



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΑ
ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
«ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ»

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

“Αξιολόγηση της επάρκειας των υπαρχόντων βιβλιογραφικών δεδομένων και αναγνώριση περαιτέρω ερευνητικών αναγκών για τεχνολογίες μετριασμού της κλιματικής αλλαγής– Εφαρμογή στη δέσμευση και αποθήκευση CO₂”

Κωστοπούλου Β. Αθανασία

Επιβλέπων: ΦΛΑΜΟΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ

Αναπληρωτής Καθηγητής Πα.Πει.

Πειραιάς, Δεκέμβριος 2017



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΑ
ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
«ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ»

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

“Αξιολόγηση της επάρκειας των υπαρχόντων βιβλιογραφικών δεδομένων και αναγνώριση περαιτέρω ερευνητικών αναγκών για τεχνολογίες μετριασμού της κλιματικής αλλαγής– Εφαρμογή στη δέσμευση και αποθήκευση CO₂”

Κωστοπούλου Β. Αθανασία

Επιβλέπων: ΦΛΑΜΟΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ

Αναπληρωτής Καθηγητής Πα.Πει.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την ... Δεκεμβρίου 2017.

.....
Αλέξανδρος Φλάμος
Αναπ. Καθηγητής Πα.Πει.

.....
Χριστίνα Σιοντόρου
Επικ. Καθηγητής Πα.Πει.

.....
Κωστόπουλος Κωνσταντίνος
Επικ. Καθηγητής Πα.Πει.

Πειραιάς, Δεκέμβριος 2017

.....

Κωστοπούλου Β. Αθανασία

Διπλωματούχος Πολιτικός Μηχανικός Πανεπιστημίου Πατρών

Copyright © Κωστοπούλου Β. Αθανασία, Μοσχοβάκη Γ. Μαρούσα-Μαργαρίτα, Σταύρακας Βασίλειος, Φλάμος Αλέξανδρος, 2017

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ' ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και σε καμία περίπτωση δεν αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πανεπιστημίου Πειραιώς.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε το ακαδημαϊκό έτος 2016-2017 στο Τμήμα Βιομηχανικής Διοίκησης & Τεχνολογίας του Πανεπιστημίου Πειραιώς, στα πλαίσια του Διαπανεπιστημιακού Μεταπτυχιακού Προγράμματος (ΔΠΜΣ) «Διαχείρισης Ενέργειας & Περιβάλλοντος».

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη μεθοδολογικού πλαισίου για την αξιολόγηση της διαθέσιμης βιβλιογραφίας και την αναγνώριση αναγκών για περαιτέρω έρευνα πάνω σε τεχνολογίες μετριασμού της κλιματικής αλλαγής.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κο Αλέξανδρο Φλάμο, για την ανάθεση αυτής της διπλωματικής εργασίας, καθώς μου έδωσε τη δυνατότητα να ασχοληθώ σε βάθος με ένα εξαιρετικά ενδιαφέρον θέμα, όπως επίσης για τη συμβολή του στην ολοκλήρωσή της.

Πολλές ευχαριστίες οφείλω στον επιβλέποντα της διπλωματικής μας εργασίας, Βασίλη Σταύρακα, Υποψήφιο Διδάκτορα (ΥΔ) του Πανεπιστημίου Πειραιώς, για την καθοδήγηση και τη υποστήριξη που μας προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τη μεγάλη ευγνωμοσύνη μου για την οικογένεια μου και τους ανθρώπους που ήταν δίπλα μου, για την στήριξη και την καθοδήγηση που μου προσέφεραν.

Πειραιάς, Δεκέμβριος 2017

Αθανασία Κωστοπούλου

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΚΟΝΕΣ	10
ΠΙΝΑΚΕΣ.....	10
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ	10
Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή	16
1.1 Αντικείμενο και σκοπός.....	16
1.2 Φάσεις υλοποίησης.....	17
1.3 Δομή της παρούσας διπλωματικής εργασίας	18
Κεφάλαιο 2. Κλιματική αλλαγή και επιλογές μετριασμού	19
2.1 Το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής (Climate Change)	19
2.2 Μετριασμός της κλιματικής αλλαγής.....	24
2.3 Επιλογές μετριασμού της κλιματικής αλλαγής.....	27
2.3.1 Η χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ).....	28
2.3.2 Χρήση καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα και βιοκαύσιμα 1 ^{ης} και 2 ^{ης} γενιάς.....	35
2.3.3 Βελτίωση ενεργειακής απόδοσης	37
2.3.4 Ανάπτυξη νεφών - ανάκλαση ηλιακής ακτινοβολίας.....	39
Κεφάλαιο 3. Μεθοδολογικό πλαίσιο αξιολόγησης επιλογών μετριασμού της κλιματικής αλλαγής με τη χρήση δεικτών	41
3.1 Εισαγωγή	41
3.2 Γενική Μεθοδολογική Προσέγγιση	43
3.2.1 Συλλογή βιβλιογραφικών πηγών	43
3.2.2 Μέθοδος αξιολόγησης της επιλεχθείσας βιβλιογραφίας.....	45
3.2.3 Μεθοδολογικό πλαίσιο ανάλυσης της συλεχθείσας πληροφορίας	46
3.2.4 Επιλογή Δεικτών Αξιολόγησης (Δ.Α.) - Κριτήρια Επιλογής	49
3.3 Εφαρμογή μεθοδολογίας και παρουσίαση αποτελεσμάτων	59
3.3.1 Αξιολόγηση της επιλεχθείσας βιβλιογραφίας	59
3.3.2 Παρουσίαση μεθοδολογικών πλαισίων αξιολόγησης επιλογών μετριασμού της κλιματικής αλλαγής βάσει την επιλεχθείσα βιβλιογραφία	65
3.3.3 Σύνοψη των μεθοδολογικών πλαισίων που εντοπίστηκαν στη βιβλιογραφία	74
3.3.4 Παρουσίαση Δεικτών Αξιολόγησης.....	75
Κεφάλαιο 4. Αναγνώριση αναγκών περαιτέρω αξιολόγησης για υπάρχουσες τεχνολογίες μετριασμού της κλιματικής αλλαγής στον τομέα Ενεργειακού Εφοδιασμού και Κατανάλωσης	85

4.1	Αναγνώριση προτεραιοτήτων και αναγκών περαιτέρω έρευνας για τεχνολογίες μετριασμού της κλιματικής αλλαγής - Περιγραφή της ισχύουσας κατάστασης.....	85
4.2	Κριτήρια - Επιλογή τομέα και τεχνολογιών μετριασμού	87
4.2.1	Κριτήρια επιλογής τομέα μετριασμού και τεχνολογιών.....	87
4.2.2	Επιλογή τομέα και τεχνολογιών μετριασμού της κλιματικής αλλαγής προς αξιολόγηση.....	88
4.3	Δέσμευση και Αποθήκευση Άνθρακα - ΔΑΑ (Carbon Capture and Storage – CCS)	88
4.3.1.	Εισαγωγή.....	88
4.3.2.	Η περίπτωση ΔΑΑ - κενά γνώσης/ανάγκες για περαιτέρω έρευνα.....	89
4.3.3.	Εκτίμηση της διαθεσιμότητας δεδομένων αξιολόγησης/μελετών στη βιβλιογραφία.....	92
4.3.4.	Ευρήματα από τη διεθνή βιβλιογραφία	94
4.3.5.	Συμπερασματικές παρατηρήσεις.....	111
	Κεφάλαιο 5. Συμπεράσματα – Προοπτικές.....	117
5.1	Συμπεράσματα	117
5.2	Προοπτικές	124
	Βιβλιογραφία	126

ΕΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 2.1:	Αλλαγές στα φυσικά και βιολογικά συστήματα και στη θερμοκρασία των επιφανειών από το 1970 έως το 2004 [5].....	23
Εικόνα 2.2:	Ο σταθμός στη LaRance [22]	35
Εικόνα 4.1:	Η πιθανή εμφάνιση ενός σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που ενσωματώνει τεχνολογία Δέσμευσης και Αποθήκευσης Άνθρακα – ΔΑΑ (Carbon Capture and Storage – CCS)	89

ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 3.1:	Κλίμακα αξιολόγησης τιμής Δείκτη Ελέγχου Ποιότητας	46
Πίνακας 3.2:	Πεδία συμπλήρωσης πληροφορίας για την αξιολόγηση του περιεχομένου των πηγών	48
Πίνακας 3.3:	Οικονομικοί Δείκτες Αξιολόγησης της Βιωσιμότητας.....	51
Πίνακας 3.4:	Περιβαλλοντικοί Δείκτες Αξιολόγησης της Βιωσιμότητας	54
Πίνακας 3.5:	Κοινωνικοί Δείκτες Αξιολόγησης της Βιωσιμότητας.....	57
Πίνακας 3.6:	Δείκτες Αξιολόγησης Ετοιμότητας της Αγοράς.....	57
Πίνακας 3.7:	Τεχνολογικοί Δείκτες Αξιολόγησης της Βιωσιμότητας	57

