

Η επίδραση του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής στο σχεδιασμό και ανασχεδιασμό δομικών έργων και έργων υποδομής στην Ελλάδα

Ελισάβετ Συριοπούλου

Πολιτικός Μηχανικός και Μεταπτ. Φοιτήτρια
ΔΧΤ/ΣΘΕΤ, ΕΑΠ

estgktf@gmail.com, std153279@ac.eap.gr

Φωτεινή Κωνσταντακοπούλου

Καθηγήτρια ΕΑΠ και Μέλος ΣΕΠ ΔΧΤ/ΣΘΕΤ ΕΑΠ

Konstantakopoulou.foteini@ac.eap.gr

Περίληψη – Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής είναι η διερεύνηση μέτρων αντιμετώπισης των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στον κλάδο των κατασκευών. Για το σκοπό αυτό ανακτήθηκαν μελέτες περίπτωσης από την βιβλιογραφία και αφού αξιολογήθηκαν τα αποτελέσματά τους, εξήχθησαν τα ακόλουθα συμπεράσματα. Η πιθανή ενσωμάτωση της Αξιολόγησης του Κύκλου Ζωής (LCA) στον σχεδιασμό θα μπορούσε να συμβάλει στην βελτιστοποίηση της διαδικασίας επιλογής υλικών ή ενεργειακών συστημάτων. Σημαντική συμβολή στην λήψη αποφάσεων έχει και η μελέτη σεναρίων προσομοίωσης των κλιματολογικών συνθηκών για την πρόβλεψη των μελλοντικών ενεργειακών αναγκών (π.χ. απαιτήσεις θέρμανσης και ψύξης). Ένα πρόσθετο μέτρο για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών είναι η χρήση προσομοιώσεων για την μελέτη της υποβάθμισης των δομικών στοιχείων, προκειμένου να επιλεγεί η συντήρηση ή η αντικατάστασή τους. Στόχος είναι η επέκταση του κύκλου ζωής τους και η εξοικονόμηση ενέργειας, που θα διασφάλιζαν την βιωσιμότητα παλαιών, ιστορικών κτιρίων και μνημείων της Ελλάδας. Όσον αφορά την ενέργεια, οι εκπομπές CO₂ από δραστηριότητες του κατασκευαστικού κλάδου, συμβάλλουν στην ένταση του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής. Για την μείωση αυτών των εκπομπών προτείνεται η μετάβαση από την ηλεκτρική ενέργεια, η οποία παράγεται από ορυκτά καύσιμα, σε πιο φιλικές πηγές για το περιβάλλον όπως είναι η ηλιακή, η αιολική ή η γεωθερμική ενέργεια. Αντίστοιχα, ένα μέτρο που προσανατολίζεται σε νέες κατασκευές είναι η αντικατάσταση δομικών υλικών, η παραγωγή των οποίων παράγει σημαντικές εκπομπές CO₂, από πιο βιώσιμα δομικά υλικά, όπως το ξύλο. Τέλος, η επιλογή «πράσινων λύσεων» όπως είναι ο προσανατολισμός για φυσικό φωτισμό, αερισμό και μόνωση θα μπορούσαν να συμβάλουν στην εξοικονόμηση ενέργειας και στην μείωση εκπομπών CO₂, μειώνοντας κατά αυτόν τον τρόπο το αποτύπωμα άνθρακα της κατασκευής.

Λέξεις-Κλειδιά: Κλιματική αλλαγή, προσομοίωση, κλιματολογικές συνθήκες, LCA, εκπομπές CO₂, αποτύπωμα άνθρακα

I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η κλιματική αλλαγή θέτει σημαντικές προκλήσεις για τα κατασκευαστικά έργα και τις υποδομές τόσο σε παγκόσμιο επίπεδο όσο και σε τοπικό. Ειδικότερα, οι περιοχές της Μεσογείου θα έρθουν αντιμέτωπες με

