



ΔΙΕΘΝΕΣ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΕΛΛΑΔΟΣ



**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**  
**«ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ»**

**Ανάλυση Ενεργειακής Παρακολούθησης  
και Υπολογισμού Ανθρακικού Αποτυπώματος Κτιρίων**

**Παντελεήμων Α. Καλυβιώτης**



**Σίνδος**

**Νοέμβριος 2023**

ΣΕΛΙΔΑ ΣΚΟΠΙΜΑ ΚΕΝΗ

**Ανάλυση Ενεργειακής Παρακολούθησης**  
**και Υπολογισμού Ανθρακικού Αποτυπώματος Κτιρίων**

**Παντελεήμων Α. Καλυβιώτης**

**Αρ.Μητρώου 2021/0003**

**Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή**

Δημήτριος Κωνσταντινίδης

Φανή Αντωνίου

Αναστάσιος Τσικρίκης

**Σίνδος**

**Νοέμβριος 2023**

**Copyright notice**

«Δηλώνω υπευθύνως ότι όλα τα στοιχεία σε αυτήν την εργασία τα απέκτησα, τα επεξεργάσθηκα και τα παρουσιάζω σύμφωνα με τους κανόνες και τις αρχές της ακαδημαϊκής δεοντολογίας, καθώς και τους νόμους που διέπουν την έρευνα και την πνευματική ιδιοκτησία. Δηλώνω επίσης υπευθύνως ότι, όπως απαιτείται από αυτούς τους κανόνες, αναφέρομαι και παραπέμπω στις πηγές όλων των στοιχείων που χρησιμοποιώ και τα οποία δεν συνιστούν πρωτότυπη δημιουργία μου»

Παντελεήμων Α. Καλυβιώτης

ΣΕΛΙΔΑ ΣΚΟΠΙΜΑ ΚΕΝΗ

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Γενικά	1
Σκοπός	2
Διατύπωση Θέσης	2
Βάση της Έρευνας	3

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ Α: ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ

Γενικά	4
Κλιματική Κρίση	4
Η ενέργεια ως γεωστρατηγική πρόκληση	8
Η κλιματική διπλωματία	17
Η ενεργειακή μετάβαση ως απάντηση στις προκλήσεις	20

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ Β: ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΟ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ – ΕΝΑ ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΣΤΑ ΧΕΡΙΑ ΤΟΥ ΚΟΣΜΟΥ

Γενικά	24
Παγκόσμιο Δίκτυο για το Οικολογικό Αποτύπωμα (Global Footprint Network - GFN)	24
Καθιέρωση του Οικολογικού Αποτυπώματος	27
Προδιαγραφές του Οικολογικού Αποτυπώματος - Εφαρμογή του προτύπου	31

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ Γ: ΑΝΘΡΑΚΙΚΟ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ

Γενικά	36
Ανάλυση Κύκλου Ζωής	38
Μέθοδοι Πιστοποίησης Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (LCA)	41
Ανάλυση Κύκλου Ζωής, μια εξελικτική διαδικασία	51

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ Δ: ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΝΕΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ Ή ΑΝΑΚΑΙΝΙΣΗ ΥΠΑΡΧΟΝΤΩΝ;

Γενικά	54
Διαφοροποιήσεις Μεθοδολογιών στις Αναλύσεις Κύκλου Ζωής	55

Σύγκριση ανακαίνισης κτιρίου έναντι νέας κατασκευής	59
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ Δ: ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΝΕΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ Ή ΑΝΑΚΑΙΝΙΣΗ ΥΠΑΡΧΟΝΤΩΝ;</b>	
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ε: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ</b>	64
<b>ΕΠΙΛΟΓΟΣ</b>	78
<b><u>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ</u></b>	
"Α" ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	

### **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Στην αρχή της παρούσας διπλωματικής εργασίας, οφείλω αρχικά να ευχαριστήσω θερμά τον υπεύθυνο καθηγητή, Δρ. Δημήτριο Κωνσταντινίδη για την επαγγελματική του στάση και για το περιβάλλον συνεργασίας, που συνάντησα. Τον ευχαριστώ επίσης, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, τις επισημάνσεις και τις πολύτιμες υποδείξεις του, καθώς και για το χρόνο που μου αφιέρωσε, καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης αυτής της μελέτης, συμβάλλοντας έτσι καθοριστικά στην αρτιότητα της.

Το μεγαλύτερο ευχαριστώ το οφείλω στην οικογένειά μου για όλη την υποστήριξη που συνεχίζει να μου δείχνει. Για τα παιδιά μου Ιωάννα και Αγγέλικα, συγγνώμη για το χρόνο μας που θυσίασα, ενώ έγραφα αυτήν την εργασία. Και για τη γυναίκα μου Βάια, ευχαριστώ για όλη την υποστήρισή σου, χωρίς την οποία θα είχα σταματήσει τις σπουδές εδώ και πολύ καιρό.

ΣΕΛΙΔΑ ΣΚΟΠΙΜΑ ΚΕΝΗ



## ΣΥΝΟΨΗ

Η συνεχιζόμενη Βιομηχανική Επανάσταση απαιτεί διαρκώς αυξανόμενη κατανάλωση ενέργειας, προκαλώντας συνεχείς πιέσεις στη διατήρηση της ανάλογης παραγωγής. Από 1970 έως το 2004 υπολογίστηκε ότι οι παγκόσμιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου αυξήθηκαν κατά 70 τοις εκατό (70%), γεγονός που οδήγησε στη διαπίστωση ότι τις επόμενες δεκαετίες, ο κόσμος θα υποστεί δυνητικά επικίνδυνες κλιματικές αλλαγές, οι οποίες θα έχουν σημαντικό αντίκτυπο σε σχεδόν κάθε πτυχή του περιβάλλοντος, των οικονομιών και των κοινωνιών μας. Στο πλαίσιο αυτό, λαμβάνοντας υπόψη τη συνεχιζόμενη αύξηση του πληθυσμού των πόλεων παγκοσμίως, κρίνεται επιτακτική η ανάλυση και αξιοποίηση των Συστημάτων Διαχείρισης Ενέργειας Κτιρίων. Ο κατασκευαστικός κλάδος αναφέρεται ως ο μεγαλύτερος καταναλωτής πόρων. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, η κατασκευή κτιρίων καταναλώνει το 40% των υλικών και της πρωτογενούς ενέργειας, ενώ παράγει το 40% των απορριμμάτων ετησίως. Αυτό κάνει επιτακτική την ανάπτυξη μεθόδων μείωσης του αποτυπώματος άνθρακα στις κατασκευές με τη χρήση εναλλακτικών οικοδομικών υλικών, βελτιώσεων στον σχεδιασμό, ανακύκλωση απορριμμάτων κατασκευών και προώθηση χρήσης εναλλακτικών υδάτινων πόρων. Η αύξηση χρήσης της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (Life Cycle Assessment - LCA) μπορεί να καταδείξει τις περιβαλλοντικές και οικονομικές επιπτώσεις των εκπομπών άνθρακα κατά τη διάρκεια της ζωής των κτιρίων, από την απόκτηση των πρώτων υλών κατασκευής έως το τέλος χρήσης του. Παρότι η έννοια της LCA των κτιρίων υπάρχει εδώ και πολύ καιρό, η εφαρμογή της έχει ακόμα ατέλειες. Η αξιολόγηση κτιρίων είναι μια πολύπλοκη διαδικασία λόγω του τεράστιου αριθμού μεταβλητών που πρέπει να υπολογιστούν. Παρά τις προσπάθειες τυποποίησης η χρήση διαφορετικών κανόνων λειτουργίας καθιστά δύσκολη τη σύγκριση αποτελεσμάτων από διαφορετικές LCA. Ένα μεγάλο μέρος κτιρίων στην Ελλάδα και γενικότερα στην Ευρώπη είναι παλαιά και δεν ανταποκρίνονται στα σημερινά κατασκευαστικά πρότυπα, με πολλά από αυτά να πρέπει να ανακαινιστούν ή να κατεδαφιστούν στο κοντινό μέλλον. Οι LCA μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στον καθορισμό λήψης απόφασης για το μέλλον αυτών των κτιρίων. Παρά την προσπάθεια αντιμετώπισης των επιπτώσεων του ενσωματωμένου άνθρακα, οι προκλήσεις εξακολουθούν να υφίστανται. Η έλλειψη ολοκληρωμένων δεδομένων, οι περιορισμένες πληροφορίες κόστους, καθώς και η ανεπαρκής ενημέρωση και κατανόηση είναι εμπόδια που πρέπει να ξεπεραστούν. Η αναγνώριση της σημασίας του ενσωματωμένου άνθρακα και η συλλογική εργασία για τη μείωσή του θα διαδραματίσει κρίσιμο ρόλο στην καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής και στη διασφάλιση ενός υγιέστερου πλανήτη για τις σημερινές και τις μελλοντικές γενιές.

## ABSTRACT

The ongoing Industrial Revolution requires an increasing energy consumption, causing constant pressure to maintain equivalent production. From 1970 to 2004 the global greenhouse gas emissions increased by 70 percent (70%), leading to the conclusion that in the coming decades, the world will experience potentially dangerous climate changes, which will have a significant impact on nearly every aspect of our environment, economies and societies. In this context, taking into account the continued growth of city populations worldwide, the analysis and utilization of Building Energy Management Systems are considered imperative. The construction industry is considered as the largest consumer of resources. In European Union, building construction consumes 40% of materials and primary energy, while producing 40% of waste annually. This makes it absolutely necessary to be developed methods to reduce the carbon footprint of construction by using alternative building materials, design improvements, recycling construction waste and promoting the use of alternative water resources. The increasing use of Life Cycle Assessment (LCA) can evince the environmental and economic impacts of carbon emissions during the life of buildings, from the acquisition of the raw materials of construction to the end of their use. Although the concept of buildings LCA has been used for a long time, its implementation still has flaws. Building assessment is a complex process due to the huge number of data that need to be calculated. Despite standardization efforts the use of different operating rules makes it difficult to compare results from different LCAs. A large number of buildings in Greece and generally in Europe are old and do not meet current construction standards, with many of them needed to be renovated or demolished in the near future. LCAs can play an important role in determining decision-making about the future of these buildings. Despite efforts to address the impacts of embedded carbon, challenges remain. Lack of comprehensive data, limited cost information, and insufficient information and understanding are barriers to be overcome. Only by recognizing the consequences of embodied carbon emissions and that for reducing them a collective effort is needed, the mitigation of climate change can be feasible, in order to ensure a healthier planet for the current and future generations.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### Γενικά

Ο άνθρωπος, όπως και όλα τα έμβια όντα, ζει και αναπτύσσεται εδώ και αιώνες σε άμεση αλληλεξάρτηση με το περιβάλλον, το πεδίο όπου λαμβάνουν χώρα όλες οι κοινωνικές, οικονομικές και λοιπές δραστηριότητές του, το οποίο επηρεάζει άμεσα και από το οποίο επηρεάζεται έμμεσα ο ίδιος αλλά και οι συνθήκες διαβίωσής του. Η κατανόηση και η ομαλή εξέλιξη των σχέσεων με το περιβάλλον είναι κάτι που επιβάλλεται για την επιβίωση τόσο του περιβάλλοντος όσο και του ίδιου του ανθρώπινου είδους.

Οι νέες τεχνολογίες παραγωγής που αναπτύσσονται ταχέως υπό την επίδραση της συνεχιζόμενης Βιομηχανικής Επανάστασης απαιτούν διαρκώς αυξανόμενη κατανάλωση ενέργειας, προκαλώντας συνεχείς πιέσεις στη διατήρηση ανάλογης παραγωγής και εφοδιασμού της. Στο πρώτο τέταρτο του 21<sup>ου</sup> αιώνα, η τεράστια αύξηση του πληθυσμού προκαλεί συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας και οι τάσεις που εμφανίζει ο παγκόσμιος ρυθμός κατανάλωσης προκαλούν έντονες ανησυχίες.

Σήμερα, είναι ευρέως αποδεκτό ότι οι ανθρώπινες δραστηριότητες συμβάλλουν στην κλιματική αλλαγή. Η Τέταρτη Έκθεση Αξιολόγησης της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC) υπολόγισε ότι μεταξύ 1970 και 2004, οι παγκόσμιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου λόγω των ανθρώπινων δραστηριοτήτων αυξήθηκαν κατά 70 τοις εκατό (70%) (IPCC, 2007). Αν και οι ακριβείς συνέπειες της κλιματικής αλλαγής δεν είναι πλήρως κατανοητές, τα επιστημονικά στοιχεία δείχνουν ότι είναι ένας αιτιώδης παράγοντας για την άνοδο της στάθμης της θάλασσας, την αυξημένη εμφάνιση σοβαρών καιρικών φαινομένων, την έλλειψη τροφίμων, την αλλαγή των μορφών ασθενειών, τις σοβαρές ελλείψεις νερού και την απώλεια τροπικών δασών.

Οι περισσότεροι ειδικοί συμφωνούν ότι τις επόμενες δεκαετίες, ο κόσμος θα υποστεί δυνητικά επικίνδυνες κλιματικές αλλαγές, οι οποίες θα έχουν σημαντικό αντίκτυπο σε σχεδόν κάθε πτυχή του περιβάλλοντος, των οικονομιών και των κοινωνιών μας. Οι αυξανόμενες ανησυχίες για την κλιματική αλλαγή και την ενεργειακή ασφάλεια, επέβαλλαν σε κάθε χώρα να καταβάλλει προσπάθειες για την αύξηση της ενεργειακής απόδοσης και τη μετάβαση σε νέες και ανανεώσιμες τεχνολογίες ενέργειας.

Στο πλαίσιο αυτό, λαμβάνοντας υπόψη τη συνεχιζόμενη αύξηση των πληθυσμών των πόλεων παγκοσμίως, κρίνεται επιτακτική η ανάλυση και αξιοποίηση των Συστημάτων Διαχείρισης

Ενέργειας Κτιρίων, τα οποία έχουν αποκτήσει μεγάλη σημασία ανά τον κόσμο. Ο μεγάλος αριθμός κακώς σχεδιασμένων και κατασκευασμένων κτιρίων κυρίως στα μεγάλα αστικά κέντρα, έχει ως συνέπεια τη χρήση όλο και περισσότερης ενέργειας, προκαλώντας τη συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση παραγωγής ενέργειας, εκτινάσσοντας το κόστος για τους καταναλωτές και συμβάλλοντας στην υπερθέρμανση του πλανήτη. Η μείωση της χρήσης ενέργειας στα κτίρια είναι ένας από τους πιο σημαντικούς τρόπους μείωσης των συνολικών περιβαλλοντικών και οικονομικών επιπτώσεων.

### **Σκοπός**

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι, λαμβάνοντας ως δεδομένα την οικονομική κατάσταση των κρατών σε συνδυασμό με τις προκλήσεις στο σύγχρονο γεωπολιτικό περιβάλλον, να τονιστεί η ανάγκη αξιοποίησης της ενεργειακής παρακολούθησης και του υπολογισμού του ανθρακικού αποτυπώματος, με τη χαρτογράφηση της χρήσης ενέργειας και των εκπομπών άνθρακα στις κατασκευές, προκειμένου να μειωθεί η σπατάλη ενέργειας από την πηγή παροχής έως την τελική χρήση, καθώς τη μείωση των σχετικών αέριων θερμοκηπίου (Greenhouse Gas-GHG) που εκπέμπονται μέσω της καύσης.

### **Διατύπωση Θέσης**

Τα ενεργειακά και περιβαλλοντικά προβλήματα συνδέονται στενά, καθώς είναι σχεδόν αδύνατο να παραχθεί, να μεταφερθεί ή να καταναλωθεί ενέργεια χωρίς σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Οι επιπτώσεις που σχετίζονται άμεσα με την παραγωγή και κατανάλωση ενέργειας περιλαμβάνουν την ατμοσφαιρική ρύπανση, την κλιματική αλλαγή, τη ρύπανση των υδάτων, τη θερμική ρύπανση και τη διάθεση στερεών αποβλήτων. Ειδικά η εκπομπή ατμοσφαιρικών ρύπων από την καύση ορυκτών καυσίμων, αποτελεί την κύρια αιτία της αστικής ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Παράλληλα όμως, οι εθνικές οικονομίες, οι επιχειρήσεις και τα νοικοκυριά, βρέθηκαν να αντιμετωπίζουν μια πολύ σοβαρή διεθνή ενεργειακή κρίση, με τη συζήτηση στη δημόσια σφαίρα να εξαντλείται στην καθημερινή έκρηξη του ενεργειακού κόστους που σπάει το ένα ρεκόρ μετά το άλλο, αλλά και στην αδυναμία προσδιορισμού ορατού χρονικού σημείου αποκλιμάκωσης, με αποτέλεσμα την εμφάνιση ταυτόχρονα μιας κρίσης οικονομικοκοινωνικής φύσεως.

Οι κτιριακές κατασκευές συγκαταλέγονται στις δραστηριότητες με το μεγαλύτερο ίχνος

άνθρακα. Η ανάδειξη του μέγεθος του αποτυπώματος άνθρακα στην κατασκευή, από το σχεδιασμό έως τη λειτουργία, από τη διαχείριση κατά την κατασκευή έως τη λειτουργία και τη συντήρηση, καθώς και κατά τις φάσεις αποδόμησης στο τέλος του κύκλου ζωής τους, αποσκοπεί στην ευαισθητοποίηση όλων περί των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των κατασκευών.

Υιοθετώντας τις πρόσφατες εξελίξεις σχετικά με τις στρατηγικές μείωσης του αποτυπώματος άνθρακα με τη χρήση εναλλακτικών προσθέτων σε οικοδομικά υλικά, βελτιώσεις στο σχεδιασμό, ανακύκλωση απορριμμάτων κατασκευών, προώθηση της χρησιμότητας εναλλακτικών υδάτινων πόρων καθώς και αύξηση της αποτελεσματικότητας των τεχνολογιών κτιριακών συστημάτων, είναι εφικτό να μειωθούν δραστικά οι εκπομπές CO<sub>2</sub> σε διαφορετικά στάδια στις κατασκευαστικές και οικοδομικές εργασίες με ταυτόχρονη εξοικονόμηση τεράστιων ποσοτήτων ενέργειας.

### **Βάση της Έρευνας**

Στην παρούσα έρευνα λαμβάνεται ως δεδομένο η πρόσφατη ενεργειακή κρίση η οποία επανάφερε μια παλιά πρόκληση στην Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ), τον πληθωρισμό. Η αύξηση των τιμών προκαλεί μεγάλη οικονομική δυσπραγία για έκαστο κράτος μέλος, ιδιαίτερα σε εκείνα που χαρακτηρίζονται με ισχυρή εξάρτηση από τις εισαγωγές αέριου.

Θέτοντας ως θέμα για μελέτη κατά πόσο η ενεργειακή στρατηγική των ισχυρών παραγόντων της ΕΕ έρχεται σε αντίθεση με την ίδια την πολιτική στην οποία βασίζεται το όραμα δημιουργίας της, θα πρέπει να εξετασθούν, να αξιολογηθούν και να προταθούν νέες συγκεκριμένες δράσεις, για την αντιμετώπιση των συνεπειών της σύγχρονης και ιδιόμορφης αυτής κατάστασης, για τον περιορισμό των οικονομικών επιπτώσεων στους πολίτες, μέσω της μείωσης του ενεργειακού αποτυπώματος και της ανάπτυξης εναλλακτικών μορφών παραγωγής ενέργειας.

Η υπάρχουσα κατάσταση θεωρείται ότι δεν θα μεταβληθεί άμεσα παρά τις συνεχώς αυξανόμενες αντιπαραθέσεις για την ενεργειακή ασφάλεια, αλλά και την παγκόσμια οικονομία. Το πρόσφατο χρονικό πλαίσιο των εξελίξεων, συνεπάγει την αναγκαιότητα χρήσης ερευνών που έχουν διεξαχθεί από επιστημονικά περιοδικά ή επίσημους φορείς, των οποίων τα αποτελέσματα εκμαιεύονται από δημοσιογραφικές πηγές του διαδικτύου. Από το πλήθος των πηγών έχουν επιλεγεί έγκριτες εφημερίδες και επίσημες δημοσιεύσεις διεθνώς αναγνωρισμένων οργανισμών.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ Α

### ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ

#### Γενικά

Σύμφωνα με την παγκόσμια ενεργειακή πρακτική, ο δείκτης χρήσης ενέργειας μιας χώρας δείχνει τη συνολική της ανάπτυξη και αποτυπώνει την πίεση στο σύστημα παραγωγής ενέργειας για μεγαλύτερες απαιτήσεις ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό οδήγησε στη διενέργεια περιοδικά μιας διαδικασίας ενεργειακού ελέγχου και στην εφαρμογή μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας, προκειμένου να δύναται να αποτυπώνεται ο ρυθμός της ενεργειακής παραγωγής και οι επιπτώσεις του (OECD/IEA, 2014) .

Σε παγκόσμιο επίπεδο, η παραγωγή ενέργειας εξαρτάται από συμβατικές πηγές και συγκεκριμένα από θερμικές, υδροηλεκτρικές και πυρηνικές. Πέραν όμως της εξασφάλισης της απαιτούμενης ενέργειας, η κύρια συνέπεια της χρήσης των συμβατικών πηγών είναι οι υπερβολικές εκπομπές σε διάφορες μορφές. Επιπλέον, η συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις σε ενέργεια οδηγούν σε υπερκατανάλωση των ορυκτών καύσιμων, των οποίων η εξάντληση είναι πλέον ορατή και μαθηματικά οδηγούν σε μια παγκόσμια ενεργειακή κρίση στο εγγύς μέλλον (Carrasco J. F., 2014).

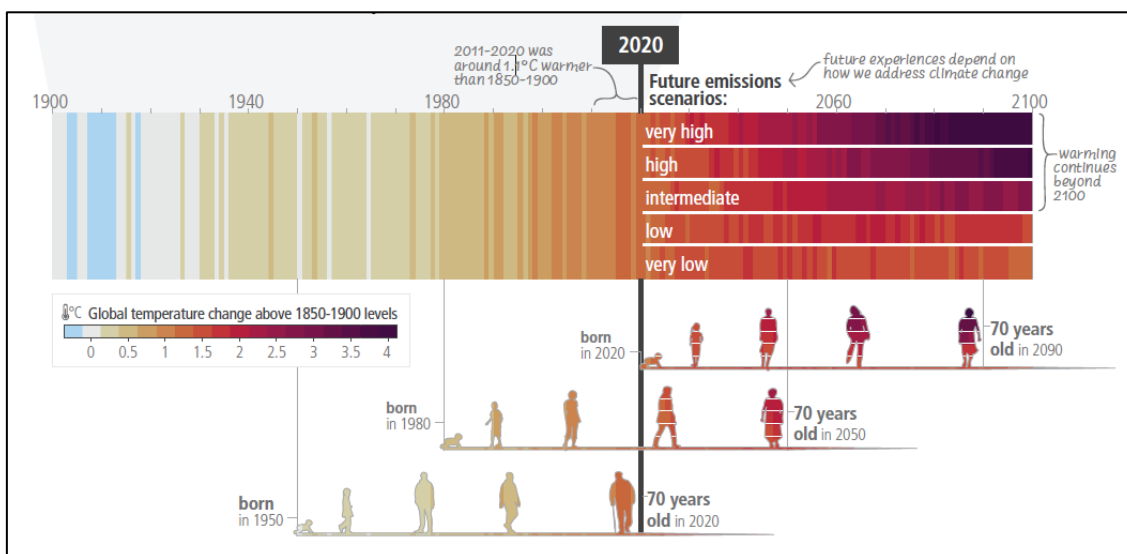
Η χρήση ορυκτών καυσίμων παράγει, παράλληλα με την αναγκαία ενέργεια, απόβλητα και εκπομπές αερίων, γεγονός που προκαλεί ανησυχία καθώς εγκυμονούν κινδύνους για το περιβάλλον αλλά και την υγεία του ανθρώπου. Οι επιπτώσεις από τη διαδικασία παραγωγής και των επακόλουθων εκπομπών από την ενέργεια είναι κυρίως η μόλυνση του εδάφους και του νερού, οι κλιματικές αλλαγές, η όξινη βροχή, εμφάνιση νέων ασθενειών και επιδείνωση της υγείας κ.α.

Η σημαντικότερη προσπάθεια παγκοσμίως για τον μετριασμό των επιπτώσεων ήταν με το πρωτόκολλο του Κιότο (1997), το οποίο δημιουργήθηκε ως συνέχεια της Σύμβασης-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την κλιματική αλλαγή (1992), σύμφωνα με το οποίο καταχωρούνται και συγκρίνονται συγκεκριμένοι δείκτες και βάση αυτών λαμβάνονται μέτρα για να μετριαστούν οι επιπτώσεις στο περιβάλλον (Van der Mensbrugge D., 1998).

#### Κλιματική Κρίση

Η παγκόσμια μέση θερμοκρασία της επιφάνειας της γης έχει ήδη αυξηθεί κατά περίπου 1,1

βαθμούς Κελσίου (°C) σε σύγκριση με τον μέσο όρο κατά την προβιομηχανική περίοδο 1850–1900, ενισχύοντας τη συχνότητα και τη σοβαρότητα εμφάνισης κλιματικών σοκ σε όλο τον κόσμο. Ο κίνδυνος ακραίων καιρικών φαινομένων, όπως κύματα καύσωνα, πυρκαγιές, ξηρασίες, πλημμύρες, και ισχυρές καταιγίδες, προβλέπεται να αυξηθούν τον επόμενο αιώνα κατά μέσο όρο παγκοσμίως, ενώ η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας θα φτάσει έως και 4°C κατά τη διάρκεια του αιώνα.

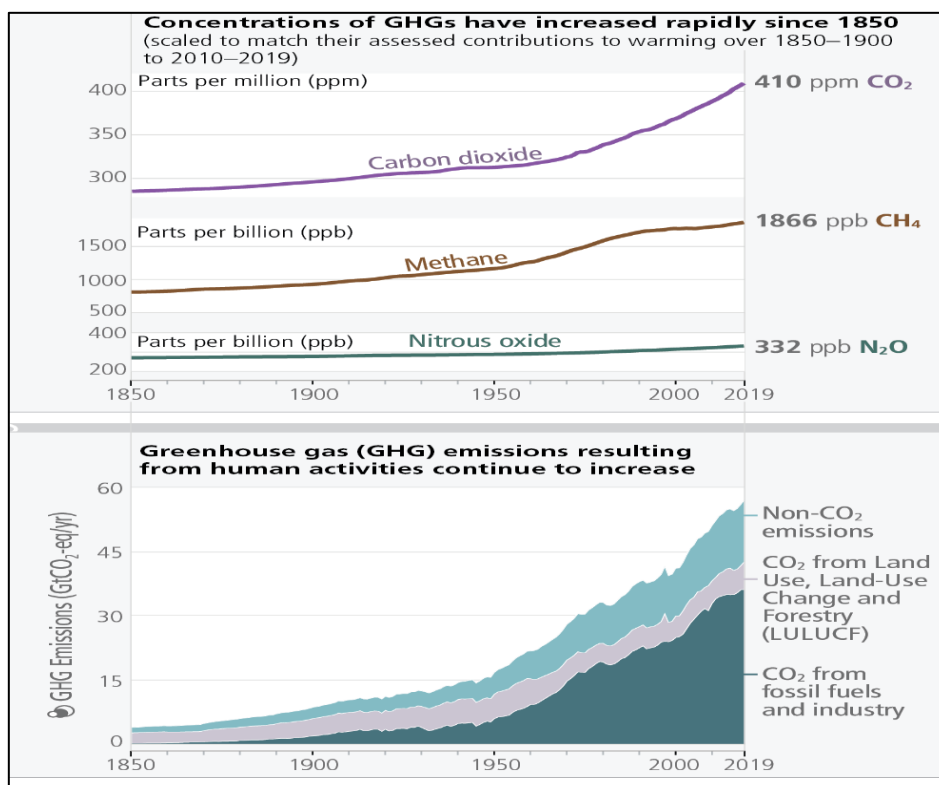


**Εικόνα 1:** Μεταβολή της παγκόσμιας θερμοκρασίας πάνω από τα επίπεδα 1850-1900. Ο βαθμός στον οποίο θα το βιώσουν οι σημερινές και οι μελλοντικές γενιές (Πηγή IPCC\_AR6\_2023)

Σύμφωνα με την τελευταία αξιολόγηση, εάν οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (GreenHouse Gas – GHG) συνεχίσουν να παράγονται με τον υπάρχοντα ρυθμό, η υπερθέρμανση του πλανήτη προβλέπεται να φθάσει τους 4-6°C έως το 2100, μια άνευ προηγουμένου αύξηση θερμοκρασίας, η οποία υπολογίζεται ότι θα συνεπιφέρει μεγάλες και μη αναστρέψιμες περιβαλλοντικές αλλαγές. Αλλαγές που δεν έχουν εντοπιστεί στην ιστορία της γης εδώ και εκατομμύρια έτη, απειλούν μέσα σε 100 χρόνια με καταστροφή εκτεταμένες περιοχές παγκοσμίως, καθιστώντας πολλές από αυτές μη βιώσιμες (IPCC AR6, 2023).

Αν και έγιναν προσπάθειες παγκοσμίως να μειωθούν οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), όπως με τη Σύμβαση – Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών (1992) και το Πρωτόκολλο του Κιότο (1997), η τελευταία έκθεση του IPCC υπολόγισε ότι από τις παρατηρούμενες αυξήσεις στις συγκεντρώσεις GHG από το 1850 έως το 2019 περισσότερο από το ήμισυ (58%) σημειώθηκε μεταξύ 1850 και 1989 και περίπου το 42% μεταξύ 1990 και 2019. Το 2019, οι ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις CO<sub>2</sub> (410 μέρη ανά εκατομμύριο) ήταν οι υψηλότερες εδώ και

τουλάχιστον 2 εκατομμύρια χρόνια. (IPCC AR6, 2023). Η συνεχιζόμενη αυτή αύξηση οδήγησε 196 Κράτη – Μέλη να δεσμευτούν εκ νέου στη Διάσκεψη του ΟΗΕ για την Κλιματική Αλλαγή στο Παρίσι το 2015, γνωστή και ως Συμφωνία του Παρισιού, να μειώσουν κατά 43% έως το 2030 τις εκπομπές GHG (UNFCCC, 2015).



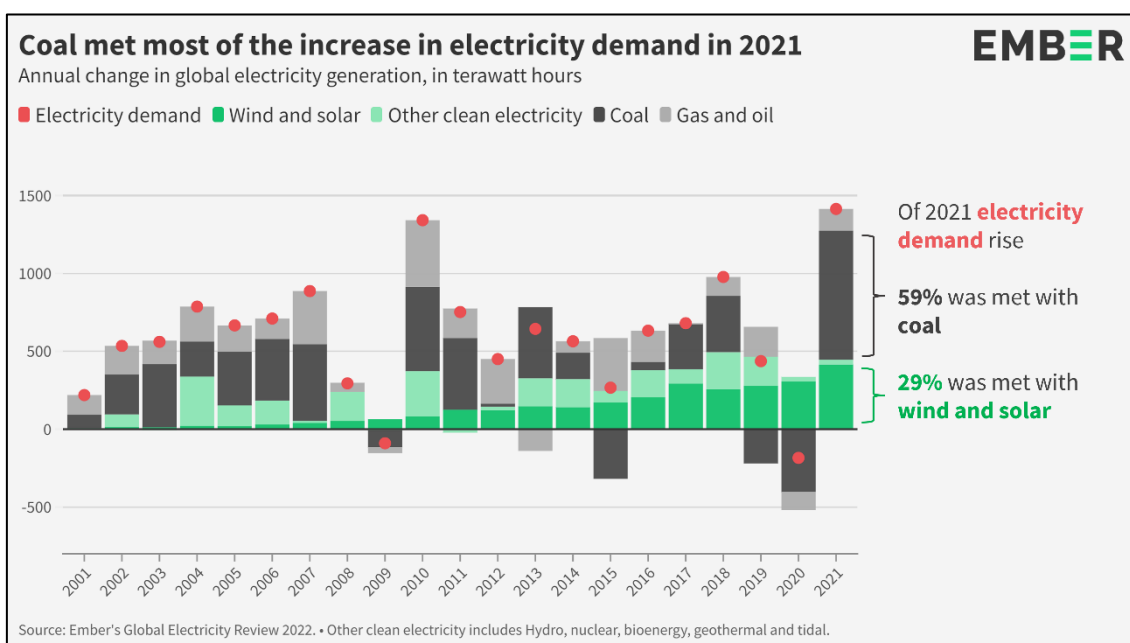
**Εικόνα 2:** Μεταβολή της παγκόσμιας θερμοκρασίας και των εκπομπών GHG από τις δραστηριότητες του ανθρώπου (Πηγή IPCC\_AR6\_2023)

Είναι απαραίτητο να γίνουν αντιληπτές οι συνέπειες αυτού του είδους. Οι επιπτώσεις στη γη, η όξινη βροχή, η καταστροφή του στρώματος του όζοντος, η καταστροφή του οικοσυστήματος και η αλόγιστη εκπομπή αερίων στην ατμόσφαιρα πρέπει να αντιμετωπιστούν χωρίς συμβιβασμούς (Saritha Rani K., 2014). Συνεπώς, η ανάπτυξη και αντικατάσταση των συμβατικών συστημάτων από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν χρειάζεται περαιτέρω αιτιολόγηση και η επένδυση σε αυτές θα εξασφαλίσει το μέλλον των επόμενων γενεών.

Τα συμβατικά συστήματα παραγωγής χρησιμοποιούν κυρίως κάρβουνο, πετρέλαιο ή αέριο ως καύσιμο. Το καύσιμο καίγεται για τη λειτουργία του στροβίλου και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι συνήθεις προκλήσεις που εμφανίζονται από τη χρήση αυτών των καυσίμων για το περιβάλλον είναι κατά την εξαγωγή, τη μεταφορά και τον χειρισμό τους, την απόρριψη των αποβλήτων υλικών και τον έλεγχο των εκπομπών, καθώς και τη χρήση της «καθαρού άνθρακα»



τεχνολογίας. Όσον αφορά την υδροηλεκτρική ενέργεια, απαιτείται κατάλληλη πηγή παροχής και επαρκής λεκάνη απορροής που έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή και την αλλαγή της βιοποικιλότητας και του οικοσυστήματος. Τα συστήματα πυρηνικής ενέργειας είναι οικονομικά αποδοτικά αλλά έχουν μεγαλύτερες προκλήσεις και σοβαρές επιπτώσεις σε περίπτωση διαρροής ραδιενεργών αποβλήτων όπως στην περίπτωση του Τσερνόμπιλ της Ουκρανίας ή της Φουκουσίμα της Ιαπωνίας (Καρασαρίνης Μ., 2022). Παρόλες τις προσπάθειες των Ηνωμένων Εθνών για την προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η παγκόσμια κατανάλωση και παραγωγή ενέργειας από συμβατικές πηγές συνεχίζει να έχει ανοδικές τάσεις (Εικόνα 3).



**Εικόνα 3:** Απαιτήσεις σε ηλεκτρική ενέργεια παγκοσμίως ανά πηγή από το 2001 έως το 2021 (Πηγή EMPER\_2022)

Εξαιτίας της συνεχώς αυξανόμενης ζήτησης το υπάρχον σύστημα παραγωγής ενέργειας αντιμετωπίζει την πρόκληση της αδιάκοπης παροχής των απαιτούμενων φορτίων. Στα αίτια που μετέτρεψαν σε πρόκληση την αδιάκοπη παροχή μπορούν να συγκαταλεχθούν η δυσκολία ή το κόστος εξόρυξης του ακατέργαστου καυσίμου, η επεξεργασία του αναλόγως της φύσης και της ποιότητάς του, η ζήτηση, αλλά και οι γεωστρατηγικές σκοπιμότητες. Από αυτή την άποψη, η παραγωγή ενέργειας από τα συμβατικά συστήματα με τα γνωστά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της οφείλει να αντικατασταθεί εν μέρει από νέα συστήματα ανανεώσιμων πηγών.

Η ζήτηση ενέργειας συνδέεται άμεσα με τις αλλαγές στις καιρικές και κλιματικές συνθήκες. Ενώ οι αυξημένες απαιτήσεις σε ενέργεια είναι από τις κύριες πηγές εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, η θεμελιώδης στρατηγική του ανθρώπινου είδους είναι να προσαρμόζονται στην κλιματική αλλαγή και στα ακραία καιρικά φαινόμενα, αυξάνοντας τη χρήση ενέργειας, δημιουργώντας με αυτόν τον τρόπο έναν φαύλο κύκλο. Για παράδειγμα στην περίπτωση που εμφανίζονται συνεχιζόμενες υψηλότερες μέσες θερμοκρασίες, η κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση θα μειωνόταν, η χρήση ενέργειας όμως για ψύξη θα παρουσίαζε αύξηση.

Επομένως, δεν είναι σαφές εάν στο μέλλον η κατανάλωση ενέργειας δύναται να αυξηθεί ή να μειωθεί. Στον τομέα της κατοικίας, σημαντικές αλλαγές παρατηρούνται στην κατανάλωση κατά τις μεταβατικές εποχές της άνοιξης και του φθινοπώρου. Ομοίως, η ευαισθησία των ίδιων των καύσιμων στις κλιματικές αλλαγές ποικίλει, όπως η συμπεριφορά τους κατά την έκθεση σε χαμηλές θερμοκρασίες, με αποτέλεσμα να υπάρχουν χώρες οι οποίες ενώ χρησιμοποιούν στο σύστημα θέρμανσης κυρίως φυσικό αέριο ή μαζούτ να κάνουν χρήση θερμοστρών ηλεκτρικής ενέργειας ως προσωρινές λύσεις όταν το κύριο σύστημα θέρμανσης είναι απενεργοποιημένο, ενώ υπάρχουν και χώρες, όπως η Νορβηγία που οι ακραίες θερμοκρασίες οδήγησαν τις κατοικίες και τα κοινόχρηστα κτίρια να χρησιμοποιούν ως επί το πλείστον ηλεκτρική ενέργεια για θέρμανση (Schaeffer R. et al., 2012).

### **Η ενέργεια ως γεωστρατηγική πρόκληση**

Η εξασφάλιση συνεχούς και οικονομικώς προσιτής διανομής ενέργειας αποτελεί σήμερα μια παγκόσμια πρόκληση και αποτελεί αναπόσπαστο στοιχείο για μια επιτυχημένη ενεργειακή μετάβαση και περιβαλλοντική βιωσιμότητα, μέσω του μετριασμού της κλιματικής αλλαγής. Η τρέχουσα ενεργειακή κρίση προκαλεί πληθωρισμό, επιβραδύνοντας την οικονομική ανάπτυξη και συμβάλλοντας στην κοινωνική αναταραχή.

Η συνεχιζόμενη κρίση οδήγησε όλες τις χώρες να προβούν σε άμεση εφαρμογή μέτρων αντιμετώπισης. Ορισμένες από τις επιλογές των χωρών, όπως η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και η αύξηση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, θα αποδειχθούν επωφελής στο πλαίσιο μιας ευρύτερης ενεργειακής μετάβασης. Άλλες όμως πρακτικές, όπως η αύξηση χρήσης άνθρακα για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και οι ευρείας βάσης επιδοτήσεις στην κατανάλωση, θέτουν μακροπρόθεσμα τη μετάβαση σε κίνδυνο, θέτοντας τις χώρες πιο ευάλωτες σε μελλοντικές κρίσεις και μετατρέποντας σε απρόσιτους τους στόχους για το παγκόσμιο κλίμα.

Η ενεργειακή κρίση τονίζει τον αντίκτυπο που προκάλεσαν οι τάσεις και διαρθρωτικές προκλήσεις δεκαετιών στην κατασκευή. Είναι συνέπεια παραγόντων που προκάλεσαν οι μειωμένες επενδύσεις στο ενεργειακό σύστημα και στη μετάβασή του σε ανανεώσιμες πηγές, καθώς και οι κραδασμοί που προκαλούν διάφορα παγκόσμια φαινόμενα, όπως με τον COVID-19. Η παγκόσμια πανδημία οδήγησε σε ιστορικά απότομη πτώση της ενεργειακής ζήτησης και τις επενδύσεις το 2020. Ενώ μετά την πανδημία η ζήτηση το 2021 ανέκαμψε, η παγκόσμια προσφορά ενέργειας και οι επενδύσεις δεν μπόρεσαν να συμβαδίσουν. Ακραία καιρικά φαινόμενα που προκαλούνται από τις κλιματικές αλλαγές, όπως για παράδειγμα πυρκαγιές, καύσωνες, ξηρασίες αλλά και πλημμύρες επιβάρυναν περαιτέρω τις συμβατικές ενεργειακές υποδομές.