Πίνακας 3.8: Μεθοδολογικά Πλαίσια Αξιολόγησης επιλογών μετριασμού της κλιματικής αλλαγής, όπως εντοπίστηκαν στην επιλεγείσα βιβλιογραφία	75
Πίνακας 4.1: Θέματα που καλύπτονται από την παρούσα έκθεση	91
Πίνακας 5.1: Επιλογή νέου συνόλου Δεικτών Αξιολόγησης	120
Πίνακας 5.2: Επισκόπηση των πορισμάτων από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας	122

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Διάγραμμα 2.1: Αλλαγές στη θερμοκρασία, το επίπεδο της θάλασσας και η χιονοκάλυψη στο Βόρειο ημισφαίριο [5].....	22
Διάγραμμα 2.2: Συνολικές ετήσιες εκπομπές ανθρωπογενών αερίων του θερμοκηπίου σε Ομάδες Αερίων για το διάστημα 1970-2010 [4].....	26
Διάγραμμα 2.3: Συνολικές ανθρωπογενείς εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου [4]	27
Διάγραμμα 2.4: Κατά κεφαλήν εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών σε Watt ανά χώρα [18]	29
Διάγραμμα 2.5: Παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς ανεμογεννητριών ανά έτος [19]	30
Διάγραμμα 2.6: Ετήσια προστιθέμενη ηλεκτρική ισχύς από ανεμογεννήτριες ανά περιοχή [19]	30
Διάγραμμα 3.1: Τύποι πηγών που μελετήθηκαν	59
Διάγραμμα 3.2: Κατανομή Τιμών Δείκτη Ελέγχου Ποιότητας (ΔΕΠ)	60
Διάγραμμα 3.3: Χωρική Εστίαση (Spatial focus).....	61
Διάγραμμα 3.4: Χρονική Εστίαση (Temporal focus)	62
Διάγραμμα 3.5: Εξέταση του Κύκλου Ζωής (Life cycle thinking)	62
Διάγραμμα 3.6: Μεθοδολογικά Πλαίσια (Frameworks).....	63
Διάγραμμα 3.7: Συχνότητα εμφάνισης Δεικτών Βιωσιμότητας - Επιλογή Δεικτών Αειφορίας	66
Διάγραμμα 3.8: Συχνότητα εμφάνισης Δεικτών Βιωσιμότητας - Ανάλυση Σεναρίων.....	67
Διάγραμμα 3.9: Συχνότητα εμφάνισης Δεικτών Βιωσιμότητας – Ανάλυση Εξειδίκευσης της Αγοράς.....	68
Διάγραμμα 3.10: Συχνότητα εμφάνισης Δεικτών Βιωσιμότητας - Πολυκριτηριακή Μέθοδος Καθεστώτος.....	69
Διάγραμμα 3.11: Συχνότητα εμφάνισης Δεικτών Βιωσιμότητας - Ολοκληρωμένα Μοντέλα Αξιολόγησης	70
Διάγραμμα 3.12: Συχνότητα εμφάνισης Δεικτών Βιωσιμότητας - Ολοκληρωμένη Προσέγγιση	71
Διάγραμμα 3.13: Συχνότητα εμφάνισης Δεικτών Βιωσιμότητας - Μοντελοποίηση Προσομοίωσης	72
Διάγραμμα 3.14: Συχνότητα εμφάνισης Δεικτών Βιωσιμότητας - Ανάλυση Κύκλου Ζωής....	73
Διάγραμμα 3.15: Συχνότητα εμφάνισης Δεικτών Βιωσιμότητας κατά τη- Δυναμική Μοντελοποίηση.....	74

Διάγραμμα 3.16: Μεθοδολογικά Πλαίσια Αξιολόγησης επιλογών μετριασμού της κλιματική αλλαγής	75
Διάγραμμα 3.17: Συχνότητα εμφάνισης δεικτών, στην επιλεγθείσα βιβλιογραφία, ανά διάσταση βιωσιμότητας.....	77
Διάγραμμα 3.18: Οικονομικοί Δείκτες Αξιολόγησης	78
Διάγραμμα 3.19: Περιβαλλοντικοί Δείκτες Αξιολόγησης	79
Διάγραμμα 3.20: Κοινωνικοί Δείκτες Αξιολόγησης	81
Διάγραμμα 3.21: Δείκτες Αξιολόγησης Ετοιμότητας της Αγοράς.....	82
Διάγραμμα 3.22: Τεχνολογικοί Δείκτες Αξιολόγησης	83
Διάγραμμα 4.1: Περίληψη των μελετών από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας σύμφωνα με την πτυχή που εξετάστηκε	93
Διάγραμμα 4.2: Περίληψη των μελετών από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση σύμφωνα με τον τύπο των διαθέσιμων πληροφοριών/δεδομένα ανά πτυχή υπό εξέταση	94

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η κλιματική αλλαγή έχει εμφανή αποτελέσματα στην άνοδο της θερμοκρασίας και της στάθμης της θάλασσας και σοβαρό αντίκτυπο στην ακεραιότητα των οικοσυστημάτων, των υδάτινων πόρων, της δημόσιας υγείας, των γεωργικών καλλιεργειών, κλπ. Οι δράσεις για την καταπολέμηση της απαιτούν βιώσιμα και προσαρμόσιμα μέτρα για τη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, τόσο σε παγκόσμια όσο και σε εθνική κλίμακα και η αξιολόγηση της βιωσιμότητας τέτοιων μέτρων είναι καθοριστικής σημασίας για την επίτευξη ενός πιο «πράσινου» μέλλοντος. Η μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου μπορεί να επιτευχθεί μέσω διαφόρων επιλογών μετριασμού της κλιματικής αλλαγής, τεχνολογιών ή πρακτικών, οι επιπτώσεις των οποίων αξιολογούνται συχνά σε συγκεκριμένες διαστάσεις βιωσιμότητας, προκειμένου να δοθεί προτεραιότητα σε αυτές ανάλογα με τη δυνατότητα τους για μετριασμό. Πολλές μελέτες σχετικά με την τεχνολογική αξιολόγηση και την αξιολόγηση της βιωσιμότητας τέτοιων επιλογών έχουν δημοσιευτεί τις τελευταίες δεκαετίες. Η εκτίμηση της απόδοσης και των επιπτώσεων τους είναι ζωτικής σημασίας για την πραγμάτωση κλιματικών στόχων και την επίτευξη αποδοτικότερης έρευνας και καινοτομίας στον τομέα του μετριασμού της κλιματικής αλλαγής. Η παρούσα διπλωματική αποσκοπεί στην ανασκόπηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας σχετικά με τα κύρια μεθοδολογικά πλαίσια και τους δείκτες αξιολόγησης της απόδοσης των επιλογών μετριασμού της κλιματικής αλλαγής και στοχεύει στον εντοπισμό κενών γνώσης και ερευνητικών προτεραιοτήτων για μία αναδυόμενη, αλλά προς το παρόν αμφιλεγόμενη επιλογή μετριασμού, τη Δέσμευση και Αποθήκευση Άνθρακα (ΔΑΑ). Τα ευρήματά μας αναδεικνύουν πληθώρα υπάρχοντων μεθοδολογικών πλαισίων και δεικτών σε αυτόν τον τομέα και η παρούσα διπλωματική επιχειρεί να συνοψίσει την υπάρχουσα γνώση. Από την άλλη πλευρά, η Δέσμευση και Αποθήκευση Άνθρακα θεωρείται ήδη μία υποσχόμενη και ώριμη επιλογή με μεγάλες δυνατότητες μετριασμού. Τα ευρήματα της επιστημονικής βιβλιογραφίας ανέδειξαν ένα ετερογενές τοπίο ερευνητικών προτεραιοτήτων και αναγκών αξιολόγησης της, και ως εκ τούτου, περαιτέρω έρευνα απαιτείται για την ανάπτυξη της Δέσμευσης και Αποθήκευσης Άνθρακα (ΔΑΑ), η οποία πρέπει να δρομολογηθεί εστιάζοντας στη διευθέτηση της υπάρχουσας αβεβαιότητας και κινδύνων. Συνοψίζοντας, η παρούσα διπλωματική δεν αποσκοπεί να αναπαράγει την ερευνητική δραστηριότητα στον τομέα μετριασμού της κλιματικής αλλαγής, αλλά να αξιολογήσει την επάρκεια της διαθέσιμης πληροφορίας στη βιβλιογραφία με σκοπό να καταστήσει τα υπάρχοντα αποτελέσματα και ερευνητικά ευρήματα χρήσιμα για τελικούς χρήστες, εμπειρογνώμονες και ενδιαφερόμενα μέρη. **Λέξεις Κλειδιά:** Κλιματική αλλαγή, Μετριασμός κλιματικής αλλαγής, Επιλογές μετριασμού κλιματικής αλλαγής, Αξιολόγηση τεχνολογικών αναγκών, Ανάγκες αξιολόγησης, Δέσμευση και Αποθήκευση Άνθρακα.

