

ΚΤΙΡΙΑ ΜΗΔΕΝΙΚΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΝΘΡΑΚΑ

Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΑΠΟΔΟΤΙΚΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ



Bartlett School of Architecture του University College London
Αρχιτεκτονική μελέτη: Hawkins/Brown. Πηγή: ukbc.org

Οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου αποτελούν τη βασική αιτία της ανόδου της παγκόσμιας θερμοκρασίας και του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής. Σήμερα ο κτιριακός τομέας προκαλεί περίπου το 38% των εκπομπών άνθρακα παγκοσμίως και η στροφή προς τα ανθρακικά ουδέτερα κτίρια και η σταδιακή μείωση των εκπομπών άνθρακα αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για τη συγκράτηση της αύξησης της θερμοκρασίας του πλανήτη κάτω από τους 2°C και την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.

Ως κτίρια μηδενικών εκπομπών άνθρακα (zero carbon buildings) μπορούν να χαρακτηριστούν τα κτίρια με πολύ χαμηλές απαιτήσεις σε ενέργεια για την κατασκευή τους (υλικά, μεταφορά, τεχνικές κ.ά.) και



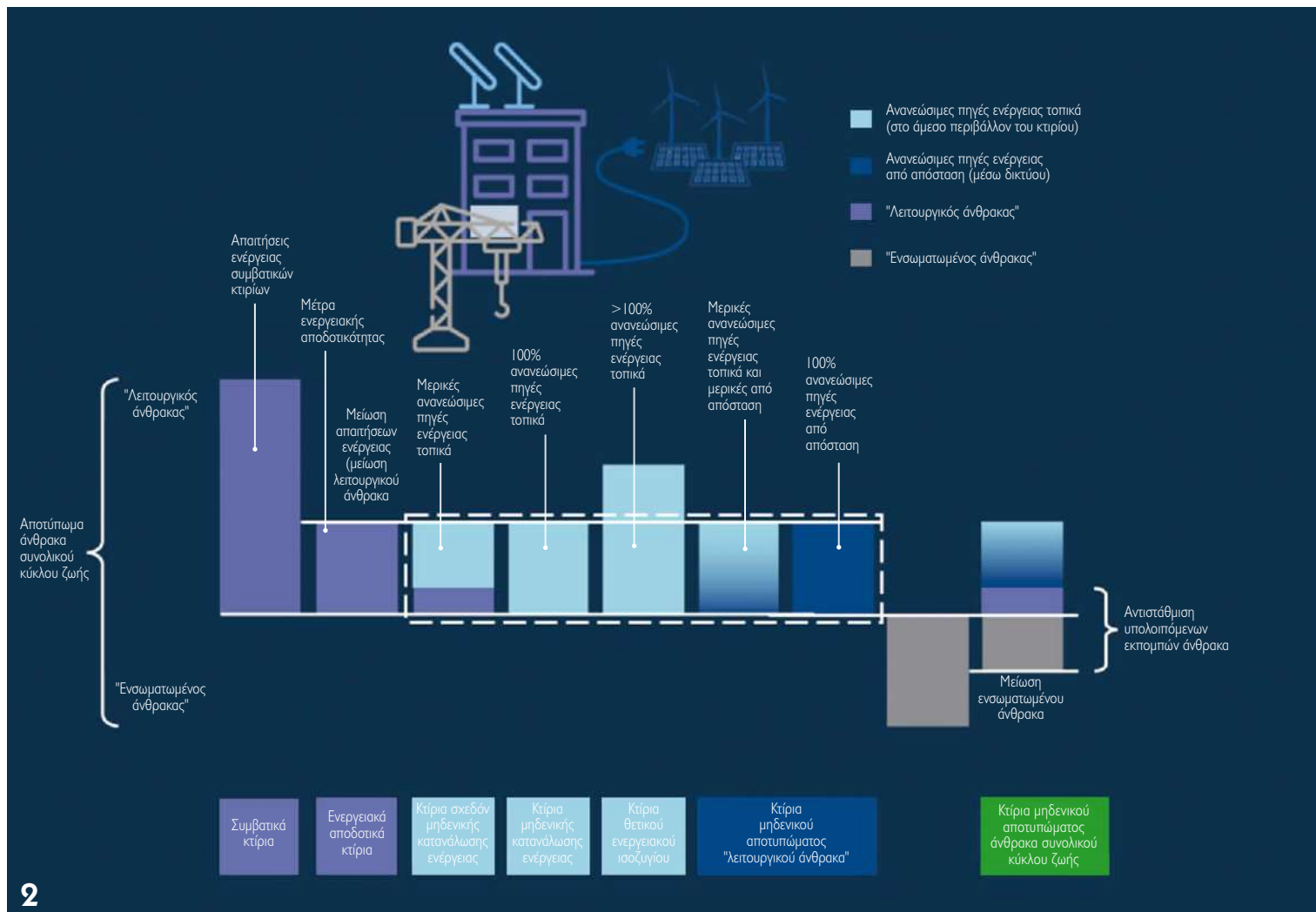
1. Ανακαίνιση υφιστάμενου κτιρίου του 1930 για τη στέγαση των κεντρικών γραφείων του "University of Cambridge Institute for Sustainability Leadership" με βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και μειωμένες εκπομπές άνθρακα κατά 80% στο σύνολο του κύκλου ζωής του κτιρίου, για διάρκεια ζωής 100 έτη, σε σύγκριση με μια συμβατική ανακαίνιση. Πιστοποιήσεις: EnerPHit (Passivhaus standard), WELL Gold και BREEAM Outstanding. Αρχιτεκτονική μελέτη: Architype.

