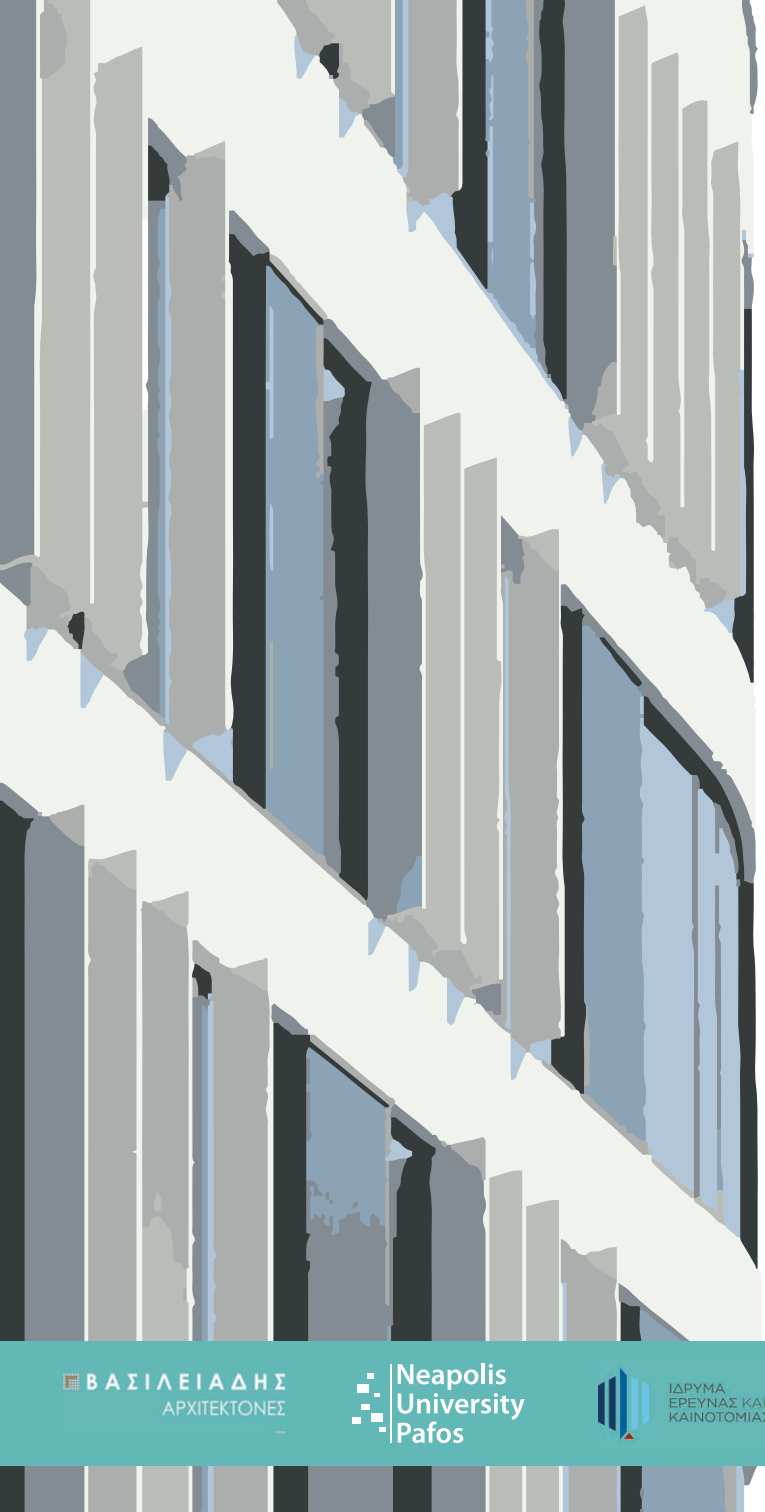


Κωνσταντίνος Βασιλειάδης

ΚΤΙΡΙΑΚΗ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ: ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ

ΒΑΣΙΛΕΙΑΔΗΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΕΣ
Neapolis University Pafos
ΙΔΡΥΜΑ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑΣ
ΕΤΕΚ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΣΥΛΛΟΓΟΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΩΝ ΚΥΠΡΟΥ
CYPRUS ARCHITECTS ASSOCIATION



Ο Δρ. Κωνσταντίνος Βασιλειάδης είναι Επίκουρος Καθηγητής του Τμήματος Αρχιτεκτονικής και Γεωπεριβαλλοντικών Επιστημών, του Πανεπιστημίου Νεάπολις Πάφος. Σπούδασε με υποτροφία στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, όπου το 2012 του απονεμήθηκε το Δίπλωμα του Αρχιτέκτονα Μηχανικού και βραβεύθηκε ως αριστούχος απόφοιτος. Το 2018 ολοκλήρωσε με υποτροφία την διδακτορική του διατριβή στο Τμήμα Αρχιτεκτονικής του Πανεπιστημίου Κύπρου, η οποία καταπιάνεται με την κτιριακή ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών και ηλιακών θερμικών συστημάτων, θέμα στο οποίο εμβάθυνε και στην μεταδιδακτορική του έρευνα στο ίδιο πανεπιστήμιο. Είναι Ερευνητικός Συνεργάτης του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου, Επισκέπτης Ερευνητής στο Division of Architecture and Water του Luleå University of Technology (LTU), υπήρξε Επισκέπτης Ερευνητής στο Τμήμα Βιομηχανικής Μηχανικής του Πανεπιστημίου της Νάπολης «Federico II», ενώ συνεργάζεται με το αρχιτεκτονικό γραφείο «Βασιλειάδης Αρχιτέκτονες».

Ο Κωνσταντίνος ασχολείται εκτεταμένα με την τεχνολογία, την αειφορία και την ενεργειακή απόδοση κτιρίων από την πλευρά της αρχιτεκτονικής, τόσο επαγγελματικά όσο και ερευνητικά. Συμμετείχε σε σχετικά ερευνητικά προγράμματα, πήρε μέρος σε συνέδρια και έχει επιλεχθεί ως ένας εκ των 26 Rising-Researchers του ACU-British Council Commonwealth Futures Climate Research Cohort.

Αριθμός μελετών του έχουν δημοσιευτεί σε αρχιτεκτονικά και ερευνητικά περιοδικά, ενώ είναι ένας εκ των συγγραφέων και συντελεστών του βιβλίου “Building Integrated Solar Thermal Systems – Design and Applications Handbook”. Είναι Ειδικευμένος Εμπειρογνώμονας Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων της Υπηρεσίας Ενέργειας του ΥΕΕΒΤ, μέλος του Ε.Τ.Ε.Κ. και του Συλλόγου Αρχιτεκτόνων Κύπρου.

Κωνσταντίνος Βασιλειάδης

ΚΤΙΡΙΑΚΗ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ: ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ



εκδόσεις
iWrite

Έκδοση: Ιούνιος 2023
ISBN: 978-960-627-446-6

Η δουλειά αυτή έγινε στα πλαίσια του Έργου "INNOVOUCHER/0722/0023".
"Το έργο INNOVOUCHER /0722/0023 χρηματοδοτείται από τον Μηχανισμό Ανάκαμψης Ανθεκτικότητας του ευρωπαϊκού μέσου Επόμενη Γενιά ΕΕ (NextGenerationEU), μέσω του Ιδρύματος Έρευνας και Καινοτομίας"

Επιμέλεια: Γιώργος Παναγιώτου









ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες 8
Πρόλογος 10
Εισαγωγή 11
- Πότε ένα σύστημα θεωρείται ενσωματωμένο 16
- Ζητήματα φυσικής του κτιρίου 20
- Τοποθέτηση - Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά μονάδων 24
- Ενεργητικά Ηλιακά Συστήματα 28

Μεθοδολογία ανάπτυξης του εγχειριδίου 42
- Σχεδιαστικά βήματα 48

Διαμόρφωση πλήρους οδικού χάρτη 59
Επίλογος 64
Βιβλιογραφία 70

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ιδιαίτερες ευχαριστίες στους

Δρα Σωτήρη Καλογήρου, Καθηγητή, Κοσμήτορα Σχολής Μηχανικής και Τεχνολογίας του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου,

Δρα Ανδρέα Σαββίδη, Αναπληρωτή Καθηγητή στο Τμήμα Αρχιτεκτονικής του Πανεπιστημίου Κύπρου και

Δρα Αιμίλιο Μιχαήλ, Επίκουρο Καθηγητή στο Τμήμα Αρχιτεκτονικής του Πανεπιστήμιου Κύπρου

που χάρη στην συμβολή και καθοδήγησή τους ολοκληρώθηκε αυτή η ερευνητική διαδικασία.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν εγχειρίδιο στοχεύει στην απλοποίηση της διεπιστημονικής διαδικασίας σχεδιασμού και την παρουσίαση ενός roadmap, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο σχεδιασμού για τη βιώσιμη κτιριακή ενσωμάτωση ενεργητικών ηλιακών συστημάτων (Building Integrated Solar Thermal Systems - BISTS, Building Integrated Photovoltaic Systems - BIPVs).

Η διαδικασία που παρουσιάζεται ξεκινά με μια βιβλιογραφική ανασκόπηση ως προς τον τρόπο με τον οποίο διάφοροι μελετητές / ερευνητές ενσωμάτωσαν ενεργητικά ηλιακά συστήματα σε κτίρια τα οποία χρησιμοποιήθηκαν ως περιπτωσιολογικές μελέτες.

Η προτεινόμενη μεθοδολογία είναι η εξέλιξη της ερευνητικής δουλειάς του συγγραφέα και των συνεργατών του, και στοχεύει στην ανάπτυξη ενός καινοτόμου εγχειριδίου, στο οποίο αναλύεται η σχεδιαστική διαδρομή που πρέπει να ακολουθείται από τα αρχικά στάδια της διαδικασίας αρχιτεκτονικού σχεδιασμού, όταν στο κτίριο θα ενσωματωθούν ενεργητικά ηλιακά συστήματα.

Συγκεκριμένα, με βάση την παραπάνω έρευνα, προέκυψε μια σχεδιαστική στρατηγική η οποία βασίζεται σε πέντε στάδια με την πλήρη ανάλυση του καθενός, και τη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου σχεδιαστικού εργαλείου. Η ανάπτυξή του αποτελεί μια μεθοδολογία, την οποία μπορούν να ακολουθήσουν μηχανικοί και ερευνητές για την κτιριακή ενσωμάτωση τέτοιων συστημάτων.

Εισαγωγή

Η πρώτη πετρελαϊκή κρίση στις αρχές της δεκαετίας του ’70 ανάγκασε την οικοδομική βιομηχανία σε μια ξαφνική αφύπνιση και την ανάπτυξη μιας συγκεντρωμένης προσπάθειας για τη μείωση των κτιριακών ενεργειακών αναγκών, εστιάζοντας αρχικά στα ενεργητικά συστήματα του κτιρίου, με την παθητική προσέγγιση στο θέμα να ακολουθεί [1]. Είναι ενδιαφέρον ωστόσο, ότι η αλόγιστη χρήση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας που οδήγησε στα προαναφερθέντα περιβαλλοντικά προβλήματα και την πετρελαϊκή κρίση, συμβαίνει ενώ η μέση παγκόσμια οριζόντια ακτινοβολία (GHI) στην Ευρώπη είναι περίπου 1200 kWh/m^2/έτος [2]. Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, έγινε σαφές ότι η χρήση και εκμετάλλευση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και ιδιαίτερα της ηλιακής ενέργειας κατά τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό, είναι μία από τις σημαντικότερες παραμέτρους που πρέπει να πληρεί ένα κτίριο για να θεωρείται βιώσιμο. Από την άλλη πλευρά, η κατεύθυνση προς την ηλιακή ενέργεια μπορεί να είναι η μόνη βιώσιμη πρόταση, καθώς θεωρείται μια από τις εναλλακτικές πηγές ενέργειας με τις μεγαλύτερες δυνατότητες να αντικαταστήσει την εξάρτηση από ορυκτά καύσιμα [3–5].

Την ίδια στιγμή, η δράση της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) για το κλίμα, έχει θέσει στόχους για το έτος 2030, οι οποίοι στοχεύουν σε μείωση 55% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην ΕΕ σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990 ενώ η Επιτροπή έχει δεσμευτεί έως το 2050 να εκμηδενίσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου [6]. Συγχρόνως, γνωρίζοντας ότι τα κτίρια ευθύνονται για το 40% των συνολικών αναγκών πρωτογενούς ενέργειας στην ΕΕ [7], η ανάπτυξη αποτελεσματικών λύσεων εναλλακτικής παραγωγής ενέργειας για κτίρια καθίσταται επιτακτική. Τα παραπάνω συμπληρώνονται από την οδηγία για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων (Energy Performance of Buildings Directive - EPBD), η οποία απαιτεί την ενεργή προώθηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) έναντι των συμβατικών ορυκτών καυσίμων που χρησιμοποιούνται στα κτίρια. Ο αυξανόμενος ρόλος και τα κίνητρα που δίνονται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μέσω του ευρωπαϊκού νομικού πλαισίου και δεδομένου ότι η ηλιακή ενέργεια αποτελεί την ταχύτερα αναπτυσσόμενη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, με την αύξηση της ηλεκτρικής ενέργειας από ηλιακή ενέργεια να είναι από μόλις 7,4 TWh το 2008 σε 144,2 TWh το 2020 [8], σημαίνει ότι τα Ηλιακά Θερμικά Συστήματα (STS) και τα Φωτοβολταϊκά (PV) θα διαδραματίσουν βασικό ρόλο στα κτίρια, καθώς συμβάλλουν άμεσα στα φορτία θέρμανσης και ψύξης τους, καθώς και στην παροχή ηλεκτρικής ενέργειας και ζεστού νερού [7].

Έτσι, η κτιριακή ενσωμάτωση ενεργητικών ηλιακών συστημάτων έρχεται στο προσκήνιο, καθώς τα κτίρια θα μπορούν να εκμεταλλεύονται την ηλιακή ενέργεια για την παραγωγή ενέργειας [9] κάτι που θα έχει ως αποτέλεσμα την αποτελεσματική συμβολή της μείωσης των ενεργειακών αναγκών στον κτιριακό τομέα, μέσω αυτής της επιτόπιας παραγωγής ενέργειας [7]. Η ανάγκη αυτή γίνεται όλο πιο εμφανής αλλά και επιτακτική, ειδικά σε χώρες όπου καταγράφονται υψηλές τιμές ετήσιας ηλιακής ενέργειας [10,11].