Οι αγορές και τα συστήματα ενέργειας ήταν επομένως ήδη υπό πίεση όταν η Ρωσία ξεκίνησε τον πόλεμο κατά της Ουκρανίας. Τα κύματα του πολέμου έγιναν αισθητά παντού, διασύνδεσαν τις αγορές ενέργειας και οδήγησαν σε μια παγκόσμια ενεργειακή κρίση με σοβαρές οικονομικές συνέπειες. Οι βραχυπρόθεσμες απόπειρες αντιμετώπισης της κρίσης ωθήσαν τις παγκόσμιες εκπομπές του CO<sub>2</sub> σε υψηλά επίπεδα ρεκόρ (European Commission Press Release, 2023), καθώς αρκετές χώρες έχουν επιστρέψει στον άνθρακα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε μια προσπάθεια εξοικονόμησης του φυσικού αερίου τους για άλλες χρήσεις. Οι πολιτικές για τον μετριασμό των επιπτώσεων της αύξησης των τιμών της ενέργειας έχουν πιέσει τους προϋπολογισμούς των κρατών οδηγώντας σε αυξημένη ανάγκη περικοπής ενέργειας.

Η ενεργειακή ασφάλεια προϋποθέτει μια επιστροφή σε κάποια μορφή κανονικότητας, το 2023 αποδεικνύεται και πάλι μια χρονιά γεμάτη προκλήσεις. Οι συνέπειες της εισβολής της Ρωσίας στην Ουκρανία θα συνεχίσουν να επηρεάζουν για τα επόμενα χρόνια την παγκόσμια αγορά πετρελαίου και φυσικού αερίου. Η αυξανόμενη φιλοδοξία για μετάβαση προς ένα πιο πράσινο ενεργειακό σύστημα βρίσκεται αντιμέτωπη με κλειστές ανεφοδιαστικές αλυσίδες, παγκόσμιο πληθωρισμό και προβληματική χρηματοδότηση της ενεργειακής μετάβασης στον αναπτυσσόμενο κόσμο. Η αναποτελεσματικότητα της Δύσης στις προσπάθειες περικοπής των ρωσικών ενεργειακών εσόδων, οδηγεί την Ευρώπη να σχινοβατεί ανάμεσα στην εξασφάλιση του άμεσου ενεργειακού εφοδιασμού και τη φιλοδοξία οι προσπάθειες για κλιματική αλλαγή να συμπεριλάβουν οφέλη για τους φτωχούς και αδύναμους (Karaian J., Russell K., 2022).

Το «ενεργειακό τρίλημμα» είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται συχνά για να περιγράψει την πρόκληση της παροχής βιώσιμης, ασφαλούς και οικονομικά προσιτής ενέργειας. Η έμφαση τα

τελευταία χρόνια, ιδιαίτερα από τις χώρες του Οργανισμού Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (ΟΟΣΑ), ήταν για τη βιωσιμότητα. Για παράδειγμα, το πρόγραμμα της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) «Fit for 55» υπόσχεται μείωση κατά 55% στις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου έως το 2030, με όραμα για καθαρές μηδενικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου έως το 2050 (Erbach G., Jensen L., 2022), με τις Ηνωμένες Πολιτείες να παρουσιάζουν παρόμοιους στόχους. Η κατακόρυφη πτώση του κόστους στην εκμετάλλευση ανανεώσιμων πηγών ηλεκτρικής ενέργειας έχουν κάνει αυτούς τους στόχους ακόμα πιο προσιτούς. Μεταξύ 2010 και 2020, το κόστος της ηλιακής ηλεκτρικής ενέργειας μειώθηκε κατά 85% ενώ της αιολικής κατά 56%. Η ηλεκτρική ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές σήμερα είναι συχνά φθηνότερη στην παραγωγή από ό,τι η ηλεκτρική ενέργεια από ορυκτά καύσιμα (Chestney N., 2021).

Ωστόσο, με την εισβολή της Ρωσίας στην Ουκρανία, που ξεκίνησε τον Φεβρουάριο του 2022, το σκέλος του τριλήμματος για ασφάλεια της ενέργειας επανήλθε στο προσκήνιο. Η κατάσταση που προέκυψε στις αγορές ενέργειας διαφέρει από τις προηγούμενες κρίσεις, ανατρέποντας τις παλιές ιδέες για την ενεργειακή ασφάλεια. Πριν από την εισβολή, η Ρωσία ήταν η μεγαλύτερη εξαγωγέας ορυκτών καυσίμων στον κόσμο. Σήμερα, οι αγοραστές ενέργειας του δυτικού κόσμου προσπαθούν να αποδεσμευθούν από τη ρωσική προμήθεια για να αποτρέψουν τη χρηματοδότηση του πολέμου στην Ουκρανία από τα ενεργειακά κέρδη. Αυτή η προσπάθεια είναι άνευ προηγουμένου και αν επιτύχει, ο ρόλος της Ρωσίας ως ενεργειακή υπερδύναμη μπορεί να πλησιάζει σε ένα πρόωρο τέλος.

Οι παγκόσμιες αγορές πετρελαίου βιώνουν κάτι εντελώς πρωτόγνωρο. Για πρώτη φορά, οι μεγαλύτερες στον κόσμο οικονομίες έχουν επιβάλει κυρώσεις σε μεγάλο παραγωγό πετρελαίου. Οι καταναλωτές πετρελαίου οπλοποιούν τη ζήτηση για πετρέλαιο για μείωση των κερδών της Ρωσίας και κατ' επέκταση μείωση της διαθέσιμης χρηματοδότησης της εισβολής. Αυτή η κατάσταση δεν μοιάζει καθόλου με το εμπάργκο του 1973, όταν τα αραβικά κράτη του Κόλπου διέκοψαν τη προμήθεια πετρελαίου ως τιμωρία των δυτικών κρατών για την υποστήριξή τους στο Ισραήλ κατά τον πόλεμο του Γιομ Κιπούρ.

Παρόλο που από τους πρώτους μήνες της σύγκρουσης πολλοί δυτικοί αγοραστές απομακρύνθηκαν από το ρωσικό πετρέλαιο μετά την εισβολή, άλλοι (κυρίως η Κίνα και η Ινδία) συνέχισαν να αγοράζουν πετρέλαιο από τη Ρωσία με έκπτωση. Η αύξηση των τιμών του πετρελαίου παγκοσμίως σήμαινε ότι ακόμη και με μειωμένες πωλήσεις, αυξήθηκαν τα έσοδα της Ρωσίας από το πετρέλαιο. Ως απάντηση στα συνεχιζόμενα κέρδη πετρελαίου της Ρωσίας, η

Ευρωπαϊκή Ένωση, οι χώρες της G7 και η Αυστραλία τον Δεκέμβριο του 2022 απαγορεύσαν τις εισαγωγές ρωσικού πετρελαίου δια θαλάσσης και στις εταιρείες τους να χρηματοδοτήσουν και να ασφαλίσουν ρωσικά φορτία πετρελαίου, εκτός αν το πετρέλαιο διατίθεται με κάτω από ένα καθορισμένο ανώτατο όριο τιμής (Cooper C., 2022).

Η λογική πίσω από αυτή την πολιτική είναι ότι ο κόσμος θέλει το ρωσικό πετρέλαιο να φτάσει στην αγορά για να αποφευχθούν οι πολύ υψηλές τιμές, αλλά οι δυτικές χώρες δεν θέλουν να χρηματοδοτήσουν με τα κέρδη από το πετρέλαιο τις επιθέσεις της Ρωσίας στην Ουκρανία. Από μία άποψη, το ανώτατο όριο τιμής είναι ένα παράθυρο στις κυρώσεις για τη Ρωσία, που έχει σχεδιαστεί για να μην εμποδίζει τις ρωσικές πωλήσεις πετρελαίου, αλλά αντιθέτως να τις ενθαρρύνει. Ακόμη και στις χώρες που δεν συμμετέχουν στις κυρώσεις, ένα ανώτατο όριο που μειώνει την τιμή που πληρώνουν για το ρωσικό αργό πετρέλαιο θα βρει υποστηρικτές.

Είναι ακόμα ασαφές πώς θα εξελιχθεί αυτή η πολιτική. Η επιβολή ενός ανώτατου ορίου τιμής είναι δύσκολη και περίπλοκη καθώς βασίζεται στο κάθε ένα συμβαλλόμενο μέλος της αλυσίδας εφοδιασμού να πιστοποιήσει τη συμμόρφωση. Η διαπραγμάτευση του ρωσικού αργού πετρέλαιο τύπου Urals κυμαίνεται ήδη σε τιμή κάτω από το πλαφόν, καθιστώντας το ασύνδετο με τα επίπεδα κερδών της Ρωσίας. Ωστόσο, οι εξαγωγές ρωσικού πετρελαίου μειώθηκαν ελαφρά κατά τον πρώτο μήνα εφαρμογής του ανώτατου ορίου και τα συνολικά ρωσικά έσοδα μειώθηκαν κατά 3 δισεκατομμύρια δολάρια, σχεδόν 20% σε σχέση με τον προηγούμενο μήνα (IEA, 2023). Αυτή η μείωση οφείλεται στο ότι η αγορά αργού πετρελαίου είναι σχετικά καλά εφοδιασμένη. Η τιμή αναφοράς του πετρελαίου Brent υποχώρησε στην Ευρώπη περίπου 50\$ από την τιμή των 130\$ ανά βαρέλι τον Ιούνιο του 2022 (Kelly S., 2023). Η συμμόρφωση των αγοραστών με το ανώτατο όριο τιμής θα ήταν πιο δυσχερής, αν όχι ανεφάρμοστη, σε μια αγορά με περιορισμένη δυνατότητα προμήθειας σε σχέση με τη ζήτηση.

Τον Ιανουάριο του 2023, το 30% των ρωσικών αποστολών πετρελαίου εξακολουθούσε να μεταφέρεται με ευρωπαϊκά δεξαμενόπλοια, αριθμός μειωμένος περίπου στο μισό σε σχέση με πριν από την εφαρμογή των κυρώσεων, καθώς η Ρωσία αύξησε τα δικά της πλοία στο 35%, από 22% που χρησιμοποιούσε πριν την εφαρμογή των κυρώσεων (Lee J., 2023). Το γεγονός ότι το πετρέλαιο μεταφέρεται από ευρωπαϊκά δεξαμενόπλοια είναι σημάδι ότι οι κυρώσεις και το ανώτατο όριο τιμών πιθανόν να λειτουργήσουν όσο το ρωσικό πετρέλαιο φτάνει στην αγορά μέσω πλοίων καθεστώτων που υποστηρίζουν τις κυρώσεις και πιθανώς σε τιμές κάτω από το ανώτατο όριο. Ωστόσο, ως αντίποινα για τις κυρώσεις, η Ρωσία δήλωσε ότι προτίθεται να

διακόψει τις αποστολές πετρελαίου σε χώρες που θα τηρήσουν το ανώτατο όριο τιμών από 01 Φεβρουαρίου 2023, ενώ στη συνέχεια ανακοίνωσε μείωση της παραγωγής κατά 500.000 βαρέλια την ημέρα για τον Μάρτιο 2023 (Griffin R., Wang H., 2023). Η Ρωσία αύξησε επίσης τις πωλήσεις της σε χώρες που δεν εφαρμόζουν το ανώτατο όριο, συμπεριλαμβανομένων της Κίνας, της Ινδίας και της Τουρκίας. Ο Βοηθός Υπουργός Εξωτερικών των ΗΠΑ για τους Ενεργειακούς Πόρους, Geoffrey Pyatt, δήλωσε πρόσφατα ότι η Ινδία αγοράζει πετρέλαιο από τη Ρωσία με έκπτωση περίπου 15 δολάρια το βαρέλι, αποτέλεσμα που θεωρεί επιτυχές (Verma M., 2023).

Μια επιπλέον δέσμη κυρώσεων τέθηκε σε ισχύ στις 5 Φεβρουαρίου 2023 όταν τα ρωσικά εξευγενισμένα προϊόντα συμπεριλήφθηκαν στις κυρώσεις και το ανώτατο όριο τιμής (Northam J., 2023). Αυτό θα μπορούσε να γίνει για τη Ρωσία μια ακόμα πιο απαιτητική πρόκληση σε σχέση με τις κυρώσεις στα ακατέργαστα προϊόντα που έχουν εφαρμοστεί μέχρι σήμερα, ειδικά για το ντίζελ. Παγκοσμίως οι αγορές καυσίμου ντίζελ είναι πολύ περιορισμένες και οι τιμές του ντίζελ αυξήθηκαν πολύ περισσότερο το 2022 σε σχέση με τις τιμές του αργού πετρελαίου. Η Ευρώπη θα μπορούσε να επηρεαστεί ιδιαίτερα καθώς η Ρωσία ήταν η πηγή περίπου του μισού ντίζελ που εισήγαγε η Ευρώπη (Preston K. 2023). Οι κυρώσεις και το ανώτατο όριο τιμών έχουν την δυνητικότητα να προκαλέσουν πολύ μεγαλύτερη αναστάτωση στη σφιχτή αγορά ντίζελ, όπου η Ρωσία έχει μεγαλύτερη επιρροή, παρά στην καλά εφοδιασμένη αγορά του αργού πετρελαίου. Η έλλειψη ζήτησης για ρωσικά εξευγενισμένα προϊόντα λόγω των κυρώσεων θα μπορούσαν να μειώσουν τη χρήση των ρωσικών διυλιστηρίων και την εσωτερική ζήτηση αργού πετρελαίου. Αυτό θα προκαλούσε το επιθυμητό αποτέλεσμα της μείωσης των ρωσικών εσόδων, αλλά και την ανεπιθύμητη επίδραση των παγκόσμιων αγορών για ζήτηση αργού πετρελαίου και διυλισμένων προϊόντων, προκαλώντας δυνητικά αύξηση στις τιμές και των δύο.

Ακόμα κι αν η Ρωσία διατηρήσει σε μεγάλο βαθμό τις πωλήσεις της σε πετρέλαιο και προϊόντα πετρελαίου, οι αγορές πετρελαίου αρχίζουν να διχάζονται ανάμεσα σε αυτούς που επιθυμούν να συνεχίσουν να προμηθεύονται ρωσικό πετρέλαιο και σε όσους θέλουν να το αποφύγουν, ακόμη και με κόστος για τον εαυτό τους. Αυτή η αλλαγή αναγκαστικά καθιστά την αγορά λιγότερο αποτελεσματική, καθώς τώρα ένα δεξαμενόπλοιο εκεί που συνήθιζε να μεταφέρει το ρωσικό πετρέλαιο στην Ευρώπη, τώρα είναι αναγκασμένο να κάνει ένα ιδιαίτερα μακρύ ταξίδι προς την Ινδία. Το μεγαλύτερο κόστος μεταφοράς επιβαρύνει εκ των πραγμάτων τις τιμές του ρωσικού αργού πετρελαίου, σε συνδυασμό και με το ανώτατο όριο τιμής. Όσο οι δυτικές χώρες μαθαίνουν σε μεγάλο βαθμό πώς να ζουν χωρίς το ρωσικό αργό πετρέλαιο και τα προϊόντα

πετρελαίου, αυτή η λιγότερο αποτελεσματική αγορά για το ρωσικό πετρέλαιο είναι πιθανό να συνεχίσει να συμπιέζει τα κέρδη της Ρωσίας για χρόνια, ίσως και πολύ μετά το τέλος του πολέμου στην Ουκρανία.

Η αβεβαιότητα σχετικά με τον ρωσικό εφοδιασμό είναι επί του παρόντος ανησυχητική για τις αγορές πετρελαίου, αλλά η προσφορά πετρελαίου κατά τη διάρκεια της ενεργειακής μετάβασης θα είναι μια ακόμα πιο δύσκολη επιχείρηση, με ή χωρίς τη Ρωσία. Το μέλλον της ζήτησης πετρελαίου είναι αβέβαιο καθώς η Ευρωπαϊκή Ένωση, οι Ηνωμένες Πολιτείες, η Κίνα και άλλες μεγάλες οικονομίες εργάζονται για τη μετάβαση στην ηλεκτροκίνηση στους κλάδους μεταφορών. Ο ρυθμός αυτής της μετάβασης είναι δύσκολο να προβλεφθεί, παρόλο που οι πολιτικές μεταφορών σίγουρα προσπαθούν να το επιβάλλουν, δημιουργώντας νέες προκλήσεις για τις επενδυτικές αποφάσεις των εταιρειών πετρελαίου. Επιπλέον, οι τράπεζες και οι εταιρίες επενδύσεων βρίσκονται υπό πίεση προκειμένου να μην δανειοδοτούν ή να έχουν στην κατοχή τους μετοχές στον τομέα του πετρελαίου και του φυσικού αερίου.

Η ενεργειακή μετάβαση περιγράφεται συχνά ως ένας τρόπος για να πάψει ο κόσμος να εξαρτάται από τις πλούσιες σε πετρέλαιο χώρες, ιδιαίτερα της Μέσης Ανατολής. Ειρωνικά ωστόσο, για τις επόμενες δεκαετίες ο κόσμος μπορεί εξαρτάται ακόμα περισσότερο από αυτές τις χώρες για να καλύψει τις υπολειπόμενες απαιτήσεις σε πετρέλαιο. Οι εθνικές εταιρείες πετρελαίου σε αυτές τις χώρες δεν εξαρτώνται από μετόχους ή τράπεζες για χρηματοδότηση και επίσης έχουν τα φθηνότερα αποθέματα πετρελαίου στον κόσμο. Συνεπώς, βρίσκονται σε πλεονεκτική θέση για να διατηρήσουν την παραγωγή σε αυτές τις αβέβαιες εποχές.

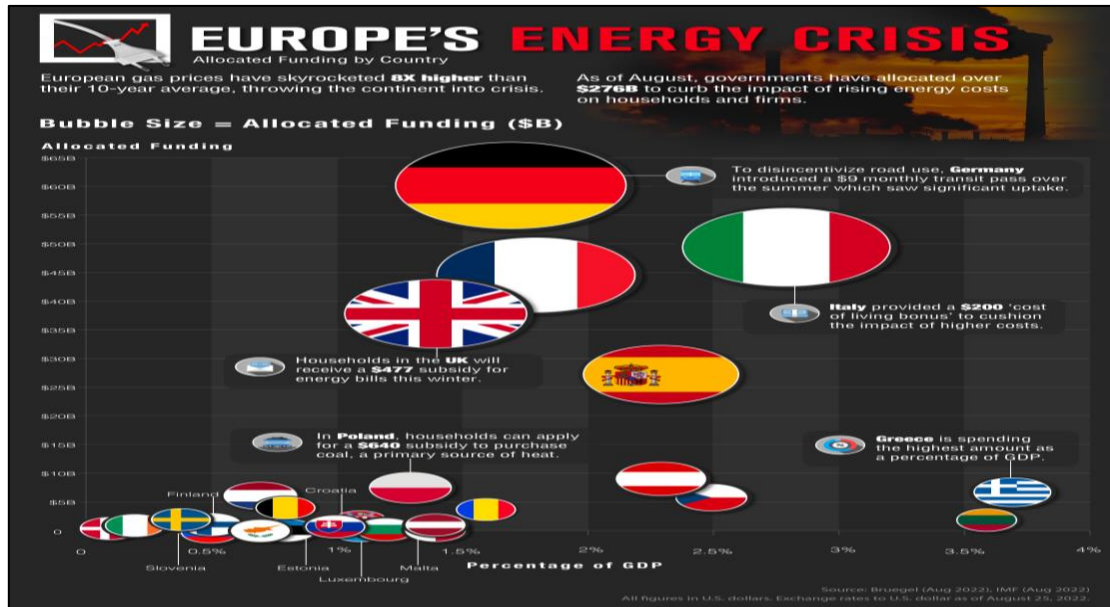
Η ρωσική εισβολή στην Ουκρανία έφερε επίσης την πρώτη παγκόσμια κρίση φυσικού αερίου. Προτού το υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG - Liquefied Natural Gas) να γίνει ευρέως εμπορεύσιμο, οι αγωγοί συνέδεαν πωλητές και αγοραστές φυσικού αερίου με μια μακροπρόθεσμα αποκλειστική σχέση. Ακόμη και μετά την έλευση του LNG, η χρήση των αγωγών παρέμεινε ιδιαίτερα σημαντική. Το 2020 οι αγωγοί παρείχαν περίπου τα τρία τέταρτα του εισαγόμενου φυσικού αερίου της Ευρώπης, κυρίως από τη Ρωσία. Οι Ηνωμένες Πολιτείες είχαν εκφράσει εδώ και καιρό την ανησυχία τους για την εξάρτηση της Ευρώπης από το ρωσικό αέριο, με αποκορύφωμα την αντίθεση των ΗΠΑ στο έργο κατασκευής του αγωγού Nord Stream 2 από τη Ρωσία στη Γερμανία (Goten G., 2021). Ωστόσο, το ρωσικό αέριο φαινόταν σε πολλούς στην Ευρώπη ως μεγάλη ευκαιρία, καθώς κινείται προς την ενεργειακή της μετάβαση. Σίγουρα, κάποιιοι ανησυχούσαν για την υπερβολική εξάρτηση από τη Ρωσία, αλλά οι αγωγοί ήταν ήδη

στο έδαφος, η παροχή είχε γίνει ως επί το πλείστο αξιόπιστη, και το αέριο ήταν σχετικά φθινό. Η Γερμανία, ειδικά, δεν σταμάτησε ποτέ να υποστηρίζει τον Nord Stream 2.

Η Ρωσία άρχισε να επιβραδύνει τις παραδόσεις φυσικού αερίου μέσω αγωγών προς την Ευρώπη το φθινόπωρο του 2021, πολύ πριν εισβάλει Ουκρανία. Η Γερμανία διέκοψε την πιστοποίηση του ολοκληρωμένου αγωγού Nord Stream 2 τον Φεβρουάριο του 2022, λίγο πριν την εισβολή, μια πράξη η οποία φάνταζε αδιανόητη κάποιες εβδομάδες πρωτύτερα (Marsh S., Chambers M., 2022). Τους επόμενους μήνες η ρωσική παροχή φυσικού αερίου στην Ευρώπη επιβραδύνθηκε σταδιακά, ως αντίποινα για την υποστήριξη της Ευρώπης προς την Ουκρανία. Ένα σαμποτάζ κατέστησε τον αγωγό Nord Stream 1 μη λειτουργικό, χωρίς να αποδειχθεί ποιος είχε την ευθύνη για αυτή την πράξη. Παρόλα αυτά, ο αγωγός Nord Stream 2 από Ρωσία προς τη Γερμανία ολοκληρώθηκε τον Σεπτέμβριο του 2022 (Μαυραγάνης Κ., 2022). Η κατάσταση στην ευρωπαϊκή αγορά αερίου αποδείχθηκε ακριβώς αντίθετη από αυτή στις αγορές πετρελαίου, με τη Ρωσία να σπλοποιεί την προμήθεια φυσικού αερίου με την αναστολή της προς την Ευρώπη, χωρίς να αξιοποιήσει αναλόγως ο δυτικός κόσμος τη ζήτηση πετρελαίου.

Πηγαίνοντας προς τον χειμώνα, οι Ευρωπαίοι ανησυχούσαν όχι μόνο για τις υψηλές τιμές του φυσικού αερίου, αλλά για τις πραγματικές ελλείψεις, που ενδεχομένως να απαιτούσαν τη διακοπή λειτουργίας εξαρτώμενων από αέριο βιομηχανιών. Ως απάντηση, η Ευρωπαϊκή Ένωση κατέστησε ένα σχέδιο για τα κράτη μέλη προκειμένου να μειώσουν τις ανάγκες τους σε φυσικό αέριο κατά 15% έως τον Μάρτιο του 2023, καθορίζοντας παράλληλα την προτεραιότητα που θα λαμβάνουν οι διάφοροι τομείς το φυσικό αέριο σε περίπτωση έλλειψης (European Union, 2022). Επιδοτήσεις άρχισαν να δίνονται από τις κυβερνήσεις των κρατών μελών προκειμένου να εξομαλύνουν τις υψηλές τιμές λόγω της έλλειψης αερίου, αλλά με μεγάλο κόστος για αυτές. Οι επιδοτήσεις και οι λοιπές πολιτικές για την αντιμετώπιση της κρίσης του φυσικού αερίου έφτασαν το 1,7% του ΑΕΠ στη Γερμανία, το 2,3% στην Ισπανία, το 2,8% στην Ιταλία, ενώ η Ελλάδα έχει την υψηλότερη επιδότηση στο επίπεδο του 3,7% του ΑΕΠ (Neufeld D., 2022).





Εικόνα 4: Διάθεση επιδοτήσεων ανά χώρα για την αντιμετώπιση της Ενεργειακής Κρίσης (Πηγή IMF\_2022)

Το ανώτατο όριο στη τιμή για το φυσικό αέριο στην ΕΕ τέθηκε σε ισχύ στις 15 Φεβρουαρίου 2023, αν και υπάρχουν ανησυχίες ότι πολλοί θα παραβλέψουν το πλαφόν εάν είναι απαραίτητο για την εξασφάλιση των απαιτούμενων προμηθειών, ενδεχομένως βλάπτοντας τη λειτουργία της αγοράς φυσικού αερίου της ΕΕ (Abnett K., 2023). Εκτός από τις οικονομικές επιπτώσεις, η μείωση στον εφοδιασμό αερίου απαιτούσε ορισμένες δύσκολες αποφάσεις από την ΕΕ και τις κυβερνήσεις των μελών, όπως για παράδειγμα το γεγονός ότι η Γερμανία παράτεινε τη ζωή των τριών τελευταίων πυρηνικών της εργοστασίων παραγωγής ενέργειας κατά αρκετούς μήνες, έως τον Απρίλιο του 2023 (DW, 2022). Παρόλο που η ΕΕ τέθηκε ευνοϊκά στην ανάπτυξη της παροχής φυσικού αερίου από την Ανατολική Μεσόγειο και τη Βόρεια Αφρική, καθώς και σε άλλες εγκαταστάσεις λήψης LNG στην Ευρώπη, η κατανάλωση άνθρακα στην Ευρώπη αυξήθηκε τα δύο τελευταία χρόνια ως υποκατάστατο του φυσικού αερίου στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, όπως στη Γαλλία για να καλύψουν τις ελλείψεις από τα πυρηνικά εργοστάσια παραγωγής (IEA Coal, 2022).

Κάθε μία από αυτές τις αποφάσεις θα ήταν σχεδόν αδιανόητη πριν από την κρίση. Το LNG υπήρξε σωτήριο για την Ευρώπη σε αυτούς τους τελευταίους μήνες, αν και δεν υπάρχει αρκετό LNG στον κόσμο για να αναπληρώσει τη συνολική απώλεια των ρωσικών αγωγών αερίου. Οι εισαγωγές LNG στην Ευρώπη αυξήθηκαν κατά 65% το 2022 σε σχέση με τον συνολικό όγκο του 2021. Οι Ηνωμένες Πολιτείες ήταν ο μεγαλύτερος προμηθευτής, προμηθεύοντας περισσότερο από το 40% (Elijah D., 2023). Η Ευρώπη κατάφερε να μπει στη χειμερινή περίοδο θέρμανσης,

που η ζήτηση σε φυσικό αέριο είναι υψηλότερη, με περισσότερο από το 90% των εφεδρικών χώρων αποθήκευσης γεμάτους (European Council, 2023). Η ΕΕ και το Ηνωμένο Βασίλειο έχουν αρκετούς χώρους αποθήκευσης για να καλύψουν περίπου το 21% του μέσου όρου της ετήσιας ζήτησης φυσικού αερίου (Kemp J., 2023). Η αύξηση της ποσότητας των αποθηκών δεν είναι στο τραπέζι, αλλά η Ευρώπη έχει εκδώσει νέους κανονισμούς που επιβάλλουν τα επίπεδα αποθήκευσης να βρίσκονται σε ορισμένα επίπεδα καθ' όλη τη χρονιά.

Η έλευση του εμπορίου LNG σημαίνει ότι η κρίση αερίου στην Ευρώπη κεντρίζει τώρα το ενδιαφέρον της παγκόσμιας αγοράς φυσικού αερίου. Πελάτες LNG στην Ασία, την Αφρική και τη Λατινική Αμερική βρίσκονται αντιμέτωποι με πολύ υψηλές τιμές καθώς τα ευέλικτα φορτία LNG ανά τον κόσμο πηγαίνουν στην Ευρώπη αφού πετυχαίνουν εκεί υψηλότερες τιμές. Ακόμη και στις Ηνωμένες Πολιτείες, με μαζική παραγωγή φυσικού αερίου, σε τμήματα της Νέας Αγγλίας που βασίζονται στο LNG λόγω έλλειψης αγωγών, οι τιμές φυσικού αερίου τον περασμένο χειμώνα σημείωσαν υψηλό ρεκόρ (Anderson J., 2023).

Ο συνδυασμός ζεστού καιρού και προσπάθειας για εξοικονόμηση και αντικατάσταση του φυσικού αερίου διατηρήσαν την ευρωπαϊκή ζήτηση τον περασμένο χειμώνα σε χαμηλότερα επίπεδα από το μέσο όρο αποτρέποντας μια σημαντική κρίση. Μάλιστα, οι τιμές του φυσικού αερίου στην Ευρώπη βρίσκονται τώρα σε επίπεδα κάτω και από αυτά προ του πολέμου, επιτυγχάνοντας παράλληλα να βγει από το χειμώνα με περίπου μισογεμάτες τις εφεδρικές της αποθήκες (Harper J., 2023).

Ωστόσο, η Ευρώπη δεν έχει δει ακόμη τα υψηλότερα σημεία των τιμών του φυσικού αερίου. Η επιβράδυνση της οικονομίας της Κίνα λόγω του COVID - 19 βοήθησε στη διατήρηση των τιμών του LNG κάπως χαμηλά το 2022, αλλά η Κίνα φαίνεται να ανακάμπτει. Οι τερματικοί σταθμοί αποθήκευσης και αεριοποίησης LNG έρχονται με αγωγούς στη Γερμανία, αλλά ο παγκόσμιος ανταγωνισμός για την τροφοδοσία αυτών των τερματικών είναι πιθανό να είναι άγριος. Δεν προβλέπονται νέοι τερματικοί σταθμοί LNG να συνδεθούν με το υπάρχον δίκτυο για το 2023, που σημαίνει ότι η παγκόσμια αγορά αναμένεται να είναι σφιχτή και ακριβή. Και δεν υπάρχει καμία εγγύηση για το αν ο καιρός θα συνεργαστεί τον επόμενο χειμώνα, όπως έγινε με τον φετινό. Η Ευρώπη ξεπέρασε τον φετινό χειμώνα άνετα αλλά δεν μπορεί να χαλαρώσει την ετοιμότητά της και να αποσύρει εκ των προτέρων τα προγράμματα μείωσης της ζήτησης για τον χειμώνα που έρχεται.

Παρόλα αυτά, η συνέχιση των εχθροπραξιών στην Ουκρανία οδήγησαν τον Ιούνιο του 2023,

έστω και μετά από έντονες συζητήσεις στο Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, σε ένα 11<sup>ο</sup> πακέτο κυρώσεων κατά της Ρωσίας και των υποστηρικτών της, το οποίο περιλαμβάνει, μεταξύ άλλων, νέες στοχευμένες κυρώσεις κατά ιδιωτών και οντοτήτων, επέκταση των περιορισμών στην πώληση, στην εξαγωγή και τώρα και στη διαμετακόμιση ορισμένων αγαθών και τεχνολογίας. Εισάγει ένα νέο εργαλείο κατά της καταστρατήγησης των κυρώσεων που επιτρέπει στην ΕΕ να περιορίζει την πώληση και την εξαγωγή αγαθών που υπόκεινται σε κυρώσεις σε ορισμένες τρίτες χώρες, στοχεύοντας σε «σκιώδεις» οντότητες από τη Ρωσία και τρίτες χώρες που σκόπιμα παρακάμπτουν τις κυρώσεις της ΕΕ (Thoms A. et al., 2023).

### **Η κλιματική διπλωματία**

Στις ετήσιες Διασκέψεις των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (Conference of the Parties - COPs) το σύνολο των κρατών συζητά τα δύσκολα ζητήματα που σχετίζονται με τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής και την αντιμετώπιση της πραγματικότητας ενός μεταβαλλόμενου κλίματος. Η διάσκεψη για το 2023, η COP28, θα πραγματοποιηθεί στα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα στα τέλη Νοεμβρίου. Και αυτή η διάσκεψη θα αντιμετωπίσει τα ίδια εμπόδια με εκείνα του παρελθόντος, τη δυσκίνητη, βασισμένη στη συναίνεση διαδικασία λήψης αποφάσεων για την επίλυση ενός από τα πιο ακανθώδη προβλήματα του κόσμου.

Μία από τις πιο θλιβερές πτυχές της κλιματικής πρόκλησης είναι ότι οι φτωχοί ανά τον κόσμο φέρουν το χειρότερο φορτίο του μεταβαλλόμενου κλίματος, όπως ξηρασίες, πλημμύρες, καύσωνες κ.α., που έχουν ως αποτέλεσμα την αθρόα μετανάστευση πληθυσμών. Αυτή η κατάσταση που αποτελεί την επιτομή της κλιματικής αλλαγής είναι θεμελιωδώς ζήτημα δικαιοσύνης. Εκ των πραγμάτων, οι πλούσιες χώρες είναι υπεύθυνες για τη μερίδα του λέοντος των εκπομπών στην ατμόσφαιρα σήμερα, και κατά συνέπεια του επιπέδου της κλιματικής αλλαγής που βιώνουμε. Από την άλλη πλευρά, οι αναπτυσσόμενες χώρες συνέβαλαν πολύ λίγο στη σημερινή κλιματική αλλαγή, ενώ δεν είναι σε θέση να αντέξουν οικονομικά τις επενδύσεις που απαιτούνται για να ενισχυθούν ενάντια σε ένα μεταβαλλόμενο κλίμα και να αντιμετωπίσουν τις σημερινές καταστροφές που σχετίζονται με αυτό.

Αυτά τα ζητήματα είναι κρίσιμα και απαιτούν μια δίκαιη απάντηση για τις κλιματικές αλλαγές, αλλά οι σημερινοί μηχανισμοί διαπραγμάτευσης είναι κακώς σχεδιασμένοι για να ανταποκριθούν σε τέτοιες προκλήσεις. Η απαιτούμενη συναίνεση για όλες τις επίσημες αποφάσεις των COP, οδηγεί σε μια πρόοδο συνήθως αργή και σταδιακή. Ολονύκτιες διαπραγματεύσεις και αλλαγές της τελευταίας στιγμής σε λέξεις-κλειδιά και φράσεις είναι

συνήθεις και οι συμφωνίες που προκύπτουν γενικά αντιπροσωπεύουν τον ελάχιστο κοινό παρονομαστή. Για παράδειγμα, σε κανένα έγγραφο από COP δεν έχει αναφερθεί ακόμη η ανάγκη σταδιακής κατάργησης των ορυκτών καυσίμων (χωρίς μετριάσμο των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου), τον κύριο υπαίτιο της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής. Αντίθετα, η πιο σθεναρή δήλωση μέχρι σήμερα αφορά τη «σταδιακή κατάργηση» της χρήσης άνθρακα (Varin C., 2022).

Η φετινή διάσκεψη πραγματοποιείται σε έναν από τους μεγαλύτερους εξαγωγείς πετρελαίου παγκοσμίως. Τα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα (ΗΑΕ) ήταν ιδιαίτερα υποστηρικτικά στην ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, αλλά μια σθεναρή προώθηση της σταδιακής κατάργησης της χρήσης ορυκτών καυσίμων είναι απίθανη και φέτος. Ωστόσο, τα ΗΑΕ έχουν τα χρήματα και τα μέσα για να ωθήσουν την ενεργειακή μετάβαση προς τα εμπρός και έχουν τονίσει ότι θέλουν η διάσκεψη να είναι επικεντρωμένη σε αυτή την κατεύθυνση.

Παράλληλα με τις δύσκολες επίσημες διαπραγματεύσεις, οι COP έχουν γίνει παγκόσμιες συγκεντρώσεις επιχειρηματικών ηγετών, τραπεζιτών, πολιτικών, εκπρόσωπων της κοινωνίας των πολιτών και επιστημόνων. Περισσότερα από 35.000 άτομα παρακολούθησαν τη COP27 στην Αίγυπτο το 2022, ενώ κάτι λιγότερο από τους μισούς εκπροσωπούν κυβερνήσεις που συμμετέχουν στις επίσημες διαπραγματεύσεις. Μερικές από τις πιο ενδιαφέρουσες συμφωνίες που επιτεύχθηκαν στις πρόσφατες COP προέρχονται από παράπλευρες συναντήσεις, όπως της Παγκόσμιας Δέσμευσης Μεθανίου και των συμφωνιών για χρηματοδότηση για την εξάλειψη του άνθρακα στη Νότια Αφρική και την Ινδονησία. Αναμφισβήτητα μετά από τη Συμφωνία του Παρισιού που ολοκληρώθηκε το 2015, η ουσιαστικότερες εξελίξεις σε COPs συνέβησαν εκτός της επίσημης διαδικασίας (McSweeney R., 2022).

Αυτές οι παράπλευρες συμφωνίες είναι επιτυχείς γιατί δεν χρειάζεται να επιτευχθεί η συναίνεση που απαιτείται στην επίσημη διαδικασία του ΟΗΕ. Συνασπισμοί των προθύμων μπορούν να συμφωνήσουν να αναλάβουν δράση χωρίς να ανησυχούν για το αν θα συμμορφωθούν οι απείθαρχες χώρες. Επιπροσθέτως, επιχειρήσεις και ΜΚΟ μπορούν να έχουν μεσιτικό ρόλο σε συμφωνίες, να παρέχουν χρηματοδοτική υποστήριξη και να προσθέτουν δημιουργικότητα. Μικρότερες, πιο εξιδεικευμένες συμφωνίες μπορούν να δημιουργήσουν προϋποθέσεις για νέα χρηματοδότηση και στρατηγικές μείωσης των εκπομπών.

Οι θετικές παρασκηνιακές εξελίξεις είναι ενθαρρυντικές και αποτελούν σοβαρές δεσμεύσεις για τη μείωση των εκπομπών, αλλά συνεχίζουν να παραλείπονται δεσμεύσεις για τους φτωχούς

του κόσμου. Αν και οι κλιματικές επιπτώσεις είναι πιο έντονες στους φτωχούς, οι οικονομικές απώλειες από την κλιματική αλλαγή θα είναι ακόμα μεγαλύτερες στους πλούσιους ανά τον κόσμο, καθώς έχουν πολλά να χάσουν. Συνεπώς, αναπτυσσόμενες και μεσαίου εισοδήματος χώρες τείνουν να επικεντρώνονται στην επίτευξη συμφωνιών με πολύ ισχυρές χώρες, που έχουν σημαντικές εκπομπές για να μειώσουν. Επιπλέον, αυτές οι αγορές προσφέρουν μεγάλες επιχειρηματικές ευκαιρίες και η προοπτική θετικών ταμειακών ροών από επενδύσεις σε καθαρή ενέργεια μπορεί να είναι ελκυστική για τους επενδυτές εάν οι συμφωνίες έχουν τις απαραίτητες ενδείξεις μετριασμού του επιχειρηματικού ρίσκου.

Ωστόσο, τα πιο σημαντικά ζητήματα για κλιματική δικαιοσύνη, συχνά δεν πληρούν τις απαραίτητες προϋποθέσεις για μια επιτυχημένη, παράπλευρη με τη διάσκεψη, συμφωνία. Το αναγγελθέν έργο της ανάπτυξης ενεργειακών συστημάτων χαμηλών εκπομπών άνθρακα στα φτωχότερα μέρη του κόσμου δεν προσφέρει ούτε μεγάλα κέρδη, ούτε σημαντικό μετριασμό των εκπομπών παγκοσμίως, χαρακτηριστικά που έχουν κάνει ελκυστικές τις συγκεκριμένες συμφωνίες. Η υλοποίηση τέτοιων έργων στις αναπτυσσόμενες χώρες έχουν τη μορφή αποφυγής ζημιών και όχι χρηματικών ροών. Όμως, οι επενδύσεις που σχετίζονται με το κλίμα σε χώρες που συμβάλουν ελάχιστα στα αέρια θερμοκηπίου είναι θέμα δικαιοσύνης και αμεροληψίας, αλλά και μια ευθύνη που καμιά επιχειρηματική συμφωνία δε θα διαχειριστεί ποτέ.

Αυτά τα βασικά ζητήματα δικαιοσύνης αποτίθενται στις επίσημες διαπραγματεύσεις μέσω COPs, όπου η πρόοδος είναι αργή, απαιτείται συναίνεση και οι δεσμεύσεις συχνά δεν τηρούνται. Στη COP15 στην Κοπεγχάγη, οι πλούσιες χώρες υποσχέθηκαν να διαθέσουν 100 δισεκατομμύρια δολάρια ως ετήσια χρηματοδότηση για το κλίμα στον αναπτυσσόμενο κόσμο έως το 2020 (Timperley J., 2021), δέσμευση η οποία δεν έχει ακόμα εφαρμοστεί. Στη COP27 το 2022, οι χώρες σημείωσαν πρόοδο σε ένα βασικό ζήτημα της κλιματικής δικαιοσύνης σε σχέση με τις απώλειες και τις ζημιές. Οι πλούσιες χώρες συμφώνησαν να δημιουργήσουν ένα ταμείο για την αποζημίωση των αναπτυσσόμενων χωρών από απώλειες και καταστροφές που οφείλονται στο κλίμα. Οι Ηνωμένες Πολιτείες και η Ευρωπαϊκή Ένωση είναι αθροιστικά οι δύο μεγαλύτεροι παραγωγοί εκπομπών αερίων θερμοκηπίου ιστορικά, αλλά και οι δύο πήγαν στο συνέδριο αντίθετοι με το μέτρο. Παρά αυτή τη μικρή πρόοδο, η συμφωνία δεν καθιέρωσε κανένα μηχανισμό χρηματοδότησης του ταμείου, αλλά ούτε και για τη διαδικασία με την οποία οι χώρες θα υποβάλουν αίτηση για χορήγηση από το ταμείο. Το θέμα αφέθηκε για την COP28 και πάλι όμως το όποιο αποτέλεσμα αναμένει ο αναπτυσσόμενος κόσμος θα προέλθει από μια

διαδικασία που βασίζεται στη συναίνεση.