ABSTRACT

Climate change has obvious effects on both temperature and sea level rise and a serious impact on the integrity of ecosystems, water resources, public health, agricultural crops, etc. Actions to combat climate change require sustainable adaptable measures to reduce greenhouse gas emissions (GHGs), both in a global and in a local scale, and assessing the sustainability of such measures is instrumental to move towards a “greener” future. The reduction of greenhouse gas emissions can be achieved through several Climate Change Mitigation Options (CCMOs), technologies or practices, whose impacts are often assessed on specific sustainability dimensions, in order to prioritize them according to their mitigation potential and thus, shape future global and national mitigation strategies. Several studies tackling technological and sustainability assessment of CCMOs have been published over the past few decades. Assessing the performance or the implications of CCMOs is crucial to meet climate goals and achieving research and innovation efficiency in the field of climate change mitigation. The main goal of the work presented in this thesis is to present a review of the existing literature on the main methodological frameworks and indicators used to assess the performance of CCMOs and to identify knowledge gaps and research priorities for a currently uncertain and controversial CCMO, Carbon Capture and Storage (CCS). Our findings highlight a plethora of well-established methodological frameworks and indicators in this field and our work attempts to synthesize existing knowledge into a consensus. On the other hand, CCS is considered an emerging and mature CCMO with great mitigation potential. Findings from scientific literature revealed a heterogeneous landscape of assessment needs and research priorities for CCS and thus, further research promoting the deployment of CCS, should be routed with the attention shifted on how to address existing risks and uncertainties. Overall, the current thesis does not intend to duplicate the abundance of research activity in the field of climate change mitigation, but rather to evaluate the adequacy of the available data in literature, with a view to make existing results and research findings useful to relevant end-users, stakeholders and experts in the field.

Keywords: Climate Change; Climate Change Mitigation; Climate Change Mitigation Options; CCMOs; Technology Needs Assessment; TNA; Research Priorities; Assessment Needs; Sustainability Assessment; Carbon Capture and Storage; CCS.

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο και σκοπός

Σκοπός της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός μεθοδολογικού πλαισίου βάσει του οποίου μπορεί να αξιολογηθεί η διαθέσιμη επιστημονική βιβλιογραφία για επιλεγμένες τεχνολογίες και πρακτικές μετριασμού της κλιματικής αλλαγής (Climate Change Mitigation Options-CCMOs). Στην επιστημονική βιβλιογραφία, τις τελευταίες δεκαετίες, έχουν δημοσιευτεί αρκετές μελέτες και αναφορές οι οποίες έχουν ως βασικό αντικείμενο την αξιολόγηση τεχνολογιών και πρακτικών μετριασμού της κλιματικής αλλαγής, η οποία αξιολογεί τις επιπτώσεις των επιλογών αυτών αναφορικά με πέντε (5) διαστάσεις βιωσιμότητας (οικονομική, κοινωνική, περιβαλλοντική, τεχνολογική, ετοιμότητα αγοράς). Έτσι, κύριος στόχος της συγκεκριμένης εργασίας είναι η σύνθεση της υπάρχουσας γνώσης και πληροφορίας που έχει προκύψει από τις διαθέσιμες μελέτες και η παρουσίασή της στους τελικούς σχετικούς αποδέκτες με έναν τρόπο που θα υπαγορεύει χρήσιμα συμπεράσματα. Η παρούσα διπλωματική εργασία εντοπίζει και αξιολογεί τις υπάρχουσες βιβλιογραφικές πηγές και εν συνεχεία προτείνει ένα μεθοδολογικό πλαίσιο το οποίο συλλέγει, αξιολογεί και παρουσιάζει την υπάρχουσα πληροφορία με τη χρήση δεικτών, λαμβάνοντας υπόψη τις διαφορετικές πτυχές και διαστάσεις της βιωσιμότητας καθώς και της αειφόρου ανάπτυξης. Για την συγκέντρωση των συγκεκριμένων δεικτών χρειάστηκε να γίνει μία βιβλιογραφική ανασκόπηση των μεθοδολογικών πλαισίων αξιολόγησης επιλογών μετριασμού της κλιματικής αλλαγής, έτσι ώστε να καταλήξουμε σε ένα νέο, καινοτόμο (από άποψη ευρωστίας και συνεκτικότητας) μεθοδολογικό πλαίσιο αξιολόγησης μεθοδολογιών μετριασμού της κλιματικής αλλαγής, υπό το πρίσμα των πέντε (5) βασικών διαστάσεων βιωσιμότητας. Τέλος, η παρούσα διπλωματική σκοπεύει στον εντοπισμό κενών γνώσης και ερευνητικών προτεραιοτήτων για μία αναδυόμενη, αλλά προς το παρόν αμφιλεγόμενη επιλογή μετριασμού, τη Δέσμευση και Αποθήκευση Άνθρακα (Carbon Capture and Storage - CCS). Τα βιβλιογραφικά ευρήματα αναδεικνύουν μία πληθώρα ερευνητικών αναγκών και προτεραιοτήτων για την περίπτωση της Δέσμευσης και Αποθήκευσης Άνθρακα με επίκεντρο την υπάρχουσα αβεβαιότητα και τους σχετικούς τεχνολογικούς περιορισμούς.

1.2 Φάσεις υλοποίησης

Η παρούσα διπλωματική διακρίνεται σε πέντε (5) βασικές Φάσεις υλοποίησης, οι οποίες παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω:

Φάση 1^η: Ανασκόπηση του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής και των επιλογών μετριασμού του

Στην **1^η φάση** αναλύεται λεπτομερώς το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής και οι παράγοντες που το προκαλούν, ενώ ταυτόχρονα παρουσιάζονται οι τρόποι μετριασμού του.

Φάση 2^η: Αναζήτηση σχετικής βιβλιογραφίας και μέθοδος αξιολόγησής της

Σε **2^η φάση**, συγκεντρώνονται όλες οι απαραίτητες βιβλιογραφικές πηγές που πρόκειται να μελετηθούν, ενώ παρουσιάζεται συνοπτικά η μεθοδολογία αξιολόγησής τους.

Φάση 3^η: Ανασκόπηση των υπάρχοντων μεθοδολογικών πλαισίων και δεικτών αξιολόγησης επιλογών μετριασμού της κλιματικής αλλαγής

Στην **3^η φάση** της παρούσας διπλωματικής παρουσιάζονται λεπτομερώς μεθοδολογικά πλαίσια και δείκτες αξιολόγησης επιλογών μετριασμού της κλιματικής αλλαγής, βάσει βιβλιογραφικής αναζήτησης.

Φάση 4^η: Ανάπτυξη μεθοδολογικού πλαισίου για την αναγνώριση αναγκών για περαιτέρω έρευνα για την περίπτωση Δέσμευσης και Αποθήκευσης Άνθρακα (Carbon Capture and Storage)

Σε **4^η φάση** η εν λόγω διπλωματική μελετά την αξιολόγηση της διαθέσιμης βιβλιογραφικής πληροφορίας για την περίπτωση Δέσμευσης και Αποθήκευσης Άνθρακα (Carbon Capture and Storage), με σκοπό την ανάδειξη αναγκών για περαιτέρω έρευνα και αξιολόγηση, ώστε να προωθηθεί η περαιτέρω ανάπτυξη και διάχυσή της.

Φάση 5^η: Συμπεράσματα και Προοπτικές

Στην τελευταία φάση παρουσιάζονται τα βασικά συμπεράσματα που εξάγονται από την παρούσα διπλωματική και αναδεικνύονται οι βασικές προοπτικές για περαιτέρω έρευνα, όπως αναδύονται από τη μελετούμενη βιβλιογραφία και την περαιτέρω επεξεργασία των ευρημάτων μας.

1.3 Δομή της παρούσας διπλωματικής εργασίας

Η παρούσα διπλωματική θέση αποτελείται από τα παρακάτω κεφάλαια:

Αρχικά, παρατίθεται ο Πρόλογος, η Περίληψη της εργασίας και στη συνέχεια ο αναλυτικός Πίνακας Περιεχομένων.

Το παρόν **1^ο Κεφάλαιο** αποτελεί μία πρώτη εισαγωγή του αναγνώστη στο κύριο θέμα της εργασίας παρουσιάζοντας αναλυτικά το στόχο, το αντικείμενο, τα στάδια υλοποίησης και τη δομή της παρούσας διπλωματικής.