για τη λειτουργία τους σε ετήσια βάση (θέρμανση, ψύξη, φωτισμό, συσκευές κ.ά.), οι οποίες καλύπτονται πλήρως ή αντισταθμίζονται από ανανεώσιμες πηγές και δεν ευθύνονται για την αύξηση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στη διάρκεια του κύκλου ζωής τους.

Αποτύπωμα άνθρακα στον κύκλο ζωής των κτιρίων

Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τις ανθρώπινες δραστηριότητες καταμετρώνται με βάση το "ισοδύναμο διοξειδίου του άνθρακα CO₂e". Το 2021 οι παγκόσμιες εκπομπές άνθρακα ήταν περίπου 54 Gt CO₂e, με ενδείξεις για αύξηση ως το 2025, από τις οποίες το 28% οφειλόταν στη λειτουργία των κτιρίων και 10% στον κατασκευαστικό κλάδο των υλικών. Η μετάβαση του κτιριακού δυναμικού σε κτίρια μηδενικών εκπομπών, σύμφωνα με τους φιλόδοξους στόχους της Ευρωπαϊκής Ένωσης για εξάλειψη των εκπομπών άνθρακα (decarbonization) στην Ευρώπη ως το 2050, αφορά όχι μόνο στη λειτουργία των κτιρίων αλλά στο σύνολο του κύκλου ζωής τους, που περιλαμβάνει τον σχεδιασμό, την

κατασκευή, τη λειτουργία, τη συντήρηση, την επανάχρηση ή και την κατεδάφισή τους και ταυτόχρονα την ενσωματωμένη ενέργεια υλικών και δομικών στοιχείων από την παραγωγή τους ως την ανακύκλωση ή απόρριψή τους. Η ενεργειακή αποδοτικότητα των κτιρίων, η βιωσιμότητα του δομημένου περιβάλλοντος, καθώς και ζητήματα αστικού σχεδιασμού, βιώσιμης κινητικότητας, ενσωμάτωσης "μπλε" και "πράσινων" υποδομών και λύσεων, βασισμένων στη φύση (nature based solutions) έχουν κυρίαρχο ρόλο στο αποτύπωμα άνθρακα του κτιριακού αποθέματος. Επιπλέον, το αποτύπωμα άνθρακα στον κύκλο ζωής των κτιρίων και γενικότερα του δομημένου περιβάλλοντος συνδέεται με τις αρχές της κυκλικής οικονομίας, καθώς και με ζητήματα ενημέρωσης και κοινωνικής ευαισθητοποίησης. Οι στρατηγικές για τη μείωση των εκπομπών μπορούν να διαμορφωθούν με βάση την ανάλυση της ενεργειακής κατανάλωσης στα διαφορετικά στάδια του κύκλου ζωής των κτιρίων και τη λήψη μέτρων για τη μείωσή της σε κάθε στάδιο. Οι κανονισμοί που έχουν διαμορφωθεί μέχρι σήμερα για την ενεργειακή αποδοτικότητα των κτιρίων στοχεύουν κυρίως στην ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας και κατ' επέκταση στη μείωση



των εκπομπών άνθρακα κατά τη χρήση και τη λειτουργία των κτιρίων και ενσωματώνονται στις προδιαγραφές των κτιρίων σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας (Κ.Σ.Μ.Ε.Κ., nZEB). Η ενσωματωμένη ενέργεια των υλικών κατασκευής των δομικών στοιχείων και των μεθόδων κατασκευής των κτιρίων και η πλήρης αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν συμπεριλαμβάνονται ακόμη στις προδιαγραφές των κτιρίων Κ.Σ.Μ.Ε.Κ. και ο καθορισμός των νέων απαιτήσεων αποτελεί το επόμενο βήμα για την αποτελεσματικότερη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας στον κτιριακό τομέα και τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