ακραία καιρικά φαινόμενα, που χαρακτηρίζονται από αύξηση της μέσης θερμοκρασίας, από παρατεταμένες βροχοπτώσεις και ξαφνικές περιόδους καύσωνα και έντονης ξηρασίας (Zittis et al., 2022), καθώς και από άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Η επίδραση αυτών των φαινομένων στις κατασκευές οδηγεί σε φθορά των υλικών και των δομικών στοιχείων, σε μείωση του κύκλου ζωής των κτιρίων καθώς και σε αυξημένη κατανάλωση ενέργειας λόγω των ενισχυμένων αναγκών ψύξης (Li et al., 2013). Παράλληλα η κατασκευαστική βιομηχανία καλείται να αναθεωρήσει πρακτικές που αφορούν την παραγωγή ρυπογόνων δομικών υλικών, όπως το σκυρόδεμα (World Green Building Council, 2019) αλλά και να στραφεί σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Chow et al., 2010). Κατά συνέπεια αναδεικνύεται η σημασία εύρεσης βιώσιμων προτάσεων κατά τον σχεδιασμό νέων κατασκευαστικών έργων και τον ανασχεδιασμό των υφιστάμενων υποδομών.

Η Ελλάδα είναι μια χώρα με κατασκευές, από αρχαία μνημεία έως και σύγχρονα αστικά κτήρια, τα οποία θα πρέπει να θωρακιστούν έναντι της κλιματικής αλλαγής. Συνεπώς καθίσταται επιτακτική η ανάγκη κλιματικής προσαρμογής, τόσο κατά την φάση σχεδιασμού σε νέα κτίσματα όσο και κατά την φάση της ανακαίνισης υπάρχοντων κτισμάτων. Στόχος δεν είναι μόνο η κάλυψη των παρόντων ενεργειακών αναγκών αλλά και η πρόβλεψη αυτών που θα ανακύψουν λόγω της κλιματικής αλλαγής.

Στα πλαίσια αυτής της διερεύνησης διεξάγεται και η παρούσα διπλωματική, η οποία αφού αξιολογεί ορισμένες μελέτες περίπτωσης, στοχεύει στην εξαγωγή συμπερασμάτων και προτάσεων που θα μπορούσαν να ενσωματωθούν στα κτήρια, ενισχύοντας την τεχνογνωσία πάνω στην κλιματική προσαρμογή.

A. Σκοπός της εργασίας

Κύριος στόχος αυτής της εργασίας είναι η διερεύνηση λύσεων που αφορούν τον σχεδιασμό και τον ανασχεδιασμό των δομικών στοιχείων με στόχο την προσαρμογή τους στις νέες κλιματολογικές συνθήκες. Αναλυτικότερα η εύρεση μέτρων που θα μειώσουν τις εκπομπές CO₂ που παράγονται τόσο από την λειτουργική ενέργεια, όσο και από τις εκπομπές κατά την παραγωγή

δομικών υλικών όπως το σκυρόδεμα, αποτελεί ένα ειδικότερο πεδίο ενδιαφέροντος της παρούσας. Στα ίδια πλαίσια υπογραμμίζεται το περιβαλλοντικό κόστος από την χρήση ενέργειας που παράγεται από ορυκτά καύσιμα στοχεύοντας στην εύρεση πιο φιλικών προς το περιβάλλον εναλλακτικών λύσεων. Πέρα από το αποτύπωμα άνθρακα, ένας άλλος σκοπός είναι η διερεύνηση των βέλτιστων από πλευράς βιωσιμότητας προτάσεων που θα συμβάλλουν στην κλιματική προσαρμογή.

