPlus ως μόνιμα ανοιχτός τις ώρες λειτουργίας.

Τα συστήματα που θα χρησιμοποιηθούν θα είναι τοπικές αντλίες θερμότητας που θα καλύπτουν τα απαιτούμενα φορτία ακριβώς που απαιτούνται για την θέρμανση και ψύξη του θερμαινόμενου χώρου (με τη χρήση του object HVAC Template). Θα έχουν συντελεστές απόδοσης EER και COP ίσο με 3 που αντιστοιχούν σε τυπικές τιμές μιας αντλίας θερμότητας.

Η TOTEE επίσης αναφέρει ότι για ένα γραφείο δεν απαιτείται τυπικά καθόλου ζεστό νερό χρήσης οπότε δε θα εξεταστεί καθόλου αυτή η απαίτηση.

Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί και η αναλογία του ηλεκτρισμού σε πρωτογενή ενέργεια είναι 2.9, δηλαδή κάθε kWh ηλεκτρικής ενέργειας μεταφράζεται σε 2.9 kWh πρωτογενούς ενέργειας.

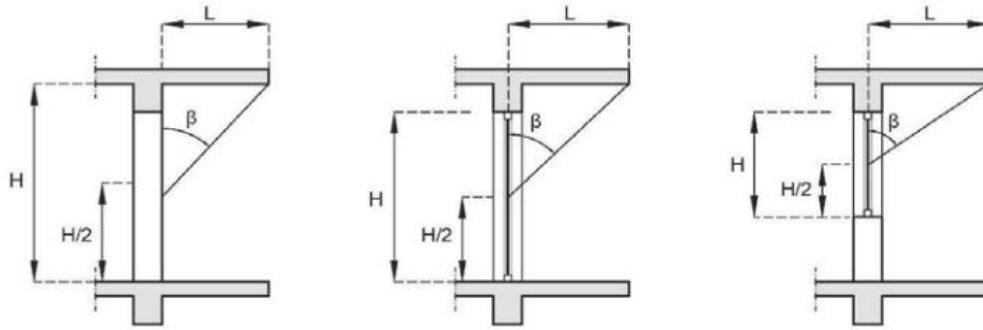
Ο υπολογισμών των σκιάσεων στο TEE KENAK γίνεται όπως περιγράφεται την TOTEE 20701-1/2017 δηλαδή για τους συντελεστές σκίασης ορίζοντα, υπολογίζεται η γωνία που σχηματίζεται από το ήμισυ του ύψους του δομικού στοιχείου (είτε αδιαφανές είτε διαφανές) σε σχέση με το ανώτερο σημείο του μακρινού εμποδίου που δημιουργεί τη σκίαση (**Εικ. 39**).



Εικόνα 39: Υπολογισμός γωνίας για την εύρεση συντελεστή σκίασης ορίζοντα.

Έπειτα, σε πίνακες που υπάρχουν στην ίδια TOTEE η γωνία αυτή αντιστοιχεί σε συγκεκριμένο συντελεστή αναλόγως την κατεύθυνση του δομικού στοιχείου, ο οποίος κυμαίνεται από 0 (πλήρη σκίαση) έως 1 (καθόλου σκίαση).

Με ίδιο τρόπο γίνεται και ο υπολογισμός σκίασης από προβόλους (**Εικ. 40**):



Εικόνα 40: Υπολογισμός γωνίας για την εύρεση συντελεστή σκίασης από προβόλους.

Για το κτίριο, αυτός ο υπολογισμός έγινε υπολογίζοντας πρώτα τους συντελεστές και για τις δύο σκιάσεις από όλες τις κατευθύνσεις, και μετά για τις υποπεριπτώσεις απλώς τοποθετούνταν 1 στους αντίστοιχους συντελεστές αφήνοντας μόνο εκείνους που ήταν επιθυμητό να εξεταστούν, με του συντελεστές (**Εικ. 41**) να ορίζονται ως:

- 1) F_{hor_h} και F_{hor_c} = Συντελεστές σκίασης ορίζοντα για θερινή και χειμερινή περίοδο.
- 2) F_{ov_h} και F_{ov_c} = Συντελεστές σκίασης από προβόλους για θερινή και χειμερινή περίοδο.
- 3) F_{fin_h} και F_{fin_c} = Συντελεστές σκίασης από πλευρικές προεξοχές για θερινή και χειμερινή περίοδο.

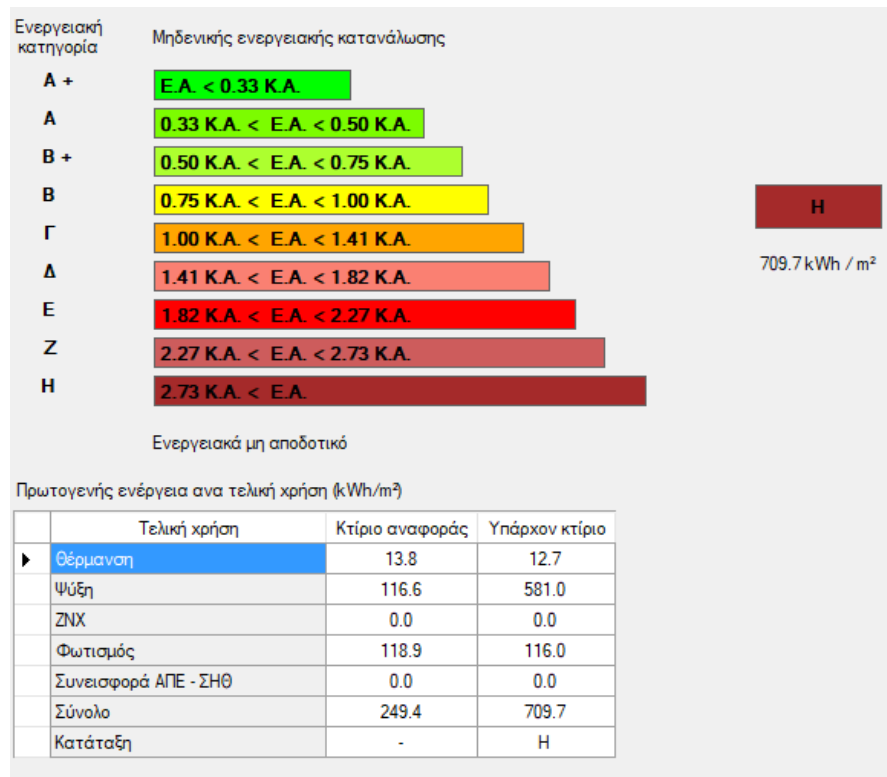
$F_{hor_h} (-)$	$F_{hor_c} (-)$	$F_{ov_h} (-)$	$F_{ov_c} (-)$	$F_{fin_h} (-)$	$F_{fin_c} (-)$
0.3920	0.9460	0.7680	0.6220	1.0000	1.0000
0.5460	0.6700	0.7880	0.7300	1.0000	1.0000
1.0000	0.8500	0.7460	0.7760	1.0000	1.0000
0.5460	0.6700	0.7880	0.7300	1.0000	1.0000

Εικόνα 41: Υπολογισμός συντελεστών σκίασης, με τις δύο αριστερά στήλες να αφορούν την σκίαση από μακρινά εμπόδια, ενώ οι δύο μεσαίες αφορούν τους προβόλους. Οι δύο δεξιές στήλες αφορούν σκίαση από κατακόρυφους προβόλους, που δεν εξετάστηκαν στη συγκεκριμένη έρευνα.

Στο EnergyPlus αντίθετα ο υπολογισμός της σκίασης γίνεται αναλυτικά από την προσομοίωση της κίνησης του ηλίου (από την θέση που βρίσκεται το κτίριο που καθορίζεται από τα κλιματικά δεδομένα) καθώς η σκίαση μεταφράζεται σε ένα object επιφάνειας χωρίς περαιτέρω input από τον χρήστη.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Για αρχή θα εξεταστούν τα παράθυρα αποτελεσμάτων των δυο διαφορετικών προγραμμάτων. Το KENAK δίνει αποτελέσματα ως εξής (Εικ. 42):



Εικόνα 42: Εικόνα γενικών αποτελεσμάτων TEE KENAK

Αυτή είναι η γενική εικόνα των αποτελεσμάτων του TEE KENAK, δίνοντας πληροφορίες για την κατάταξη του κτιρίου σε ενεργειακή κλάση με βάση την ενεργειακή του απόδοση, καθώς και αναλυτικές πληροφορίες για τη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου σε σύγκριση με το κτίριο αναφοράς. Παρ' όλα αυτά, οι πληροφορίες που θα εξαχθούν θα είναι από άλλο παράθυρο του προγράμματος, που περιγράφει την ενέργεια που καταναλώνεται ως «καθαρή» ενέργεια (η γίνεται να μετατραπεί σε πρωτογενής ενέργεια χρησιμοποιώντας τον συντελεστή που προαναφέρθηκε, γνωρίζοντας ότι όλη η ενέργεια που καταναλώνεται παράγεται από ηλεκτρισμό).

Ενεργειακές απαιτήσεις (kWh/m ²)		Ιαν.	Φεβ.	Μαρ.	Απρ.	Μαι.	Ιουν.	Ιουλ.	Αυγ.	Σεπ.	Οκτ.	Νοε.	Δεκ.	Ετήσιο
► Θέρμανση	0.8	0.5	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.5	2.0
Ψύξη	0.0	0.0	0.0	0.0	9.7	25.9	41.7	39.7	9.9	0.0	0.0	0.0	0.0	126.9
Υγρανση	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ZNX	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Ενεργειακή κατανάλωση (kWh/m ²)		Ιαν.	Φεβ.	Μαρ.	Απρ.	Μαι.	Ιουν.	Ιουλ.	Αυγ.	Σεπ.	Οκτ.	Νοε.	Δεκ.	Ετήσιο
► Θέρμανση	1.3	0.9	0.5	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	1.0	4.4
Ηλιακή ενέργεια για θέρμανση χώρων	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ψύξη	0.0	0.0	0.0	0.0	15.4	40.9	65.7	62.6	15.8	0.0	0.0	0.0	0.0	200.3
ZNX	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ηλιακή ενέργεια για ζεστό νερό χρήσης	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Φωτισμός	3.4	3.1	3.4	3.3	3.4	3.3	3.4	3.4	3.3	3.4	3.3	3.4	3.4	40.0
Ενέργεια απο φωτοβολταϊκά - ΣΗΘ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Σύνολο	4.7	3.9	3.9	3.5	18.8	44.2	69.1	66.0	19.1	3.6	3.6	4.4	4.4	244.7

Πηγή ενέργειας		Κατανάλωση καυσίμων (kWh/m ²)	Εκπομπές CO ₂ (kg/m ²)
► Ηλεκτρισμός		244.7	242.0
Πετρέλαιο		0.0	0.0
Φυσικό αέριο		0.0	0.0
Άλλα ορυκτά καύσιμα		0.0	0.0
Ηλιακή		0.0	0.0
Βιομάζα		0.0	0.0
Γεωθερμία		0.0	0.0
Άλλο ΑΠΕ		0.0	0.0
Σύνολο		244.7	242.0

Εικόνα 43: Εικόνα καταναλώσεων TEE KENAK

Εδώ φαίνεται η ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου σε kWh/m² ανά έτος (**Εικ. 43**). Από εδώ θα εξαχθούν για κάθε σενάριο του TEE – KENAK αποτελέσματα και ως πρώτο σενάριο θα εξεταστεί ο αντίκτυπος της σταθερής σκίασης που προδιαγράφηκε στην περιγραφή του κτιρίου (πρόβολος 1 μέτρο και μακρινό εμπόδιο 12 μέτρων σε απόσταση 10 μέτρα).

Στην παρακάτω εικόνα (**Εικ. 44**) είναι η μορφή των αποτελεσμάτων που παρουσιάζονται από το EnergyPlus σε πίνακες.

End Uses

	Electricity [kWh]	Natural Gas [kWh]	Additional Fuel [kWh]	District Cooling [kWh]	District Heating [kWh]	Water [m3]
Heating	0.00	0.00	0.00	0.00	6036.27	0.00
Cooling	0.00	0.00	0.00	572.75	0.00	0.00
Interior Lighting	298.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Lighting	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior Equipment	951.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Equipment	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fans	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pumps	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Rejection	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Humidification	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Recovery	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Water Systems	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Refrigeration	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Generators	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total End Uses	1249.57	0.00	0.00	572.75	6036.27	0.00

Note: District heat appears to be the principal heating source based on energy usage.

Εικόνα 44: Αποτελέσματα απαιτήσεων ενέργειας του EnergyPlus.

Φυσικά αυτό είναι παρά ένα μικρό κομμάτι των συνολικών αποτελεσμάτων που έχει διαθέσιμα το EnergyPlus, αλλά από αυτό θα εξαχθούν τα συμπεράσματα απαίτησης ενέργειας, ώστε μετά να αναχθούν σε πρωτογενή ενέργεια.

Τα αποτελέσματα θα παρουσιαστούν σε μορφή kWh ανά έτος ανά τετραγωνικό μέτρο θερμαινόμενου χώρου και όχι συνολικού, γιατί στο TEE KENAK αγνοείται από το πρόγραμμα η απλή αύξηση συνολικής και μη θερμαινόμενης επιφάνειας του ακινήτου (χωρίς συνεπακόλουθη αύξηση των επιφανειών). Συνεπώς, για να υπάρχει κοινό μέτρο σύγκρισης θα αναχθούν σε τετραγωνικά μέτρα θερμαινόμενου χώρου (81 τ.μ.) ή όπως φαίνεται και από την παρακάτω εικόνα (per conditioned building area, **Εικ. 45**).

	Total Energy [kWh]	Energy Per Total Building Area [kWh/m2]	Energy Per Conditioned Building Area [kWh/m2]
Total Site Energy	20208.91	217.30	249.49
Net Site Energy	20208.91	217.30	249.49
Total Source Energy	44699.87	480.64	551.85
Net Source Energy	44699.87	480.64	551.85

Εικόνα 45: Αποτελέσματα ενεργειακής κατανάλωσης ανά τετραγωνικό από το EnergyPlus.

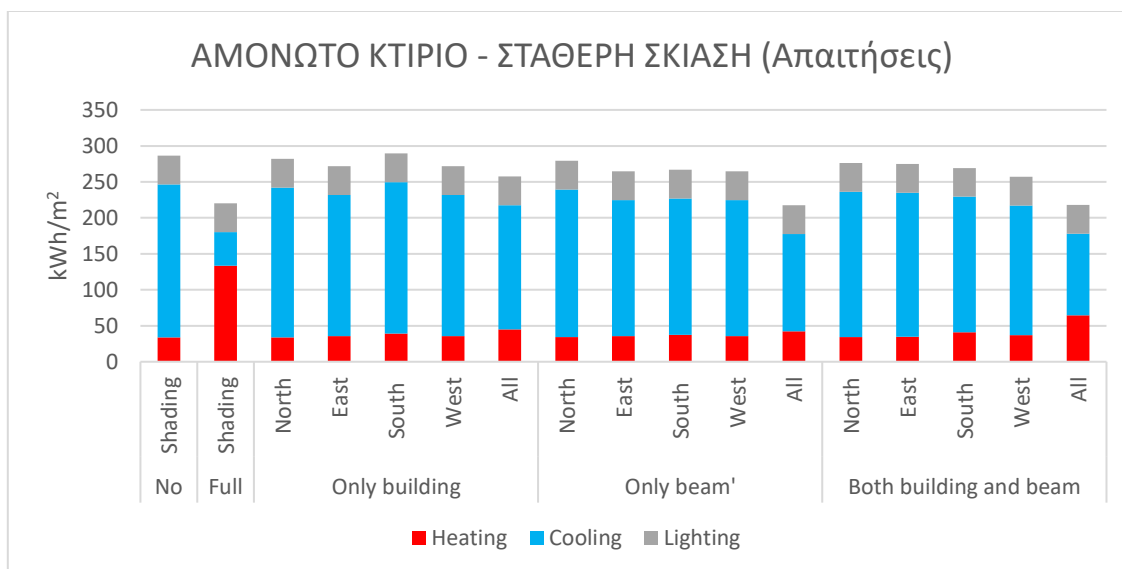
4.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΤΑΘΕΡΗΣ ΣΚΙΑΣΗΣ

Συνολικά θα υπάρχουν 17 περιπτώσεις:

- 1) Καθόλου σκίαση από σταθερά στοιχεία.
- 2) Πλήρης σκίαση των επιφανειών του κτιρίου (που μεταφράζεται στον KENAK ως συντελεστής σκίασης 0).
- 3) Ύπαρξη προβόλων και μακρινών εμποδίων ΚΑΙ από τις τέσσερις διευθύνσεις του ορίζοντα, με άλλες τέσσερις ξεκινώντας μόνο από βορρά και καταλήγοντας μόνο από δύση με ωρολογιακή φορά (δηλαδή βορράς – ανατολή – νότος – δύση).
- 4) Ίδιος τρόπος με τον παραπάνω αλλά MONO με τους προβόλους.
- 5) Ίδιος τρόπος με παραπάνω αλλά MONO με μακρινά εμπόδια.

4.1.1 ΑΜΟΝΩΤΟ ΚΤΙΡΙΟ

Η παρακάτω εικόνα (**Εικ. 46**) παρουσιάζει τις απαιτήσεις ενέργειας του αμόνωτου κτιρίου με σκίαση από σταθερά στοιχεία από το λογισμικό TEE KENAK.