Ωστόσο, η ενσωμάτωση ενεργητικών ηλιακών συστημάτων εισάγει περαιτέρω παραμέτρους στο σχεδιασμό του κτιρίου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο σχεδιασμός και η κατασκευή ενός βιώσιμου, ενεργειακά αποδοτικού και φιλικού προς το περιβάλλον κτιρίου απαιτεί μια ολιστική προσέγγιση στο σχεδιασμό [12–15]. Συγκεκριμένα, η χρήση της ηλιακής ενέργειας είναι ένα από τα βασικά στοιχεία της ολιστικής προσέγγισης στον περιβαλλοντικό σχεδιασμό, η οποία έχει τρεις άξονες: τον βιοκλιματικό σχεδιασμό, τον σχεδιασμό ενεργειακά αποδοτικών κατασκευών και την οικολογική προσέγγιση στο σχεδιασμό. Οι δύο πρώτες διαφέρουν ως προς την προσέγγισή τους στο θέμα, αφού η πρώτη ασχολείται με παθητικά θέματα (π.χ. γεωμετρία, προσανατολισμός, τοποθετήσεις κ.λπ.) και η δεύτερη με ενεργειακά θέματα (π.χ. παραγωγή ενέργειας κ.λπ.). Η τρίτη ασχολείται με την ελαχιστοποίηση του οικολογικού αποτυπώματος του κτιρίου [16–18].

Όλα τα παραπάνω καταδεικνύουν ότι η κτιριακή ενσωμάτωση ενεργητικών ηλιακών συστημάτων, προσθέτει αριθμό παραμέτρων στη διαδικασία του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού, μετατρέποντάς την σε ένα διεπιστημονικό πεδίο. Ειδικότερα, αυτό αναλύεται σε θέματα που σχετίζονται με τον βιοκλιματικό σχεδιασμό και τον παθητικό ρόλο που μπορούν να έχουν τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα στο κτίριο, θέματα που έχουν να κάνουν με τον ενεργητικό τους

ρόλο και σχετίζονται με τη δυναμική παραγωγής ενέργειας και με θέματα που έχουν να κάνουν με την κατασκευή, τα υλικά και την οικολογική τους ευαισθησία [19]. Το παρόν κείμενο επιχειρεί να απλοποιήσει αυτή τη διεπιστημονική σχεδιαστική διαδικασία, μέσω της δημιουργίας ενός εγχειριδίου, το οποίο θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως σχεδιαστικό εργαλείο στα αρχικά στάδια του σχεδιασμού.



Εικόνα 1
Porter School of Environmental Studies, Tel Aviv.
Κτίριο με ενσωματωμένο ηλιακό σύ-στημα σε ένα "Eco-Wall", το οποίο λειτουργεί ως στοιχείο σκίασης και παράλληλα παράγει το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας που απαιτείται για θέρμανση και ψύξη του κτιρίου.
Φωτογραφία: Shai Epstein

ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Πότε ένα σύστημα θεωρείται ενσωματωμένο;

Η έννοια του ρήματος «ενσωματώνω» είναι το ότι βάζω κάτι (μέσα) σε κάτι άλλο, ώστε να συναποτελέσουν ένα ενιαίο σώμα, ένα σύνολο. Προκειμένου ένας ηλιακός συλλέκτης να θεωρηθεί ως «ενσωματωμένος» στο κτίριο, θα πρέπει να πληροί κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, δεδομένου του ότι υφίστανται δύο κύριες ταξινομήσεις σε σχέση με την ενσωμάτωσή τους, αναλόγως του τρόπου στήριξής τους, τα BIPV και τα BAPV (Building Attached Photovoltaics) [20]. Σημαντικό χαρακτηριστικό αποτελεί το ότι λ.χ. τα φωτοβολταϊκά θα πρέπει να αντικαθιστούν συμβατικά δομικά υλικά σε τμήματα των κτιριακών κελυφών [21], επειδή ως BIPV θεωρούνται τα φωτοβολταϊκά που αποτελούν ένα λειτουργικό μέρος της δομής του κτιρίου ή είναι αρχιτεκτονικά ενσωματωμένα στο σχεδιασμό του [22].

Από το αρχιτεκτονικό αποτέλεσμα δηλαδή της ενσωμάτωσης πρέπει να διαφαίνεται ότι η ενσωμάτωση του συστήματος αποτελεί λειτουργικό κομμάτι της κεντρικής ιδέας του κτιρίου χωρίς να ξεχωρίζει η φωτοβολταϊκή (ή η ηλιακή θερμική) συστοιχία από το σύνολο, σαν ένα ξένο σώμα. Μπορεί η ενσωμάτωσή τους στο κτιριακό κέλυφος να είναι διακριτά αντιληπτή, ωστόσο για να θεωρείται επιτυχής, πρέπει το ενεργητικό σύστημα να είναι πλήρως ενσωματωμένο στο γενικό αρχιτεκτονικό και ενεργειακό σχεδιασμό του κτιρίου [12]. Παράλληλα όμως οι ενσωματωμένες φωτοβολταϊκές συστοιχίες μπορεί να αποτελούν χαρακτηριστικά αρχιτεκτονικά στοιχεία του κτιρίου και να προστατεύουν από την ηλιακή ακτινοβολία λειτουργώντας ως συμπαγή σκίαστρα, είτε να φιλτράρουν το ηλιακό φως ως υαλοπίνακες μερικής διαπερατότητας [22], συμβάλλοντας έτσι στην θερμική και οπτική άνεση των χρηστών του κτιρίου. Οι ίδιοι κανόνες ισχύουν και για τα BISTS, έχοντας κατά νου ότι οι πλείστοι ηλιακοί θερμικοί συλλέκτες έχουν τα ίδια βασικά γεωμετρικά και τυπολογικά χαρακτηριστικά με τα φωτοβολταϊκά. Δηλαδή έχουν ορθοκανονικό σχήμα με παραπλήσιες διαστάσεις στην πλειονότητά τους, ενώ και στις δύο περιπτώσεις πρέπει να εφαρμόζονται στο κτίριο με τέτοιο τρόπο ώστε να δέχονται την μέγιστη δυνατή ηλιακή ακτινοβολία.

Όσον αφορά την αστική κλίμακα, εμφανίζονται σημαντικές διαφοροποιήσεις. Η ενσωμάτωση έρχεται ουσιαστικά στο προσκήνιο μέσω του πολεοδομικού προγραμματισμού και σχεδιασμού και βασίζεται στην ολιστική σχεδιαστική προσέγγιση, και όχι στο πως η μονάδα αυτή καθαυτή ενσωματώνεται στο κτίριο. Συγκεκριμένα, η αστική και πολεοδομική ενσωμάτωση ηλιακών συστημάτων εξασφαλίζει την επαρκή πρόσβασή τους στην ηλιακή ακτινοβολία, είτε αυτά τοποθετηθούν σε κτίρια του ιστού είτε σε δημόσιους χώρους. Με την εφαρμογή δηλαδή του ηλιακού σχεδιασμού σε αστικό και πολεοδομικό επίπεδο, καθίσταται βιώσιμη η μεμονωμένη ενσωμάτωση στα κτίρια που αποτελούν τον αστικό ιστό. Δεδομένου ότι οι σύγχρονοι πολεοδομικοί προγραμματισμοί κινούνται προς πιο πυκνούς αστικούς ιστούς οι οποίοι επιτρέπουν χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας και έχουν καλύτερο οικολογικό αποτύπωμα ανά κάτοικο σε σχέση με ιστούς με μεγαλύτερη διασπορά, πρέπει να λυθούν προβλήματα που έχουν να κάνουν κυρίως με την αλληλοσκίαση των κτιρίων.

Η ενσωμάτωση δηλαδή των τεχνολογιών αυτών σε αστικό / πολεοδομικό επίπεδο, έρχεται να λύσει τα προβλήματα που προκύπτουν, μέσα από την βελτιστοποίηση του σχήματος των νέων κτιρίων, μέσα από την ανάλυση της ηλιακής πρόσβασης των υφιστάμενων κτιρίων, μέσω της αξιολόγησης του ηλιακού δυναμικού των κελυφών των κτιρίων για την εγκατάσταση ηλιακών συστημάτων και της αξιολόγησης του επιπέδου της ηλιακής πρόσβασης των αστικών δημόσιων χώρων [23].



Εικόνα 2
GreenPix, Πεκίνο. Zero Energy media wall.
Πρόσοψη κτιρίου ως ένα διαδραστικό περιβάλλον για την ψυχαγωγία και συμμετοχή του κοινού.
Πηγή εικόνας: Archdaily

ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΦΥΣΙΚΗΣ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ

Ζητήματα φυσικής του κτιρίου

Η ενσωμάτωση ενός ηλιακού ενεργητικού συστήματος στο κέλυφος του κτιρίου, έχει ως αποτέλεσμα να αποτελεί λειτουργικό μέρος του, προσφέροντας με το δικό του τρόπο, ενεργητικά η παθητικά στο κέλυφος, επηρεάζοντας ουσιαστικά τόσο την θερμική και οπτική άνεση των χρηστών του, όσο ακόμα και την εμφάνισή του. Τα ζητήματα αυτά παρουσιάζονται αναλυτικά στις επόμενες παραγράφους:

Διαφάνεια
Η ενεργειακή απόδοση των νέων ή υφιστάμενων κτιρίων στα οποία έχουν ενσωματωθεί ηλιακά συστήματα, είναι πολύ σημαντική. Η διαφάνεια (στην αγγλική: transparency) είναι ένας παράγοντας από τον οποίο ένα κτίριο θα μπορούσε να έχει πολλά πλεονεκτήματα για την επίτευξη θερμικής άνεσης για τους χρήστες. Έτσι, η διαφάνεια των ηλιακών μονάδων παρέχει στον σχεδιαστή ένα ευρύ φάσμα δυνατοτήτων για να συνδυάσει την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με την παροχή και τον έλεγχο του φυσικού φωτισμού που εισέρχεται στο κτίριο [24]. Από την άλλη πλευρά, στην περίπτωση των BISTS, η διαφάνεια παρέχεται από τη μορφή και το σχήμα του πλαισίου, το οποίο μπορεί να επηρεάσει τον φωτισμό σε ένα χώρο.

Θωράκιση από καιρικές συνθήκες
Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό για ένα κτιριακό κέλυφος είναι να μπορεί να παρέχει θωράκιση από τις καιρικές συνθήκες (στην αγγλική: weather proofing). Η ενσωμάτωση PV και STS στα κτίρια, είναι σημαντικό να ενεργεί ως το κέλυφος του κτιρίου (π.χ. ως στέγη/οροφή). Έτσι οι μονάδες καλούνται να παίξουν το ρόλο του εξωτερικού κελύφους του κτιρίου, το οποίο προστατεύει τα εσωτερικά στρώματα από τα επιβλαβή αποτελέσματα της βαριάς διαβροχής και της ηλιακής ακτινοβολίας, έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται τα αποτελέσματα της θερμικής συστολής και διαστολής, ενώ παράλληλα χρησιμεύουν και ως στοιχεία που βελτιώνουν αισθητικά το κέλυφος του κτιρίου [24].

Μείωση του θορύβου

Στο ίδιο επίπεδο, κινείται και η ικανότητα του κελύφους για μείωση του θορύβου (στην αγγλική: noise reduction). Έτσι, η χρήση των ηλιακών συλλεκτών ως δομικά στοιχεία του κελύφους, καθιστά αναγκαία την κατανόηση της συμπεριφοράς τους σχετικά με τη μείωση του θορύβου. Είναι γνωστό ότι τα επίπεδα εμπόδια δρουν θετικά στην μείωση του θορύβου [25] και είναι επίσης γνωστό ότι τα διπλά κελύφη έχουν αντίστοιχη θετική επίδραση [26]. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με την βιβλιογραφία η τοποθέτηση δύο ανεξάρτητων κουφωμάτων σε ένα τοίχο (κούφωμα τόσο στην εσωτερική όσο και στην εξωτερική παρειά του) παρέχει ηχομόνωση της τάξης των 20 με 25 dB(A) σε σχέση με ένα απλό μονό το οποίο παρέχει από 0 ως 5 dB(A). Επίσης στην βιβλιογραφία αναφέρεται ότι οι κάθετες επίπεδες επιφάνειες λειτουργούν θετικά σε σχέση με τη μείωση του θορύβου, και συγκεκριμένα για τη μέγιστη μείωση του θορύβου η επιφάνεια θα πρέπει να είναι είτε κοντά στην πηγή ή στο δέκτη και θα πρέπει να είναι αρκετά υψηλή και μακριά. Προσεγγιστικά αναφέρεται ότι η μείωση του θορύβου μπορεί να είναι από 5 dB(A) μέχρι και 20 dB(A) δεδομένου του ότι η πηγή του θορύβου βρίσκεται από την μία πλευρά και ο δέκτης από την άλλη [25]. Έτσι, έχοντας τα πιο πάνω δεδομένα μπορεί να βγει το συμπέρασμα ότι η χρήση επίπεδων ηλιακών συλλεκτών είτε στις όψεις υαλοπετασμάτων (curtain wall) είτε σε διπλά κελύφη, μπορεί να έχει ευεργετική επίδραση στο θέμα, δεδομένου του ότι είναι σφραγισμένα στις ενώσεις και τους κόμβους που δημιουργούνται μεταξύ τους.

Σκίαση

Τέλος, η σωστή σκίαση (στην αγγλική: shading) είναι ένα σημαντικό στοιχείο το οποίο μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην ενεργειακή κατανάλωση ενός κτιρίου, επειδή οι κατασκευές ηλιοπροστασίας είναι ένας παθητικός τρόπος για τον περιορισμό των υπερβολικών ηλιακών κερδών κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Υπάρχουν αρκετά καλές ευκαιρίες και τρόποι να συνδυαστούν οι φωτοβολταϊκές μονάδες με κατασκευές σκίασης, κάτι που δίνει απτή έκφραση της εξοικονόμησης ενέργειας τόσο μέσω των μειωμένων φορτίων ψύξης, όσο και μέσω της αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας [24]. Είναι επίσης μια μέθοδος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί εύκολα τόσο σε νέα, όσο και σε υφιστάμενα κτίρια.

Χρώμα και υφή

Σε σχέση με το καθαρά οπτικό / αισθητικό κομμάτι της αρχιτεκτονικής ενσωμάτωσης, προκειμένου να επιτευχθεί η βέλτιστη δυνατή ενσωμάτωση ηλιακών συλλεκτών σε ένα κτίριο, μερικές φορές η χρήση του κατάλληλου χρώματος και υφής για την ενσωματωμένη συσκευή είναι κρίσιμο. Αυτό μπορεί να γίνει με την αλλαγή του χρώματος της απορροφητικής πλάκας του STS (στην αγγλική: absorber) ή στην περίπτωση των PV με την μεταβολή του πάχους της αντι-ανακλαστικής επίστρωσης, κάτι που μπορεί να δώσει και άλλα χρώματα πέραν των βασικών αποχρώσεων του μπλε. Ωστόσο με αυτό τον τρόπο, η συνολική αντανάκλαση θα αυξηθεί και ο βαθμός απόδοσης θα μειωθεί κατά 15-30%, ανάλογα με το χρώμα [24].

ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΑΔΩΝ

Τοποθέτηση – Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά μονάδων

Η τοποθέτηση και τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των μονάδων, επηρεάζουν την μετέπειτα απόδοσή τους, τόσο σε παθητικό όσο και σε ενεργητικό επίπεδο. Ωστόσο τα πιο πάνω χαρακτηριστικά παραμένουν τα ίδια ανεξαρτήτως κλίμακας εφαρμογής, από την κτιριακή κλίμακα μέχρι την αστική και πολεοδομική.

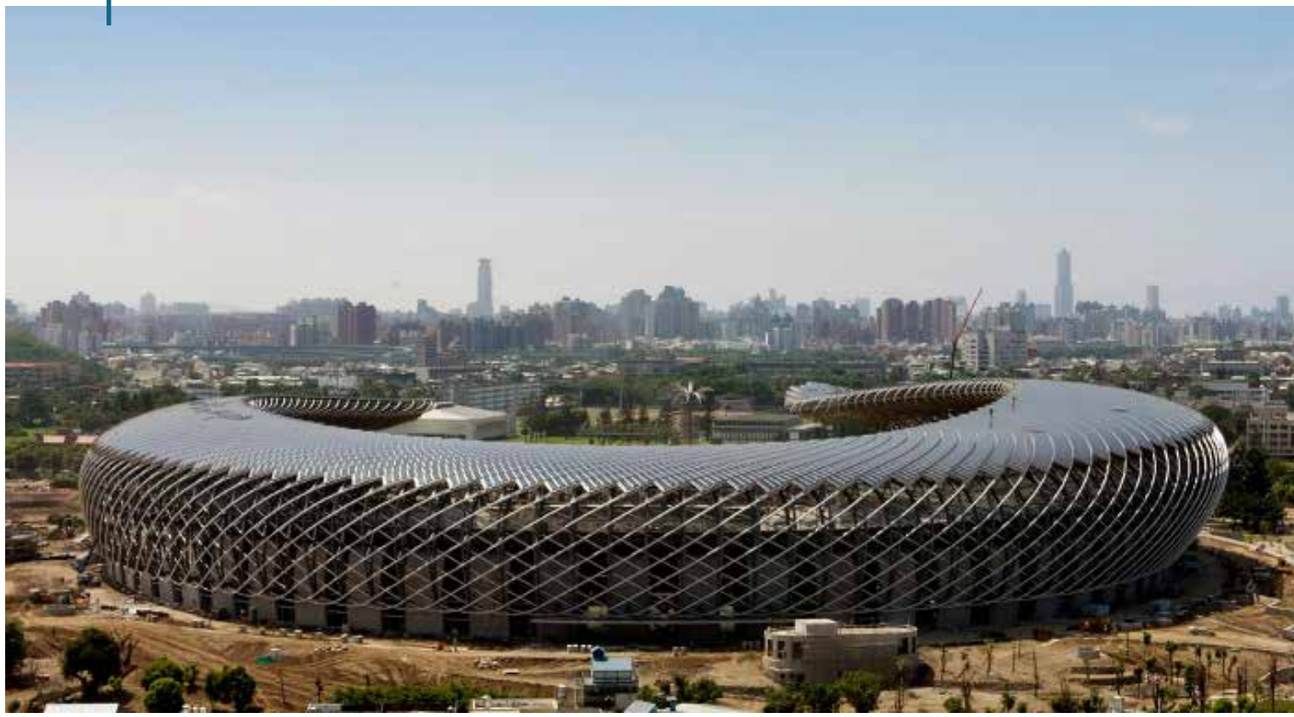
Η κύρια θέση τοποθέτησης για τα φωτοβολταϊκά ή τα ηλιακά θερμικά συστήματα σε ένα υπάρχον κτίριο σήμερα είναι η οροφή. Ωστόσο πρακτικά, υπάρχουν τρεις θέσεις διαθέσιμες σε κάθε είδος κτιρίου για ενσωμάτωση ηλιακών συλλεκτών. Οι δύο κύριες θέσεις είναι η οροφή και οι όψεις, με όλες τις άλλες θέσεις να είναι γνωστές ως δομικά στοιχεία (στην αγγλική: building components) [27,28].

Μια άλλη σημαντική πτυχή αυτών των συστημάτων, είναι η ευκαμψία (στην αγγλική: flexibility) της κάθε μονάδας. Η ευκαμψία της κάθε μονάδας είναι κρίσιμη κατά την ενσωμάτωσή τους στα κτίρια, επειδή η υψηλή ευελιξία επιτρέπει ελκυστικές και ιδιαίτερες λύσεις. Ένα παράδειγμα είναι τα Εύκαμπτα BIPV (Foil BIPV) που είναι ελαφριά, ευέλικτα και μπορούν να είναι κυρτά, ενώ προσφέρουν πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με την εύκολη εγκατάστασή τους και τους επικρατούντες περιορισμούς που τίθενται για το βάρος που μπορούν να δεχτούν οι συμβατικές στέγες [21].

Σε σχέση με την κατασκευή τους και πως τα διάφορα μέρη τους ενσωματώνονται στα κτίρια, είναι σημαντικό να αναφερθεί κανείς στο ότι υπάρχει η δυνατότητα της χρήσης τόσο προκατασκευασμένων (στην αγγλική: pre – fabricated) όσο και επιτόπου προσαρμοσμένων (στην αγγλική: customized) μονάδων και συστημάτων. Σίγουρα οι επιτόπου προσαρμοσμένες μονάδες έχουν τα πλεονεκτήματά τους σε σχέση με την εφαρμογή σε πολύπλοκες και εξειδικευμένες αρχιτεκτονικές λύσεις, ωστόσο οι προκατασκευασμένες μονάδες και τα τυποποιημένα συστήματα είναι πιο οικονομικά. Συγκεκριμένα, στις Ηνωμένες Πολιτείες, στην πλειονότητά των εφαρμογών οι εργολάβοι χρησιμοποιούν ένα τυποποιημένο σύστημα εγκατάστασης. Αυτή η τυποποίηση

οδηγεί σε πιο ευνοϊκές τιμολογήσεις υλικών και εργασιών εγκατάστασης που έχει ως αποτέλεσμα την βελτίωση της αποτελεσματικότητάς τους, και την μείωση του κόστους κατά 25% σε σχέση με τα μη τυποποιημένα συστήματα [29], ενώ παράλληλα μειώνει την ευθύνη του εγκαταστάτη σε περίπτωση που υπάρξει επιπλοκή είτε κατά την διάρκεια της εγκατάστασης, είτε κατά την χρήση.

Τέλος, δεδομένου ότι τα PV και τα STS (ειδικά τα επίπεδα) μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υλικό πλήρωσης, μπορούν να ενσωματωθούν σε συστήματα υαλοπετασμάτων (curtain walls) ή διπλά κελύφη, παράλληλα με τις υπόλοιπες πιο «συμβατικές» χρήσεις. Σε εφαρμογές διπλών κελυφών, στις πλείστες περιπτώσεις χρήσης φωτοβολταϊκών, αυτά θα πρέπει να εγκαθίστανται στο εξωτερικό μέρος, προκειμένου να επιτυγχάνεται η υψηλότερη δυνατή απόδοση [21].



Εικόνα 3
Taiwan Solar Powered Stadium
Στάδιο που τροφοδοτείται από ηλιακή ενέργεια, του Ιάπωνα αρχιτέκτονα Toyo Ito. Στην οροφή του σταδίου ενσωματώνονται 8844 ηλιακοί συλλέκτες.
Πηγή εικόνας: Archdaily

ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Ενεργητικά ηλιακά συστήματα προς κτιριακή ενσωμάτωση

Ηλιακά, θερμικά συστήματα

Υπάρχουν αρκετοί διαφορετικοί τύποι ηλιακών ενεργητικών συστημάτων που διατίθενται προς κτιριακή ενσωμάτωση. Ένας τύπος είναι τα Ηλιακά Θερμικά Συστήματα (STSs) τα οποία έχουν τύχει εμπορικής εκμετάλλευσης. Οι τεχνολογίες αυτές απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία και τη μετατρέπουν σε θερμική ενέργεια η οποία χρησιμοποιείται για θέρμανση νερού ή αέρα και διαχωρίζονται στις ακόλουθες ομάδες [30]:

- ***Επίπεδοι ηλιακοί υδραυλικοί συλλέκτες με υαλοκάλυψη (Glazed Flat Plate Hydraulic Collectors).***
  Οι Επίπεδοι ηλιακοί υδραυλικοί συλλέκτες με υαλοκάλυψη συνήθως είναι ορθογωνικά κουτιά πάχους 10 cm και εμβαδού 2 m^2 που αποτελούνται από την απορροφητική πλάκα με τις υδραυλικές σωληνώσεις, την οπίσθια θερμομόνωση και το γυάλινο μπροστινό κάλυμμα (Εικόνα 4).



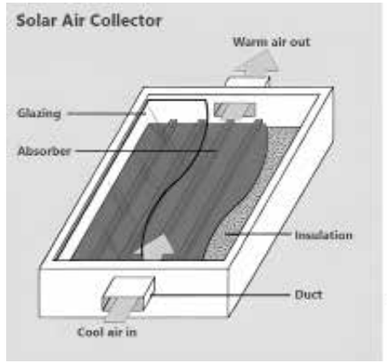
Εικόνα 4
Η δομή ενός επίπεδου ηλιακού συλλέκτη με υαλοκάλυψη και εφαρμογές αυτού σε στέγη και επίπεδη οροφή.

- ***Επίπεδοι ηλιακοί υδραυλικοί συλλέκτες χωρίς υαλοκάλυψη (Unglazed Flat Plate Hydraulic Collectors)***
  Οι Επίπεδοι ηλιακοί υδραυλικοί συλλέκτες χωρίς υαλοκάλυψη συνήθως είναι μεταλλικοί, σκούρου χρώματος (συνήθως μαύρου), και συναντιόνται είτε ως πλάκες είτε ως ελεύθεροι σωλήνες. Δεν έχουν υαλοκάλυψη και η επιφάνεια απορρόφησής τους είναι εκτεθειμένη (Εικόνα 5).



Εικόνα 5
Τυπολογία των Unglazed Flat Plate Hydraulic Collectors με και χωρίς τις εμφανείς σωληνώσεις.

- ***Επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες αέρα (Flat Plate Air Collectors)***
  Οι Επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες αέρα είναι επίπεδοι και αν και έχουν κάποιες σχεδιαστικές διαφορές βασίζονται στην ίδια φιλοσοφία λειτουργίας με τους υδραυλικούς συλλέκτες (Εικόνα 6).





Εικόνα 6
Διάγραμμα λειτουργίας επίπεδου ηλιακού συλλέκτη αέρα, και παράδειγμα.

- ***Σωλήνες κενού (Vacuum Tube Hydraulic Collectors)***
  Οι σωλήνες κενού αποτελούνται από σειρά ξεχωριστών γυάλινων σωλήνων, οι οποίοι περιέχουν σε κατάσταση κενού μία πλάκα ή μία σωλήνα απορρόφησης η οποία συνδέεται σε ένα κεντρικό αγωγό (Εικόνα 7).



Εικόνα 7
Λεπτομέρειες σημείων του συστήματος και ολοκληρωμένοι Vacuum Tube Hydraulic Collectors.

- ***Συγκεντρωτικοί υδραυλικοί συλλέκτες (Concentrating Hydraulic Collectors)***
  Οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες συνήθως έχουν κοίλες ανακλαστικές επιφάνειες για να παρακολουθούν και να επικεντρώνουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ένα μικρότερο χώρο, αυξάνοντας έτσι την ροή της ακτινοβολίας (Εικόνα 8).



Εικόνα 8
Παραδείγματα συγκεντρωτικών ηλιακών συλλεκτών.

- ***Πλαστικοί συλλέκτες χωρίς υαλοκάλυψη (Unglazed Plastic Collectors)***
  Οι Πλαστικοί συλλέκτες χωρίς υαλοκάλυψη είναι επίσης εκτεθειμένοι χωρίς κάποιο είδος μόνωσης και κατασκευάζονται συνήθως από καουτσούκ ή υπεριώδες (UV) σταθεροποιημένο πολυμερές (Εικόνα 9).



Εικόνα 9
Παραδείγματα Unglazed plastic collectors.



Εικόνα 10
The Research Support Facility, Golden, Colorado.
Το Research Support Facility (RSF) είναι ένα LEED Platinum κτίριο που ενσωματώνει μια σειρά από πράσινες καινοτομίες, όπως το ηλιακό σύστημα θέρμανσης του αέρα της SolarWall που διαθέτει.
Φωτογράφος: Frank Ooms

BIPV πλαίσια

Ένας άλλος τύπος τεχνολογίας ηλιακού ενεργητικού συστήματος που τίθεται προς κτιριακή ενσωμάτωση είναι τα φωτοβολταϊκά, τα οποία λαμβάνουν την ηλιακή ακτινοβολία και τη μετατρέπουν σε ηλεκτρική ενέργεια. Συγκεκριμένα, όταν η ηλιακή ακτινοβολία πέφτει σε υλικά γνωστά ως «ημιαγωγούς», η ενέργεια της προσπίπτουσας ακτινοβολίας (γνωστή και ως φωτόνια) απελευθερώνει μερικά ηλεκτρόνια στα υλικά αυτά. Η διαφορά δυναμικού που αναπτύσσεται μέσα στο υλικό, μεταφράζεται στην άμεση παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτά τα φωτοηλεκτρικά κύτταρα κατασκευάζονται κυρίως από πυρίτιο, που αναπτύσσεται είτε σε μονοκρυστάλλους (υψηλή απόδοση, υψηλό κόστος) ή συνηθέστερα, ως πολυκρυσταλλικά ή άμορφου πυριτίου (χαμηλότερη αποδοτικότητα, χαμηλότερο κόστος) [31]. Αυτά που διατίθεται για κτιριακή ενσωμάτωση είναι τα εξής [21]:

- ***BIPV πλαίσια (BIPV modules)***
  Τα BIPV πανέλα είναι παρόμοια με συμβατικά, ωστόσο διαφοροποιούνται στο ότι έχουν ειδική προστασία για τις καιρικές συνθήκες, που τα κάνει κατάλληλα για ενσωμάτωση (Εικόνα 11).



Εικόνα 11
Συμβατικό φωτοβολταϊκό πλαίσιο, BAPV, BIPV διαφανές, BIPV αδιαφανές.

- ***Εύκαμπτα BIPV (Foil BIPV)***
  Τα Εύκαμπτα BIPV είναι ελαφριά και ευλύγιστα, χαρακτηριστικά που βοηθούν στην εύκολη εγκατάστασή τους (Εικόνα 12).



Εικόνα 12
Παραδείγματα BIPV foil.

- ***BIPV κεραμίδια (BIPV tile)***
  Τα BIPV κεραμίδια δύνανται να αντικαταστήσουν τα συμβατικά κεραμίδια και να καλύψουν ολόκληρη ή μέρος της οροφής (Εικόνα 13).



