

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ “ΚΡΙΣΙΜΗΣ ΑΝΑΛΟΓΙΑΣ” ΤΩΝ ΥΑΛΟΣΤΑΣΙΩΝ ΣΤΟ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΠΕΡΙΒΛΗΜΑ ΤΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ

Κ. Ι. Κοντολέων *, **Δ. Κ. Μπίκας**

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Εργαστήριο Οικοδομικής & Δομικής Φυσικής,
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης Α.Π.Θ., 541 24 Θεσσαλονίκη,
* τηλ.: 2310 996291, fax: 2310 996290, e-mail: jmk@vergina.eng.auth.gr

KEYWORDS: ηλιακή ακτινοβολία, κρίσιμη αναλογία υαλοστασίων κελύφους, θερμικό κυκλωματικό μοντέλο, ενεργητική κτιριακή ζώνη, κατανάλωση ενέργειας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή χρησιμοποιείται ένα θερμικό κυκλωματικό μοντέλο, προκειμένου να αναλυθεί η θερμική συμπεριφορά και απόκριση μιας ενεργητικής κτιριακής ζώνης με μεταβαλλόμενη αναλογία γυάλινων ανοιγμάτων στη νότια επιφάνειά της. Η ανάλυση διεξάγεται για τη μελέτη της συνδυασμένης επιρροής της αναλογίας των ανοιγμάτων, των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών των υαλοστασίων και τέλος της διαστρωμάτωσης των υλικών στη διατομή των αδιαφανών επιφανειών του εξωτερικού κτιριακού περιβλήματος στις ημερήσιες ανάγκες κατανάλωσης ενέργειας. Τα παραπάνω αποτελέσματα συμβάλλουν δραστικά στον καθορισμό της “κρίσιμης αναλογίας GR ” των υαλοστασίων αναφορικά με την καλύτερη δυνατή εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας.

DETERMINING THE “CRITICAL ANALOGY” OF GLAZING IN THE EXTERNAL ENVELOPE FACADE OF A BUILDING ZONE

K. J. Kontoleon *, **D. K. Bikas**

Department of Civil Engineering, Laboratory of Building Construction & Physics,
Aristotle University of Thessaloniki A.U.Th., Gr-541 24 Thessaloniki, Greece, P.O. Box: 429,
* tel.: +30 2310 996291, fax: +30 2310 996290, e-mail: jmk@vergina.eng.auth.gr

SUMMARY

In the present work, a thermal-network model has been employed in order to analyse and improve the thermal performance of an active building zone with variable analogy of glazing in the south surface. In addition, the investigation takes into account the characteristics of the glazing system, as well as the stratification and allocation of the materials that compose the remaining non-opaque surfaces of the building zone. The results concerning the daily energy demands during a typical day contribute considerably to determine the “critical analogy GR ” of glazing in the external south facade of a building zone. This information can lead to the optimal exploitation and utilization of incident solar radiation of buildings.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Παρ' όλο που τα σύγχρονα γυάλινα συστήματα παρέχουν τη δυνατότητα αποτελεσματικού τρόπου θέρμανσης για ψυχρά κλίματα και αρκετά ικανοποιητικές λύσεις δροσισμού για θερμά κλίματα, δεν υπάρχει κανένα σύστημα αρκετά ικανό και ευέλικτο να οδηγήσει σε ένα άνετο εσωτερικό θερμικό περιβάλλον με χαμηλές ανάγκες κατανάλωσης ενέργειας σε κλίματα όπου η θέρμανση και ψύξη είναι απαραίτητη το χειμώνα και το καλοκαίρι αντίστοιχα. Ειδικότερα, τη χειμερινή περίοδο μέσω του συστήματος θέρμανσης επιτυγχάνεται η λήψης της επιπλέον θερμότητας που υπολείπεται προκειμένου να αντισταθμιστούν οι θερμικές απώλειες κατά τη διάρκεια τόσο της ημέρας, όσο και της έντονα ψυχρής περιόδου της νύχτας. Αντιστοίχως, τη θερινή περίοδο μέσω του συστήματος ψύξης επιτυγχάνεται η έξοδος της επιπλέον θερμότητας που διεισδύει προκειμένου να αντισταθμιστούν τα ανεπιθύμητα θερμικά φορτία κατά τη διάρκεια κυρίως της ημέρας. Κατά συνέπεια, οι ανάγκες εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω των γυάλινων ανοιγμάτων διαφοροποιούνται το χειμώνα σε σχέση με το καλοκαίρι, δηλαδή από εποχή σε εποχή. Επιπλέον, οι ανάγκες εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας διαφοροποιούνται στη χρονική διάρκεια του ημερησίου κύκλου, δηλαδή την ημέρα και τη νύχτα. Τη νύχτα για παράδειγμα, όπου η ηλιοφάνεια είναι μηδενική, τις πρωινές και τις απογευματινές ώρες όπου η ηλιοφάνεια είναι σχετικά περιορισμένη και τέλος, τις μεσημβρινές ώρες όπου η ηλιοφάνεια είναι έντονη, οι ανάγκες εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας μεταβάλλονται σημαντικά. Από τα ανωτέρω προκύπτει η σημασία επιλογής της κατηγορίας και της αναλογίας που καταλαμβάνουν τα γυάλινα ανοίγματα σε μια πρόσοψη, καθώς η παρουσία τους σχετίζεται με θέματα ηλιακής και φωτεινής διαπερατότητας, ηλιασμού και σκιασμού, θερμομόνωσης (ενεργειακή διαχείριση της άμεσα προσπίπτουσας υπερϊώδους ηλιακής ακτινοβολίας), ηχομόνωσης και εν τέλει ποιότητας του περιβάλλοντος στο εσωτερικό των κτιρίων [1-3].