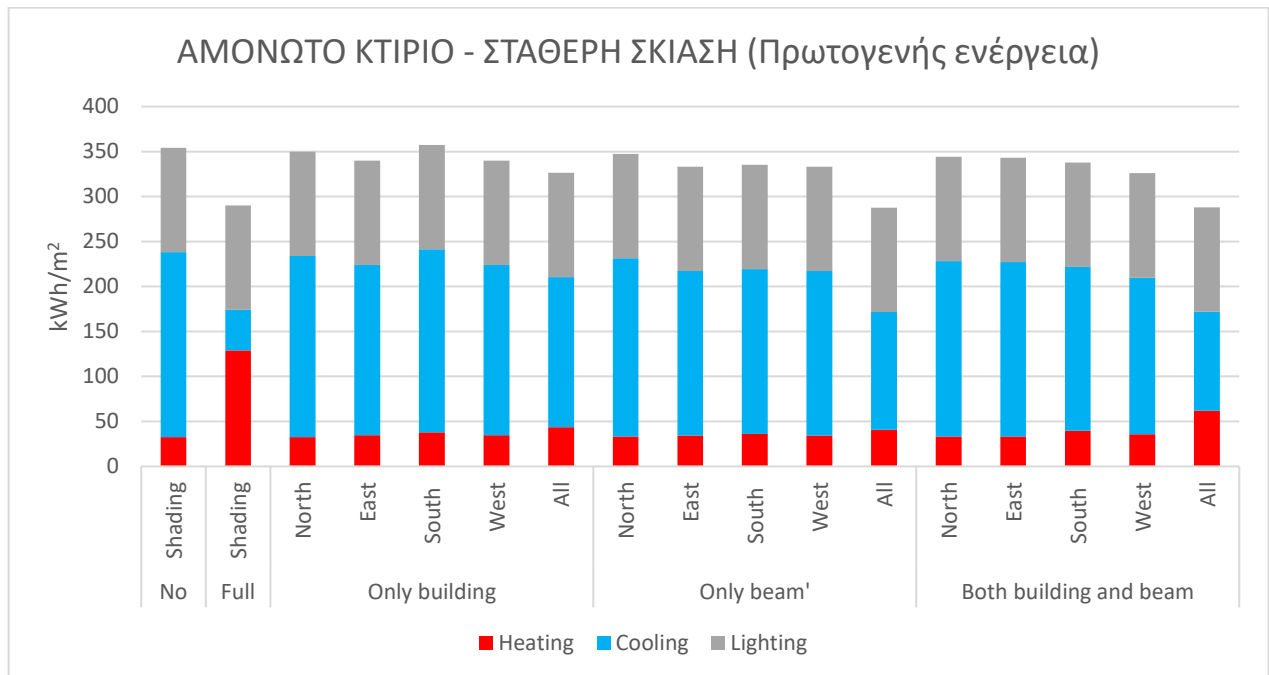


Εικόνα 46: Απαιτήσεις ενέργειας αμόνωτου κτιρίου με σκίαση από σταθερά στοιχεία σε TEE KENAK.

Τα πιο σημαντικά σημεία που πρέπει να τονιστούν είναι:

- 1) Ο φωτισμός παραμένει ανεπηρέαστος από την σκίαση και σταθερός σε όλα τα σενάρια σκίασης στις 40 kWh/m², και συνεπώς η υπολογιστική μηχανή του TEE – KENAK αγνοεί την σκίαση ως προς τον φωτισμό.
- 2) Το κτίριο έχει πολύ μεγαλύτερες απαιτήσεις σε ψύξη παρά σε θέρμανση σε σχεδόν όλες τις περιπτώσεις, το οποίο εξηγείται από τα κέρδη σε θερμότητα από τους ανθρώπους, εξοπλισμό και κυρίως τα ηλιακά κέρδη λόγω του σχετικά μεγάλου ποσοστού διαφανών επιφανειών (40%) σε σχέση με το κτίριο μας.
- 3) Η μόνη περίπτωση που δεν ισχύει το προηγούμενο είναι όταν υπάρχει πλήρης σκίαση και άρα μηδενίζονται τα ηλιακά κέρδη, μεγιστοποιώντας τις απαιτήσεις σε θέρμανση.
- 4) Οι καλύτερες περιπτώσεις σκίασης είναι, εκτός της ιδανικής πλήρης, η σκίαση από όλες τις κατευθύνσεις με προβόλους και μακρινά εμπόδια, ή έστω μόνο από προβόλους, μειώνοντας την συνολική κατανάλωση του κτιρίου έως και 24%.
- 5) Το παραπάνω σενάριο καταδεικνύει την σπουδαιότητα των προβόλων, καθώς η διαφορά μεταξύ όλων των σταθερών και μόνο προβόλων από όλες τις κατευθύνσεις είναι ελάχιστη. Αντίθετα, αν σκιαστεί το κτίριο από όλες τις κατευθύνσεις μόνο με μακρινά εμπόδια η πτώση μειώνεται στο 10%.
- 6) Η κατεύθυνση που έχει την μεγαλύτερη επίπτωση στην ενεργειακή απόδοση του κτιρίου είναι ο νότος.
- 7) Άξιο προσοχής είναι το σενάριο της ύπαρξης μόνο μακρινού εμπόδιου στο νότο, το οποίο χειροτερεύει την αρχική απόδοση του κτιρίου κατά ένα μικρό ποσοστό (από 286,3 σε 289,6 kWh/m² ~1%), γιατί βρίσκεται στην κατάλληλη θέση να κρύβει τον ήλιο το χειμώνα όταν τα ηλιακά κέρδη του είναι επιθυμητά, αλλά ταυτόχρονα σε μεγάλη απόσταση ώστε το καλοκαίρι που είναι ψηλά ο ήλιος να μη μπορεί να σκιάσει το κτίριο αποτελεσματικά ώστε να μειώσει τα ηλιακά κέρδη.

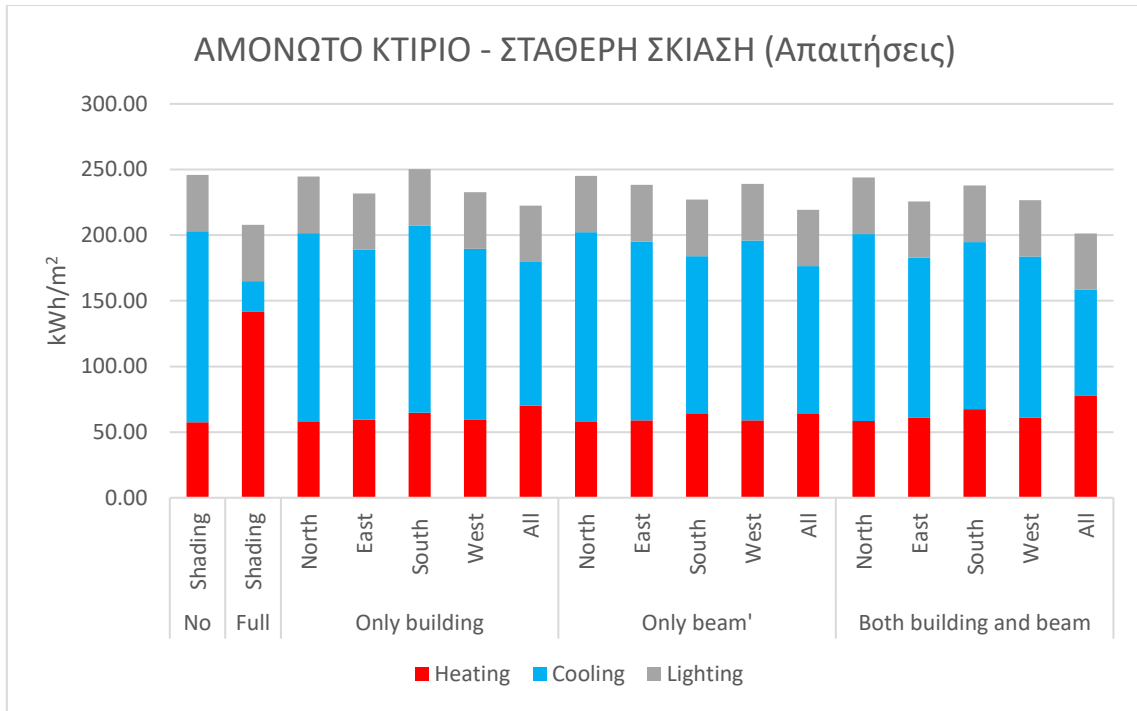
Το προηγούμενο διάγραμμα μπορεί να αναχθεί σε απαιτήσεις πρωτογενής ενέργειας (Εικ. 47):



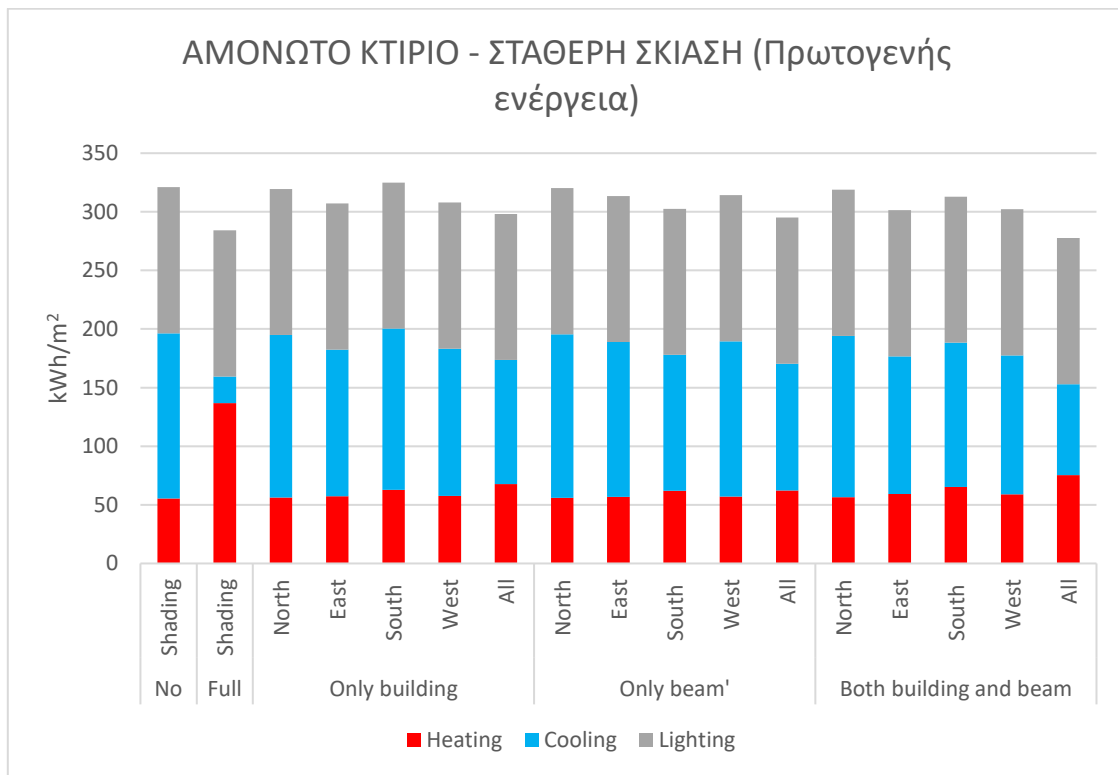
Εικόνα 47: Σκίαση αμόνωντου κτιρίου από σταθερά στοιχεία (πρωτογενής ενέργεια σε TEE KENAK)..

Το πιο σημαντικό αποτέλεσμα εδώ είναι ότι σε επίπεδο πρωτογενούς ενέργειας, ο φωτισμός παίζει πολύ σημαντικό ρόλο για την ενεργειακή απόδοση ενός κτιρίου τριτογενούς τομέα. Ενώ λόγω των COP και EER της αντλίας θερμότητας (δηλαδή του τρόπου λειτουργίας της) η μετατροπή σε πρωτογενή ενέργεια των απαιτήσεων ψύξης και θέρμανσης δεν αλλάξαν (το 2.9 είναι περίπου ίσο με το 3), ο φωτισμός αντίθετα αυξήθηκε κατά κόρον, καταλαμβάνοντας έως και 40% της πρωτογενούς ενέργειας που καταναλώνεται (στο πλήρως σκιασμένο κτίριο 116 kWh/m² από τις συνολικές 290,1 kWh/m²).

Συνεπώς, τα αποτελέσματα για τα προηγούμενα σενάρια αλλά από την υπολογιστική μηχανή του EnergyPlus φαίνονται παρακάτω (Εικ. 48-49):



Εικόνα 48: Αποτελέσματα απαιτήσεων ενέργειας του EnergyPlus για αμόνωτο κτίριο με σταθερά στοιχεία σκίασης.



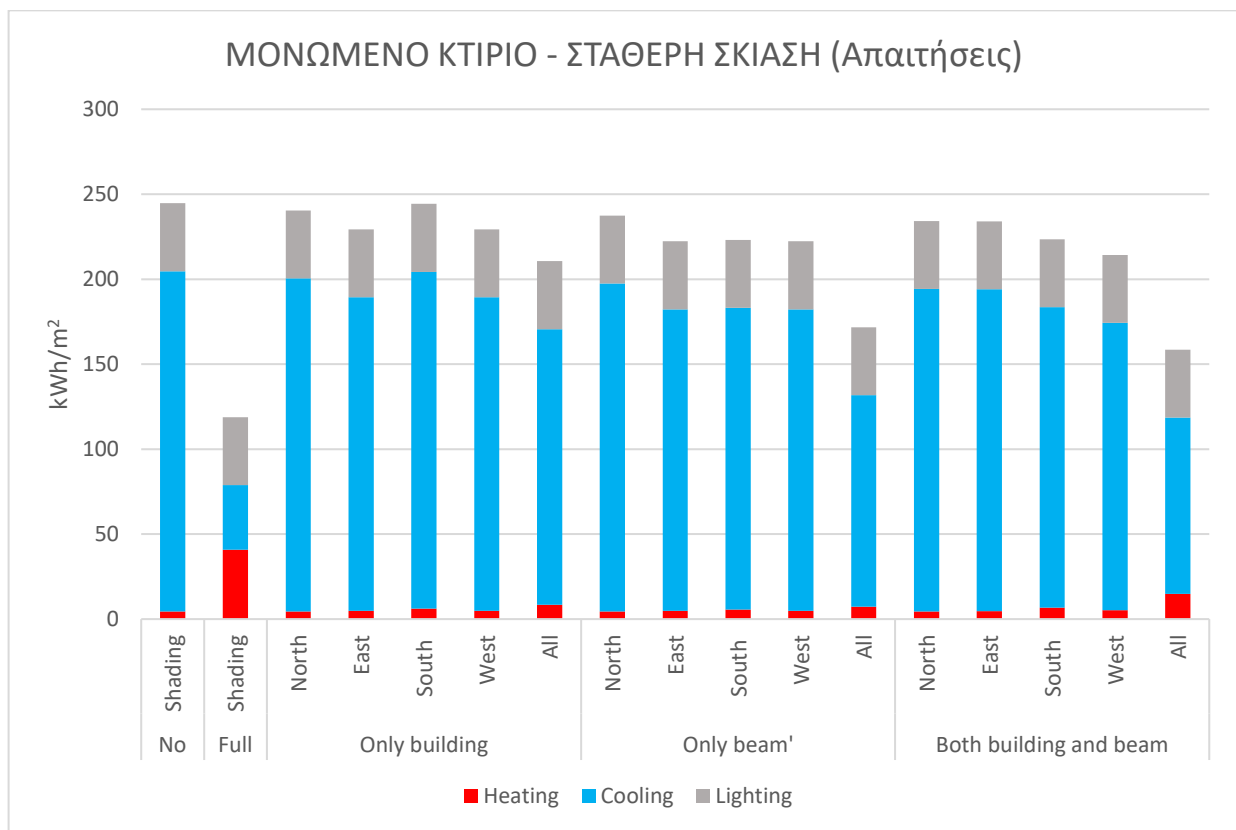
Εικόνα 49: Συνολική απαίτηση ενέργειας του EnergyPlus για αμόνωτο κτίριο με σταθερά στοιχεία σκίασης.

Παρατηρείται ότι οι μειώσεις κυμαίνονται με τον ίδιο τρόπο όπως στον ΚΕΝΑΚ, χωρίς όμως να υπάρχει η ίδια πτώση στην ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου (24% στον ΚΕΝΑΚ μέγιστη με 10% μέγιστη στο EnergyPlus). Η μόνη αξιοσημείωτη περίπτωση είναι η περίπτωση του συνδυασμού νότιου προβόλου με νότιο κτίριο που είναι χειρότερη από τις αντίστοιχες περιπτώσεις της Δύσης και Ανατολής.

Ομοίως και στο EnergyPlus φαίνεται η τεράστια απαίτηση του φωτισμού σε πρωτογενή ενέργεια που υπερκαλύπτει αυτόν της θέρμανσης για παράδειγμα (124,96 έναντι 55,48 kWh/m²). Φαίνεται συνεπώς η ίσως υπερβολική απαίτηση σε φωτισμό για γραφεία, η οποία δημιουργεί και αντίστοιχα θερμικά φορτία..

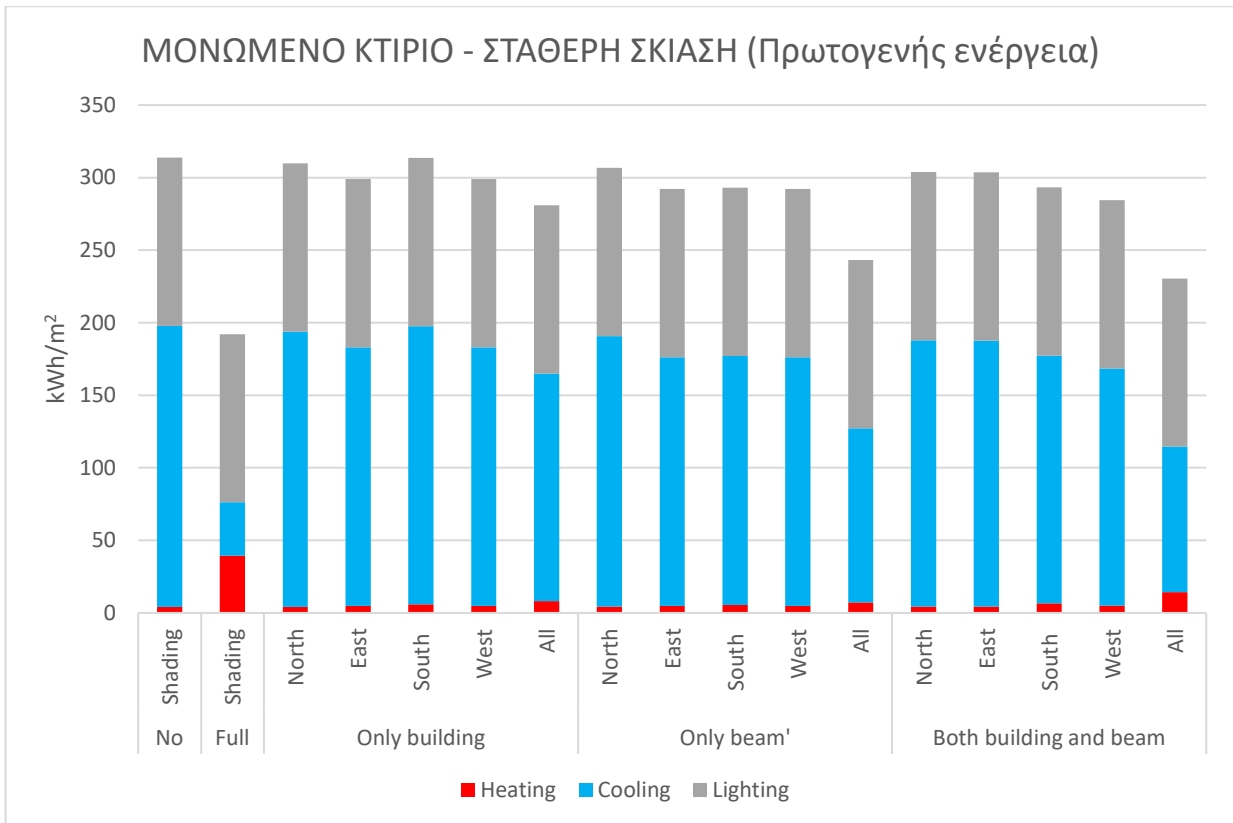
4.1.2 ΜΟΝΩΜΕΝΟ ΚΤΙΡΙΟ

Η ίδια εξέταση θα γίνει τη μονωμένη περίπτωση του κτιρίου ξεκινώντας από ΤΕΕ ΚΕΝΑΚ (Εικ. 49).