Η λύση δεν είναι απλή σε αυτό το πρόβλημα. Η πραγματική δράση στις COPs εξελίσσεται στο παρασκήνιο, προσφέροντας μια ακτίνα αισιοδοξίας σε σχέση με την αργή δράση στην αίθουσα διαπραγματεύσεων. Η τροποποίηση της Συμφωνίας του Παρισιού για την προστασία των φτωχών δεν θα είναι τρέχον θέμα της διάσκεψης, δεδομένου ότι η εθελοντική φύση της Συμφωνίας του Παρισιού είναι αυτή που της επέτρεψε να πετύχει την πρώτη φορά. Ένα μεγάλο βήμα είναι εφικτό, αν οι πλούσιες χώρες που διαπραγματεύονται από την πλευρά τους τις συμφωνίες για μείωση των εκπομπών, μπορούν να προσθέσουν έναν παράλληλο όρο χρηματικής βοήθειας για τις φτωχότερες χώρες, μια δέσμευση που μπορεί να αναλάβει η ομάδα των πλούσιων χωρών που συχνά αναφέρονται ως «κλιματικό λόμπι». Οι επιχειρηματικές ευκαιρίες για μειώσεις των εκπομπών στις φτωχές χώρες είναι μικρότερες, αλλά τα ζητήματα δικαιοσύνης δεν πρέπει να αγνοούνται. Η εφαρμογή διδαγμάτων των μεγαλύτερων αναπτυσσόμενων χωρών στους μικρότερους, φτωχότερους ομολόγους τους είναι το κλειδί για την επίτευξη μιας πραγματικά δίκαιης ενεργειακής μετάβασης και πρόληψης των χειρότερων επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής για όλους.

### **Η ενεργειακή μετάβαση ως απάντηση στις προκλήσεις**

Η ενεργειακή μετάβαση ως διαδικασία δημιουργίας ενός περιβαλλοντικά και κλιματικά ασφαλούς ενεργειακού τομέα θεωρείται ως ένα από τα πλέον κρίσιμα έργα για έκαστο κράτος ανά τον κόσμο. Η εφαρμογή της σήμερα όμως, λαμβάνει χώρα εν μέσω μεγάλων γεωπολιτικών και κοινωνικοοικονομικών εξελίξεων που συνοδεύονται από κρίσεις και εντάσεις. Προφανώς, αυτό είχε ως αποτέλεσμα πολλές από τις μελέτες που ξεκίνησαν από τους διεθνείς θεσμούς να πρέπει να επανεξεταστούν, κυρίως όσον αφορά το κόστος και τη βιωσιμότητα (Scott M., 2022). Ωστόσο, παρά την επικράτηση μιας έντονης αβεβαιότητας παγκοσμίως, ο τρέχων ρυθμός της ενεργειακής μετάβασης πρέπει να διατηρηθεί καθώς λειτουργεί ως ένας από τους παράγοντες της οικονομικής ανάπτυξης, με τον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας να απαιτεί συνεχή εξέλιξη στον κλάδο των υποδομών που είναι το κλειδί για την επιτυχία της διαχείρισης των ενεργειακών κρίσεων.

Κατ' επέκταση, η ενεργειακή μετάβαση λειτουργεί ως μοχλός για τον εκσυγχρονισμό της βιομηχανίας της ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για χώρες των οποίων η ενεργειακή υποδομή γίνεται όλο και πιο αρχαιολογική και λειτουργικά και, ως εκ τούτου, έρχονται αντιμέτωπες με ελλείψεις χωρητικότητας και περιορισμούς ηλεκτρικού

δικτύου, αυξανόμενες τιμές καυσίμων και ενέργειας και προβλήματα που προκαλούνται από το ανεπαρκές και απαρχαιωμένο σύστημα αγωγών αερίου (Clifford C., 2023). Η ορθολογική μετάβαση οφείλει να βασίζεται στα πιο πρόσφατα επιτεύγματα της ενεργειακής επιστήμης και τεχνολογίας, σε σύγχρονες μεθόδους οργάνωσης, νέες μορφές αλληλεπίδρασης μεταξύ ενεργειακών εταιρειών και καταναλωτών, απαιτεί όμως και σημαντικούς πόρους σε μελέτες, επενδύσεις και καινοτομία.

Ως αποτέλεσμα, η ενεργειακή μετάβαση θα δημιουργήσει έναν εξαιρετικά διαφοροποιημένο νέου τύπου ενεργειακό τομέα που θα είναι ικανός να υποστηρίξει υψηλούς ρυθμούς οικονομικής ανάπτυξης και την περαιτέρω επέκταση της ηλεκτροκίνησης των οχημάτων. Ο περιβαλλοντικός παράγοντας πρέπει να καθορίζει τις βασικές παραμέτρους των συναρτώμενων έργων, ενεργώντας ως οδηγός εκσυγχρονισμού της βιομηχανίας. Η βασική αρχή στην οποία βασίζεται η ενεργειακή μετάβαση είναι να διασφαλίσει ότι τα περιβαλλοντικά, τεχνικά και οικονομικά αποτελέσματα της μετάβασης σε χαμηλές εκπομπές άνθρακα θα πρέπει να εξισορροπηθούν προσεκτικά και να θεωρούνται ίσα σε αξία. Αυτό σημαίνει διαρκής διατήρηση των προτύπων απόδοσης των νέων συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας, διατηρώντας όμως τις τιμές της ενέργειας προσιτές και διασφαλίζοντας την ορθολογική χρήση των καθαρών πηγών ενέργειας και ιδιαίτερα το σπάνιο φυσικό αέριο.

Οι αυξανόμενες ανησυχίες για την κλιματική αλλαγή και την ενεργειακή ασφάλεια, θα οδηγήσουν τα έθνη να καταβάλλουν προσπάθειες να αυξήσουν την ενεργειακή τους απόδοση και να στραφούν σε ανανεώσιμες πηγές. Ο συνδυασμός παραγωγής με μεθόδους όπως η αιολική, τα ηλιακά φωτοβολταϊκά, το βιοντίζελ-βιομάζα και η υδροηλεκτρική μπορεί, εφόσον εφαρμόζονται καταλλήλως, να μειώσουν τις ποσότητες και κατ' επέκταση, τις επιπτώσεις χρήσης των ορυκτών καυσίμων. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι φιλικές προς το περιβάλλον και κατ' επέκταση επιτρέπουν ακόμα και χώρες χωρίς αποθέματα ορυκτών καυσίμων να αποκτήσουν ενεργειακή ασφάλεια και ανεξαρτησία (Samarina V. et al., 2018).

Σαφώς, ένα ενεργειακό σύστημα βασισμένο σε ανανεώσιμες και μη ορυκτές πηγές ενέργειας αποτρέπει την ηλεκτρική ενέργεια να είναι έρμαιο της γεωπολιτικής σκακιέρας για τα ορυκτά καύσιμα, αλλά δυστυχώς αυτό δεν είναι ακόμα εφικτό. Ακόμη και για την ηλεκτρική ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές, που είναι προσιτό και εφικτό σήμερα, η μετάβαση απαιτεί χρόνο και επενδυτικό κεφάλαιο. Σε διάφορους κλάδους, οι τεχνολογίες για την απομάκρυνση από τα ορυκτά καύσιμα είναι σε πρώιμο στάδιο, όπως για την παραγωγή χάλυβα ή αμμωνίας. Οι

χρήσεις των ορυκτών καυσίμων είναι ποικίλες και διάχυτες, καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες καυσίμων και είναι ιδιαίτερα χρονοβόρες στην αντικατάστασή τους. Για παράδειγμα, η θέρμανση με φυσικό αέριο χρησιμοποιείται σε μεγάλο μέρος της Ευρώπης. Η αλλαγή σε ηλεκτρικές αντλίες θερμότητας σημαίνει αντικατάσταση των συστημάτων θέρμανσης σε εκατομμύρια μεμονωμένες κατοικίες και επιχειρήσεις. Η Ευρώπη επιχειρεί να μειώσει τη χρήση φυσικού αερίου, με παράλληλες προσπάθειες αλλαγής καυσίμου ως στρατηγική για την ανακούφιση της τρέχουσας κρίσης, αλλά μια πλήρης απομάκρυνση από το φυσικό αέριο θα διαρκέσει πολλά χρόνια.

Η μεγάλη πρόκληση για τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής και τη βιομηχανία παραγωγής ενέργειας είναι ότι ο κόσμος σήμερα θέλει περισσότερα ορυκτά καύσιμα, αλλά δεν τα θέλει για πάντα. Δηλαδή, να τροφοδοτηθεί το υπάρχον ενεργειακό σύστημα, αλλά παράλληλα να εργαζόμαστε για να το μεταμορφώσουμε στο σύστημα που θέλουμε για το μέλλον. Εν τω μεταξύ, είναι χρήσιμο να θυμόμαστε ότι ο στόχος πάντα ήταν είναι η μείωση των εκπομπών και όχι των ορυκτών καυσίμων. Το κλειδί για τον εφοδιασμό του υπάρχοντος ενεργειακού συστήματος κατά τη μετάβαση προς το ενεργειακό σύστημα που θέλουμε είναι η εύρεση τρόπων για την κάλυψη των τρεχουσών αναγκών, με φιλικές για το μέλλον μεθόδους. Αυτό προϋποθέτει την αποφυγή ενεργειών που εγκλωβίζουν τις υποδομές ορυκτών καυσίμων, διαμέσου οικονομικών ή τεχνικών μέσων.

Από πλευράς χρηματοοικονομικών, αυτό μπορεί να σημαίνει αναδιάρθρωση του συστήματος χρηματοδότησης και σύναψη νέων συμβάσεων για νέες εγκαταστάσεις εισαγωγής LNG στην Ευρώπη, προκειμένου η αύξηση των ποσοτήτων LNG να οδηγήσουν σε απόσβεση του κόστους των υποδομών πιο γρήγορα. Αυτό επιτρέπει από τη μία οι επενδυτές να επιτύχουν μια ικανοποιητική απόδοση κέρδους, ενώ από την άλλη υπάρχει πάντα η δυνατότητα διακοπής της λειτουργίας της εγκατάστασης όταν δεν θα είναι πλέον απαραίτητη ή επιθυμητή.

Από τεχνικής οπτικής, μπορεί να περιλαμβάνει την κατασκευή αγωγών φυσικού αερίου που θα μπορούσαν να μεταφέρουν υδρογόνο στο μέλλον. Δεν είναι απαραίτητο όλη η υποδομή φυσικού αερίου να μπορεί να προσαρμοστεί στο υδρογόνο, καθώς το υδρογόνο έχει μικρότερα μόρια από το φυσικό αέριο κάνοντας τους αγωγούς πιο επιρρεπείς σε διαρροές. Επιπλέον, το υδρογόνο απαιτεί διαφορετική μεταλλουργία στους αγωγούς για να προφυλαχτούν από το να γίνουν εύθραυστοι και να ραγίσουν κατά τη μεταφορά του (Worldenergynews, 2023). Αν όμως οι νέοι αγωγοί σχεδιαστούν από την αρχή για να μεταφέρουν υδρογόνο, μπορούν να



χρησιμοποιηθούν οποτεδήποτε και για φυσικό αέριο. Ακόμη και η διατήρηση λειτουργίας των εργοστασίων παραγωγής ενέργειας με άνθρακα και πέρα από τις προγραμματισμένες ημερομηνίες οριστικής διακοπής τους, θα μπορούσε να αποβεί ιδιαίτερα χρήσιμο βραχυπρόθεσμα. Αν και οι εκπομπές αερίων αυτών των εργοστασίων θα οδηγήσουν σε επιδείνωση του φαινομένου του θερμοκηπίου τώρα, είναι ένας φθηνός τρόπος να διατηρηθούν τα φώτα αναμμένα σε περίοδο κρίσης, επιτρέποντας την εστίαση σε επενδύσεις που θα οδηγήσουν σε χαμηλότερες εκπομπές θερμοκηπίου σε μακροπρόθεσμη βάση.

Η Ευρώπη διέρχεται μια ιδιαίτερα δύσκολη περίοδο για την επίτευξη και των τριών στόχων εφοδιασμού ενέργειας, δηλαδή μιας βιώσιμης, ασφαλούς και οικονομικά προσιτής ενέργειας. Ωστόσο, ένα μελλοντικό ενεργειακό σύστημα λιγότερο εξαρτώμενο από τα ορυκτά καύσιμα θα είναι λιγότερο επιρρεπές σε κρίσεις όπως αυτή που βιώνουμε σήμερα. Η Ευρώπη και ο υπόλοιπος κόσμος μπορούν να αντιμετωπίσουν τις αναταραχές στην αγορά ενέργειας που προκλήθηκε από τη Ρωσική επιθετικότητα στην Ουκρανία και να βγουν πιο δυνατοί στο τέλος, μέσω μιας ξεκάθαρης άποψης για ενεργειακή μετάβαση.

Για μια συνεχιζόμενη ενεργειακή μετάβαση, οι βραχυπρόθεσμες παρεμβάσεις θα πρέπει να ευθυγραμμίζονται με τους στόχους για το κλίμα, τη προστασία των μηνυμάτων της αγοράς, τη στοχευμένη δημοσιονομική πειθαρχία και την παροχή κινήτρων απόκρισης στη ζήτηση. Καθώς η ενεργειακή μετάβαση εξελίσσεται, οι προκλήσεις στη τεχνολογία, στην επάρκεια εμπορευμάτων, στις υποδομές και στην άρρηκτη αλυσίδα προμήθειας, μαζί με την υπάρχουσα γεωπολιτική δυναμική, θα δημιουργήσουν νέα ζητήματα ασφαλείας. Μια ολοκληρωμένη επανεκτίμηση της ενεργειακής ασφάλειας, για την οικοδόμηση ανθεκτικότητας σε πιθανούς κλυδωνισμούς είναι απαραίτητη. Χωρίς στιβαρό πλαίσιο και σαφή καθορισμό ρόλων των συμμετεχόντων σε αυτό, θα ήταν ιδιαίτερα δυσχερές ο συντονισμός μιας αναγκαίας συλλογικής δράσης. Η ευθυγράμμιση των άμεσων παρεμβάσεων με τη μακροπρόθεσμη ενεργειακή μετάβαση, μαζί με ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο ενίσχυσης της ενεργειακής ασφάλειας που να ανταποκρίνεται στην κρίση και να βοηθά στην επιτάχυνση μιας δίκαιης και βιώσιμης ενεργειακής μετάβασης είναι πλέον μονόδρομος.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ Β

### ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΟ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ – ΕΝΑ ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΣΤΑ ΧΕΡΙΑ ΤΟΥ ΚΟΣΜΟΥ

#### Γενικά

Όλα τα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας έχουν ένα αποτύπωμα άνθρακα, δηλαδή σε ορισμένα στάδια κατά τη διάρκεια της κατασκευής και λειτουργίας τους εκπέμπουν διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) καθώς και άλλες μορφές αερίων του θερμοκηπίου. Για να συγκριθούν οι επιπτώσεις των διαφόρων τεχνολογιών στο περιβάλλον με ακρίβεια, πρέπει να υπολογιστούν οι συνολικές ποσότητες CO<sub>2</sub> που εκπέμπονται κατά τη διάρκεια ζωής του κάθε συστήματος. Οι εκπομπές μπορεί να είναι είτε άμεσες, που προκύπτουν κατά τη διάρκεια λειτουργίας του σταθμού ηλεκτροπαραγωγής, είτε έμμεσες, που προκύπτουν κατά τη διάρκεια άλλων μη λειτουργικών φάσεων του κύκλου ζωής (Parliamentary Office of Science and Technology, 2006).

Οι τεχνολογίες που κάνουν χρήση ορυκτών καυσίμων (άνθρακας, πετρέλαιο, αέριο) παρουσιάζουν τα μεγαλύτερα αποτυπώματα άνθρακα, συνέπεια της καύσης αυτών κατά τη φάση λειτουργίας τους. Τεχνολογίες με βάση μη ορυκτά καύσιμα λειτουργούν αξιοποιώντας ενέργεια όπως η αιολική, από φωτοβολταϊκά (ηλιακή), υδροηλεκτρική, βιομάζας, κυματικής/παλιρροιακής και πυρηνικής. Αυτές αναφέρονται συχνά ως «χαμηλού άνθρακα» ή «ουδέτερου άνθρακα» επειδή δεν εκπέμπουν CO<sub>2</sub> κατά τη λειτουργία τους. Ωστόσο, δεν είναι «ανθρακικού αποτυπώματος» ελεύθερες μορφές παραγωγής, δεδομένου ότι προκύπτουν εκπομπές CO<sub>2</sub> σε άλλες φάσεις του κύκλου ζωής τους, όπως κατά την κατασκευή, τη συντήρηση ή ακόμα και τον παροπλισμό τους. Το ανθρακικό αποτύπωμα εκφράζεται σε γραμμάρια CO<sub>2</sub> που προκύπτουν από την παραγωγή μιας κιλοβατώρας (gCO<sub>2</sub>eq/kWh), και χρησιμοποιείται ως μονάδα μέτρησης των επιπτώσεων της υπερθέρμανσης του πλανήτη και από άλλα αέρια του θερμοκηπίου (Low-Carbon Power, 2021).

#### Παγκόσμιο Δίκτυο για το Οικολογικό Αποτύπωμα (Global Footprint Network - GFN)

Το Global Footprint Network (GFN) είναι μια ερευνητική Μη Κερδοσκοπική Οργάνωση που λειτουργεί ως ένα Παγκόσμιο Δίκτυο Προτύπων, όπως αυτό καθορίζεται από την ταξινόμηση

των Παγκοσμίων Δικτύων Λύσεων (Global Solution Networks)<sup>1</sup>. Παρέχει δεδομένα που υπολογίζονται χρησιμοποιώντας ένα μετρικό σύστημα που ανέπτυξε το ίδιο και συνεχίζει να βελτιώνει, με το οποίο μετρά το ανθρώπινο αποτύπωμα στην παγκόσμια βιόσφαιρα τόσο από την κατανάλωση όσο και από την δυνατότητα απορρόφησης των απορριμμάτων. Έχει εφαρμόσει το σύστημα αυτό σε περισσότερα από 200 κράτη σε ολόκληρο τον κόσμο, προκειμένου να παρέχει κρίσιμες πληροφορίες σε κυβερνήσεις και οργανισμούς που εργάζονται για να περιορίσουν την αλόγιστη κακοδιαχείριση των περιορισμένων παγκόσμιων πόρων. Η Παγκόσμια «υπέρβαση» ή η κατάσταση στην οποία η ζήτηση υπερβαίνει την προσφορά, έχει ήδη γίνει ένα ζήτημα για τον παγκόσμιο πληθυσμό και θα στοιχειώσει τις επόμενες γενιές. Παρέχοντας ένα απτό εργαλείο μέτρησης, το GFN είναι ένας κρίσιμος παίκτης στην ανεύρεση λύσης στην πιθανή κατάρρευση της βιόσφαιρας (Borucke M. et al., 2013).

Το 1968 ο Garrett Hardin, καθηγητής βιολογίας στο πανεπιστήμιο Santa Barbara των Ηνωμένων Πολιτειών, έγραψε ένα θεμελιώδες άρθρο για το περιοδικό Science με τίτλο, «Η τραγωδία των Κοινών». Σε αυτό, ο Hardin κατέληξε στο συμπέρασμα ότι ο συνδυασμός του αυξανόμενου ανθρώπινου πληθυσμού και η συμπεριφορά αυτού του πληθυσμού κατά την εκμετάλλευση των κοινών πόρων λειτουργεί εις βάρος όλων (Hardin G., 1968). Αναγνωρίζοντας ότι η γη διαθέτει μια καθορισμένη παροχή των πόρων, διαπίστωσε ότι ο άνθρωπος σε ατομικό επίπεδο θα εκμεταλλεύονταν τους πόρους αυτούς για το δικό τους συμφέρον χωρίς να λαμβάνει υπόψη τον μελλοντικό αντίκτυπο στην παγκόσμια κοινότητα μέχρι να καταρρεύσει το σύστημα. Κατέληξε στο συμπέρασμα ότι το πρόβλημα δεν είχε καμία τεχνική λύση, αλλά απαιτούσε μια κοινωνική συμφωνία με μια θεμελιώδη επέκταση στην ηθική. Με αυτό το άρθρο ένα ολόκληρο πεδίο οικολογικής έρευνας δημιουργήθηκε.

Το 2009 απονεμήθηκε το Νόμπελ Οικονομικών Επιστημών σε δύο άτομα ταυτόχρονα. Στην μη οικονομολόγο και καθηγήτρια Πολιτικής Επιστήμης Elinor Ostrom του Πανεπιστημίου της Ιντιάνα, για την ανάλυσή της για την οικονομική διακυβέρνηση των κοινών, και στον καθηγητή Οικονομικών Oliver E. Williamson, του Πανεπιστημίου Μπέρκλεϋ της Καλιφόρνιας, για την παρόμοια του έρευνα στη διακυβέρνηση και στην επίλυση των συγκρούσεων εντός των ορίων μιας εταιρίας (The Nobel Prize, 2009). Οι Ostrom και Williamson, ενώ δεν διαφωνούσαν με τις παρατηρήσεις του Hardin, πρότειναν ότι η φόρμουλα για τη διατήρηση των πόρων ήταν πολύ πιο περίπλοκη από την επιλογή, όπως είχε προτείνει, ανάμεσα στην κοινή ή ιδιωτική

---

<sup>1</sup> Το Global Solution Networks (GSN) ιδρύθηκε το 1999 στις ΗΠΑ για να παρέχει στην Ομοσπονδιακή Κυβέρνηση και στον ιδιωτικό τομέα μια ποικιλία τεχνικών, διοικητικών και μηχανικών υπηρεσιών.

διακυβέρνηση. Πρότειναν ότι θα μπορούσαν να βρεθούν διορθωτικά μέτρα χρησιμοποιώντας ένα κοινωνικό οικολογικό σύστημα, το οποίο θα ενσωματώνει τη βιολογία των πόρων με τις δράσεις του κοινωνικού πλαισίου, προκειμένου να καταλήξουν σε λύσεις.

Όταν ωστόσο, κλήθηκαν να μεταφέρουν αυτές τις έννοιες από μικρές και μεσαίες δικαιοδοσίες πόρων, σε παγκόσμια ζητήματα της κλιματικής αλλαγής και της επιδείνωσης των ωκεανών, η Ostrom ήταν λιγότερο αισιόδοξη (Korten F., 2010). Η πρόκληση της διατήρησης του πλανήτη ανήκει σε άτομα, κοινότητες και έθνη, αλλά προκειμένου οποιαδήποτε λύση διακυβέρνησης να είναι αποτελεσματική, το πρώτο βήμα είναι η απόκτηση χρησιμοποιήσιμων δεδομένων. Ότι οι πόροι της γης καταναλώνονται πιο γρήγορα από ό,τι μπορούν να ανανεωθούν είναι ένα ευρέως αποδεκτό γεγονός, επομένως είναι σημαντικό να αποκτηθεί μια σαφέστερη κατανόηση για το πόσα αντλούνται από τα δημόσια κοινά προκειμένου να αναπτυχθούν αποτελεσματικές στρατηγικές για τη διαχείριση των κοινών.

Το εργαλείο οικολογικού αποτυπώματος που αναπτύχθηκε από το GFN μετρά την ανθρώπινη χρήση στοιχείων του οικοσυστήματος που υπάρχουν στη βιοπαραγωγική γη και στους βιοπαραγωγικούς ωκεανούς. Αυτά τα δεδομένα συγκρίνονται με τη βιολογική χωρητικότητα ή την ικανότητα της βιόσφαιρας για κάλυψη της αφομοίωσης και απόθεσης απορριμμάτων. Οι υπολογισμοί εφαρμόζονται σε έξι τύπους χρήσεων γης: καλλιεργήσιμες εκτάσεις, βοσκότοποι, αλιευτικά εδάφη, δασικές εκτάσεις, κατοικημένες εκτάσεις και εκτάσεις απορρόφησης (ως υποδοχείς του ανθρακικού αποτυπώματος και άλλων αποβλήτων) (Bogucke M. et al., 2013).

Το GFN είναι ένα Παγκόσμιο Δίκτυο Προτύπων που έχει αναπτυχθεί και συνεχίζει να διατηρεί το οικολογικό αποτύπωμα ως ένα κοινό πρότυπο στις μετρήσεις και στις επικοινωνίες, έτσι ώστε διαφορετικές χρήσεις των πληροφοριών που είναι εγγενείς με το οικολογικό αποτύπωμα να είναι απολύτως κατανοητές. Το GFN και οι συνεργάτες του έφεραν το Πρότυπο Οικολογικού Αποτυπώματος σε μια ολοένα και πιο διευρυμένη σειρά οργανισμών, βελτιώνοντας την ακρίβεια των μετρήσεων του οικολογικού αποτυπώματος, αλλά και συντάσσοντας και παρέχοντας σε κοινή χρήση τους εθνικούς λογαριασμούς αποτυπώματος, ενός συνόλου δεδομένων χρήσης πόρων για περισσότερες από 150 χώρες. Ως επιβλέποντες της ακεραιότητας της μεθοδολογίας αυτής, το GFN χρησιμοποιεί τη λήψη αποφάσεων με βάση τη συναίνεση, για να διασφαλιστεί ότι τα ισχύοντα Πρότυπα Οικολογικού Αποτυπώματος περιλαμβάνουν την πιο πρόσφατη έρευνα σχετικά με τον τρόπο των ακριβέστερων μετρήσεων που απαιτούνται για την υποστήριξη του ανθρώπινου πληθυσμού.

Το δίκτυο, που ιδρύθηκε το 2003, αποτελείται πλέον από 90 οργανισμούς εταίρους, 23 χώρες και 200 πόλεις. Οι συνεργάτες του GFN είναι σε μεγάλο βαθμό υπεύθυνοι για την εφαρμογή της μεθοδολογίας Οικολογικού Αποτυπώματος σε διαφορετικούς τύπους πελατών και χρηστών. Υπό αυτή την έννοια, το GFN είναι εξαιρετικά αποκεντρωμένο και βασίζεται σε μια ποικιλία δρώντων που εργάζονται με διαφορετικά κίνητρα, αλλά προσανατολισμένα πάντα προς τον στόχο της διάδοσης όλο και πιο συγκεκριμένων δεδομένων σχετικά με το τι αφαιρούν διαφορετικές οντότητες και ιδρύματα κάθε χρόνο από το κοινό απόθεμα οικολογικής παραγωγικότητας.

### **Καθιέρωση του Οικολογικού Αποτυπώματος**

Το μοντέλο Οικολογικού Αποτυπώματος αντιπροσωπεύει έναν διεπιστημονικό γάμο ανάμεσα στο ακαδημαϊκό έργο και στην αναγνώριση από τις επιχειρήσεις, τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής και μεμονωμένα άτομα. Παρέχεται έτσι, καλύτερη ενημέρωση για την κατανάλωση των ανανεώσιμων πηγών που απαιτείται για την αξιολόγηση του μεγέθους της πίεσης με την οποία οι ανθρωπίνι πληθυσμοί και οι οικονομικές αναπτύξεις επιβαρύνουν τα οικοσυστήματα του πλανήτη. Στο παρελθόν, μεμονωμένα πακέτα δεδομένων κατανάλωσης πόρων υπήρχαν διαθέσιμα εντός συγκεκριμένων πλαισίων, δεν υπήρχε όμως η δυνατότητα σύνδεσης οποιουδήποτε προσώπου ή εταιρείας κατανάλωσης με το ευρύτερο σύνολο των εμπορικών σχέσεων, επιτρέποντας με αυτόν τον τρόπο στον καθένα να καταναλώνει πολύ περισσότερα από όσα θα μπορούσαν να παραχθούν.

Σε ένα πιο μακροοικονομικό επίπεδο, τα τελευταία 20 χρόνια, έχει γίνει μια αυξανόμενη συνειδητοποίηση ότι οι τυπικές μέθοδοι εθνικής λογιστικής πρέπει να συμπληρωθούν από άλλες μετρήσεις, όπως η εισοδηματική ανισότητα [Δείκτης Γενικευμένης Ανισότητας (Generalized Inequality Index-GINI)]. Οι συντελεστές του μετρούν τον βαθμό απόκλισης του εισοδήματός και της κατανάλωσης από την απολύτως ίση κατανομή] (United States Census Bureau, 2021), το μορφωτικό επίπεδο [Πρόγραμμα Διεθνούς Αξιολόγησης Μαθητών (Program for International Student Assessment-PISA)]. Εκπαιδευτική έρευνα που βαθμολογεί με εξετάσεις την κατανόηση κειμένων, μαθηματικών και φυσικών επιστημών ανάμεσα σε 15χρονους μαθητές διαφόρων χωρών κάθε τρία χρόνια) (PISA-ΙΕΠ, 2000), και την εξάρτηση από τους πόρους (Οικολογικό Αποτύπωμα του GFN).

Η βασική ανακάλυψη που έδωσε τη δυνατότητα στους δημιουργούς του Οικολογικού Αποτυπώματος και το GFN να διαθέσουν αυτό το εργαλείο στο κοινό, προέκυψε από μια

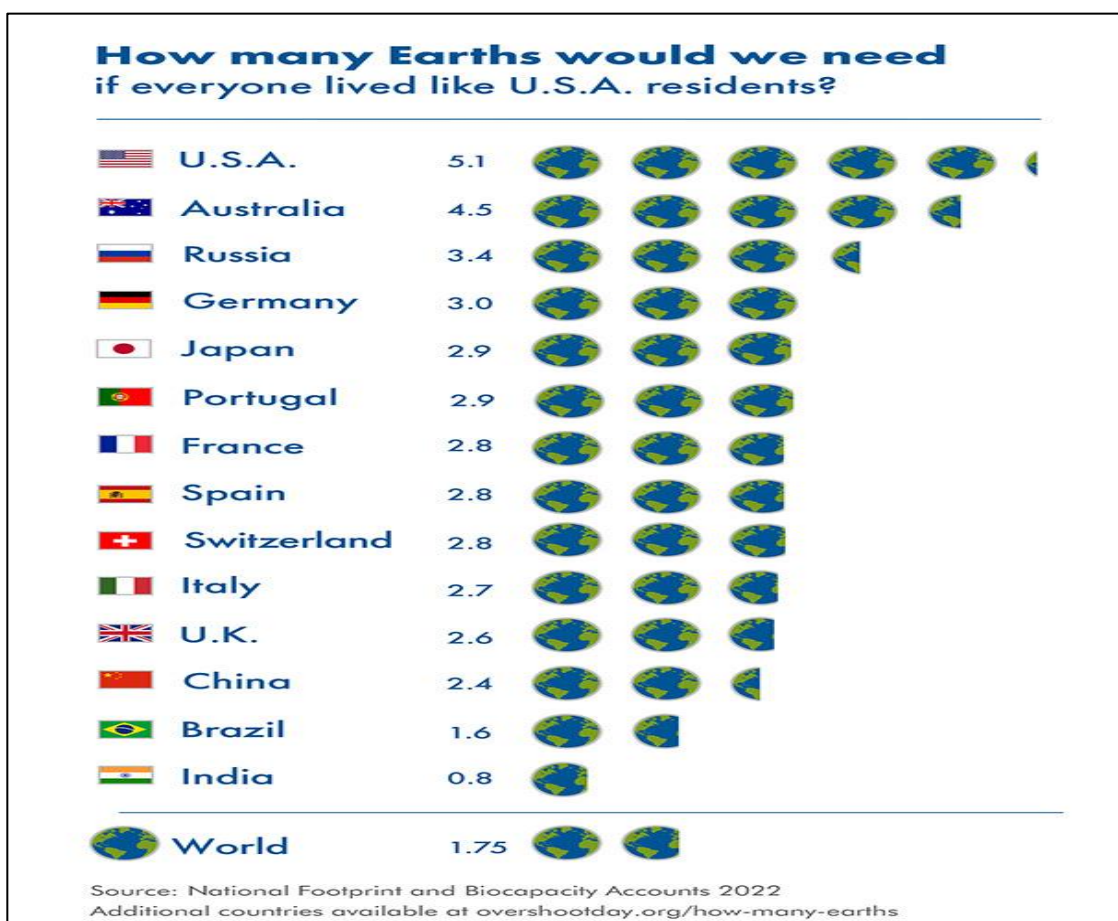
συνειδητοποίηση που έγινε από τον Δρ. William Rees, έναν νεοσύστατο οικολόγο που εργαζόταν εκείνη την εποχή στο Πανεπιστήμιο της Βρετανικής Κολομβίας. Ο Rees τοποθετήθηκε σε ένα σχέδιο της πολεοδομίας με μια ομάδα ερευνητών που εργάζονταν σε θέματα παροχής νερού στην κοιλάδα του Κάτω Φρέιζερ, μια περιοχή στη νοτιοδυτική Βρετανική Κολομβία του Καναδά και έμεινε έκπληκτος όταν ανακάλυψε ότι δεν υπήρχε καμία ακαδημαϊκή αρχή που να ασχολείται με τη φέρουσα ικανότητα, που οι οικολόγοι ορίζουν ως τον μέγιστο μέσο όρο πληθυσμού ενός είδους που μπορεί να διατηρηθεί σε έναν συγκεκριμένο βιότοπο χωρίς να προκληθεί μόνιμη ζημιά σε αυτόν τον βιότοπο.

Ο Rees διεύρυνε την έννοια της φέρουσας ικανότητας θεωρώντας ότι οι ανθρωπίνιοι πληθυσμοί επηρεάζουν τόσο τον τοπικό τους βιότοπο όσο και απομακρυσμένες πηγές εμπορίου και τεχνολογίας. Κατ' επέκταση οι πολεοδόμοι θα έπρεπε να ενδιαφέρονται για αυτό το ζήτημα, αφού η υπερβολική ανάπτυξη σε μια περιοχή μπορεί να επηρεάσει τη φέρουσα ικανότητα πολλών άλλων περιοχών. Η δυνατότητα ανάπτυξης εμφανίζεται απεριόριστη όταν εξετάζεται μόνο η άμεση περιοχή, ενώ η παγκόσμια εξάντληση στην πραγματικότητα επιταχύνεται. Η βασική του διατύπωση ήταν ότι το σύνολο των σχεδιασμών ασχολούνται με συγκεκριμένη περιοχή σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη το αντίκτυπο σε όλα τα άλλα μέρη που εμπλέκονται στον εφοδιασμό αυτής της περιοχής. (Rees W. E., 1996).

Διαπιστώνοντας ότι η φέρουσα ικανότητα της κοιλάδας του Κάτω Φρέιζερ δεν ήταν επαρκής για να υποστηρίξει τον πληθυσμό του Βανκούβερ, το επόμενο στάδιο ήταν να αναζητηθούν τα ερωτήματα που θα μπορούσαν να τεθούν εάν η έννοια της φέρουσας ικανότητας μπορούσε να αντιστραφεί. Αντί για την ερώτηση δηλαδή, πόσα άτομα θα μπορούσαν να διαβιώσουν σε μια δεδομένη έκταση γης, ο Rees στις αρχές της δεκαετίας του 1990 με τη βοήθεια ενός διδακτορικού μαθητή, του Mathis Wackernagel (ο οποίος στη συνέχεια ίδρυσε το GFN με τη σύζυγό του, Susan Burns), άρχισε να αναζητά πόση γη θα χρειαζόταν για να υποστηρίξει ένα συγκεκριμένο πληθυσμό ανθρώπων. Για πρώτη φορά, ήταν δυνατό να καθοριστεί πόσο μεγάλο μέρος των συνολικών ανανεώσιμων πόρων της Γης χρησιμοποιήθηκε από μια πόλη στο μέγεθος του Βανκούβερ ή πόσα «Βανκούβερ» θα μπορούσε να υποστηρίξει η Γη ή, πόσοι πλανήτες θα χρειαζόταν για να υποστηρίξουν έναν παγκόσμιο πληθυσμό στον οποίο όλοι ζούσαν όπως το Βανκούβερ (Wackernagel M. and Galli A., 2007).

Όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 5 που ακολουθεί, η ανθρωπότητα χρησιμοποιεί το οικοσύστημα 1,75 φορές πιο γρήγορα από ό,τι μπορεί να αναγεννηθεί η βιοχωρητικότητα του

πλανήτη μας. Αυτό ισοδυναμεί με τη χρήση των πόρων 1,75 του πλανήτη μας. Επίσης εμφανίζονται ορισμένα αντίστοιχα παραδείγματα για πόσους πλανήτες θα χρειαζόνταν αν όλοι στον πλανήτη ζούσαν όπως οι κάτοικοι της αντίστοιχης χώρας. Οι Ηνωμένες Πολιτείες για παράδειγμα έχουν οικολογικό αποτύπωμα 8,1 παγκόσμια εκτάρια (global hectare-gha) ανά άτομο (υπολογισμός 2018) και η παγκόσμια βιοχωρητικότητα είναι 1,6 gha ανά άτομο (υπολογισμός 2018). Επομένως, θα χρειαζόμασταν  $(8,1/1,6) = 5,1$  φορές τη Γη αν όλοι ζούσαν όπως οι Αμερικανοί (Earth Overshoot Day, 2022).



**Εικόνα 5:** Πόσοι πλανήτες Γη απαιτούνται αν όλοι ζούσαν όπως οι Αμερικανοί (Πηγή National Footprint and Biocapacity Accounts 2022)

Οι Rees και Wackernagel επέτρεψαν η μεθοδολογία τους να είναι ευρέως χρησιμοποιήσιμη και ως αποτέλεσμα, η έννοια του οικολογικού αποτυπώματος διαδόθηκε πιο γρήγορα και ευρέως από όσο θα μπορούσαν να ελπίζουν. Όπως η έννοια κέρδιζε δυναμική, διάφοροι οργανισμοί άρχισαν ενσωματώνουν το οικολογικό αποτύπωμα στις δικές τους εργασίες, συμπεριλαμβανομένων ΜΚΟ, ιδιωτών και συμβουλευτικών εταιρειών που βοηθούν τις επιχειρήσεις να γίνουν πιο βιώσιμες. Ωστόσο, έγινε σαφές ότι η ιδέα θα είχε καταστεί άνευ

νοήματος εκτός εάν δημιουργούσαν κάποιο συγκεκριμένο πρότυπο, διασφαλίζοντας ότι θα ήταν συνεπές και διεθνώς αναγνωρισμένο για τη μέτρηση των Οικολογικών Αποτυπωμάτων. Αρχικά ασχολήθηκαν με τη συνεργασία των σχετικών ενδιαφερομένων σε ένα δίκτυο. Προσέγγισαν τους πιο δραστήριους από αυτούς και είχαν περίπου 20 ιδρυτικούς συνεργάτες από την αρχή. Πολλοί από αυτούς είχαν μεγάλη εμπειρία, ενώ πολλά ήταν και αυτά που διακυβευόνταν.

Ένας από τους ιδρυτικούς εταίρους, η συμβουλευτική εταιρεία Best Foot Forward, είχε ήδη επικεντρώσει τη συμβουλευτική της πρακτική στη χρήση του Οικολογικού Αποτυπώματος για επιχειρήσεις και πόλεις, ενώ ήδη δραστηριοποιούνταν πέντε χρόνια. Το Παγκόσμιο Ταμείο για τη Φύση (World Wildlife Fund - WWF) είχε χρησιμοποιήσει το Οικολογικό Αποτύπωμα ως μέρος της έκδοσης «Ζωντανός Πλανήτης» από το 2000. Οι διάφορες οργανώσεις που εργάζονταν στο πεδίο συμφωνούσαν ότι κάποιος έπρεπε να φέρει τους επαγγελματίες που δραστηριοποιούνται στον τομέα σε συνεργασία με την επιστημονική κοινότητα, για τη δημιουργία και τεκμηρίωση μιας συμφωνημένης μεθοδολογίας μέτρησης Οικολογικών Αποτυπωμάτων.