B. Μεθοδολογία

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής περιλαμβάνει, έπειτα από την μελέτη και την διερεύνηση της σχετικής με το θέμα βιβλιογραφίας, την συλλογή των απαραίτητων δεδομένων. Αυτή πραγματοποιήθηκε με την συλλογή μελετών περίπτωσης, έπειτα από βιβλιογραφική ανασκόπηση. Αφού συγκεντρώθηκαν οχτώ πηγές, αξιολογήθηκαν και κρίθηκε ότι μόνο οι πέντε θα μπορούσαν να είναι χρήσιμες στην εξαγωγή ορισμένων σχετικών με το θέμα συμπερασμάτων. Οι πηγές που συγκεντρώθηκαν διαφέρουν ως προς τις τοπικές κλιματολογικές συνθήκες (π.χ. Γκέβλε Σουηδίας, Μπενεβένο Ιταλία), ως προς τον τύπο του κτίσματος (μονοκατοικία στην Αργεντινή, βιβλιοθήκη στο Τορίνο), ως προς την χρήση (χρήση κατοικίας στο Βίρτσμπουργκ, κτήριο γραφείων στην Σουηδία), ως προς το χρόνο κατασκευής και ως προς τον τύπο (BNZEB στο Μπενεβένο και συμβατική κατοικία στην Αργεντινή). Αυτό πραγματοποιήθηκε για να μελετηθούν διαφορετικά κτίσματα και για να διερευνηθούν οι κοινές προκλήσεις που θα πρέπει να αντιμετωπίσουν, ώστε να καταστούν βιώσιμα έναντι της κλιματικής αλλαγής.

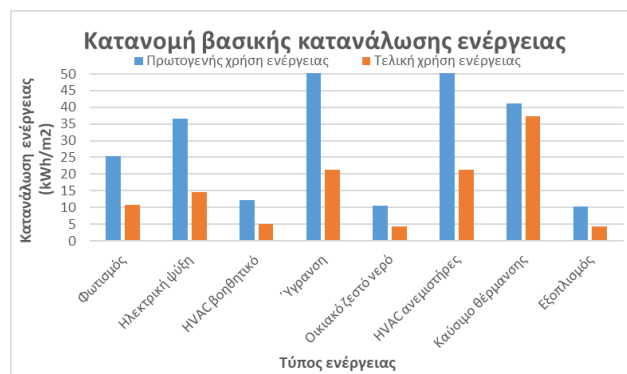
Εν συνεχεία, έγινε αναλυτική περιγραφή της επιμέρους θεματικής που καλύπτει η κάθε μελέτη περίπτωσης και τα αποτελέσματα όλων παρατίθενται συνοπτικά σε έναν αναλυτικό πίνακα. Για την ανάλυση των δεδομένων, πέρα από την συγκριτική ανάλυση, γίνεται χρήση του MS Excel και εξάγονται ορισμένες γραφικές παραστάσεις. Η γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων συγκεκριμενοποιεί τα συμπεράσματα και δίνει την δυνατότητα καλύτερης κατανόησης του περιγραφόμενου θέματος, ενώ δίνεται και μια ποιοτική εικόνα τους. Γίνεται μνεία στην πιθανή ενσωμάτωση των εξαχθέντων συμπερασμάτων στην Ελλάδα που είναι το πεδίο ενδιαφέροντος της παρούσας. Τέλος, αφού παρατίθενται ορισμένα γενικότερα συμπεράσματα δίνονται ορισμένες προτάσεις μελλοντικής έρευνας.

II. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Σε αυτήν την ενότητα παρατίθενται τα αποτελέσματα της ανάλυσης από τα δεδομένα των βιβλιογραφικών πηγών που συγκεντρώθηκαν για το κτήριο γραφείων της Σουηδίας, την βιβλιοθήκη του Τορίνο, το BNZEB στο Μπενεβένο, την συμβατική κατοικία στην Αργεντινή και την κατοικία στο Βίρτσμπουργκ.