Εικόνα 49: Απαιτήσεις ενέργειας μονωμένου κτιρίου με σκίαση από σταθερά στοιχεία με ΤΕΕ ΚΕΝΑΚ.

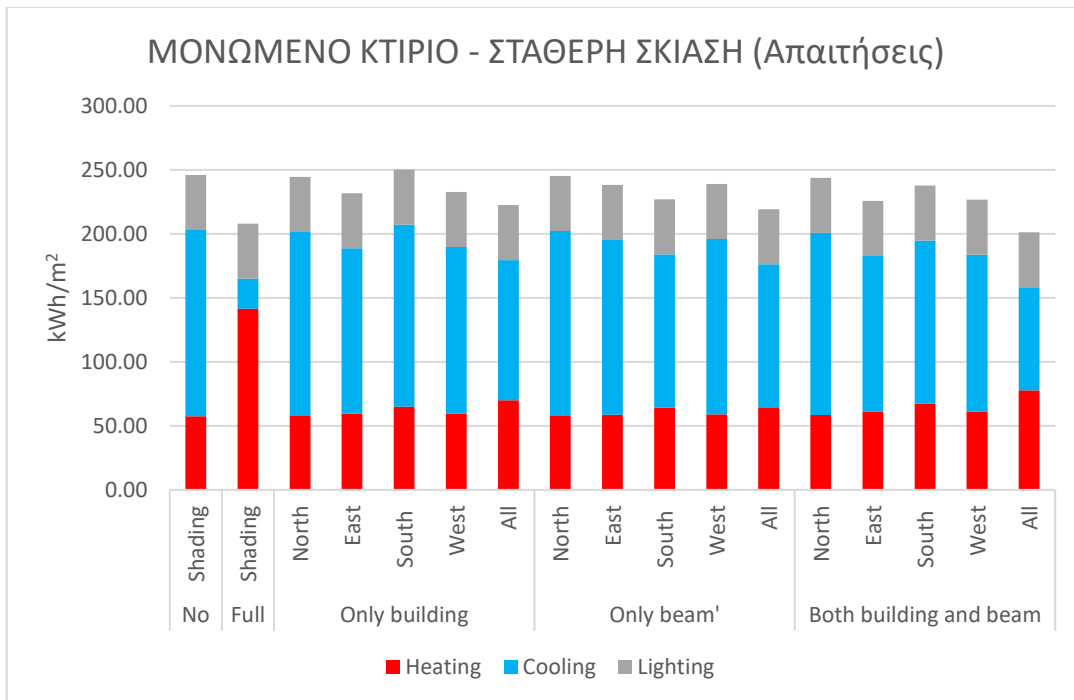
Σε μονωμένο κτίριο οι απαιτήσεις θέρμανσης ελαχιστοποιούνται. λόγω των ηλιακών κερδών, των κερδών από ανθρώπους και του εξοπλισμού, ενώ αντίστοιχα οι απώλειες ελαχιστοποιούνται λόγω των μειωμένων συντελεστών θερμοαγωγιμότητας και αεροδιαπερατότητας. Αυτό βέβαια δεν επηρεάζει πάρα πολύ το ψυκτικό φορτίο, καθώς τα ηλιακά κέρδη παραμένουν σταθερά μεταξύ του αμόνωτου και μονωμένου κτιρίου (συγκρίνοντας τις μεταξύ τους περιπτώσεις). Επίσης αξιοσημείωτο είναι ότι σε μονωμένο κτίριο έχει ακόμα μεγαλύτερη σημασία η καλή σκίαση, καθώς με πλήρη σκίαση επιτυγχάνεται έως και 50% μείωση (από 220.2 σε 118,8 kWh/m²), ενώ και με σκίαση όλων των σταθερών στοιχείων η μείωση φτάνει και 35% (από 217,9 σε 158,5 kWh/m²).



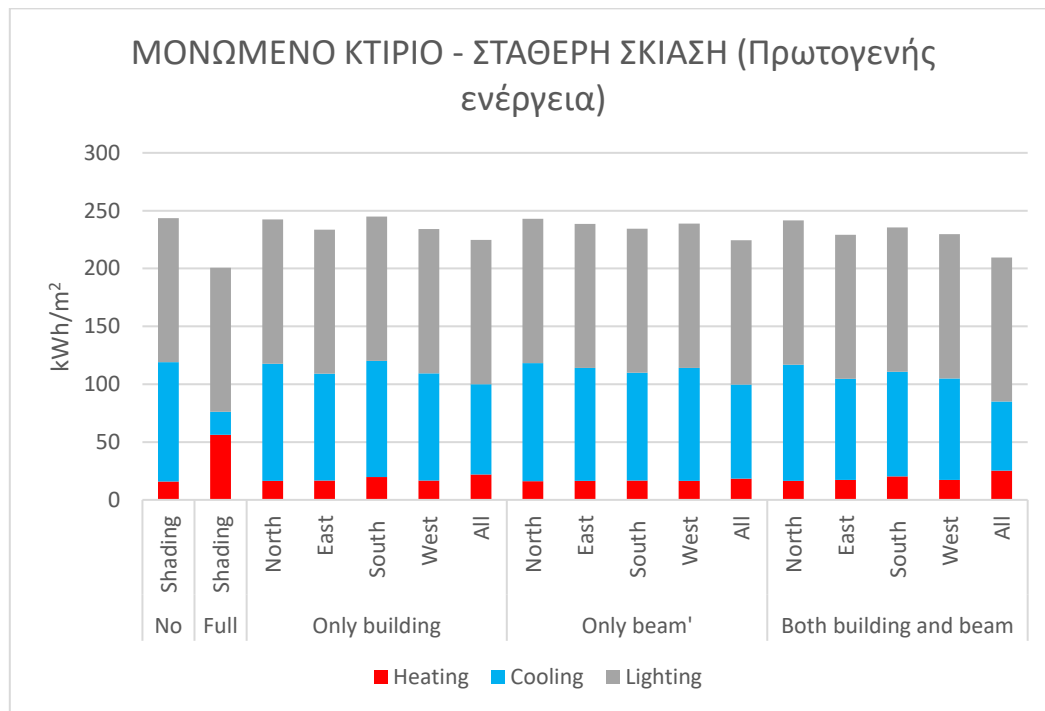
Εικόνα 51: Απαιτήσεις πρωτογενούς ενέργειας μονωμένου κτιρίου με σκίαση από σταθερά στοιχεία με TEE KENAK.

Με μονωμένο κτίριο και σταθερή κατανάλωση φωτισμού, γίνεται ακόμα εμφανές ότι ο φωτισμός είναι πρωταρχικός ρόλος στόχευσης για εξοικονόμηση ενέργειας (Εικ. 51).

Αντίστοιχα από το EnergyPlus:



Εικόνα 52: Αποτελέσματα απαιτήσεων ενέργειας του EnergyPlus για μονωμένο κτίριο με σταθερά στοιχεία σκίασης.



Εικόνα 53: Αποτελέσματα απαιτήσεων πρωτογενούς ενέργειας του EnergyPlus για μονωμένο κτίριο με σταθερά στοιχεία σκίασης.

Βασικό στοιχείο σύγκρισης μεταξύ των δύο υπολογιστικών μηχανών είναι ότι η διαφορά λόγω της σκίασης στο EnergyPlus είναι λιγότερο δραματική από ότι στο TEE KENAK, ανεξάρτητα αν είναι μονωμένο ένα κτίριο ή όχι.

4.2 ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

Στο επόμενο σενάριο θα εξεταστεί η επίδραση των αυτοματισμού ελέγχου του φωτισμού με αισθητήρες φυσικού φωτισμού.

Στο εργαλείο του TEE-KENAK ο μόνος έλεγχος αυτοματισμού φωτισμού που μπορεί να προσομοιωθεί είναι μέσω επιλογής της ισχύς του φωτισμού που θα ελέγχεται από αυτόν, και στην συγκεκριμένη περίπτωση θα επιλεγεί ότι θα προσομοιωθεί όλη η ισχύς του φωτισμού.

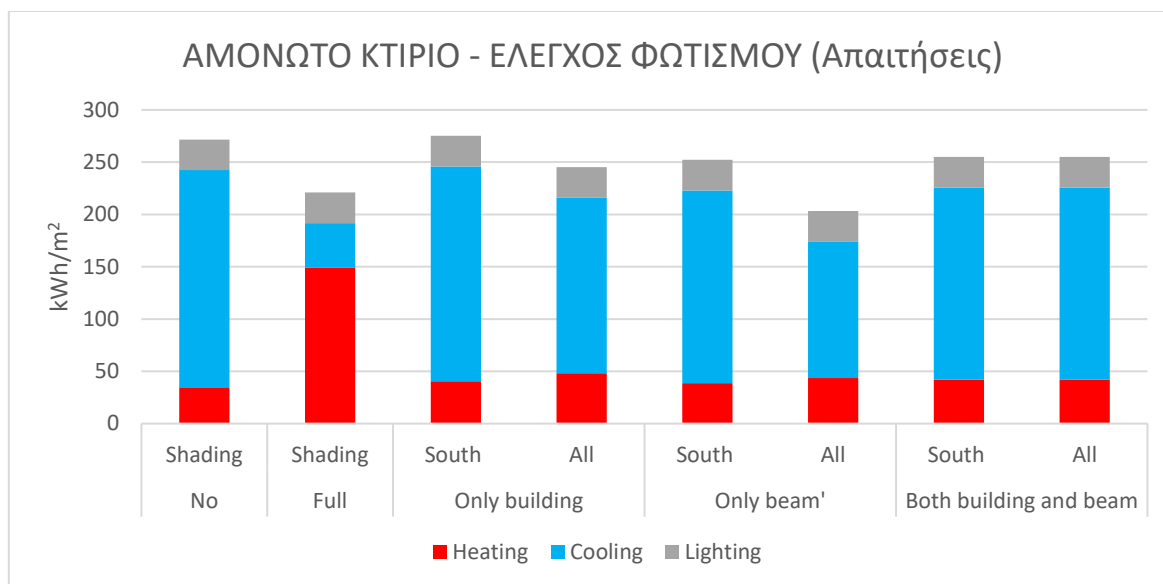
Αντίθετα, στην περίπτωση του EnergyPlus η παραμετροποίηση είναι πολύ πιο πολύπλοκη:

- 1) Τοποθετούνται μέσα στο κτίριο οι αισθητήρες φωτισμού ακριβώς στο σημείο που γίνεται επιθυμητό, χρησιμοποιώντας τρισδιάστατες συντεταγμένες. Επιλέχθηκαν τέσσερις αισθητήρες (για κάθε ορίζοντα) και τοποθετήθηκαν σε ένα μέσο σημείο από τα παράθυρα και τον τοίχο.
- 2) Επιλέγεται το ποσοστό που θα επηρεάζει τον συνολικό έλεγχο ο κάθε αισθητήρας, και επιλέχθηκαν να επηρεάζουν ένα ίδιο ποσοστό ο καθένας.
- 3) Επιλέγεται η μέθοδος προσομοίωσης μεταξύ SplitFlux και DElight, (επιλέχθηκε η μέθοδος SplitFlux).
- 4) Τέλος, υπάρχει τρόπος να επιλεγεί ο ακριβής τρόπος ελέγχου, είτε συνεχής (δηλαδή η ισχύς χαμηλώνει ακριβώς τόσο ώστε να επιτυγχάνεται η ακριβής στάθμη φωτισμού που έχουμε επιλέξει, τα 500 lx) είτε βηματικά (με διαφορετικές στάθμες φωτισμού που θα ενεργοποιούνται αναλόγως του διαθέσιμου φυσικού φωτισμού).

Σημειώνεται επίσης πως θα εξεταστούν λιγότερες κατευθύνσεις ξεχωριστά καθώς παρατηρήθηκε στις περισσότερες περιπτώσεις ότι ο νότος είναι αυτός με τη μεγαλύτερη επιρροή στην επίδραση του κτιρίου.

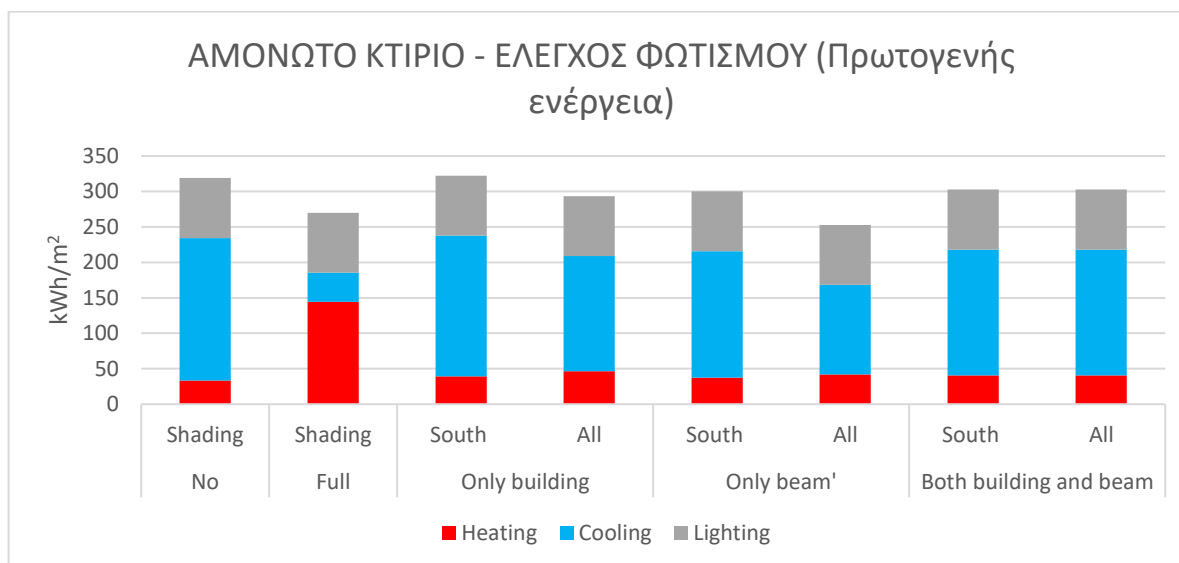
4.2.1 ΑΜΟΝΩΤΟ ΚΤΙΡΙΟ

Στην επόμενη εικόνα φαίνονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής αυτοματισμών ελέγχου φυσικού φωτισμού κατά KENAK (Εικ. 54):



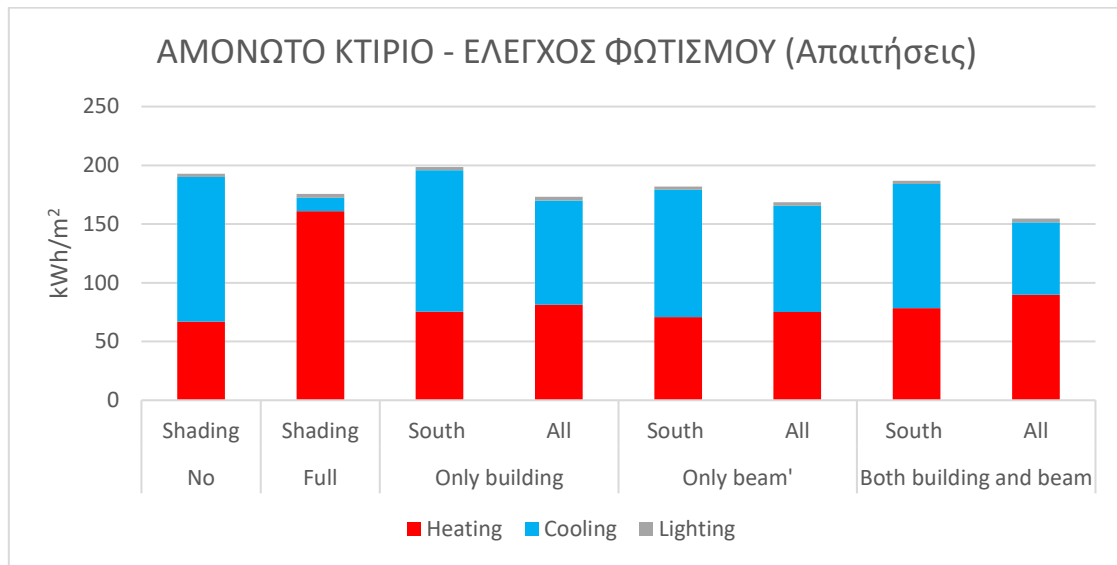
Εικόνα 54: Απαιτήσεις ενέργειας αμόνωντου κτιρίου με σκίαση από σταθερά στοιχεία και αυτοματισμό ελέγχου φωτισμού σε TEE KENAK.

Ένα βασικό συμπέρασμα είναι ότι το πρόγραμμα του KENAK σε σχέση με το μη αυτοματοποιημένο έλεγχο απλά αφαιρεί ένα μέρος της ενέργειας που καταναλώθηκε από το φωτισμό, το οποίο είναι σταθερό (από 40 σε 29,2 kWh/m² περίπου 25%) και ανεξάρτητο της κατεύθυνσης και ποσότητας σκίασης. Αλλάζουν ταυτόχρονα και ελάχιστα οι απαιτήσεις σε θέρμανση (σε μη σκιασμένο αύξηση από 33,7 σε 34,7 kWh/m²) και ψύξη (σε μη σκιασμένο μείωση από 212,6 σε 207,8 kWh/m²) λόγω του μειωμένου θερμικού φορτίου που δημιουργείται. Η συνολική κατανάλωση (Εικ. 56) όπως ήταν αναμενόμενο έχει μειωθεί, αλλά όχι δραματικά και ανεξάρτητα της σκίασης.