Από τότε όπως αναφέρθηκε, το GFN έχει συνεργαστεί με 200 πόλεις, 23 έθνη και πάνω από 90 εταίρους (πανεπιστήμια, εταιρείες και ΜΚΟ) για την παροχή λεπτομερών πληροφοριών σχετικά με τη φύση του οικολογικού αποτυπώματος του κάθε οργανισμού. Το GFN δημοσιεύει επίσης τους National Footprint Accounts, μια σειρά συνόλων δεδομένων για περισσότερες από 150 χώρες που επιτρέπουν στους ερευνητές να κάνουν συγκρίσεις διακρατικές και διαχρονικών δραστηριοτήτων σχετικά με το πόσο γρήγορα οδεύουν τα διάφορα έθνη στην οικολογική υπέρβαση και ποιες χώρες έχουν επιτύχει με τις προσπάθειες τους να επιβραδύνουν αυτή τη διαδικασία. Πλέον, το GFN προσελκύει στο συμβουλευτικό του πάνελ διεθνώς αναγνωρισμένους επιστήμονες, ενώ του έχουν απονεμηθεί και πολλά βραβεία, μεταξύ των οποίων και το Skoll Award για την Κοινωνική Επιχειρηματικότητα (2007), το Blue Planet Award (2012), η συμπερίληψη στο Hall of Fame για τη βιωσιμότητα του International Society of Sustainability Professionals (ISSP) των Susan Burns και Mathis Wackernagel (2014), το World Sustainability Award (2018) και το Population Matters Change Champion (2021). Ο Υπολογιστής Οικολογικού Αποτυπώματος, ο οποίος παρουσιάστηκε στο διαδίκτυο το 2007 και ανανεώθηκε το 2017, προσελκύει σήμερα πάνω από 4 εκατομμύρια χρήστες ετησίως (About Global Footprint Network, 2003-2023).



## Προδιαγραφές του Οικολογικού Αποτυπώματος - Εφαρμογή του προτύπου

Το πρώτο σύνολο των προδιαγραφών του οικολογικού αποτυπώματος που δημοσιεύθηκε το 2006, αναπτύχθηκε από 16 εκπροσώπους εταιρών του GFN. Οι προκλήσεις για τη δημιουργία μιας τυπικής μεθοδολογίας ήταν πολλές, όπως για παράδειγμα, εάν το Οικολογικό Αποτύπωμα θα υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τα συγκεντρωτικά δεδομένα από τις εθνικές καταναλώσεις (όπως χρησιμοποιούνται για τα εθνικά αποτυπώματα), ή θα έπρεπε να υπολογίζεται αθροίζοντας τα συγκεκριμένα δεδομένα κατανάλωσης μιας τοπικής περιοχής ή ενός ιδρύματος (Global Footprint Network, 2006). Επιλέχθηκε ένας συνδυασμός των δύο, με μια μέθοδο βαθμονόμησης τοπικών δεδομένων στον εθνικό μέσο όρο. Ο επόμενος προβληματισμός στη διαδικασία ήταν εάν τα Οικολογικά Αποτυπώματα θα πρέπει να μετριοούνται χρησιμοποιώντας τη πραγματική παραγωγικότητα της γης στην εν λόγω περιοχή ή σύμφωνα με τον μέσο όρο της παγκόσμιας παραγωγικότητας. Ως μονάδα σύγκρισης, προκειμένου να γίνουν ευκολότερες οι διαπεριφερειακές συγκρίσεις, επιλέχθηκε το παγκόσμιο εκτάριο (global hectare-gha). Το παγκόσμιο εκτάριο βασίζεται στη μέση σταθμισμένη παραγωγικότητα χρησιμοποιήσιμης γης και νερού σε ένα δεδομένο έτος. Επειδή διαφορετικοί τύποι γης έχουν διαφορετική παραγωγικότητα, όπως επίσης επειδή η παγκόσμια βιοπαραγωγικότητα ποικίλλει ελαφρώς από έτος σε έτος, η τιμή ενός παγκόσμιου εκταρίου μπορεί να αλλάζει ελαφρώς από έτος σε έτος (Recycle Nation, 2023).

Η ανάπτυξη του GFN επιτεύχθηκε αξιοποιώντας τις ανάγκες και την τεχνογνωσία των πολυάριθμων διαφορετικών εταιρών της, συμπεριλαμβανομένου και της πιο περιεκτικής έρευνας για τη βελτίωση του μετρικού συστήματος μέχρι σήμερα. Μια εργασία που δημοσιεύτηκε το 2009, αποτέλεσμα 26 διαφορετικών συγγραφέων, συμπεριλαμβανομένων και εκπροσώπων από τον ιδιωτικό τομέα, ΜΚΟ, κυβερνήσεις και τον ακαδημαϊκό κόσμο. Το μέγεθος βελτίωσης των εργαλείων μέτρησης δεν θα μπορούσε να είχε πραγματοποιηθεί αν το GFN βασιζόταν μόνο στους εσωτερικούς πόρους και τις ικανότητές του (Kitzes J. et al., 2009).

Οι περιπτώσιολογικές μελέτες που δημοσιεύει η GFN στον ιστότοπό της είναι γεμάτες παραδείγματα συνεργατών που έφεραν καινοτομίες στην τεχνική δημιουργώντας νέους τομείς επικέντρωσης, εξασφαλίζοντας την παροχή ενός εμπειρικού πεδίου δοκιμών για την καλύτερη ανάπτυξη του οικολογικού αποτυπώματος, προκειμένου αυτό να δύναται να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο μέτρησης για την υποβοήθηση επιχειρηματικών αποφάσεων ή δημόσιας πολιτικής γραμμής. Για παράδειγμα, η Bank Sarasin, μια ελβετική τράπεζα που προσφέρει αξιολογήσεις βιωσιμότητας σε κρατικά ομόλογα, χρησιμοποιεί το Οικολογικό Αποτύπωμα στη δουλειά της,

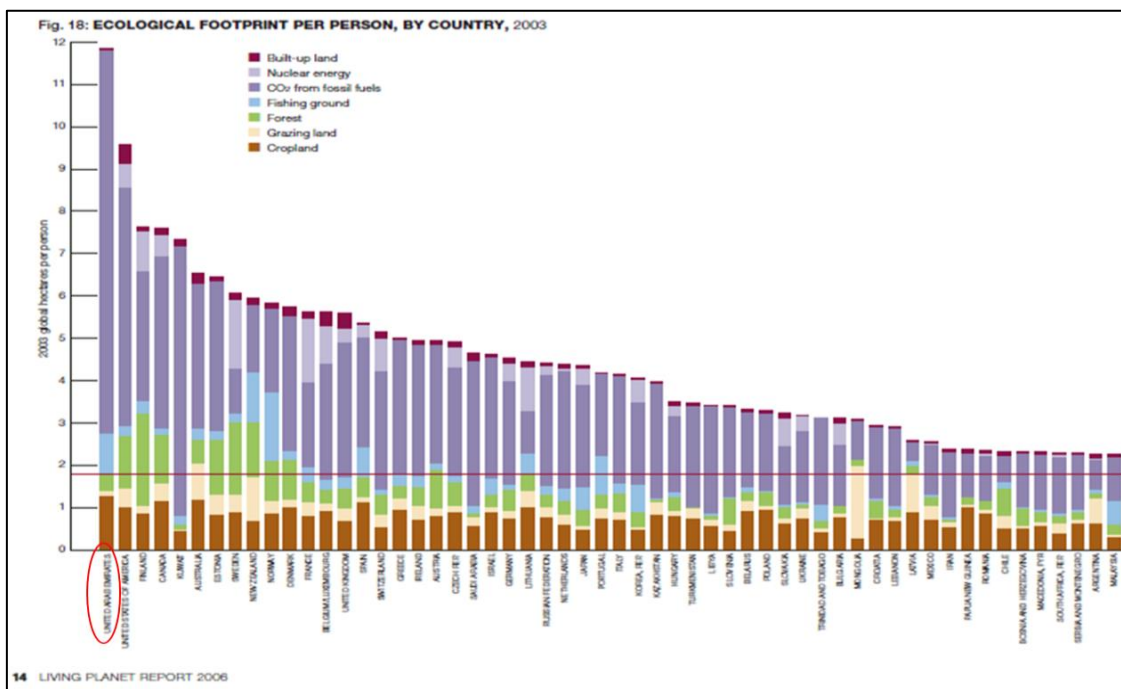
έχοντας συνεισφέρει στη βελτίωση του. Το Οικολογικό Αποτύπωμα δεν περιλαμβάνει μετρήσεις των κινδύνων που σχετίζονται με τη πυρηνική ενέργεια και τους πόρους που απαιτούνται για την αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων, στοιχεία τα οποία πρόσθεσε η συγκεκριμένη τράπεζα στην ανάλυσή της (Magyar B., 2010).

Μερικές φορές η μέτρηση του Οικολογικού Αποτυπώματος αποκαλύπτει εκπληκτικά εμπειρικά αποτελέσματα. Όταν το GFN συνεργάστηκε με την πόλη του Σαν Φρανσίσκο, ανακάλυψαν ένα παράδοξο των οικολογικών επιπτώσεων των πόλεων. Από τη μια πλευρά, όπως προέβλεψαν οικονομολόγοι όπως ο Ed Glaeser (Glaeser E. L., Kahn M. E., 2008), αυξήθηκε η χρήση των μέσων μαζικής μεταφοράς και μειωθήκαν οι κατά κεφαλήν ανάγκες υποδομών μειώνοντας το Οικολογικό Αποτύπωμα της πόλης. Από την άλλη όμως, επειδή οι κάτοικοι του Σαν Φρανσίσκο ήταν πλουσιότεροι από τον μέσο όρο, κατανάλωναν πολύ περισσότερο από τους αντίστοιχους κατοίκους της υπαίθρου (Moore D., 2011). Συνεπώς, αυτό σημαίνει ότι η πυκνότητα συνδέεται άμεσα με μεγαλύτερα Οικολογικά Αποτυπώματα, μια διαπίστωση που έρχεται σε αντίθεση με τις συμβατικές πολεοδομικές προβλέψεις.

Από τις δεκάδες περιπτώσιολογικές μελέτες του GFN επισημαίνονται τρεις που είναι σε ολοκληρωμένο στάδιο ανάπτυξης ώστε να θεωρούνται ικανές να προσδώσουν απτά αποτελέσματα: Το Εκουαδόρ, τα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα και Πόλη Κάλγκαρι του Καναδά. Το 2010, το Εκουαδόρ έγινε το πρώτο έθνος που δεσμεύτηκε να επιτύχει συγκεκριμένους στόχους Οικολογικού Αποτυπώματος μέσω ενός Εθνικού Σχεδίου Ανάπτυξης, δεσμευόμενο να μην υπερβεί το μέγεθος των ανανεώσιμων πόρων της χώρας. Έκτοτε μέλη από τα υπουργεία Σχεδιασμού και Περιβάλλοντος του Εκουαδόρ λαμβάνουν τεχνική εκπαίδευση από το GFN για τη βελτίωση της ιδιαιτερότητας του Εθνικού Αποτυπώματος (Falconí Benítez F. et al., 2019). Η δέσμευση περιέχει ένα σύνολο σθεναρών πολιτικών δράσεων, συμπεριλαμβανομένης και της απόφασης να μην προχωρήσουν σε εκμετάλλευση του μεγαλύτερου αποθέματος πετρελαίου της χώρας, επιτρέποντας με αυτή την ενέργεια τη διατήρηση πάνω από ενός εκατομμυρίου στρεμμάτων τροπικού δάσους, μια δέσμευση βέβαια που η σημερινή κυβέρνηση δεν είναι διατεθειμένη να τηρήσει (Panchana A., Jiménez R., 2022).

Στην έκθεση «Ζωντανός Πλανήτης 2006» του WWF, τα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα καταχωρήθηκαν ως η χώρα με το μεγαλύτερο κατά κεφαλήν Οικολογικό Αποτύπωμα στον κόσμο, με βάση τα δεδομένα του Εθνικού Λογαριασμού Αποτυπώματος. Ως πολύ πλούσια χώρα, σε ένα ζεστό κλίμα, με αφθονία πετρελαίου, τα ΗΑΕ αντιμετωπίζουν σημαντικές

προκλήσεις αιφροδίας. Μετά από αυτή την έκθεση, η κυβέρνηση των ΗΑΕ ξεκίνησε το πρόγραμμα «Al Basama Al Beeiya» (Πρωτοβουλία Οικολογικού Αποτυπώματος) προκειμένου να κατανοήσουν τις αιτίες αυτής της ακραίας πρωτιάς και να αναζητήσουν τρόπους για να βελτιώσουν το αποτύπωμά τους.



**Εικόνα 6:** Οικολογικό Αποτύπωμα ανά άτομο, ανά χώρα 2003 (Πηγή WWF Living Planet Report\_2006)

Η πρωτοβουλία αυτή, είχε ως αποτέλεσμα ορισμένες καινοτόμες πολιτικές αποφάσεις. Σε μια προσπάθεια να μειώσουν την εξάρτησή τους από την εξόρυξη πετρελαίου, τα ΗΑΕ επενδύουν πλέον 15 δισεκατομμύρια δολάρια ετησίως στην έρευνα για εναλλακτική ενέργεια, περισσότερα χρήματα από ό,τι διαθέτουν οι Ηνωμένες Πολιτείες. Εν τω μεταξύ, το «Masdar City Project» έχει αναγγελθεί ως «ένα παγκόσμιο μοντέλο για τη βιώσιμη ανάπτυξη». Το ερευνητικό αυτό σχέδιο, βασίζεται σε ένα μοντέλο καθαρής τεχνολογίας, προϋπολογισμού 22 δισεκατομμυρίων δολαρίων. Στην πόλη θα επιτρέπεται περιορισμένος αριθμός αυτοκινήτων, θα λειτουργεί με ηλιακή ενέργεια και θα χρησιμοποιεί την περιβαλλοντολογική αρχιτεκτονική (κανάλια ανέμου, παράθυρα που εκτρέπουν το ηλιακό φως κ.α.) για μείωση της κατανάλωσης ενέργειας (Walsh B., 2011).

Η πόλη Κάλγκκρι της καναδικής επαρχίας Αλμπέρτα πραγματοποίησε μια μελέτη Οικολογικού Αποτυπώματος το 2005, εν μέσω μιας περιόδου με μια άνευ προηγουμένου οικονομική και πληθυσμιακή αύξηση. Η μελέτη κατέληξε στο συμπέρασμα ότι ο μέσος κάτοικος της πόλης είχε

Οικολογικό Αποτύπωμα 30% υψηλότερο από τον μέσο όρο του Καναδά συνολικά. Με βάση αυτή τη μελέτη, το Κάλγκαρι έγινε η πρώτη πόλη στον Καναδά που ανακοίνωσε συγκεκριμένα μέτρα Οικολογικού Αποτυπώματος, θέτοντας ως στόχο να φτάσει τον καναδικό μέσο όρο έως το 2036. Η πόλη ανέστειλε προσωρινά τις νέες δημιουργίες χώρων πρασίνου έχοντας δεσμευτεί να συμπεριλάβει όλους τους προβληματισμούς για τη βιωσιμότητα στη λήψη αποφάσεων για την ανάπτυξη. Το Κάλγκαρι επιπλέον είναι στη διαδικασία κατασκευής του πρώτου συστήματος ελαφρού σιδηροδρόμου στον Καναδά που κινείται εξ ολοκλήρου από αιολική ενέργεια και συνεπώς χωρίς εκπομπές καυσαερίων (GFN, 2015).

Εκτός από αυτά τα έργα, το GFN συνεργάζεται επίσης με τον ιδιωτικό τομέα για να ενσωματώσει το Οικολογικό Αποτύπωμα στους υπολογισμούς του Οικονομικού Ρίσκου, ιδίως σε εθνικό επίπεδο, όπως και στις νέες αξιολογήσεις πιστοληπτικής ικανότητας του δημόσιου χρέους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα, είναι το Περιβαλλοντολογικό Ρίσκο Κρατικών Πιστώσεων [Environmental Risk in Sovereign Credits (E-RISC)], μια συνεργασία μεταξύ του Προγράμματος των Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον, του GFN και πολλών κορυφαίων εταιρειών χρηματοοικονομικών υπηρεσιών στον κόσμο, συμπεριλαμβανομένων των Merrill Lynch, JP Morgan Chase και Caisse de Depots. Χρησιμοποιεί δεδομένα από το εκάστοτε Εθνικό Αποτύπωμα για τον υπολογισμό των κινδύνων για το δημόσιο χρέος. Η βασική παραδοχή είναι ότι οι ανομοιότητες στην εξάρτηση των χωρών από εισαγόμενους πόρους καθώς και στην ευπάθεια τους στις διακυμάνσεις των τιμών αυτών των πόρων, μπορούν να υπολογιστούν χρησιμοποιώντας το Οικολογικό Αποτύπωμα. Στη συνέχεια το αποτέλεσμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την τιμολόγηση των κρατικών ομολόγων με μεγαλύτερη ακρίβεια με τα υπάρχοντα μοντέλα που χρησιμοποιούνται επί του παρόντος από τους οίκους αξιολόγησης (UNEP, 2012)

Η οικονομική κρίση εμφάνισε έντονους προβληματισμούς σχετικά με την ικανότητα των αγορών να αποτιμούν τους κινδύνους που σχετίζονται με σύνθετα χρηματοοικονομικά περιουσιακά στοιχεία, παράλληλα όμως δημιούργησε ευκαιρίες για συνομιλίες και σε άλλες περιπτώσεις, όπου οι δείκτες μετρήσεων ενώ πρωτίτερα θεωρούνταν επαρκείς στην ανάλυση κινδύνου, εμφανίστηκαν τώρα ελλείψεις. Το GFN διαπίστωσε μια εμπιστοσύνη που είχαν οι άνθρωποι στους οίκους αξιολόγησης πιστοληπτικής ικανότητας πριν από την κρίση, που όταν αρχικά προτείναν αλλαγές στον τρόπο αξιολόγησης του κινδύνου, βρέθηκαν αντιμέτωποι με έντονες κριτικές (GFN, 2020). Στην μετέπειτα εποχή, ωστόσο, διαπιστώθηκε ότι οι επενδυτές έγιναν πολύ περισσότερο ανοικτοί στην ιδέα ότι υφίστανται διαφορετικοί τύποι κινδύνων και

ότι οι πολύτιμες συμβουλές μπορεί να προέρχονται και από οργανισμούς αξιολόγησης πέρα των καθιερωμένων. Το Οικολογικό Αποτύπωμα καθιερώθηκε.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ Γ

### ΑΝΘΡΑΚΙΚΟ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ

#### Γενικά

Οι κατασκευές είναι μεταξύ των βιομηχανιών/δραστηριοτήτων που αποφέρουν το μεγαλύτερο ανθρακικό αποτύπωμα. Οι πηγές του ανθρακικού αποτυπώματος στην κατασκευαστική βιομηχανία συναντώνται από την παραγωγή πρώτων υλών, τη μεταφορά, τις φάσεις κατασκευής, λειτουργίας, συντήρησης και διαχείρισης, καθώς και τις φάσεις αποδόμησης στο τέλος του κύκλου ζωής τους. Αυτό κάνει επιτακτική την ανάπτυξη μελετών σχετικά με τις μεθόδους μείωσης του αποτυπώματος σε όλες τις φάσεις κατασκευής με τη χρήση εναλλακτικών προσθέτων σε οικοδομικά υλικά, βελτιώσεις στο σχεδιασμό, ανακύκλωση απορριμμάτων κατασκευών, προώθηση της χρησιμότητας εναλλακτικών υδάτινων πόρων και αύξηση της αποτελεσματικότητας των τεχνολογιών των λοιπών κτιριακών συστημάτων.

Η χρήση εναλλακτικών πρόσθετων/υλικών ή τεχνικών/συστημάτων μπορούν να μειώσουν έως και 90% των εκπομπών CO<sub>2</sub> στα διαφορά στάδια των κατασκευαστικών και οικοδομικών εργασιών. Επομένως, η αξιοποίηση αυτών είναι επωφελής από το αρχικό στάδιο της σύλληψης και του σχεδιασμού έως και την κατασκευή και λειτουργία, προκειμένου να συνεισφέρει μέσω της επιλογής αντίστοιχων υλικών και συστημάτων στη δημιουργία περιβαλλοντικής κατασκευαστικής συνείδησης.

Ο κατασκευαστικός κλάδος αναφέρεται ως ο μεγαλύτερος παγκόσμιος καταναλωτής πόρων. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, η κατασκευή κτιρίων καταναλώνει το 40% των υλικών και της πρωτογενούς ενέργειας, ενώ παράγει το 40% των απορριμμάτων ετησίως (European Commission, 2018). Παγκοσμίως, σε ανεπτυγμένες και αναπτυσσόμενες χώρες, τα κτίρια συμβάλλουν στο 33% των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (GHG) και στο 40% κατανάλωσης της παγκόσμιας ενέργειας που πηγάζει από τη χρήση του εξοπλισμού, την κατασκευή του κτιρίου, τα υλικά και τη μεταφορά τους (WEF, 2016). Το 2022 διαπιστώθηκε ότι παρά τη σημαντική αύξηση των επενδύσεων σε παγκόσμιο επίπεδο για τη μείωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, η συνολική κατανάλωση ενέργειας και οι εκπομπές CO<sub>2</sub> στον κλάδο αυξήθηκαν το 2021 πάνω από τα προ πανδημίας επίπεδα. Η ενεργειακή ζήτηση των κτιρίων αυξήθηκε κατά περίπου 4% από το 2020 σε 135 Εξατζάουλ (EJ), η μεγαλύτερη αύξηση τα τελευταία 10 χρόνια. Οι εκπομπές CO<sub>2</sub> από τις εργασίες των κτιρίων ανήλθαν στο ιστορικό υψηλό των περίπου 10

GtCO<sub>2</sub>, αύξηση περίπου 5% από το 2020 και 2% υψηλότερη από την προηγούμενη υψηλότερη τιμή του 2019 (UN, 2022).

Σε παγκόσμιο επίπεδο, ο αστικός πληθυσμός προβλέπεται να ξεπεράσει τα έξι δισεκατομμύρια το 2045, και αυτό θα μπορούσε να οδηγήσει σε περισσότερες κατασκευές στο μέλλον. Σύμφωνα με την 4η Έκθεση Αξιολόγησης της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC), οι εκπομπές GHG από τα κτίρια έφτασαν τους 8,6 δισεκατομμύρια τόνους ισοδύναμου CO<sub>2</sub> (t-CO<sub>2</sub>e) το 2004. Προβλέπεται ότι θα μπορούσε να φτάσει τα 15,6 δισεκατομμύρια t-CO<sub>2</sub>e έως το 2030, δημιουργώντας μια αύξηση 26% του CO<sub>2</sub> που αντιπροσωπεύει το 30% με 40% των συνολικών εκπομπών GHG (Mardiana A., Riffat, S.B., 2015). Είναι απαραίτητο να ληφθούν μέτρα για τη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου που προέρχονται από τις κατασκευαστικές δραστηριότητες. Ως εκ τούτου, είναι ζωτικής σημασίας να εφαρμοστούν αντίστοιχες πολιτικές που θα εστιάζουν στον μετριασμό των εκπομπών GHG. Τέτοια συστήματα ευρέως ταξινομούνται σε δύο προσεγγίσεις, πρώτον με την έμμεση κοστολόγηση μέσω των κανονισμών και δεύτερον με την άμεση κοστολόγηση όπως είναι οι φόροι άνθρακα και τα Συστήματα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών (Emission Trading Schemes - ETS) (European Commission, 2023a).

Κανονισμοί όπως οι Οικοδομικοί Κώδικες μπορούν να μειώσουν αποτελεσματικά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου εάν επιτευχθεί η εφαρμογή τους και μπορούν να διασφαλίσουν ότι τα νέα κτίρια ενσωματώνουν αποτελεσματικά σχέδια τόσο για το κόστος όσο και για την ενέργεια. Έχει γίνει ήδη θεσμοθέτηση αρκετών οικοδομικών κωδίκων, συμπεριλαμβανομένων της εντολής Κτιρίων με Σχεδόν Μηδενική Κατανάλωση Ενέργειας της Ευρωπαϊκής Ένωσης του 2010 (για την οποία έχει γίνει εισήγηση τροποποίησης προκειμένου τα κτίρια να είναι από το 2030 με μηδενική κατανάλωση ενέργειας) (European Commission, 2023b), το πρότυπο Nationwide House Energy Rating Scheme - NatHERS 7-star της Αυστραλίας, διάφορες πιστοποιήσεις εθελοντικών οργανώσεων όπως η Ηγεσία στην Ενέργεια και Περιβαλλοντικός Σχεδιασμός (Leadership in Energy and Environmental Design - LEED), που είναι απαραίτητη για όλα τα νέα κατασκευαστικά έργα και τις ανακαινίσεις από τις ομοσπονδιακές κυβερνήσεις στις ΗΠΑ και η Μέθοδος Περιβαλλοντικής Πιστοποίησης BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) της Βρετανίας. Πλέον όλοι αυτοί οι κώδικες - πιστοποιητικά αναγκάζουν τους σχεδιαστές και τους εργολάβους να επανεξετάζουν τη χρήση υλικών που έχουν υψηλή ενσωματωμένη περιεκτικότητα σε άνθρακα καθώς και να επαναπροσδιορίσουν τον τρόπο με τον οποίο θα διεξάγουν τις λειτουργίες τους.

Η άλλη μέθοδος για τον μετριασμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου είναι ο Φόρος Άνθρακα. Οι Φόροι Άνθρακα είναι απλούστεροι στον σχεδιασμό, έχουν σχετικά χαμηλό κόστος διαχείρισης και είναι ελκυστικοί για τους ενδιαφερόμενους στον κτιριακό τομέα λόγω της εξοικείωσής τους με τον φορολογικό μηχανισμό (Spash C.L., 2010). Επιπλέον, ενθαρρύνουν τη βιομηχανία και το ευρύ κοινό να συμβάλουν στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου χρησιμοποιώντας την ενέργεια αποτελεσματικά και επιλέγοντας καθαρότερες, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, το οποίο με τη σειρά του οδηγεί σε τεχνολογικές και διαδικαστικές καινοτομίες. Όσον αφορά το ETS, η σωρευτική ποσότητα των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που επιτρέπεται να εκπέμπουν οι μονάδες παραγωγής ενέργειας και τα εργοστάσια ποσοτικοποιείται με το ETS και εκδίδονται άδειες εκπομπών από τις οποίες ένα μέρος μπορεί να διανεμηθεί δωρεάν (υπό συγκεκριμένες προϋποθέσεις) και οι υπόλοιπες δημοπρατούνται. Έχοντας ως βάση τον κανόνα ότι προσφορά και ζήτηση ενέργειας έχουν ίση αξία, ένα ETS μπορεί να είναι ιδιαίτερα χρήσιμο στον κατασκευαστικό κλάδο, με ενθάρρυνση της χρήσης τεχνολογιών που είναι ενεργειακά αποδοτικές (European Commission, 2023a).

Μελέτες έχουν αποδείξει ότι υφίστανται διάφοροι παράγοντες που επιβραδύνουν τη μετάβαση προς την ανθρακικά ουδέτερη κατασκευαστική βιομηχανία. Μια μελέτη που διεξήχθη στη Σιγκαπούρη και το Χονγκ Κονγκ διαπίστωσε ότι η έλλειψη ευαισθητοποίησης, η ελλιπής εκπαίδευση, τα κίνητρα και το υψηλό αρχικό κόστος είναι τα κύρια εμπόδια για μια τέτοια μετάβαση (Chan E.H.et al., 2009). Σε αντίστοιχη μελέτη που επικεντρώθηκε σε εμπορικά κτίρια στις κινεζικές πόλεις του Πεκίνου και της Σαγκάης, τα εμπόδια εντοπίστηκαν στην έλλειψη κανονισμών και οικονομικών κινήτρων, στην αναποτελεσματική παρακολούθηση και στην έλλειψη ευαισθητοποίησης σχετικά με την εξοικονόμηση ενέργειας (Jiang P., Tovey N.K., 2009). Ως εκ τούτου, επιβάλλεται η ενίσχυση των προσπαθειών για την ευαισθητοποίηση όλων των εμπλεκόμενων στην κατασκευαστική βιομηχανία.

### **Ανάλυση Κύκλου Ζωής**

Μέχρι προσφάτως, η κύρια επικέντρωση κατά τη διάρκεια της ζωής ενός κτιρίου ήταν να μειωθεί η κατανάλωση ενέργειας στη φάση της χρήσης, αφού υπήρχε η αντίληψη ότι η ενσωματωμένη ενέργεια ενός κτιρίου αντιστοιχούσε μόνο σε ένα πολύ μικρό ποσοστό σε σύγκριση με την ενέργεια λειτουργίας. Ως εκ τούτου, τα νεότερα κτίρια σχεδιάζονταν με όλο και πιο αποτελεσματικά μονωτικά υλικά, αλλά και υλικά υψηλής έντασης άνθρακα που αυξάνουν τη χρήση ενέργειας στα προηγούμενα στάδια του κύκλου ζωής του κτιρίου (Pai V., Elzarka H., 2021). Στην πραγματικότητα, ωστόσο, οι αναλογίες μεταξύ λειτουργικής και



ενσωματωμένης ενέργειας ποικίλλουν και σε ορισμένες ακραίες περιπτώσεις η ενσωματωμένη ενέργεια μπορεί να αποτελεί έως και το 49% της συνολικής χρήσης ενέργειας (Carbon Cure, 2020). Για τον λόγο αυτό η ερευνητική κοινότητα τα τελευταία δύο χρόνια έχει επιστήσει την προσοχή της στην ενσωματωμένη ενέργεια. Ο κύριος στόχος μιας Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (Life Cycle Assessment - LCA) είναι η αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων όλων των εισροών και των εκροών εκπομπών κατά τη διάρκεια της ζωής των προϊόντων, από την απόκτηση πρώτων υλών για την κατασκευή του έως το τέλος της χρήσης του (Sartori T. et al., 2021).

Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής (LCA) έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως στον κτιριακό τομέα από το 1990 και έχει καταστεί ένα απαραίτητο εργαλείο για την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων μιας κατασκευής, επιτρέποντας έτσι στον κατασκευαστικό τομέα να κινηθεί προς τη βιωσιμότητα. Η LCA είναι η πιο γνωστή μέθοδος για την αξιολόγηση των επιπτώσεων που σχετίζονται με τις διαφορετικές φάσεις μιας διαδικασίας. Βοηθάει στη διαδικασία λήψης αποφάσεων και υποστηρίζει την ανάπτυξη βιώσιμων πρωτοβουλιών καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του κτιρίου, συμπεριλαμβανομένων των σχεδιασμού, κατασκευής, λειτουργίας, ανακαίνισης και αποδόμησης. Ωστόσο, εξακολουθεί να είναι λιγότερο ανεπτυγμένη από τις αντίστοιχες σε άλλες βιομηχανίες. Οι αναλύσεις αυτές στον κτιριακό τομέα έχουν οδηγήσει στη δημιουργία μιας ξεχωριστής εξειδικευμένης εργασίας από τους επαγγελματίες αναλυτές LCA κυρίως λόγω της πολυπλοκότητας των κτιρίων.

Η σύλληψη της ιδέα του κύκλου ζωής έχει τις ρίζες της στην αμυντική βιομηχανία των ΗΠΑ και η χρήση της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (Life Cycle Assessment - LCA) ως εργαλείο περιβαλλοντικής διαχείρισης ξεκίνησε τη δεκαετία του 1960 με διάφορους τρόπους και με πολλά διαφορετικά ονόματα. Η Coca-Cola ήταν η πρώτη εταιρεία που χρησιμοποίησε LCA στην τρέχουσα σύγχρονη περιβαλλοντική κατανόηση προκειμένου να ποσοτικοποιηθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της χρήσης των συσκευασιών της από την δημιουργία μέχρι την απόρριψη τους, αν και εκείνη την περίοδο η μελέτη αφορούσε κυρίως τη μείωση των στερεών αποβλήτων και όχι τις περιβαλλοντικές εκπομπές ή τη χρήση ενέργειας (Khasreen M.M. et al., 2009).

Εξαιτίας της αυξανόμενης συχνότητας των προβλημάτων υπερθέρμανσης του πλανήτη, η Ανάλυση Εκπομπών Άνθρακα του Κύκλου Ζωής (Life Cycle Carbon Emission Assessment - LCCO<sub>2</sub>A), μια υποενότητα του παραδοσιακού LCA, λαμβάνει όλο και μεγαλύτερη σημασία σήμερα. Συνολικά, οι εκπομπές άνθρακα μπορούν να μετρηθούν με τρεις τρόπους: Πρώτον

λαμβάνοντας υπόψη μόνο το διοξείδιο του άνθρακα, δεύτερον συμπεριλαμβάνοντας τα έξι αέρια όπως καθορίζονται από το Πρωτόκολλο του Κιότο, δηλαδή CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFCs, PFCs και SF<sub>6</sub><sup>2</sup>. ή τρίτον συμπεριλαμβανομένων πολυάριθμων εκπομπών GHG που προσδιορίζονται από την IPCC. Το πλαίσιο της IPCC, που δημιουργήθηκε ως μια μέθοδος καταγραφής των εκπομπών άνθρακα σε συμμόρφωση με το Πρωτόκολλο του Κιότο, είναι η πιο συχνή μέθοδος που χρησιμοποιείται. Σε αυτή τη μέθοδο, οι εκπομπές GHG καταγράφονται λαμβάνοντας υπόψη τις επιμέρους επιπτώσεις του κάθε αερίου GHG, χρησιμοποιώντας το Δυναμικό Πλανητικής Υπερθέρμανσης (Global Warming Potentials - GWP) των αερίων.

Τα αέρια του θερμοκηπίου (GHG) θερμαίνουν τη γη απορροφώντας ενέργεια και μειώνοντας τον ρυθμό με τον οποίο η ενέργεια μπορεί να διαφύγει από την ατμόσφαιρα. Όλα τα αέρια διαφέρουν ως προς την ικανότητά τους να απορροφούν ενέργεια και ως εκ τούτου διαφέρουν ως προς τις περιβαλλοντικές τους επιπτώσεις. Για να γίνει σωστή σύγκριση των επιπτώσεων της υπερθέρμανσης του πλανήτη στα αέρια αναπτύχθηκε το GWP. Το GWP μετριέται σε kg-CO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup> και είναι ένα μέτρο σύγκρισης του πόση ενέργεια θα απορροφήσει 1 τόνος εκπομπών ενός αερίου σε μια δεδομένη χρονική περίοδο σε σύγκριση με τις εκπομπές 1 τόνου CO<sub>2</sub> (EPA, 2023). Η εικόνα 7 δείχνει το GWP για τα κύρια αέρια θερμοκηπίου. Για παράδειγμα το 1 κιλό μεθανίου από ορυκτά καύσιμα έχει το ίδιο GWP-100 με 29,8 κιλά CO<sub>2</sub>.

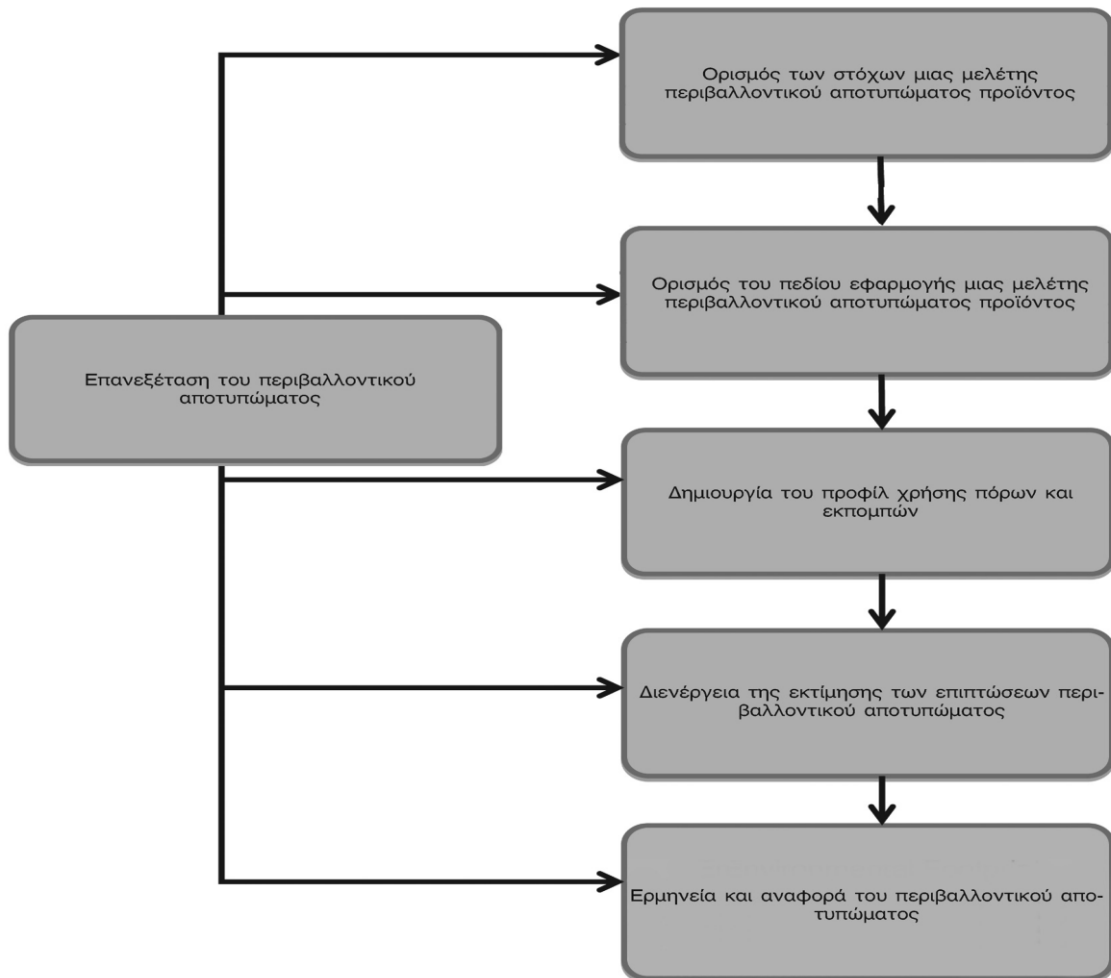
Species	Lifetime (Years)	Radiative Efficiency (W m <sup>-2</sup> ppb <sup>-1</sup> )	GWP-20	GWP-100	GWP-500	GTP-50	GTP-100
CO <sub>2</sub>	Multiple	1.33 ± 0.16 × 10 <sup>-5</sup>	1.	1.000	1.000	1.000	1.000
CH <sub>4</sub> -fossil	11.8 ± 1.8	5.7 ± 1.4 × 10 <sup>-4</sup>	82.5 ± 25.8	29.8 ± 11	10.0 ± 3.8	13.2 ± 6.1	7.5 ± 2.9
CH <sub>4</sub> -non fossil	11.8 ± 1.8	5.7 ± 1.4 × 10 <sup>-4</sup>	79.7 ± 25.8	27.0 ± 11	7.2 ± 3.8	10.4 ± 6.1	4.7 ± 2.9
N <sub>2</sub> O	109 ± 10	2.8 ± 1.1 × 10 <sup>-3</sup>	273 ± 118	273 ± 130	130 ± 64	290 ± 140	233 ± 110
HFC-32	5.4 ± 1.1	1.1 ± 0.2 × 10 <sup>-1</sup>	2693 ± 842	771 ± 292	220 ± 87	181 ± 83	142 ± 51
HFC-134a	14.0 ± 2.8	1.67 ± 0.32 × 10 <sup>-1</sup>	4144 ± 1160	1526 ± 577	436 ± 173	733 ± 410	306 ± 119
CFC-11	52.0 ± 10.4	2.91 ± 0.65 × 10 <sup>-1</sup>	8321 ± 2419	6226 ± 2297	2093 ± 865	6351 ± 2342	3536 ± 1511
PFC-14	50,000	9.89 ± 0.19 × 10 <sup>-2</sup>	5301 ± 1395	7380 ± 2430	10,587 ± 3692	7660 ± 2464	9055 ± 3128

**Εικόνα 7:** GWP και διάρκεια ατμοσφαιρικής ζωής για κύρια αέρια θερμοκηπίου (Πηγή Επίσημη IPCC Chapter 7 AR6 Synthesis Report - 2023)

Σύμφωνα με το ISO14040 μια μελέτη LCA αποτελείται από έξι κύρια αλληλοεπηρεαζόμενα στάδια, δηλαδή τον ορισμό στόχου και πεδίου εφαρμογής, τη δημιουργία προφίλ χρήσης και

<sup>2</sup> Διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), Μεθάνιο (CH<sub>4</sub>), Υποξείδιο του αζώτου (N<sub>2</sub>O), Χλωροφθοράνθρακες (CFCs) όπως Υδροχλωροφθοράνθρακας (HCFC) και Υδροφθοράνθρακας (HFC), Υπερφθοράνθρακες (PFCs), και Εξαφθοριούχο θείο (SF<sub>6</sub>).

εκτίμηση των επιπτώσεων, ερμηνεία του κύκλου ζωής και τέλος την επανεξέταση του αποτυπώματος (Εικόνα 8).