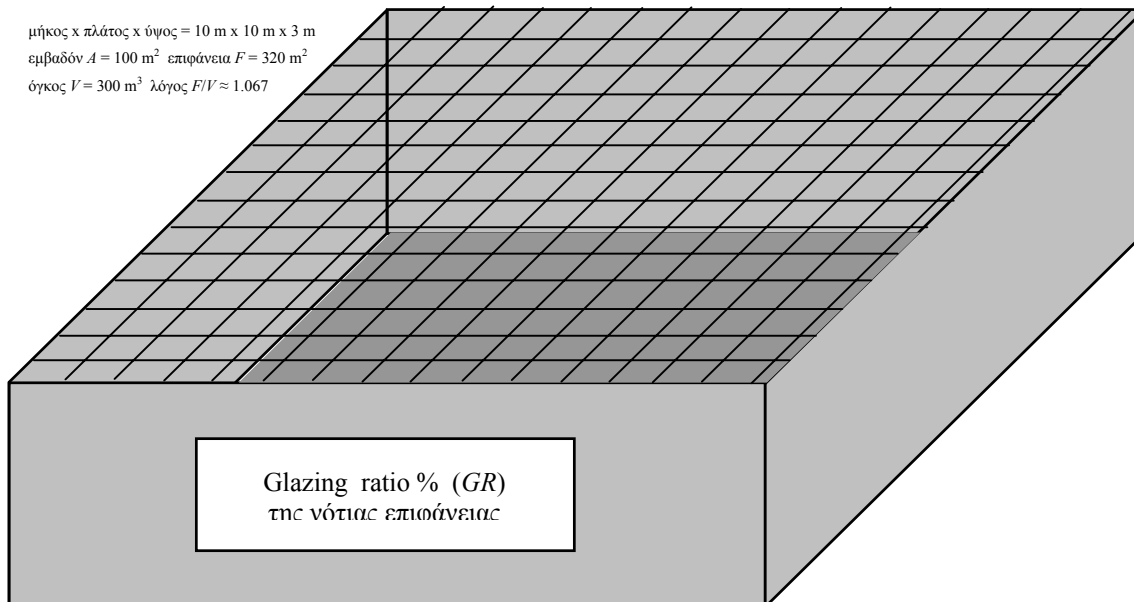
Στην παρούσα εργασία, προτείνεται η ανάπτυξη ενός θερμικού κυκλωματικού μοντέλου που εφαρμόζεται προκειμένου να αναλυθεί η θερμική συμπεριφορά μιας κτιριακής ζώνης με κλιμακωτά μεταβαλλόμενη ποσοστιαία αναλογία των γυάλινων ανοιγμάτων-υαλοστασίων GR στη νότια επιφάνειά της. Το μη γραμμικό μοντέλο της τοιχοποιίας αξιοποιείται στην προσομοίωση ζώνης κτιρίου με την ενσωμάτωση ενός πεπερασμένου αριθμού ανεξάρτητων διαδρομών θερμικής ροής που αναφέρονται στις αντίστοιχες διαφανείς ή ημιδιαφανείς και μη διαφανείς-αδιαφανείς επιφάνειες της ζώνης (χαρακτηριστικές επιφάνειες κτιριακού κελύφους), ενώ παράλληλα συνεκτιμώνται τα χαρακτηριστικά της. Η μελέτη αφορά την περίπτωση ενεργητικής ζώνης κτιρίου (*active building zone*) στη διάρκεια της χειμερινής περιόδου. Η μονάδα θέρμανσης και ψύξης θεωρείται ότι είναι θερμοστατικά ελεγχόμενη με αποτέλεσμα η διακύμανση των θερμοκρασιών στο εσωτερικό της ζώνης να διατηρείται μέσα σε ορισμένα επιθυμητά όρια στη διάρκεια όλης της ημερησίας περιόδου ($P = 24\text{-h}$). Επίσης, για την εν λόγω ζώνη ο ρυθμός εναλλαγής του αέρα ACH λαμβάνεται σταθερός. Το μοντέλο περιλαμβάνει δύο επιπλέον διαδρομές θερμικής ροής. Ήτοι, η ανάλυση διενεργείται για τη μελέτη της συνδυασμένης επίδρασης της αναλογίας των γυάλινων ανοιγμάτων GR , των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών των υαλοστασίων (διαφανής ή ημιδιαφανής επιφάνεια κτιριακού κελύφους) και τέλος της διάταξης της διατομής των σύνθετων επιφανειών του κτιριακού κελύφους (παρουσία ή απουσία υλικού θερμομόνωσης και θέση υλικού θερμομόνωσης ή διαδοχή-διαστρωμάτωση δομικών υλικών της μη διαφανούς-αδιαφανούς εναπομένουσας περιβάλλουσας επιφάνειας του κτιριακού κελύφους) πάνω στις ημερήσιες ανάγκες κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση και ψύξη κατά τη διαδικασία της διάδοσης του θερμικού κύματος από έξω προς τα μέσα ή αντίστροφα. Η διεξαγωγή αυτής της μελέτης συμβάλλει δραστικά στον υπολογισμό της κρίσιμης καλυπτόμενης αναλογίας των γυάλινων επιφανειών GR στη νότια πλευρά του εξωτερικού περιβλήματος των κτιρίων (σε σχέση με συγκεκριμένες μεταβολές στις χαρακτηριστικές διαφανείς ή ημιδιαφανείς και μη διαφανείς-αδιαφανείς επιφάνειες του κτιριακού κελύφους). Κατ' επέκταση η μελέτη αυτή παρέχει τη δυνατότητα της βελτιστοποίησης της

εκμετάλλευσης της άμεσης προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας με περιορισμό του φαινομένου της υπερθέρμανσης και της ελαχιστοποίησης των ημερησίων δαπανών κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση και ψύξη [4-7].

2. ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΗΣ ΖΩΝΗΣ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕ ΓΥΑΛΙΝΑ ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ

2.1. Κτίριο αναφοράς

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 1, το κτίριο αναφοράς που αναλύεται είναι μία μονόροφη κατοικία με ανάπτυγμα τετραγωνικής κάτοψης ($BAR = 1$) που αποτελεί ταυτόχρονα και τη μοναδική θερμαινόμενη ζώνη που εξετάζεται, καθώς το εξωτερικό περιβάλλον επηρεάζει με τον ίδιο τρόπο όλο τον εσωτερικό χώρο. Κάθε μία από τις τέσσερις επιφάνειες των τοιχοποιιών του κτιρίου έχει προσανατολισμό που αντιστοιχεί σε ένα ακριβές σημείο του ορίζοντα (βορράς, ανατολή, νότος και δύση). Οι διαστάσεις της πλάκας του δαπέδου που έρχεται σε επαφή με το έδαφος είναι 10 m x 10 m και το ύψος της από την πλάκα της οροφής (δώμα σε άμεση οπτική επαφή με τον ουρανό) είναι 3 m.