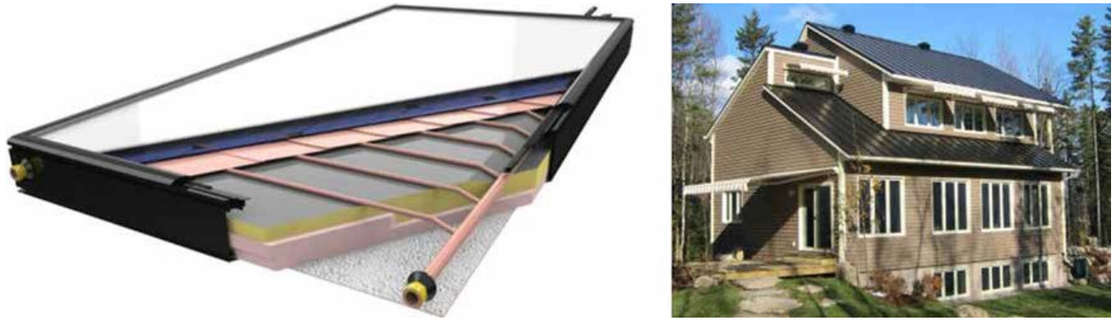
Εικόνα 13
Παραδείγματα BIPV tiles.

- ***Υαλοπίνακες ηλιακών κυψελών (Solar Cell Glazing)***
  Οι Υαλοπίνακες ηλιακών κυψελών, αποτελούνται ουσιαστικά από φωτοβολταϊκές κυψέλες εγκιβωτισμένες σε υαλοπίνακες και παρέχουν αρκετές επιλογές για παράθυρα, τζάμια ή κεκλιμένες προσόψεις και οροφές (Εικόνα 14).



Εικόνα 14
Οι βασικές τυπολογίες των Solar cell glazing.

- ***Υβριδικά Συστήματα***
  Πρέπει να αναφερθεί ότι παράλληλα με τα πιο πάνω βρίσκονται σε προχωρημένο ερευνητικό στάδιο και τα Υβριδικά PV/T συστήματα (Hybrid PV/T Systems), με κάποια να έχουν ήδη αρχίσει να συναντώνται και σε κτιριακές εφαρμογές, τα οποία αποτελούν συνδυασμό των πιο πάνω και έχουν την ικανότητα της ταυτόχρονης παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας ενώ μπορούν να ενσωματωθούν στα κτίρια με αντίστοιχο τρόπο (Building Integrated Photovoltaic/Thermal - BIPV/T) [32–34] (Εικόνα 15).



Εικόνα 15
Παράδειγμα PV/T με νερό και εφαρμογή συστήματος αέρα σε κατοικία σε ερευνητικό επίπεδο [35].

BAPV & BASTS

Ωστόσο, δεν θεωρούνται όλες οι προσθήκες φωτοβολταϊκών ή ηλιακών θερμικών συστημάτων στα κτίρια ως ενσωματωμένες. Συγκεκριμένα, φωτοβολταϊκά τα οποία δεν σχετίζονται άμεσα με τις λειτουργικές πτυχές της κατασκευής του κτιρίου και είναι πρόσθετα σε αυτό, εμπίπτουν στην κατηγορία BAPV, και ο στόχος τους είναι μόνο η παραγωγή ενέργειας. Τα φωτοβολταϊκά σε αυτές τις περιπτώσεις τοποθετούνται σε ειδικά διαμορφωμένους σκελετούς, που συνήθως συνδέονται με την οροφή μέσω μιας σειράς στηριγμάτων, που στερεώνονται μηχανικά ή τοποθετούνται χωρίς καμία μηχανική σύνδεση με την οροφή (σε αυτές τις περιπτώσεις, η συστοιχία στερεώνεται με άλλους τρόπους για να παραμένει σταθερή σε ανεμοπιέσεις, σεισμικά φορτία ή φορτία χιονιού σε ψυχρά κλίματα) [20], με στόχο συνήθως να επιτευχθεί ο βέλτιστος προσανατολισμός και κλίση.

Εδώ πρέπει να αναφερθεί ότι η ηλιακή ακτινοβολία ποικίλλει ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος, την εποχή και την ώρα, λόγω της διαφορετικής θέσης του ήλιου στον ουρανό [36]. Ως εκ τούτου, η βέλτιστη κλίση και προσανατολισμός ενός ηλιακού πλαισίου διαφέρει ανά γεωγραφικό μήκος και πλάτος. Η διαφοροποίηση αυτή διαφαίνεται με την σύγκριση δύο διαφορετικών πόλεων. Συγκεκριμένα, στην Λευκωσία στην Κύπρο, που βρίσκεται σε γεωγραφικό πλάτος 35°10′ Β και γεωγραφικό μήκος 33°22′ Α, ο βέλτιστος προσανατολισμός είναι ο νότιος, ενώ η βέλτιστη γωνία κλίσης είναι 30° από το οριζόντιο επίπεδο [37]. Στην Ταϊβάν και συγκεκριμένα στην Ταϊπέι, που βρίσκεται σε τελείως διαφορετικό γεωγραφικό πλάτος και μήκος (25°5′ Β, 121°33′ Α), ο βέλτιστος προσανατολισμός είναι και πάλι νότιος, ωστόσο η βέλτιστη γωνία κλίσης διαφοροποιείται αρκετά και ανέρχεται στις 18,16° [38]. Η ορολογία που περιγράφει τα διαδεδομένα αντίστοιχα ηλιακά θερμικά συστήματα που τοποθετούνται με παρόμοιο τρόπο στις οροφές, είναι Building Attached Solar Thermal Systems ή BASTS.



Εικόνα 16
GENyO Laboratories, Granada
Κτίριο του Ογκολογικού Κέντρου Ερευνών της Pfizer. Στην νοτιοανατολική του όψη, τοποθετήθηκε διπλό κέλυφος με φωτοβολταϊκά πανέλα, τα οποία ενσωματώθηκαν στην αρχιτεκτονική σύλληψη.
Φωτογράφος: Alejandro González

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΟΥ ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟΥ

Μεθοδολογία ανάπτυξης του εγχειριδίου

Για να γίνουν επιστημονικά αποδεκτές, οι νέες διαδικασίες όπως το προτεινόμενο εγχειρίδιο, πρέπει να δοκιμαστούν σε πραγματικές συνθήκες. Δεδομένου ότι τα σχετικά παραδείγματα και η βιβλιογραφία για τη διερεύνηση των κτιριακά ενσωματωμένων ενεργητικών ηλιακών συστημάτων είναι μάλλον περιορισμένα [39], η προτεινόμενη μεθοδολογία αναπτύχθηκε στη βάση βιβλιογραφικής ανάλυσης και σε συνδυασμό με τον τρόπο με τον οποίο οι ερευνητικές / σχεδιαστικές ομάδες πέντε επιλεχθέντων περιπτωσιολογικών μελετών, σχεδίασαν και εντέλει ενσωμάτωσαν τα ενεργητικά συστήματα στα κτίρια τους (οι μελέτες αυτές παρουσιάζονται εκτενώς στο «Building Integrated Solar Thermal Systems, Design and Applications Handbook» [40]). Η επιλογή να χρησιμοποιηθούν αυτές οι συγκεκριμένες ερευνητικές περιπτωσιολογικές μελέτες αντί άλλων στον ιδιωτικό τομέα, είναι γιατί αναπτύχθηκαν σε ελεγχόμενες συνθήκες με πολύ συγκεκριμένη μεθοδολογική πορεία.

Η μεθοδολογία ανάπτυξης του συγκεκριμένου εγχειριδίου, αποτελεί εξέλιξη της δουλειάς του συγγραφέα [41], η οποία είχε αναλύσει αρχικά την σχετική βιβλιογραφία και την κτιριακή ενσωμάτωση ενεργητικών ηλιακών συστημάτων σε όλες τις σχεδιαστικές κλίμακες, συμπεριλαμβανομένης της αστικής κλίμακας, της κτιριακής κλίμακας και της κατασκευαστικής λεπτομέρειας. Με βάση τα πιο πάνω, είχε αναπτυχθεί μία πρώιμη πορεία σχεδιασμού, η οποία πρότεινε την διαδρομή που μπορεί να ακολουθήσει ένας μηχανικός για την κτιριακή ενσωμάτωση ενός ενεργητικού ηλιακού συστήματος.

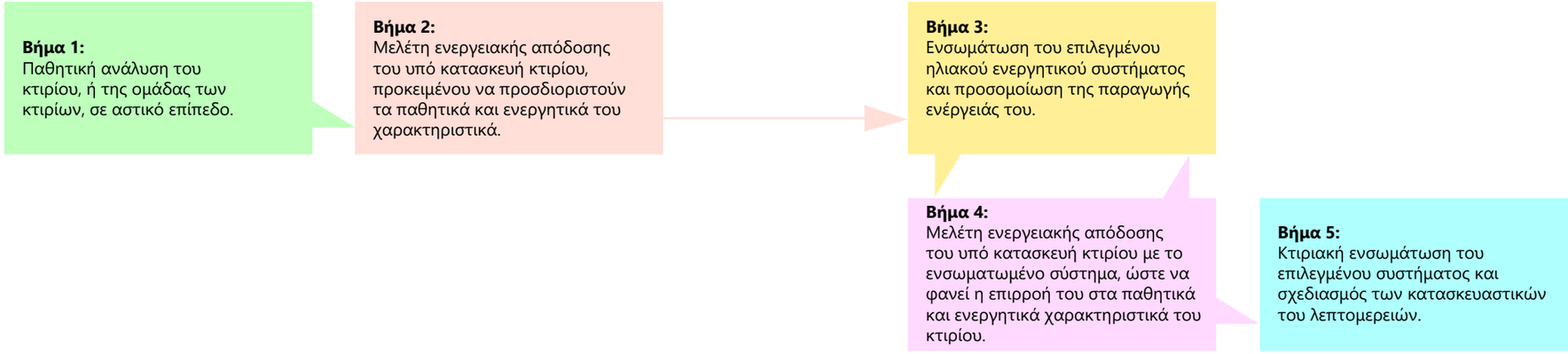
Στην προαναφερθείσα πορεία σχεδιασμού, προτάθηκαν πέντε βήματα σχεδιασμού / έρευνας, τα οποία αποτελούν μια σχεδιαστική διαδικασία για την επίτευξη της ενσωμάτωσης των συστημάτων (Εικόνα 17). Το πρώτο βήμα είναι η παθητική ενεργειακή ανάλυση του κτιρίου ή της ομάδας κτιρίων σε αστικό επίπεδο. Ο στόχος είναι να βρεθεί η ιδανική όψη ή όψεις πάνω στις οποίες μπορεί να ενσωματωθεί το ενεργητικό σύστημα με τις λιγότερες δυνατές αλληλοσκιάσεις που θα μπορούσαν να επηρεάσουν την απόδοσή του.

Αφού επιλεχθεί κτίριο/α και όψη/εις, ακολουθεί το 2ο βήμα, κατά το οποίο γίνεται μελέτη ενεργειακής απόδοσης του υπό μελέτη κτιρίου, για να καθοριστούν τόσο τα παθητικά όσο και τα ενεργειακά χαρακτηριστικά του. Συγκεκριμένα, πρέπει να αναλυθούν και να καθοριστούν οι ανάγκες του για διαφάνεια, θερμομόνωση, θωράκιση από καιρικές συνθήκες, μείωση θορύβου και σκίαση. Παράλληλα πρέπει να αναλυθούν οι ενεργειακές του ανάγκες για θέρμανση, ψύξη και φωτισμό. Ο λόγος που πρέπει να γίνουν τα πιο πάνω, είναι για να μπορεί να επιλεγεί το κατάλληλο ενεργητικό σύστημα το οποίο να παρέχει τον απαιτούμενο συνδυασμό των πιο πάνω.

Στη συνέχεια, στα πλαίσια του 3ου βήματος, γίνεται η ψηφιακή μοντελοποίηση του κτιρίου με το ενσωματωμένο σύστημα, και προσομοιώνεται η ενεργειακή του παραγωγή. Ο στόχος είναι να επιβεβαιωθεί ότι επιλέχθηκε το σωστό σύστημα και μοντέλο και ότι μπορεί να καλύψει τις ζητούμενες ενεργειακές ανάγκες.

Ακολούθως, στο 4ο βήμα γίνεται η μελέτη ενεργειακής απόδοσης του υπό μελέτη κτιρίου με το ενσωματωμένο σύστημα για να φανεί η επιρροή του στα παθητικά και ενεργειακά χαρακτηριστικά του. Εάν τα αποτελέσματα βρίσκονται στα πλαίσια των ζητουμένων, τότε επιβεβαιώνεται ότι η επιλογή του συστήματος είναι ορθή. Εάν δεν επιβεβαιώνεται αυτό, επιστρέφουμε στο 3ο βήμα, μέχρι να επιτευχθούν οι ανάγκες.

Τέλος, το 5ο βήμα είναι η τοποθέτηση του επιλεγέντος συστήματος στο κτίριο και ο σχεδιασμός των επιμέρους κατασκευαστικών λεπτομερειών του. Οι κατασκευαστικές αυτές λεπτομέρειες έχουν ως στόχο πέραν από τον κατασκευαστικό σχεδιασμό, την εύρεση πιθανών ζητημάτων που μπορεί να σχετίζονται με το σύστημα και έχουν να κάνουν με σωληνώσεις, καλωδιώσεις, αλληλοσκιάσεις κλπ.



Εικόνα 17
Βασική πορεία σχεδιασμού.

Ανατρέχοντας στην βιβλιογραφική ανασκόπηση και στις περιπτωσιολογικές μελέτες που αναφέρθηκαν, και με βάση την παραπάνω πορεία σχεδιασμού, προέκυψε μια σχεδιαστική στρατηγική, η οποία ακολουθήθηκε προκειμένου να διαμορφωθεί το προτεινόμενο σχεδιαστικό εγχειρίδιο. Αυτό βασίζεται στα πέντε βήματα που παρουσιάστηκαν παραπάνω και στοχεύει στη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου και λειτουργικού σχεδιαστικού εργαλείου. Εκτός από τη διευκόλυνση της σχεδιαστικής εργασίας που δύναται να εξοικονομήσει χρόνο και χρήμα, η πρωτοτυπία αυτού του εργαλείου βασίζεται στο γεγονός ότι κάνει ένα σημαντικό βήμα στην τυποποίηση αυτών των μελετών. Από την άλλη πλευρά, η εφαρμογή αυτού του εγχειριδίου από ερευνητές και σχεδιαστές θα καταστήσει δυνατή τη διασταύρωση πληροφοριών μεταξύ διαφορετικών εφαρμογών και θα προσδώσει την δυνατότητα δημιουργίας μιας βάσης δεδομένων κτιρίων με ενσωματωμένα ηλιακά συστήματα, η οποία θα μπορούσε να προσφέρει στους σχεδιαστές επιλογές στο αρχικό και πρώιμο μέρος της σχεδιαστικής διαδικασίας κατασκευαστικών και περιβαλλοντικών λεπτομερειών του κτιρίου.