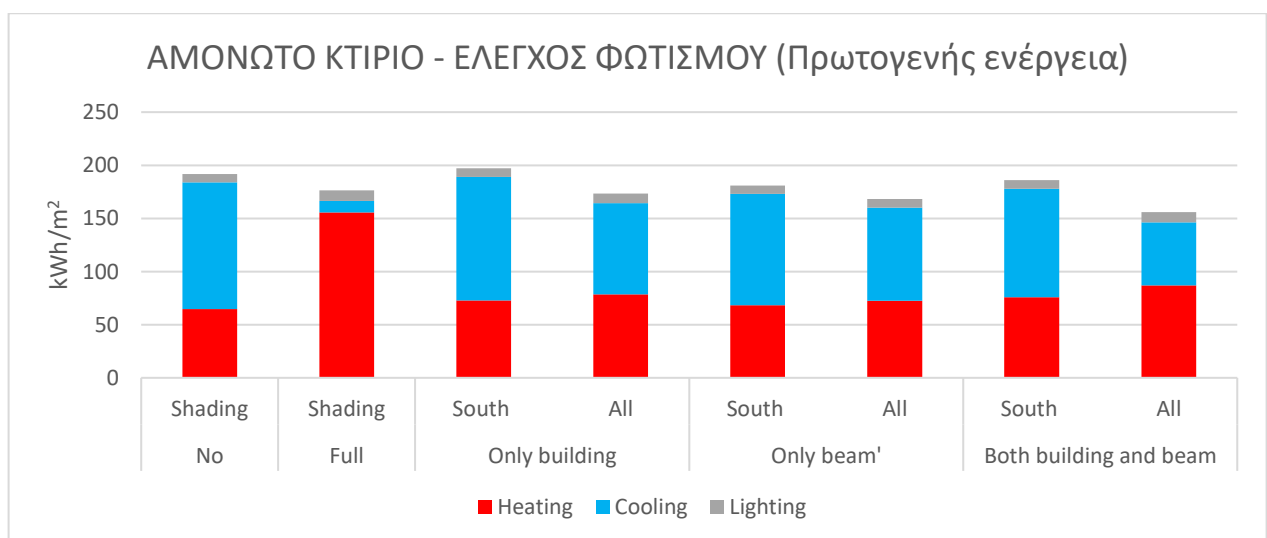
Εικόνα 56: Απαιτήσεις ενέργειας αμόνωντου κτιρίου με σκίαση από σταθερά στοιχεία και αυτοματισμό ελέγχου φωτισμού σε TEE KENAK.

Αντίστοιχα παρατίθενται τα αποτελέσματα από το EnergyPlus (Εικ. 56):



Εικόνα 56: Απαιτήσεις ενέργειας αμόνωντου κτιρίου με σκίαση από σταθερά στοιχεία και αυτοματισμό ελέγχου φωτισμού σε EnergyPlus.

Παρατηρείται η μεγάλη διαφορά σε σχέση με τον έλεγχο που πραγματοποιείται στο ΤΕΕ ΚΕΝΑΚ. Η απαίτηση φωτισμού σχεδόν εκμηδενίζεται κάτι αναμενόμενο καθώς έχει οριστεί σαφώς ότι το γραφείο λειτουργεί ώρες που γενικά στη τοποθεσία που έχει τεθεί (Αθήνα) υπάρχει φως (9 το πρωί έως 6 το απόγευμα). Βασικό στοιχείο είναι και η γεωμετρία του χώρου που ευνοεί τον φυσικό ηλιασμό με μεγάλα διαφανή ανοίγματα από όλες τις κατευθύνσεις. Μάλιστα αξιοσημείωτο είναι ότι στο κτίριο με πλήρη σκίαση οι απαιτήσεις για θέρμανση επικρατούν κατά πολύ όλων των υπολοίπων, καθώς στην ουσία ελαχιστοποιούνται τα πιο σημαντικά εσωτερικά θερμικά κέρδη (ηλιακά και θερμικά λόγω φωτισμού).

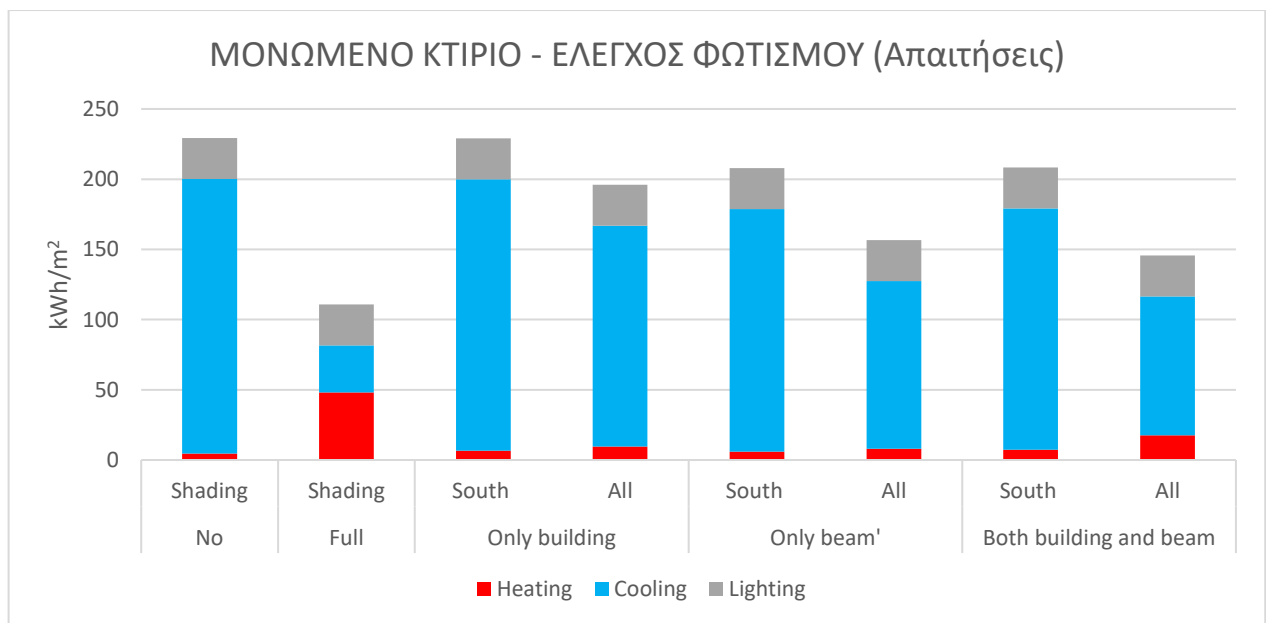


Εικόνα 57: Απαιτήσεις πρωτογενούς ενέργειας αμόνωντου κτιρίου με σκίαση από σταθερά στοιχεία και αυτοματισμό ελέγχου φωτισμού σε EnergyPlus.

Σε σύγκριση με τη μη ύπαρξη ελέγχου, ένα σημαντικό σημείο είναι η μεγάλη αύξηση της απαιτούμενης ενέργειας για την κάλυψη θερμικού φορτίου και αντίστοιχη μείωση του ψυκτικού φορτίου, λόγω της ελαχιστοποίησης της εκλυόμενης θερμότητας από τον φωτισμό. Επίσης, παρατηρείται και η ταυτόχρονη μείωση σε απαιτήσεις πρωτογενούς ενέργειας (**Εικ. 57**) καθώς δεν υπάρχει συντελεστής COP και EER για την κατανάλωση ηλεκτρισμού που συμβαίνει στον φωτισμό, αναδεικνύοντας τη σημασία του φωτισμού στην ενεργειακή εξοικονόμηση στον τριτογενή τομέα.

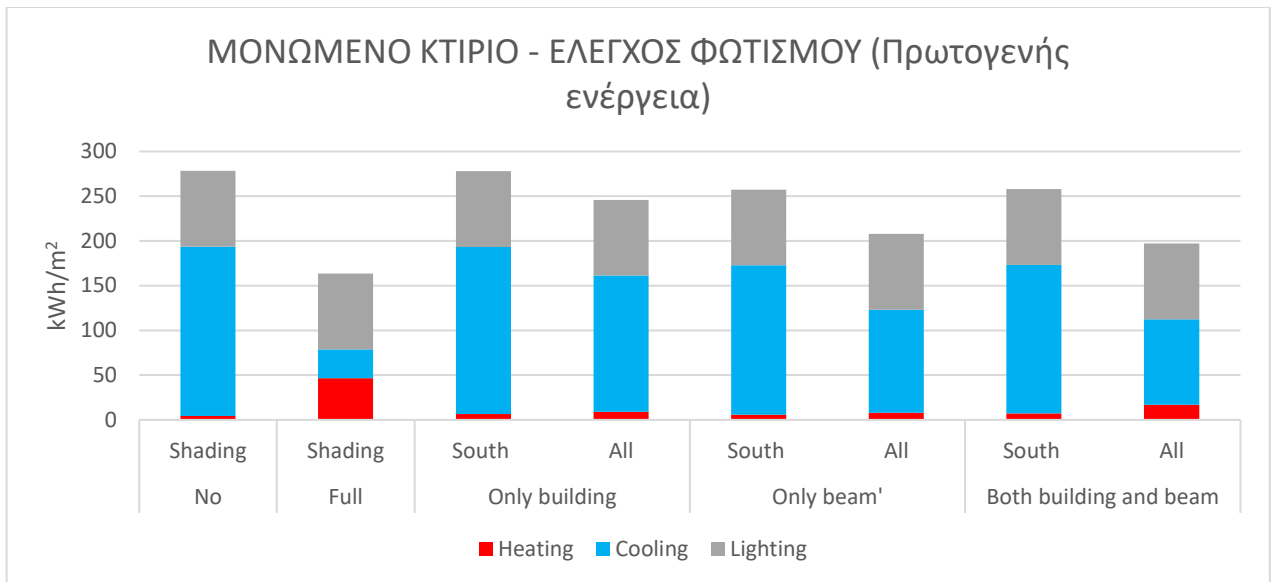
4.2.2 ΜΟΝΩΜΕΝΟ ΚΤΙΡΙΟ

Οι ίδιο έλεγχοι εφαρμόζονται και σε μονωμένο κτίριο (**Εικ. 58**):



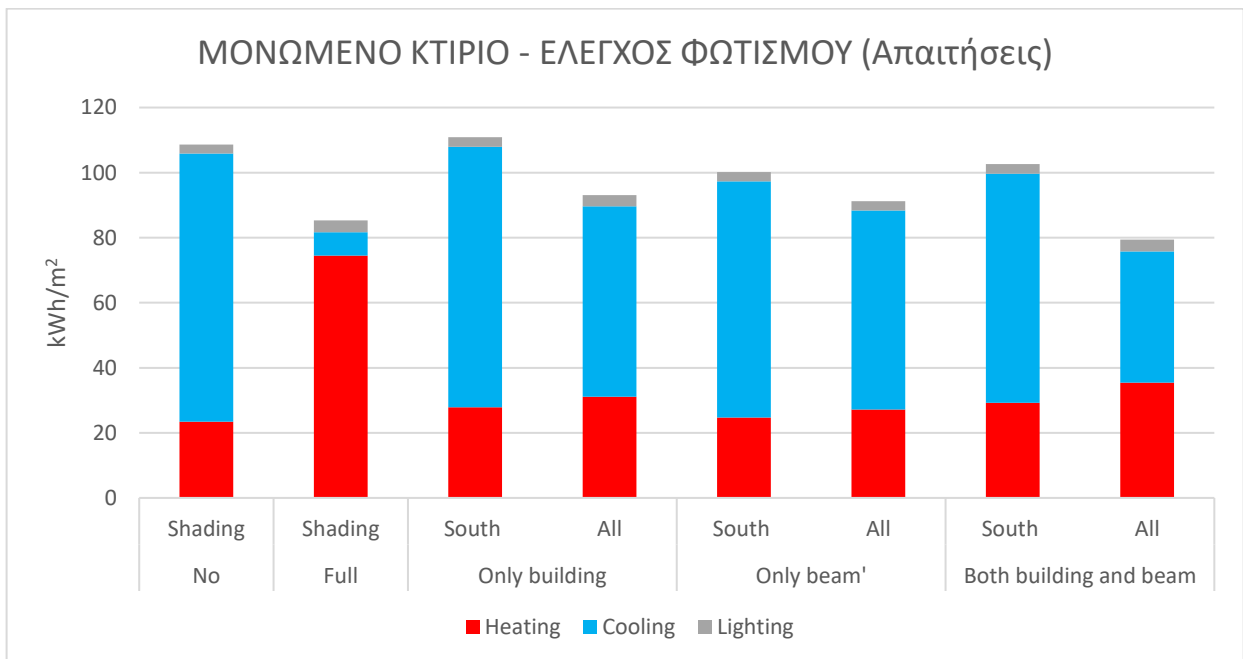
Εικόνα 58: Απαιτήσεις ενέργειας μονωμένου κτιρίου με σκίαση από σταθερά στοιχεία και αυτοματισμό έλεγχου φωτισμού σε TEE KENAK.

Εδώ παρατηρείται μια συμπίκνωση των απαιτήσεων για κλιματισμό σε σχέση με το αμόνωτο κτίριο, ενώ η θέρμανση σχεδόν μηδενίζεται (εκτός της πλήρης σκίασης), καθώς η αυξημένη μόνωση οδηγεί σε μειωμένες απώλειες της θερμότητας εντός του κτιρίου που οφείλεται στον φωτισμό και στα ηλιακά κέρδη. Το ίδιο συνέβαινε και στο κτίριο χωρίς έλεγχο φωτισμού, απλώς εδώ είναι ακόμα πιο εμφανές.

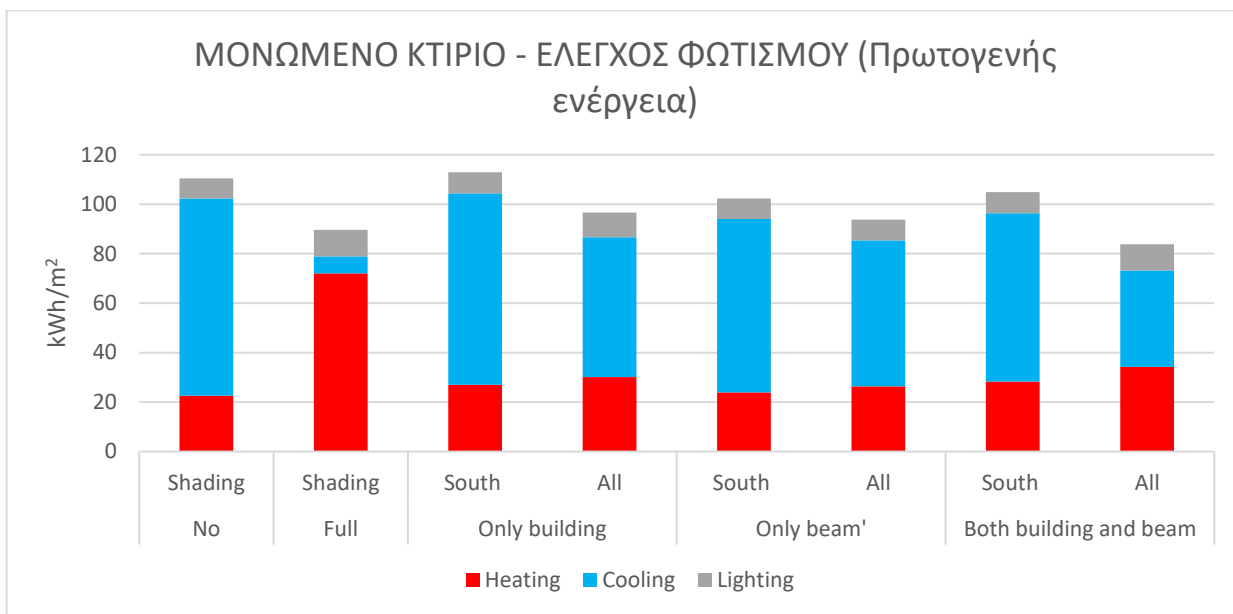


Εικόνα 59: Απαιτήσεις πρωτογενούς ενέργειας μονωμένου κτιρίου με σκίαση από σταθερά στοιχεία και αυτοματισμό ελέγχου φωτισμού σε TEE KENAK.

Πάλι βέβαια, ισχύει ότι και στο αμόνωτο κτίριο, σταθερή μείωση της απαίτησης φωτισμού ανεξαρτήτως κατεύθυνσης (Εικ. 59) Η προσομοίωση του μονωμένου κτιρίου σε EnergyPlus φαίνεται παρακάτω (Εικ. 60-61):



Εικόνα 60: Απαιτήσεις ενέργειας μονωμένου κτιρίου με σκίαση από σταθερά στοιχεία και αυτοματισμό ελέγχου φωτισμού σε EnergyPlus.



Εικόνα 61: Απαιτήσεις πρωτογενούς ενέργειας μονωμένου κτιρίου με σκίαση από σταθερά στοιχεία και αυτοματισμό ελέγχου φωτισμού σε EnergyPlus.

Το μονωμένο κτίριο σε σχέση με το αμόνωντο μειώνει κατά πολύ τη συνολική κατανάλωση του, παρ' όλα αυτά η αναλογία των επιμέρους καταναλώσεων παραμένει σχετικά σταθερή. Επίσης ο φωτισμός είναι συγκρίσιμο μέγεθος στις απαιτήσεις πρωτογενούς ενέργειας.

4.3 ΚΙΝΗΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΚΙΑΣΗΣ

Από το προηγούμενο κεφάλαιο έγινε κατανοητό ότι το TEE KENAK υστερεί στην προσομοίωση του φωτισμού και της σκίασης, συνεπώς, καθώς στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα εξεταστούν πιο πολύπλοκοι τρόποι σκίασης η προσομοίωση θα γίνει αποκλειστικά μέσω του EnergyPlus. Ορισμένοι μάλιστα τρόποι σκίασης δεν υπάρχει κανένας τρόπος προσομοίωσης όπως των περσίδων τοποθετημένων στον εσωτερικό χώρο του. Η ευκρινής εξέταση της σκίασης μέσω του EnergyPlus αποτυπώνεται και στο χρόνο προσομοίωσης, όπου όταν εφαρμοζόταν έλεγχος φωτισμού ο χρόνος προσομοίωσης από μερικά δευτερόλεπτα έφτανε σχεδόν ένα λεπτό. Επίσης, στα κινητά συστήματα σκίασης δε θα εξεταστεί η πλήρης σκίαση, καθώς εξ' ορισμού αναιρείται η επιρροή τους.