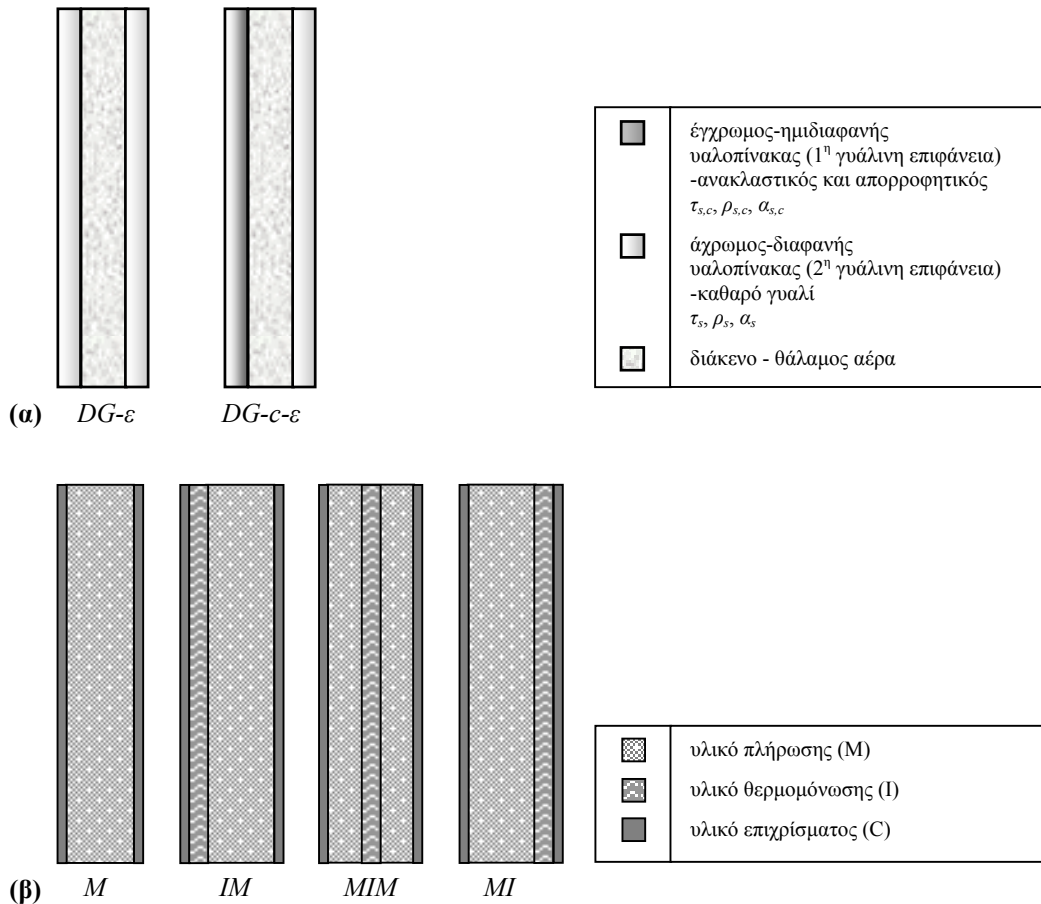


Σχήμα 1. Τρισδιάστατη απεικόνιση του εσωτερικού της κτιριακής ζώνης με γυάλινα ανοίγματα (κτίριο αναφοράς-μονόροφη κατοικία με συμπαγή κυβική μορφή).

Η ιδιαιτερότητα της ανάλυσης συνίσταται στην κλιμακωτή μεταβολή της ποσοστιαίας αναλογίας των διαφανών ή ημιδιαφανών γυάλινων ανοιγμάτων-υαλοστασίων (GR , *glazing ratio* %) στη νότια επιφάνεια-πλευρά του κτιριακού κελύφους που αντιστοιχεί στην αναλυόμενη ζώνη, από 0% έως 100%, με βήμα 10 ποσοστιαίων μονάδων. Η θεώρηση του νότιου προσανατολισμού των γυάλινων ανοιγμάτων επιλέγεται ως η πλέον κατάλληλη και βέλτιστη ηλιακή γεωμετρία (πρέπουσα λύση). Ήτοι, η τοποθέτηση των γυάλινων ανοιγμάτων στη νότια όψη συντελεί σε θερμικό πλεόνασμα και τις χαμηλές θερμικές απώλειες το χειμώνα, ενώ το καλοκαίρι η θερμική επιβάρυνση από τον ηλιασμό είναι μικρής σημασίας και αντιμετωπίσιμη. Στις υπόλοιπες επιφάνειες-πλευρές του κτιριακού κελύφους, πλην της νότιας, τα γυάλινα ανοίγματα-υαλοστάσια απουσιάζουν. Δηλαδή, η εναπομένουσα μη διαφανής-αδιαφανής περιβάλλουσα επιφάνεια του κτιριακού κελύφους

καλύπτεται από επιφάνειες οι οποίες θεωρούνται ότι έχουν πανομοιότυπη διάταξη της διατομής τους. Ήτοι, η τιμή της αδιάστατης φυσικής παραμέτρου GR ορίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$GR = \frac{A_{gl-south\ wall}}{A_{south\ wall}} \cdot 100 (\%) \quad (1)$$



Σχήμα 2. Χαρακτηριστικές τομές των αναλυμένων: (α) κατηγοριών-τύπων των σύνθετων γυάλινων ανοιγμάτων - διπλών υαλοπινάκων και (β) διατάξεων των διατομών της περιβάλλουσας επιφάνειας του κτιριακού κελύφους που δεν καλύπτεται από γυάλινα ανοίγματα.

Η διαφανής ή ημιδιαφανής περιβάλλουσα επιφάνεια του κτιριακού κελύφους θεωρείται ότι καλύπτεται από την ίδια χαρακτηριστική κατηγορία-τύπο υαλοστασίων. Οπότε το εμβαδόν της A_{gl} (m^2) είναι ίσο με:

$$A_{gl} = 30 \cdot \frac{GR}{100} \quad (2)$$

Για $GR = 0\%$ και για $GR = 100\%$ είναι $A_{gl} = 0 m^2$ και $A_{gl} = 30 m^2$ αντιστοίχως. Οι χαρακτηριστικές κατηγορίες-τύποι των υαλοστασίων (Σχήμα 2(α)) που μελετώνται είναι:

- Κατηγορία σύνθετου διπλού υαλοστασίου $DG-\varepsilon$, με δύο υαλοπίνακες με επιστρώσεις χαμηλής εκπομπής ε στις δύο παρειές του διακένου (οι δύο υαλοπίνακες είναι άχρωμοι-διαφανείς από καθαρό γυαλί). Η παραπάνω κατηγορία παρουσιάζει υψηλή διαπερατότητα στην ηλιακή ακτινοβολία και στο φυσικό φως, ενώ παράλληλα έχει χαμηλή ηλιακή ανακλαστικότητα και απορροφητικότητα.
- Κατηγορία σύνθετου διπλού υαλοστασίου $DG-c-\varepsilon$, με δύο υαλοπίνακες με επιστρώσεις χαμηλής εκπομπής ε στις δύο παρειές του διακένου (ο πρώτος υαλοπίνακας είναι έγχρωμος ημιδιαφανής

ανακλαστικός και απορροφητικός, ενώ ο δεύτερος υαλοπίνακας είναι άχρωμος διαφανής από καθαρό γυαλί). Η παραπάνω κατηγορία παρουσιάζει χαμηλή διαπερατότητα στην ηλιακή ακτινοβολία και στο φυσικό φως συγκριτικά με την προηγούμενη περίπτωση, ενώ παράλληλα έχει υψηλή ηλιακή ανακλαστικότητα και απορροφητικότητα.