Στο **2^ο Κεφάλαιο** περιγράφεται το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής και παράγοντες που το προκαλούν, ενώ παρουσιάζονται και οι βασικοί υπάρχοντες τρόποι μετριασμού του.

Στο **3^ο Κεφάλαιο** πραγματοποιείται μία ανασκόπηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας σχετικά με τις υπάρχουσες μεθοδολογίες και δείκτες αξιολόγησης των επιλογών μετριασμού της κλιματικής αλλαγής (Climate Change Mitigation Options - CCMOs) και προτείνεται ένα τελικό βέλτιστο σύνολο δεικτών (από άποψη ευρωστίας και συνεκτικότητας) για την περαιτέρω αξιολόγηση τεχνολογικών ή πρακτικών μετριασμού της κλιματικής αλλαγής.

Στο **4^ο Κεφάλαιο** αρχικά αναλύεται η ανάγκη για αναγνώριση κενών γνώσης και προτεραιοτήτων για περαιτέρω έρευνα για επιλογές μετριασμού της κλιματικής αλλαγής, ενώ σε δεύτερο χρόνο επιχειρείται η αξιολόγηση της διαθέσιμης βιβλιογραφικής πληροφορίας για την περίπτωση Δέσμευσης και Αποθήκευσης Άνθρακα (Carbon Capture and Storage - CCS).

Τέλος, στο **5^ο Κεφάλαιο** παρατίθενται τα βασικά συμπεράσματα και οι προοπτικές για περαιτέρω έρευνα, όπως προκύπτουν από την μελέτη των προηγούμενων κεφαλαίων.

Κεφάλαιο 2. Κλιματική αλλαγή και επιλογές μετριασμού

2.1 Το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής (Climate Change)

Ως κλιματική αλλαγή νοείται η μεταβολή του παγκόσμιου κλίματος και ειδικότερα οι μεταβολές των μετεωρολογικών συνθηκών που εκτείνονται σε μεγάλη χρονική κλίμακα. Στη Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (United Nations Framework Convention On Climate Change, UNFCCC), ως κλιματική αλλαγή ορίζεται ειδικότερα η μεταβολή κλίματος που οφείλεται άμεσα ή έμμεσα σε ανθρώπινες δραστηριότητες, διακρίνοντας τον όρο από την κλιματική μεταβλητότητα που έχει φυσικά αίτια. Οι μεταβολές των μετεωρολογικών συνθηκών έχουν ως αποτέλεσμα την πρόκληση υψηλών διακυμάνσεων ως προς τη μέση κατάσταση του κλίματος ή τη μεταβλητότητά του. Τα αίτια που μπορούν να προκαλέσουν το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής προκύπτουν από τις φυσικές διαδικασίες, καθώς και από τις ανθρώπινες δραστηριότητες με επιπτώσεις στο κλίμα, όπως η τροποποίηση της σύνθεσης της ατμόσφαιρας [1].

Παράγοντες όπως, η υπερκατανάλωση προϊόντων του πρωτογενούς τομέα, η αλόγιστη υπερκατανάλωση των φυσικών πόρων, καθώς και η αύξηση του πληθυσμού της Γης, που παρουσιάστηκαν τα τελευταία χρόνια, οδήγησαν στην υποβάθμιση του φυσικού περιβάλλοντος με αποτέλεσμα να προκληθεί μια ανισορροπία μεταξύ των χωρών του ανεπτυγμένου και αναπτυσσόμενου κόσμου. Παγκοσμίως, έχει καταστεί στόχος και προτεραιότητα των κρατών, φορέων και συλλόγων, η συνεργασία μεταξύ τους με σκοπό την προώθηση της «πράσινης» ανάπτυξης σε όλα τα γεωγραφικά επίπεδα, καθώς και την καταπολέμηση της ανισότητας σε διεθνές επίπεδο. Παράλληλα, έχει αναπτυχθεί ένα παγκόσμιο κίνημα που διεκδικεί την ισοκατανομή των περιβαλλοντικών βαρών και την κλιματική δικαιοσύνη [2].

Η κλιματική αλλαγή ή αλλιώς το «Φαινόμενο του Θερμοκηπίου» σχετίζεται με τις κλιματικές συνθήκες, που καθορίζονται από τη συνεχή ροή της ηλιακής ενέργειας. Η θερμική ενέργεια του ήλιου, διαπερνά την ατμόσφαιρα της Γης και θερμαίνει την επιφάνεια της. Καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία της επιφάνειας, η Γη στέλνει, υπό τη μορφή υπέρυθρης ακτινοβολίας, θερμική ενέργεια πίσω στην ατμόσφαιρα. Στην ατμόσφαιρα υπάρχουν διάφορα αέρια όπως, το διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο, υποξείδιο του αζώτου και υδρατμοί, τα οποία απορροφούν ένα μέρος της θερμικής ενέργειας παγιδεύοντας έτσι την ενέργεια και διατηρώντας τη μέση θερμοκρασία της Γης στους περίπου 15 °C. Τα αέρια αυτά (ή αλλιώς αέρια του θερμοκηπίου (Greenhouse Gases - GHGs) είναι απαραίτητα καθώς διατηρούν την θερμοκρασία σε φυσιολογικά επίπεδα. Έτσι διατηρείται η ζωή για τους έμβιους οργανισμούς τους πλανήτη. Δίχως αυτά τα αέρια, η θερμοκρασία της Γης θα έφτανε στους -18°C, παγώνοντας τις περισσότερες μορφές ζωής [3].

Το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) είναι ένα από τα βασικά αέρια, που διατηρούν τα επιθυμητά επίπεδα θερμοκρασίας στη Γη. Σύμφωνα με την [138], η συνεισφορά του CO₂ στο φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι καταλυτική, καθώς αγγίζει το 50-60% σε σχέση με τα άλλα GHGs. Εκτιμάται ότι τα επίπεδα του CO₂ στην ατμόσφαιρα αυξάνονται κατά περίπου 0,4-0,5%/έτος και έτσι, η συγκέντρωσή του, το έτος 2030, θα έχει διπλασιαστεί, προκαλώντας αύξηση της θερμοκρασίας κατά 3-5 °C. Με τις διεργασίες εκπομπής/απορρόφησης CO₂ που προκύπτουν στη φύση, διατηρείται ισορροπημένη η συγκέντρωσή του στην ατμόσφαιρα. Παράγοντες όπως η αποσύνθεση των φυτών και οι ηφαιστειακές εκρήξεις, οδηγούν στην απελευθέρωση CO₂ στην ατμόσφαιρα, το οποίο απορροφάται εκ νέου μέσω της φωτοσύνθεσης και της διάλυσης του στο νερό (π.χ. στους ωκεανούς) [3].

Βάσει των αρχών της φύσης γίνεται προσπάθεια στο να επιτυγχανθεί η τέλεια διατήρηση της ισορροπίας μεταξύ του εκπεμπόμενου CO₂ και της αντίστοιχης ποσότητας που απορροφάται. Μικρές αλλαγές όμως, οφειλόμενες κυρίως σε ανθρώπινες δραστηριότητες, είναι δυνατό να επηρεάσουν αυτήν την εύθραυστη ισορροπία [3]. Η υπερβολική χρήση ορυκτών πόρων, όπως είναι ο άνθρακας και ο λιγνίτης, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο αποτελούν τις βασικότερες αιτίες της κλιματικής αλλαγής, καθώς η καύση τους απελευθερώνει τεράστιες ποσότητες CO₂ στην ατμόσφαιρα. Έτσι, τα αέρια του θερμοκηπίου συγκρατούν ολόένα και περισσότερη ενέργεια η οποία, με τη σειρά της, αυξάνει την μέση θερμοκρασία του πλανήτη. Ανθρώπινες δραστηριότητες, τα τελευταία 150 χρόνια, όπως η καύση ορυκτών καυσίμων που γίνεται απερίσκεπτα, οι κτηνοτροφικές δραστηριότητες που συμβάλουν στην εκπομπή μεθανίου, καθώς και η αποψίλωση των δασών, έχουν διαταράξει πλήρως την ισορροπία στο φυσικό κύκλο του CO₂ [3].

Ένα μέρος της αύξησης της θερμοκρασίας του πλανήτη έχει προκληθεί από την μεγάλη ποσότητα CO₂ που πλέον συγκεντρώνεται στην ατμόσφαιρα, ενώ παράλληλα η ταχύτητα με την οποία συντελείται αυτή η αύξηση είναι εμφανώς μεγαλύτερη από οποιαδήποτε φυσική διεργασία. Έτσι, προκύπτει το αποτέλεσμα της αδυναμίας των φυσικών συστημάτων να προσαρμοστούν στα νέα δεδομένα [3]. Είναι αναγκαίο να διευκρινιστεί ότι η αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας δε συνεπάγεται απαραίτητα ζεστό κλίμα για όλες τις περιοχές του κόσμου. Αντιθέτως, όσο αυξάνεται η θέρμανση του πλανήτη, προκαλείται μεταβολή του κλιματικού συστήματος με αποτέλεσμα την αύξηση εμφάνισης ακραίων και απρόβλεπτων καιρικών φαινομένων. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει πως άλλες περιοχές θα είναι πιο ζεστές, άλλες πιο κρύες, ενώ ανάλογα θα επηρεαστούν και τα επίπεδα υγρασίας του πλανήτη δημιουργώντας συνθήκες ξηρασίας ή υπερβολικά μεγάλες ποσότητες βροχόπτωσης [3].