Ο ορισμός των περσίδων γίνεται ως συνέχεια του παραθύρου, στην ουσία δημιουργώντας μια εξτρά “φλούδα” που θα εφαρμοστεί είτε εξωτερικά είτε εσωτερικά του παραθύρου. Στο

EnergyPlus υπάρχει η δυνατότητα ακριβής παραμετροποίησης των περσίδων σε πραγματικά τεράστιο βαθμό. Εκτός των βασικών γεωμετρικών χαρακτηριστικών (όπως κατεύθυνση, απόσταση μεταξύ των γριλιών, πάχος κτλ.) γίνεται να οριστούν ανακλαστικότητα ορατού φωτός και διαχέοντος φωτός μεταξύ των διαφορετικών επιφανειών, διαπερατότητα σε διαχέοντα φωτισμό κτλ. Οι περσίδες που επιλέχθηκαν ήταν οι τυπικές που υπήρχαν στη βιβλιοθήκη του EnergyPlus.

Στη συνέχεια ο έλεγχος των περσίδων που εφαρμόστηκε ήταν αυτός της θάμβωσης. Αποτελεί τη συνέχεια του ελέγχου φωτισμού, καθώς βασίζεται την ύπαρξη των προηγουμένως καθορισμένων αισθητήρων, επιλέγοντας έναν από αυτούς ως αναφορά. Συνεπώς αφού οριστεί η κατεύθυνση του ορίζοντα που θα ανιχνεύει (στη περίπτωση μας επιλέχθηκε η νοτιοανατολική κατεύθυνση ώστε να μην είναι ακριβώς στην ευθεία του παραθύρου), ορίζεται η μέγιστη επιτρεπτή τιμή του discomfort glare index από όπου θα ενεργοποιηθούν οι περσίδες,

Activity or Zone Type	Maximum Allowable DGI
Art Galleries	16
Factories: Rough work	28
Factories: Engine assembly	26
Factories: Fine assembly	24
Factories: Instrument assembly	22
Hospital wards	18
Laboratories	22
Museums	20
Offices	22
School classrooms	20

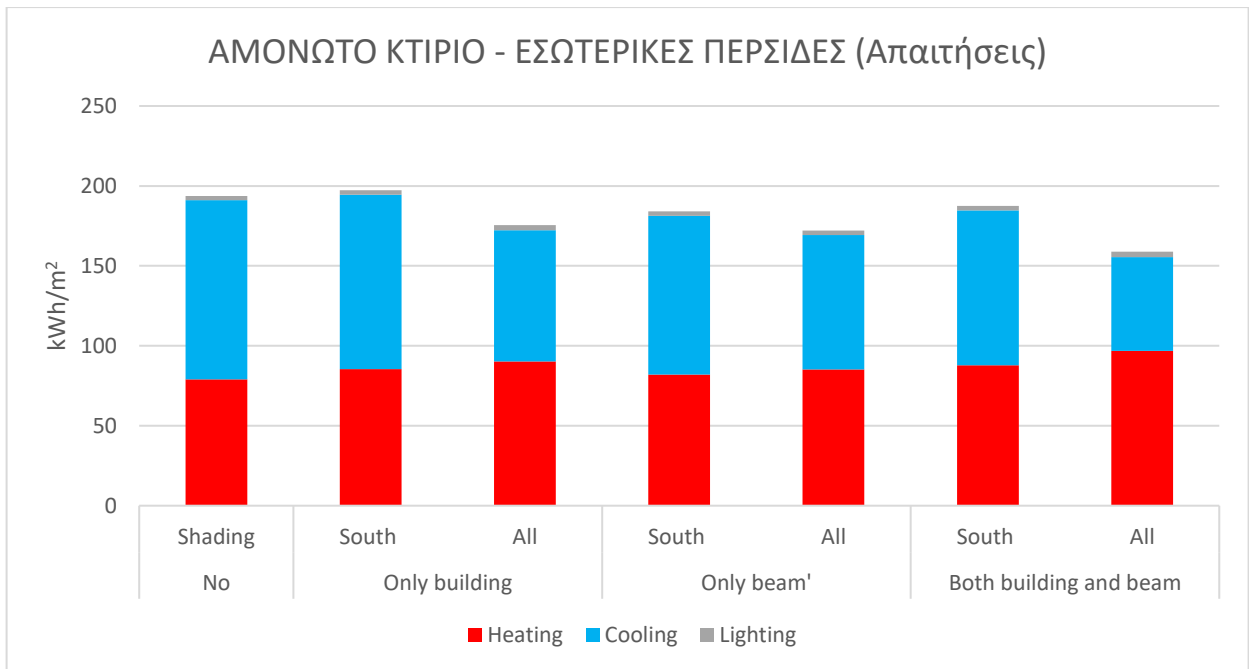
Εικόνα 62: Δείκτες Discomfort Glare Index [30].

Όπως φαίνεται και από τον παραπάνω πίνακα του εγχειρίδιου του EnergyPlus (**Εικ. 62**) επιλέχθηκε η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή glare για γραφεία, ήτοι 22. Τέλος επιλέγεται και ο ακριβής έλεγχος των περσίδων, δηλαδή αν κλείσουν αμέσως όλες μαζί σε όλα τα παράθυρα που ελέγχονται ή σειριακά με σειρά που καθορίζεται όπως επιθυμεί ο χρήστης, καθώς και αν θα υπάρχει και έλεγχος της γωνίας των γριλιών των περσίδων. Στα σενάρια που ερευνήθηκαν επιλέχθηκε ο σειριακός έλεγχος των περσίδων, καθώς και να είναι σταθερή η γωνία των γριλιών.

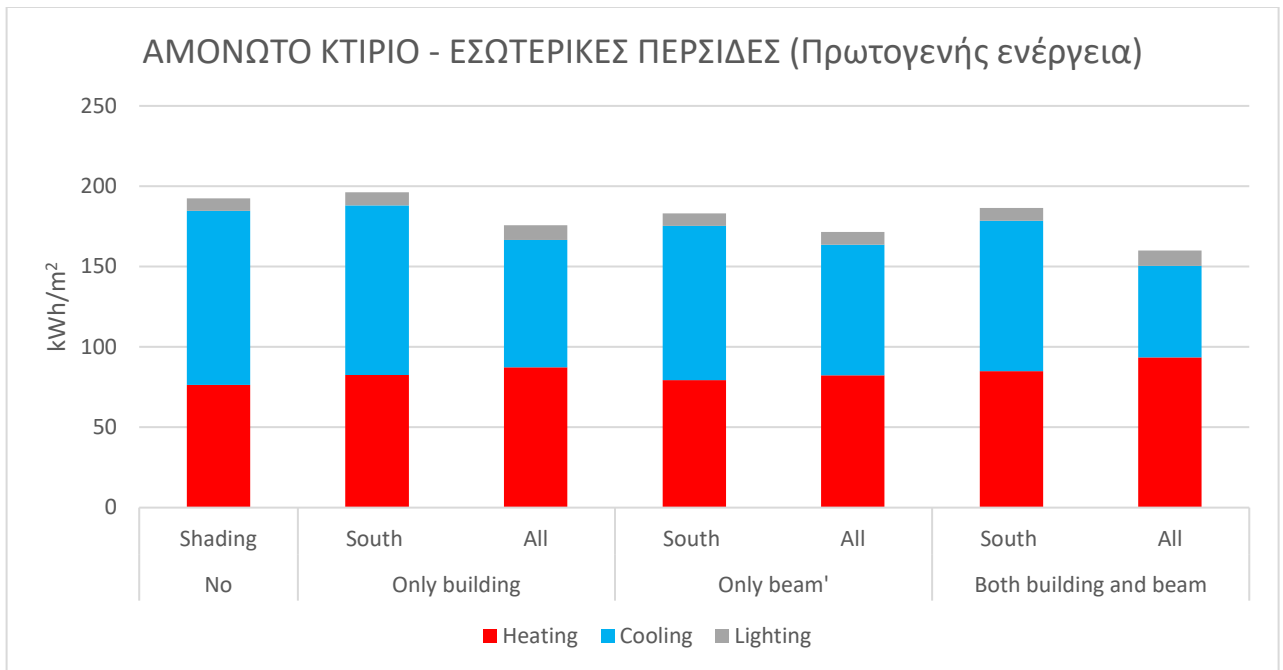
4.3.1 ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΠΕΡΣΙΔΕΣ (ΕΛΕΓΧΟΣ ΘΑΜΒΩΣΗΣ)

Όπως παρατηρείται στην προσομοίωση (**Εικ. 63-64**) αυτή εξάγονται σχεδόν ίδια αποτελέσματα με την περίπτωση του αυτοματισμού φωτισμού μόνο του, και αυτό συμβαίνει γιατί:

- 1) Η απαίτηση σε ενέργεια φωτισμού δεν αλλάζει καθόλου και παραμένει στα ίδια χαμηλά επίπεδα. Αυτό συμβαίνει γιατί οι περσίδες σε αυτό το σενάριο ενεργοποιούνται σε στιγμές όπου δεν υπάρχει πολύς διαχέοντας φωτισμός ούτως ή άλλως δηλαδή όταν είναι χαμηλά ο ήλιος (πρωί – απόγευμα και δημιουργούνται ιδανικές συνθήκες για θάμβωση), ώρες που ούτως ή άλλως ο φωτισμός θα ενεργοποιούταν για συμπλήρωση του φυσικού φωτός.
- 2) Επειδή είναι τοποθετημένες εσωτερικά, στην ουσία αφήνουν όλα τα ηλιακά κέρδη να εισέλθουν στο εσωτερικό του θερμαινόμενου χώρου. Άρα δεν υπάρχει καμία μεγάλη αλλαγή ούτε στις απαιτήσεις κλιματισμού, και η ελάχιστη διαφορά που έχουν με το σενάριο του αυτοματισμού ελέγχου μπορεί να αποδοθεί στην ανακλαστικότητα των γριλιών που έτσι αντανακλούν ένα ποσό ηλιακής ενέργειας πίσω στο περιβάλλον (για παράδειγμα σε μη σκιασμένο αμόνωτο κτίριο η απαίτηση για ψύξη πάει από 123,16 σε 112,08 kWh/m² ενώ για θέρμανση από 67,03 σε 79 kWh/m²).

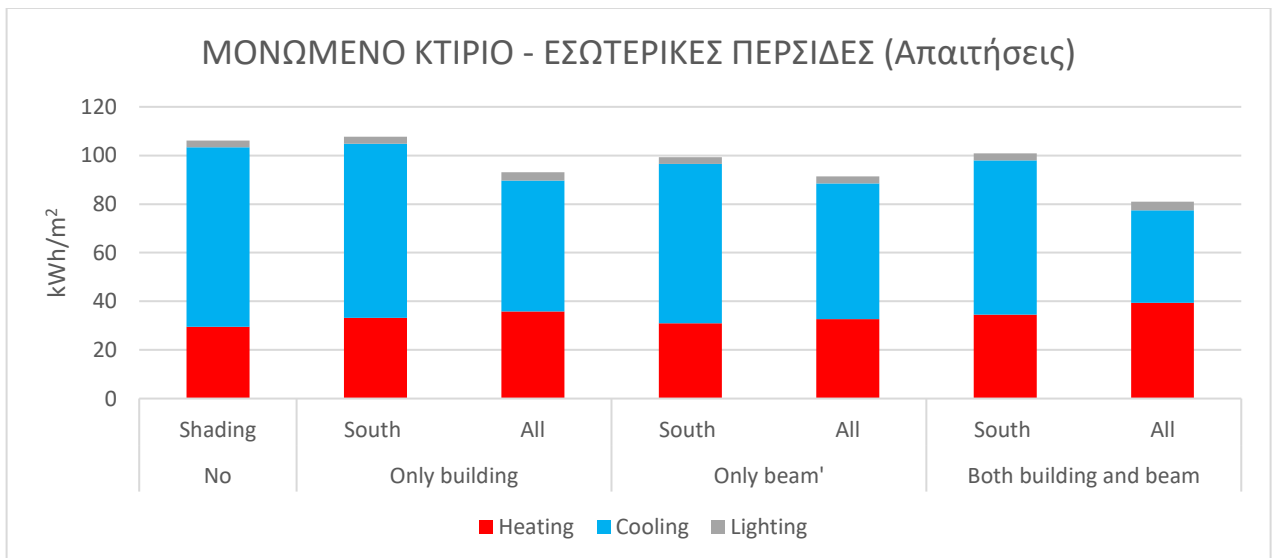


Εικόνα 63: Απαιτήσεις ενέργειας αμόνωτου κτιρίου με σκίαση από σταθερά στοιχεία και αυτοματισμό ελέγχου φωτισμού-εσωτερικών περσίδων (glare) σε EnergyPlus.

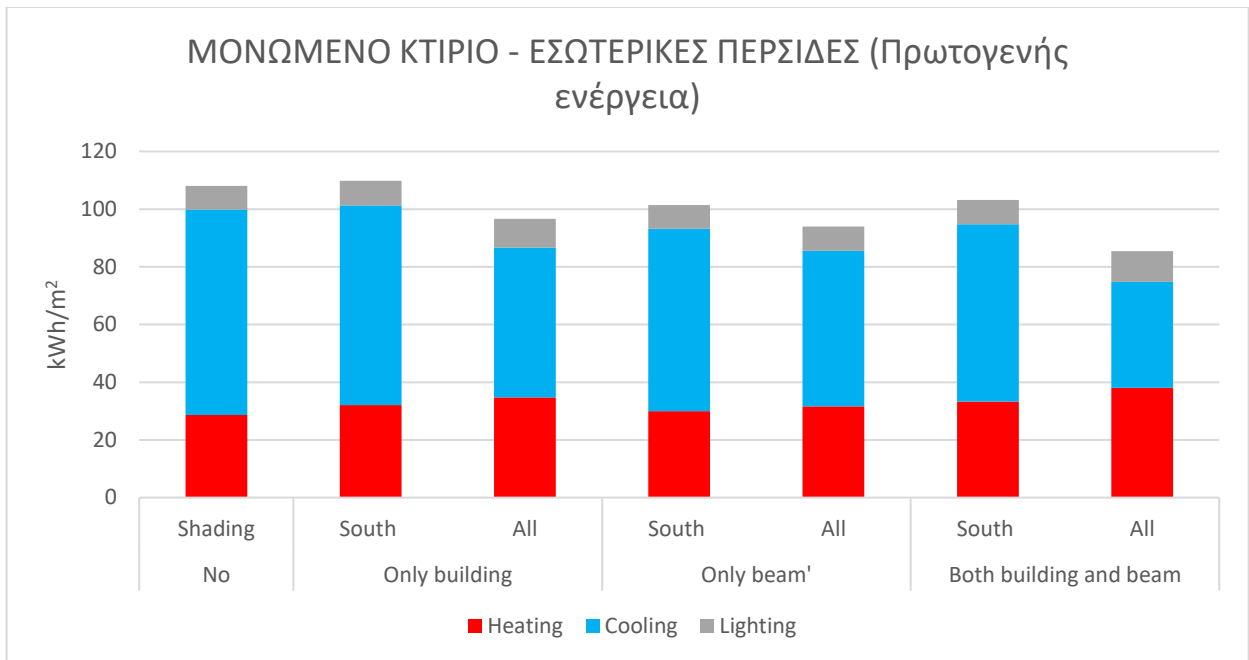


Εικόνα 64: Απαιτήσεις πρωτογενούς ενέργειας αμόνωτου κτιρίου με σκίαση από σταθερά στοιχεία και αυτοματισμό ελέγχου φωτισμού-εσωτερικών περσίδων (glare) σε EnergyPlus

Το ίδιο συμπέρασμα ενισχύουν και τα αποτελέσματα του μονωμένου κτιρίου (Εικ. 65-66), κάνοντας πιο εμφανή την αύξηση της ενεργειακής απαίτησης σε φωτισμό. Συμπεραίνεται επίσης ότι επειδή το σενάριο του αυτομάτου ελέγχου των εσωτερικών περσίδων δεν αλλάζει ουσιαστικά το ενεργειακό προφίλ του κτιρίου, είναι μια επιθυμητή παρέμβαση όταν δεν είναι αυτοσκοπός η εξοικονόμηση ενέργειας αλλά η άνεση του χρήστη της ζώνης ως προς τη θάμβωση.



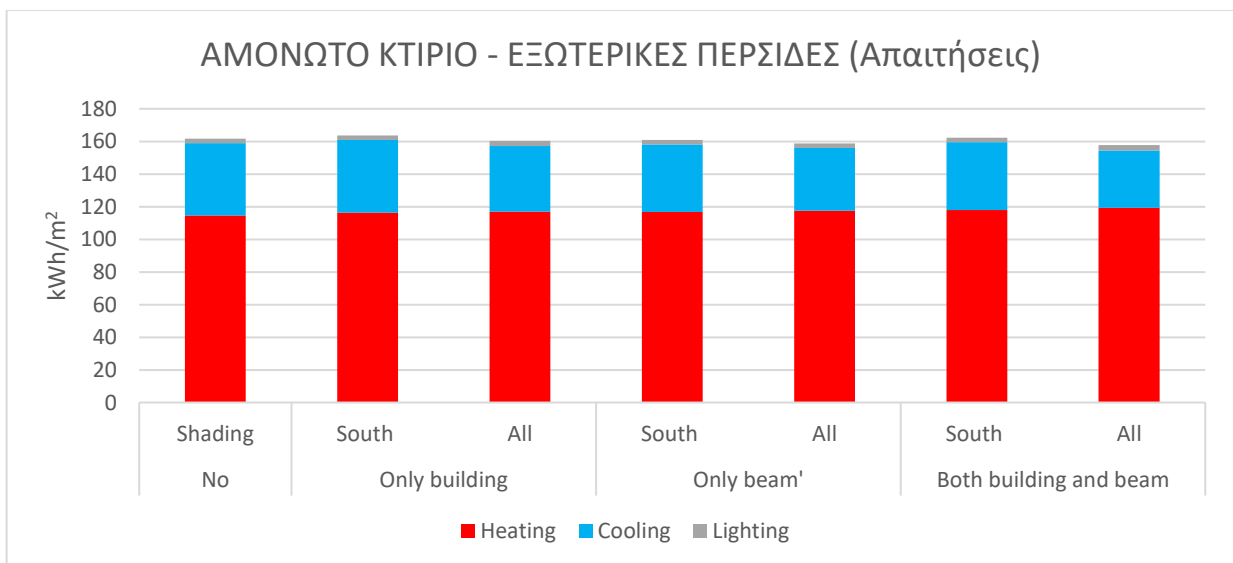
Εικόνα 65: Απαιτήσεις ενέργειας μονωμένου κτιρίου με σκίαση από σταθερά στοιχεία και αυτοματισμό ελέγχου φωτισμού-εσωτερικών περσίδων (glare) σε EnergyPlus.