Η μη διαφανής-αδιαφανής περιβάλλουσα επιφάνεια του κτιριακού κελύφους θεωρείται ότι καλύπτεται από την ίδια χαρακτηριστική διάταξη διατομής (ίδια κατασκευαστική σύνθεση και διαστρωμάτωση δομικών υλικών). Οπότε το εμβαδόν της A_{no-gl} (m^2) είναι:

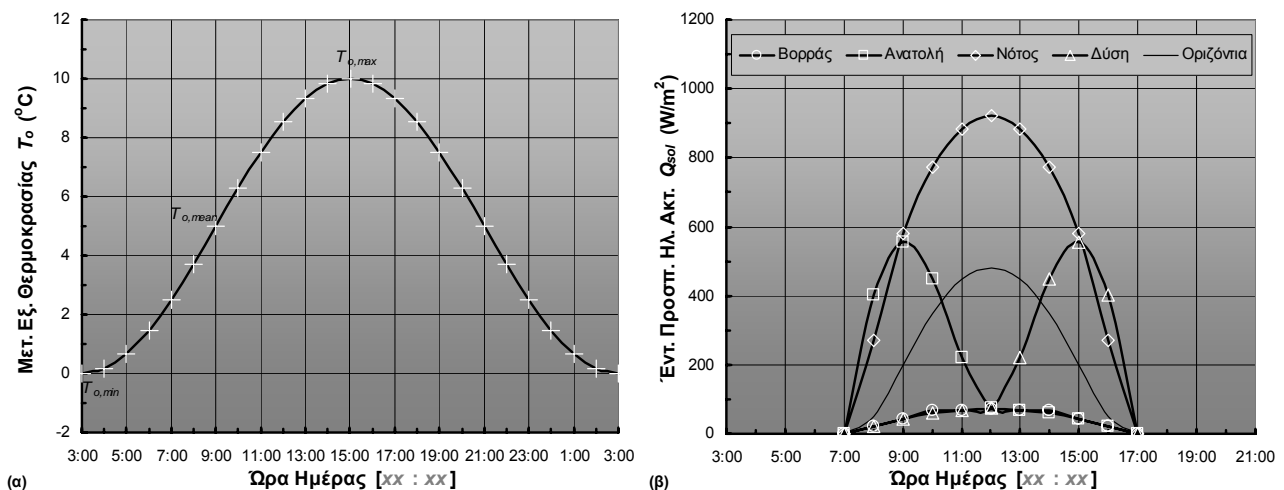
$$A_{no-gl} = 320 - A_{gl} = 290 + 30 \cdot \left(1 - \frac{GR}{100}\right) \quad (3)$$

Για $GR = 0\%$ και για $GR = 100\%$ είναι $A_{no-gl} = 320 m^2$ και $A_{no-gl} = 290 m^2$ αντίστοιχα. Οι χαρακτηριστικές διατάξεις της διατομής του κελύφους (Σχήμα 2(β)) που εξετάζονται είναι:

- Διάταξη διατομής M χωρίς υλικό θερμομόνωσης αποτελούμενη αποκλειστικά από υλικό πλήρωσης. Επιπλέον υπάρχουν επιχρίσματα στις δύο παρειές.
- Διάταξη διατομής IM που ενσωματώνει υλικό θερμομόνωσης συγκεντρωμένο ως μία μοναδική στρώση στην εξωτερική επιφάνεια του υλικού πλήρωσης.
- Διάταξη διατομής MIM που ενσωματώνει υλικό θερμομόνωσης συγκεντρωμένο ως μία μοναδική στρώση στο μέσο-πυρήνα του υλικού πλήρωσης.
- Διάταξη διατομής MI που ενσωματώνει υλικό θερμομόνωσης συγκεντρωμένο ως μία μοναδική στρώση στην εσωτερική επιφάνεια του υλικού πλήρωσης.

2.2. Εξωτερικές και εσωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες

Το κέλυφος της κτιριακής ζώνης υποβάλλεται σε εξωτερικές συνθήκες περιβάλλοντος που αντιστοιχούν στο εύκρατο κλίμα της Ελλάδας (γεωγραφικό πλάτος 40° Βορράς) [4, 8] την περίοδο του χειμώνα για μια τυπική μέρα με ηλιοφάνεια (απουσία νεφών). Οι τυπικές ωριαίες τιμές της εξωτερικής θερμοκρασίας T_o ($^\circ C$) και της έντασης της άμεσης προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας Q_{sol} (W/m^2), για κάθε έναν προσανατολισμό των επιφανειών του κτιριακού κελύφους δίνονται στο Σχήμα 3(α)-(β), για τη χειμερινή περίοδο. Οι παραπάνω αριθμητικές τιμές καθορίζουν τις περιοδικές εξωτερικές διεγέρσεις των επιφανειών.



Σχήμα 3. Κλιματολογικά δεδομένα, σε ωριαία βάση στη διάρκεια της περιόδου μιας ημέρας ($P = 24-h$) τη χειμερινή περίοδο: (α) περιοδική ημιτονοειδής μεταβολή της εξωτερικής θερμοκρασίας του περιβάλλοντος T_o και (β) περιοδική μεταβολή της έντασης της άμεσης προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας Q_{sol} για προσανατολισμό της επιφάνειας βόρειο, ανατολικό, νότιο, δυτικό και οριζόντιο.