Σημειώνεται ότι για να χρησιμοποιηθεί αυτό το εγχειρίδιο θα πρέπει να έχει επιλεγεί η ηλιακή ενέργεια ως η κύρια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας του κτιρίου, καθώς και η χρήση κτιριακά ενσωματωμένων ενεργητικών ηλιακών συστημάτων. Διαφορετικά, η μεθοδολογική διαδικασία μπορεί να είναι πολύ διαφορετική, αφού θα ακολουθεί τα χαρακτηριστικά και τις απαιτήσεις της κάθε περίπτωσης.



Εικόνα 18
Greater Toronto Airport Authority, Toronto
Κτίριο LEED Silver στο οποίο παρέχεται εκπαίδευση για καταστάσεις έκτακτης ανάγκης και κρίσεων, το οποίο μεταξύ άλλων έχει ηλιακό σύστημα θέρμανσης του αέρα της SolarWall.
Πηγή εικόνας: SolarWall

ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΑ ΒΗΜΑΤΑ

Σχεδιαστικά βήματα

Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα της μεθοδολογίας, η πλήρης ανάπτυξη του εγχειριδίου πραγματοποιείται εξετάζοντας κάθε βήμα με αφετηρία την εργασία που έκαναν άλλοι ερευνητές και στοχεύοντας την πλήρη ανάλυση της διαδικασίας.

Βήμα 1 – Παθητική ανάλυση

Το πρώτο βήμα του εγχειριδίου ασχολείται με την παθητική ενεργειακή ανάλυση του κτιρίου, ή της ομάδας κτιρίων, σε αστικό επίπεδο. Η διαδικασία βασίζεται στην έρευνα των Σαββίδη και άλλων [42,43], και ξεκινά με την τρισδιάστατη αναπαράσταση και μοντελοποίηση του κτιρίου ή του κτιριακού συγκροτήματος. Αυτό το μοντέλο χρησιμοποιείται για προσομοιώσεις που πρέπει να γίνουν προκειμένου να υπολογιστεί η ηλιακή πρόσπτωση στο κέλυφος του κτιρίου. Η συνολική τιμή της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας είναι μια πρώτη προσπάθεια για τον ποσοτικό προσδιορισμό του ηλιακού δυναμικού ενός κτιρίου, ενώ το τρισδιάστατο μοντέλο μπορεί επίσης να δώσει μια ακριβή εκτίμηση τυχόν αλληλοσκιάσεων που μπορούν να έχουν αρνητική επιρροή.

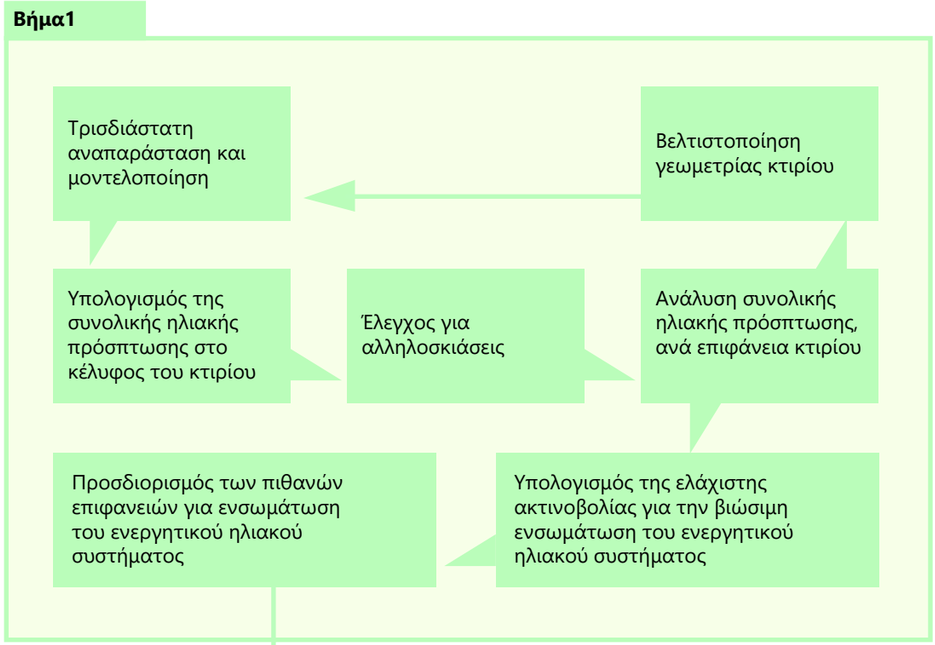
Στη συνέχεια, η προσπίπτουσα ακτινοβολία στο κέλυφος του κτιρίου αναλύεται διεξοδικά, δίνοντας μια πρώτη ένδειξη των επιφανειών στις οποίες ένα ενεργητικό ηλιακό σύστημα θα μπορούσε να ενσωματωθεί – έτσι ώστε να έχει βιώσιμη παραγωγή ενέργειας. Είναι επίσης μια πρώτη προσπάθεια προσδιορισμού των επιφανειών του κτιρίου που μπορεί να απαιτούν παθητική ηλιακή προστασία για αποφυγή πιθανών προβλημάτων υπερθέρμανσης. Όλα τα παραπάνω βοηθούν για μία πρώιμη βελτιστοποίηση της γεωμετρίας του κτιρίου.

Ωστόσο, λόγω του ότι η συνολική προσπίπτουσα ακτινοβολία δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί από μόνη της για τον ασφαλή προσδιορισμό της βιωσιμότητας της κτιριακής ενσωμάτωσης ενός ενεργητικού ηλιακού συστήματος, πρέπει να υπολογιστεί η μικρότερη δυνατή ποσότητα προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε μια επιφάνεια που θα επέτρεπε κάτι τέτοιο. Ένα κτίριο μπορεί να παρουσιάζει

υψηλές τιμές για τη μέση προσπίπτουσα ακτινοβολία, αλλά ορισμένες από τις όψεις του κελύφους του μπορεί να παρουσιάζουν συγκριτικά χαμηλότερες τιμές, καθιστώντας την ενσωμάτωση ενός ηλιακού συστήματος μη βιώσιμη [41]. Για τον καθορισμό της ελάχιστης ακτινοβολίας που απαιτείται για την βιώσιμη ενσωμάτωση, προτείνεται η ακόλουθη εξίσωση, η οποία λαμβάνει υπόψη την απόδοση του συστήματος, το κόστος ενέργειας σε ευρώ ανά kWh, τα έτη αποπληρωμής και το κόστος εγκατάστασης του συστήματος σε ευρώ, ανά τετραγωνικό μέτρο εγκατάστασης:

$$Radiation\left(\frac{\frac{kWh}{m^2}}{yr}\right) = \frac{System\ Installation\ and\ Maintenance\ Cost\left(\frac{€}{m^2}\right)}{System\ Performance \times Energy\ Cost\left(\frac{€}{kWh}\right) \times Years\ for\ Repayment}$$

Το πρώτο βήμα της μεθοδολογίας που περιγράφεται παραπάνω, παρουσιάζεται στην εικόνα 19.



Εικόνα 19
Η βασική μεθοδολογία για το πρώτο βήμα, που ασχολείται με την παθητική ενεργειακή ανάλυση του κτιρίου ή της ομάδας κτιρίων, σε αστικό επίπεδο.

Βήμα 2 - Μελέτη ενεργειακής απόδοσης

Το δεύτερο βήμα ασχολείται με τη μελέτη ενεργειακής απόδοσης του υπό μελέτη κτιρίου, προκειμένου να προσδιοριστούν τα παθητικά και ενεργητικά ενεργειακά του χαρακτηριστικά. Η διαδικασία ξεκινά με την ανάλυση και τον προσδιορισμό των απαιτήσεων και των χαρακτηριστικών της θερμομόνωσης, της στεγανότητας και της ανάγκης για ηχοπροστασία του κτιρίου. Αυτά τα χαρακτηριστικά πρέπει να καθοριστούν γιατί μπορεί να έχουν αντίκτυπο στην επιλογή του ενσωματωμένου ενεργητικού ηλιακού συστήματος.

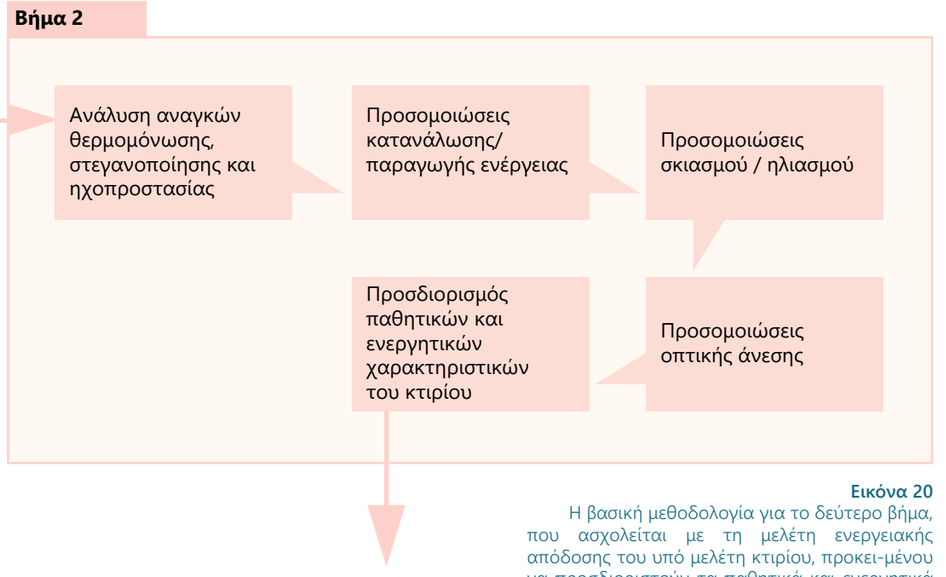
Στη συνέχεια πραγματοποιούνται διάφορες προσομοιώσεις με στόχο τον προσδιορισμό πολλών ποσοτικών χαρακτηριστικών του κτιρίου, όπως οι ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου και συγκεκριμένα οι ανάγκες του σε θέρμανση, ψύξη, φωτισμό και ζεστό νερό χρήσης. Σε αυτό το στάδιο προσομοιώνεται και οποιαδήποτε πιθανή παραγωγή ενέργειας από μη ενσωματωμένα ενεργητικά συστήματα, προκειμένου να προσδιοριστεί το ενεργειακό ισοζύγιο του κτιρίου.

Στη συνέχεια προσομοιώνεται η σκίαση και ο ηλιασμός του κελύφους του κτιρίου και ιδιαίτερα των υαλοπινάκων του, καθώς συμβάλλουν σημαντικά στη θερμική απόδοση του κτιρίου. Αυτή η αξιολόγηση μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση μασκών σκίασης.

Ακολουθεί ανάλυση οπτικής άνεσης, καθώς αποτελεί μία ουσιαστική παράμετρο της ανθρώπινης άνεσης, ενώ μπορεί επίσης να οριστεί ως μία υποκειμενική συνθήκη ευεξίας σε εσωτερικούς χώρους [44]. Χρησιμοποιείται για τη διερεύνηση της οπτικής άνεσης των χρηστών, σχετικά με θέματα φυσικού φωτισμού και θάμβωσης [45], καθώς και σχετικά με την οπτική σύνδεση με το εξωτερικό περιβάλλον.

Η μεθοδολογία που ακολουθείται σε αυτό το βήμα, έχει παρουσιαστεί εκτενώς σε παρελθοντική δουλειά του συγγραφέα [19], και στοχεύει στον προσδιορισμό των παθητικών και ενεργητικών χαρακτηριστικών του κτιρίου, που επηρεάζουν την επιλογή του ενεργητικού ηλιακού συστήματος.

Το δεύτερο βήμα της μεθοδολογίας που περιγράφεται παραπάνω, παρουσιάζεται στην εικόνα 20.



Εικόνα 20
Η βασική μεθοδολογία για το δεύτερο βήμα, που ασχολείται με τη μελέτη ενεργειακής απόδοσης του υπό μελέτη κτιρίου, προκει-μένου να προσδιοριστούν τα παθητικά και ενεργητικά ενεργειακά του χαρακτηριστικά.

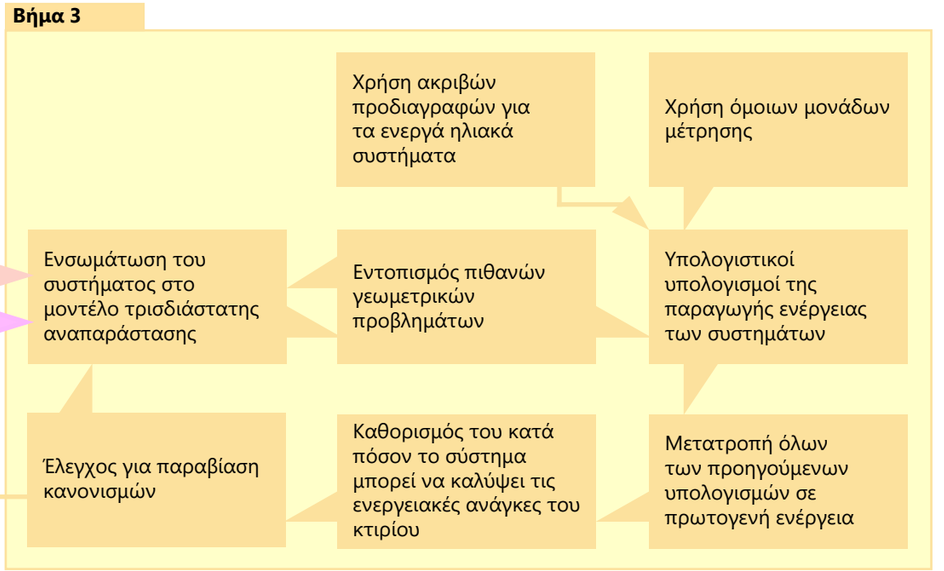
Βήμα 3 – Ενσωμάτωση Ενεργητικού Συστήματος

Το τρίτο βήμα ασχολείται με την ενσωμάτωση ενός επιλεχθέντος ενεργητικού ηλιακού συστήματος και την προσομοίωση της ενεργειακής παραγωγής του, προκειμένου να επιβεβαιωθεί ότι μπορεί να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου και έχει την αναμενόμενη παθητική συμπεριφορά, όπως προσδιορίζεται στο Βήμα 2. Η διαδικασία ξεκινά με την ενσωμάτωση ενός συστήματος σε ένα τρισδιάστατο κτιριακό μοντέλο, με στόχο τον εντοπισμό πιθανών γεωμετρικών αλλά και μορφολογικών ζητημάτων που μπορούν να βελτιστοποιηθούν σε αυτό το πρώιμο στάδιο.