Στο ραβδόγραμμα του σχήματος 1 απεικονίζεται η βασική κατανάλωση ενέργειας για το κτήριο μελέτης στο Τορίνο το 2010 και δείχνει την πρωτογενή και την τελική

χρήση ενέργειας ανάλογα με τον τύπο ενέργειας (π.χ. φωτισμός, ψύξη, HVAC, οικιακό ζεστό νερό και άλλα). Από το ραβδόγραμμα προκύπτει ότι το μεγαλύτερο μερίδιο της τελικής κατανάλωσης ενέργειας (37.4 KWh/m²) προέρχεται από το καύσιμο θέρμανσης, ενώ κατά την πρωτογενή ενέργεια κατατασσόταν χαμηλότερα λόγω του χαμηλότερου συντελεστή πρωτογενούς ενέργειας του φυσικού αερίου σε σχέση με την ηλεκτρική ενέργεια. Λόγω του υψηλού συντελεστή πρωτογενούς ενέργειας ηλεκτρικού ρεύματος, έχει μειωθεί η τελική κατανάλωση ενέργειας σε σχέση με την αρχική για τις βοηθητικές μονάδες και τους ανεμιστήρες HVAC και την ύγρανση. Σημαντικό μείρισμα στην κατανάλωση τόσο πρωτογενούς (36.5 KWh/m²) όσο και τελικής ενέργειας (14.6 KWh/m²), εμφανίζει και η ηλεκτρική ψύξη, υπογραμμίζοντας την ανάγκη ψύξης του κτηρίου, η οποία υπάρχει πιθανότητα να αυξηθεί με τα μελλοντικά κλιματικά σενάρια. Ένα συμπέρασμα που προκύπτει από τα παραπάνω είναι η αναγκαιότητα της βελτίωσης της απόδοσης των ηλεκτρικών συστημάτων (συστήματα ψύξης, HVAC), τα οποία επιβαρύνουν το κτήριο με υψηλότερη κατανάλωση ενέργειας σε σχέση με την πρωτογενή ενέργεια, καθώς και η μετάβαση σε πηγές ενέργειας με χαμηλότερους συντελεστές πρωτογενούς ενέργειας, με γνώμονα ότι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι μη αποδοτική και μη βιώσιμη.



Σχήμα 1. Κατανομή βασικής κατανάλωσης ενέργειας



Σχήμα 2. Κατανομή εκπομπών CO₂ για κάθε μέτρο βελτίωσης



Σχήμα 3. Κατανομή χρήσης ενέργειας για κάθε μέτρο βελτίωσης

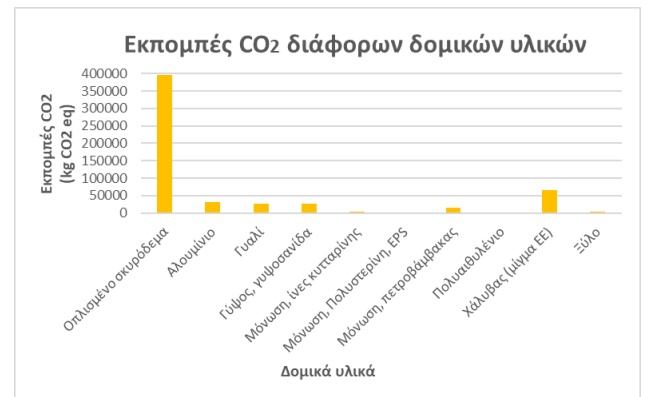
Στα παραπάνω ραβδογράμματα (Σχήμα 2, Σχήμα 3) τα οποία προέκυψαν από την μελέτη του κτιρίου γραφείων στο Γκέβλε της Σουηδίας, πραγματοποιείται μία σύγκριση των διάφορων μέτρων βελτίωσης που εφαρμόζονται στο κτήριο ανάλογα με τις εκπομπές CO₂ (σε kg CO₂ eq/m² ανά έτος) και με την χρήση ενέργειας (σε kWh/m² ανά έτος). Στόχος είναι ο προσδιορισμός των μέτρων βελτίωσης που έχουν την μεγαλύτερη συμβολή στην εξοικονόμηση ενέργειας και στην μείωση των εκπομπών CO₂. Συνοψίζοντας, το ραβδόγραμμα υποδεικνύει ότι ενώ η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης μειώνει την ενεργειακή κατανάλωση, τα μέτρα με το μεγαλύτερο αντίκτυπο στην μείωση των εκπομπών CO₂ σχετίζονται με την αλλαγή σε πιο καθαρές πηγές ενέργειας (ηλεκτρική ενέργεια άνευ CO₂) και με τη χρήση πιο βιώσιμων δομικών υλικών (π.χ. αντικατάσταση σκυροδέματος από ξύλο). Πιο συγκεκριμένα τα συμπεράσματα που θα μπορούσαμε να εξάγουμε είναι:

- Τα μέτρα με την **μεγαλύτερη μείωση εκπομπών CO₂** είναι η **αλλαγή σε ηλεκτρική ενέργεια άνευ CO₂** για κτήριο και χρήστες, η οποία οδηγεί σε μείωση των εκπομπών CO₂ από 5.9 kg CO₂ eq/m² ετησίως σε 4.1 kg CO₂ eq/m² ετησίως και 3.1 kg CO₂ eq/m² ετησίως αντίστοιχα. Επίσης η **αντικατάσταση των πλακών σκυροδέματος από πλακάκια από συμπιεσμένο ξύλο λαμινέιτ (laminated)** θα μπορούσε να μειώσει τις εκπομπές από 4.1 kg CO₂ eq/m² ετησίως και 3.1 kg CO₂ eq/m² ετησίως, μειώνοντας κατά αυτό το τρόπο το συνολικό αποτύπωμα άνθρακα του κτηρίου.
- Τα **μέτρα ενεργειακής απόδοσης** όπως η προσθήκη επιπλέον μόνωσης (τοίχος, στέγη και υπόγειο) και η βελτίωση της τιμής θερμοπερατότητας U, οδηγούν σε **μέτριες μειώσεις** στην λειτουργική χρήση ενέργειας ενώ ο αντίκτυπος στις **εκπομπές CO₂** είναι **μικρότερος**, διότι το μεγαλύτερο μέρος των εκπομπών προέρχεται από ηλεκτρική ενέργεια.
- Η εγκατάσταση ηλιακών κυψελών (50m²) συμβάλλει στην παραγωγή ενέργειας, ωστόσο η συνολική χρήση ενέργειας και **οι εκπομπές CO₂** είναι **μικρές**.
- Μεγάλη βαρύτητα έχει η επιλογή της πηγής ενέργειας, αφού η ηλεκτρική ενέργεια άνευ CO₂, δηλαδή η αντικατάσταση της ενέργειας από ορυκτά καύσιμα από ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχει μεγάλη επιρροή στο αποτύπωμα άνθρακα του κτιρίου.



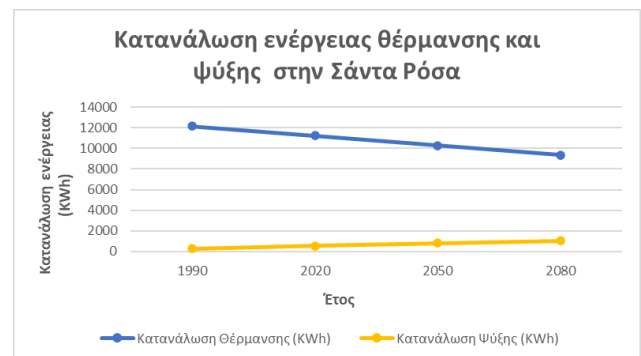
Σχήμα 4. Η κατανομή λειτουργικής ενέργειας και ενέργειας δομικών υλικών

Όπως προκύπτει στα συνδυαστικά ραβδογράμματα (Σχήμα 4), πριν τις βελτιωτικές παρεμβάσεις η λειτουργική ενέργεια αυξάνεται για το 46% των εκπομπών CO₂ ενώ η παραγωγή δομικών υλικών για το 54%. Μετά τις βελτιωτικές παρεμβάσεις οι εκπομπές CO₂ από την λειτουργική ενέργεια μειώνονται στο 26%, ενώ οι εκπομπές από την παραγωγή υλικών αυξάνονται στο 74%.