Ως προς τη λειτουργία του διακοπτόμενου συστήματος θέρμανσης και ψύξης της κτιριακής ζώνης για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης τη χειμερινή περίοδο, θεωρείται μια κατάλληλη θερμοστατικά ρυθμιζόμενη και ελεγχόμενη μονάδα ισχύος Q_L . Το θερμικό και το ψυκτικό φορτίο που τροφοδοτεί τη ζώνη, στη διάρκεια λειτουργίας της μονάδας, ορίζει τις ημερήσιες απαιτήσεις του μονοζωνικού κτιρίου. Η μονάδα αυτή γίνεται δεκτό ότι λειτουργεί (σε αναμονή *STANDBY*) σε όλη τη διάρκεια της ημερησίας περιόδου ($P = 24$ -h) με τη βοήθεια ενός θερμοστατικού συστήματος ελέγχου *ON/OFF*. Όσον αφορά τη λειτουργία του συστήματος εξαερισμού της κτιριακής ζώνης, οι αλλαγές αέρα σε χρονικό διάστημα μιας ώρας *ACH* λαμβάνονται σταθερές με τη συμμετοχή ενός τυπικού συστήματος εξαερισμού. Οι αλλαγές αέρα του συστήματος αερισμού σε χρονικό διάστημα μιας ώρας λαμβάνονται ίσες με $ACH = 0.6$ (*infiltration and ventilation*) [4-5].

2.3. Θερμική ανάλυση και μοντελοποίηση- Θερμικό κυκλωματικό μοντέλο

Ο προσδιορισμός του θερμοκρασιακού πεδίου και των ημερησίων ενεργειακών αναγκών στο εσωτερικό της κτιριακής ζώνης κατά τη διαδικασία διάδοσης θερμότητας από έξω προς τα μέσα ή αντίστροφα επιτυγχάνεται με το ισοδύναμο μη-γραμμικό συγκεντρωμένο θερμικό κυκλωματικό μοντέλο του Σχήματος 4 (*equivalent non-linear lumped thermal-network model*). Το μοντέλο περιλαμβάνει επτά παράλληλες και ανεξάρτητες διαδρομές θερμικής ροής που αναφέρονται στις αντίστοιχες χαρακτηριστικές διαφανείς ή ημιδιαφανείς και μη διαφανείς-αδιαφανείς επιφάνειες του κτιριακού κελύφους [4-9].

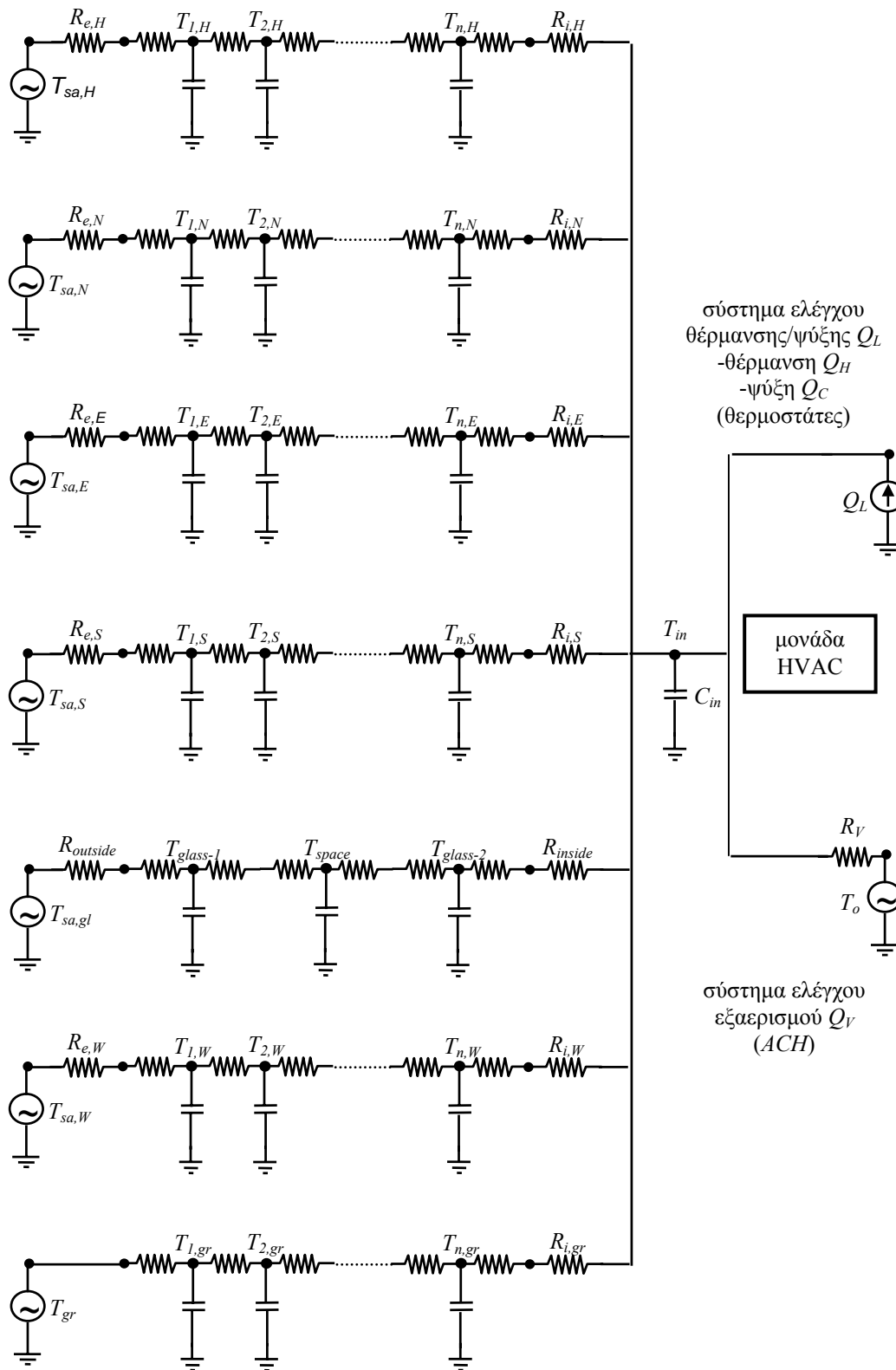
Σε σχέση με τις μη διαφανείς-αδιαφανείς επιφάνειες, ο μηχανισμός της αγωγής θεωρείται ότι πραγματοποιείται κατά τη διεύθυνση x (μονοδιάστατη ροή θερμότητας) καθώς οι εγκάρσιες θερμικές ροές ως αμελητέες δε λαμβάνονται καθόλου υπόψη. Κάθε μία διαδρομή θερμικής ροής που αναφέρεται στις ανωτέρω επιφάνειες περιλαμβάνει έναν πεπερασμένο αριθμό από διακριτές αντιστάσεις R (K/W) και πυκνωτές C (J/K). Έτσι, μια στρώση i ενός υλικού x μπορεί να μοντελοποιηθεί με δύο ομοιόμορφα κατανομημένες αντιστάσεις $R_{x,i}$ (K/W) και ένα συγκεντρωμένο πυκνωτή $C_{x,i}$ (J/K) στο μεσαίο κόμβο (μοντέλο αγωγιμότητας $R-C-R$). Στις δύο παρειές κάθε μιας διαδρομής θερμικής ροής (εκτός από την εξωτερική παρεία της διαδρομής που αναφέρεται στην επιφάνεια του δαπέδου σε επαφή με το έδαφος) δρουν οι αντιστάσεις θερμικής μετάβασης R_e και R_i (K/W) λόγω συνδυασμένης δράσης της συναγωγής και της ακτινοβολίας.