Ο βασικότερος στόχος της επιστημονικής κοινότητας, αλλά και της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ), είναι ο μετριασμός της αύξησης της θερμοκρασίας και πιο συγκεκριμένα έχει τεθεί στόχος μη αύξησης της θερμοκρασίας κατά 2°C για την αποφυγή αρνητικών επιπτώσεων στα οικοσυστήματα και στους ανθρώπινους πληθυσμούς, όπως η τήξη των θαλάσσιων πάγων στην Αρκτική, αλλά και η σημερινή αύξηση της θερμοκρασίας στους 0,8°C σε σύγκριση με τα προβιομηχανικά επίπεδα (Συνθήκη Παρισίου). Θα πρέπει να τονιστεί ότι αν δεν παρουσιαστούν λύσεις οι οποίες θα έχουν ως στόχο το μετριασμό των συγκεκριμένων φαινομένων θα υπάρξουν περαιτέρω δραματικές επιπτώσεις στα οικοσυστήματα του πλανήτη [3].

Αξίζει να επισημανθεί ότι η 4^η Έκθεση Αξιολόγησης (4th Assessment Report - AR4) της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC) προβλέπει επιπλέον [4]:

- Τα αποθέματα νερού που είναι αποθηκευμένα στους παγετώνες και στις χιονισμένες περιοχές, τις επόμενες δεκαετίες, θα μειωθούν προκαλώντας έλλειψη νερού σε περισσότερο από ένα δις ανθρώπους,
- Στην περίπτωση που η αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας ξεπεράσει τους 1.5-2.5°C, το 20% με 30% όλων των ζωντανών οργανισμών στον πλανήτη θα αντιμετωπίζουν αυξημένο κίνδυνο εξαφάνισης,
- Ο κίνδυνος των λιμών αναμένεται να αυξηθεί αν σε χαμηλότερα γεωγραφικά πλάτη, και κυρίως σε ξηρές και τροπικές περιοχές, προκληθούν μικρές αυξήσεις της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας της τάξης των 1-2°C.

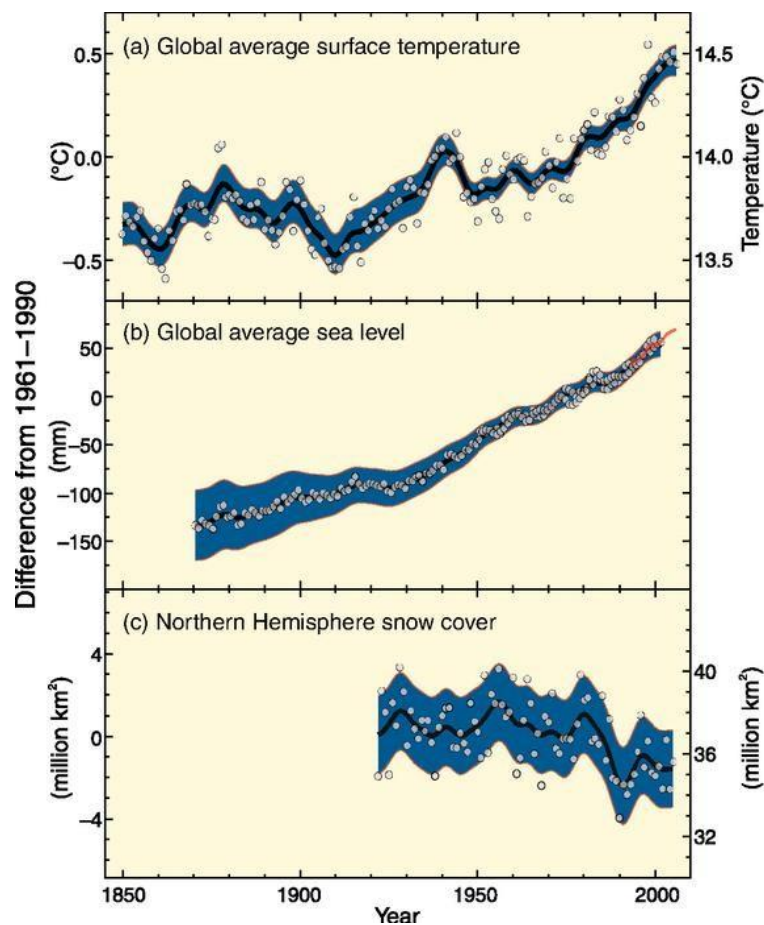
- Μετά το 2080 πολλά εκατομμύρια ανθρώπων αναμένεται να επηρεαστούν από πλημμύρες στα σπίτια και τις επιχειρήσεις τους εξαιτίας της ετήσιας ανόδου της στάθμης της θάλασσας. Σε ιδιαίτερο κίνδυνο βρίσκονται πυκνοκατοικημένες περιοχές, καθώς και περιοχές που βρίσκονται σε χαμηλό υψόμετρο με περιορισμένες ικανότητες προσαρμογής.

Η αύξηση της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας, η άνοδος της στάθμης της θάλασσας εξαιτίας της τήξης των πολικών παγετών, καθώς και η συχνότερη εμφάνιση καταιγίδων και πλημμύρων, επιβεβαιώνει το ότι η κλιματική αλλαγή είναι ήδη πραγματικότητα. Όπως αντιλαμβανόμαστε, με τις παραπάνω μεταβολές διαταράσσεται η ακεραιότητα των οικοσυστημάτων, των υδατικών πόρων, της δημόσιας υγείας, της προσφοράς τροφής, της βιομηχανίας, των γεωργικών καλλιεργειών, των μεταφορών και των υποδομών [5].

Έχει παρατηρηθεί ότι στα υψηλότερα βόρεια γεωγραφικά πλάτη η αύξηση της θερμοκρασίας είναι μεγαλύτερη. Είναι αξιοσημείωτο να αναφερθεί ότι ορισμένες περιοχές της γης έχουν θερμανθεί γρηγορότερα από τους ωκεανούς. Βάσει των παρατηρήσεων του 1961, προέκυψε το αποτέλεσμα ότι η μέση θερμοκρασία του παγκόσμιου ωκεανού έχει αυξηθεί σε βάθη τουλάχιστον 3000 μ. και ότι ο ωκεανός έχει αναλάβει πάνω από 80% της θερμότητας που προστίθεται στο κλιματικό σύστημα [5].

Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία του περιβάλλοντος τόσο αυξάνεται και η στάθμη της θάλασσας σταθερά. Η παγκόσμια μέση στάθμη της θάλασσας ανεβαίνει κατά μέσο όρο 1.8 [1.3 – 2.3] χιλ. ετησίως από το 1961 έως το 2003 και κατά μέσο όρο περίπου 3.1 [2.4 – 3.8] χιλ./έτος από το 1993 έως το 2003. Αυτός ο ταχύτερος ρυθμός για την περίοδο 1993-2003, είτε αντανακλά δεκαετή μεταβολή ή η αύξηση στην μακροπρόθεσμη τάση είναι ασαφής. Το γεγονός ότι παρατηρούνται πλέον μειώσεις στο χιόνι και την έκταση του πάγου οφείλεται επίσης στην αύξηση της θερμοκρασίας. Βάσει των δορυφορικών δεδομένων του 1978 ο ετήσιος μέσος όρος της έκτασης του θαλάσσιου πάγου της Αρκτικής έχει συρρικνωθεί κατά 2.7% ανά δεκαετία, με τις μεγαλύτερες μειώσεις τις καλοκαιρινές εποχές με 7.4% ανά δεκαετία [5]. Όλες οι προαναφερόμενες μεταβολές λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας αναπαρίστανται γραφικά στο παρακάτω

Διάγραμμα 1.