**Εικόνα 8:** Φάσεις Μελέτης Περιβαλλοντικού Αποτυπώματος Προϊόντος (Πηγή Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης L 124-2013)

### **Μέθοδοι Πιστοποίησης Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (LCA)**

Η σειρά προτύπων που αναπτύχθηκε για την αξιολόγηση της βιωσιμότητας των κατασκευαστικών εργασιών, λειτουργούν σε δύο επίπεδα, στο επίπεδο προϊόντος και στο επίπεδο κτιρίου, και κατανοούν την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών, οικονομικών και κοινωνικών πτυχών των κατασκευαστικών εργασιών. Αυτά τα πρότυπα όμως δεν παρέχουν δείκτες αναφοράς τιμών για τα διάφορα εξεταζόμενα κριτήρια. Η LCA γίνεται όλο και πιο δημοφιλής στην επιστημονική κοινότητα, ωστόσο στην πράξη, η αξιολόγηση της απόδοσης του κτιρίου όσον αφορά τη βιωσιμότητα συνήθως βασίζεται σε συστήματα αξιολόγησης όπως τα BREEAM, LEED, HQE, SBTool, DGNB κ.λπ. Αυτού του είδους τα εργαλεία είναι εθελοντικά

προγράμματα πιστοποίησης, που αναπτύχθηκαν από εθνικούς και διεθνείς οργανισμούς πράσινων συμβουλίων, προκειμένου να παρακινήσουν την αύξηση ζήτησης για πράσινα κτίρια.

Τα συστήματα αυτά βασίζονται στην αξιολόγηση επιλεγμένων κριτηρίων συγκρίνοντας την απόδοση του κτιρίου με προκαθορισμένα όρια ή τιμές αναφοράς. Στη συνέχεια, οι ποσοτικοί και ποιοτικοί δείκτες μεταφράζονται σε βαθμούς που συγκεντρώνονται περαιτέρω σε μια τελική βαθμολογία. Κύριο μειονέκτημα αυτών των συστημάτων είναι ότι τα συστήματα δεν είναι συγκρίσιμα μεταξύ τους λόγω πολλών διαφορών όσον αφορά τα όρια του κάθε συστήματος, τις τιμές αναφοράς δεικτών και τις μεθόδους υπολογισμού (Gervasio H. et al., 2018). Επίσης, η χρήση τους είναι χρονοβόρα και απαιτείται πολλή τεκμηρίωση για να αποδειχθεί η συμμόρφωση τους με τα εκάστοτε κριτήρια, ενώ είναι ακριβά και συχνά εμπειρογνώμονες, αναγνωρισμένοι από τον οργανισμό λειτουργίας του συστήματος, καλούνται να διενεργήσουν την αξιολόγηση προκειμένου να επιτευχθεί η πιστοποίηση. Ειδικά οι δύο τελευταίοι λόγοι μπορούν να εξηγήσουν γιατί αυτού του είδους τα συστήματα επηρεάζουν μόνο ένα πολύ μικρό ποσοστό των κτιρίων παγκοσμίως. Επιπλέον, η χρήση τέτοιων συστημάτων στα κτίρια δεν έχει οδηγήσει σε σημαντικές μειώσεις όσον αφορά τις εκπομπές CO<sub>2</sub> (Lorch R., 2017).

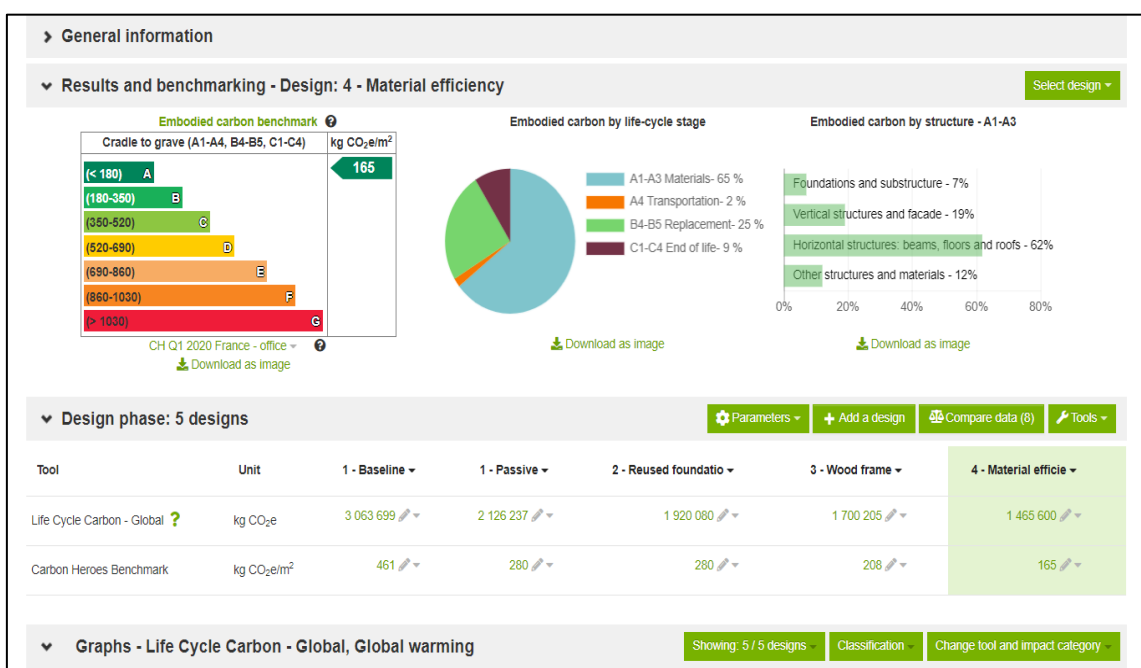
Η πιο κοινή πιστοποίηση για κτίρια στην Ευρώπη είναι η BREEAM. Τα κτίρια με πιστοποίηση BREEAM μπορεί να κυμαίνονται από "Μη ταξινομημένο<30%" έως "Εξαιρετικό>=85%" ανάλογα με τη συνολική βαθμολογία που θα αποσπάσουν μετά τη μέτρηση πολλών παραμέτρων (Bre, 2023). Άλλη μια πιστοποίηση για κτίρια που είναι παγκοσμίως γνωστή και χρησιμοποιείται στις ΗΠΑ είναι η LEED, η οποία δεν είναι φτιαγμένη μόνο για κτίρια. Περιοχές - Δήμοι πόλεων, ακόμη και μια ολόκληρη πόλη μπορούν να λάβουν πιστοποίηση LEED. Η πιστοποίηση LEED διαχωρίζεται σε 4 επίπεδα (Πιστοποιημένο, Ασημί, Χρυσό και Πλατινένιο) (Εικόνα 9) (Raken, 2022).



**Εικόνα 9:** Επίπεδα Πιστοποίησης LEED (Πηγή <https://www.rakenapp.com>)

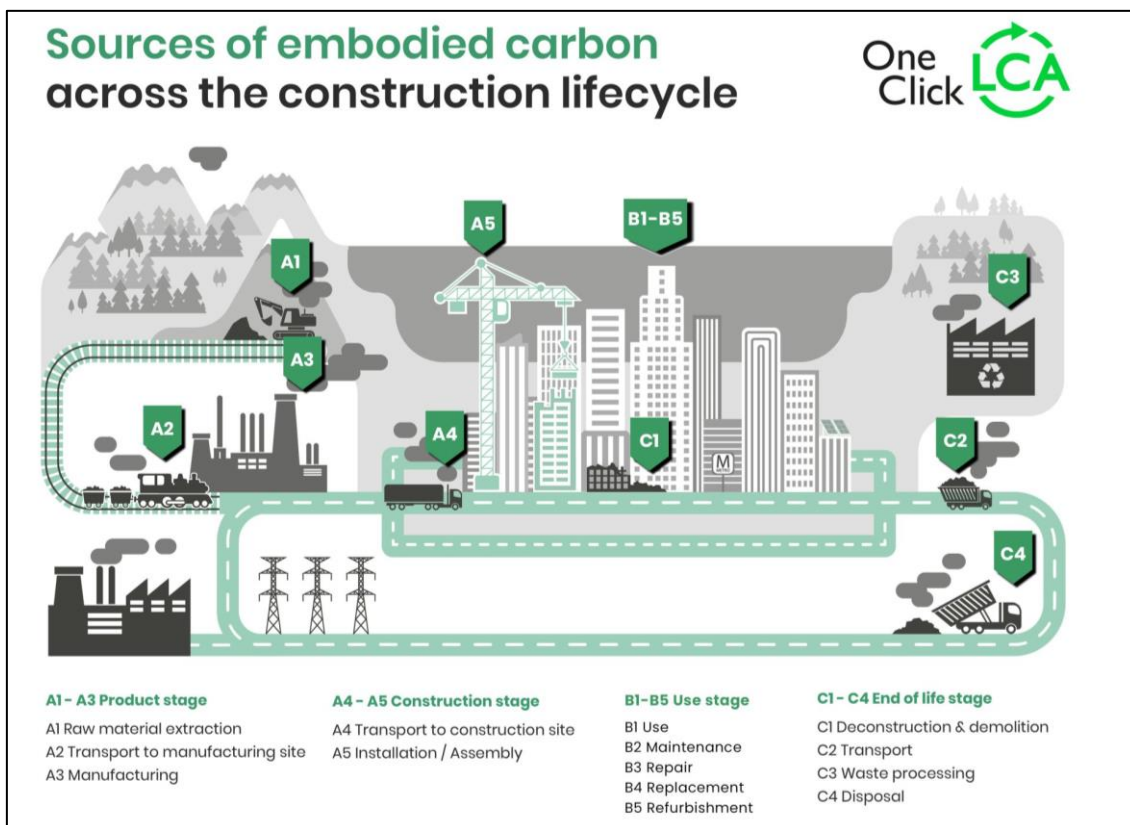
Το One Click LCA είναι ένα λογισμικό για την αξιολόγηση του κύκλου ζωής των

κατασκευαστικών έργων μέσω μέτρησης του άνθρακα. Είναι ένα πρόγραμμα συγκριτικής αξιολόγησης προκειμένου να γίνει καλύτερα κατανοητό πως τα διάφορα χρησιμοποιούμενα υλικά επηρεάζουν τον κύκλο ζωής, καθώς και να γίνει αντιληπτός ο τρόπος με τον οποίο ποικίλλει το αποτύπωμα ενός κτιρίου ανάλογα με τη χρήση του και τα γεωγραφικά του χαρακτηριστικά. Το πρόγραμμα εφαρμόζει τα πρότυπα EN15978 και ISO21930 και περιλαμβάνει τα στάδια του κύκλου ζωής A1-A4, B4-B5 και C1-C4. Το σημείο αναφοράς χωρίζεται σε 7 ισοκατανεμημένα εύρη από A-G, ενώ ενημερώνεται και αναπαράγεται περίπου κάθε έξι μήνες. Ένα παράδειγμα αυτού φαίνεται στην εικόνα 10. (Pasanen P., Castro R., 2019).



**Εικόνα 10:** Πρόγραμμα Πιστοποίησης One Click LCA (Πηγή <https://www.oneclicklca.com>)

Η ανάγκη για ομοιόμορφο και διαφανή τρόπο εφαρμογής μιας LCA σε ένα κτίριο, που προέκυψε μέσω της ανάλυσης των διαφόρων αποτελεσμάτων, οδήγησαν στη δημιουργία ορισμένων προτύπων. Στην Ευρώπη για την υλοποίηση μιας LCA χρησιμοποιείται το πρότυπο EN-15978. Το συγκεκριμένο πρότυπο περιέχει οδηγίες για τα όρια του συστήματος και για τον τρόπο συλλογής και ανάλυσης των δεδομένων, μεταξύ πολλών άλλων πραγμάτων. Σύμφωνα με αυτό το πρότυπο, η διάρκεια ζωής ενός κτιρίου χωρίστηκε σε τέσσερα κύρια μέρη: Στη Φάση Προϊόντος (A1-A3), στη Φάση Κατασκευής (A4-A5), στη Φάση Χρήσης (B1-B7) και στη Φάση Τέλους Ζωής (C1-C4).



**Εικόνα 11:** Πηγές ενσωματωμένου άνθρακα κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής στις κατασκευές (Πηγή <https://oneclicklca.zendesk.com>)

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 11, στη Φάση Προϊόντος (A1-A3), το στάδιο της προμήθειας πρώτων υλών (A1) περιλαμβάνει τις εκπομπές που παράγονται από την εξόρυξη των πρώτων υλών, τη μεταφορά τους σε βιομηχανικές μονάδες και τις εκπομπές που προκύπτουν από την επεξεργασία αυτών των υλών. Λαμβάνονται επίσης υπόψη τα απόβλητα που προκύπτουν από τη χρήση ενέργειας αλλά και από τις ίδιες τις πρώτες ύλες. Το στάδιο των επιπτώσεων μεταφοράς (A2) περιλαμβάνει τις επιπτώσεις της παραγωγής του απαιτούμενου καυσίμου καθώς και τις εκπομπές καυσαερίων που προκύπτουν από τη μεταφορά όλων των πρώτων υλών από τους προμηθευτές στις μονάδες επεξεργασίας - παραγωγής. Οι επιπτώσεις παραγωγής (A3) καλύπτουν την παραγωγή των υλικών κατασκευών, τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται από μηχανές, καθώς και τη διαχείριση των απορριμμάτων που σχηματίζονται κατά τις διαδικασίες παραγωγής μέχρι και την κατάσταση της απόρριψης.

Η Φάση Κατασκευής (A4-A5) περιλαμβάνει τις εκπομπές καυσαερίων από τη μεταφορά των προϊόντων από το εργοστάσιο παραγωγής του κατασκευαστή στο εργοτάξιο του κτιρίου (A4), καθώς και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την παραγωγή του χρησιμοποιημένου

καυσίμου. Το (A5) καλύπτει την κατασκευή του κτιρίου, δηλαδή την εγκατάσταση των υλικών και των προϊόντων, τις εκπομπές καυσαερίων που προκύπτουν από τη χρήση ενέργειας κατά τη λειτουργία του εργοταξίου και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη διαδικασία παραγωγής καυσίμων, ενέργειας και νερού. Ομοίως συμπεριλαμβάνονται και οι επιπτώσεις και οι πτυχές που σχετίζονται από τυχόν απώλειες – διαρροές κατά τη διαδικασία κατασκευής.

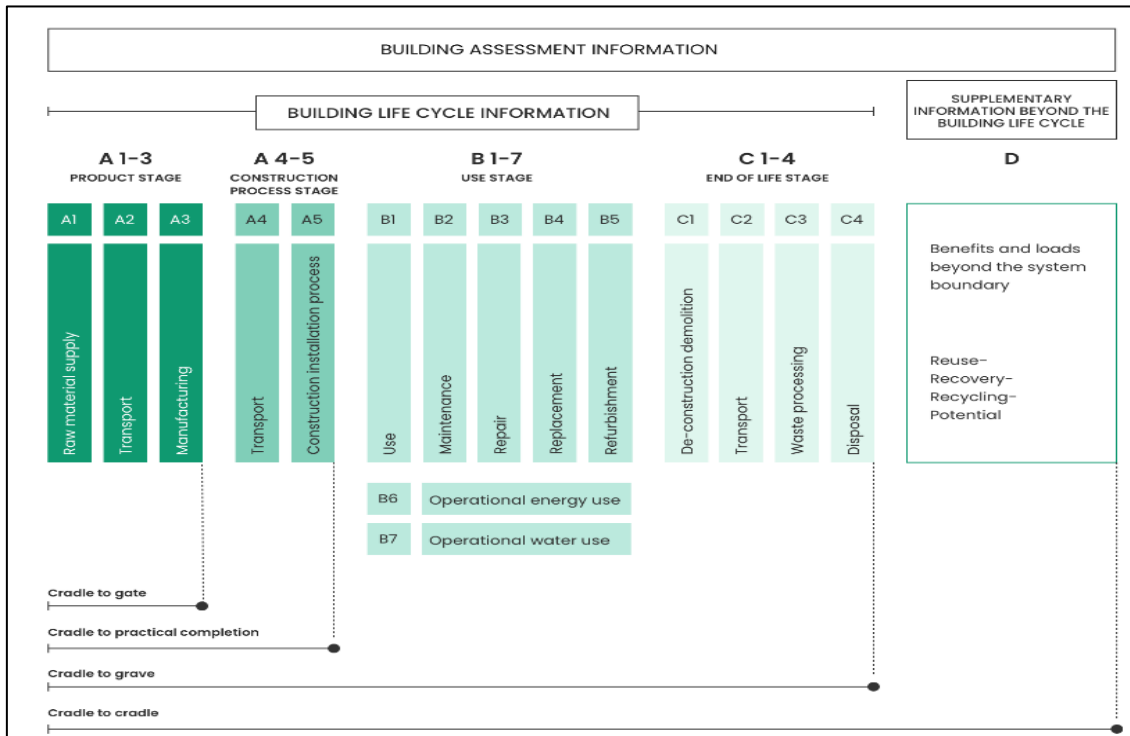
Όταν ολοκληρωθεί το κτίριο ξεκινά η Φάση Χρήσης, η οποία περιλαμβάνει όλα τα συμβάντα κατά τη διάρκεια ζωής ενός κτιρίου. Εδώ συνυπολογίζονται οι επιπτώσεις των εκπομπών που προκύπτουν κατά τη διάρκεια μιας επισκευής - αντικατάστασης, από την προμήθεια πρώτων υλών, τη μεταφορά και την παραγωγή του υλικού, την αντικατάσταση του φθαρμένου καθώς και τη διαχείριση των απορριμμάτων που προέκυψαν. Το (B1) καλύπτει τυχόν εκπομπές στο περιβάλλον κατά την κανονική χρήση του κτιρίου όπως εκπομπές από επιχρισμένες επιφάνειες, φινιρίσματα δαπέδων, πρόσοψη κτιρίου κ.λπ. Η συντήρηση του κτιρίου (B2) περιλαμβάνει τυχόν ενέργειες που πραγματοποιούνται για τη διατήρηση της τεχνολογικής και λειτουργικής απόδοσης του κτιρίου και καλύπτει τόσο την προληπτική όσο και την τακτική συντήρηση. Οποιαδήποτε εργασία γίνεται για επισκευή δομικού στοιχείου και ως εκ τούτου για την επιστροφή του στην αρχική του κατάσταση καλύπτεται από το (B3), το οποίο περιλαμβάνει τόσο τις προληπτικές και διορθωτικές επισκευές όσο και τη συντήρηση ρουτίνας. Το (B4) περιέχει την αντικατάσταση κατεστραμμένων εξαρτημάτων που δεν μπορούν πλέον να επισκευαστούν ή έχουν φτάσει την ημερομηνία λήξης ζωής που καθορίζεται από τον κατασκευαστή. Οποιαδήποτε κύρια εργασία που προκύπτει για να ανανεωθεί ή να επαναχρησιμοποιηθεί ένα κτίριο ή τα εξαρτήματά του θεωρείται ανακαίνιση και καλύπτεται από το (B5).

Η κατανάλωση ενέργειας (B6) κατά τη Φάση Χρήσης περιλαμβάνει τις επιπτώσεις από τις διαδικασίες παραγωγής καυσίμου και την ενέργεια που παράγεται εκτός κτιρίου. Συμπεριλαμβάνεται επίσης οποιαδήποτε χρήση ενέργειας προκύπτει από τις κανονικές λειτουργίες του κτιρίου κατά τη διάρκεια ζωής του, όπως εγκαταστάσεις φωτισμού και συστημάτων ασφάλειας/συναγερμού, λαμβάνοντας παράλληλα υπόψη και τις απώλειες των δικτύων διανομής ενέργειας. Ομοίως, η κατανάλωση νερού (B7) περιλαμβάνει τις επιπτώσεις από τις διαδικασίες κατανάλωσης νερού όπως για το πόσιμο και το ζεστό νερό, καθώς επίσης και από τις διαδικασίες παραγωγής - επεξεργασίας του τρεχούμενου νερού.

Η Φάση Τέλους Ζωής (C1–C4) περιλαμβάνει τις εκπομπές που εκλύονται κατά τον παροπλισμό,

την αποδόμηση, την κατεδάφιση (C1), τη μεταφορά υλικών μακριά από την τοποθεσία στην επεξεργασία απορριμμάτων (C2), την επεξεργασία απορριμμάτων για επαναχρησιμοποίηση, ανάκτηση ή/και ανακύκλωση (C3) και την απόρριψη των υπολοίπων υλικών (C4). Όλα τα στάδια αυτής της Φάσης ομοίως περιλαμβάνουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη διαδικασία παραγωγής καυσίμων, ενέργειας και νερού. Η ύπαρξη αυτής της Φάσης προτρέπει τις ομάδες σχεδιασμού μιας κατασκευής να εξετάσουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις στο τέλος του κύκλου ζωής της, από την αρχή της διαδικασίας σχεδιασμού συμπεριλαμβάνοντας στη κατασκευή ανακυκλώσιμα/επαναχρησιμοποιήσιμα υλικά προκειμένου να ελαχιστοποιήσουν τις επιπτώσεις αυτές.

Στην αναβάθμιση του προτύπου EN15804 σε EN15804+A2 που έγινε το 2019 εισήχθη και η Φάση D προκειμένου να συνυπολογίσει στην όλη διαδικασία τα καθαρά οφέλη και τα φορτία που προκύπτουν από την επαναχρησιμοποίηση προϊόντων, την ανακύκλωση ή ανάκτηση ενέργειας από απόβλητα υλικά που προκύπτουν από τις Φάσεις Κατασκευής, Χρήσης και Τέλους Ζωής. Τα αποτελέσματα συμπεριλαμβανομένης της Φάσης D, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 12, αναφέρονται συχνά ως προσέγγιση «Cradle-to-Cradle» (Από λίκνο σε λίκνο) (Masson S., 2023).



**Εικόνα 12:** Φάσεις εφαρμογής LCA στις κατασκευές (Πηγή <https://oneclicklca.zendesk.com>)

Η φάση D αποτελεί μια προτεινόμενη προσέγγιση, η οποία μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό



ρόλο, καθώς δίνει τη δυνατότητα να κλείσει ο κύκλος στην περίπτωση υλικών τα οποία έχουν τη δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης, ανακύκλωσης ή/και ανάκτησης. Θεωρείται πέρα από τα όρια του συστήματος ανάλυσης και η χρήση της είναι προαιρετική ακόμη και όταν εκτελείται πλήρης ανάλυση κύκλου ζωής ενός κτιρίου. Κατά την κατασκευή ενός νέου κτιρίου, στους υπολογισμούς θα πρέπει να περιλαμβάνονται όλες αυτές οι φάσεις μιας LCA, ενώ για ένα ήδη υπάρχον κτίριο περιλαμβάνονται μόνο τα στάδια της υπολειπόμενης διάρκειας ζωής του (Gervasio H., Dimova S., 2018).

Η υλοποίηση μιας LCA σε ένα κτίριο περιλαμβάνει πολλά διαφορετικά μεμονωμένα προϊόντα. Το κάθε προϊόν έχει υποβληθεί στη δική του ανάλυση και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις του από πλευράς κύκλου ζωής μπορούν να ληφθούν από μια Περιβαλλοντική Δήλωση Προϊόντος (Environmental Product Declaration - EPD). Ενώ το EN15978 είναι το πρότυπο που χρησιμοποιείται για LCA σε ολοκληρωμένα κτίρια, υπάρχει ένα άλλο πρότυπο όσον αφορά τα δομικά προϊόντα, το EN15804. Εγκαινιάστηκε από την ΕΕ το 2012 και ορίζει πώς οι εταιρείες, ειδικά οι κατασκευαστικές, θα πρέπει να προχωρήσουν στη δημιουργία των EPD τους. Το πρότυπο LCA δομικών υλικών EN15804 αποτελεί τη βάση για τα EPD καθιστώντας τις πληροφορίες διαφανείς και συγκρίσιμες. Μια EPD οφείλει να είναι συμβατή με το πρότυπο ISO14025 και να είναι όλα καταχωρημένα και προσβάσιμα σε μια δημόσια και δωρεάν βιβλιοθήκη EPD. Εφόσον τα EPD ακολουθούν το πρότυπο ISO14025 σημαίνει ότι προϊόντα που είναι εντός της ίδιας κατηγορίας (Product Category Rules - PCR) συγκρίνονται εύκολα μεταξύ τους (Hillege L., 2023).

Είναι ένας κανόνας που επιτρέπει την αξιολόγηση της βιωσιμότητας των κατασκευαστικών έργων. Το πρότυπο τροποποιήθηκε το 2013 σε EN15804 +A1, επισήμως γνωστό ως «Αειφορία κατασκευαστικών εργασιών - Περιβαλλοντικές δηλώσεις προϊόντων - Βασικοί κανόνες για την κατηγορία προϊόντων των δομικών προϊόντων». Τον Ιούνιο του 2019, το EN15804 αναθεωρήθηκε σε EN15804 +A2 ενώ έγινε δεκτό και από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης (CEN). Η αναθεωρημένη έκδοση του καθιστά τα EPD πιο ευθυγραμμισμένα με το «Περιβαλλοντικό Αποτύπωμα Προϊόντος (Product Environmental Footprint - PEF)» της Ευρωπαϊκής Επιτροπής. Το PEF είναι μια νέα μεθοδολογία και πρότυπο, που ξεκίνησε η ΕΕ, προκειμένου να καθοδηγήσει τους οργανισμούς να πραγματοποιούν πιο αξιόπιστες περιβαλλοντικές μετρήσεις, στοχεύοντας στη δημιουργία ίσων όρων ανταγωνισμού για όλα τα κράτη μέλη της ΕΕ. Αυτό σημαίνει επίσης ότι οι κατασκευαστικοί τομείς όλων των μελών της ΕΕ υποχρεούνται να ευθυγραμμιστούν με τα νέα δεδομένα.

Το EN15804 + A2 έχει ως αποτέλεσμα 6 κύριες αλλαγές στα EPD για τις κατασκευαστικές εταιρείες. Όπως αναφέρθηκε, πλέον αντιπροσωπεύει τα οφέλη της ανακύκλωσης στο τέλος του κύκλου ζωής, περιλαμβάνοντας πλέον υπολογισμούς για τα οφέλη αυτής (Φάση D). Αυτή η προσφάτως προστιθέμενη Φάση για τους υπολογισμούς των οφελών στο τέλος του κύκλου ζωής (End of Life - EoL) συνεπάγεται μια πιο λεπτομερή οδηγία για τους υπολογισμούς των οφελών και των φορτίων πέρα από τα όρια του συστήματος και βασίζεται στον τύπο PEF EoL. Η συμπερίληψη της Φάσης Τέλους Ζωής σημαίνει ότι πλέον η κυκλικότητα και η ανακύκλωση θα διαδραματίσουν μεγαλύτερο ρόλο στον καθορισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Σημαίνει επίσης νέες ευκαιρίες για τα βιοβασικά υλικά. Τα EPD πρέπει να περιλαμβάνουν πλέον περισσότερα στάδια του κύκλου ζωής. Όλα τα προϊόντα δομικών κατασκευών πρέπει πλέον να δηλώνουν τα στάδια A1-A3, καθώς και τα C1-C4 και την Φάση D. Αυτά τα στάδια ήταν προηγουμένως προαιρετικά. Το αναθεωρημένο πρότυπο καθορίζει ότι μόνο υπό πολύ συγκεκριμένες συνθήκες θα εξακολουθούσε να είναι δυνατή η πραγματοποίηση EPD από cradle-to-gate δηλαδή τον αντίκτυπο άνθρακα ενός προϊόντος από τη στιγμή που παράγεται έως τη στιγμή που εισέρχεται στο κατάστημα (μόνο A1-A3). Ωστόσο, για όλες τις άλλες περιπτώσεις, το τέλος του κύκλου ζωής (EoL) και τα οφέλη από την ανακύκλωση στο τέλος του κύκλου ζωής πρέπει να περιλαμβάνονται στα EPD. Αυτό σημαίνει πιο εκτεταμένους υπολογισμούς, που συνεπάγεται περισσότερη δουλειά, παράλληλα όμως, αυξάνει τις γνώσεις σχετικά με την περιβαλλοντική απόδοση ενός προϊόντος. Καθώς προχωράμε προς μια πιο κυκλική οικονομία, η κατανόηση του αντίκτυπου στο τέλος του κύκλου ζωής είναι πλέον ζωτικής σημασίας.

Η αναθεωρημένη έκδοση δίνει μεγαλύτερη προσοχή στον βιογενή άνθρακα (συμπεριλαμβανομένης της αντιστάθμισης άνθρακα). Αυτό σημαίνει ότι η βιογενής μάζα άνθρακα στο προϊόν και τη συσκευασία πρέπει πλέον να δηλώνεται και ο βιογενής άνθρακας στα προϊόντα δομικών κατασκευών πρέπει να συμπεριληφθεί στα EPD. Στα επόμενα χρόνια, οι Κανόνες Κατηγορίας PEF (PEF Category Rules - PEFCR) πιθανότατα θα ενημερωθούν σχετικά με τον προσδιορισμό αυτής της περιεκτικότητας σε διαφορετικές κατηγορίες προϊόντων καθώς και σε διαφορετικούς τομείς.

Το EN15804 + A1, απαιτούσε την υποβολή εκθέσεων για 11 κατηγορίες επιπτώσεων καθώς και για 17 κατηγορίες αναφοράς (χρήση πόρων, δεδομένα ροής εκροών ή δημιουργία αποβλήτων). Ωστόσο, στην αναθεωρημένη έκδοση, οι 7 από αυτές της κατηγορίες επιπτώσεων δεν

υπολογίζονται πλέον, ενώ το EN15804 + A2 απαιτεί πλέον την υποβολή εκθέσεων για 13 κατηγορίες επιπτώσεων με 6 πρόσθετες κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων που είναι σύμφωνες με τη νέα μεθοδολογία PEF από την ΕΕ. Αυτό σημαίνει ότι από την 1η Ιουλίου 2022 οι επαγγελματίες LCA πρέπει να υποβάλλουν αναφορές και για τις 19 νέες κατηγορίες επιπτώσεων του EN15804 + A2. Μια αξιοσημείωτη αλλαγή στις κατηγορίες είναι ότι η κατηγορία επιπτώσεων «εξάντληση πόρων» (μέταλλα + ορυκτά καύσιμα) αποκτά ιδιαίτερη βαρύτητα στο EN15804 + A2, μια αλλαγή που σίγουρα θα έχει θετική επίδραση στην ανάπτυξη της κυκλικής οικονομίας. Στο EN15804 + A1, η εξάντληση των μετάλλων και των ορυκτών καυσίμων συνέβαλε μόνο λίγο επί τοις εκατό στην τελική βαθμολογία. Λόγω της μεθόδου PEF της ΕΕ, αυτή η κατηγορία έχει γίνει ένας πολύ υψηλός, κυρίαρχος παράγοντας όσον αφορά το αλουμίνιο, τους ηλιακούς συλλέκτες και τα προϊόντα πολυεστέρα.

Πλέον η αναθεωρημένη έκδοση απαιτεί πρόσθετες αλλαγές στην αξιολόγηση της ποιότητας των δεδομένων. Η τεκμηρίωση και τα σύνολα των δεδομένων πρέπει να μετατρέπονται στη μορφή του Διεθνούς Συστήματος Αναφοράς Δεδομένων Κύκλου Ζωής (International Reference Life Cycle Data System - ILCD), μια δυσεπίτευκτη απαίτηση που μπορεί να περιπλέξει τη χρήση των τρεχουσών βάσεων δεδομένων των EPD. Παράλληλα όμως, η νέα έκδοση επιτρέπει την ευρύτερη σύγκριση με άλλα συστήματα παραγωγής που πληρούν τους ίδιους λειτουργικούς κανόνες. Τα EPD δεν προορίζονταν για σύγκριση προϊόντων. Ωστόσο, ένας από τους στόχους εφαρμογής του PEF είναι να επιτραπεί αυτή η σύγκριση μέσω της ανάπτυξης ενός προτύπου που θα περιέχει τους οριζόντιους κανόνες για τα συστήματα αναφοράς EPD των κατασκευαστικών επιχειρήσεων που απευθύνονται στους καταναλωτές, δίνοντας τους το δικαίωμα να επιλέξουν δομικά προϊόντα με βάση τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και τις επιδόσεις τους. Αυτοί οι οριζόντιοι κανόνες ονομάζονται Κανόνες Κατηγορίας Προϊόντων (Product Category Rules - PCR's) (Stichting National Environmental Database, 2020).

Η έκδοση μιας EPD έχει προφανώς ορισμένες αυστηρές απαιτήσεις και κανόνες για να συμμορφώνεται και προϋποθέτει μια διαδικασία επαλήθευσης (που συνήθως εκτελείται από τους χειριστές του προγράμματος). Η δημιουργία μιας νέας λεπτομερούς και εκτενούς EPD θα βοηθήσει τις εταιρείες να καταχωρήσουν περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και τις επιδόσεις των προϊόντων τους, θα επιτρέψει καλύτερη σύγκριση προϊόντων σε διαγωνισμούς, πιο βιώσιμη λήψη αποφάσεων και τελικά θα δημιουργήσει έναν πιο βιώσιμο και κυκλικό κατασκευαστικό τομέα. Η μεγαλύτερη εστίαση στην κυκλικότητα δημιουργεί νέες ευκαιρίες για εταιρείες που δραστηριοποιούνται στην

ανακύκλωση και στο τέλος του κύκλου ζωής, ανοίγοντας ταυτόχρονα την αγορά των κατασκευών σε νέους τύπους βιώσιμων υλικών, ειδικά σε υλικά με βιολογική βάση.

Υπάρχουν επί του παρόντος περισσότερα από 28 ευρωπαϊκά προγράμματα EPD που βασίζονται όλα στα ISO14025 και EN15804 που βοηθούν τους κατασκευαστές να δημιουργούν ή να εντοπίζουν EPD. Ενώ είναι συνήθως καλό είναι να υπάρχουν τυποποιήσεις, δεν υπάρχουν μόνο θετικά από τη χρήση τους. Το EN15804 πρότυπο συνοδεύεται από τους ίδιους βασικούς κανόνες για όλα τα κατασκευαστικά προϊόντα, υπηρεσίες και διαδικασίες ανεξάρτητα από τις λειτουργικές και τεχνικές επιδόσεις τους. Αυτό περιορίζει τη βιωσιμότητα της σύγκρισης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων μεταξύ προϊόντων. Για παράδειγμα δύο είδη θερμομονώσεων που χρησιμοποιούνται σε μια στέγη μπορούν να συγκριθούν μεταξύ τους μόνο εάν έχουν παρόμοια αντίσταση μεταφοράς θερμότητας για παρόμοιο χρόνο ζωής. Επίσης, αυτό το πρότυπο απλοποιεί τους υπολογισμούς παρέχοντας πολλές εναλλακτικές μεθόδους υπολογισμού για ένα σημείο απόφασης (π.χ. πηγές δεδομένων και όρια συστήματος) που δημιουργεί μια μεγαλύτερη ποικιλία μεθοδολογικών επιλογών και μπορεί να μειώσει την αναπαραγωγή και τη συνέπεια (Mirzaie S., 2016).

Το παραπάνω οδήγησε στη δημιουργία του ISO21930 το 2017. Αυτό το ISO είναι περισσότερο σύμφωνο με το EN15804 και δείχνει τη σημασία του EPD στο βιώσιμο μέλλον της κατασκευαστικής αγοράς. Το ISO21930:2017 παρέχει τις αρχές, τις προδιαγραφές και τις απαιτήσεις για την ανάπτυξη μιας EPD για προϊόντα και υπηρεσίες δομικών κατασκευών, δομικά στοιχεία και ολοκληρωμένα τεχνικά συστήματα που χρησιμοποιούνται σε κάθε είδους κατασκευαστικές εργασίες. Συμπληρώνει το ISO14025 παρέχοντας πλέον συγκεκριμένες απαιτήσεις για το EPD των προϊόντων και των υπηρεσιών δομικών κατασκευών. Θεσπίζει ένα βασικό σύνολο απαιτήσεων που πρέπει να θεωρούνται ως κανόνες βασικής κατηγορίας προϊόντων (PCR) για την ανάπτυξη ενός EPD για οποιοδήποτε προϊόν ή υπηρεσία δομικών κατασκευών.

Περιλαμβάνει τους κανόνες για τον υπολογισμό της ανάλυσης απογραφής κύκλου ζωής (Life Cycle Inventory - LCI), τους προκαθορισμένους περιβαλλοντικούς δείκτες και τα αποτελέσματα της αξιολόγησης επιπτώσεων του κύκλου ζωής (Life Cycle Impact Assessment - LCIA), περιγράφει ποια στάδια του κύκλου ζωής εξετάζονται σε έναν συγκεκριμένο τύπο EPD, ποιες διαδικασίες πρέπει να συμπεριληφθούν στα στάδια του κύκλου ζωής και πώς τα στάδια υποδιαιρούνται σε ενότητες πληροφοριών. Καθορίζει κανόνες για την ανάπτυξη σεναρίων,

περιλαμβάνει τους κανόνες για την αναφορά σχετικών περιβαλλοντικών και τεχνικών πληροφοριών που δεν καλύπτονται από μια LCA, καθορίζει τα βασικά στοιχεία που πρέπει να περιλαμβάνονται σε μια EPD, τη δομή μιας έκθεσης έργου και τις συνθήκες υπό τις οποίες μπορούν να συγκριθούν τα προϊόντα του τομέα των δομικών κατασκευών, με βάση τις πληροφορίες που παρέχονται από ένα EPD. Τέλος παρέχει απαιτήσεις και κατευθυντήριες γραμμές για PCR υποκατηγοριών προϊόντων δομικών κατασκευών, ενώ περιλαμβάνει υποχρεωτικές και αμετάβλητες απαιτήσεις για οποιαδήποτε PCR που βασίζεται στο ISO21930 (OBP, 2017).

### **Ανάλυση Κύκλου Ζωής, μια εξελικτική διαδικασία**

Παρότι η έννοια της ανάλυσης του κύκλου ζωής των κτιρίων υπάρχει εδώ και πολύ καιρό, η διαδικασία εφαρμογής της έχει ακόμα αρκετές ατέλειες. Η αξιολόγηση κτιρίων είναι μια από τις πιο πολύπλοκες εφαρμογές της LCA λόγω του τεράστιου αριθμού μεταβλητών που πρέπει να υπολογιστούν. Αυτό ειδικά γίνεται εμφανές όταν κάποιος προσπαθεί να συγκρίνει αποτελέσματα από διαφορετικές μελέτες και παραμέτρους, όπως στην περίπτωση χρήσης πρωτογενούς έναντι παρεχόμενης ενέργειας, καθώς και ανάλογα τη χρήση ηλικίας, πηγής, τοποθεσίας, τεχνολογίας των διαδικασιών παραγωγής κ.λπ. Ένας σχεδιασμός ή μια τεχνολογία που κρίνεται βιώσιμη σε μια τοποθεσία μπορεί να μην έχει την ίδια αποτελεσματικότητα σε διαφορετική τοποθεσία. Η χρήση της μεθόδου έχει καθιερωθεί, παρόλα αυτά όμως από την αρχή δεν υπήρχαν οδηγίες για το πώς να συγκριθούν καταλλήλως τα αποτελέσματα των LCA ή ακόμα και για τον τρόπο εκτέλεσης μιας LCA που να ήταν διεθνώς αποδεκτή. Υπήρξαν βέβαια πολλές προσπάθειες τυποποίησης χωρίς όμως επιτυχία μέχρι στιγμής. Η χρήση διαφορετικών κανόνων λειτουργίας είναι ένας από τους σημαντικούς λόγους που είναι δύσκολο να συγκρίνει κανείς αποτελέσματα από διαφορετικές LCA (Feng H. et al., 2021).

Για να συμπληρωθούν μερικά από αυτά τα κενά και να διευρύνουν τη χρήση της LCA, ορισμένοι ερευνητές έχουν αρχίσει να αναπτύσσουν ένα νέο σύστημα που ονομάζεται Δυναμική Ανάλυση Κύκλου Ζωής (Dynamic Life Cycle Assessment - DLCA). Το δυναμικό αυτό σύστημα αναπτύχθηκε καθώς ο κύκλος ζωής ενός κτιρίου καλύπτει ένα αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα, οπότε είναι φυσιολογικό να υπάρχει διαφοροποίηση στη συμπεριφορά κατά την περίοδο χρήσης, αλλά και για άλλους παράγοντες που η παραδοσιακή μέθοδος LCA δεν λαμβάνει υπόψη. Η βασική διαφορά μεταξύ μιας παραδοσιακής LCA και μιας DLCA είναι η εξέταση του παράγοντα της χρονικής μεταβλητότητας, όπου αντικείμενα όπως το ενεργειακό μείγμα και τα ποσοστά ανακύκλωσης, που εξελίσσονται με την πάροδο του χρόνου λαμβάνονται υπόψη στη DLCA

(Peurportier B., 2022). Η παραδοσιακή μέθοδος LCA βασίζεται σε διαδικασίες όπου ο χρήστης καθορίζει αναλυτικά τα εισερχόμενα και τα εξερχόμενα στοιχεία λειτουργεί εξαιρετικά για ένα απλό προϊόν όπως μια χάρτινη κούπα. Ωστόσο, όταν πρόκειται για πραγματικά πολύπλοκες κατασκευές που αποτελούνται από μερικές εκατοντάδες μεμονωμένα προϊόντα, η διαδικασία υπολογισμών μπορεί εύκολα να εκτροχιαστεί. Επομένως, ο καθορισμός ενός ορίου καθίσταται απαραίτητος, η χρήση του όμως είναι δύσκολη χωρίς να τεθεί σε διακύβευση η αξιοπιστία του αποτελέσματος (LCA Methods for Buildings, 2001).