Αναφορικά με τις διαφανείς ή ημιδιαφανείς επιφάνειες των σύνθετων διπλών γυάλινων ανοιγμάτων, ο μηχανισμός της αγωγής θεωρείται ότι πραγματοποιείται κατά τη διεύθυνση x (μονοδιάστατη ροή θερμότητας) καθώς οι εγκάρσιες θερμικές ροές λαμβάνονται με ικανοποιητική προσέγγιση ως μηδενικές. Κάθε μία διαδρομή θερμικής ροής που αντιστοιχεί στα σύνθετα διπλά γυάλινα ανοίγματα περιλαμβάνει έξι αντιστάσεις R (K/W) και τρεις πυκνωτές C (J/K). Η συνολική θερμική μάζα των σύνθετων διπλών γυάλινων ανοιγμάτων, θεωρείται ότι είναι συγκεντρωμένη σημειακά σε χαρακτηριστικούς κόμβους που αναφέρονται στο μέσο του πάχους των δύο γυάλινων επιφανειών και στον ένα θάλαμο αέρα.

Παράλληλα, το μοντέλο ενσωματώνει δύο επιπλέον διαδρομές θερμικής ροής οι οποίες αναφέρονται στη λειτουργία και την προσομοίωση του συστήματος *HVAC* που περιγράφηκε αναλυτικά στην παράγραφο 2.2. Η πρώτη διαδρομή μοντελοποιεί τις ροές θερμότητας λόγω της λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης και ψύξης με μία πηγή ρεύματος Q_L (W). Η δεύτερη διαδρομή μοντελοποιεί τις ροές θερμότητας λόγω της λειτουργίας του συστήματος εξαερισμού και λόγω των απωλειών αεροδιείσδυσης (προσομοίωση αερισμού, δηλαδή των εναλλαγών του αέρα σε ωριαία βάση *ACH* από έξω προς τα μέσα ή αντιστρόφως) με μία θερμική αντίσταση, R_v (K/W).

Κάθε μία από τις εννέα διαδρομές θερμικής ροής (πλην της διαδρομής που αναφέρεται στην επιβαλλόμενη λειτουργία του συστήματος Q_L) συσχετίζει και συνδέει το θερμοκρασιακό πεδίο στο

εξωτερικό της κτιριακής ζώνης με τη θερμοκρασία T_{in} ($^{\circ}\text{C}$) του εσωτερικού της κτιριακής ζώνης (χαρακτηριστικός κόμβος). Στον κόμβο αυτό συμβάλει επίσης ο πυκνωτής C_{in} (J/K).



Σχήμα 4. Ισοδύναμο μη-γραμμικό συγκεντρωμένο θερμικό κυκλωματικό μοντέλο ενεργητικής κτιριακής ζώνης με γυάλινα ανοίγματα στη νότια επιφάνεια της.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΑΠΑΝΩΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Στο Σχήμα 5(α)-(δ) δίνονται οι τιμές των αναγκών κατανάλωσης ενέργειας του συστήματος Q_L στη διάρκεια της χειμερινής περιόδου ($ACH = 0.6$), σε συνάρτηση με την αναλογία των υαλοστασίων GR και για συγκεκριμένες κατηγορίες των υαλοστασίων ($DG-ε$ και $DG-c-ε$) και διατάξεις των διατομών της περιβάλλουσας επιφάνειας του κτιριακού κελύφους που δεν καλύπτεται από γυάλινα ανοίγματα (M χωρίς θερμομόνωση και IM , MIM και MI με θερμομόνωση). Η μελέτη των ανωτέρω είναι σημαντική προκειμένου να εκτιμηθούν οι θερμοαποθηκευτικές ιδιότητες του κελύφους, που συνδέονται με το επίπεδο της θερμικής άνεσης στο εσωτερικό του κτιρίου.

Η αύξηση της αναλογίας των γυάλινων ανοιγμάτων GR μέχρι την πλήρη κάλυψη της νότιας πρόσοψης από αυτά, όσον αφορά τη διάταξη της διατομής M και για τις δύο κατηγορίες των υαλοστασίων $DG-ε$ και $DG-c-ε$ που μελετώνται, έχει ως αποτέλεσμα την παράλληλη μείωση της δαπάνης ενέργειας χωρίς να υπεισέρχεται το φαινόμενο της υπερθέρμανσης που καθιστά υποχρεωτική τη λειτουργία της μονάδας ψύξης. Από τις γραφικές παραστάσεις είναι εμφανές ότι ανεξαρτήτως της αναλογίας των γυάλινων ανοιγμάτων GR , οι ελάχιστες και μέγιστες ανάγκες κατανάλωσης της ενέργειας προκύπτουν πάντα για τις κατηγορίες των υαλοστασίων $DG-ε$ και $DG-c-ε$ αντιστοίχως (Σχήμα 5(α)).