Στη συνέχεια, πραγματοποιούνται οι υπολογισμοί της παραγωγής ενέργειας του συστήματος, χρησιμοποιώντας το κατάλληλο λογισμικό. Προκειμένου να ληφθούν ακριβή αποτελέσματα, είναι σημαντικό να χρησιμοποιηθούν τα τεχνικά χαρακτηριστικά των συγκεκριμένων μοντέλων ενεργητικών ηλιακών συστημάτων που χρησιμοποιούνται. Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι για λόγους αξιολόγησης, η παραγωγή ενέργειας όλων των χρησιμοποιούμενων συστημάτων θα πρέπει να δίνεται στις ίδιες μονάδες. Ομοίως, όλες οι τιμές παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας θα πρέπει να μετατραπούν σε πρωτογενή ενέργεια σύμφωνα με την οδηγία για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων (2018/844/ΕΕ) [46], προκειμένου να καταστεί δυνατή η συγκρισιμότητα μεταξύ των κτιρίων και να διευκολυνθεί η μετέπειτα πιστοποίησή τους. Παρόμοια δουλειά που υπολογίζει την παραγωγή ενέργειας κτιριακά ενσωματωμένων ηλιακών συστημάτων μέσω υπολογιστικών προσομοιώσεων, παρουσιάζεται σε επιστημονικές δημοσιεύσεις [19,41,47,48].

Τέλος, ο τελικός σχεδιασμός που θα επιλεγεί, θα πρέπει να έχει την δυνατότητα να υλοποιείται χωρίς να παραβιάζονται οι ισχύοντες πολεοδομικοί και οικοδομικοί κανονισμοί.

Το τρίτο βήμα της μεθοδολογίας που περιγράφεται παραπάνω, παρουσιάζεται στην εικόνα 21.

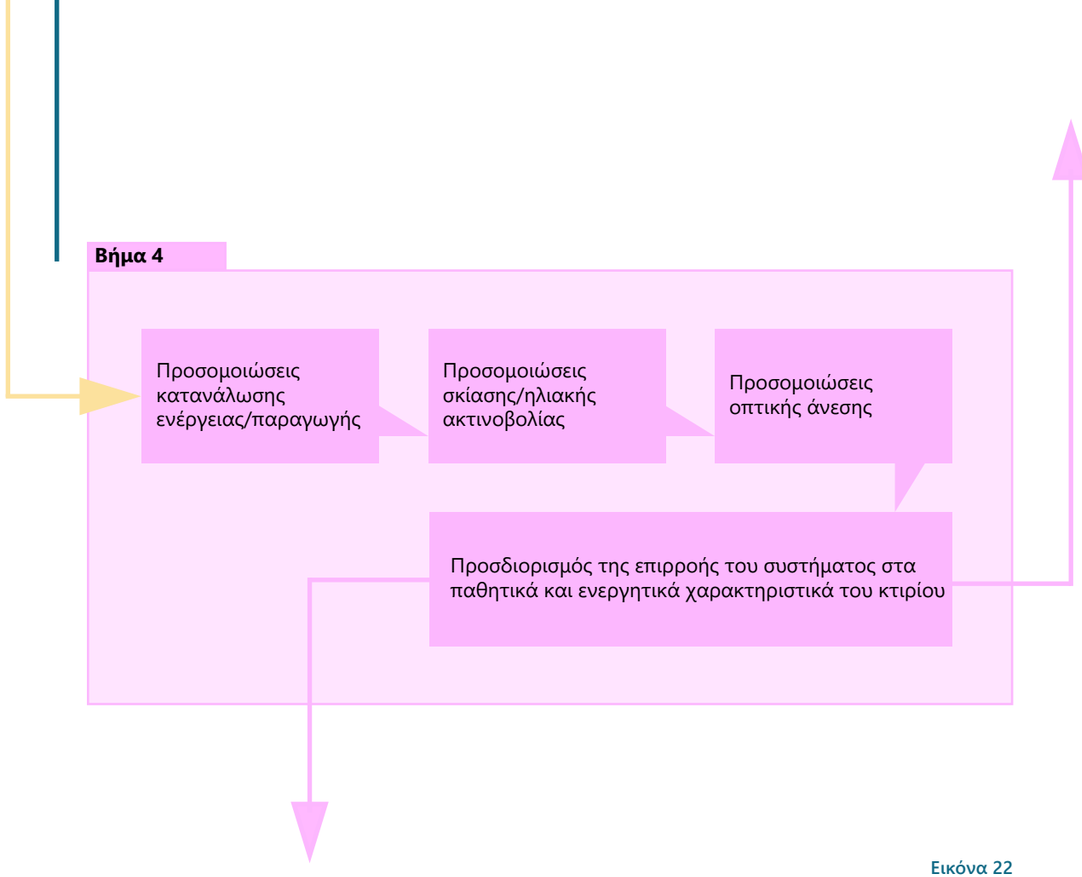


Εικόνα 21
Η βασική μεθοδολογία για το τρίτο βήμα, που ασχολείται με την ενσωμάτωση ενός επιλεχθέντος ενεργητικού ηλιακού συστήματος και την προσομοίωση της ενεργειακής παραγωγής του.

Βήμα 4 - Μελέτη Ενεργειακής Απόδοσης μετά την Ενσωμάτωση των Συστημάτων

Το τέταρτο βήμα ασχολείται με τη μελέτη ενεργειακής απόδοσης του υπό κατασκευή κτιρίου, με το ενσωματωμένο σύστημα, προκειμένου να δείξει την επιρροή του στα παθητικά και ενεργητικά ενεργειακά χαρακτηριστικά του κτιρίου. Η διαδικασία μοιάζει πολύ με το βήμα 2 της μεθοδολογίας. Συγκεκριμένα, οι ενεργειακές απαιτήσεις και η παραγωγή ενέργειας του κτιρίου προσομοιώνονται προκειμένου να προσδιοριστεί το ενεργειακό ισοζύγιο του, ακολουθούμενες από προσομοιώσεις σκίασης και ηλιασμού και ανάλυσης οπτικής άνεσης, με τη χρήση της ίδιας μεθοδολογικής διαδικασίας όπως στο βήμα 2. Η διαφοροποίηση σε αυτό το βήμα είναι ότι εάν τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων δεν είναι τα αναμενόμενα, ο σχεδιαστής μπορεί να επιστρέψει στο βήμα 3 και να δοκιμάσει τη χρήση ενός διαφορετικού ενεργητικού συστήματος.

Το τέταρτο βήμα της μεθοδολογίας που περιγράφεται παραπάνω, παρουσιάζεται στην εικόνα 22.



Εικόνα 22
Τα βασικά μεθοδολογικά βήματα για το τέταρτο βήμα, που αφορά τη μελέτη ενεργειακής απόδοσης του υπό κατασκευή κτιρίου, με το ενσωματωμένο σύστημα.

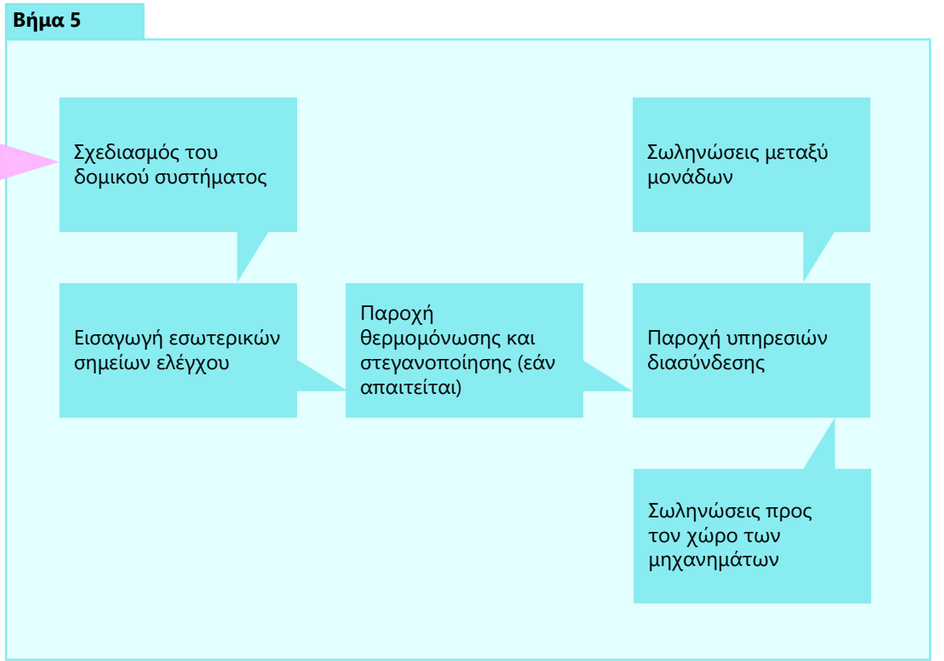
Βήμα 5 – Κτιριακή Ενσωμάτωση του Επιλεγμένου Συστήματος

Το πέμπτο βήμα ασχολείται με την κτιριακή ενσωμάτωση του επιλεγμένου συστήματος και τη διαμόρφωση των απαραίτητων κατασκευαστικών λεπτομερειών. Η διαδικασία ξεκινά με το σχεδιασμό του δομικού συστήματος για τη στήριξη του ενεργητικού ηλιακού συστήματος. Στη συνέχεια, τοποθετούνται σημεία εσωτερικού ελέγχου σε επιλεγμένες εσωτερικές τοποθεσίες, από τις οποίες μπορούν να γίνονται οπτικοί και απτικοί έλεγχοι και επισκευές στις συνδέσεις / σωληνώσεις.

Ακολούθως, ανάλογα με το ενσωματωμένο σύστημα που χρησιμοποιείται και την πιθανότητα ανάγκης προστασίας από τις καιρικές συνθήκες, θα πρέπει να διασφαλίζεται η συνέχεια και πλήρης αλληλοκάλυψη της συστοιχίας του συστήματος, ώστε να παρέχεται η επιθυμητή θερμομόνωση και στεγανοποίηση.

Όσον αφορά τη σύνδεση με τεχνικές υπηρεσίες (ηλεκτρομηχανολογικές και ύδρευσης), θα πρέπει να προβλεφθεί η σύνδεση με τις μονάδες του συστήματος. Όσον αφορά τις σωληνώσεις μεταξύ δύο μονάδων που είναι τοποθετημένες σε απόσταση από τις εξόδους εξυπηρέτησης που προέρχονται από ενδεχόμενο μηχανοστάσιο, αυτές θα πρέπει να ενσωματωθούν στο κτίριο με την χρήση συνδέσεων διαμέσου των τοιχωμάτων του κτιρίου.

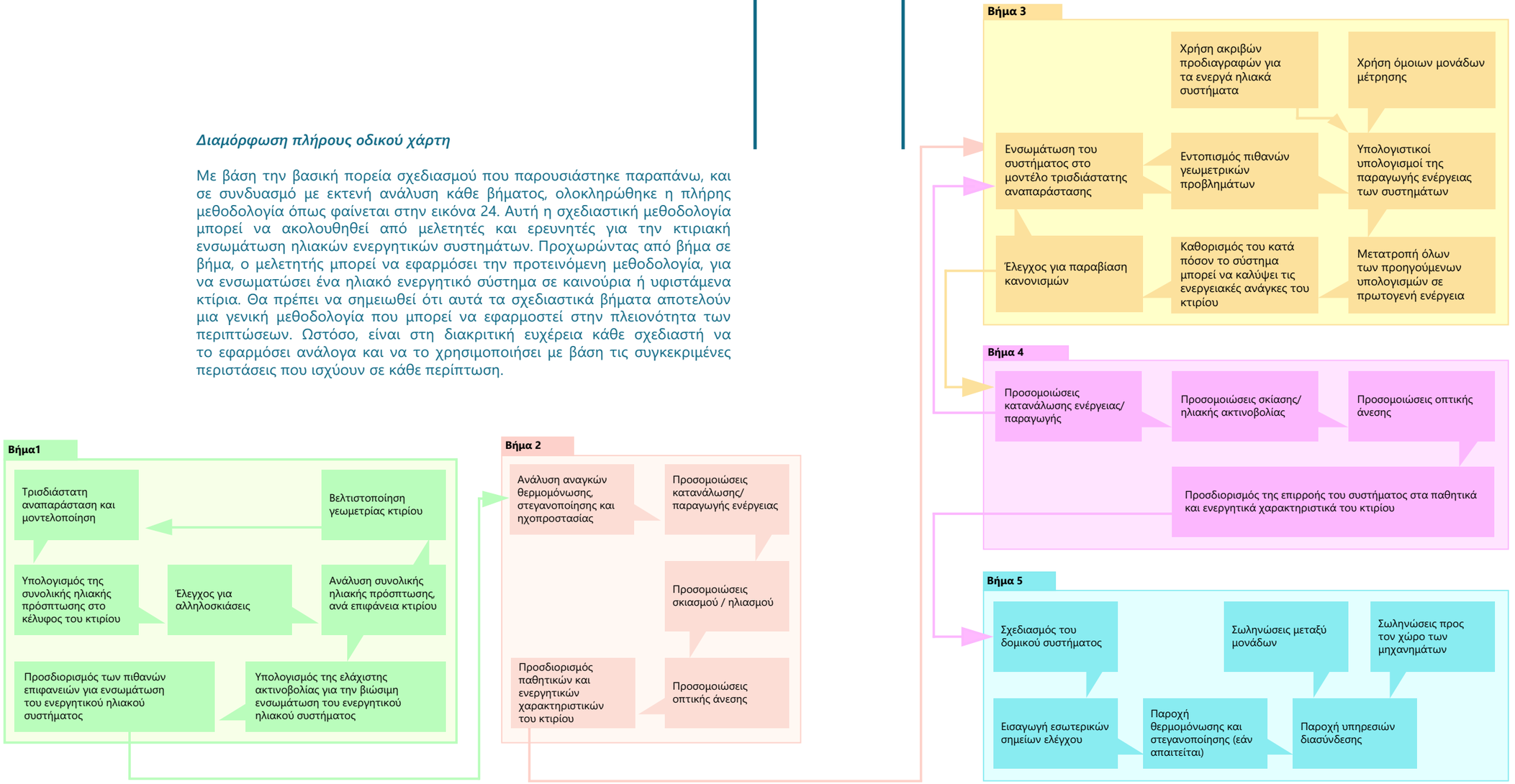
Το πέμπτο βήμα μεθοδολογίας που περιγράφεται παραπάνω, παρουσιάζεται στην εικόνα 23.



Εικόνα 23
Τα βασικά μεθοδολογικά βήματα για το πέμπτο βήμα, που ασχολείται με την κτιριακή ενσωμάτωση του επιλεγμένου συστήματος και τον σχεδιασμό των κατασκευαστικών του λεπτομερειών.