Σε μια προσπάθεια να διευθετηθούν αυτά τα προβλήματα, μια νέα μέθοδος εφαρμογής της LCA, που ονομάζεται υβριδική LCA, έχει γίνει πιο ελκυστική και η οποία συνδυάζει τα πλεονεκτήματα της λεπτομερούς διαδικασίας μιας παραδοσιακής LCA με το εκτεταμένο όριο συστήματος μιας LCA που ονομάζεται μέθοδος εισροών - εκροών (Inputs - Outputs, I-O). Η υβριδική LCA βοηθά στη μείωση του σφάλματος αποκοπής (λάθη από κακή προσέγγιση ή στρογγυλοποίηση) από τη διαδικασία που βασίζεται η LCA, ενώ αυξάνει την ανάλυση του I-O. Για αυτό κυρίως τον λόγο έχει κριθεί κατάλληλη για την αξιολόγηση σύνθετων προϊόντων όπως ένα κτίριο (Τσεκούρας Σ., 2013). Υπάρχει βέβαια και ο αντίλογος που υποστηρίζει ότι η υβριδική LCA επιτυγχάνει μεν την ακρίβεια όσο και την πληρότητα του συστήματος, αλλά είναι και πιο περίπλοκη μέθοδος από τις απλές LCA. Λόγω της πολυπλοκότητας, υπάρχουν περιπτώσεις όπου μια απλή LCA αποδίδει καλύτερα από μια υβριδική, επομένως θα πρέπει για κάθε μεμονωμένη περίπτωση να γίνεται μια κριτική αξιολόγηση του κατά πόσον η χρήση της υβριδικής μεθόδου θα οδηγούσε σε βελτιωμένες εκτιμήσεις ή όχι. (Perkins J., Suh S., 2019).

Με το πέρασμα των χρόνων, καθώς γινόταν όλο και πιο συνειδητοποιημένη η σημασία των LCA, όλο και περισσότερα λογισμικά συνέχισαν να αναπτύσσονται και αυτή τη στιγμή υπάρχουν περισσότερα από 24 διαφορετικά εργαλεία που έχουν αναγνωριστεί από την BREEAM (BREEAM, 2022). Έχουν γίνει αρκετές μελέτες που συγκρίνουν αυτά τα εργαλεία μεταξύ τους και μια μελέτη του 2017 που συνέκρινε τρία διαφορετικά εργαλεία LCA (Athena Impact Estimator for Buildings, Kieran Timberlake's Tally και Pre SimaPro) κατέληξε στο συμπέρασμα ότι τα αποτελέσματα που δόθηκαν είχαν μια διακύμανση του 17% σχετικά με την υπερθέρμανση του πλανήτη, μια απόκλιση δηλαδή άνω του 10% που θεωρείται το ανώτερο όριο από τη LEED (Al-Ghamdi S.G., Bilec M.M, 2017).

Μια αντίστοιχη μελέτη που έγινε το 2018 και συνέκρινε το SimaPro με το GaBi επιβεβαίωσε ότι η επιλογή του εργαλείου επηρεάζει σημαντικά το αποτέλεσμα καθώς είχε 16% απόκλιση στα

αποτελέσματα για ολόκληρο το κτίριο (Emami N. et al., 2019). Ο Guiyuan Han έδειξε στη μελέτη του ότι παρόλο που δύο εργαλεία (BEES και ATHENA EcoCalculator) είναι χτισμένα στην ίδια βάση δεδομένων, έδωσαν έμφαση σε διαφορετικά υλικά και επομένως, έδωσαν παρόμοια αλλά όχι ακριβώς ίδια αποτελέσματα (Han G., Srebric J., 2011). Αυτές οι μελέτες έφεραν στην επιφάνεια τη σημασία να φέρουν όλα τα λογισμικά μια κοινή πλατφόρμα προκειμένου να μην έχουν τόσες πολλές διαφορές τα αποτελέσματά τους. Την άνοιξη του 2021 η Boverket κυκλοφόρησε μια γενική βάση δεδομένων για το κλίμα για προϊόντα δομικών κατασκευών και ενέργειας, σύμφωνα με τις συνθήκες που επικρατούν στη Σουηδία. Η βάση δεδομένων είναι προσαρμοσμένη στις ανάγκες του κλάδου και περιέχει τα απαραίτητα γενικά κλιματικά δεδομένα προκειμένου να μπορεί να υποβληθεί μια πιστοποίηση για το κλίμα (Boverket, 2020).

Αν και η έρευνα γύρω από την ανακατασκευή των LCA έχει αυξηθεί πολύ την τελευταία δεκαετία, η έρευνα σχετικά με την αποτελεσματικότητα χρήσης της LCA εξακολουθεί να είναι πολύ περιορισμένη. Σε μια πρόσφατη μελέτη που διεξήχθη στη Νέα Ζηλανδία, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ενώ συνολικά υπάρχει θετική άποψη σχετικά με την αξιοποίηση της LCA στα κτίρια και περίπου το 72% των συμμετεχόντων στη μελέτη συμφώνησαν ότι η LCA μπορεί να βελτιώσει τη διαδικασία περιβαλλοντικής ανάλυσης, ωστόσο αυτό δεν αντικατοπτρίστηκε στη χρήση LCA από μέρους τους, καθώς λιγότερο από το 15% ανέφερε ότι είχε προηγούμενη εμπειρία με αυτή τη μέθοδο, ενώ μόνο το 6% χρησιμοποιεί τη Μοντελοποίηση Πληροφοριών Κτιρίου (Building Information Modeling – BIM) (Abdelaal F., 2020). Η χρήση των LCA οφείλει να εξελιχθεί και να γίνει πιο βαθιά για τους χρήστες προκειμένου να καθιερωθεί στον κατασκευαστικό τομέα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ Δ

### ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΝΕΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ Ή ΑΝΑΚΑΙΝΙΣΗ ΥΠΑΡΧΟΝΤΩΝ;

#### Γενικά

Οι αξιολογήσεις του κύκλου ζωής των κτιρίων δείχνουν ότι η ενέργεια που χρησιμοποιείται για τη λειτουργία ενός κτιρίου συνήθως ευθύνεται για την πλειονότητα των περιβαλλοντικών επιπτώσεων κατά τη διάρκεια της ζωής του. Η βελτίωση συνεπώς της ενεργειακής απόδοσης ενός κτιρίου καθώς και χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας θα μειώσει σημαντικά τις επιπτώσεις από την κατανάλωση ενέργειας της λειτουργίας του. Έχουν ήδη επιτευχθεί πολλές βελτιώσεις σε αυτόν τον τομέα, παρόλα αυτά ορισμένοι επιστήμονες έχουν εστιάσει στις ενσωματωμένες επιπτώσεις, στις επιπτώσεις δηλαδή από την παραγωγή των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν, τη μεταφορά τους στο εργοτάξιο και την ίδια τη διαδικασία κατασκευής. Μια συχή πρόταση για τη μείωση των ενσωματωμένων επιπτώσεων είναι η επικέντρωση στην ανακαίνιση υφιστάμενων κτιρίων.

Η προσέγγιση δηλαδή που επιδιώκεται είναι η βελτίωση του περιβαλλοντικού αντίκτυπου ενός κτιρίου καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του παρατείνοντας απλά τη διάρκεια ζωής του. Σύμφωνα με μια μελέτη που έγινε από τον Rob Marsh το 2016, ένα κτίριο με διάρκεια ζωής 80 ετών μειώνει τις περιβαλλοντικές του επιπτώσεις κατά 29%, 100 ετών κατά 38% και 120 ετών κατά 44% σε σύγκριση με τις επιπτώσεις ενός κτιρίου με διάρκεια ζωής 50 χρόνια (Marsh R., 2016). Ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει το περιβαλλοντικό αντίκτυπο ενός κτιρίου καθιστώντας το ως ένα μη βιώσιμο πρόβλημα, θα πρέπει να θεωρείται η ίδια η ανθρώπινη συμπεριφορά. Σε μια έρευνα σε σπίτια διαφόρων τύπων, διαπιστώθηκε ότι οι κύριοι λόγοι για το πέρας ζωής των κτιρίων είναι τα καθαρώς υποκειμενικά χαρακτηριστικά των υπευθύνων λήψης αποφάσεων κατά 44 %, η αλλαγή χρήσης κατά 26 %, οικονομικοί λόγοι και αλλαγή των συνθηκών κατά 13 %, ενώ μόνο το 17% των κατεδαφίσεων κτιρίων οφείλεται σε φθορά (Marteinsson B., 2005). Ένας τρόπος για να παραταθεί η διάρκεια ζωής ενός κτιρίου είναι συνεπώς μέσω ανακαίνισης, ωστόσο πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι ένα νέο κτίριο δύναται να έχει διάρκεια ζωής πάνω από έξι φορές σε σχέση με ένα ανακαινισμένο.

Ένα μεγάλο μέρος των κτιρίων στην Ελλάδα και γενικότερα στην Ευρώπη είναι πολύ παλιά και δεν ανταποκρίνονται στα σημερινά κατασκευαστικά πρότυπα και τους οικοδομικούς κώδικες, με πολλά από αυτά να πρέπει να ανακαινιστούν ή να κατεδαφιστούν στο κοντινό μέλλον. Οι

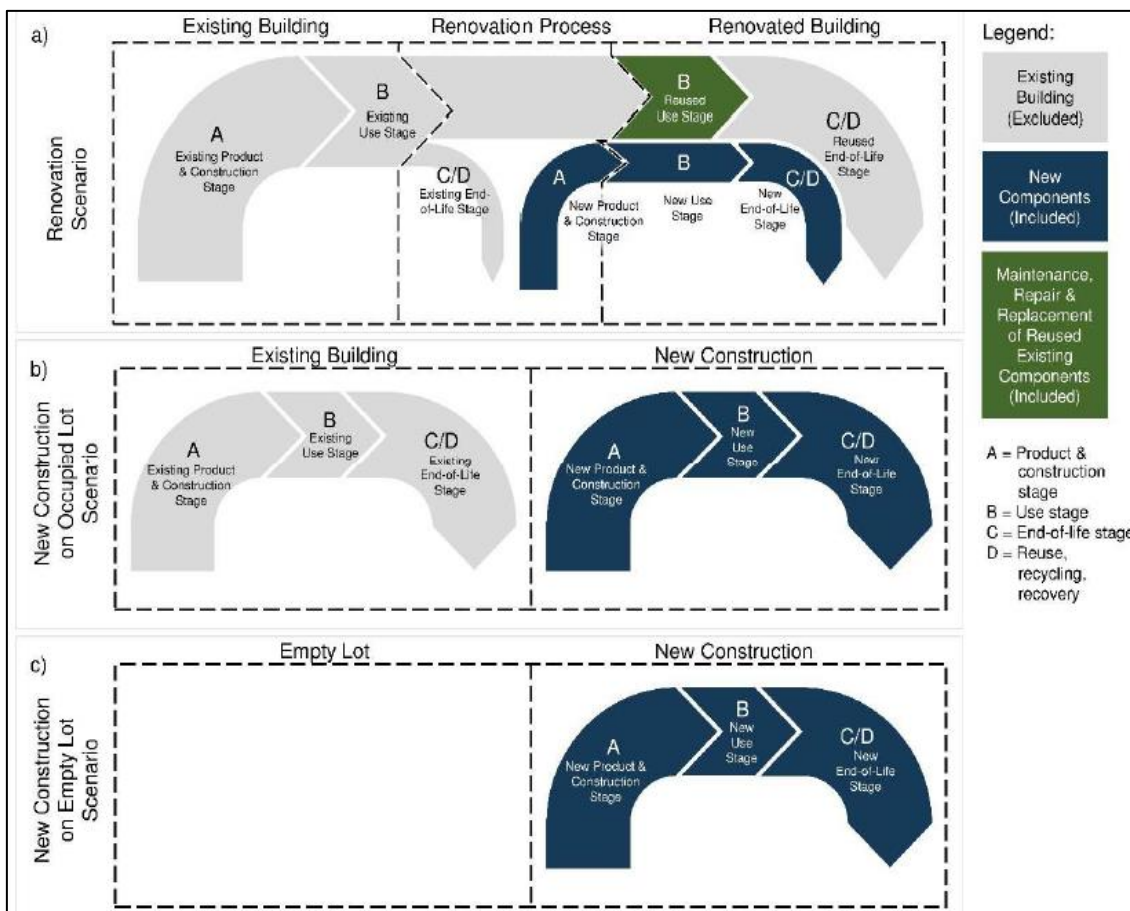


LCA μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στον καθορισμό λήψης απόφασης για το μέλλον αυτών των κτιρίων. Οι μελέτες για τις ανακαινίσεις κτιρίων με χρήση προσέγγισης LCA δεν είναι ιδιαίτερα ανεπτυγμένες, ενώ αυτές που υπάρχουν βασίζονται στις LCA των νέων κτιρίων προκειμένου να διαπιστώσουν τις βελτιώσεις που θα μπορούσαν να μειώσουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις μέσω των ανακαινίσεων. Επομένως, μια εις βάθος έρευνα σε αυτόν τον τομέα μπορεί να αξιοποιηθεί σε πολλαπλά πεδία στον κατασκευαστικό τομέα.

### **Διαφοροποιήσεις Μεθοδολογιών στις Αναλύσεις Κύκλου Ζωής**

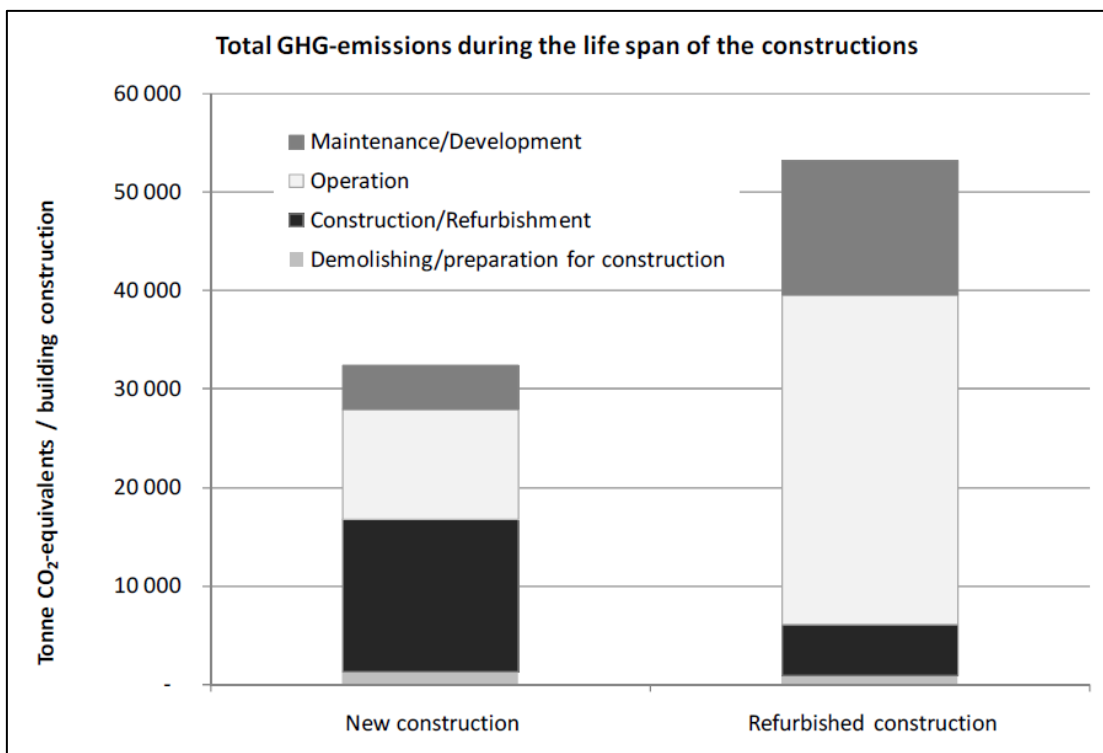
Η ορολογία που χρησιμοποιείται για την περιγραφή των μεμονωμένων σταδίων του κύκλου ζωής που σχετίζονται με την LCA μιας ανακαίνισης ενός κτιρίου (Εικόνα 6a) είναι εγγενώς πιο περίπλοκη από την ορολογία που χρησιμοποιείται για την αντίστοιχη μιας νέας κατασκευής (Εικόνα 6b). Φαινομενικά δεν υπάρχουν επικαλύψεις μεταξύ των ορίων του υφιστάμενου κτιρίου και της νέας κατασκευής. Επομένως, όλα τα στοιχεία προσδιορίζονται είτε ως Υφιστάμενα είτε ως Νέα, ανάλογα με το όριο εντός του οποίου βρίσκονται. Η ίδια προσέγγιση χρησιμοποιείται και για τη διεξαγωγή μιας LCA ολόκληρου κτιρίου για έργα που κατασκευάζονται είτε σε «κατελημμένο οικόπεδο» (δηλαδή, όπου η υπάρχουσα κατασκευή κατεδαφίζεται πλήρως για να δημιουργηθεί χώρος για τη νέα κατασκευή, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6b) είτε σε «κενό οικόπεδο» (δηλαδή δεν υπάρχει προηγούμενη κατασκευή, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6c).

Παρόλα αυτά όμως, διαπιστώνεται ότι ενώ στις Φάσεις Προϊόντος και Κατασκευής (A) και του Τέλους Ζωής (C) οποιαδήποτε νέα υλικά αποτυπώνονται και στην ανακαίνιση και στη νέα κατασκευή, η Φάση Χρήσης (B) είναι κάτι το διαφορετικό. Στην περίπτωση της ανακαίνισης υφίστανται επαναχρησιμοποιούμενα υλικά τα οποία συγκαταλέγονται στις επιπτώσεις, καθώς η παρατεταμένη διάρκεια ζωής του κτιρίου μπορεί να οδηγήσει σε πρόσθετη χρήση, συντήρηση, επιπτώσεις επισκευής και αντικατάστασης αυτών των υλικών, κάτι που δεν υπάρχει στα νέα κτίρια. Επιπλέον, ο ιδιοκτήτης και ο αντίστοιχος σχεδιαστής δεν έχουν την ευκαιρία να επιλέξουν τα υλικά από τα υπάρχοντα κτίρια, γεγονός που με τη σειρά του επηρεάζει τα πιθανά σενάρια χρήσης - διάθεσης αυτών των υλικών. Συνεπώς, τα επαναχρησιμοποιημένα υλικά στην περίπτωση της ανακαίνισης επηρεάζουν μια LCA τελείως διαφορετικά σε σύγκριση με την επιλογή εξαρχής των υλικών για μια νέα κατασκευή (Vilches A. et al., 2017).



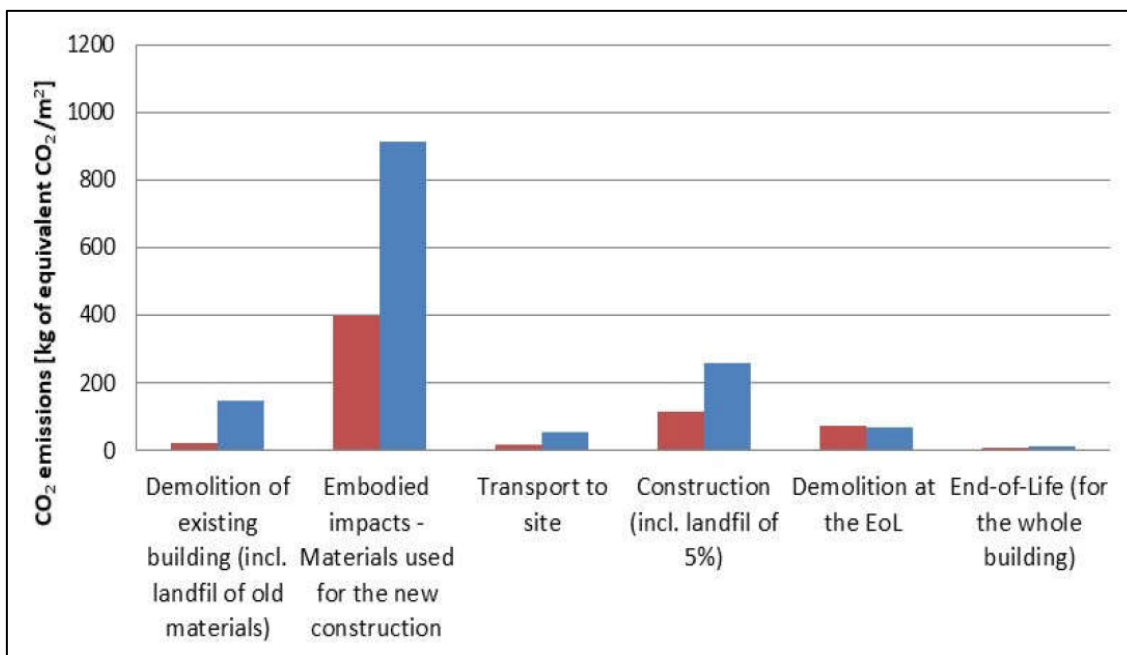
**Εικόνα 13:** Διάγραμμα ορίων LCA σταδίου ανακαίνισης και κατασκευής νέου κτιρίου (Πηγή Vilches A. et al., 2017)

Ενώ έχουν πραγματοποιηθεί πολλές αναλύσεις κύκλου ζωής σε κτίρια τα τελευταία χρόνια, υπήρχε μόνο ένας μικρός αριθμός που έκαναν σύγκριση ενός νέου κτιρίου με ένα ανακαινισμένο και στις περισσότερες από αυτές περιέλαβαν ή εξαιρούσαν διαφορετικά μέρη των φάσεων που απεικονίζονται στην Εικόνα 13. Σε μια μελέτη που έγινε στη Νορβηγία όπου ήθελαν να κατανοήσουν τα μειονεκτήματα ή τα πλεονεκτήματα από την ανακαίνιση ενός κτιρίου, απέκλεισαν τις φάσεις C1-C4 και για τα δύο κτίρια (νέο - παλιό), παρόλα αυτά συμπεριελάμβαναν την κατεδάφιση του υπάρχοντος κτιρίου. Η μελέτη τους έδειξε ότι ήταν σημαντικά πιο φιλικό προς το περιβάλλον η κατασκευή ενός νέου κτιρίου αντί να ανακαινιστεί ένα υπάρχον, όπως φαίνεται στην Εικόνα 14. Η ανακαινισμένη κατασκευή θεωρήθηκε ότι είχε χαμηλή προσαρμοστικότητα και οι ενεργειακές της απαιτήσεις δεν θα μπορούσαν επομένως να μειωθούν όσο είχε αρχικά προγραμματιστεί (Ronning A. et al., 2009).



**Εικόνα 14:** Συνολικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου για νέες και ανακαινισμένες κατασκευές διάρκειας ζωής 60 ετών (Πηγή Rønning A. et al., 2009)

Στο πλαίσιο της ανάγκης μετάβασης σε ένα βιώσιμο περιβάλλον, είναι ευρέως γνωστό ότι τα κτίρια συμβάλλουν σημαντικά στην κατανάλωση ενέργειας από ορυκτά καύσιμα και στην εκπομπή CO<sub>2</sub>. Αναλογικά, οι περισσότερες από τις συζητήσεις, τις πολιτικές και την έρευνα είναι αφιερωμένες στη κατασκευή νέων πολύ αποδοτικών (έως μηδενικής ενέργειας) κτιρίων, παραβλέποντας το δυναμικό των ενεργειών στα υπάρχοντα κτίρια. Ωστόσο, σε αντίστοιχη μελέτη στο Βέλγιο το 2018, για την εξέταση της ανάγκης ανακαίνισης παλαιών κτιρίων, προκειμένου να αυξηθεί η ενεργειακή τους απόδοση και να παραταθεί η διάρκεια ζωής τους, σε σχέση με την κατεδάφιση/ανακατασκευή κτιρίων, διαπιστώθηκε καταρχάς ότι η φάση χρήσης ήταν η πιο επιβλαβής φάση και στις δύο περιπτώσεις. Η μετασκευή/ανακαίνιση όμως ενός κτιρίου ήταν σημαντικά λιγότερο επιβλαβής σε σύγκριση σε μια πλήρη κατεδάφιση/ανακατασκευή, όπως φαίνεται στην Εικόνα 15. Βέβαια, εκτός από τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, η πολιτιστική/ιστορική αξία του κτιρίου, το κόστος και τα κοινωνικά προβλήματα που συνεπάγονται με κατεδάφισή του, είναι παράγοντες που θα πρέπει να αξιολογούνται για κάθε περίπτωση ξεχωριστά (Marique A. F., Rossi B., 2018).



**Εικόνα 15:** Εκπομπές CO<sub>2</sub> [kg ισοδύναμου CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>] ανά φάση, αντίστοιχα για έργο ανακαίνισης (κόκκινο) και για έργο ανακατασκευής (μπλε) (η φάση χρήσης εξαιρείται) (Πηγή Marique A. F., Rossi B., 2018)

Ομοίως, σε ανάλογη μελέτη του 2019, η προσέγγιση που χρησιμοποιήθηκε αφορούσε τη σύγκριση των επιπτώσεων ενός πλήρους κύκλου ζωής υπάρχοντος κτιρίου, προσθέτοντας το σύνολο των επιπτώσεων του κύκλου ζωής που προέκυψαν από τα υλικά που τοποθετήθηκαν κατά την ανακαίνιση και των αναγκών συντήρησης και αντικατάστασης των υπαρχόντων/επαναχρησιμοποιούμενων υλικών. Η μελέτη έδειξε ότι επιτεύχθηκαν μειώσεις από 53% έως 75% στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε σύγκριση με μια νέα κατασκευή. Η επαναχρησιμοποίηση των δομικών στοιχείων και των στοιχείων κελύφους του κτιρίου παρείχε τις υψηλότερες μειώσεις, καθώς το μεγαλύτερο μέρος της ανακαίνισης αφορούσε τα υλικά του εσωτερικού χώρου και τα φινιρίσματα, αναδεικνύοντας με αυτόν τον τρόπο τα περιβαλλοντικά οφέλη της προσαρμοστικής επαναχρησιμοποίησης έναντι των νέων κατασκευών (Hasik V. et al., 2019).

Συμπερασματικά, ο αριθμός των αξιολογήσεων που εκτελούνται σε ανακαινισμένα κτίρια απέχει κατά πολύ από τον αντίστοιχο των νέων κτιρίων και ως εκ τούτου, είναι δύσκολο να βρεθούν σχετικές πληροφορίες για αυτό το θέμα. Έχουν γίνει αρκετές προσπάθειες να συνοψιστούν όλες οι πρόσφατες μελέτες που σχετίζονται με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των ανακαινίσεων κτιρίων όπου χρησιμοποίησαν τη μεθοδολογία LCA. Διαπιστώθηκε ότι το κύριο ζήτημα για τις ανακαινίσεις κτιρίων ήταν οι διαφορετικές ερμηνείες και όρια του

EN15978:2012 (και των αντίστοιχων αναβαθμίσεων του). Επιπλέον κατά την ανάλυση διαδικασιών παραλείφθηκαν ορισμένες διεργασίες, ακόμη και όταν έχουν καταβληθεί προσπάθειες για να συμπεριληφθούν. Ήδη υφίστανται τρεις διαφορετικές μεθοδολογίες LCA για την ενεργειακή ανακαίνιση των κτιρίων η Πλήρης, η Απλοποιημένη και Αξιολόγηση Λειτουργικού Σταδίου. Η Πλήρης LCA περιλαμβάνει όλα τα στάδια που ορίζονται στο πρότυπο EN 15978 (A1-5, B1-7 και C). Η Απλοποιημένη εστιάζει μόνο στην αξιολόγηση του προϊόντος (A1-3), της αντικατάστασης (B4) και της φάσης χρήσης ενέργειας λειτουργίας (B6), ενώ και η Αξιολόγηση Λειτουργικού Σταδίου εστιάζει μόνο στη μείωση των επιπτώσεων κατά το στάδιο λειτουργίας του κτιρίου (Vilches A. et al., 2017).

Σε γενικές γραμμές, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι απλοποιημένες μεθοδολογίες LCA μπορούν να είναι ακριβείς κατά τη λήψη αποφάσεων για την ενεργειακή ανακαίνιση ενός κτιρίου. Η διαφορετική όμως επιλογή μεθόδου LCA, οδηγεί σε διαφορά ερμηνείας των ορίων και έχει ως συνέπεια οι μελέτες να είναι ελάχιστα συγκρίσιμες μεταξύ τους. Αυτό οδήγησε τους μελετητές, λόγω της έλλειψης πληροφοριών σε αυτόν τον τομέα, να δίνουν πλέον έμφαση στην ανακαίνιση κτιρίων που έχουν αξιολογήσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις χρησιμοποιώντας την τεχνική LCA, σε συνδυασμό με τους ευρωπαϊκούς κανονισμούς και τους παγκόσμιους κλιματικούς στόχους.

### **Σύγκριση ανακαίνισης κτιρίου έναντι νέας κατασκευής**

Στην Ευρώπη, όπως αναφέρθηκε υπάρχουν διάφορες μέθοδοι και κανόνες υπολογισμού της απόδοσης του κύκλου ζωής για μια νέα κατασκευή ενός κτιρίου ανάλογα τη χώρα αξιολόγησης. Ωστόσο, η αυξημένη εστίαση στη διατήρηση και ανακαίνιση του υπάρχοντος κτιριακού αποθέματος εγείρει ερωτήματα σχετικά την καταλληλότητα αυτών των μεθόδων όταν εφαρμόζονται σε περιπτώσεις ανακαίνισης. Μια ιδιαίτερη συγκριτική προσέγγιση υλοποιήθηκε από τους Zimmermann R. K., Barjot Z., Rasmussen F. N., Malmqvist T., Kuittinen M. και Birgisdottir H., οι οποίοι προχώρησαν σε αξιολόγηση εκπομπών θερμοκηπίου που προκύπτουν από την ανακαίνιση ενός κτιρίου, σύμφωνα με τις μεθοδολογίες της Δανίας, της Φιλανδίας και της Σουηδίας συγκρίνοντας παράλληλα τα αποτελέσματα με τις τιμές αναφοράς στην περίπτωση κατεδάφισης και νέας κατασκευής (Zimmermann R. K. et al., 2023).

Στην εν λόγω έρευνα χρησιμοποιήθηκε κατά βάση το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 15978 (CEN 2012b). Οι εθνικές προσεγγίσεις που χρησιμοποιήθηκαν ήταν η «Σουηδική προσέγγιση», μια μέθοδος για την εκτίμηση των GHG για νέες κατασκευές η οποία είναι σε ισχύ από την 1η

Ιανουαρίου 2022 (Σουηδικό Κοινοβούλιο 2021). Η «Δανέζικη προσέγγιση» ακολουθεί τη μέθοδο εθελοντικής τάξης βιωσιμότητας για νέες κατασκευές και ανακαινίσεις στη Δανία (Danish Transport Construction and Housing Authority 2020), ενώ η «Φινλανδική προσέγγιση» είναι η προτεινόμενη μέθοδος του Υπουργείου Περιβάλλοντος (2022) για δήλωση κλιματικού αποτυπώματος στα έργα νεόδμητης ή βαθιάς ανακαίνισης, η οποία θα είναι υποχρεωτική από το 2025 και μετά.

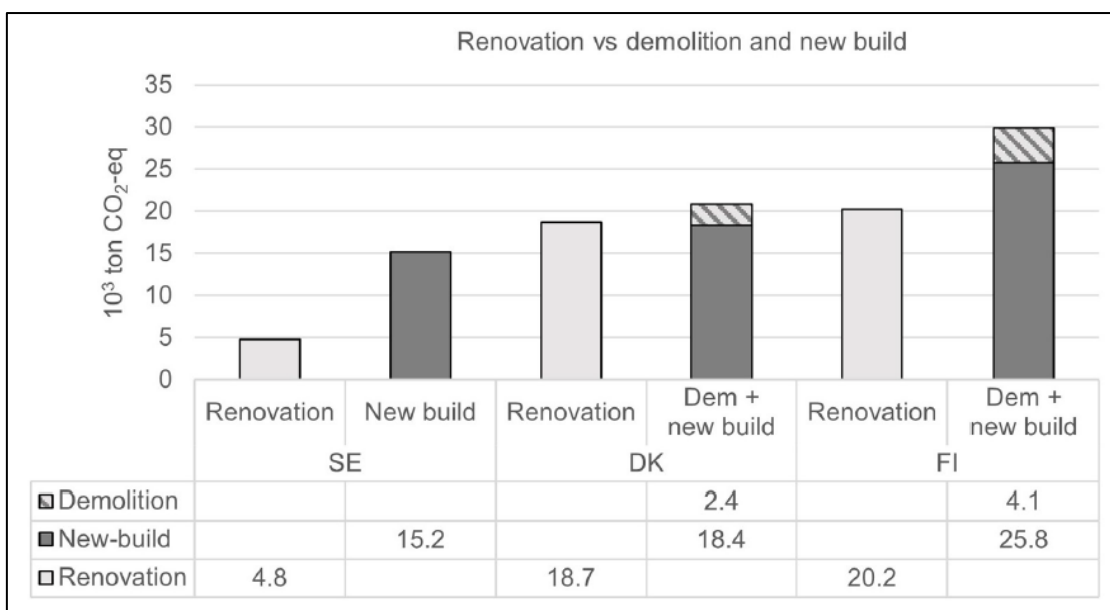
Το κτίριο που εξετάστηκε αφορά ένα συγκρότημα πολλαπλών διαμερισμάτων από σκυρόδεμα, κατασκευής του 1972. Αποτελείται από 4 ορόφους, με συνολική επιφάνεια 41.255 m<sup>2</sup>. Η επιφάνεια που θερμαίνεται είναι 32.234 m<sup>2</sup>, ενώ το υπόγειο έχει επιφάνεια 1.414 m<sup>2</sup>. Το κτίριο ανακαινίστηκε για βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας και τα μπαλκόνια επεκτάθηκαν. Το έργο περιλάμβανε και την απομάκρυνση αμιάντου από τα στηθαία. Για να γίνει κατανοητή η σύγκριση στην περίπτωση της ανακαίνισης με την αντίστοιχη κατεδάφιση και τη νέα κατασκευή αναπτύχθηκε το σενάριο «κατεδάφισης και νέας κατασκευής». Αυτό γίνεται με τη χρήση στατιστικά προερχόμενων τιμών αναφοράς για τη νέα κατασκευή με βάση αντιπροσωπευτικά δείγματα περιπτώσεων από κάθε χώρα. Στην περίπτωση της Σουηδίας η μονάδα αναφοράς βασίζεται σε μεικτή επιφάνεια ορόφου, στη Δανία με βάση την ακαθάριστη επιφάνεια δαπέδου σε περίοδο αναφοράς 50 ετών, ενώ στη Φινλανδία με βάση τη θερμαινόμενη επιφάνεια δαπέδου και περίοδο αναφοράς 50 ετών. (Πίνακας 1).

	VALUE TYPE	STAGES	ORIGINAL REFERENCE VALUE	CASE-SPECIFIC REFERENCE VALUE (10 <sup>3</sup> ton CO <sub>2</sub> -eq)
			<b>(kg CO<sub>2</sub>-eq/m<sup>2</sup>)<sup>a</sup></b>	
Sweden	Mean (new-build)	A1–A5	368	15.2
			<b>(kg CO<sub>2</sub>-eq/m<sup>2</sup>/year)<sup>b</sup></b>	
	<i>Demolition of existing building</i>	C3, C4	–	2.4
Denmark	Median (new-build)	A1–A3, B4, B6, C3–C4	9.5	18.4
	Median for modules (new-build)	A1–A3	5.4	11.2
		B4	0.9	1.9
		B6	2.6	4.2
		C3, C4	1.0	2.1

		<b>(kg CO<sub>2</sub>-eq/m<sup>2</sup>/year)<sup>c</sup></b>	
Finland	Demolition of existing building	C1-C4	4.1
	Mean (new-build)	A1-A5, B4, B6, C1-C4	25.8
	Mean for modules (new-build)	A1-A5	11.3
		B4, B6	8.1
		C1-C4	6.4

**Πίνακας 1:** Πρωτότυπες τιμές και τιμές αναφοράς μελέτης για νέα κατασκευή και κατεδάφιση υφιστάμενου κτιρίου σε διαφορετικά στάδια του κύκλου ζωής. (Πηγή Zimmermann R. K. et al., 2023)

Σε όλες τις προσεγγίσεις διαπιστώθηκε η καλύτερη ενεργειακή απόδοση στην περίπτωση της ανακαίνισης σε σύγκριση με την κατεδάφιση και τη νέα κατασκευή. Ωστόσο, διαπιστώνεται ότι οι προσεγγίσεις παρουσιάζουν διαφορετικά αποτελέσματα στην περίπτωση της ανακαίνισης, τόσο μεταξύ τους όσο και σε σύγκριση με την τιμή αναφοράς. Αυτό φαίνεται στην Εικόνα 16, η οποία παρουσιάζει τα αποτελέσματα για τις τρεις εθνικές προσεγγίσεις.



**Εικόνα 16:** Σύγκριση αποτελεσμάτων GHG της ανακαίνισης κτιρίου σε σχέση με την κατεδάφιση και νέα κατασκευή με τιμές αναφοράς 50 ετών. (Πηγή Zimmermann R. K. et al., 2023)

Η σουηδική προσέγγιση στην περίπτωση της ανακαίνισης έχει τις χαμηλότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (GHG) σε σχέση με τις υπόλοιπες προσεγγίσεις. Επίσης εμφανίζει την καλύτερη σχετική απόδοση στην περίπτωση ανακαίνισης σε σύγκριση με τις τιμές αναφοράς για τις νεόδμητες, με 68% χαμηλότερα GHG στην ανακαίνιση. Η φινλανδική εμφανίζει τα υψηλότερα GHG και τα αποτελέσματα της ανακαίνισης είναι 32% χαμηλότερα από τις τιμές

αναφοράς για νέα κατασκευή και κατεδάφιση. Τέλος η προσέγγιση της Δανίας έχει ελαφρώς χαμηλότερα GHG από τη φινλανδική προσέγγιση, αλλά τα αποτελέσματα της ανακαίνισης είναι μόλις 10% κάτω από αυτά για νέα κατασκευή και κατεδάφιση. Τα παραπάνω αποδεικνύουν πως διάφορες μέθοδοι επηρεάζουν διαφορετικά τα αποτελέσματα στην εξέταση των ίδιων κτιρίων (Zimmermann R. K. et al., 2023).

Αν εξεταστούν περαιτέρω τα αποτελέσματα διαπιστώνεται ότι για το ανακαινισμένο κτίριο η μεγαλύτερη ρύπανση με διαφορά προέρχεται από τη Φάση Χρήσης ακόμα και όταν το κτίριο είχε διάρκεια ζωής 50 χρόνια, ενώ γίνεται περισσότερο κυρίαρχη αν αυξηθεί η διάρκεια ζωής, για παράδειγμα, στα 100 χρόνια. Αντιστοίχως, για το νέο κτίριο η Φάση Προϊόντος και η Φάση Κατασκευής είχε τον μεγαλύτερο αντίκτυπο για διάρκεια ζωής 50 χρόνων, αν όμως η διάρκεια ζωής αυξηθεί στα 100 χρόνια τότε και πάλι η Φάση Χρήσης θα προκαλεί τις μεγαλύτερες εκπομπές ρύπων και για το νέο κτίριο. Αυτό συμβαίνει ακόμα και σε χώρες όπου η παραγωγή ενέργειας θεωρείται από την πιο φιλική προς το περιβάλλον στον κόσμο, όπως στη Σουηδία. Η κατασκευή ενός νέου κτιρίου λοιπόν, γίνεται περισσότερο ελκυστική μόνο για μεγάλη διάρκεια ζωής αφού αποδεικνύεται πιο φιλικό προς το περιβάλλον σε σύγκριση με το ανακαινισμένο κτίριο αφού παρέλθουν 100 χρόνια.

Παρότι η ανακαίνιση αποδεικνύεται ενεργειακά πιο αποδοτική εμφανίζει και αρκετές προκλήσεις. Κατά την υλοποίηση της ανακαίνισης ενός κτιρίου, εμφανίζονται πολλοί από τον χώρο των κατασκευών που δεν είναι διατεθειμένοι να χρησιμοποιήσουν νέας τεχνολογίας υλικά ή μεθόδους φιλικές προς το περιβάλλον καθώς είναι άγνωστα για αυτούς, εμφανίζοντας μια κουλτούρα αποστροφής του κινδύνου και πιθανών αντιπαραθέσεων που επικρατεί σε ολόκληρο τον κλάδο, τηρώντας τη δημοφιλή στάση της κατασκευής και άμυνας. Όσοι επαγγελματίες των κατασκευών επιλέξουν να τα χρησιμοποιήσουν, συνήθως βασίζονται σε μελέτες περιπτώσεων για την αξιολόγηση των νέων προϊόντων αποφεύγοντας όμως την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των διαφόρων εταιρειών. Το οικονομικό περιβάλλον, η κουλτούρα σχεδιασμού, οι νόμοι και οι κανονισμοί των συμβάσεων ανακαίνισης αλληλοπεριορίζονται, σχηματίζοντας έναν φαύλο κύκλο, ο οποίος έχει γίνει εμπόδιο στη μαζική πρόωθηση κατασκευαστικών έργων χαμηλών εκπομπών άνθρακα.