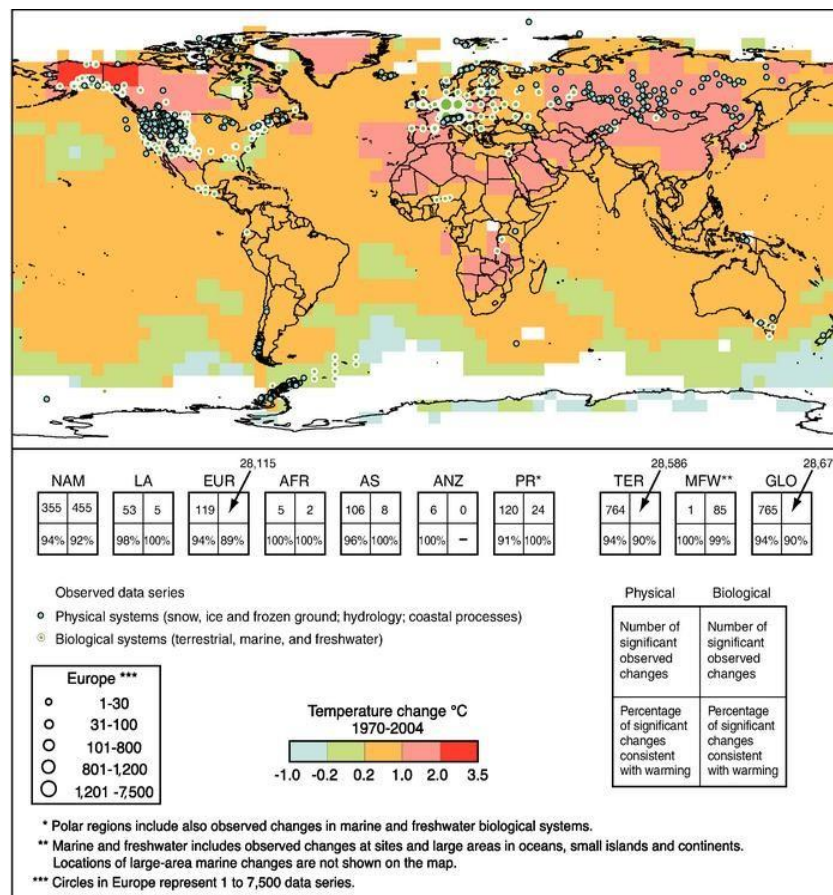


Διάγραμμα 1: Αλλαγές στη θερμοκρασία, το επίπεδο της θάλασσας και η χιονοκάλυψη στο Βόρειο ημισφαίριο Error!
Unknown switch argument.

Τα τελευταία 50 χρόνια, η συχνότητα καθώς και η ένταση ορισμένων ακραίων καιρικών φαινομένων άλλαξε, όπως παρατηρείται και στην **Εικόνα 1**.

Πιο συγκεκριμένα [5]:

- Οι κρύες μέρες, οι κρύες νύχτες και οι παγετοί έχουν γίνει λιγότερο συχνόι στις περισσότερες περιοχές του πλανήτη, ενώ οι ζεστές μέρες και ζεστές νύχτες έχουν γίνει πιο συχνές,
- Τα κύματα καύσωνα έχουν γίνει πιο συχνά στις περισσότερες περιοχές του πλανήτη,
- Η συχνότητα των βαρέων βροχοπτώσεων (ή το ποσοστό της συνολικής βροχόπτωσης) αυξήθηκε στις περισσότερες περιοχές,
- Η συχνότητα του ακραία υψηλού επιπέδου της θάλασσας έχει αυξηθεί σε ένα ευρύ φάσμα τοποθεσιών σε όλο τον κόσμο από το 1970.



Εικόνα 1: Αλλαγές στα φυσικά και βιολογικά συστήματα και στη θερμοκρασία των επιφανειών από το 1970 έως το 2004

Error! Unknown switch argument.

Ο πλούτος της Ελλάδας συνδέεται αναπόσπαστα με τις κλιματικές της συνθήκες. Το ζεστό ξηρό καλοκαιρινό κλίμα σε συνδυασμό με τα χιλιάδες χιλιόμετρα ακτογραμμών αποτελούν πόλο έλξης για τους περισσότερους τουρίστες. Ο τομέας της γεωργίας αναπτύσσεται καθώς ευνοείται από τα ζεστά καλοκαίρια σε συνδυασμό με τους ήπιους υγρούς χειμώνες. Αυτός ο φυσικός πλούτος σήμερα βρίσκεται κάτω από μεγάλη πίεση, εξαιτίας της αύξησης του πληθυσμού και της άναρχης ανάπτυξης. Η συνεχής υπερθέρμανση του πλανήτη θα προκαλέσει μεγαλύτερες επιπτώσεις στα οικοσυστήματα και στην έμβια ζωή. Μελέτη του ΟΗΕ δείχνει πως η Ελλάδα, όπως και ολόκληρη η Μεσόγειος συγκαταλέγεται ανάμεσα στα 18 πιο «καυτά» σημεία του πλανήτη, τα οποία θα αντιμετωπίσουν τα μεγαλύτερα προβλήματα εξαιτίας της εντεινόμενης κλιματικής αλλαγής [3].

Έρευνα που πραγματοποιήθηκε από την “World Wild life Fund (WWF)” της Ελλάδος σε συνεργασία με το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών και με τίτλο «Το αύριο της Ελλάδας» επιχειρεί μια πρόβλεψη για τις κλιματικές συνθήκες στην Ελλάδα την περίοδο 2020-2050. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας, η ήδη υπάρχουσα δυσφορία των κατοίκων στις πόλεις πρόκειται να ενταθεί. Πόλεις όπως η Θεσσαλονίκη, η Πάτρα, η Λαμία και η Λάρισα θα υπόκεινται μέχρι και σε 20 περισσότερες ημέρες καύσωνα. Επιπλέον στις πόλεις Λαμία, Λάρισα, Βόλο, Θεσσαλονίκη και Αθήνα, η συνολική βροχοπτώση θα μειωθεί, αλλά αναμένεται να αυξηθούν κατά 10-20% οι ακραίες βροχοπτώσεις. Σύμφωνα με τα παραπάνω γίνεται κατανοητό ότι ο κίνδυνος για πλημμυρικά επεισόδια όσο και για εξάπλωση πυρκαγιών στα περιστατικά δάση αναμένεται να αυξηθεί [3].

Παράλληλα, η κλιματική αλλαγή προκαλεί πίεση και στους 10 μεγαλύτερους αγροτικούς νομούς της χώρας με αποτέλεσμα να αυξηθούν οι μέρες καύσωνα, οι συνεχόμενες ημέρες χωρίς βροχή, να μειωθούν οι χειμερινές βροχοπτώσεις και συνεπώς να αυξηθεί κατά πολύ ο κίνδυνος πυρκαγιάς. Συγκεκριμένα, βάσει των παραπάνω αναμένεται στην Εύβοια να υπάρξουν περισσότερες από 25 επιπλέον ξηρές ημέρες σε σχέση με σήμερα, στις Σέρρες και στην Λάρισα 20 περισσότερες μέρες καύσωνα, ενώ στο Ηράκλειο και στην Πέλλα οι βροχοπτώσεις το χειμώνα θα μειωθούν κατά 15%. Παρουσιάζεται, επίσης, αυξημένος κίνδυνος για ερημοποίηση νέων εκτάσεων και μείωση στη διαθεσιμότητα νερού [3].

Τέλος, η κλιματική αλλαγή εκτός από το κοινωνικό κόστος προκαλεί και οικονομικό, βάσει σχετικής έκθεσης που δημοσιεύτηκε το 2011 από την Τράπεζα της Ελλάδος, το οποίο είναι και εξαιρετικά υψηλό. Το συνολικό κόστος για την ελληνική οικονομία ως το 2100 ανέρχεται στα €701 δις, ποσό υπερδιπλάσιο του εθνικού μας χρέους το 2009. Έτσι, βάσει των παραπάνω, οι συντάκτες της Έκθεσης καταλήγουν πως η λύση της υιοθέτησης κλιματικών πολιτικών είναι η οικονομικότερη επιλογή που διαθέτουμε. Συγκεκριμένα, στην περίπτωση που η Ελλάδα μειώσει δραστικά τις εκπομπές, στο πλαίσιο αντίστοιχης παγκόσμιας προσπάθειας, το συνολικό κόστος μειώνεται κατά €265 δις, στα €436 δις [3].

2.2 Μετριασμός της κλιματικής αλλαγής

Η λήψη μέτρων περιορισμού των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου σε παγκόσμιο και εθνικό επίπεδο είναι αναγκαία προκειμένου να αντιμετωπιστεί το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής. Οι συγκεκριμένες δράσεις θα πρέπει να περιλαμβάνουν μία ξεκάθαρη αλλαγή του υφιστάμενου αναπτυξιακού μοντέλου η οποία θα στοχεύει σε μία βιώσιμη, πράσινη οικονομία χαμηλών ή και μηδενικών εκπομπών άνθρακα με τη χρήση της τεχνολογίας και των σύγχρονων υποδομών. Για την ανάπτυξη του μοντέλου αυτού θα πρέπει να υπάρξει η υποστήριξη του οριζόντιου συντονισμού των πολιτικών μετριασμού, στους τομείς της ενέργειας, της βιομηχανίας, της γεωργικής παραγωγής και σε πολλούς άλλους [6].