Διαμόρφωση πλήρους οδικού χάρτη

Με βάση την βασική πορεία σχεδιασμού που παρουσιάστηκε παραπάνω, και σε συνδυασμό με εκτενή ανάλυση κάθε βήματος, ολοκληρώθηκε η πλήρης μεθοδολογία όπως φαίνεται στην εικόνα 24. Αυτή η σχεδιαστική μεθοδολογία μπορεί να ακολουθηθεί από μελετητές και ερευνητές για την κτιριακή ενσωμάτωση ηλιακών ενεργητικών συστημάτων. Προχωρώντας από βήμα σε βήμα, ο μελετητής μπορεί να εφαρμόσει την προτεινόμενη μεθοδολογία, για να ενσωματώσει ένα ηλιακό ενεργητικό σύστημα σε καινούρια ή υφιστάμενα κτίρια. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι αυτά τα σχεδιαστικά βήματα αποτελούν μια γενική μεθοδολογία που μπορεί να εφαρμοστεί στην πλειονότητα των περιπτώσεων. Ωστόσο, είναι στη διακριτική ευχέρεια κάθε σχεδιαστή να το εφαρμόσει ανάλογα και να το χρησιμοποιήσει με βάση τις συγκεκριμένες περιστάσεις που ισχύουν σε κάθε περίπτωση.



Εικόνα 24
Απεικόνιση της προτεινόμενης μεθοδολογίας για την κτιριακή ενσωμάτωση ηλιακών ενεργητικών συστημάτων.



Εικόνα 25
Κτιριακή ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών σε σκίαστρα, μέρος διπλού κελύφους.

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Επίλογος

Ο κύριος στόχος αυτής της δουλειάς είναι η δημιουργία ενός εγχειριδίου, το οποίο να αποκρυσταλλώνει και να προτείνει τη σχεδιαστική διαδρομή που μπορεί ένας σχεδιαστής να ακολουθήσει, για να πετύχει την κτιριακή ενσωμάτωση ενός ενεργητικού ηλιακού συστήματος. Η δουλειά βασίζεται σε παλαιότερο έργο του συγγραφέα [41], στο οποίο έγινε μια πρώτη προσπάθεια για τη δημιουργία μίας πρώιμης σχεδιαστικής πορείας, προκειμένου να διασφαλιστεί η βιωσιμότητα της κτιριακής ενσωμάτωσης ενεργητικών ηλιακών συστημάτων. Για να επιτευχθεί αυτό, αναπτύχθηκε η παρούσα μεθοδολογική διαδικασία για την περαιτέρω ανάλυση και ανάπτυξη της προαναφερθείσας σχεδιαστικής πορείας.

Δεδομένου ότι οι σύγχρονες στρατηγικές αρχιτεκτονικού και αστικού σχεδιασμού στοχεύουν στη χαμηλότερη δυνατή κατανάλωση ενέργειας, οι προκλήσεις που προκύπτουν σχετίζονται με τη δυνατότητα επιτόπιας παραγωγής ενέργειας, η οποία εξαρτάται από τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, κάτι που ερμηνεύεται ως χρήση ηλιακής ενέργειας για αριθμό χωρών στην ΕΕ, αφού ο συγκεκριμένος τύπος ενέργειας αντιπροσωπεύει το 6,4% της πρωτογενούς παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας το 2017 για τους ΕΕ-28 και το 21,9% για τις χώρες της νότιας ΕΕ [8]. Η επιτόπια παραγωγή ενέργειας είναι σημαντική, αφού ο κύριος μοχλός της κατανάλωσης ενέργειας στα κτίρια είναι η ανάγκη επίτευξης θερμικής άνεσης για τους χρήστες, κάτι που υποστηρίζεται από το γεγονός ότι το 49% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας των νοικοκυριών στις Ηνωμένες Πολιτείες το 2005, προήλθε από τα θερμικά και ψυκτικά φορτία [49]. Αυτό οφείλεται στο ότι η ενεργειακή ζήτηση για τον έλεγχο του κλιματισμού και το επίπεδο της εσωτερικής θερμικής άνεσης που επιτυγχάνεται είναι αλληλένδετα, αφού ένα ψηλό επίπεδο θερμικής άνεσης απαιτεί υψηλότερη κατανάλωση ενέργειας και αντίστροφα [50]. Αυτό μπορεί να ισοσταθμιστεί σε ένα κτίριο σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας, δεδομένου ότι έχει γίνει κατάλληλη μελέτη των απαιτήσεων θερμικής άνεσης του κτιρίου και των πιθανών ενεργειακών του φορτίων, κάτι που με την σειρά του οδηγεί σε κατάλληλη επιλογή τύπου και μεγέθους του ενεργητικού συστήματος ανανεώσιμης ενέργειας. Έτσι, έχοντας ως δεδομένο ότι η ηλιακή ενέργεια

είναι η ανανεώσιμη ενέργεια που επιλέγεται για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του κτιρίου, η παρούσα έρευνα στοχεύει στην απλοποίηση και τυποποίηση της διαδικασίας κτιριακής ενσωμάτωσης ενεργητικών ηλιακών συστημάτων, προκειμένου να διασφαλιστεί η ενεργειακή και περιβαλλοντική συμπεριφορά των κτιρίων, όπως απαιτείται ολοένα και περισσότερο από την νομοθεσία αλλά και τις κοινώς αποδεκτές βιώσιμες πρακτικές σχεδιασμού κτιρίων και αστικών συνόλων.

Η πρωτοτυπία αυτής της δουλειάς βασίζεται στο ότι αν και υπάρχουν σειρά άλλων εργαλείων σχεδιασμού / εγχειριδίων, με αρκετά να παρουσιάζονται στη βιβλιογραφία, κανένα από αυτά δεν έχει επικεντρωθεί στην κτιριακή ενσωμάτωση. Ιδιαίτερη σημασία έχει και η ολιστικότητα στην ερευνητική προσέγγιση, αφού η συγκεκριμένη έρευνα συμπληρώνει την δουλειά και τα ευρήματα άλλων ερευνητών [23,41,51–53] που εστιάζουν στη βιώσιμη χρήση των κτιριακά ενσωματωμένων ενεργητικών ηλιακών συστημάτων όσον αφορά το ενεργειακό δυναμικό τους. Συγκεκριμένα, τα προτεινόμενα σύνολα εργαλείων που βελτιστοποιούν τη μορφή των κτιρίων για να συλλέγουν όσο το δυνατόν περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία και η γενική προώθηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με την χρήση ηλιακής ενέργειας, συμπληρώνεται σε μεγάλο βαθμό από την προτεινόμενη μεθοδολογία, δεδομένου ότι στο πρώτο βήμα η παθητική ανάλυση του κτιρίου ή του συμπλέγματος κτιρίων, στοχεύει να επιβεβαιώσει τις ιδανικά προσανατολισμένες όψεις για την βιώσιμη ενσωμάτωση ενεργητικών ηλιακών συστημάτων, ενώ προσπαθεί επίσης να επιβεβαιώσει ότι η επιλεγμένη διάταξη έχει ως αποτέλεσμα τις λιγότερες πιθανές αλληλοσκιάσεις που θα μπορούσαν να επηρεάσουν την απόδοσή του.

Η δουλειά συμπληρώνει επίσης το έργο ερευνητών που ασχολούνται με τη δημιουργία σχεδιαστικών εργαλείων που στοχεύουν στη βελτιστοποίηση μιας συγκεκριμένης πτυχής του σχεδιασμού ενός κτιρίου, ή των γεωμετρικών του μορφών, προκειμένου να καταλήξουν σε ενεργειακά αποδοτικές και βιώσιμες αρχιτεκτονικές λύσεις [54–61], κάτι παράλληλο με το πρώτο βήμα της μεθοδολογίας, όπου προτείνεται μια αρχική βελτιστοποίηση της γεωμετρίας του κτιρίου. Μια δεύτερη προτροπή για τη βελτιστοποίηση της γεωμετρίας του κτιρίου αναφέρεται στο Βήμα 3 του εγχειριδίου, μετά την ενσωμάτωση του συστήματος στο κτίριο, προσπαθώντας να εντοπίσει πιθανά γεωμετρικά ζητήματα που θα μπορούσαν να ρυθμιστούν εκ των υστέρων. Ομοίως, τα βήματα 2-4 του προτεινόμενου εργαλείου που περιγράφουν τις μελέτες ενεργειακής απόδοσης πριν και μετά τη κτιριακή ενσωμάτωση του συστήματος, επεκτείνουν και βελτιώνουν το έργο των ερευνητών που πρότειναν εργαλεία βελτιστοποίησης του σχεδιασμού [62–65]. Το τελευταίο βήμα του εγχειριδίου εστιάζει επίσης σε αυτήν την πτυχή, καθώς ασχολείται με την κτιριακή ενσωμάτωση του επιλεγμένου συστήματος και τη διαμόρφωση των κατασκευαστικών του λεπτομερειών, με στόχο τη βιώσιμη και απρόσκοπτη λειτουργία του.

Ταυτόχρονα, πρέπει να σημειωθεί ότι παρά τη διαφοροποίηση μεταξύ αυτής της δουλειάς και της δουλειάς άλλων ερευνητών [66–75] που ασχολούνται με την ανάπτυξη σχεδιαστικών πορειών στον τομέα της υπολογιστικής βελτιστοποίησης σχετικών διαδικασιών, στον τομέα της έρευνας και ανάπτυξης, στον κατασκευαστικό τομέα και στον τομέα της παραγωγής, η παρούσα έρευνα συμβάλλει στο ευρύτερο τεχνολογικό πεδίο, καθώς προτείνει μια διαδικασία τυποποίησης που βασίζεται σε ποικιλία παραμέτρων που πρέπει να προσεγγίζονται με διεπιστημονικό τρόπο από αρκετούς και διαφορετικούς επαγγελματίες και ερευνητές. Έτσι, συμβάλλει στην ελαχιστοποίηση του απαιτούμενου μελετητικού χρόνου για την εκάστοτε εφαρμογή, ελαχιστοποιώντας το οικονομικό κόστος, επιβεβαιώνοντας τη συμβολή της κτιριακής ενσωμάτωσης τέτοιων συστημάτων στην βιωσιμότητα και μειώνοντας το ρίσκο σε πιθανές επενδύσεις σε αυτού του τύπου κτίρια.

Η εφαρμογή του εγχειριδίου μπορεί επίσης να επιλύσει ζητήματα και να επιταχύνει πιθανές ερευνητικές διαδικασίες. Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε ότι στην δουλειά που έγινε από το COST Action TU1205 – BISTS (Building Integrated Solar Thermal Systems) [40], όπου πέντε ερευνητικές ομάδες ανέπτυξαν πέντε διαφορετικά ηλιακά συστήματα και πρότειναν βιώσιμες λύσεις για την κτιριακή ενσωμάτωσή τους, κάθε ομάδα εφάρμοσε διαφορετική και εξειδικευμένη λύση σχεδιασμού και κατασκευής για το κάθε σύστημα. Με τη χρήση του εγχειριδίου σε παρόμοιες ερευνητικές εργασίες, η διαδικασία αναμένεται να είναι ταχύτερη, δεδομένου ότι οι ομάδες θα μπορούν να επικεντρωθούν στην απόδοση του

ίδιου του συστήματος, χωρίς να δίνουν ιδιαίτερη βαρύτητα στη διερεύνηση των διαδικασιών ενσωμάτωσης, καθώς αυτό επιλύεται ουσιαστικά από το παρόν εγχειρίδιο.

Ωστόσο, για να υλοποιηθούν τα παραπάνω, είναι απαραίτητο οι ερευνητές να διατηρήσουν μια κοινή προσέγγιση και να χρησιμοποιήσουν κοινές μονάδες μέτρησης, όπως περιγράφεται στο Βήμα 3. Σημειώνεται επίσης ότι η εφαρμογή του εγχειριδίου από πολλούς ερευνητές και σχεδιαστές, θα καταστήσει δυνατή τη διασταύρωση των αποτελεσμάτων μεταξύ διαφορετικών εφαρμογών και περιπτωσιολογικών μελετών, οδηγώντας έτσι στη δυνατότητα δημιουργίας μίας βάσης δεδομένων κτιρίων με ενσωματωμένα ενεργητικά ηλιακά συστήματα. Αυτή η βάση δεδομένων μπορεί στη συνέχεια να δώσει στους ερευνητές και τους σχεδιαστές μια πρώιμη εικόνα των επιλογών που μπορούν να κάνουν στις δικές τους μελέτες και εφαρμογές.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βιβλιογραφία

[1] A.N. Tombazis, Architectural design: A multifaceted approach, Renew. Energy. 5 (1994) 893–899.

[2] Technology Roadmap, Solar Photovoltaic Energy 2014, Int. Energy Agency. (2014) 58. https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TechnologyRoadmapSolarPhotovoltaicEnergy_2014edition.pdf (accessed June 1, 2015).

[3] Y. Yang, Q. Wang, D. Xiu, Z. Zhao, Q. Sun, A building integrated solar collector: All-ceramic solar collector, Energy Build. 62 (2013) 15–17. doi:10.1016/j.enbuild.2013.03.002.

[4] C. Koroneos, T. Spachos, N. Moussiopoulos, Exergy analysis of renewable energy sources, Renew. Energy. 28 (2003) 295–310. doi:10.1016/S0960-1481(01)00125-2.

[5] J.. Painuly, Barriers to renewable energy penetration; a framework for analysis, Renew. Energy. 24 (2001) 73–89. doi:10.1016/S0960-1481(00)00186-5.

[6] Climate action, (2014). https://europa.eu/european-union/topics/climate-action_en (accessed April 26, 2018).

[7] S.A. Kalogirou, Building integration of solar renewable energy systems towards zero or nearly zero energy buildings, Int. J. Low-Carbon Technol. 10 (2013) 379–385.

[8] Renewable energy statistics, Eurostat. (2019). https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Renewable_energy_statistics#Wind_power_becomes_the_most_important_renewable_source_of_electricity (accessed March 15, 2019).

[9] A.G. Hestnes, Building Integration Of Solar Energy Systems, Sol. Energy. 67 (1999) 181–187. doi:10.1016/S0038-092X(00)00065-7.

[10] F. Bougiatioti, A. Michael, The architectural integration of active solar systems. Building applications in the Eastern Mediterranean region, Renew. Sustain. Energy Rev. 47 (2015) 966–982. doi:10.1016/j.rser.2015.03.030.

[11] A. Michael, F. Bougiatioti, A. Oikonomou, Less could be more: architectural integration of active solar systems in existing urban centres, in: 7th Mediterr. Conf. Exhib. Power Gener. Transm. Distrib. Energy Convers. (MedPower 2010), IET, Aghia Napa, Cyprus, 2011. doi:10.1049/cp.2010.0917.