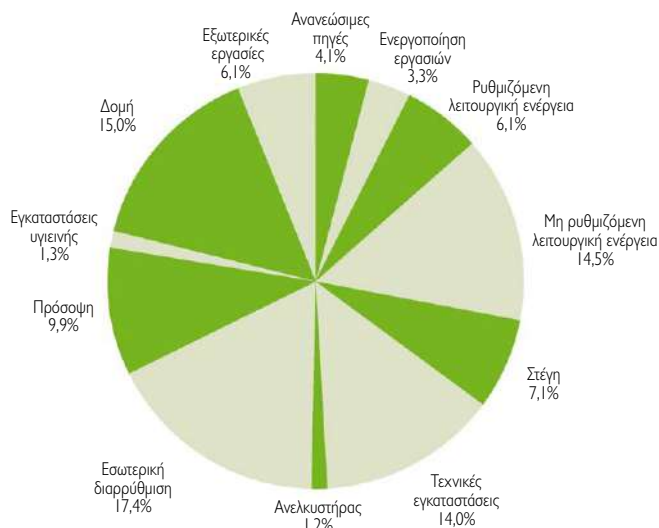
Κτίρια μηδενικών εκπομπών άνθρακα

Ανάλογα με τα κριτήρια που λαμβάνονται υπόψη για την περιβαλλοντική αξιολόγηση των κτιρίων μπορούν να διακριθούν κατηγορίες κτιρίων με βάση την κατανάλωση ενέργειας κατά τη λειτουργία τους ή την ανάλυση του συνολικού κύκλου ζωής τους, ενώ υπάρχουν και συστήματα συνολικής ποιοτικής αξιολόγησης, που περιλαμβάνουν περιβαλλοντικά,

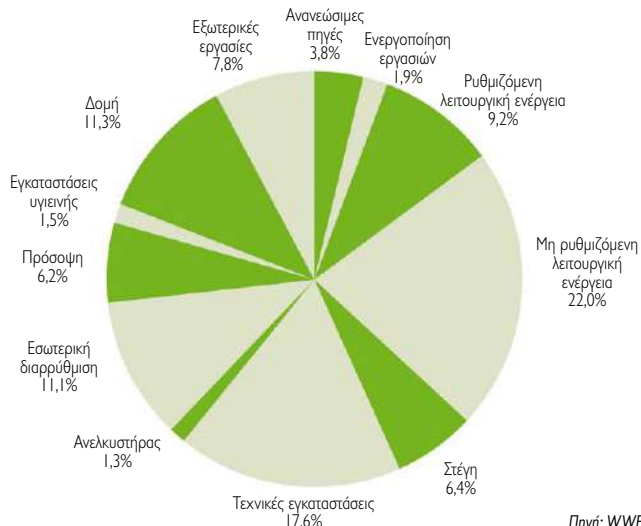
κοινωνικά και οικονομικά κριτήρια. Με βάση την κατανάλωση ενέργειας κατά τη χρήση και τη λειτουργία των κτιρίων, τα κτίρια μπορούν να διακριθούν σε συμβατικά, σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας (Κ.Σ.Μ.Ε.Κ.), μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας, αυτόνομα κτίρια, τα οποία καλύπτουν πλήρως τις ανάγκες τους από ανανεώσιμες πηγές τοπικά ή και κτίρια με θετικό ενεργειακό ισοζύγιο που παράγουν περισσότερη ενέργεια από όση καταναλώνουν (PEB). Σ' αυτές τις κατηγορίες δεν λαμβάνεται υπόψη η ενσωματωμένη ενέργεια των υλικών και των σταδίων της κατασκευής και το ανθρακικό αποτύπωμα των κτιρίων θεωρείται θετικό λόγω των εκπομπών άνθρακα από τις διαδικασίες παραγωγής και μεταφοράς υλικών και δομικών στοιχείων και κατασκευής των κτιρίων, ακόμη και αν καλύπτουν τις λειτουργικές τους ανάγκες σε ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές. Με βάση την ανάλυση του κύκλου ζωής των κτιρίων και τον υπολογισμό της ενσωματωμένης ενέργειας σε όλα τα στάδια αυτού του κύκλου (παραγωγή, μεταφορά, κατασκευή, λειτουργία, συντήρηση κτλ.), τα κτίρια μπορούν να χαρακτηριστούν μηδενικών εκπομπών όταν είναι δυνατόν να αντισταθμίσουν το ανθρακικό τους αποτύπωμα με την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές είτε τοπικά είτε από απόσταση.