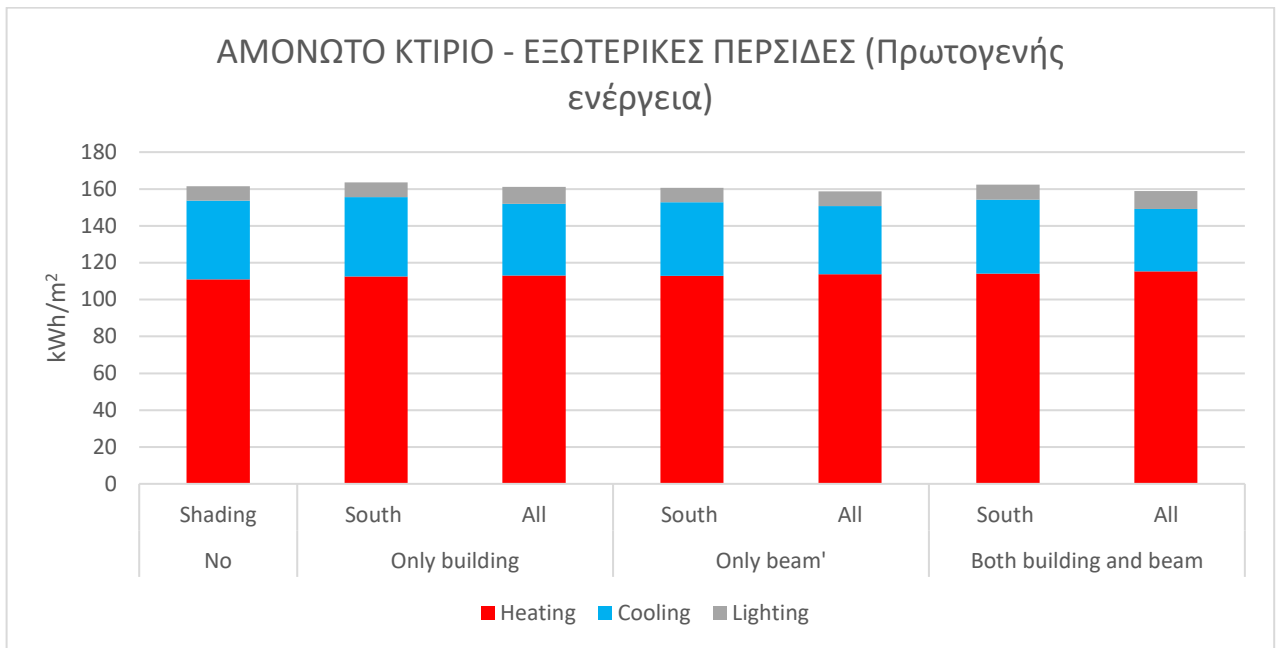
Εικόνα 66: Απαιτήσεις πρωτογενούς ενέργειας μονωμένου κτιρίου με σκίαση από σταθερά στοιχεία και αυτοματισμό ελέγχου φωτισμού-εσωτερικών περσίδων (glare) σε EnergyPlus.

4.3.2 ΕΞΩΤΕΡΙΚΕΣ ΠΕΡΣΙΔΕΣ (ΕΛΕΓΧΟΣ ΘΑΜΒΩΣΗΣ)

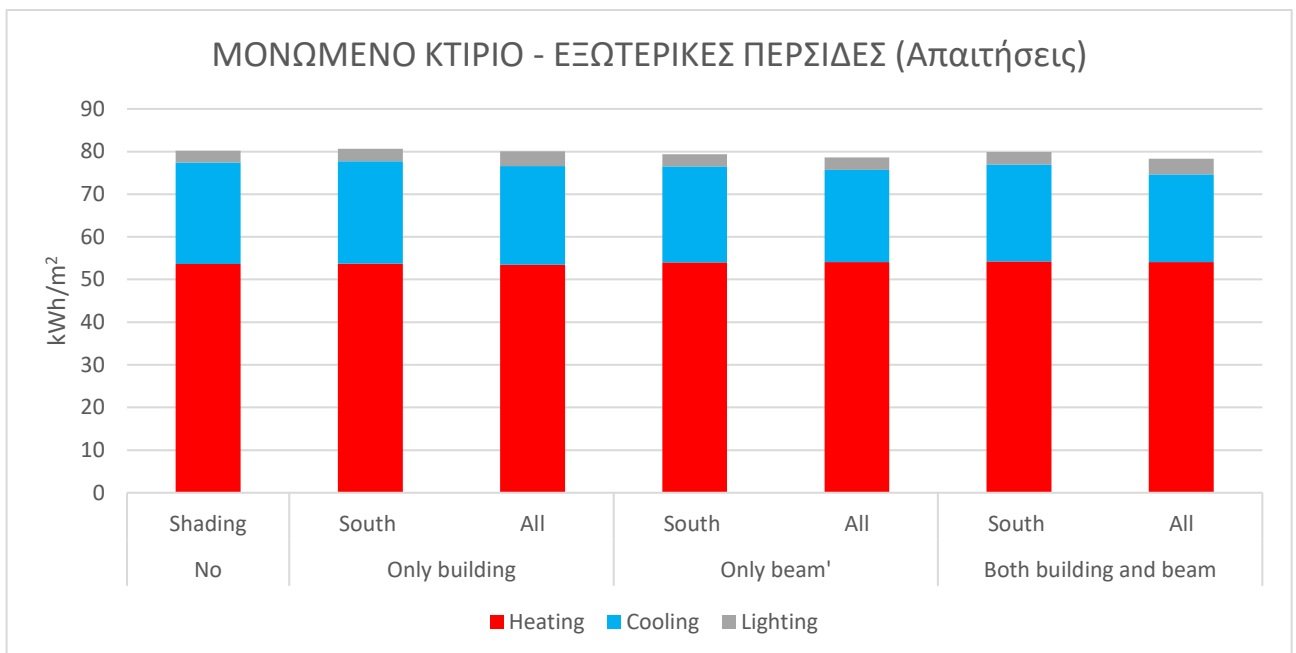
Εδώ έγινε ο ακριβώς ίδιος έλεγχος προηγουμένως, μόνο που εδώ οι περσίδες μεταφέρθηκαν στο εξωτερικό των παραθύρων ως φλούδα.



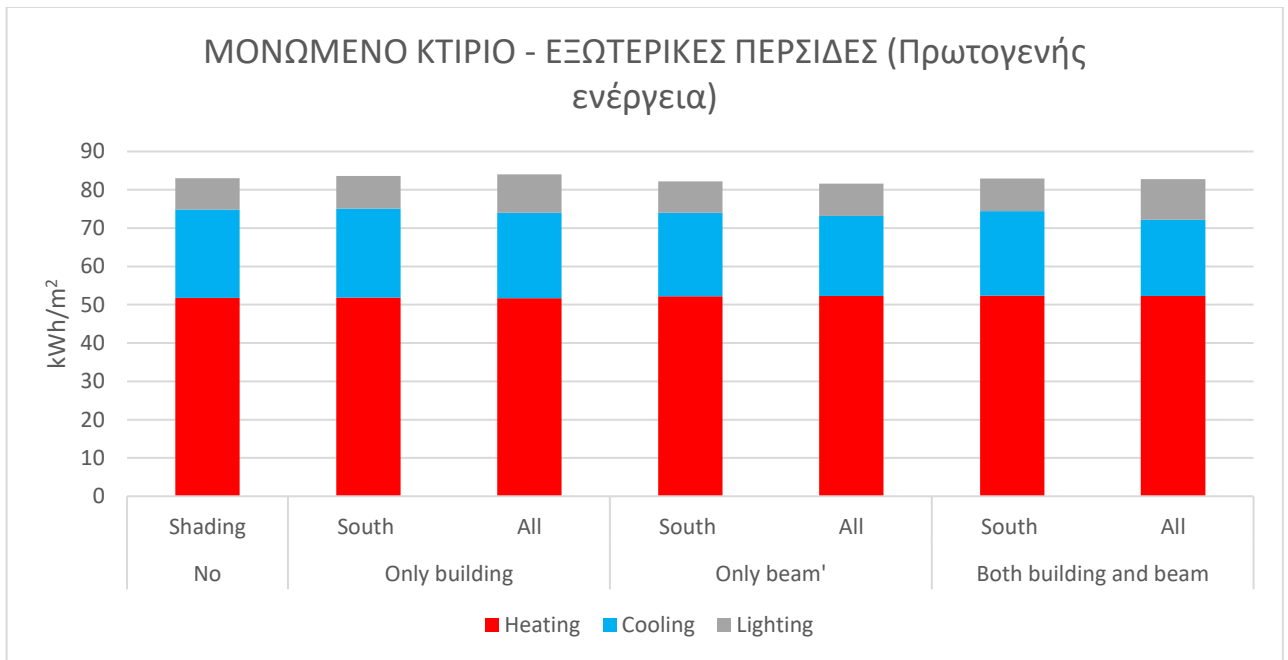
Εικόνα 67: Απαιτήσεις ενέργειας αμόνωτου κτιρίου με σκίαση από σταθερά στοιχεία και αυτοματισμό ελέγχου φωτισμού-εξωτερικών περσίδων (glare) σε EnergyPlus.



Εικόνα 68: Απαιτήσεις πρωτογενούς ενέργειας αμόνωντου κτιρίου με σκίαση από σταθερά στοιχεία και αυτοματισμό ελέγχου φωτισμού-εξωτερικών περσίδων (glare) σε EnergyPlus.



Εικόνα 69: Απαιτήσεις ενέργειας μονωμένου κτιρίου με σκίαση από σταθερά στοιχεία και αυτοματισμό ελέγχου φωτισμού-εξωτερικών περσίδων (glare) σε EnergyPlus.



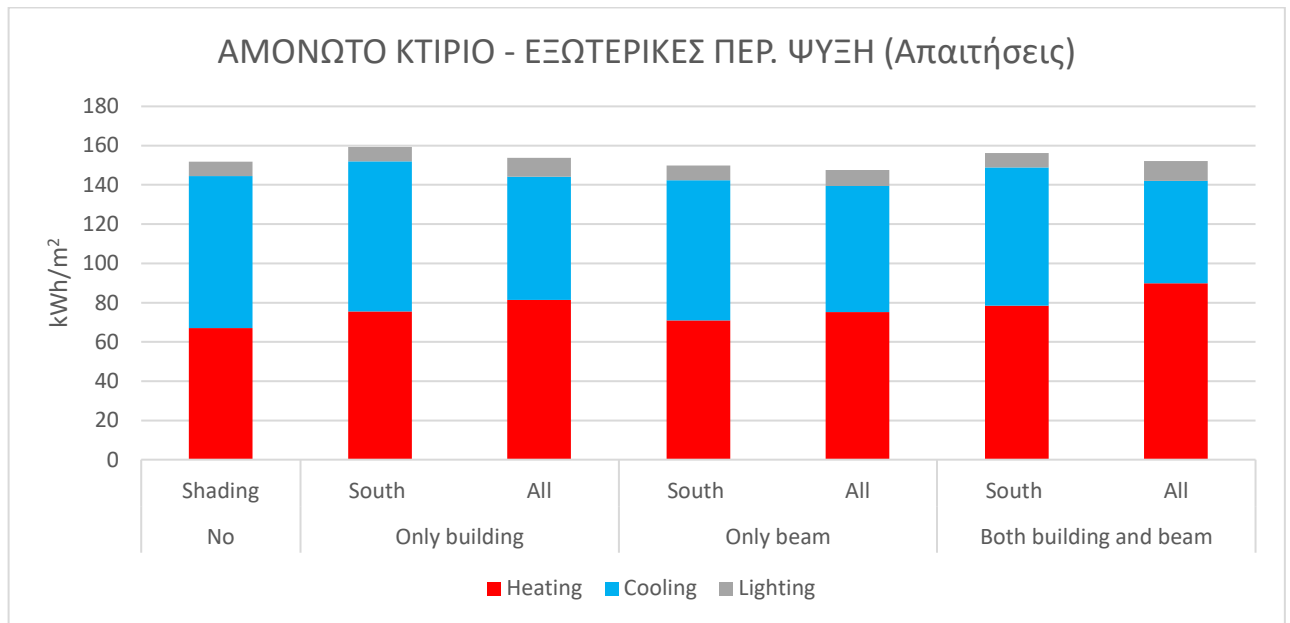
Εικόνα 70: Απαιτήσεις πρωτογενούς ενέργειας μονωμένου κτιρίου με σκίαση από σταθερά στοιχεία και αυτοματισμό ελέγχου φωτισμού-εξωτερικών περσίδων (glare) σε EnergyPlus.

Τα αποτελέσματα των προηγούμενων εικόνων (**Εικ. 67-70**) δίνουν μια σημαντική διάσταση στη διαφορά της τοποθεσίας περσίδων:

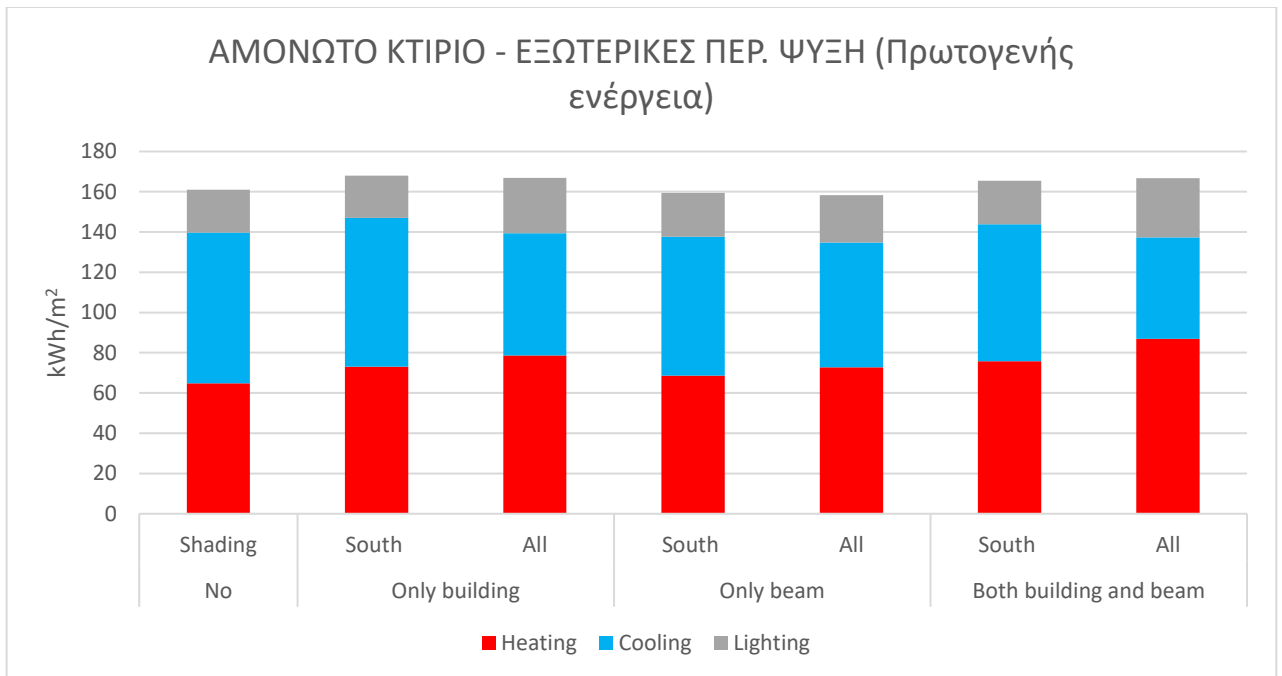
- 1) Ένα αναμενόμενο αποτέλεσμα είναι ότι οι ενεργειακές απαιτήσεις για φωτισμό πάλι παρέμειναν ίδιες για όλα τα σενάρια, καθώς δεν άλλαξε τίποτα στον έλεγχο του φωτισμού και των περσίδων (δηλαδή σε μη σκιασμένο κτίριο παρέμεινε στο χαμηλό ποσό των 2,69 kWh/m²).
- 2) Παρ' όλα αυτά το προφίλ φορτίου του κτιρίου άλλαξε άρδην, επειδή οι περσίδες είναι τοποθετημένες εξωτερικά εμποδίζουν την είσοδο ηλιακών κερδών στο θερμαινόμενο χώρο από τις διαφανείς επιφάνειες ανεξαρτήτου σεναρίου. Το φορτίο ενώ στα περισσότερα σενάρια επικρατούσε η απαίτηση για ψύξη, εδώ γίνεται το αντίθετο. Για παράδειγμα, σε μη σκιασμένο αμόνωτο κτίριο μεταξύ των εσωτερικών και εξωτερικών περσίδων, οι απαιτήσεις ψύξης έγιναν από 112,08 σε 44,29 kWh/m² (μείωση 60%) και οι απαιτήσεις θέρμανσης έγιναν από 79 σε 114,70 kWh/m² (αύξηση 45%). Συνολικά σε αυτό το σενάριο η τοποθέτηση εξωτερικών περσίδων είναι ευνοϊκότερες καθώς έχουν μια μείωση της τάξης 18,5% (από 205,52 σε 173,43 kWh/m²).
- 3) Θα μπορούσε να παρομοιαστεί ως μία ενδιάμεση κατάσταση πριν τη πλήρη σκίαση, καθώς είναι το πιο κοντινό ενεργειακό προφίλ που ταιριάζει, ομαλοποιώντας τις διακυμάνσεις του μεταξύ των σεναρίων (και άρα οι περσίδες ενεργοποιούνται σε ένα μεγάλο ποσοστό της ημέρας τα πρωινά και απογεύματα λόγω της θάμβωσης από τον ήλιο που βρίσκεται χαμηλά, κάτι αναμενόμενο καθώς η γεωμετρία του κτιρίου ευνοεί τον φυσικό ηλιασμό).