[12] I.B. Hagemann, Solar design in architecture and urban planning, in: Urban Planning-Sustainable Cities, Tokyo, 2005: pp. 1–10.
[13] B. Vale, R. Vale, Green Architecture: Design for a Sustainable Future, Thames & Hudson Ltd, London, 1991.
[14] M. Philokyprou, A. Savvides, A. Michael, E. Malaktou, Examination and assessment of the environmental characteristics of vernacular rural settlements. Three case studies in Cyprus, in: 5th Int. Conf. Vernac. Heritage, Sustain. Earthen Archit., Taylor & Francis Group, Valencia, 2014: pp. 613–618.
[15] M.-A. Knudstrup, H.T. Ring Hansen, C. Brunsgaard, Approaches to the design of sustainable housing with low CO2 emission in Denmark, Renew. Energy. 34 (2009) 2007–2015. doi:10.1016/J.RENENE.2009.02.002.
[16] A. Michael, M. Phocas, Construction Design and Sustainability in Architecture: Integrating Environmental Education into Architectural Studies, J. Renew. Energy Power Qual. 10 (2012) 190–195.
[17] M. Phocas, A. Michael, P. Fokaides, Integrated Interdisciplinary Design: The Environment as Part of Architectural Education, Renew. Energy Power Qual. J. 9 (2011) 937–941.
[18] S.C.. Hui, Low energy building design in high density urban cities, Renew. Energy. 24 (2001) 627–640. doi:10.1016/S0960-1481(01)00049-0.
[19] C. Vassiliades, A. Michael, A. Savvides, S. Kalogirou, Improvement of passive behaviour of existing buildings through the integration of active solar energy systems, Energy. 163 (2018) 1178–1192. doi:10.1016/J.ENERGY.2018.08.148.
[20] S. Barkaszi, J. Dunlop, Discussion of strategies for mounting photovoltaic arrays on rooftops, Sol. Eng. (2001) 333–338.
[21] B.P. Jelle, C. Breivik, State-of-the-art building integrated photovoltaics, Energy Procedia. 20 (2012) 68–77. doi:10.1016/j.egypro.2012.03.009.
[22] C. Peng, Y. Huang, Z. Wu, Building-integrated photovoltaics (BIPV) in architectural design in China, Energy Build. 43 (2011) 3592–3598.
[23] G. Lobaccaro, F. Frontini, Solar Energy in Urban Environment: How Urban Densification Affects Existing Buildings, Energy Procedia. 48 (2014) 1559–1569. doi:10.1016/j.egypro.2014.02.176.
[24] S. Roberts, N. Guariento, Building integrated photovoltaics :a handbook, (2009) 178. doi:978-3-0346-0486-4.

[25] W.E. Scholes, J.W. Sargent, Designing against noise from road traffic, Appl. Acoust. 4 (1971) 203–234.
[26] D.M.M. Arons, Properties and applications of double-skin building facades, Massachusetts Institute of Technology, 2000.
[27] T. Reijenga, H.F. Kaan, PV in Architecture, Handb. Photovoltaics Eng. John Wiley Sons, New York. (2002).
[28] H. Gajbert, Solar thermal energy systems for building integration, Licent. Diss. Univ. Lund, Sweden. (2008).
[29] A. Goodrich, T. James, M. Woodhouse, Residential, commercial, and utilityscale photovoltaic (PV) system prices in the United States: current drivers and cost-reduction opportunities, Contract. 303 (2012) 275–3000.
[30] M.C.M. Probst, C. Roecker, Architectural integration and design of solar thermal systems, EPFL Press, 2011.
[31] R. Thomas, Environmental design: an introduction for architects and engineers, Taylor & Francis, 2006.
[32] Y. Tripanagnostopoulos, T. Nousia, M. Souliotis, Low cost improvements to building integrated air cooled hybrid PV-Thermal systems, Proceeding 16th EPSE Conf. Glas. UK. (2000) 1874–1877.
[33] C. Vassiliades, R. Agathokleous, G. Barone, C. Forzano, G.F. Giuzio, A. Palombo, A. Buonomano, S. Kalogirou, Building integration of active solar energy systems: A review of geometrical and architectural characteristics, Renew. Sustain. Energy Rev. 164 (2022) 112482. doi:10.1016/J.RSER.2022.112482.
[34] C. Vassiliades, G. Barone, A. Buonomano, C. Forzano, G.F. Giuzio, A. Palombo, Assessment of an innovative plug and play PV/T system integrated in a prefabricated house unit: Active and passive behaviour and life cycle cost analysis, Renew. Energy. 186 (2022) 845–863. doi:10.1016/J.RENENE.2021.12.140.
[35] T. Yang, A.K. Athienitis, A review of research and developments of building-integrated photovoltaic/thermal (BIPV/T) systems, Renew. Sustain. Energy Rev. 66 (2016) 886–912. doi:10.1016/j.rser.2016.07.011.
[36] D.H.W. Li, T.N.T. Lam, Determining the optimum tilt angle and orientation for solar energy collection based on measured solar radiance data, Int. J. Photoenergy. 2007 (2007).

[37] G.A. Florides, S.A. Kalogirou, S.A. Tassou, L.C. Wrobel, Modelling and simulation of an absorption solar cooling system for Cyprus, Sol. Energy. 72 (2002) 43–51.
[38] Y.-P. Chang, Optimal the tilt angles for photovoltaic modules in Taiwan, Int. J. Electr. Power Energy Syst. 32 (2010) 956–964.
[39] L. Li, M. Qu, S. Peng, Performance evaluation of building integrated solar thermal shading system: Building energy consumption and daylight provision, Energy Build. 113 (2016) 189–201. doi:10.1016/J.ENBUILD.2015.12.040.
[40] S.A. Kalogirou, A. Palombo, A. Pugsley, A. Zacharopoulos, A. Besheer, A. Krstic-Furundzic, A. Enesca, A. Duță, A. Savvides, A. Ford, Annamaria Buonomano, B. Burduhos, B. Norton, C. Cristofari, C. Maurer, C. Lamnatou, C. Vassiliades, C. Christofi, C. Tsioutis, D. Perniu, D. Chemisana, D. Nikolic, D. Kennedy, D. Keys, D. Chwieduk, F. Guerreiro, F. Cesare, G. Florides, G. Leindecker, G. Panayiotou, Gilles Notton, H.R. Wilson, I. Vișa, I. Totu, I. Farkas, I. Miletić, I. Lytvyn, J. Radulovic, J.D. Mondol, J. Cory, L. Aelenei, L. Navarro, L.F. Cabeza, L. Isac, M. Moldovan, M.G. Almeida, M. Smyth, M. McKeever, M. Cosnita, M. Comsit, M. Neagoe, M. Blagojević, N. Chen, R. Agathokleous, R. Mateus, R. Norvaišienė, S.M. Silva, S. Remke, T.E. Kuhn, T.J. Hyde, Y. Grobman, Y. Tripanagnastopoulos, Building Integrated Solar Thermal Systems, Design and Applications Handbook, COST Office, 2017.
[41] C. Vassiliades, Building Integration of Active Solar Systems: Addressing all Scales of Intervention and Ensuring their Active and Passive Integration Viability in the Eastern Mediterranean Region, University of Cyprus, 2018.
[42] A. Savvides, C. Vassiliades, A. Michael, Geometrical Optimization of the Urban Fabric in order to ensure the Viability of Building Integration of Active Solar Systems, in: S. Kalogirou, D. Kennedy (Eds.), First Int. Conf. Build. Integr. Renew. Energy Syst., Dublin, 2017: p. 12.
[43] A. Savvides, C. Vassiliades, A. Michael, S. Kalogirou, Siting and building-massing considerations for the urban integration of active solar energy systems, Renew. Energy. 135 (2019) 963–974. doi:10.1016/J.RENENE.2018.12.017.
[44] EN 12665, Light and lighting – Basic terms and criteria for specifying lighting requirements, (2011) 30.

[45] S. Carlucci, F. Causone, F. De Rosa, L. Pagliano, A review of indices for assessing visual comfort with a view to their use in optimization processes to support building integrated design, Renew. Sustain. Energy Rev. 47 (2015) 1016–1033. doi:10.1016/j.rser.2015.03.062.
[46] Energy Performance of Buildings Directive (2018/844/EU), EU, 2018.
[47] C. Vassiliades, A. Savvides, A. Michael, Investigation of Sun Protection Issues of Building Envelopes via Active Energy Production Systems, in: L. Bragança, A.N. Yuba, C. Engel de Alvarez (Eds.), Euro Elecs 2015, EURO ELECS 2015, Guimarães, 2015: pp. 697–706.
[48] C. Vassiliades, A. Michael, A. Savvides, S. Kalogirou, Environmental Assessment of the Integration of Active Solar Energy Systems on Building Envelopes in Southern Europe, in: J. Krope, A.G. Olabi, D. Goričanec, S. Božičnik (Eds.), 10th Int. Conf. Sustain. Energy Environ. Prot. (SEEP 2017), University of Maribor Press, Bled, Slovenia, 2017: pp. 179–190. doi:978-961-286-061-5.
[49] K.E. Seiferlein, Annual Energy Review 2007, 2008. doi:10.2172/1212314.
[50] P. Simmonds, Thermal comfort and optimal energy use, in: ASHRAE Trans, 1993: pp. 1037–1048. http://www.cbe.berkeley.edu/research/other-papers/Simmonds 1993 Thermal Comfort and optimal energy use.pdf (accessed June 7, 2018).
[51] G. Lobaccaro, F. Frontini, G. Masera, T. Poli, SolarPW: A New Solar Design Tool to Exploit Solar Potential in Existing Urban Areas, Energy Procedia. 30 (2012) 1173–1183. doi:10.1016/j.egypro.2012.11.130.
[52] G. Lobaccaro, F. Fiorito, G. Masera, T. Poli, District geometry simulation: A study for the optimization of solar facades in urban canopy layers, Energy Procedia. 30 (2012) 1163–1172. doi:10.1016/j.egypro.2012.11.129.
[53] M. Amado, F. Poggi, Solar urban planning: A parametric approach, in: Energy Procedia, 2014: pp. 1539 – 1548. doi:10.1016/j.egypro.2014.02.174.
[54] S. Attia, E. Gratia, A. De Herde, J.L.M. Hensen, Simulation-based decision support tool for early stages of zero-energy building design, Energy Build. 49 (2012) 2–15. doi:10.1016/J.ENBUILD.2012.01.028.
[55] L.G. Caldas, L.K. Norford, A design optimization tool based on a genetic algorithm, Autom. Constr. 11 (2002) 173–184. doi:10.1016/S0926-5805(00)00096-0.

[56] M. Turrin, P. von Buelow, R. Stouffs, Design explorations of performance driven geometry in architectural design using parametric modeling and genetic algorithms, Adv. Eng. Informatics. 25 (2011) 656–675. doi:10.1016/J.AEI.2011.07.009.
[57] L. Caldas, GENE_ARCH: An Evolution-Based Generative Design System for Sustainable Architecture, in: S. I.F.C. (Ed.), Intell. Comput. Eng. Archit. - EG-ICE 2006, Springer, Berlin, Heidelberg, 2006: pp. 109–118. doi:10.1007/11888598_12.
[58] J.H. Kämpf, D. Robinson, Optimisation of building form for solar energy utilisation using constrained evolutionary algorithms, Energy Build. 42 (2010) 807–814. doi:10.1016/J.ENBUILD.2009.11.019.
[59] R. Charron, A. Athienitis, The Use of Genetic Algorithms for a Net-Zero Energy Solar Home Design Optimisation Tool, in: PLEA2006, Geneva, 2006. https://www.researchgate.net/publication/241734123 (accessed October 11, 2018).
[60] T. Østergård, R.L. Jensen, S.E. Maagaard, Building simulations supporting decision making in early design – A review, Renew. Sustain. Energy Rev. 61 (2016) 187–201. doi:10.1016/J.RSER.2016.03.045.
[61] W. Wang, H. Rivard, R. Zmeureanu, Floor shape optimization for green building design, Adv. Eng. Informatics. 20 (2006) 363–378. doi:10.1016/J.AEI.2006.07.001.
[62] W. Huang, H.N. Lam, Using genetic algorithms to optimize controller parameters for HVAC systems, Energy Build. 26 (1997) 277–282. doi:10.1016/S0378-7788(97)00008-X.
[63] M.P. Granlund, A. Hasan, K. Sirén, M. Palonen, K. Siren, A genetic algorithm for optimization of building envelope and HVAC system parameters, in: Elev. Int. IBPSA Conf., Glasgow, 2009. https://www.researchgate.net/publication/252429941 (accessed October 11, 2018).
[64] M. Hamdy, A. Hasan, K. Siren, Optimum design of a house and its HVAC systems using simulation-based optimisation, Int. J. Low-Carbon Technol. 5 (2010) 120–124. doi:10.1093/ijlct/ctq010.

[65] S. Attia, M. Hamdy, W. O'Brien, S. Carlucci, Assessing gaps and needs for integrating building performance optimization tools in net zero energy buildings design, Energy Build. 60 (2013) 110–124. doi:10.1016/j.enbuild.2013.01.016.
[66] D. Garlan, Software Architecture: a Roadmap, Pittsburgh, 2000. http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.571.8735&rep=rep1&type=pdf (accessed October 11, 2018).
[67] M.K. Srinivasan, K. Sarukesi, A. Keshava, P. Revathy, eCloudIDS – Design Roadmap for the Architecture of Next-Generation Hybrid Two-Tier Expert Engine-Based IDS for Cloud Computing Environment, in: Springer, Berlin, Heidelberg, 2012: pp. 358–371. doi:10.1007/978-3-642-34135-9_36.
[68] N.R. Jennings, M. Wooldridge, A Roadmap of Agent Research and Development, Auton. Agent. Multi. Agent. Syst. 1 (1998) 7–38. https://link.springer.com/content/pdf/10.1023/A:1010090405266.pdf (accessed October 11, 2018).
[69] B. Bouyssounouse, J. Sifakis, eds., Embedded systems design: the ARTIST roadmap for research and development, Springer, 2005.
[70] A. Corallo, A. Margherita, M. Scalvenzi, D. Storelli, Building a process-based organization: The design roadmap at Superjet International, Knowl. Process Manag. 17 (2010) 49–61. doi:10.1002/kpm.340.
[71] T.U. Daim, T. Oliver, Implementing technology roadmap process in the energy services sector: A case study of a government agency, Technol. Forecast. Soc. Change. 75 (2008) 687–720. doi:10.1016/J.TECHFORE.2007.04.006.
[72] W.E. Frazier, Direct Digital Manufacturing of Metallic Components: Vision and Roadmap, in: 21st Annu. Int. Solid Free. Fabr. Symp., Austin TX, 2010: pp. 9–11. http://sffsymposium.engr.utexas.edu/Manuscripts/2010/2010-60-Frazier.pdf (accessed October 11, 2018).
[73] G. Putnik, A. Sluga, H. ElMaraghy, R. Teti, Y. Koren, T. Tolio, B. Hon, Scalability in manufacturing systems design and operation: State-of-the-art and future developments roadmap, CIRP Ann. 62 (2013) 751–774. doi:10.1016/J.CIRP.2013.05.002.

[74] D. Tate, M. Nordlund, A design process roadmap as a general tool for structuring and supporting design activities, in: Proc. Second World Conf. Integr. Des. Process Technol. (IDPT-Vol. 3), Society for Design and Process Science, Austin, 1996: pp. 97–104. http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.473.8676&rep=rep1&type=pdf (accessed October 11, 2018).

[75] S. Martin-Moe, F.J. Lim, R.L. Wong, A. Sreedhara, J. Sundaram, S.U. Sane, A new roadmap for biopharmaceutical drug product development: Integrating development, validation, and quality by design, J. Pharm. Sci. 100 (2011) 3031–3043. doi:10.1002/jps.22545.