2. Προσδιορισμός κτιρίων μηδενικών εκπομπών άνθρακα.
Πηγή: World Building Council

Αξιολόγηση εκπομπών άνθρακα στο σύνολο ζωής του κτιρίου της WWF κατά το στάδιο του σχεδιασμού (διάρκεια ζωής 60 χρόνια): 13.088.600 kg ισοδύναμου CO₂e



Αξιολόγηση εκπομπών άνθρακα στο σύνολο ζωής του κτιρίου της WWF κατά το στάδιο ολοκλήρωσης της κατασκευής (διάρκεια ζωής 60 χρόνια): 7.519.411 kg ισοδύναμου CO₂e



Πηγή: WWF



3

3. Το κτίριο "WWF Living Planet Center" είναι ένα από τα πρώτα κτίρια, για τα οποία έγινε ολοκληρωμένη ανάλυση του κύκλου ζωής για τον σχεδιασμό και την κατασκευή του. Το 98,5% των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν στο κτίριο προέρχονται από πιστοποιημένες πηγές. Αρχιτεκτονική μελέτη: Hopkins Architects. © Richard Stonehouse / Stonehouse Photographic.

Στα ανθρακικά ουδέτερα κτίρια (net zero carbon buildings), οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που προέρχονται από τις απαιτήσεις τους σε ενέργεια σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής τους (συμπεριλαμβανομένων των σταδίων κατασκευής και απόρριψης) και κατά τη λειτουργία τους είναι αθροιστικά μηδενικές. Για τον αναλυτικό υπολογισμό οι εκπομπές άνθρακα μπορούν να διαφοροποιηθούν:

- σε αυτές των σταδίων κατασκευής, που αντισταθμίζονται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας,
- σε αυτές του σταδίου λειτουργίας που υπολογίζονται σε ετήσια βάση
- και σε αυτές του συνόλου της ζωής του κτιρίου που ορίζεται ως ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα.

Κτίρια αρνητικών εκπομπών (negative carbon buildings) μπορούν να χαρακτηριστούν κτίρια με ακόμη καλύτερη συμπεριφορά από τα ανθρακικά ουδέτερα κτίρια, τα οποία σε ετήσια

βάση παράγουν από ανανεώσιμες πηγές περισσότερη ενέργεια από όση καταναλώνουν για τη λειτουργία τους και κατακρατούν περισσότερο άνθρακα από όσο εκπέμπουν στο περιβάλλον. Τα κτίρια απόλυτα μηδενικών εκπομπών (absolute carbon buildings) αποτελούν μια ιδανική αλλά προς το παρόν θεωρητική περίπτωση κτιρίων με μηδενικές εκπομπές σε όλο τον κύκλο ζωής τους, δηλαδή χωρίς χρήση αντισταθμιστικών μέτρων, με κάλυψη των απαιτήσεων ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στα στάδια κατασκευής, χρήσης, συντήρησης, κατεδάφισης, μεταφοράς υλικών, ανακύκλωσης και απόρριψης, και με χρήση υλικών από δίκτυα παραγωγής μηδενικών εκπομπών. Η διαμόρφωση κτιρίων μηδενικών εκπομπών άνθρακα μπορεί να βασιστεί σε τέσσερα μέτρα:

- στη μείωση της ενσωματωμένης ενέργειας και του ενσωματωμένου άνθρακα μέσω της επιλογής των κατάλ-

ηλων υλικών των δομικών στοιχείων και των μεθόδων κατασκευής με ελάχιστο περιβαλλοντικό αντίκτυπο,

- στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας από τη λειτουργία των κτιρίων, μέσω του βιοκλιματικού σχεδιασμού, παθητικών συστημάτων και ενεργειακά αποδοτικών Η/Μ εγκαταστάσεων,
- στην αύξηση της αξιοποίησης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, είτε τοπικά στο άμεσο περιβάλλον των κτιρίων είτε απομακρυσμένα, για την αντικατάσταση της χρήσης ορυκτών καυσίμων και
- στην αποθήκευση ή κατακράτηση άνθρακα για την αντιστάθμιση των χαμηλών εκπομπών.