Σχήμα 5. Εκπομπές CO₂ διάφορων δομικών υλικών

Το παραπάνω ραβδόγραμμα (Σχήμα 5) απεικονίζει τις εκπομπές CO₂ που προκύπτουν από την χρήση διαφορετικών δομικών υλικών, με το οπλισμένο σκυρόδεμα να έχει τις υψηλότερες εκπομπές CO₂ ακολουθούμενο από τον χάλυβα, το αλουμίνιο και το γυαλί. Συνεπώς παρέχει μία σαφή εικόνα για τα υλικά με την μεγαλύτερη συνεισφορά στο συνολικό αποτύπωμα άνθρακα του κτιρίου.



Σχήμα 6. Γράφημα σύγκρισης ενέργειας ψύξης και θέρμανσης στην Αργεντινή

Στο Σχήμα 6 παρατίθεται γραμμικό γράφημα που συγκρίνει την ενέργεια θέρμανσης και ψύξης κατά την

διάρκεια των ετών (Baseline 1961-1990, 2020, 2050 και 2080) για την πόλη Σάντα Ρόσα στην Αργεντινή. Το γράφημα παρουσιάζει την εξέλιξη των ενεργειακών απαιτήσεων με την πάροδο του χρόνου και την εξέλιξη των κλιματολογικών συνθηκών. Η κατανάλωση ενέργειας παρουσιάζει μια σταθερή μείωση με αποτέλεσμα η αρχική κατανάλωση θέρμανσης από 12150 KWh την αρχική περίοδο να πέφτει σε 9339kWh το 2080. Παρόλο που η κατανάλωση ψύξης την αρχική περίοδο είναι πολύ μικρότερη (295 KWh) σε σχέση με την αρχική κατανάλωση θέρμανσης, εξαιτίας όμως μιας σταθερής αύξησης στην ενέργεια ψύξης καταλήγει το 2080 να έχει τιμή 1053 KWh. Αυτή η αλλαγή των ενεργειακών αναγκών υποδεικνύει την μεγαλύτερη ανάγκη για ψύξη και την μικρότερη ανάγκη για θέρμανση με την πάροδο του χρόνου.

III. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρούσα διπλωματική εργασία αναφορικά με τον σχεδιασμό και τον ανασχεδιασμό κατασκευών για την αντιμετώπιση των επιδράσεων της κλιματικής αλλαγής αναφέρονται ακολούθως:

- Καθίσταται επιτακτική η ανάγκη προσαρμογής των δομικών έργων στο μεταβαλλόμενο κλίμα, εστιάζοντας στην διαχείριση των απαιτήσεων θέρμανσης και ψύξης. Ειδικότερα, οι μελέτες των κτιρίων στην Μεσόγειο και στην Αργεντινή κατέδειξαν ότι τα μέτρα περιβαλλοντικής προσαρμογής που εφαρμόζονται σήμερα ενδέχεται να καταστούν μη αποτελεσματικά στο μέλλον, εξαιτίας των αυξανόμενων θερμοκρασιών και κατ' επέκταση των αυξημένων αναγκών ψύξης. Ο μελλοντικός σχεδιασμός κτιρίων, λαμβάνοντας υπόψη τα σενάρια πρόβλεψης κλιματολογικών συνθηκών θα πρέπει να ενσωματώσει ευέλικτα συστήματα που θα προσαρμόζονται στις ανάγκες θέρμανσης και ψύξης.
- Η επίδραση του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής έχει διαφορετικές επιδράσεις σε διαφορετικές περιοχές μελέτης όπως στην Αργεντινή, στο Τορίνο και στην Μεσόγειο. Για παράδειγμα το κτήριο nZEB της Μεσογείου αν και αποδείχθηκε ανθεκτικό στην κλιματική αλλαγή διατρέχει το κίνδυνο υπερθέρμανσης κατά τις μεταβατικές περιόδους, λόγω της αύξησης των θερμοκρασιών. Πέραν του ότι ο σχεδιασμός των κτιρίων θα πρέπει να σέβεται τα τοπικά χαρακτηριστικά και να ενσωματώνει λύσεις προσαρμογής στις τοπικές καιρικές συνθήκες, θα πρέπει να λάβει υπόψη ότι ο παθητικός σχεδιασμός που λειτουργεί αποδοτικά στο παρόν είναι πιθανό να κριθεί ανεπαρκής μπροστά στις μελλοντικές κλιματικές προκλήσεις.
- Η ανακατασκευή και αναβάθμιση των υπάρχοντων κτιρίων συμβάλλει σημαντικά στην βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και στη μείωση του περιβαλλοντικού αντικτύπου. Οι μελέτες του Τορίνο και της Σουηδίας τονίζουν τη σημασία της ανακαίνισης των κατασκευών για την προσαρμογή στις μελλοντικές κλιματολογικές συνθήκες και την γήρανση των υλικών, διασφαλίζοντας την