Οι σχεδιαστές βρίσκονται αντιμέτωποι με πολυδιάστατες προκλήσεις καθώς οφείλουν να παρέχουν κτίρια και τα συστήματά τους, λαμβάνοντας υπόψη την πιθανότητα οι ένοικοι να τα χρησιμοποιούν ακατάλληλα. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό της αλληλεπίδρασης μεταξύ



ανθρώπων και κτιρίων είναι ότι οι ένοικοι στο ίδιο κτίριο έχουν διαφορετικές συμπεριφορές, οι οποίες δεν είναι εύκολο να αναλυθούν και να ελεγχθούν με απλές εργασίες και τα αποτελέσματα της χρήσης είναι δύσκολο να προβλεφθούν. Αυτές οι συμπεριφορές μπορούν να οδηγήσουν σε απρόβλεπτα υπολογιστικά σφάλματα, τα οποία οδηγούν σε κενά απόδοσης με αποτέλεσμα να μην επιτυγχάνεται πάντα η αναμενόμενη εξοικονόμηση ενέργειας. Αυτό πολλές φορές οδηγεί τους σχεδιαστές στη νοοτροπία, ότι εάν οι ένοικοι είναι επιρρεπείς σε λάθη ρουτίνας λόγω αλληλεπίδρασης μεταξύ τους, είναι μάταιο να ενσωματώνονται όλο και πιο περίπλοκες τεχνολογίες στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό.

Με την αυξανόμενη προθυμία της κοινωνίας να μειώσει τις εκπομπές άνθρακα, ο μηχανισμός της αγοράς και ο αντίστοιχος μηχανισμός των χρηματοοικονομικών κινήτρων για την ενθάρρυνση της τεχνολογικής καινοτομίας, της ανακαίνισης και της παράτασης διάρκειας ζωής των κτιρίων είναι αδιαχώριστοι από την ανανέωση των νόμων και των κανονισμών από την εκάστοτε κυβέρνηση, καθώς και την προώθηση μεταρρυθμίσεων επί της χρηματοπιστωτικής αγοράς των κατασκευών. Στόχος πρέπει να είναι η προώθηση στην ανοιχτή αγορά αναπαραγόμενης, οικονομικά προσιτής και βιώσιμης ανακαίνισης πράσινων κτιρίων για να αλλάξει η κατάσταση των υψηλών εκπομπών άνθρακα σε μεγάλο αριθμό παλαιών κτιρίων. Ο σχεδιασμός ανακαίνισης παλαιών κτιρίων μπορεί να συνδυαστεί με την εφαρμογή νέων τεχνολογιών, οι οποίες μπορούν να συνοψίσουν αποτελεσματικά τις μεθόδους σχεδιασμού βελτιστοποίησης, προσανατολισμένες σε χαμηλές εκπομπές άνθρακα για την ανακαίνιση παλαιών κτιρίων.

Παρότι πολλές κυβερνήσεις προσπαθούν να δώσουν κίνητρα για τη χρήση υπολογιστικών προγραμμάτων προκειμένου να επιτύχουν την κατασκευή κτιρίων πιο φιλικών προς το περιβάλλον, η εφαρμογή των LCA στην παρούσα φάση αποδεικνύεται αρκετά αναξιόπιστη ώστε η χρήση τους να γίνει υποχρεωτική με νόμο. Όπως είναι τώρα, υπάρχουν πάρα πολλοί παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν το αποτέλεσμα, από την επιλογή του λογισμικού και της μεθόδου LCA έως τη βάση δεδομένων των προϊόντων. Συνεπώς, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, θα δούμε ουσιαστική επίδραση της χρήσης των LCA στο κλίμα μακροπρόθεσμα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ε

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Η ύπαρξη πολλών μελετών που επικεντρώνονται στη μείωση του αποτυπώματος άνθρακα στις διάφορες φάσεις της κατασκευαστικής βιομηχανίας είναι δεδομένη. Ωστόσο, δεν υφίσταται ικανοποιητικός αριθμός μελετών που να επικεντρώνονται ολοκληρωμένα στη μείωση του αποτυπώματος άνθρακα σε όλη τη διάρκεια ζωής ενός κτιρίου, από το σχεδιασμό έως τις φάσεις διαχείρισης με έμφαση στην παραγωγή, μεταφορά, κατασκευή, λειτουργία - συντήρηση και αποδόμηση στο τέλος του κύκλου ζωής τους. Η αξιοποίηση των πιο πρόσφατων τεχνικών για μείωση του αποτυπώματος άνθρακα κάθε φάσης, όπως η χρήση εναλλακτικών προσθέτων στα οικοδομικά υλικά, οι βελτιώσεις στο σχεδιασμό, η ανακύκλωση οικοδομικών απορριμμάτων, η προώθηση της χρήσης εναλλακτικών υδάτινων πόρων κ.α. μπορεί μόνο να οδηγήσει στη επίτευξη της βιωσιμότητας του κατασκευαστικού κλάδου.

Οι εκπομπές του ενσωματωμένου άνθρακα που συνδέονται με την κατασκευή, την ανακαίνιση και στάδιο τέλους ζωής του κατασκευαστικού περιβάλλοντος ενός έργου, εμφανίζονται σε όλες τις φάσεις κατασκευής, δηλαδή στη Φάση Προϊόντος, στη Φάση Κατασκευής, στη Φάση Χρήσης και στη Φάση Τέλους Ζωής. Έχει διαπιστωθεί ότι οι έρευνες που ασχολούνται με τη μείωση των εκπομπών στη Φάση Κατασκευής χρήζουν βελτίωσης, κυρίως λόγω της μη διαθεσιμότητας δεδομένων από τις επιτόπιες δραστηριότητες όπως από τη χρήση των εγκαταστάσεων και του εξοπλισμού, δεδομένα τα οποία παίζουν ρόλο στον υπολογισμό της μέτρησης του άνθρακα.

Τα αποτελέσματα των εκτιμήσεων υπολογισμού του άνθρακα επηρεάζονται από πολλούς παράγοντες όπως η πηγή δεδομένων, η μέθοδος εκτίμησης, το εύρος της ανάλυσης και τα όρια του συστήματος που χρησιμοποιείται. Είναι χαρακτηριστική η διαπίστωση κατά τη διεξαγωγή μιας έρευνας, όπου ανακαλύφθηκαν επιπλέον εκπομπές 385 tCO<sub>2</sub>e με την επέκταση των ορίων του συστήματος υπολογισμού στη Φάση Κατασκευής προκειμένου να γίνει καταγραφή και των εκπομπών που σχετίζονται με τις ανθρώπινες δραστηριότητες (Hong J. et al., 2015). Αυτό καταδεικνύει την αβεβαιότητα που υπάρχει σχετικά με τις εκπομπές της Φάσης Κατασκευής. Αυτή η αβεβαιότητα αυξάνεται από τον εκ φύσεως κατακερματιστικό χαρακτήρα των κατασκευαστικών εργασιών, γεγονός που καθιστά προβληματική την ανάπτυξη στρατηγικών ελαχιστοποίησης των εκπομπών του άνθρακα.

Ωστόσο, λόγω της συνεχούς προσπάθειας για την πλήρη αφαίρεση του ανθρακικού αποτυπώματος από τον κατασκευαστικό τομέα για την επίτευξη καθαρά μηδενικών εκπομπών άνθρακα έως το 2050, υπάρχει ανάγκη επινόησης αποτελεσματικών τρόπων εφαρμογής των στρατηγικών για τη μείωση των εκπομπών άνθρακα, προκειμένου να διασφαλιστεί η επίτευξη αυτού του στόχου. Η κατηγοριοποίηση των στρατηγικών μείωσης των εκπομπών του άνθρακα που θα μπορούσαν να εφαρμοστούν για τη μείωση του ανθρακικού αποτυπώματος που σχετίζεται με στον κατασκευαστικό τομέα, θα μπορούσε να συνδράμει θετικά, προκειμένου ο παραπάνω στόχος να γίνει ρεαλιστικός.

Οι στρατηγικές μετριασμού του άνθρακα θα πρέπει να επικεντρώνονται στο πλήρες φάσμα της μείωσης του ενσωματωμένου άνθρακα, δηλαδή σε όλες τις φάσεις κατασκευής. Οι περισσότερες όμως από αυτές είναι γενικές και δεν επικεντρώνονται σε συγκεκριμένες μεθόδους ώστε να αποτυπώνονται οι διακριτές ομάδες της κατασκευαστικής διαδικασίας. Απαιτείται συνεπώς να γίνουν μελέτες, στις οποίες να διερευνηθούν διεξοδικά οι διαδικασίες ελαχιστοποίησης του άνθρακα σε κάθε φάση ξεχωριστά προσαρμοσμένες στα νέα δεδομένα. Επιπλέον, λόγω της αναμενόμενης αύξησης των νέων κατασκευών σε παγκόσμιο επίπεδο, ο προσδιορισμός στρατηγικών ικανών να μειώνουν τις εκπομπές άνθρακα, διακριτά ανά φάση καθίσταται ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση της ενσωμάτωσης βιώσιμων πρακτικών στις αναμενόμενες εξελίξεις στον κατασκευαστικό τομέα. Τα ευρήματα αυτών των μελετών θα παρέχουν στους εργολάβους ανά τον κόσμο συγκεκριμένα μέτρα προκειμένου η ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων του άνθρακα να γίνει μια υλοποιήσιμη και μετρήσιμη διαδικασία.

Ένας τρόπος ελαχιστοποίησης του αποτυπώματος άνθρακα στις κατασκευαστικές δραστηριότητες είναι ο διαχωρισμός των σταδίων της διαδικασίας κατασκευής σε περισσότερες κατηγορίες. Το στάδιο της μεταφοράς μπορεί να χωριστεί για παράδειγμα, περαιτέρω σε δύο κατηγορίες υπολογισμού αποτυπώματος, στη μεταφορά υλικών και στη μεταφορά απορριμμάτων, ενώ το στάδιο κατασκευής-εγκατάστασης αντίστοιχα σε επτά κατηγορίες και συγκεκριμένα, μηχανήματα/εξοπλισμός, απόβλητα, υλικά, επιτόπιος φωτισμός, επί τόπου γραφείο εργολάβου, επί τόπου μεταφορά υλικών/εξοπλισμού και μέθοδος κατασκευής. Αυτή η περαιτέρω ταξινόμηση θα επιτρέψει την καλύτερη κατανόηση των στρατηγικών μείωσης του άνθρακα και θα βοηθήσει στη διαφοροποίησή τους.

Οι οικοδομικοί κώδικες είναι το κρίσιμο ρυθμιστικό πλαίσιο που διαμορφώνει την οικοδομική

βιομηχανία, διασφαλίζοντας την ασφάλεια, την ενεργειακή απόδοση και τη βιωσιμότητα. Σε ορισμένες περιοχές η διαδικασία συμμόρφωσης οφείλει να είναι πιο επιθετική, ιδιαίτερα σε μέρη με πυκνή δόμηση, προκειμένου τα κτίρια να επιτυγχάνουν υψηλότερη εξοικονόμηση ενέργειας. Με αυτή την ενισχυμένη εφαρμογή δίνεται η ευκαιρία να ενσωματωθούν πιο φιλόδοξα μέτρα βιωσιμότητας πέρα από τις βασικές απαιτήσεις των παραδοσιακών κωδίκων δόμησης. Για την αποτελεσματική αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των κτιρίων καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους, είναι σημαντικό να ενσωματωθούν σε αυτούς τους κώδικες οι υπολογισμοί του αποτυπώματος άνθρακα. Με αυτόν τον τρόπο, οι οικοδομικοί κώδικες, μπορούν να επιτύχουν καταρχάς, μια ολιστική προσέγγιση για τη μείωση του άνθρακα σε όλο τον κύκλο ζωής ενός κτιρίου. Αυτό θα διασφαλίσει ότι θα ληφθούν υπόψη οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των δομικών υλικών και διαδικασιών, οδηγώντας σε χαμηλότερο ενεργειακό αντίκτυπο από τα νέα κτίρια.

Επίσης θα γίνει εφικτή η τήρηση ενός συνεπούς συνόλου προδιαγραφών, με τη δημιουργία μιας βάσης που πρέπει να ακολουθηθεί, οδηγώντας σε περισσότερες πρακτικές σχεδιασμού και κατασκευής, χαμηλού περιβαλλοντικού αντίκτυπου σε ολόκληρο τον κατασκευαστικό κλάδο. Απόρροια αυτού, η διαφάνεια και η τεκμηριωμένη λήψη αποφάσεων από επαγγελματίες του κλάδου που θα γνωρίζουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των δομικών υλικών και πρακτικών, δίνοντάς τους τη δυνατότητα να κάνουν περιβαλλοντικά συνειδητές επιλογές. Αυτό με τη σειρά του θα οδηγήσει στον μετασχηματισμό της αγοράς με τόνωση της εφοδιαστικής αλυσίδας για καινοτομία και παραγωγή βιώσιμων εναλλακτικών λύσεων, επιταχύνοντας τη μετάβαση προς ένα περιβάλλον χαμηλών εκπομπών άνθρακα.

Η μείωση του ενσωματωμένου άνθρακα εμφανίζει πολλές προκλήσεις που οφείλουν να ξεπεραστούν για μια αποτελεσματική μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των κτιρίων. Όπως αναφέρθηκε η πιο σημαντική πρόκληση είναι η ανεπαρκής διαθεσιμότητα και ακρίβεια των δεδομένων για τον ενσωματωμένο άνθρακα ανάμεσα σε διαφορετικά υλικά και διεργασίες. Η απόκτηση λεπτομερειακών δεδομένων για ένα ευρύ φάσμα δομικών υλικών είναι χρονοβόρα και απαιτεί πόρους. Ενώ έχουν αναπτυχθεί πολλά εργαλεία εκτίμησης του ενσωματωμένου άνθρακα και γενικά του ανθρακικού αποτυπώματος, μια τυποποιημένη βάση αξιόπιστων και δημόσιων δεδομένων που επικεντρώνονται ειδικά στον ενσωματωμένο άνθρακα θα μπορούσε να αντιμετωπίσει καλύτερα αυτήν την πρόκληση.

Τα δεδομένα του κόστους για υλικά χαμηλών εκπομπών άνθρακα και οι αντίστοιχες

κατασκευαστικές πρακτικές δεν είναι άμεσα διαθέσιμες. Οι κατασκευαστές και οι προγραμματιστές έχουν επισημάνει ότι τα μέτρα μείωσης των εκπομπών άνθρακα θα προκαλέσουν υψηλότερο αρχικό κόστος κατασκευής. Η διεξαγωγή μιας ολοκληρωμένης Ανάλυσης Κόστους Κύκλου Ζωής για την προβολή των μακροπρόθεσμων οικονομικών οφελών από την μείωση του άνθρακα, όπως εξοικονόμηση ενέργειας, μειώσεις λειτουργικού κόστους και αυξημένη αγοραία αξία, είναι το πρώτο βήμα για την αντιμετώπιση αυτής της πρόκλησης. Επιπλέον, η εισαγωγή οικονομικών κινήτρων, επιχορηγήσεων και εκπτώσεων φόρου που στοχεύουν ειδικά στην μείωση του ενσωματωμένου άνθρακα μπορεί να αντισταθμίσει το αρχικό κόστος και να δώσει κίνητρα για συνειδητές αποφάσεις υπέρ της προστασίας του περιβάλλοντος.

Πολλοί ενδιαφερόμενοι στον κατασκευαστικό κλάδο, συμπεριλαμβανομένων των σχεδιαστών, των κατασκευαστών και του ελεγκτικού μηχανισμού, εμφανίζουν σε πολλές περιπτώσεις περιορισμένη επίγνωση ή κατανόηση του ενσωματωμένου άνθρακα και της σημασίας του. Αυτή η έλλειψη ευαισθητοποίησης μπορεί να οδηγήσει σε χαμηλότερη ζήτηση για υλικά χαμηλών εκπομπών άνθρακα, με αποτέλεσμα την περιορισμένη προσφορά βιώσιμων εναλλακτικών λύσεων και το υψηλό κόστος των διαθέσιμων στην αγορά υλικών. Είναι απαραίτητο να διεξαχθούν εκπαιδευτικές εκστρατείες, να προωθηθούν πλατφόρμες ανταλλαγής γνώσεων και να διευκολυνθούν προγράμματα κατάρτισης για την αύξηση της γνώσης και της κατανόησης του ενσωματωμένου άνθρακα μεταξύ των επαγγελματιών του κλάδου. Η εκπαίδευση για τις επιπτώσεις των εκπομπών άνθρακα και αντίστοιχα τα οφέλη από τη μείωση τους οφείλει να ενταχθεί σε μεγαλύτερο εύρος μαθημάτων επαγγελματικής ανάπτυξης, προγραμμάτων πιστοποίησης και πανεπιστημιακών προγραμμάτων σπουδών.

Μέχρι στιγμής η προσπάθεια μείωσης του ενσωματωμένου άνθρακα δεν έχει την ίδια αντιμετώπιση ακόμα και μέσα στα ίδια τα κράτη. Διαφορετικές δικαιοδοσίες έχουν υιοθετήσει διαφορετικές νομικές προσεγγίσεις για την αντιμετώπιση του ενσωματωμένου άνθρακα στην οικοδομική βιομηχανία, που περιλαμβάνει μια σειρά από πολιτικές, νομοθεσίες, κανονισμούς και πρωτοβουλίες σε διάφορα επίπεδα διακυβέρνησης. Στην Καλιφόρνια για παράδειγμα ο νόμος Buy Clean California, που θεσπίστηκε το 2017 (California Department of General Services, 2017), απαιτεί από τους εργολάβους που υποβάλλουν προσφορές για έργα που χρηματοδοτούνται από το δημόσιο να τηρούν και να παρουσιάζουν τα όρια εκπομπών άνθρακα για τα υλικά που σκοπεύουν να χρησιμοποιήσουν. Εστιασμένος σε έργα δημόσιας υποδομής, ο νόμος ορίζει μέγιστο αποδεκτό όριο GWP για βασικές κατηγορίες υλικών που

σχετίζονται με την παραγωγή δομικού χάλυβα (τμήματα θερμής έλασης, κοίλα δομικά τμήματα και πλάκες), χάλυβα σπλισμού σκυροδέματος, επίπεδα φύλλα γυαλιού και ορυκτοβάμβακα μόνωσης. Κάθε εργολάβος που επιθυμεί να αναλάβει ένα δημόσιο έργο πρέπει να αποδείξει τη συμμόρφωσή του με την παρουσίαση ενός EPD.

Με παρόμοιο τρόπο, ο νόμος της Νέας Υόρκης Low Embodied Carbon Concrete Leadership Act (Kaminsky T., 2021), απαιτούσε από το Γραφείο Γενικών Υπηρεσιών να δημιουργήσει κατευθυντήριες γραμμές και να θεσπίσει ελάχιστα πρότυπα για τη χρήση σκυροδέματος χαμηλών εκπομπών άνθρακα σε δημόσια έργα. Είναι απαραίτητο να αυξηθεί ο αριθμός των χωρών που προωθούν παρόμοιες πολιτικές. Με την ένταξη παρουσίασης δεδομένων ενσωματωμένου άνθρακα στις δημόσιες προμήθειες, οι νόμοι αυτοί δίνουν κίνητρα για τη χρήση υλικών χαμηλών εκπομπών άνθρακα, δημιουργούν προηγούμενο και προάγουν τη λογοδοσία και τη διαφάνεια στον κατασκευαστικό κλάδο. Παρότι οι νόμοι δεν ισχύουν για ιδιωτικά χρηματοδοτούμενα κτίρια και ανάπτυξη, μπορούν να χρησιμεύσουν ως πρότυπο για βιώσιμες κατασκευαστικές πρακτικές και να επηρεάσουν την ευρύτερη οικοδομική βιομηχανία προκειμένου να εξετάσει εθελοντικά τη μείωση του αποτυπώματος άνθρακα.

Η πρωτοβουλία δημιουργίας κτιρίων μηδενικών εκπομπών άνθρακα εφαρμόζει πολιτικές που θα βοηθήσουν την κατεύθυνση προς ένα καλύτερο μέλλον φιλικό προς το περιβάλλον. Ήδη η ΕΕ έχει στραφεί προς αυτή την κατεύθυνση, ζητώντας από τα κράτη μέλη της την ένταξη αντίστοιχων μέτρων στη νομοθεσία τους. Η υλοποίηση αυτών των πολιτικών όμως προϋποθέτει οι Τοπικές Αυτοδιοικήσεις, ιδιαίτερα των μεγάλων πόλεων, να δημιουργήσουν ένα Σχέδιο Δράσης Μηδενικών Εκπομπών. Η επιτυχία ενός τέτοιου σχεδίου απαιτεί οι τοπικές αρχές να ενστερνιστούν την ανάγκη μείωσης των εκπομπών άνθρακα. Η εφαρμογή της νομοθεσίας στις νέες κατασκευές, η αξιολόγηση εναλλακτικών οδών μέσω προγραμμάτων πιστοποίησης μηδενικού άνθρακα, ο σχεδιασμός και ανάπτυξη πολιτικής για την ιεράρχηση της επαναχρησιμοποίησης υλικών, ο σχεδιασμός στόχων μείωσης του άνθρακα σε παλαιά κτίρια, η ανάπτυξη εργαλείων/προτύπων, η εκτέλεση τεχνικής αξιολόγησης των επιπτώσεων του άνθρακα, η υιοθέτηση απαιτήσεων ανάλυσης κύκλου ζωής μείωσης άνθρακα, η παρακολούθηση της απόδοσης σε όλα τα δημόσια έργα και η συμμετοχή σε συνέδρια ανταλλαγής εμπειριών με αντίστοιχες άλλες πόλεις, είναι μερικά από τα μέτρα που μπορούν να εφαρμοστούν. Η χρήση σχεδίων δράσης για την αντιμετώπιση του ενσωματωμένου άνθρακα μπορεί να προσφέρει έναν ολοκληρωμένο και στρατηγικό οδικό χάρτη για τις κυβερνήσεις, τους οργανισμούς και τις κοινότητες ώστε να προβούν σε συντονισμένες

ενέργειες για τη μείωση των εκπομπών άνθρακα καθ' όλο τον κύκλο ζωής των κτιρίων.

Συνεχώς αυξανόμενος αριθμός κατασκευαστών ακολουθούν οικειοθελώς πρότυπα χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Καθώς η κατασκευαστική βιομηχανία αναγνωρίζει όλο και περισσότερο τη σημασία της μείωσης του ενσωματωμένου άνθρακα, τα συστήματα πιστοποίησης εξελίσσονται για να ενθαρρύνουν και να υποστηρίζουν τη διαδικασία. Οι ενέργειες αυτές καταδεικνύουν το ποικίλο φάσμα νομικών προσεγγίσεων που έχουν εφαρμόσει οι κυβερνήσεις, οι δήμοι και οι οργανισμοί για την προώθηση της βιώσιμης κατασκευής και τη μείωση των ενσωματωμένων εκπομπών άνθρακα.

Με τη θέσπιση νομοθεσίας, την εφαρμογή πρωτοβουλιών ανά οικιστική ζώνη, τη διαμόρφωση σχεδίων δράσης, την ενημέρωση των ενεργειακών κωδίκων και τη βελτίωση των προγραμμάτων πιστοποίησης πράσινων κτιρίων, οι κυβερνήσεις αναγνωρίζουν τη σημασία του ενσωματωμένου άνθρακα στον κατασκευαστικό κλάδο και τον ρόλο του στην επίτευξη μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Για να ενισχυθεί ο αντίκτυπος αυτών των νομικών προσεγγίσεων, είναι απαραίτητη η συνεχής συνεργασία μεταξύ των υπευθύνων χάραξης πολιτικής, των ενδιαφερόμενων μερών του κλάδου και των εμπειρογνομόνων. Αυτή η συνεργασία μπορεί να οδηγήσει στην ανάπτυξη πιο αποτελεσματικών και στοχευμένων πολιτικών και προτύπων.

Με την προώθηση της διαφάνειας μέσω της απαίτησης των EPD και την προώθηση της έρευνας σε εναλλακτικές λύσεις χαμηλών εκπομπών άνθρακα, οι αρμόδιες αρχές μπορούν να δώσουν περαιτέρω κίνητρα στη χρήση υλικών που έχουν μικρότερο αντίκτυπο στο περιβάλλον. Οι εκστρατείες εκπαίδευσης και ευαισθητοποίησης διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην επιρροή των αρμοδίων για τη λήψη αποφάσεων στον κατασκευαστικό κλάδο. Η ευαισθητοποίηση σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των διαφορετικών υλικών και τεχνικών κατασκευής μπορεί να εμπνεύσει καλύτερες επιλογές και να προωθήσει μια κουλτούρα αειφορίας. Επιπλέον, η προώθηση των εταιρικών σχέσεων ιδιωτικού-δημόσιου τομέα μπορεί να επιταχύνει την πρόοδο στην αντιμετώπιση των προκλήσεων όσον αφορά τον ενσωματωμένο άνθρακα. Προσφέροντας κίνητρα, όπως φορολογικές ελαφρύνσεις ή επιχορηγήσεις, για ιδιωτική ανάπτυξη που πληροί τους στόχους μείωσης, οι κυβερνήσεις μπορούν να ενθαρρύνουν περαιτέρω τη συμμετοχή και να επισπεύσουν την υιοθέτηση υλικών και κατασκευαστικών πρακτικών χαμηλών εκπομπών άνθρακα.

Ενόψει της αυξανόμενης κλιματικής κρίσης, η κατασκευαστική βιομηχανία μετασχηματίζεται

κάνοντας βήματα προς τον μετριασμό των περιβαλλοντικών της επιπτώσεων και τη μείωση του ενσωματωμένου άνθρακα. Οι βιώσιμες λύσεις με χαμηλές εκπομπές άνθρακα έχουν αποκτήσει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, παροτρύνοντας τους αρχιτέκτονες, τους κατασκευαστές και τους ενδιαφερόμενους φορείς να επαναξιολογήσουν τις πρακτικές τους και να στραφούν προς πιο υπεύθυνες για το περιβάλλον επιλογές. Η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και υλικών που μειώνουν τον ενσωματωμένο άνθρακα αναδεικνύεται ως μια πολλά υποσχόμενη οδός για τον μετριασμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των κτιρίων καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους.

Σημαντικός παράγοντας για την κατασκευή κτιρίων χαμηλών εκπομπών άνθρακα, είναι η επιλογή κατάλληλων υλικών. Για παράδειγμα, το σκυρόδεμα είναι ένα κοινό δομικό υλικό, βασικό στις κατασκευές, αλλά και διαβόητο για τον υψηλό ενσωματωμένο άνθρακα του. Η χρήση μιγμάτων σκυροδέματος χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα, τα οποία ενσωματώνουν βιομηχανικά υποπροϊόντα όπως ιπτάμενη τέφρα ή σκωρία, μπορεί να μειώσει σημαντικά το αποτύπωμα άνθρακα του σκυροδέματος διατηρώντας παράλληλα τη δομική του ακεραιότητα. Όταν ο άνθρακας καίγεται σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, αφήνει πίσω του διαφορετικούς τύπους στάχτης. Η ιπτάμενη τέφρα είναι ένας από τους πιο άφθονους τύπους βιομηχανικών αποβλήτων που παράγεται. Σε όλο τον κόσμο, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με καύση άνθρακα παράγει περισσότερους από 500 εκατομμύρια τόνους ιπτάμενης τέφρας ετησίως από τους οποίους μόνο το 25% έως 30% επαναχρησιμοποιείται σε διάφορους τομείς (Mahantayya M. et al., 2022).

Η ιπτάμενη τέφρα είναι ένας λεπτός, κονιώδης τύπος τέφρας άνθρακα που περιέχει πυρίτιο, αλουμίνιο και ασβέστιο, καθιστώντας το επαναχρησιμοποιήσιμο και ωφέλιμο και για άλλες βιομηχανικές εφαρμογές. Περιέχει συνεπώς ορυκτά που συνήθως παίρναμε από την εξόρυξη των πόρων της Γης. Με την επαναχρησιμοποίηση αυτού του υποπροϊόντος μειώνεται η συνολική ποσότητα των αποβλήτων που παράγονται κατά την καύση άνθρακα. Η ιδιότητα της να κάνει άλλα βιομηχανικά προϊόντα ισχυρότερα και πιο ανθεκτικά θα δημιουργήσει συνεχώς αυξανόμενα κίνητρα για την επαναχρησιμοποίηση της. Η πιο κοινή χρήση αυτής της τέφρας είναι στο σκυρόδεμα. Η προσθήκη ιπτάμενης τέφρας στο σκυρόδεμα μειώνει την ανάγκη χρήσης νερού και αυξάνει την ανθεκτικότητα, την αντοχή και την εργασιμότητα του υλικού. Το σκυρόδεμα ιπτάμενης τέφρας είναι επίσης μια πιο οικολογική επιλογή καθώς επιτρέπει στους κατασκευαστές να χρησιμοποιούν λιγότερο τσιμέντο στο μείγμα, συμβάλλοντας σημαντικά στη μείωση των εκπομπών άνθρακα.



Επιπροσθέτως, χρησιμοποιείται σε δομικά υλικά όπως τούβλα, τα οποία διακρίνονται για την αντοχή, την πυκνότητα και τη σταθερότητα τους. Η ιπτάμενη τέφρα παρέχει υψηλή αντοχή στη φωτιά, ενώ λόγω της υψηλής αντοχής τους, υπάρχει πολύ μικρή θραύση κατά τη μεταφορά και τη χρήση. Επιπλέον, το ομοιόμορφο μέγεθος τους θα βοηθήσει στη σημαντική μείωση του κονιάματος που απαιτείται για αρμούς και σοβά, ενώ παράλληλα λόγω της χαμηλότερης διείσδυσης νερού, η στεγανότητα αυτών των τούβλων αυξάνεται σημαντικά. Επίσης τα γεωπολυμερή που χρησιμοποιούνται στις οδικές βάσεις επωφελούνται από τη χρήση ιπτάμενης τέφρας καθώς αποκτούν αντοχή και μακροζωία. Η χρήση της βοηθά στη δημιουργία υλικών που είναι λιγότερο ευαίσθητα σε ρωγμές ή στρέβλωση σε ακραίες θερμοκρασίες, καθιστώντας το εξαιρετικό σταθεροποιητή τόσο για το έδαφος της βάσης όσο και για την ίδια τη βάση του δρόμου.

Πέρα από το τσιμέντο, ορισμένα υλικά έχουν εγγενώς υψηλό ενσωματωμένο άνθρακα κυρίως λόγω των ενεργοβόρων διαδικασιών παραγωγής τους. Ο περιορισμός της χρήσης τέτοιων υλικών προς όφελος των εναλλακτικών λύσεων χαμηλών εκπομπών άνθρακα μπορεί να συμβάλει σημαντικά στην μείωση του ενσωματωμένου άνθρακα. Η χρήση βιώσιμης προέλευσης ξυλείας ή ανακυκλωμένου χάλυβα είναι βιώσιμες εναλλακτικές λύσεις σε σχέση με τα υλικά υψηλής έντασης άνθρακα όπως το αλουμίνιο.

Τα κτίρια κατασκευασμένα από βιώσιμη ξυλεία μπορούν να συμβάλουν σημαντικά στην καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής. Τα δομικά υλικά από ξυλεία αποθηκεύουν τεράστιες ποσότητες άνθρακα. Τα δέντρα απορροφούν άνθρακα από την ατμόσφαιρα και μεγάλο μέρος αυτού του άνθρακα παραμένει αποθηκευμένο στην ξυλώδη βιομάζα του δέντρου ακόμα και όταν κοπούν, μεταποιηθούν και χρησιμοποιηθούν για οτιδήποτε, από το πλαίσιο ενός κτιρίου μέχρι ένα κούφωμα ή την κατασκευή ερμαρίων. Έτσι, ενώ τα παραδοσιακά κτίρια που κατασκευάζονται από σκυρόδεμα και χάλυβα αναμένεται να παράγουν εκατοντάδες μετρικούς τόνους εκπομπών άνθρακα, ένα παρόμοιων διαστάσεων κτίριο από ξύλο μπορεί να αποθηκεύσει την αντίστοιχη ποσότητα άνθρακα. Παράλληλα η αύξηση της ζήτησης για ξύλο από βιώσιμα και καλά διαχειριζόμενα δάση, μπορεί να οδηγήσει σε επενδύσεις στη διαχείριση των δασών αυξάνοντας το ενδιαφέρον για την προστασία από δασικές πυρκαγιές παρέχοντας με αυτόν τον τρόπο και στέγη για την αύξηση της βιοποικιλότητας.

Χρησιμοποιώντας τις πιο πρόσφατες μεθόδους επεξεργασίας και συμπίεσης, όπως για την κατασκευή της σταυρωτής επικολλητής ξυλείας (CLT), το ξύλο μπορεί τώρα να χρησιμοποιηθεί

για την δημιουργία εξαιρετικά σκληρών και ελαστικών κατασκευών, ανθεκτικών στη φωτιά και σε παράσιτα, καθώς και σε φυσικές καταστροφές, όπως πλημμύρες, σεισμούς και ισχυρές ανεμοθύελλες. Επίσης λόγω του ότι είναι ελαφρύτερο, μπορεί να προκατασκευαστεί και εκτός εργοταξίου, είναι ευκολότερο στην κατασκευή από τις αντίστοιχες λιγότερο πράσινες εναλλακτικές, επιταχύνοντας συνεπώς τη διαδικασία κατασκευής. Επιπλέον, η ξυλεία είναι πιο αποτελεσματικό μονωτικό υλικό από τα μέταλλα, το γυαλί και το σκυρόδεμα, επομένως τα ξύλινα κτίρια απαιτούν λιγότερη θέρμανση το χειμώνα και λιγότερη ψύξη το καλοκαίρι, καθιστώντας τα πιο ενεργειακά και οικονομικά κατά τη λειτουργία τους. Τα ξύλινα κτίρια δημιουργούν επιπλέον πιο υγιεινά περιβάλλοντα διαβίωσης και εργασίας. Στους ανθρώπους αρέσει να συνδέονται με τη φύση και τα κτίρια που έχουν σχεδιαστεί για να είναι σε αρμονία με τη φύση επηρεάζουν θετικά την αποδοτικότητα και τη δημιουργικότητα στους χώρους εργασίας.

Παρότι οι οικονομίες κλίμακας που έχουν αναπτυχθεί για το σκυρόδεμα και τον χάλυβα δεν υπάρχουν ακόμη για τη βιομηχανία βιώσιμης ξυλείας, με την ανάλογη προώθηση η χρήση του ξύλου μπορεί να γίνει πολύ πιο οικονομική από τα άλλα υλικά. Από τη βιώσιμη διαχείριση των δασών έως την υλοτόμηση και τη ξυλουργική, η ενθάρρυνση της χρήσης τοπικής προέλευσης βιώσιμου ξύλου δημιουργεί θέσεις εργασίας και ωφελεί τις τοπικές οικονομίες. Παράλληλα, η χρήση ενός τόσο ελαφρύ και λειτουργικού υλικού όπως το ξύλο, απαιτεί μικρότερα συνεργεία που χρησιμοποιούν ελαφρύτερα εργαλεία και λιγότερο εξοπλισμό καταναλώνοντας πολύ λιγότερη ενέργεια. Η εύκολη μεταφορά τους δίνει τη δυνατότητα να συναρμολογήσουν προκατασκευασμένα κομμάτια των κατασκευών με ακριβείς προδιαγραφές σε εργοστάσια εκτός του εργοταξίου, αυξάνοντας την παραγωγή και την τυποποίηση.

Η παραγωγή χάλυβα ξεκινά με την αντίδραση ανάμεσα στο σιδηρομετάλλευμα, μια ένωση σιδήρου, οξυγόνου και άλλων ορυκτών που απαντώνται στη φύση και τον αναγωγικό παράγοντα, τον άνθρακα οπτανθρακοποίησης, με τη χρήση υψικάμινου ή καμίνου ηλεκτρικού τόξου, παράγοντας λιωμένο σίδηρο που μετατρέπεται σε χάλυβα σε μεταγενέστερο στάδιο. Η αντίδραση του σιδηρομεταλλεύματος με τον άνθρακα είναι ο κύριος συντελεστής της εκπομπής CO<sub>2</sub> στην παραγωγή χάλυβα και αντιστοιχεί στο 70–80% των συνολικών εκπομπών του χάλυβα. Παγκοσμίως, η παραγωγή χάλυβα αντιπροσωπεύει το 7% των εκπομπών CO<sub>2</sub> (EU Science Hub, 2022). Ο χάλυβας είναι ένα από τα πιο δημοφιλή δομικά υλικά που υπάρχουν καθώς δεν είναι εύφλεκτος, ενώ αποτελεί την καλύτερη επιλογή σε περιοχές που πλήττονται συχνά από σεισμούς ή άλλες φυσικές καταστροφές, χάρη στην αντοχή που έχει στην

παραμόρφωση. Στην πραγματικότητα, είναι ένα από τα πιο ανθεκτικά υλικά κατασκευής που υπάρχουν. Αλλά η αντοχή και η μεγάλη διάρκεια ζωής του δεν είναι το μόνο αξιόλογο χαρακτηριστικό του χάλυβα. Τα βιώσιμα χαρακτηριστικά του καθιστούν τον ανακυκλωμένο χάλυβα ένα από τα καλύτερα υλικά που χρησιμοποιούνται στα κατασκευαστικά έργα. Στην πραγματικότητα, πάνω από το 90% ενός μεταλλικού κτιρίου ή εξαρτήματος μπορεί να ανακυκλωθεί, ενώ μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί πολλές φορές χωρίς να απωλέσει την ποιότητά του. Αυτό είναι το υψηλότερο ποσοστό ανακύκλωσης σε σχέση με τα υπόλοιπα κοινά δομικά υλικά, όπως το σκυρόδεμα ή το ξύλο.

Η βιομηχανία ανακύκλωσης μετάλλων διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στην προώθηση της βιωσιμότητας και της διατήρησης των πόρων μετατρέποντας τα απορριπτόμενα μέταλλα σε πολύτιμες πρώτες ύλες. Καθώς η βιομηχανία συνεχίζει να εξελίσσεται, υιοθετούνται νέες τεχνολογίες που αναδιαμορφώνουν τις λειτουργίες και βελτιστοποιούν τις διαδικασίες για να φέρουν τον κατασκευαστικό κλάδο πιο κοντά από ποτέ σε μια πλήρως κυκλική οικονομία. Βασικές τεχνολογικές εξελίξεις, όπως η τεχνητή νοημοσύνη (AI), ο έξυπνος εξοπλισμός και η προηγμένη ρομποτική, ξεκλειδώνουν νέες δυνατότητες για τη βιομηχανία μέσω της πρόβλεψης των τάσεων της αγοράς, της αυξημένης ιχνηλασιμότητας και της ικανότητας επαναχρησιμοποίησης υλικών με νέους τρόπους. Αξιοποιώντας τη δύναμη αυτών των αναδυόμενων τεχνολογιών, η βιομηχανία ανακύκλωσης μετάλλων μπορεί να επιτύχει μεγαλύτερη βιωσιμότητα εγκαινιάζοντας μια νέα εποχή υπεύθυνης διαχείρισης πόρων.

Στη βιομηχανία ανακύκλωσης μετάλλων, η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προβλέψει τις τάσεις της αγοράς, βοηθώντας να ληφθούν πιο ενημερωμένες αποφάσεις σχετικά με την αγορά, την πώληση και τη διαχείριση αποθεμάτων παλιοσίδερων μετάλλων. Οι αλγόριθμοι τεχνητής νοημοσύνης μπορούν να αναλύσουν μεγάλους όγκους δεδομένων αγοράς, συμπεριλαμβανομένων των τιμών, της προσφοράς και ζήτησης και των εμπορικών μοτίβων και στη συνέχεια να προσδιορίσουν μοτίβα μέσα στα δεδομένα για να προβλέψουν τις μελλοντικές τάσεις της αγοράς. Αυτό βοηθά να σχεδιαστούν καλύτερα οι δραστηριότητες, βελτιστοποιώντας την παραγωγή και διαχειρίζοντας τα αποθέματα με βάση την αναμενόμενη ζήτηση για συγκεκριμένα μέταλλα.