Ενσωματωμένη ενέργεια υλικών και ενεργειακή συμπεριφορά κτιρίων

Η ελαχιστοποίηση των απαιτήσεων των κτιρίων σε ενέργεια για την κάλυψη λειτουργικών αναγκών μπορεί να επιτευχθεί μέσω σχεδιασμού τους, με πρόβλεψη για επαρκή ηλιασμό, φυσικό φωτισμό και αερισμό, με εφαρμογή παθητικών ηλιακών συστημάτων για θέρμανση, σκίαση και φυσικό δροσισμό, με τη θερμομόνωση και προστασία του κελύφους, με την εγκατάσταση αποδοτικών Η/Μ συστημάτων και ενεργειακή διαχείριση, καθώς και με την ενημέρωση και προσαρμογή των χρηστών. Η υποχρεωτική εφαρμογή των κανονισμών για την κατασκευή κτιρίων σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης (Κ.Σ.Μ.Ε.Κ.) στην Ευρωπαϊκή Ένωση σήμερα οδηγεί σε μεγάλη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας στα κτίρια στο στάδιο της λειτουργίας τους με αποτέλεσμα η ενσωματωμένη ενέργεια κατά τα στάδια της κατασκευής και του τέλους της ζωής των κτιρίων να μπορεί να ξεπερνάει την ενέργεια που καταναλώνεται κατά τη λειτουργία τους.

Η ενσωματωμένη ενέργεια των υλικών κατασκευής αφορά στην ενέργεια που καταναλώνεται για το σύνολο των διαδικασιών που απαιτούνται για την εφαρμογή τους στα κτίρια, από την εξόρυξη ή καλλιέργειά τους μέχρι την τελική τους απόρριψη και περιλαμβάνει την επεξεργασία τους, τη μεταφορά τους, την παραγωγή δομικών στοιχείων, την τοποθέτησή τους στις κατασκευές, τη συντήρηση, την αντικατάσταση, την ανακύκλωση κτλ. Η χρήση υλικών και δομικών στοιχείων με χαμηλή ενσωματωμένη ενέργεια είναι σημαντικό βήμα για τη μείωση των εκπομπών άνθρακα και του περιβαλλοντικού αντίκτυπου των κατασκευών. Περαιτέρω προβλέψεις που μπορούν να μειώσουν την ενσωματωμένη ενέργεια και την κατανάλωση ενέργειας στον κύκλο ζωής των κτιρίων και κατ' επέκταση την εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου και τον περιβαλλοντικό τους αντίκτυπο είναι η ευελιξία και η προσαρμοστικότητα των κτιρίων σε διαφορετικές χρήσεις και ανάγκες, που δίνει τη δυνατότητα για επανάχρηση και επέκταση της διάρκειας του κύκλου ζωής τους. Μέτρα πρόωθησης της ανακαίνισης και επανάχρησης ή ενεργειακής αναβάθμισης των κτιρίων επιτρέπουν την κάλυψη των σύγχρονων αναγκών από το υφιστάμενο κτιριακό δυναμικό, μειώνοντας σημαντικά την ενέργεια που απαιτείται για νέες κατασκευές, τις ποσότητες των απαιτούμενων νέων υλικών για την κατασκευή δομικών στοιχείων, τις μεταφορές κτλ. Επίσης μέθοδοι κατασκευής, όπως η προκατασκευή δομικών στοιχείων μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά την ενσωματωμένη ενέργεια των κατασκευών και η επιλογή τοπικών υλικών να μειώσει την απαιτούμενη ενέργεια και τις εκπομπές αερίων ρύπων για τη μεταφορά τους. Η εφαρμογή των αρχών της κυκλι-



κής οικονομίας, η ενίσχυση της επανάχρησης και της ανακύκλωσης επεκτείνουν τον κύκλο ζωής των υλικών, των δομικών στοιχείων και των κατασκευών, μειώνουν την ενσωματωμένη ενέργεια και το ανθρακικό τους αποτύπωμα.

Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και κατακράτηση άνθρακα

Η αντιστάθμιση των εκπομπών άνθρακα λόγω της ενσωματωμένης ενέργειας και της κατανάλωσης ενέργειας κατά τη λειτουργία των κτιρίων στο σύνολο του κύκλου ζωής τους μπορεί να πραγματοποιηθεί με την αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ηλιακή ενέργεια, αιολική ενέργεια, γεωθερμία κ.ά.) για την κάλυψη των χαμηλών απαιτήσεων των κτιρίων σε θέρμανση ψύξη, φωτισμό και λειτουργία ηλεκτρικών συσκευών. Η παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές

4. Το ανθρακικά ουδέτερο κτίριο εργαστηρίων χημείας "GlaxoSmithKline" στο πανεπιστήμιο του Νότιγχαμ, με πιστοποίηση BREEM Outstanding και LEED Platinum, κατασκευάστηκε με χρήση φυσικών υλικών και προβλέπεται με την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές να αντισταθμίσει το αποτύπωμα άνθρακα από το στάδιο κατασκευής σε 25 χρόνια. Αρχιτεκτονική μελέτη: Fairhursts Design Group.

ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ENI5978 (2011)																			
ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΖΩΗΣ																			
Στάδιο παραγωγής και κατασκευής					Στάδιο χρήσης							Τέλος ζωής κτιρίου				Μετά από τη ζωή του κτιρίου			
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D	D	D	D
Προμήθεια πρώτων υλών	Μεταφορά πρώτων υλών	Μεταποίηση	Μεταφορά δομικών στοιχείων	Κατασκευή / Εγκατάσταση	Χρήση	Συντήρηση	Επισκευή	Αντικατάσταση	Ανακαίνιση	Λειτουργική χρήση ενέργειας	Λειτουργική χρήση νερού	Αποδόμηση / Κατεδάφιση	Μεταφορά	Διαχείριση αποβλήτων	Απόρριψη	Οφέλη και φορτία	Επανάφραση	Ανάκτηση	Ανακύκλωση
E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	Λ	Λ	E	E	E	E	E	E	E	E

E: Ενσωματωμένος άνθρακας (εκπομπές άνθρακα που σχετίζονται με υλικά και κατασκευαστικές διαδικασίες, που χρησιμοποιούνται σε όλο τον κύκλο ζωής ενός κτιρίου ή υποδομής)
 Λ: Λειτουργικός άνθρακας (εκπομπές άνθρακα που σχετίζονται με την ενέργεια που χρησιμοποιείται για τον φωτισμό, τη θέρμανση, την ψύξη και την τροφοδοσία ενός κτιρίου)
 Πηγή: World Green Building Council Commitment Glossary. Απόδοση από: Tirelli and Besana 2023



5. Μονάδες κατοικίας "Hope rise" για ευάλωτες κοινωνικές ομάδες, με μηδενικές εκπομπές άνθρακα κατά τη λειτουργία τους (zero operational carbon) και χαμηλή ενσωματωμένη ενέργεια / ενσωματωμένο άνθρακα κατά την κατασκευή τους. Πηγή: UK GBC.

μπορεί να γίνεται τοπικά στο ίδιο το κέλυφος ή στο άμεσο περιβάλλον των κτιρίων ή μέσω των δικτύων ενέργειας με την αύξηση των Α.Π.Ε. στο ενεργειακό μείγμα. Ακόμη είναι δυνατόν να ενισχυθεί η κατακράτηση / αποθήκευση άνθρακα μέσω οργανικών υλικών, που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των κτιρίων και τα οποία απορροφούν περισσότερο άνθρακα στον κύκλο ζωής τους από όσο εκπέμπουν στην ατμόσφαιρα. Τέτοια υλικά είναι αυτά που προέρχονται από φυτά, τα οποία κατακρατούν μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα κατά την ανάπτυξή τους και πριν τη μετατροπή τους σε δομικά στοιχεία. Παρόλο που δεν υπάρχουν ακόμη διαθέσιμες σαφείς βάσεις δεδομένων και διατηρούνται αμφιβολίες για την εγκυρότητα των υπολογισμών ως προς τις ακριβείς ποσότητες και την αποτελεσματικότητα της αντιστάθμισης άνθρακα, τέτοια οργανικά υλικά, όπως ξυλεία, κάνναβη, άχυρο, μπαμπού, φελός, κυτταρίνη, μαλλί κ.ά., αποτελούν "καταβόθρες" άνθρακα στο σύνολο του κύκλου ζωής τους και επιπλέον μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν, να ανακυκλωθούν ή να απορριφθούν στο περιβάλλον ενισχύοντας και τις διαδικασίες κυκλικής οικονομίας. Άλλες μέθοδοι αντιστάθμισης των εκπομπών άνθρακα είναι η εφαρμογή πράσινων υποδομών και λύσεων βασισμένων στη

φύση (nature based solutions) στο κέλυφος ή στο περιβάλλον των κτιρίων για την απορρόφηση διοξειδίου του άνθρακα. Η εγκατάσταση ειδικών μονάδων κατακράτησης άνθρακα σε επίπεδο κτιρίου θεωρείται μια επιπλέον αντισταθμιστική επιλογή, με υψηλό κόστος και τεχνολογικές αδυναμίες, που αποτελούν εμπόδια στην εφαρμογή της.