Η έννοια του μετριασμού της κλιματικής αλλαγής στοχεύει, ουσιαστικά, στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και στην ενίσχυση δεξαμενών αποθήκευσής τους. Η λύση του μετριασμού οδηγεί στην επίτευξη του στόχου που διατυπώνεται στο άρθρο 2 της Σύμβασης-Πλαισίου των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (United Nations Framework Convention on Climate Change - UNFCCC). Συγκεκριμένα αναφέρεται: «Ο απώτερος σκοπός της παρούσας σύμβασης και κάθε σχετικής νομικής πράξης που η διάσκεψη των συμβαλλομένων μερών δύναται να θεσπίσει είναι να επιτευχθεί, σύμφωνα με τις σχετικές διατάξεις της σύμβασης, σταθεροποίηση των συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα σε ένα επίπεδο που θα αποτρέπει την επικίνδυνη ανθρωπογενή παρέμβαση στο κλιματικό σύστημα. Ένα τέτοιο επίπεδο πρέπει να επιτευχθεί εντός ενός χρονικού πλαισίου επαρκούς για να επιτραπεί στα οικοσυστήματα να προσαρμοστούν φυσικά στις κλιματικές αλλαγές, για να εξασφαλιστεί ότι η παραγωγή τροφίμων δεν απειλείται και να επιτραπεί στην οικονομική ανάπτυξη να προχωρήσει με βιώσιμο τρόπο» [7].

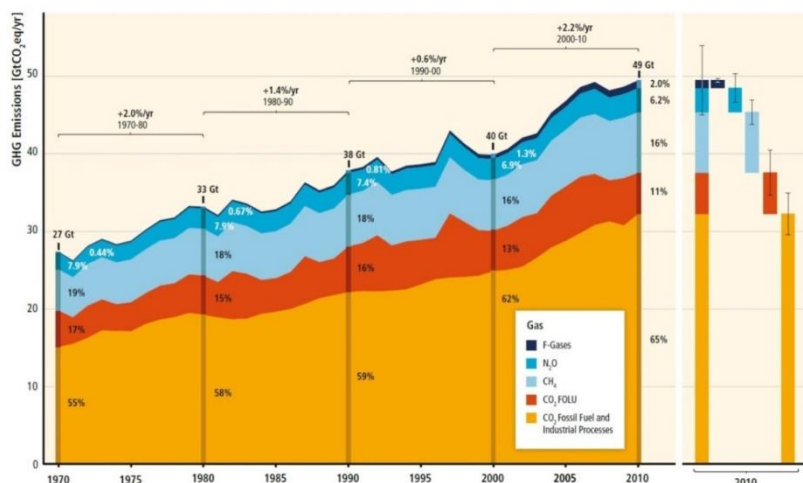
Έτσι μέσω του μετριασμού επιτυγχάνεται η μείωση του ρυθμού έντασης της κλιματικής αλλαγής και η, σε βάθος χρόνου, σταθεροποίηση του φαινομένου. Αν δεν εφαρμοστεί η δράση του μετριασμού, οι διαστάσεις που θα πάρει σε βάθος χρόνου, είναι πιθανόν να υπερβούν την ικανότητα των φυσικών, τεχνητών και ανθρωπογενών συστημάτων να προσαρμοστούν στις νέες συνθήκες.

Αντίθετα, το φαινόμενο θα επιβραδυνθεί και ουσιαστικά θα καταπολεμηθεί μόνο αν ληφθούν οι δράσεις του μετριασμού εγκαίρως. Στην διάρκεια των επόμενων δεκαετιών, μέσω των προσπαθειών μετριασμού και των επενδύσεων στον τομέα, οι δυνατότητες σταθεροποίησης του φαινομένου σε σχετικά χαμηλό επίπεδο αλλαγών στο κλίμα θα επηρεαστούν ολοκληρωτικά. Η καθυστέρηση τους, ωστόσο, θα μειώσει σε μεγάλο βαθμό αυτές τις δυνατότητες και θα αυξήσει τις πιθανότητες εμφάνισης πιο σοβαρών επιπτώσεων [8].

Για να διασφαλιστεί η πρόληψη της εκδήλωσης δυσμενέστερων συνεπειών της κλιματικής αλλαγής, οι χώρες που υπέγραψαν τη Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή συμφώνησαν να περιορίσουν την παγκόσμια μέση αύξηση της επιφανειακής θερμοκρασίας από την προβιομηχανική εποχή σε λιγότερο από 2°C. Προκειμένου να καταστεί εφικτός ο συγκεκριμένος στόχος, θα πρέπει να κορυφωθούν το συντομότερο δυνατό οι παγκόσμιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και να μειωθούν με ταχύ ρυθμό στη συνέχεια. Συγκεκριμένα, θα πρέπει μέχρι το 2050 να μειωθούν κατά 50% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990 προκειμένου να επιτευχθεί ουδέτερο ισοζύγιο άνθρακα πριν από το τέλος του αιώνα. Η ΕΕ υποστηρίζει τον στόχο της σύμβασης των Ηνωμένων Εθνών και επιδιώκει, μέχρι το 2050, να έχει μειώσει τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου κατά 80–95 % σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990 [9].

Με την πολιτική του μετριασμού ενισχύεται η περιβαλλοντική έννοια της αειφορίας η οποία εξειδικεύεται καθαρά στην αποτελεσματική παραγωγή ενέργειας και στην προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η επίτευξη του μετριασμού των εκπομπών μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω της προώθησης ενός ευρύτατου πεδίου ανάπτυξης και εφαρμογής τεχνολογιών με χαμηλές ή μηδενικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Η πολιτική για τη μείωση των εκπομπών πρέπει να βασίζεται σε 3 θεμελιώδεις συνιστώσες: **α.** την τιμολόγηση του άνθρακα, **β.** την ανάπτυξη καινοτόμων τεχνολογιών, και **γ.** την απομάκρυνση εκείνων των παραγόντων που δυσχεραίνουν την αλλαγή στην κλιματική συμπεριφορά. Κύριες δράσεις μετριασμού συνιστούν η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (π.χ. ηλιακή ενέργεια, αιολική ενέργεια, βιομάζα, κλπ.) και η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης [10].

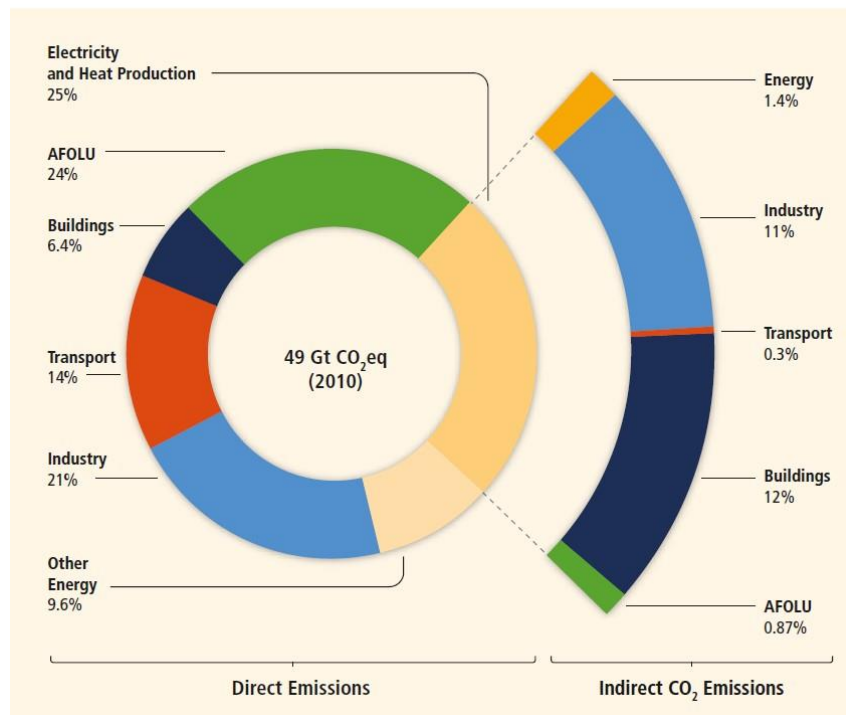
Στο παρακάτω **Διάγραμμα 2** Διάγραμμα 2: Συνολικές ετήσιες εκπομπές ανθρωπογενών αερίων του θερμοκηπίου σε Ομάδες Αερίων για το διάστημα 1970-2010 Error! Unknown switch argument. αποτυπώνονται οι ολικές ετήσιες ανθρωπογενείς εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (GtCO₂ eq/yr) μεταξύ της περιόδου 1970-2010, από ομάδες αερίων, οι οποίες είναι: διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) από την καύση ορυκτών καυσίμων και από βιομηχανικές διεργασίες, CO₂ από τη δασοκομία και άλλες χρήσεις γης (Forestry and Other Land Use, FOLU), μεθάνιο (CH₄), υποξείδιο του αζώτου (N₂O) και φθοριούχα αέρια (F-gases). Δεξιά του διαγράμματος παρουσιάζονται οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου το 2010 οι οποίες εμφανίζονται να κατανέμονται σε αυτά τα συστατικά με τις σχετικές αβεβαιότητες (90% βαθμός εμπιστοσύνης) που υποδεικνύεται από τις ράβδους σφάλματος. Οι εκπομπές μετατρέπονται σε ισοδύναμα CO₂ με βάση τον δείκτη Global Warming Potential (δείκτης που μετράει την ποσότητα θερμότητας που δεσμεύεται από ένα αέριο θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα) με χρονικό ορίζοντα 100 ετών (GWP100) από την έκθεση αξιολόγησης της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC). Οι μέσοι ετήσιοι ρυθμοί αύξησης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου για τις τέσσερις (4) δεκαετίες επισημαίνονται με το κατάλληλο σύμβολο. Ο μέσος ετήσιος ρυθμός ανάπτυξης 1970-2000 είναι 1.3% [4].