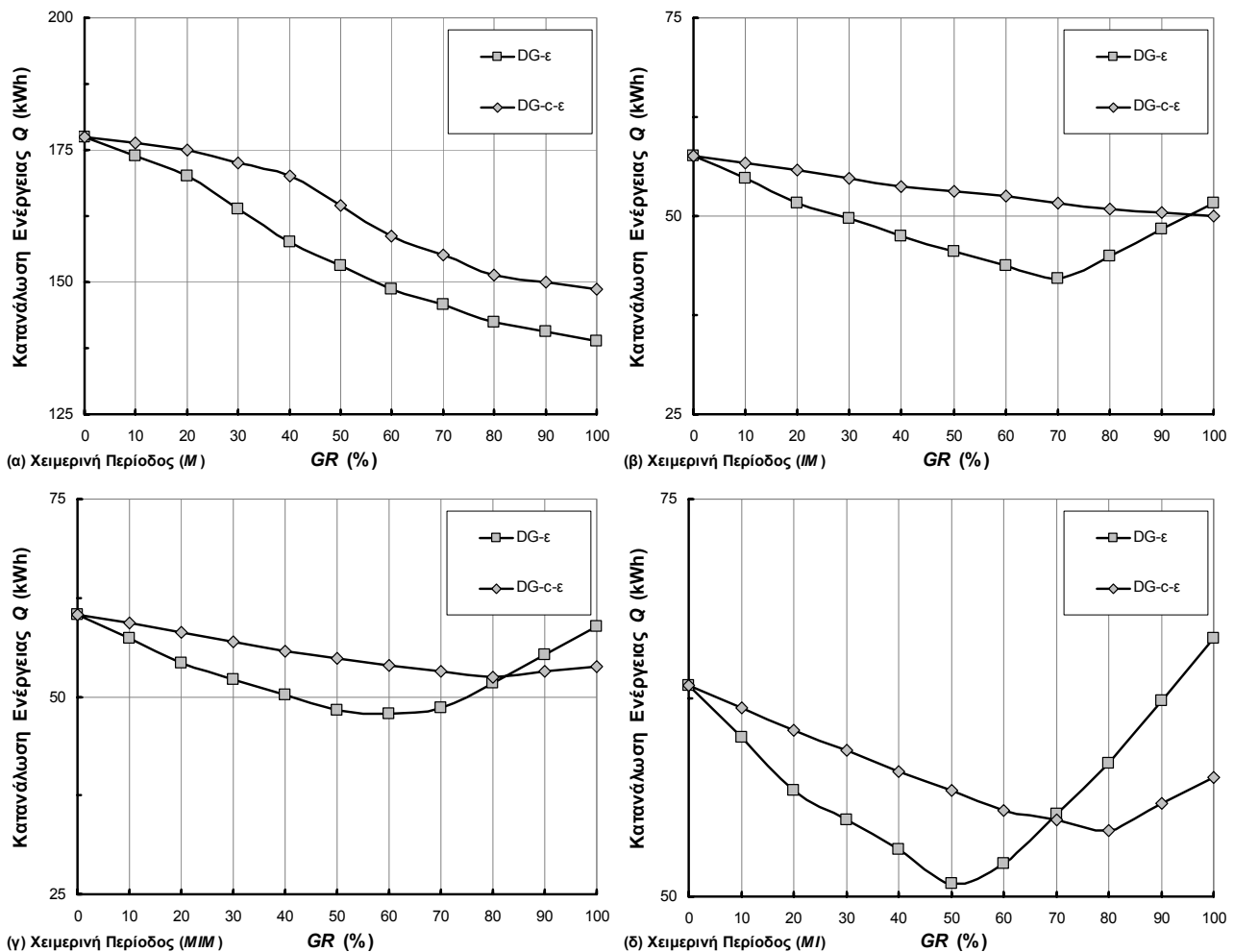
Σε σχέση με τη διάταξη της διατομής IM που αναλύεται και για την κατηγορία του υαλοστασίου $DG-ε$, η σταδιακή αύξηση της αναλογίας των γυάλινων ανοιγμάτων GR από 0% έως 70%, συνάδει με την παράλληλη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Από το σημείο αυτό και μετά ($GR > 70%$), οι ανάγκες κατανάλωσης ενέργειας αυξάνονται εξαιτίας της υπερθέρμανσης στο εσωτερικό της κτιριακής ζώνης. Αντιθέτως, για τη διάταξη της διατομής IM και για την κατηγορία υαλοστασίου $DG-c-ε$, η αύξηση της αναλογίας των γυάλινων ανοιγμάτων GR μέχρι την εξ' ολοκλήρου κάλυψη της νότιας πρόσοψης από γυαλί, οδηγεί σε αντίστοιχη γραμμική μείωση της κατανάλωσης ενέργειας χωρίς να έχουμε υπερθέρμανση. Για αναλογία των γυάλινων ανοιγμάτων $GR < 95%$ οι ελάχιστες και μέγιστες απαιτήσεις κατανάλωσης ενέργειας εξάγονται για τις κατηγορίες των υαλοπινάκων $DG-ε$ και $DG-c-ε$ αντιστοίχως. Ωστόσο, για ποσοστό των γυάλινων ανοιγμάτων $GR > 95%$ οι ελάχιστες και μέγιστες ανάγκες κατανάλωσης ενέργειας επιτυγχάνονται για τους τύπους των γυάλινων επιφανειών $DG-c-ε$ και $DG-ε$ αντιστοίχως (Σχήμα 5(β)).

Η σταδιακή αύξηση της αναλογίας των γυάλινων ανοιγμάτων GR από 0% έως 60%, αναφορικά με τη διάταξη της διατομής MIM και για την κατηγορία του υαλοστασίου $DG-ε$ που εξετάζεται έχει ως επακόλουθο την παράλληλη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Ακολούθως, η κατανάλωση ενέργειας αυξάνεται λόγω παρατήρησης του φαινομένου της υπερθέρμανσης στο εσωτερικό της κτιριακής ζώνης. Από την άλλη, για την κατηγορία του υαλοστασίου $DG-c-ε$ και για τη διάταξη της διατομής MIM , η σταδιακή αύξηση της αναλογίας των γυάλινων ανοιγμάτων GR από 0% έως 80%, συνοδεύεται με την παράλληλη μείωση των ενεργειακών αναγκών. Στη συνέχεια, η δαπάνη ενέργειας αυξάνεται καθώς παρουσιάζεται υπερθέρμανση. Στις καμπύλες επιπροσθέτως φαίνεται ότι για αναλογία των γυάλινων ανοιγμάτων $GR < 80%$ οι ελάχιστες και μέγιστες ανάγκες κατανάλωσης ενέργειας λαμβάνονται για τις κατηγορίες των υαλοπινάκων $DG-ε$ και $DG-c-ε$ αντιστοίχως. Εν τούτοις, για ποσοστό των γυάλινων ανοιγμάτων $GR > 80%$ οι ελάχιστες και μέγιστες ανάγκες κατανάλωσης ενέργειας γίνονται εφικτές για τους τύπους των γυάλινων επιφανειών $DG-c-ε$ και $DG-ε$ αντιστοίχως (Σχήμα 5(γ)).