Ευρωπαϊκή στρατηγική, παγκόσμιες προκλήσεις και εθνικοί στόχοι

Η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου αποτελεί στόχο σε παγκόσμιο επίπεδο (2019 UN Climate Action Summit, World Green Building Council, Net Zero Carbon Buildings Commitment, Carbon-negative buildings CNBs). Στην Ευρωπαϊκή Ένωση τέθηκε ο στόχος της εξάλειψης των εκπομπών άνθρακα ως το 2050 με ενδιάμεσους στόχους σταδιακής μείωσης ως το 2030. Ως προοπτική εξέλιξης των κανονισμών ενεργειακής απόδοσης κτιρίων προβλέπεται η μετάβαση από τα κτίρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας (near zero energy buildings, nZEB, Κ.Σ.Μ.Ε.Κ.) στα κτίρια μηδενικών εκπομπών (zero emission buildings, ZEB), ενώ ταυτόχρονα προωθείται η αξιοποίηση των Α.Π.Ε. με στο-



6

χειμμένες μεθόδους και κίνητρα και η ανάλυση του ανθρακικού αποτυπώματος στον κύκλο ζωής υλικών και κατασκευών μέσω προτύπων (EN15978:2011 standard, whole-life carbon assessment WLCA). Οι στόχοι μείωσης εκπομπών άνθρακα ως το 2030 σε σχέση με τα επίπεδα του 2005 είναι διαφορετικοί στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης και κυμαίνονται από 10% ως 50%. Στην Ελλάδα έχει τεθεί στόχος μείωσης κατά 22,7%. Επιπλέον, παράλληλα με την ενεργειακή αναβάθμιση των υφιστάμενων κτιρίων προωθείται η αύξηση Α.Π.Ε. στο ενεργειακό μείγμα (φωτοβολταϊκά πάρκα, ανεμογεννήτριες, ταμιευτήρες) και η δημιουργία κινήτρων για την ενσωμάτωση Α.Π.Ε. τοπικά στα κτίρια (φωτοβολταϊκά σε στέγες, ηλιακοί συλλέκτες, συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, ενεργειακός συμψηφισμός στα δίκτυα ενέργειας) και δημιουργούνται και ενεργειακές κοινότητες διαμοιρασμού ενέργειας από Α.Π.Ε.

Σύγχρονες αδυναμίες και μελλοντικές δυνατότητες

Τα εμπόδια στην ανάπτυξη των κτιρίων μηδενικών εκπομπών άνθρακα σήμερα είναι η έλλειψη συγκεκριμένων προ-

διαγραφών και βάσεων δεδομένων για την πλήρη ανάλυση του κύκλου ζωής των κτιρίων και το αυξημένο κόστος που απαιτεί η κατασκευή τους, συμπεριλαμβανομένης της επιλογής υλικών και δομικών στοιχείων με χαμηλή ενσωματωμένη ενέργεια. Άλλα εμπόδια είναι η απουσία νομικού πλαισίου και κανονισμών που θα μπορούσαν να θέτουν συγκεκριμένες απαιτήσεις και στόχους. Η έλλειψη επαρκούς πληροφόρησης και τεχνογνωσίας από τους επαγγελματίες δημιουργεί επιπλέον περιορισμούς, ενώ δυσκολίες εμφανίζονται και από την αδυναμία εφαρμογής σε συγκεκριμένες τοποθεσίες, γεωγραφικές θέσεις και πυκνοδομημένα αστικά περιβάλλοντα.

Παρά τις δυσκολίες της κατασκευής κτιρίων μηδενικών εκπομπών άνθρακα, τα περιβαλλοντικά οφέλη από τη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου είναι αναμφισβήτητο μεγαλύτερο κίνητρο για την ενίσχυση των προσπαθειών εξέλιξης του κτιριακού τομέα προς αυτή την κατεύθυνση. Τα μεγαλύτερα κόστη κατασκευής, αντισταθμίζονται μακροπρόθεσμα από τη μείωση του κόστους ενέργειας αλλά και του κόστους αυξανόμενων απαιτήσεων για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, ενώ παράλληλα μπορούν να επιτευχθούν κοινωνικά οφέλη με την

6. Το πρώτο κτίριο μηδενικών εκπομπών άνθρακα στο Χονγκ Κονγκ. Construction Industry Council (CIC), 2012, Arup.