4.3.3 ΕΞΩΤΕΡΙΚΕΣ ΠΕΡΣΙΔΕΣ (ΕΛΕΓΧΟΣ ΥΨΗΛΗΣ ΨΥΞΗΣ)

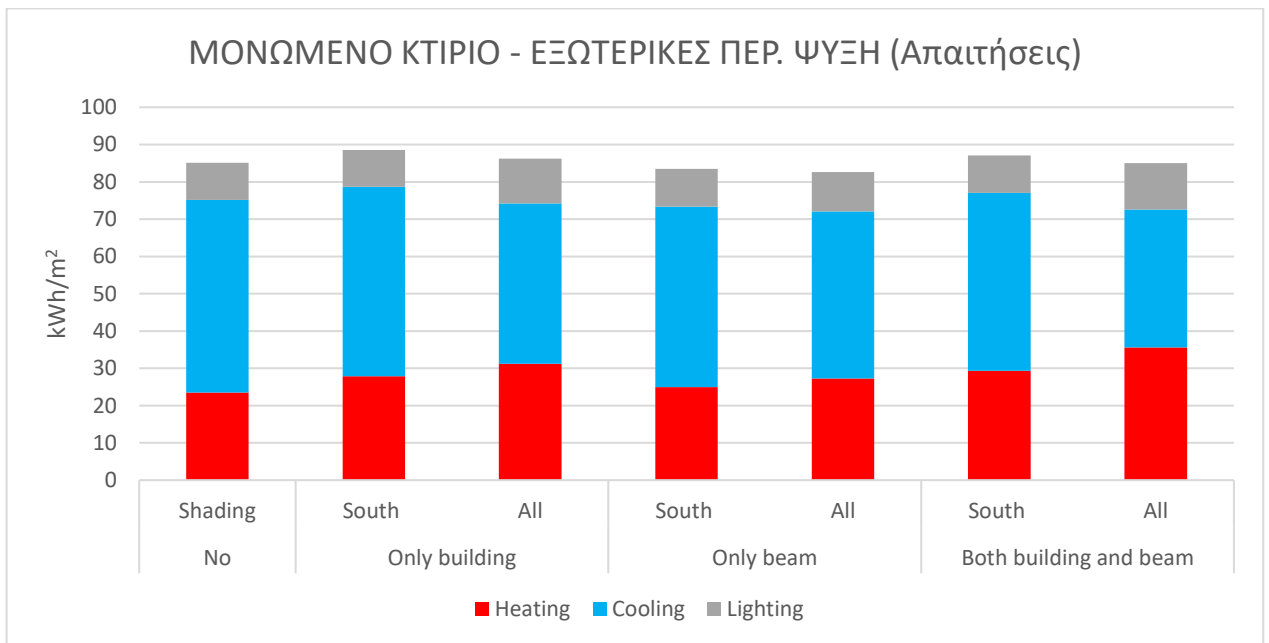
Σε αυτό το σενάριο θα χρησιμοποιηθεί ένας διαφορετικός είδος ελέγχου, αυτό της ενεργοποίησης των περσίδων όταν ξεπερνιέται ένα σημείο αναφοράς σε σχέση με τον απαιτούμενο ρυθμό ψύξης (cooling rate) που επικρατεί στον θερμαινόμενο χώρο, ώστε να μειωθούν τα ηλιακά κέρδη και άρα η απαιτούμενη ενέργεια για ψύξη. Αυτό καθορίζεται από τον χρήστη, και θα τοποθετηθεί στα 200 Watt για τα αποτελέσματα που ακολουθούν, με τις υπόλοιπες παραμέτρους να μένουν ίδιες.



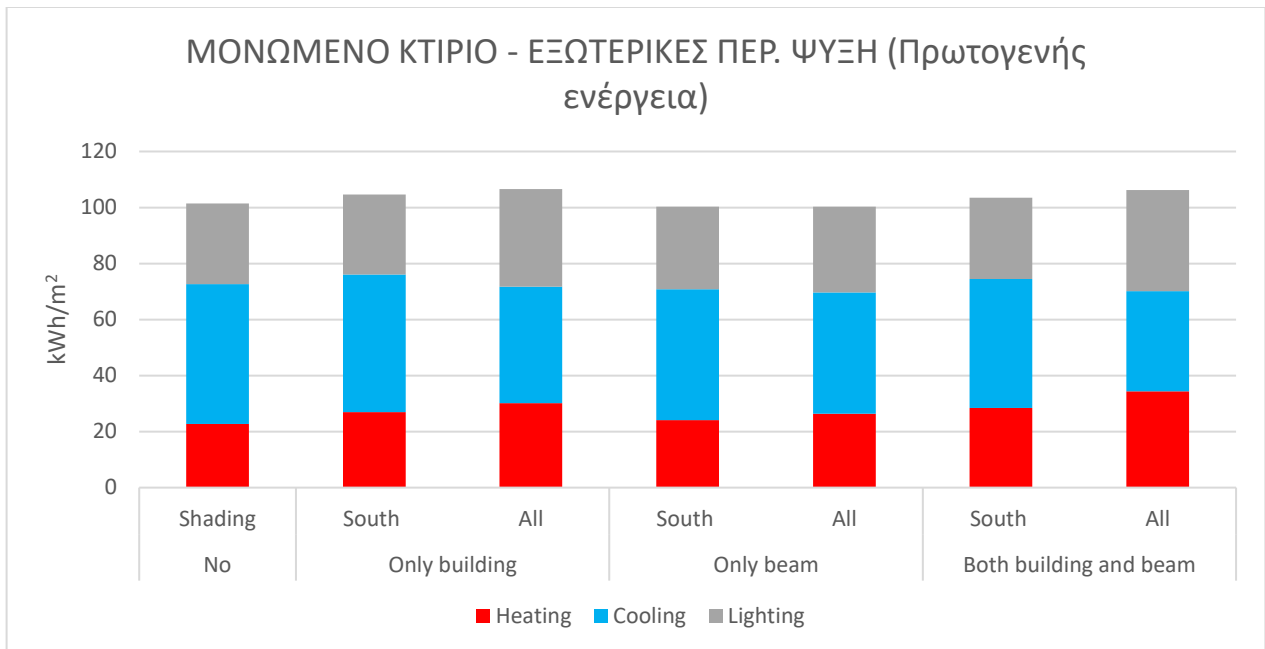
Εικόνα 71: Απαιτήσεις ενέργειας αμόνωτου κτιρίου με σκίαση από σταθερά στοιχεία και αυτοματισμό ελέγχου φωτισμού-εξωτερικών περσίδων (high cooling) σε EnergyPlus.



Εικόνα 72: Απαιτήσεις πρωτογενούς ενέργειας αμόνωντου κτιρίου με σκίαση από σταθερά στοιχεία και αυτοματισμό ελέγχου φωτισμού-εξωτερικών περιόδων (high cooling) σε EnergyPlus.



Εικόνα 73: Απαιτήσεις ενέργειας μονωμένου κτιρίου με σκίαση από σταθερά στοιχεία και αυτοματισμό ελέγχου φωτισμού-εξωτερικών περιόδων (high cooling) σε EnergyPlus.



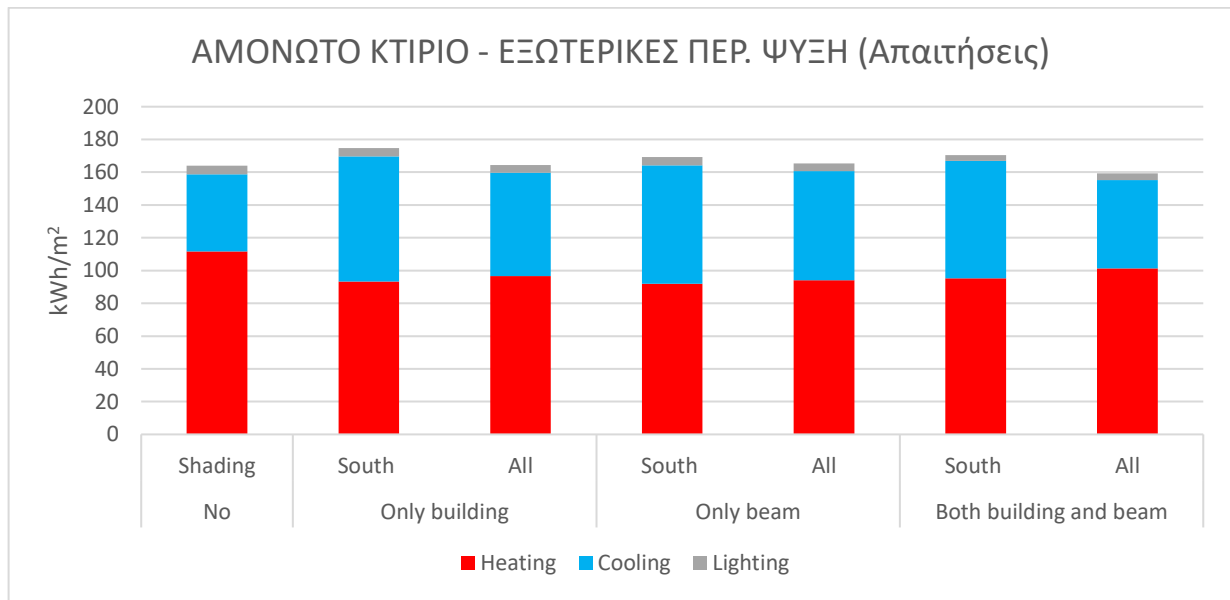
Εικόνα 74: Απαιτήσεις πρωτογενούς ενέργειας μονωμένου κτιρίου με σκίαση από σταθερά στοιχεία και αυτοματισμό ελέγχου φωτισμού-εξωτερικών περιόδων (high cooling) σε EnergyPlus.

Τα αποτελέσματα εδώ (**Εικ. 71-74**) δημιουργούν ένα μεγάλο ερώτημα σε σχέση με το προηγούμενο σενάριο: Εφόσον ο έλεγχος που γίνεται αφορά αποκλειστικά την ψύξη, γιατί το ψυκτικό φορτίο που απαιτείται γενικά στα σενάρια είναι μεγαλύτερο από ότι του ελέγχου των εξωτερικών περιόδων με βάση τη θάμβωση (π.χ. σε μη σκιασμένο αμόνωτο από 44,29 σε 77,54 kWh/m²);

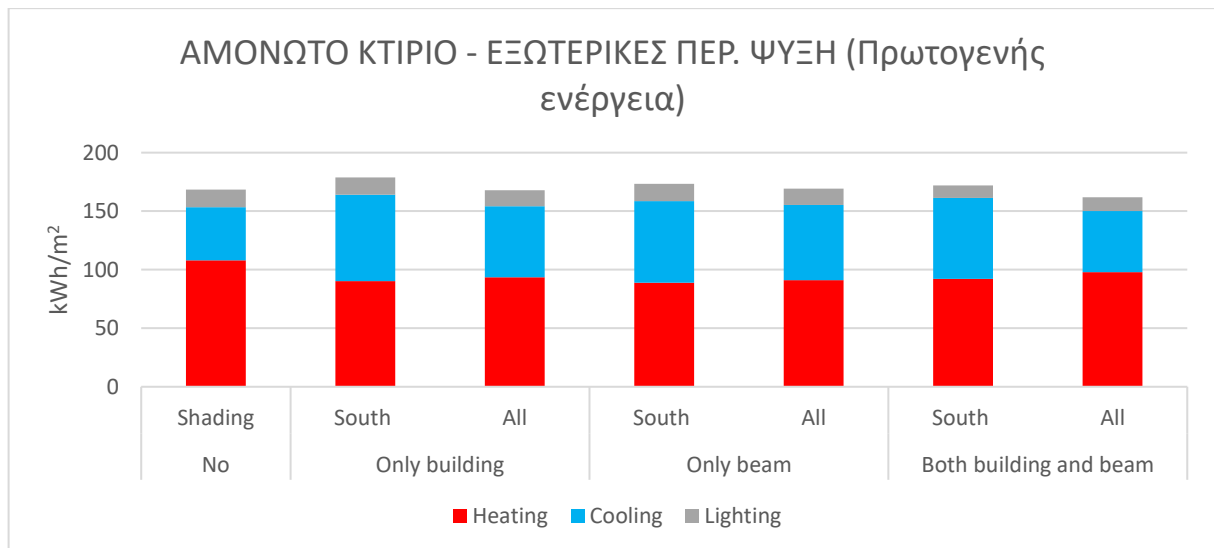
Αυτό μπορεί να απαντηθεί λαμβάνοντας υπόψιν την ιδιαίτερη γεωμετρία του κτιρίου που εξετάζεται. Επειδή το δώμα είναι αδιαβατικό, ο μόνος τρόπος όπου εισέρχονται ηλιακά κέρδη στον χώρο είναι μέσω των κατακόρυφων επιφανειών και κυρίως μέσω των διαφανών επιφανειών. Άρα επειδή είναι και στο επίπεδο του εδάφους το κτίριο, ο μεγαλύτερος ηλιασμός του κτιρίου υφίσταται τις πρωινές και τις απογευματινές ώρες που είναι χαμηλά ο ήλιος. Έτσι, ταυτόχρονα τότε δημιουργούνται και οι μεγαλύτερες συνθήκες για θάμβωση και άρα κλείνουν οι περιόδους εμποδίζοντας ταυτόχρονα μεγάλο ποσοστό των ηλιακών κερδών. Αντίθετα, επειδή οι περιόδους σε αυτό το σενάριο ελέγχονται αποκλειστικά από τον ρυθμό ψύξης, το πρωί λόγω της φυσικής ψύξης που έχει προέλθει από το περασμένο βράδυ οι περιόδους δεν ενεργοποιούνται και άρα αφήνουν ένα μεγάλο ποσοστό να εισέλθει μέσα στον θερμαινόμενο χώρο. Αντίθετα, ενεργοποιούνται τις πιο ζεστές ώρες (το μεσημέρι) εμποδίζοντας έτσι να μπει διαχέον φως, αλλά ταυτόχρονα κάνοντας το μεσημέρι πιο σκοτεινό το περιβάλλον, αυξάνοντας τις απαιτήσεις φωτισμού. Για αυτό και συνολικά, αν και κάποιος θα περίμενε το αντίθετο, το κτίριο αποδίδει χειρότερα ενεργειακά σε σχέση με το σενάριο του ελέγχου της θάμβωσης.

4.3.4 ΕΞΩΤΕΡΙΚΕΣ ΠΕΡΣΙΔΕΣ (ΕΛΕΓΧΟΣ ΥΨΗΛΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΙΣΧΥΣ ΕΠΙ ΤΟΥ ΠΑΡΑΘΥΡΟΥ)

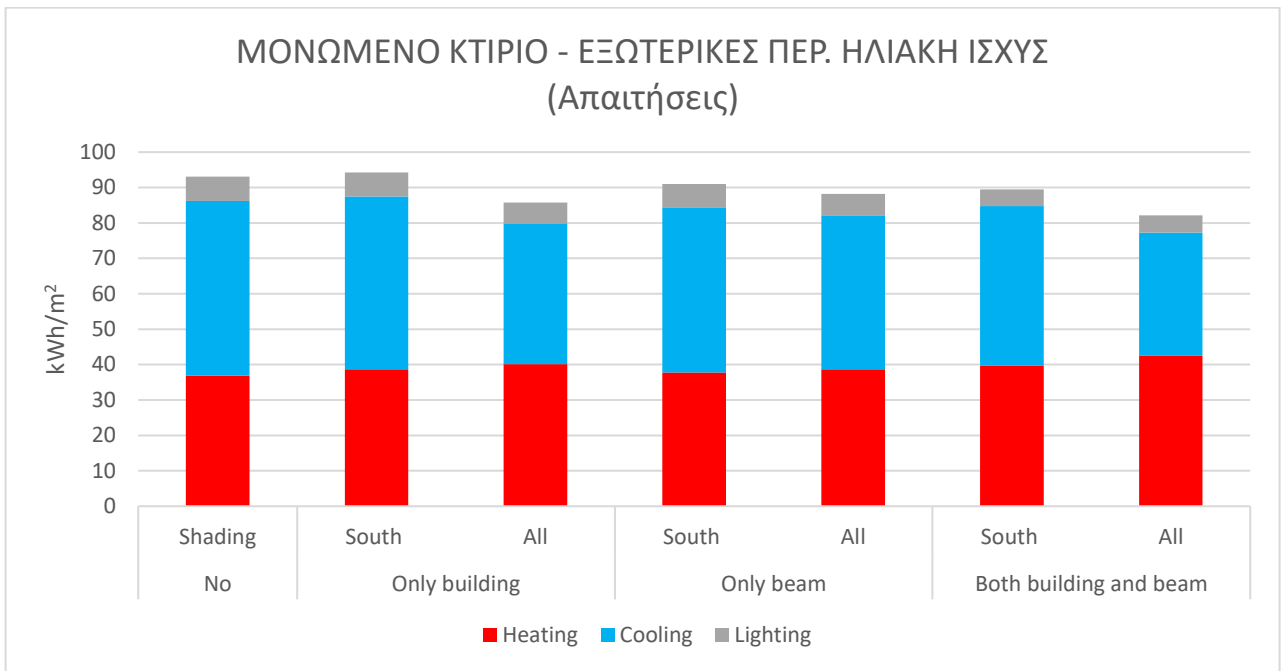
Στο τελευταίο σενάριο που θα εξεταστεί σε αυτή την εργασία, θα χρησιμοποιηθεί έλεγχος εξωτερικών περσίδων έτσι ώστε μόλις ξεπερνιέται η προσπίπτουσα ηλιακή ισχύς από ένα σημείο αναφοράς (εδώ 140 W/m^2) να κλείνουν.



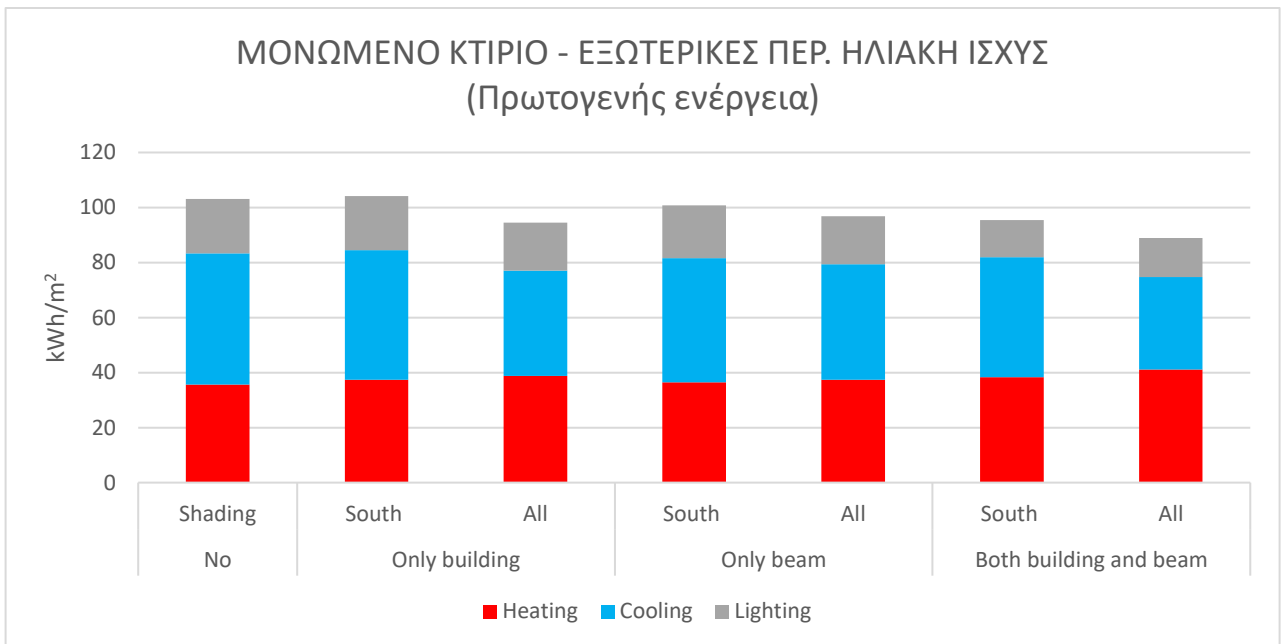
Εικόνα 75: Απαιτήσεις ενέργειας αμόνωντου κτιρίου με σκίαση από σταθερά στοιχεία και αυτοματισμό ελέγχου φωτισμού-εξωτερικών περσίδων (solar on window) σε EnergyPlus.