Τέλος, ως προς τη διάταξη της διατομής MI που διερευνάται και για την κατηγορία του υαλοστασίου $DG-ε$, η σταδιακή αύξηση της αναλογίας των γυάλινων ανοιγμάτων GR από 0% έως 50%, συνεπάγεται την παράλληλη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Περαιτέρω, οι ανάγκες κατανάλωσης ενέργειας αυξάνονται εξαιτίας της υπερθέρμανσης στο εσωτερικό της κτιριακής

ζώνης. Για τη διάταξη της διατομής MI και την κατηγορία του υαλοστασίου $DG-c-ε$, η σταδιακή αύξηση της αναλογίας των γυάλινων ανοιγμάτων GR από 0% έως 80%, έχει ως αποτέλεσμα την παράλληλη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Από το σημείο αυτό και μετά, η κατανάλωση ενέργειας αυξάνεται λόγω υπερθέρμανσης. Για ποσοστό των γυάλινων ανοιγμάτων $GR < 70\%$ οι ελάχιστες και μέγιστες απαιτήσεις κατανάλωσης ενέργειας προκύπτουν για τις κατηγορίες των υαλοπινάκων $DG-ε$ και $DG-c-ε$ αντιστοίχως. Για αναλογία των γυάλινων ανοιγμάτων $GR > 70\%$ οι ελάχιστες και μέγιστες ανάγκες κατανάλωσης ενέργειας εξάγονται για τους τύπους των γυάλινων επιφανειών $DG-c-ε$ και $DG-ε$ αντιστοίχως (Σχήμα 5(δ)).

Με βάση τα προηγούμενα αποτελέσματα των διαγραμμάτων συνάγεται ότι αδιακρίτως της αναλογίας των γυάλινων ανοιγμάτων GR , ισχύει: $Q_M > Q_{IM} > Q_{MIM} > Q_{MI}$. Δηλαδή, οι ελάχιστες δυνατές ανάγκες κατανάλωσης ενέργειας προκύπτουν με τη διάταξη της διατομής IM . Αμέσως μετά ακολουθούν οι διατάξεις των διατομών MIM και MI , ενώ η απουσία του υλικού της θερμομόνωσης (διάταξη διατομής M) οδηγεί σε πολύ δυσμενέστερα αποτελέσματα σε σύγκριση με τις προαναφερθείσες διατάξεις της διατομής.



Σχήμα 5. Μεταβολή της κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης και ψύξης Q_H-Q_C στο εσωτερικό της κτιριακής ζώνης, με την αναλογία των γυάλινων ανοιγμάτων, την κατηγορία των γυάλινων ανοιγμάτων και τη διάταξη των διατομών της περιβάλλουσας επιφάνειας του κτιριακού κελύφους που δεν καλύπτεται από γυάλινα ανοίγματα: (α) διάταξη M , (β) διάταξη IM , (γ) διάταξη MIM και (δ) διάταξη MI (ενεργητική κτιριακή ζώνη, χειμερινή περίοδος και $ACH = 0.6$).

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η διεξαγωγή αυτής της μελέτης παρέχει τη δυνατότητα του προσδιορισμού της κρίσιμης καλυπτόμενης αναλογίας των γυάλινων επιφανειών GR στη νότια πλευρά του εξωτερικού περιβλήματος των κτιρίων στην ελληνική επικράτεια (σε σχέση με συγκεκριμένες μεταβολές στις χαρακτηριστικές διαφανείς ή ημιδιαφανείς και μη διαφανείς-αδιαφανείς επιφάνειες του κτιριακού κελύφους). Αυτό έχει κατ' επέκταση σαν αποτέλεσμα τη βελτιστοποίηση της εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας με περιορισμό του φαινομένου της υπερθέρμανσης και της ελαχιστοποίησης των ημερησίων δαπανών κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση και ψύξη. Ειδικότερα, το θερμικό κέρδος (ηλιακή ενέργεια) στη διάρκεια της χειμερινής περιόδου δια μέσου της επιφάνειας των υαλοστασίων μπορεί να είναι αρκετά υψηλότερο από την αντίστοιχη θερμική απώλεια, καθώς η άμεση προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία μεταδίδεται ταχύτατα στο εσωτερικό του κτιρίου. Έτσι, περιορίζονται αισθητά οι ανάγκες κατανάλωσης ενέργειας της ενεργητικής κτιριακής ζώνης. Η ανωτέρω ανάλυση πραγματοποιήθηκε με την αρωγή ενός θερμικού κυκλωματικού μοντέλου που βασίζεται στις αναλογίες και τις ισοδυναμίες μεταξύ των ηλεκτρικών και θερμικών κυκλωμάτων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Oral Gul Koclar, Yener Alpin Koknel and Bayazit Nurgun Tamer (2004) "Building envelope design with the objective to ensure thermal, visual and acoustic comfort conditions" **Building and Environment**, Vol. 39, pp. 281-287.
2. Ανδρεαδάκη-Χρονάκη Ελένη (1985) "**Βιοκλιματική αρχιτεκτονική παθητικά-ηλιακά συστήματα**", Εκδόσεις University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
3. Asimakopoulos D.N., Asimakopoulos V.D., Chrisomallidou N., Klitsikas N., Mangold D., Michel P., Santamouris M. and Tsangrassoulis A. (1996) "**Energy and climate in the urban built environment**", James & James, London.
4. Kontoleon K.J. and Bikas D.K. (2002) "Modeling the influence of glazed openings percentage and type of glazing on the thermal zone behavior" **Energy and Buildings**, Vol. 34, pp. 389-399.
5. Μπίκας Δ.Κ. και Κοντολέων Κ.Ι. (2003) "Εφαρμογή θερμικών μοντέλων στη προσομοίωση της θερμικής συμπεριφοράς κτιρίων" **Αφιέρωμα στη μνήμη του καθηγητή Άνθιμου Μπαντέλλα**, σελ. 343-356, Εκδοτικός Οίκος Αδελφών Κυριακίδη Α.Ε., Θεσσαλονίκη.
6. Lombard C. and Mathews E.H. (1999) "A two-port envelope model for building heat transfer" **Building and Environment**, Vol. 34, pp. 19-30.
7. Mathews E.H., Etzion Y., Van Heerden E., Weggelaar S., Erell E., Pearlmutter D. and Meir I.A. (1997) "A novel thermal simulation model and its application on naturally ventilated desert buildings" **Building and Environment**, Vol. 32, pp. 447-456.
8. Cengel Y.A. (1998) "**Heat transfer: a practical approach**", Mc Graw-Hill, New York.
9. Incropera Frank P. and DeWitt David P. (1996) "**Fundamentals of heat and mass transfer**", John Wiley & Sons, New York.