7. Το κτίριο "The Enterprise Centre" του University of East Anglia, σχεδιάστηκε με βάση τα κριτήρια πιστοποίησης Passivhaus και BREEAM Outstanding, με εκτιμώμενη διάρκεια κύκλου ζωής 100 έτη. Η κατασκευή επάνω από το έδαφος περιλαμβάνει κατά 70% υλικά βιολογικής βάσης και τα υπόγεια τμήματα 100% ανακυκλώμενα υλικά και πετυχαίνει ενσωματωμένο άνθρακα λιγότερο από το ¼ των συμβατικών κτιρίων ανώτατης εκπαίδευσης. Αρχιτεκτονική μελέτη: Architype.

αναβάθμιση της ποιότητας ζωής και την άμβλυση κοινωνικών ανισοτήτων. Για την περαιτέρω εξέλιξη και διάδοση των ανθρακικά ουδέτερων κτιρίων χρειάζεται να ενισχυθεί η τεχνογνωσία κατασκευής, να διαμορφωθούν ενημερωμένες και πληρέστερες βάσεις δεδομένων υλικών και δομικών στοιχείων με πληροφορίες για την ενσωματωμένη ενέργεια και τον ενσωματωμένο άνθρακα και την αξιολόγηση στο σύνολο του κύκλου ζωής των κτιρίων, να δημιουργηθούν σαφείς προδιαγραφές και κανονισμοί, να αναπτυχθούν νέα κίνητρα εφαρμογής Α.Π.Ε. Ακόμη είναι σημαντικό να γίνουν προβλέψεις στο επίπεδο του αστικού σχεδιασμού για τον συνδυασμό αποδοτικών κτιρίων μηδενικού ανθρακικού αποτυπώματος, μείωσης των εκπομπών από τις μεταφορές μέσω ανάπτυξης βιώσιμης κινητικότητας, ενσωμάτωση πράσινων υποδομών και λύσεων βασισμένων στη φύση, στο δομημένο περιβάλλον και ενίσχυση διαδικασιών κυκλικής οικονομίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Anika, O. C., Nnabuiife, S. G., Bello, A., Okoroafor, E. R., Kuang, B., & Villa, R., **Prospects of low and zero-carbon renewable fuels in 1,5-degree net zero emission actualisation by 2050: A critical review.** Carbon Capture Science and Technology, 2022.
- Chastas, P., Theodosiou, T., Kontoleon, K. J., & Bikas, D., **Normalising and assessing carbon emissions in the building sector: A review on the embodied CO₂ emissions of residential buildings.** Building and Environment, 2018.
- Kesidou, S., & Sovacool, B. K., **Supply chain integration for low-carbon buildings: A critical interdisciplinary review.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2019.
- Khan, S. A., Alam, T., Khan, M. S., Blecich, P., Kamal, M. A., Gupta, N. K., & Yadav, A. S., **Life cycle assessment of embodied carbon in buildings: Background, approaches and advancements.** Buildings, 2022.
- Li, B., Pan, Y., Li, L., & Kong, M., **Life cycle carbon emission assessment of building refurbishment: A case study of zero-carbon pavilion in shanghai yangpu riverside.** Applied Sciences (Switzerland), 2022.
- Lomas, K. J., **Decarbonizing national housing stocks: Strategies, barriers and measurement.** Building Research and Information, 2009.
- Pan, W., **System boundaries of zero carbon buildings.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014.
- Roberts, M., Allen, S., & Coley, D., **Life cycle assessment in the building design process – A systematic literature review.** Building and Environment, 2020.
- Tirelli, D., & Besana, D., **Moving toward net zero carbon buildings to face global warming: A narrative review,** 2023.
- Xing, Y., Hewitt, N., & Griffiths, P., **Zero carbon buildings refurbishment - A hierarchical pathway.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2011.
- Yu, F., Feng, W., Leng, J., Wang, Y., & Bai, Y., **Review of the U.S. policies, codes, and standards of zero-carbon buildings.** Buildings, 2022.
- <https://www.europarl.europa.eu/>

ΣΧΕΤΙΚΑ ΑΡΘΡΑ ΣΤΟ "ΚΤΙΡΙΟ"

- **Στρατηγικές βιοκλιματικού σχεδιασμού.** Τεύχος 8/2022, σελ. 103.
- **Βιοκλιματικός σχεδιασμός στο αιφόρο περιβάλλον.** Τεύχος 4/2022, σελ. 60.
- **Συστήματα ενεργειακής διαχείρισης κτιρίων. Δομή, λειτουργία και οφέλη.** Τεύχος 1/2021, σελ. 103.

ΣΧΕΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ & ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΑ ΑΡΘΡΑ στην ιστοσελίδα www.ktirio.gr