Εικόνα 76: Απαιτήσεις πρωτογενούς ενέργειας αμόνωντου κτιρίου με σκίαση από σταθερά στοιχεία και αυτοματισμό ελέγχου φωτισμού-εξωτερικών περσίδων (solar on window) σε EnergyPlus.



Εικόνα 77: Απαιτήσεις ενέργειας μονωμένου κτιρίου με σκίαση από σταθερά στοιχεία και αυτοματισμό ελέγχου φωτισμού-εξωτερικών περσίδων (solar on window) σε EnergyPlus.



Εικόνα 78: Απαιτήσεις πρωτογενούς ενέργειας μονωμένου κτιρίου με σκίαση από σταθερά στοιχεία και αυτοματισμό ελέγχου φωτισμού-εξωτερικών περσίδων (solar on window) σε EnergyPlus.

Από τα αποτελέσματα το πιο σημαντικό συμπέρασμα είναι ότι ο τρόπος λειτουργίας τους είναι σχετικά παρόμοιος με τον προηγούμενο του υψηλού ρυθμού ψύξης, αλλά επειδή λειτουργεί με την ισχύ που προσπίπτει στο παράθυρο (που είναι το μεγαλύτερο σημείο εισόδου των ηλιακών κερδών), ενεργοποιείται νωρίτερα σε μη σκιασμένα κτίρια από ότι με τον ρυθμό ψύξης (λόγω της θερμικής αδράνειας). Αυτό φαίνεται και στις απαιτήσεις ψύξεως, και ιδιαίτερα στο μη σκιασμένο αμόνωτο κτίριο με μία μείωση της τάξης του 40% (από 77,54 kWh/m² σε 47,07 kWh/m²). Όμως, επειδή δεν έγινε αλλαγή στο χρονοδιάγραμμα του ελέγχου αλλά λειτουργεί το ίδιο σε όλη τη χρόνια, ταυτόχρονα προκαλεί σκίαση ΚΑΙ τον χειμώνα, εμποδίζοντας τα ευνοϊκά για την περίοδο ηλιακά κέρδη από το να εισέλθουν μέσα στον θερμαινόμενο χώρο, οδηγώντας σε δραματική αύξηση των θερμικών απαιτήσεων της τάξης του 66% (από 67,01 σε 111,738 kWh/m²).

Το φαινόμενο αυτό μετριάζεται σε σκιασμένα κτίρια όπως π.χ. το σκιασμένο με όλους του τρόπους σταθερής σκίασης αμόνωτο κτίριο. Εκεί οι απαιτήσεις ψύξης παραμένουν σχεδόν παρόμοιοι, αλλά και πάλι παρατηρείται μικρή αύξηση των θερμικών απαιτήσεων (από 73,01 σε 93,3 kWh/m²). Πάντως οι γενικά μειωμένες απαιτήσεις σε φωτισμό δείχνουν ότι οι περσίδες ενεργοποιούνται λιγότερο από ότι στον έλεγχο ρυθμού ψύξης. Τα ανωτέρω ισχύουν και στο μονωμένο κτίριο απλώς σε πολύ μικρότερο βαθμός λόγω της μείωσης των απωλειών.

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ένα από τα πιο σημαντικά συμπεράσματα αυτής της εργασίας είναι το μέγεθος και οι ποικίλοι τρόποι που μπορεί να επηρεάσει την ενεργειακή απόδοση ενός κτιρίου ο τρόπος σκίασης και η ύπαρξη ή όχι αυτοματισμών του, ιδιαίτερα όταν αφορούν κτίριο με μεγάλο ποσοστό διαφανών επιφανειών σε σχέση με το συνολικό κέλυφος. Μάλιστα λόγω αυτού είναι δύσκολο να βρεθεί μια λύση συστημάτων σκίασης πανάκεια χωρίς να εξεταστούν όλοι οι παράγοντες που επηρεάζουν ένα κτίριο (τη χρήση του, την ενεργειακή του απόδοση κ.ο.κ.).

Επίσης με τη χρήση και των δύο εργαλείων είναι δυνατό να εξαχθούν συμπεράσματα και για την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων τους. Το TEE – KENAK γενικά προσομοιώνει πολύπλοκα φαινόμενα όπως ο ηλιασμός, η συνεπαγόμενη σκίαση και ο αυτόματος έλεγχος ως μια απλή εφαρμογή συντελεστών μείωσης ή αύξησης αντίστοιχα τη περίοδο θέρμανσης-ψύξης. Αντιθέτως το EnergyPlus προσομοιώνει με αναλυτικό τρόπο το transient φαινόμενο του ηλιασμού, χρησιμοποιώντας time steps για την όσο πιο πιστή ανάλυση των ενεργειακών δεδομένων που παράγονται από τα δεδομένα που έχουν δοθεί. Βασική επίσης διαφορά τους είναι η δυνατότητα θέσπισης ακριβών χρονοδιαγραμμάτων για οτιδήποτε αφορά το κτίριο (π.χ. ενεργειακή κατανάλωση για ένα γραφείο που λειτουργεί πιο βραδινές ώρες από το σύνηθες 9 πρωί -6 απόγευμα). Μάλιστα κατά την ίδια την TOTEE 20701-1 (Κεφάλαιο 3.6):

«Διευκρινίζεται πως για τη μελέτη ενεργειακής απόδοσης, τα εσωτερικά θερμικά κέρδη (από χρήστες & συσκευές), καθώς και ο φωτισμός των μη θερμαινόμενων χώρων δεν λαμβάνονται υπόψη και θεωρούνται μηδενικά». Άρα εξαρχής υπάρχει μια ασυμβατότητα στο τρόπο υπολογισμών των ενεργειακών καταναλώσεων.

Στη συνέχεια, η σταθερή σκίαση αποδεικνύεται ότι μπορεί να αποφέρει σημαντικά κέρδη στην εξοικονόμηση ενός κτιρίου, επιτυγχάνοντας μειώσεις έως και 24% της ενέργειας που καταναλώνεται. Μάλιστα γίνεται εμφανής η σημασία των προβόλων ως το πιο σημαντικό μέσο σκίασης των κατακόρυφων επιφανειών καθώς είναι το πιο προσβάσιμο εργαλείο για έναν αρχιτέκτονα να προσθέσει σε ένα κτίριο υπό μελέτη (εφόσον το επιθυμεί και είναι τεχνικά εφικτό). Οι σκιάσεις που δημιουργούνται από μακρινά εμπόδια είναι μικρές έως αρνητικές, όπως φαίνεται και στην περίπτωση σκίασης από μακρινό εμπόδιο στον νότιο προσανατολισμό του κτιρίου, που αύξανε την ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου (κατά ένα μικρό ποσοστό 1%) γιατί αφαιρούσε ηλιακά κέρδη σε αντίθετες περιόδου όπου αυτό ήταν επιθυμητό.

Η έρευνα αυτή επίσης καταδεικνύει πόσο σημαντικός είναι ο έλεγχος φωτισμού σε κτίρια τριτογενούς τομέα. Η ενεργειακή κατανάλωση ενός κτιρίου κρίνεται κυρίως από την πρωτογενή ενέργεια και η τεχνολογία συνεχίζει να βελτιώνει τις αντλίες θερμότητας και τους αντίστοιχους συντελεστές απόδοσης θερμικής και ψυκτικής ενέργειας (COP και EER) με τις τελευταίες να επιτυγχάνουν έως και SEER 10.5 ή SCOP 5.9 [31]. Έτσι ενώ υπάρχει η δυνατότητα μεγάλης μείωσης της πρωτογενούς ενέργειας για τις απαιτήσεις ψύξης και θέρμανσης, για τα φώτα η χρήση LED είναι πια δεδομένη, και το επόμενο βήμα για μείωση της ενέργειας που καταναλώνουν είναι μέσω αυτόματου ελέγχου. Αυτό μπορεί να προσομοιωθεί σωστά με ένα πρόγραμμα που υπολογίζει σωστά τον φωτισμό που εισέρχεται σε ένα χώρο, τοποθετώντας πολλαπλούς αισθητήρες (εφόσον ο έλεγχος είναι μέσω φυσικού φωτισμού). Έτσι ενώ το TEE KENAK παρουσιάζει μια flat μείωση της ενέργειας φωτισμού (από 40 σε 29,2 kWh/m² περίπου 25%), το EnergyPlus παρουσιάζει διακύμανση της εξοικονόμησης ενέργειας αναλόγως την σκίαση του κτιρίου.

Στο στόχο της εξοικονόμησης ενέργειας αποκτούν επίσης μεγάλο ρόλο τα κινητά συστήματα σκίασης με κατάλληλο έλεγχο. Επιτυγχάνοντας μειώσεις έως και 18,5 % (από 205,52 σε 173,43 kWh/m²) σε αμόνωτο μη σκιασμένο κτίριο, στις ήδη μειωμένες καταναλώσεις από τον αυτόματο έλεγχο των φωτών, αποδεικνύουν το μεγάλο δυναμικό προς εκμετάλλευση για την εξοικονόμηση ενέργειας. Παρ' όλα αυτά, εξετάζοντας τους διαφορετικούς τρόπους ελέγχου των περσίδων (όπως θάμβωσης, υψηλού ρυθμού ψύξης, υψηλής προσπίπτουσας ηλιακής ισχύος) γίνεται κατανοητό ότι η σωστή επιλογή του είναι μείζονος σημασίας, η οποία εξαρτάται άμεσα από την γεωμετρία του κτιρίου και το χρονοδιάγραμμα λειτουργίας του θερμαινόμενου χώρου. Αυτό συμβαίνει γιατί η κίνηση του ηλίου, του σκιασμού που δημιουργείται από τους ελέγχους (και τη μείωση των ηλιακών κερδών σε καλοκαίρι-χειμώνα) είναι πάρα πολύ πολύπλοκο για να αποφανθεί κάποιος διαισθητικά προς αυτό.

Τέλος, οι ανωτέρω διαφορές που αναφέρθηκαν μεταξύ των ελέγχων μειώνονται σχετικά αλλά παραμένουν σημαντικά ως προς τα ψυκτικά και θερμικά φορτία μεταξύ του μονωμένου και αμόνωτου κτιρίου. Ενώ ένα αμόνωτο κτίριο με πλήρη σκίαση από όλους τους προσανατολισμούς εξοικονομεί 43.23 kWh/m² στο σύνολο των ψυκτικών/θερμικών φορτίων (από 196,25 σε 153,02 kWh/m²), σε ένα μονωμένο η εξοικονόμηση είναι συγκρίσιμη με 34,51 kWh/m² (από 118,97 σε 84,46 kWh/m²). Αυτό συμβαίνει γιατί όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό διαφανών επιφανειών, τόσο πιο σημαντικά γίνονται τα ηλιακά κέρδη σε σχέση με τα περιβαλλοντικά/κλιματικά (λόγω της εξωτερικής θερμοκρασίας του αέρα), ιδιαίτερα όταν είναι μονωμένο το κτίριο.

6 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Η εργασία αυτή μπορεί να αποτελέσει έναυσμα ως περαιτέρω έρευνα σεναρίων σκίασης;

- 1) Τα σενάρια αυτά θα μπορούσαν να εφαρμοστούν σε ένα σπίτι για το πως και πόσο αλλάζει γενικά η ενεργειακή απόδοση μιας κατοικίας με την εφαρμογή σκίασης, και ιδιαίτερα αυτοματισμών της καθώς δεν είναι συχνή η πραγματική εφαρμογή τους σε κατοικίες.
- 2) Άλλη περίπτωση θα ήταν η εξέταση των ανωτέρων σεναρίων σε γραφεία με μεγαλύτερη ποσόστωση διαφανών επιφανειών, ακόμη και πλήρες διαφανών (όπως π.χ. σε ουρανοξύστες όπου το κέλυφος είναι σχεδόν εξ' ολοκλήρου διαφανές).
- 3) Τα ανωτέρα σενάρια μπορούσαν να τροποποιηθούν με πάρα πολλούς τρόπους όπως:
 - Εφαρμογή ελέγχου γωνίας γρίλιας
 - Έλεγχος φωτισμού βηματικά
 - Εφαρμογή διαφορετικών συστημάτων κλιματισμού/μηχανικού αερισμού
 - Τοποθέτηση περσίδων ανάμεσα στους υαλοπίνακες
 - Εφαρμογή ηλεκτροχρωμικών υαλοπινάκων
 - Έλεγχος περσίδων με διαφορετικά σενάρια όπως έλεγχος με θερμοκρασία ζώνης,
 - Διαφορετική γεωμετρία κτιρίου
 - Κτίριο με μικρότερες συνολικά θερμοδιαπερατότητες
 - Διαφορετική κατεύθυνση ελέγχου θάμβωσης

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] R. D. Lifset, "A new understanding of the American energy crisis of the 1970s," *Historical Social Research/Historische Sozialforschung*, pp. 22-42, 2014.
- [2] I. Solorio and P. Bocquillon, "EU renewable energy policy: A brief overview of its history and evolution," in *A Guide to EU Renewable Energy Policy*: Edward Elgar Publishing, 2017.
- [3] E. Commission, "Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings," *Official Journal L 001, 04/01/2003*, pp. 0065-0071, 2002.
- [4] E. E. Directive, "Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32," *Official Journal, L*, vol. 315, pp. 1-56, 2012.
- [5] E. Parliament, "Directive on the energy performance of buildings (2018/844/EU)," *The Official Journal of the European Union*, vol. 156, pp. 75-91, 2018.
- [6] U. Nations, "Sustainable development goals. United Nations," *United Nations Sustainable Development*, 2015.
- [7] EUROSTAT. (2020). *Primary energy consumption*. Available: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/sdg_07_10/default/line?lang=en
- [8] P. Temin, "The great recession & the great depression," *Daedalus*, vol. 139, no. 4, pp. 115-124, 2010.
- [9] EUROSTAT. (2020). *Energy Saving Statistics*. Available: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy_saving_statistics
- [10] G. Iatridis, Karamani, "Energy Efficiency trends and policies in Greece," 2018.
- [11] E. C. ACE. (2020). *2013 Building Energy Efficiency Standards - Reference Ace*. Available: <https://energycodeace.com/site/custom/public/reference-ace-2013/index.html#!Documents/35fenestration.htm>
- [12] L. Pérez-Lombard, J. Ortiz, and C. Pout, "A review on buildings energy consumption information," *Energy and buildings*, vol. 40, no. 3, pp. 394-398, 2008.
- [13] B. Jordan and J. Perlin, "Solar Energy Use and Litigation in Ancient Times," *Solar L. Rep.*, vol. 1, p. 583, 1979.
- [14] J. Perlin, *Let it shine: the 6,000-year story of solar energy*. New World Library, 2013.
- [15] J. Perlin, "Ancient Greek Solar Architecture: Lessons For Today's Architects," in *Intersol Eighty Five*: Elsevier, 1986, pp. 330-334.
- [16] H. Eskandari, M. Saedvandi, and M. Mahdavinnejad, "The impact of Iwan as a traditional shading device on the building energy consumption," *Buildings*, vol. 8, no. 1, p. 3, 2018.
- [17] A. I. Palmero-Marrero and A. C. Oliveira, "Effect of louver shading devices on building energy requirements," *Applied Energy*, vol. 87, no. 6, pp. 2040-2049, 2010.
- [18] M. Manzan, "Genetic optimization of external fixed shading devices," *Energy and Buildings*, vol. 72, pp. 431-440, 2014.
- [19] A. Aldawoud, "Conventional fixed shading devices in comparison to an electrochromic glazing system in hot, dry climate," *Energy and Buildings*, vol. 59, pp. 104-110, 2013.
- [20] A. A. Freewan, "Impact of external shading devices on thermal and daylighting performance of offices in hot climate regions," *Solar Energy*, vol. 102, pp. 14-30, 2014.
- [21] A. Atzeri, F. Cappelletti, and A. Gasparella, "Internal versus external shading devices performance in office buildings," *Energy Procedia*, vol. 45, pp. 463-472, 2014.
- [22] K. C. Parsons, "Introduction to thermal comfort standards," *Proceedings of Moving Thermal Comfort Standards into the 21st Century*, Windsor, UK, 2001.
- [23] EnergyPlus. (2020). *EnergyPlus*. Available: <https://energyplus.net/>
- [24] E. Commission. (2020). *Energy Performance Assessment for Existing Non Residential Buildings. (EPA-NR)* Available: <https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/en/projects/epa-nr>

- [25] ISO. (2008). *ISO 13790:2008 Energy performance of buildings — Calculation of energy use for space heating and cooling*. Available: <https://www.iso.org/standard/41974.html>
- [26] Τ. Τεχνική Οδηγία, "ΤΟΤΕΕ 20701-3 «Κλιματικά δεδομένα ελληνικών περιοχών», " Α΄έκδοση, Αθήνα, Ιούνιος, 2010.
- [27] L. B. N. Laboratory. (2020). *WINDOW*. Available: <https://windows.lbl.gov/tools/window/software-download>
- [28] Τ. Ο. Τ. Ε. Ελλάδα, "Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτιρίων," Α΄έκδοση, Αθήνα, Ιούνιος, 2010.
- [29] C. EN, "12207 Windows and Doors—Air Permeability—Classification," *CEN: Brussels, Belgium*, 2016.
- [30] E. P. Documentation, "Version 9.3," *Documentation (2020)*, 2020.