αποδοτικότητα των υλικών στην διάρκεια του κύκλου ζωής τους. Τα προληπτικά μέτρα ενεργειακής αναβάθμισης που αφορούν τόσο το ενεργειακό περιβάλλον (π.χ. μόνωση, υαλοπίνακες), όσο και τα μηχανικά συστήματα του κτιρίου (π.χ. HVAC) θα πρέπει να αποτελούν προτεραιότητα κατά τον σχεδιασμό, καθώς είναι κρίσιμα για την διαχείριση των μελλοντικών ενεργειακών απαιτήσεων του.

- Η μελέτη της Σουηδίας, δίνει έμφαση στην ανάγκη επιλογής υλικών χαμηλού ενεργειακού αποτυπώματος, μέσω της ενσωμάτωσης της αξιολόγησης του κύκλου ζωής (LCA) κατά τον σχεδιασμό, για την μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂). Παράλληλα, η εφαρμογή ενεργειακών συστημάτων μεγάλης απόδοσης οδηγεί σε μείωση της λειτουργικής ενέργειας, καθιστώντας την περιβαλλοντική επιβάρυνση των υλικών πιο σημαντική, ειδικά σε κτήρια χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας.
- Από τις μελέτες του Τορίνο και της Σουηδίας προκύπτει ότι η στήριξη σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και σε ηλεκτρική ενέργεια άνευ διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) μπορεί να μειώσει σημαντικά τις λειτουργικές εκπομπές. Πιο συγκεκριμένα, ο σχεδιασμός των κτιρίων θα πρέπει να γίνεται επιτρέποντας την ενσωμάτωση νέων, καθαρότερων πηγών ενέργειας, ειδικά για κτήρια με διάρκεια ζωής άνω των 50 ετών. Τα σχέδια θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τις μελλοντικές υποδομές ενέργειας και να δίνουν την δυνατότητα ενεργειακής αναβάθμισης των κτιρίων, ώστε αυτά να πληρούν τους στόχους αειφορίας.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Zittis, G., Almazroui, M., Alpert, P., Ciaia, P., Cramer, W., Dahdal, Y., Fnais, M., Francis, D., Hadjinicolaou, P., Howari, F., Jrrar, A., Kaskaoutis, D., G., Kulmala, M., Lazoglou, G., Mihalopoulos, N., Lin, X., Rudich, Y., Sciare, J., Stenchikov, G., Xoplaki, E., & Lelieveld, J. (2022). Climate Change and Weather Extremes in the Eastern Mediterranean and Middle East, *Reviews of Geophysics*, 60(3), e2021RG000762
- Li, D., H.W., Yang, L., & Lam, C., J. (2013). Zero energy buildings and sustainable development implications – A review, *Energy*, 54, 1-10
- World Green Building Council. (2019). *Bringing Embodied Carbon Upfront*.
- Chow, T. T. (2010). A review on photovoltaic / thermal hybrid solar technology. *Applied energy*, 87 (2), 365-379.