Η συνεργατική ρομποτική, γνωστή και ως cobots, χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο στη βιομηχανία ανακύκλωσης μετάλλων. Τα cobots χρησιμοποιούν κάμερες, ρομποτικούς βραχίονες, λαβές και συστήματα μεταφοράς για να ανυψώνουν, να μετακινούν και να

στοιβάζουν υλικά όπως απαιτείται και παράλληλα μπορούν να εκτελέσουν ένα ευρύ φάσμα εργασιών όπως χειρισμό υλικών, συναρμολόγηση, επιθεώρηση και συντήρηση μαζί με ανθρώπους. Αυτά τα μηχανήματα χρησιμοποιούν χαρακτηριστικά ασφαλείας όπως αισθητήρες δύναμης, ανίχνευση σύγκρουσης και μείωση ταχύτητας όταν εργάζονται κοντά σε ανθρώπους.

Σε αντίθεση με τα ρομπότ ταξινόμησης, τα οποία αυτοματοποιούν την αναγνώριση και τον διαχωρισμό υλικών, τα cobots εκτελούν ένα ευρύτερο φάσμα εργασιών. Μπορούν να βοηθήσουν στη συντήρηση του εξοπλισμού ανακύκλωσης εκτελώντας επιθεωρήσεις, λίπανση και μικρές επισκευές που με τη σειρά τους ελαχιστοποιούν το χρόνο διακοπής λειτουργίας, όπως επίσης και να εργαστούν σε επικίνδυνους και περιορισμένους χώρους, μειώνοντας τον κίνδυνο τραυματισμών για τους εργαζόμενους, αυξάνοντας την παραγωγικότητα και βελτιώνοντας τη συνολική λειτουργική απόδοση.

Όσον αφορά την αύξηση της ασφάλειας στην εργασία, τα drones μπορούν να παρακολουθούν και να εντοπίζουν πιθανούς κινδύνους για την ασφάλεια σε ένα εργοστάσιο ανακύκλωσης μετάλλων, όπως κινδύνους πυρκαγιάς ή πτώση υλικών από στοίβες μετάλλων. Παρέχοντας επιτήρηση σε πραγματικό χρόνο από ψηλά, τα drones επιτρέπουν στα εργοστάσια να λειτουργούν προληπτικά και να ελαχιστοποιούν τον κίνδυνο ατυχημάτων. Επιπλέον, μπορούν να εξοπλιστούν με κάμερες και αισθητήρες για να βελτιώσουν τη διαχείριση αποθεμάτων. Χρησιμοποιώντας την τεχνολογία ανίχνευσης φωτός και εμβέλειας (LiDAR), τα drones μπορούν να δημιουργήσουν τρισδιάστατα μοντέλα αποθεμάτων και να εκτιμήσουν τον όγκο και το βάρος των υλικών. Αυτά τα δεδομένα παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες για τα επίπεδα αποθέματος, επιτρέποντας στα εργοστάσια να βελτιστοποιήσουν τον χώρο αποθήκευσης και τα σχέδια μεταφοράς. Τα drones μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τη μέτρηση της τρέχουσας χωρητικότητας ενός εργοστασίου και τον εντοπισμό περιοχών που απαιτείται βελτίωση.

Ενώ ο ρόλος της τρισδιάστατης εκτύπωσης στη βιομηχανία ανακύκλωσης μετάλλων εξακολουθεί να εξελίσσεται, η ενσωμάτωσή της έχει τη δυνατότητα να συμβάλει στην αύξηση της μείωσης των απορριμμάτων και της βιωσιμότητας. Με την τήξη και την επανεπεξεργασία παλιοσίδερων, αυτά τα υλικά μπορούν να μετατραπούν σε ένα νήμα που μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί ως πρώτη ύλη για τρισδιάστατους εκτυπωτές. Αυτό επιτρέπει τη δημιουργία νέων προϊόντων ή ανταλλακτικών, μειώνοντας την ανάγκη για πρώτες ύλες από τη φύση και ελαχιστοποιώντας τα απόβλητα. Με τη χρήση τρισδιάστατης εκτύπωσης, μπορούν να

κατασκευαστούν συγκεκριμένα εξαρτήματα κατόπιν ζήτησης, ακόμη και αν δεν παράγονται πλέον.

Η διατήρηση των υφιστάμενων κατασκευών και η επαναχρησιμοποίησή τους για νέες χρήσεις μειώνει σημαντικά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που συνδέονται με τις νέες κατασκευές. Μέσω της προσαρμοστικής επαναχρησιμοποίησης, διατηρείται ο ενσωματωμένος άνθρακας που έχει ήδη εγκλωβιστεί στο υπάρχον κτίριο και ελαχιστοποιείται η ανάγκη για ενεργοβόρα παραγωγή νέων δομικών υλικών. Η έμφαση στη χρήση διασωθέντων και ανακυκλωμένων υλικών σε κατασκευαστικά έργα μπορεί να μειώσει σημαντικά τη ζήτηση για νέα παραγωγή, η οποία συνήθως συνοδεύεται από σημαντικό αποτύπωμα άνθρακα. Παράλληλα, ο προσεκτικός σχεδιασμός των κατασκευών με έμφαση στη βελτιστοποίηση της χρήσης υλικών και στη δομική απόδοση μπορεί να μειώσει τον συνολικό όγκο των υλικών που απαιτούνται για την κατασκευή, μειώνοντας κατά συνέπεια τον ενσωματωμένο άνθρακα.

Η εφαρμογή αποτελεσματικών πρακτικών διαχείρισης απορριμμάτων, όπως η δημιουργία επιτόπιων σταθμών διαχωρισμού για τον διαχωρισμό διαφορετικών τύπων απορριμμάτων, όπως ξύλο, σκυρόδεμα, μέταλλα και πλαστικά για ανακύκλωση αλλά και σωστή διάθεση, καθώς και η αποφυγή απόθεσης κτιριακών απορριμμάτων σε χώρους υγειονομικής ταφής, θα μειώσει αισθητά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και τον ενσωματωμένο άνθρακα ενός έργου. Επίσης η χρήση αρθρωτών ή προκατασκευασμένων τεχνικών κατασκευής μπορεί να βελτιστοποιήσει τη χρήση των υλικών, με αποτέλεσμα την δημιουργία ελάχιστων αποβλήτων που διαφορετικά θα κατέληγαν σε χωματερές.

Ακόμα και η ελάττωση χρήσης των φυσικών υδάτινων πόρων συμβάλει σημαντικά στην μείωση χρήσης ενέργειας για την εύρεση, καθαρισμό και μεταφορά καθαρού νερού στους αστικούς ιστούς και κατ' επέκταση στη μείωση των εκπομπών άνθρακα. Πέρα από τη χρήση της ηλιακής ενέργειας για την παραγωγή ζεστού νερού, επιπλέον ελάττωση εκπομπών άνθρακα μπορεί να προέλθει από τη μείωση της μέσης κατανάλωσης νερού σε ένα κτίριο με την εφαρμογή πράσινων τεχνολογιών εξοικονόμησης νερού. Η συλλογή του βρόχινου νερού και η διοχέτευσή του στο σύστημα με χρήση της βαρύτητας είναι μια φυσική μέθοδος εξοικονόμησης. Το γκρίζο νερό είναι το νερό που προέρχεται από τα πλυντήρια, τους νεροχύτες και τους νιπτήρες, τα ντους και τις μπανιέρες. Το επεξεργασμένο γκρίζο νερό μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί για πότισμα των κήπων, καθαρισμό εξωτερικών χώρων αλλά και στις τουαλέτες. Το νερό που συλλέγεται από τα δοχεία συμπυκνωμάτων των συστημάτων κλιματισμού μπορεί επίσης να

χρησιμοποιηθεί για καθαρισμό τουαλετών, πότισμα κήπων και πράσινων ταρατσών, πύργους ψύξης, καθαρισμό στεγών, και ψεκασμό ψύξης. Η επαναχρησιμοποίηση του νερού αλλά και η μείωση χρήσης του μέσω νέων τεχνολογιών όπως με τουαλέτες εξοικονόμησης νερού ή άνυδρες τουαλέτες, εναλλακτικά εξαρτήματα χαμηλής ροής ντους και βρύσης, συσκευές αποδοτικής χρήσης νερού και εναλλακτική διαμόρφωση των κήπων με άρδευση υψηλής απόδοσης και επιλογή φυτών εξοικονόμησης νερού στατιστικά θα οδηγήσουν στην αύξηση της απόδοσης του νερού.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η επαναχρησιμοποίηση υφιστάμενων κτιρίων μέσω έργων μετασκευής και ανακαίνισης μπορεί να μειώσει σημαντικά τον ενσωματωμένο άνθρακα σε σύγκριση με μια νέα κατασκευή. Πρόσφατα, οι επιπτώσεις του COVID και της οικονομικής / ενεργειακής κρίσης στον χώρο εργασίας είχαν ως αποτέλεσμα το κλείσιμο πολλών επιχειρήσεων και κατ' επέκταση σημαντικός αριθμός κτιρίων γραφείων να μείνει ανεκμετάλλευτος. Αυτό οδήγησε σε μια αυξανόμενη τάση διερεύνησης της μετατροπής των ανεπαρκώς χρησιμοποιούμενων ή ανενεργών κτιρίων γραφείων σε λύσεις στέγασης. Μια πρωτοβουλία για την επαναχρησιμοποίηση των κενών χώρων γραφείων μπορεί να δημιουργήσει νέες ευκαιρίες για την αντιμετώπιση των πιέσεων στην κτηματαγορά λόγω ελλείψεων οικονομικά προσιτών κατοικιών, επιτυγχάνοντας ταυτόχρονα μειώσεις στις εκπομπές άνθρακα.

Κίνητρα όπως η εφαρμογή φορολογικών μειώσεων θα μπορούσαν να λειτουργήσουν ως ισχυροί καταλύτες, ενθαρρύνοντας τους ιδιοκτήτες τέτοιου είδους ακινήτων να συμμετάσχουν σε αυτό το μετασχηματιστικό εγχείρημα, αυξάνοντας τον διαθέσιμο αριθμό κτιρίων για ανακαίνιση και επιταχύνοντας τον ρυθμό εύρεσης λύσεων στέγασης. Ιδιαίτερα στις υποβαθμισμένες κοινότητες που αντιμετωπίζουν προκλήσεις σε όλους τους τομείς, με την επαναχρησιμοποίηση αυτών των χώρων γραφείων και τη μετατροπή τους σε οικιστικές μονάδες, δημιουργείται μια ευκαιρία να αμβλυθθεί τουλάχιστον η κρίση εύρεσης οικονομικής στέγης, παρέχοντας προσιτές και δίκαιες επιλογές στέγασης για όσους το έχουν ανάγκη. Αυτό βέβαια προϋποθέτει την εισαγωγή αντίστοιχων νομοθετικών ρυθμίσεων και εκσυγχρονισμό των οικοδομικών κωδίκων, οι οποίοι πρέπει να προσαρμοστούν και να γίνουν πιο ευέλικτοι ενσωματώνοντας διατάξεις που να διευκολύνουν τις μετατροπές γραφείων σε οικονομικά προσιτές κατοικίες, προάγοντας τη βιώσιμη ανάπτυξη και τελικά τη μείωση του αποτυπώματος άνθρακα.

Η μετατροπή κτιρίων γραφείων αντιπροσωπεύει μια οραματική προσέγγιση που γεφυρώνει τόσο την περιβαλλοντική προστασία όσο και την κοινωνική ισότητα. Μεγιστοποιώντας τις δυνατότητες των αχρησιμοποίητων χώρων γραφείων, οι πόλεις μπορούν να κάνουν ουσιαστικά βήματα προς τη βιώσιμη αστική ανάπτυξη, μειώνοντας τη ζήτηση για νέα δομικά υλικά και αντιστοίχως τις εκπομπές ενσωματωμένου άνθρακα. Ταυτόχρονα, αυτή η προσπάθεια θα ωφελήσει άμεσα τις υποβαθμισμένες κοινότητες, προσφέροντας οικονομικά προσιτές επιλογές στέγασης, ενισχύοντας έναν αστικό ιστό χωρίς κοινωνικούς αποκλεισμούς.

## ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Στην επιτακτική μάχη κατά της κλιματικής αλλαγής, η αντιμετώπιση των εκπομπών ενσωματωμένου άνθρακα είναι ένα κομβικό σημείο. Για να επιτευχθεί ένα περιβάλλον με χαμηλότερα ποσοστά άνθρακα, οι αρχιτέκτονες, οι κατασκευαστές και γενικά οι εμπλεκόμενοι στον κατασκευαστικό κλάδο μπορούν πλέον να ενσωματώσουν διάφορες στρατηγικές σε όλες τις πτυχές των εργασιών τους. Επιλέγοντας υλικά χαμηλών εκπομπών και δέσμευσης άνθρακα και επαναχρησιμοποιώντας τα υπάρχοντα κτίρια και υλικά είναι πλέον εφικτό να ελαχιστοποιηθούν σημαντικά οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που συνδέονται με τις νέες κατασκευές, αποτρέποντας παράλληλα τις περιττές σπατάλες πόρων και χρημάτων. Η ανακαίνιση υφιστάμενων και η κατασκευή νέων κτιρίων μπορούν πλέον να είναι φιλικές προς το περιβάλλον. Για να γίνει αυτό όμως πρέπει οι κανονισμοί και οι πολιτικές των κρατών να διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην προώθηση των βιώσιμων κατασκευαστικών πρακτικών. Παρέχοντας κίνητρα για τη χρήση υλικών και διεργασιών με χαμηλές εκπομπές άνθρακα και ενσωματώνοντας τα στους οικοδομικούς κώδικες και τα πρότυπα δόμησης, οι κυβερνήσεις μπορούν να ενθαρρύνουν την υιοθέτηση πρακτικών χαμηλών εκπομπών άνθρακα σε ολόκληρη την κατασκευαστική βιομηχανία, επιταχύνοντας τη μετάβαση σε ένα περιβάλλον με χαμηλές εκπομπές άνθρακα.

Παρά την προσπάθεια αντιμετώπισης των επιπτώσεων του ενσωματωμένου άνθρακα, οι προκλήσεις εξακολουθούν να υφίστανται. Η έλλειψη ολοκληρωμένων δεδομένων, οι περιορισμένες πληροφορίες κόστους και η ανεπαρκής ενημέρωση και κατανόηση είναι εμπόδια που πρέπει να ξεπεραστούν. Οι κυβερνήσεις, οι οργανισμοί και οι κοινότητες πρέπει να συνεργαστούν για τη δημιουργία μιας τυποποιημένης βάσης δεδομένων, για την προώθηση της ανταλλαγής γνώσεων και για τη διενέργεια εκπαιδευτικών εκστρατειών. Επίσης οι πρωτοβουλίες ιδιωτών και η ανάπτυξη των προγραμμάτων πιστοποίησης πράσινων κτιρίων έχουν παίξει σημαντικό ρόλο στην προώθηση της κατασκευής κτιρίων χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Επιπλέον, είναι απαραίτητη η ολιστική προσέγγιση που να συνδυάζει στρατηγικές μείωσης τόσο του ενσωματωμένου άνθρακα των υλικών όσο και των λειτουργικών διαδικασιών. Η διεξαγωγή αξιολογήσεων του κύκλου ζωής, η προώθηση μέτρων ενεργειακής απόδοσης και η ιεράρχηση των αειφόρων διαδικασιών παραγωγής μπορούν να συμβάλουν στην επίτευξη ισορροπίας μεταξύ του ενσωματωμένου και του λειτουργικού άνθρακα.

Η μείωση του ενσωματωμένου άνθρακα στον κατασκευαστικό κλάδο είναι μια πολύπλευρη



προσπάθεια που απαιτεί συνεργασία, καινοτομία και δέσμευση από αρχιτέκτονες, κατασκευαστές, κυβερνήσεις και ενδιαφερόμενους φορείς. Εντάσσοντας τις πιστοποιημένες στρατηγικές και υιοθετώντας νέα υλικά και προσεγγίσεις, η βιομηχανία μπορεί να κάνει σημαντικά βήματα για την ενεργειακή αναβάθμιση των κτιρίων. Η αναγνώριση της σημασίας του ενσωματωμένου άνθρακα και η συλλογική εργασία για τη μείωσή του θα διαδραματίσει κρίσιμο ρόλο στην καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής και στη διασφάλιση ενός υγιέστερου πλανήτη για τις σημερινές και τις μελλοντικές γενιές.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

#### Ελληνική Βιβλιογραφία

- Καρασαρίνης Μ. (2022), *Στον λαβύρινθο των πυρηνικών αποβλήτων*. ΒΗΜΑgazino. <https://www.tovima.gr/print/vimagazino/ston-lavyrintho-ton-pyrinikon-apovliton/> Πρόσβαση 1-6-2023.
- Μαυραγάνης Κ. (2022), *Πώς και γιατί μπορεί να έγινε το σαμποτάζ στους αγωγούς Nord Stream 1 και 2*, HuffPost Greece, [https://www.huffingtonpost.gr/entry/pos-kai-yiati-mporei-na-eyine-to-sampotaz-stoes-ayogoes-nord-stream-1-kai-2\\_gr\\_633452a6e4b08e0e60691586](https://www.huffingtonpost.gr/entry/pos-kai-yiati-mporei-na-eyine-to-sampotaz-stoes-ayogoes-nord-stream-1-kai-2_gr_633452a6e4b08e0e60691586) Πρόσβαση 3-6-2023.
- Τσεκούρας Σ. (2013), *Οικονομοτεχνική ανάλυση και αξιολόγηση ανασχεδίασης προϊόντος με στόχο τη βελτίωση της περιβαλλοντικής του ποιότητας με βάση το κύκλο ζωής του*. Πανεπιστήμιο Πειραιώς Τμήμα Οργάνωσης & Διοίκησης Επιχειρήσεων, σελ. 69-70.
- Worldenergynews (2023), *Συμφέρουσα η μεταφορά υδρογόνου μέσω των αγωγών φυσικού αερίου, αλλά ενέχει προκλήσεις και κινδύνους*, <https://www.worldenergynews.gr/index.php?id=542434> Πρόσβαση 4-6-2023.

#### Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

- Abdelaal F. (2020), *BIM is good for green building assessment*, NZGBC. [https://www.nzgbc.org.nz/Story?Action=View&Story\\_id=530](https://www.nzgbc.org.nz/Story?Action=View&Story_id=530) Πρόσβαση 18-6-2023.
- Abnett K. (2023), *EU Gas Price Cap Risks Curbing Market Liquidity, Regulators Warn*, Reuters, <https://www.reuters.com/business/energy/eu-markets-watchdog-says-gas-price-cap-could-hit-financial-stability-2023-01-23/> Πρόσβαση 3-6-2023.
- About Global Footprint Network (2003-2023), <https://www.footprintnetwork.org>. Πρόσβαση 7-6-2023.
- Al-Ghamdi S.G., Bilec M.M, (2017), *Green Building Rating Systems and Whole-Building Life Cycle Assessment: Comparative Study of the Existing Assessment Tools*. Journal of Architectural Engineering, Volume 23, p. 04016015-7.

- Anderson J. (2023), *US POWER TRACKER: ISO New England power prices mixed in Feb, gas prices up 70%*, S&P Global Commodity Insights <https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/market-insights/latest-news/electric-power/031023-us-power-tracker-iso-new-england-power-prices-mixed-in-feb-gas-prices-up-70>. Πρόσβαση 3-6-2023.
- Borucke M., Moore D., Cranston G., Gracey K., Iha K., Larson J., Lazarus E., Morales J. C., Wackernagel M., Galli A. (2013), *Accounting for demand and supply of the Biosphere's regenerative capacity: the National Footprint Accounts' underlying methodology and framework*, Ecological Indicators, Volume 24, p.519.
- Boverket (2020), *Regulation on climate declarations for buildings, proposal for a roadmap and limit values*. Report 2020:28.
- Bre (2023), *How BREEAM works. A guide to BREEAM sustainable building certification and third-party accreditation*. <https://bregroup.com/products/breem/how-breem-works/> Πρόσβαση 17-6-2023.
- BREEAM (2022), *Building LCA tools recognised by BREEAM*. <https://kb.breem.com/knowledgebase/building-lca-tools-recognised-by-breem/> Πρόσβαση 18-6-2023.
- California Department of General Services (2017), *Buy Clean California Act*. <https://www.dgs.ca.gov/PD/Resources/Page-Content/Procurement-Division-Resources-List-Folder/Buy-Clean-California-Act> Πρόσβαση 29-10-2023.
- Carbon Cure (2020), *What is Embodied Carbon?* <https://www.carboncure.com/concrete-corner/what-is-embodied-carbon/>
- Carrasco, J.F. (2014), *The Challenge of Changing to a Low-Carbon Economy: A Brief Overview*. Low Carbon Economy, p.2-3.
- Chan E.H., Qian Q.K., Lam P.T. (2009), *The market for green building in developed Asian cities—The perspectives of building designers*. Energy Policy Vol.37, p.3061–3070.

- Chestney N. (2021), *Falling renewables costs undercut new and some existing coal plants—study*, Reuters, <https://www.reuters.com/business/energy/falling-renewables-costs-undercut-new-some-existing-coal-plants-study-2021-06-22/> Πρόσβαση 2-6-2023.
- Clifford C. (2023), *Why America’s outdated energy grid is a climate problem*, CNBC, <https://www.cnbc.com/2023/02/17/why-americas-outdated-energy-grid-is-a-climate-problem.html> Πρόσβαση 5-6-2023.
- Cooper C. (2022), *The West’s oil war with Russia gets real*. Politico, <https://www.politico.eu/article/west-oil-war-russia-sanctions-oil-price-cap-g7-vladimir-putin-zelensky-opeac-war-ukraine/>. Πρόσβαση 2-6-2023.
- Dillard S., Gadawski A. (2022), *Renovate or Build New: A Life Cycle Comparison of Two Academic Buildings*, HMFH Architects <https://www.hmfh.com/2022/04/28/renovate-or-build-new/> Πρόσβαση 17-6-2023.
- DW (2022), *German parliament approves nuclear plants life extension*, <https://www.dw.com/en/german-parliament-approves-nuclear-plants-life-extension/a-63721032> Πρόσβαση 3-6-2023.
- Earth Overshoot Day (2022), *How many Earths? How many countries?* <https://www.overshootday.org/how-many-earths-or-countries-do-we-need/> Πρόσβαση 7-6-2023.
- Elijah D. (2023), *EU LNG imports reach all-time highs in December and 2022*,” KPLER, <https://www.kpler.com/blog/eu-lng-imports-reach-all-time-highs-in-december-and-2022>. Πρόσβαση 3-6-2023.
- Emami N., Heinonen J., Marteinsson B., Säynäjoki A., Junnonen J.M., Laine J., Junnila S. (2019), *A Life Cycle Assessment of Two Residential Buildings Using Two Different LCA Database-Software Combinations: Recognizing Uniformities and Inconsistencies*. Buildings 2019, 9, 20, p.15.
- EPA (2023), *Understanding Global Warming Potentials*, US Environmental Protection Agency, <https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials> Πρόσβαση 17-6-2023.

- Erbach G., Jensen L. (2022), *Fit for 55 Package*. European Parliamentary Research Service.
- EU Science Hub (2022), *EU climate targets: how to decarbonise the steel industry*, European Commission [https://joint-research-centre.ec.europa.eu/jrc-news-and-updates/eu-climate-targets-how-decarbonise-steel-industry-2022-06-15\\_en](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/jrc-news-and-updates/eu-climate-targets-how-decarbonise-steel-industry-2022-06-15_en) Πρόσβαση 01-11-2023.
- European Commission (2018), *Report from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on the implementation of EU waste legislation, including the early warning report for Member States at risk of missing the 2020 preparation for re-use/recycling target on municipal waste*, p.3.
- European Commission (2023a), *EU Emissions Trading System*. [https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets\\_en](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets_en) Πρόσβαση 13-6-2023.
- European Commission (2023b), *Nearly zero-energy buildings*, [https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/nearly-zero-energy-buildings\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/nearly-zero-energy-buildings_en) Πρόσβαση 13-6-2023.
- European Commission Press Release (2023), *Ukraine: EU and G7 partners agree price cap on Russian petroleum products*. [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP\\_23\\_602](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_23_602). Πρόσβαση 2-6-2023.
- European Council (2023), *How Much Gas Have the EU Countries Stored?* <https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/gas-storage-capacity/>. Πρόσβαση 3-6-2023.
- European Union (2022), *A European Gas Demand Reduction Plan*, Publications Office of the European Union.
- Falconí Benítez F., Reinoso Paredes M. E., Collado-Ruano J., Hidalgo Terán E. F., León Ibarra G. D. (2019), *Environmental education program in Ecuador: theory, practice, and public policies to face global change in the Anthropocene*, Ensaio, vol. 27. <https://www.redalyc.org/jatsRepo/3995/399562909009/html/index.html> Πρόσβαση 10-6-2023.

- Feng H., Sadiq R., Hewage K. (2021), *Exploring the current challenges and emerging approaches in whole building life cycle assessment*, Canadian Journal of Civil Engineering.
- Gervasio H., Dimova S. (2018), *Model for Life Cycle Assessment (LCA) of buildings*, European Commission JRC Technical Reports.
- Gervasio H., Dimova S. and Pinto A. (2018) *Benchmarking the Life-Cycle Environmental Performance of Buildings*, Sustainability 2018, 10.
- GFN (2015), *Calgary Case Study*, Global Footprint Network. <https://www.footprintnetwork.org/2015/04/10/calgary/> Πρόσβαση 10-6-2023.
- GFN (2020), *Ecological Footprint Accounting: Limitations and Criticism*, Global Footprint Network.
- Glaeser E. L., Kahn M. E. (2008), *The greenness of cities: Carbon Dioxide Emissions and Urban Development*, Harvard Kennedy School, Taubman Center for State and Local Government.
- Global Footprint Network (2006), *Ecological Footprint Standards 2006*, <https://www.footprintnetwork.org>. Πρόσβαση 8-6-2023.
- Gotev G. (2021), *US imposes further sanctions on Nord Stream 2 gas pipeline, Russia calls them illegal*, EURACTIV, <https://www.euractiv.com/section/global-europe/news/us-imposes-further-sanctions-on-nord-stream-2-gas-pipeline-russia-calls-them-illegal/> Πρόσβαση 3-6-2023.
- Griffin R., Wang H. (2023), *Russia to send most 2023 oil exports to friendly countries after output cut announcement*, S&P Global, <https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/market-insights/latest-news/oil/021323-russia-to-send-most-2023-oil-exports-to-friendly-countries-after-output-cut-announcement>. Πρόσβαση 3-6-2023.
- Han G., Srebric J. (2011), *Life-Cycle Assessment Tools for Building Analysis*. The Pennsylvania Housing Research Center, Research Brief: RB0511.
- Hardin G. (1968), *The Tragedy of the Commons*, Science, Vol. 162, p.1243-1248.

- Harper J. (2023), *Europe's gas prices face uncertain future*, DW, <https://www.dw.com/en/europes-gas-prices-face-uncertain-future/a-64289690> Πρόσβαση 3-6-2023.
- Hasik V., Escott E., Bates R., Carlisle S., Faircloth B., Bilec M. (2019), *Comparative whole-building life cycle assessment of renovation and new construction*, Building and Environment Volume 161. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132319304287> Πρόσβαση 19-10-2023.
- Hillege L. (2023), *Environmental Product Declaration (EPD) – Overview*, Ecochain Technologies B.V. <https://ecochain.com/knowledge/environmental-product-declaration-epd-overview/> Πρόσβαση 17-6-2023.
- Hong J., Shen G.Q., Feng Y., Lau W.S.T., Mao C. (2015), *Greenhouse Gas Emissions during the Construction Phase of a Building: A Case Study in China*. Journal of Cleaner Production, Volume 103. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652614012037> Πρόσβαση 25-10-2023.
- IEA Coal (2022), *The world's coal consumption is set to reach a new high in 2022 as the energy crisis shakes markets*, International Energy Agency, <https://www.iea.org/news/the-world-s-coal-consumption-is-set-to-reach-a-new-high-in-2022-as-the-energy-crisis-shakes-markets> Πρόσβαση 3-6-2023.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2023), *Climate Change 2023 Synthesis Report*. Synthesis Report (SYR) of the IPCC Sixth Assessment Report (AR6), p.4-7.
- International Energy Agency (2023), *Oil Market Report - January 2023*, p.31.
- Jiang P., Tovey N.K. (2009), *Opportunities for low carbon sustainability in large commercial buildings in China*. Energy Policy Vol.37, p.4949–4958.
- Kaminsky T. (2021), *Relates to provisions in state procurement contracts involving the use of low embodied carbon concrete*, The New York State Senate, <https://www.nysenate.gov/legislation/bills/2021/S542> Πρόσβαση 29-10-2023.
- Karaian J., Russell K. (2022), *How Russian Gas in Europe Is Dwindling*. The New York Times, <https://www.nytimes.com/2022/09/07/business/russia-gas-europe.html>. Πρόσβαση 2-6-2023.

- Kelly S. (2023), *Oil falls about 3% as strong U.S. jobs data prompt interest rate concerns*, Reuters, <https://www.reuters.com/markets/commodities/oil-heads-weekly-loss-awaiting-china-recovery-signs-2023-02-03/>. Πρόσβαση 2-6-2023.
- Kemp J. (2023), *Column: Europe faces more high gas prices next winter*, Reuters, <https://www.reuters.com/business/energy/europe-faces-more-high-gas-prices-next-winter-kemp-2023-01-20/> Πρόσβαση 3-6-2023.
- Khasreen M.M., Banfill P.F., Menzies G.F. (2009), *Life-Cycle Assessment and the Environmental Impact of Buildings: A Review*, Sustainability 2009, 1, p.676.
- Kitzes J., Galli A., Bagliani M., Barrett J, Dige G., Ede S., Erb K., Giljum S., Haberl H., Hails C., Jungwirth S., Lenzen M., Lewis K., Loh J., Marchettini N., Messinger H., Milne K., Moles R., Monfreda C., Moran D., Nakano K., Pyhälä A., Rees W., Simmons G., Wackernagel M., Wada Y., Walsh K. and Wiedmann T. (2009), *A research agenda for improving national Ecological Footprint Accounts*, Ecological Economics 68, no. 7
- Korten F. (2010), *Elinor Ostrom Wins Nobel for Common(s) Sense*, yes! Solutions Journalism. <https://www.yesmagazine.org/issue/america-remix/2010/02/27/elinor-ostrom-wins-nobel-for-common-s-sense>. Πρόσβαση 7-6-2023.
- LCA Methods for Buildings (2001), *Energy-Related Environmental Impact of Buildings*, IEA Annex 31.
- Lee J. (2023), *Russia Is Increasingly Using Its Own Oil Tankers to Beat EU Sanctions*, BNN Bloomberg, <https://www.bnnbloomberg.ca/russia-is-increasingly-using-its-own-oil-tankers-to-beat-eu-sanctions-1.1869766>. Πρόσβαση 8-6-2023. Πρόσβαση 2-6-2023.
- Lorch R. (2017), *Climate policies for buildings*, Taylor and Francis Online. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09613218.2017.1331897> Πρόσβαση 17-6-2023.
- Low-Carbon Power (2021), *Where do our emissions numbers come from?* <https://lowcarbonpower.org/blog/emissions>. Πρόσβαση 7-6-2023.
- Magyar B. (2010), *The World in a Dilemma Between Prosperity and Resource Protection*, Bank Sarasin Sustainability rating of sovereign bonds 2010, p.8.



- Mahantayya M., Kiran A. C., Durga P., Jayavardhana M.L.T., Hemanth R. (2022), *A review on fly ash utilization*, *Materials Today: Proceedings*, Volume 50 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785321059034> Πρόσβαση 01-11-2023.
- Mardiana A., Riffat, S.B. (2015), *Building energy consumption and carbon dioxide emissions: Threat to climate change*, *Journal of Earth Science & Climatic Change*.
- Marique A. F., Rossi B. (2018), *Cradle-to-grave life-cycle assessment within the built environment: Comparison between the refurbishment and the complete reconstruction of an office building in Belgium*, University of Liège, p. 12-14.
- Marsh R. (2016), *Building lifespan: effect on the environmental impact of building components in a Danish perspective*. *Architectural Engineering and Design Management*, Volume 13, 2017 - Issue 2. <https://www.researchgate.net/publication/306384687> Πρόσβαση 18-10-2023.
- Marsh S., Chambers M. (2022), *Germany freezes Nord Stream 2 gas project as Ukraine crisis deepens*, Reuters, <https://www.reuters.com/business/energy/germanys-scholz-halts-nord-stream-2-certification-2022-02-22/> Πρόσβαση 3-6-2023.
- Marteinsson B. (2005), *Service life estimation in building design: A development of the factor method*, University of Gävle, p.20.
- Masson S. (2023), *Life Cycle Stages*. OneClick LCA. <https://oneclicklca.zendesk.com/hc/en-us/articles/360015064999-Life-Cycle-Stages> Πρόσβαση 18-10-2023.
- McSweeney R. (2022), *Analysis: Which countries have sent the most delegates to COP27?*, Carbon Brief, <https://www.carbonbrief.org/analysis-which-countries-have-sent-the-most-delegates-to-cop27/>. Πρόσβαση 4-6-2023.
- Mirzaie S. (2016), *The EN 15804 building product LCA standard: more challenges than benefits?* PRé Sustainability B.V. <https://pre-sustainability.com/articles/the-en-15804-building-product-lca-standard-more-challenges-than-benefits/> Πρόσβαση 17-6-2023.
- Moore D. (2011), *Ecological Footprint Analysis San Francisco-Oakland-Fremont, CA*, Global Footprint Network and San Francisco Planning and Urban Research Association, p.5.

- Neufeld D. (2022), *What are European countries doing to reduce the impact of rising energy prices on homes and businesses?* World Economic Forum, <https://www.weforum.org/agenda/2022/09/what-is-the-cost-of-europe-s-energy-crisis/>. Πρόσβαση 3-6-2023.
- Northam J. (2023), *Europe bans Russian oil products, the latest strike on the Kremlin war chest*, NPR, <https://www.npr.org/2023/02/03/1153833640/europe-russian-oil-products-ban>. Πρόσβαση 3-6-2023.
- OBP (2017), *ISO 21930:2017. Sustainability in buildings and civil engineering works — Core rules for environmental product declarations of construction products and services*. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:21930:ed-2:v1:en> Πρόσβαση 18-10-2023.
- OECD/IEA (2014), *Energy Efficiency Indicators: Essentials for Policy Making*. International Energy Agency, p.17
- Pai V., Elzarka H. (2021), *Whole building life cycle assessment for buildings: A case study ON HOW to achieve the LEED credit*, Journal of Cleaner Production, Volume 297. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652621007216> Πρόσβαση 17-6-2023.
- Panchana A., Jiménez R. (2022), *Yasuní National Park: between oil exploitation and conservation*, Dialogo Chino net. <https://dialogochino.net/en/extractive-industries/52121-ecuadors-yasuni-national-park-between-oil-exploitation-and-conservation/> Πρόσβαση 10-6-2023.
- Parliamentary Office of Science and Technology (2006), *Carbon Footprint of Electricity Generation*. Postnote Number 268, p.1.
- Pasanen P., Castro R. (2019), *Carbon Heroes Benchmark Program – whole building embodied carbon profiling*, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 323.
- Perkins J., Suh S. (2019), *Uncertainty Implications of Hybrid Approach in LCA: Precision versus Accuracy*. Environmental Science & Technology 2019, 53. <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.est.9b00084> Πρόσβαση 18-6-2023.

- Peupartier B. (2022), *Dynamic life cycle assessment explained*, Lab recherche environment. <https://www.lab-recherche-environnement.org/en/news/dynamic-life-cycle-assessment-explained/> Πρόσβαση 18-6-2023.
- PISA-ΙΕΠ (2000), *Διεθνές Πρόγραμμα Αξιολόγησης Μαθητών*, <http://www.iep.edu.gr/pisa/> Πρόσβαση 7-6-2023.
- Preston K. (2023), *Russian Diesel Prices Tumble Ahead of G7 Products Cap*, Energy Intelligence, <https://www.energyintel.com/00000185-bb2e-db9a-a3ef-ff7f62fa0000> Πρόσβαση 3-6-2023.
- Raken (2022), *What is LEED Certification and Why is it Important in Construction?* <https://www.rakenapp.com/blog/what-is-leed-certification> Πρόσβαση 17-6-2023.
- Recycle Nation (2023), *Global Hectare or GHA*, <https://recyclenation.com/green-glossary/global-hectare-gha/> Πρόσβαση 8-6-2023.
- Rees W. E. (1996), *Revisiting Carrying Capacity: Area-Based Indicators of Sustainability*, Population and Environment: A Journal of Interdisciplinary Studies, Volume 17, p.196.
- Ronning A., Vold M., Nereng G. (2009), *Refurbishment or Replacement of Buildings – What is Best for the Climate?* Ostfold Research.
- Samarina V., Skufina T., Samarin A., Ushakov D. (2018) *Alternative Energy Sources: Opportunities, Experience and Prospects of the Russian Regions in the Context of Global Trends*. International Journal of Energy Economics and Policy. p.140-141.
- Saritha Rani K. (2014), *Environmental Effects of Burning Fossil Fuels*. Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences, p. 63-67.
- Sartori T., Drogemuller R., Omrani S., Lamari F. (2021), *A schematic framework for Life Cycle Assessment (LCA) and Green Building Rating System (GBRS)*, Journal of Building Engineering. Volume 38 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235271022100036X> Πρόσβαση 17-6-2023.
- Schaeffer R., Salem Szklo A., Frossard Pereira de Lucena A., Soares Moreira Cesar Borba B., Pinheiro Pupo Nogueira L., Pereira Fleming F., Troccoli A., Harrison M., Sadeck

Boulayha M. (2012) *Energy sector vulnerability to climate change: A review*. Elsevier, p.1-2.

- Scott M. (2022), *Planning for a Just Energy Transition: If Not Now, When?* Planning Theory & Practice 2022, Vol. 23, p. 321–326.
- Spash C.L. (2010), *The brave new world of carbon trading*. New Political Economy, Vol.15, p.169–195.
- Stichting National Environmental Database (2020), *Environmental Performance Assessment Method for Construction Works / version 1.1*. Nationale Milieudatabase.
- The Nobel Prize (2009), *Illustrated Presentation*. <https://www.nobelprize.org/prizes/economic-sciences/2009/illustrated-information/> Πρόσβαση 7-6-2023.
- Thoms A., Ehrle A. and Fischer K. (2023), *The EU's Eleventh Sanctions Package against Russia*, Sanctions & Export Controls Update, <https://sanctionsnews.bakermckenzie.com/the-eus-eleventh-sanctions-package-against-russia/> Πρόσβαση 01-7-2023.
- Timperley J. (2021), *The broken \$100-billion promise of climate finance - and how to fix it*, Nature, <https://www.nature.com/articles/d41586-021-02846-3> Πρόσβαση 4-6-2023.
- UN (2022), *2022 Global Status Report for Buildings and Construction*, United Nations Environment Programme.
- UNEP (2012), *A New Angle on Sovereign Credit Risk. E-RISC: Environmental Risk Integration in Sovereign Credit Analysis*, United Nations Environment Programme.
- UNFCCC (2015), *Paris Agreement*. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>. Πρόσβαση 1-6-2023.
- United States Census Bureau (2021), *Gini Index*, <https://www.census.gov/topics/income-poverty/income-inequality/about/metrics/gini-index.html> Πρόσβαση 7-6-2023.
- Van der Mensbrugge D. (1998), *A (Preliminary) Analysis of the Kyoto Protocol: Using the OECD GREEN Model*. OECD Development Centre, p.6.

- Varin C. (2022), *Cop 27: Fossil fuels absent in first cover document*, Argus Media, <https://www.argusmedia.com/en/news/2391189-cop-27-fossil-fuels-absent-in-first-cover-document> Πρόσβαση 4-6-2023.
- Verma M. (2023), *India's demand for fuel hit a quarter-century high in February*, QUARTZ, <https://finance.yahoo.com/news/indias-demand-fuel-hit-quarter-094000762.html>. Πρόσβαση 3-6-2023.
- Vilches A., Garcia-Martinez A., Sanchez Montanes B. (2017), *Life cycle assessment (LCA) of building refurbishment: A literature review*, University of Seville, p.4.
- Vilches A., Garcia-Martinez A., Sanchez-Montanes B. (2017), *Life cycle assessment (LCA) of building refurbishment: A literature review*, Energy and Buildings 135 p. 286-301.
- Wackernagel M., Galli A. (2007), *An overview on ecological footprint and sustainable development: a chat with Mathis Wackernagel*, International Journal of Ecodynamics. Vol. 2.
- Walsh B. (2011), *Masdar City: The World's Greenest City?* Time <https://content.time.com/time/health/article/0,8599,2043934,00.html> Πρόσβαση 10-6-2023.
- WEF (2016), *Shaping the Future of Construction: A Breakthrough in Mindset and Technology*; World Economic Forum.
- Zimmermann R. K., Barjot Z., Rasmussen F. N., Malmqvist T., Kuittinen M. & Birgisdottir H. (2023), *GHG emissions from building renovation versus newbuild: incentives from assessment methods*. Buildings and Cities, 4(1), pp. 274–291.