Διάγραμμα 2: Συνολικές ετήσιες εκπομπές ανθρωπογόνων αερίων του θερμοκηπίου σε Ομάδες Αερίων για το διάστημα 1970-2010 Error! Unknown switch argument.

Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, το φαινόμενο του θερμοκηπίου οφείλεται κυρίως στις εκπομπές CO₂ (ευθύνεται παγκοσμίως για τουλάχιστον 60% του φαινομένου). Στις αναπτυγμένες και βιομηχανικές χώρες, το CO₂ αποτελεί τουλάχιστον το 80% των εκπομπών των αερίων θερμοκηπίου. Παρατηρήθηκε ότι την δεκαετία 2000-2010 οι συνολικές ανθρωπογενές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου έχουν αυξηθεί ταχύτερα σε σύγκριση με τις τρεις προηγούμενες δεκαετίες. Συγκεκριμένα, το 2010 ανήλθαν σε 49 (± 4.5) ισοδυνάμου CO₂ ετησίως (GtCO₂eq/έτος). Ωστόσο, παρόλο που έχουν εφαρμοστεί αρκετές πολιτικές που αποσκοπούν στο μετριασμό, έχει παρουσιαστεί αύξηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου [11].

Τέλος, παρουσιάζονται στο παρακάτω **Διάγραμμα 3** οι συνολικές ανθρωπογενείς εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου (GtCO₂ eq/έτος) από τις κυριότερους πηγές τους. Μέσω του κυκλικού διαγράμματος, αποτυπώνονται τα μερίδια των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου (σε ποσοστό επί τοις % των συνολικών ανθρωπογενών εκπομπών) για τους 5 κύριους οικονομικούς κλάδους για το 2010. Το αποσπώμενο τμήμα δείχνει πώς τα έμμεσα μερίδια εκπομπών CO₂ (σε ποσοστό επί τοις % των συνολικών ανθρωπογενών εκπομπών) από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας αποδίδονται σε τομείς τελικής κατανάλωσης ενέργειας. Όσον αφορά το πεδίο «Άλλη Ενέργεια» ασχολείται με τις πηγές εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στον τομέα της ενέργειας, εξαιρουμένων της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας [11].



Διάγραμμα 3: Συνολικές ανθρωπογενείς εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου **Error! Unknown switch argument.**

2.3 Επιλογές μετριασμού της κλιματικής αλλαγής

Η κλιματική αλλαγή είναι μια πρόκληση που απαιτεί συνεχή εστίαση και άμεση δράση. Τις τελευταίες 2 δεκαετίες, παρά τις έντονες κριτικές, πολιτικές για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής αναπτύχθηκαν, επεκτάθηκαν και διευρύνθηκαν αρκετά σε όλα τα επίπεδα και ωθούν τους πολίτες, τις κυβερνήσεις, τις κρατικές υπηρεσίες και τους οργανισμούς, να αντιστρατευθούν στον επερχόμενο κίνδυνο και αβεβαιότητα. Γίνεται λοιπόν κατανοητό ότι, η διαμόρφωση πολιτικών και μεταρρυθμίσεων τόσο σε διεθνές όσο και σε εθνικό επίπεδο, έχει μεγάλη επίδραση στον τρόπο αντιμετώπισης του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής [12].

Σύμφωνα με τη Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή [3], οι περιβαλλοντικές πολιτικές είναι μια μέθοδος και διαδικασία λήψης αποφάσεων που αφορά τη διαχείριση του κινδύνου, και περιλαμβάνουν πληροφορίες, γνώσεις, δραστηριότητες και δράσεις οι οποίες ολοένα και ανανεώνονται. Σε γενικές γραμμές, οι πολιτικές διαφέρουν και χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τις πολιτικές μετριασμού και τις πολιτικές προσαρμογής, με προφανείς διαφορές μεταξύ τους. Οι πολιτικές μετριασμού της κλιματικής αλλαγής «απευθύνονται από το παγκόσμιο στο εθνικό και μετά στο τοπικό επίπεδο», ενώ η προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή ακολουθεί αντίστροφη διαδρομή, δηλαδή «από το τοπικό στο εθνικό και μετά στο παγκόσμιο επίπεδο» [13].

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ο όρος μετριασμός (mitigation) αναφέρεται σε οποιαδήποτε ανθρώπινη παρέμβαση που έχει στόχο τη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου και την ενίσχυση δεξαμενών αποθήκευσής τους. Οι πολιτικές μετριασμού, έχουν αποσπάσει, τα τελευταία χρόνια, την προσοχή των κυβερνήσεων και όχι μόνο, καθώς η συσσώρευση ποσοτήτων των αερίων του θερμοκηπίου οδηγεί σε περαιτέρω κλιματικές μεταβολές από παγκόσμια σε τοπική κλίμακα, με

αποτέλεσμα η δράση του μετριασμού να αποτελεί ένα ευρύτατο αντικείμενο έρευνας και συζήτησης τα τελευταία χρόνια σε διεθνές επίπεδο [12].

Η αποτελεσματική εφαρμογή πολιτικών μετριασμού μπορεί να γίνει μέσω της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας - ΑΠΕ (π.χ. ηλιακή ενέργεια, αιολική ενέργεια, βιομάζα, κλπ.) και της βελτίωσης της απόδοσης στην παραγωγή ενέργειας. Ωστόσο, η αντίληψη της συγκεκριμένης πολιτικής μετριασμού εστιάζει, περισσότερο στην εξοικονόμηση πόρων και στη διατήρηση ισορροπιών, παρά στην ανάγκη προστασίας του πληθυσμού και την αποτροπή μελλοντικών κινδύνων [12].

2.3.1 Η χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ)

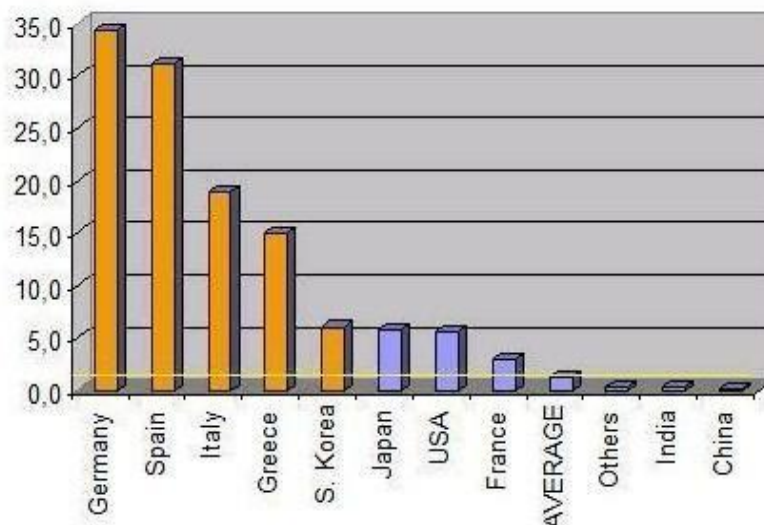
Οι ΑΠΕ, ή αλλιώς Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, είναι πηγές ενέργειας που αντλούνται από διάφορες φυσικές διεργασίες, ενώ δεν υπάρχουν σε συγκεκριμένη ποσότητα. Συγκεκριμένα παραδείγματα αποτελούν ο άνεμος, η γεωθερμία και ο ήλιος. Θεωρούνται «ανανεώσιμες» εξαιτίας 2 βασικών χαρακτηριστικών τους: **(α)** κατά την εκμετάλλευσή τους δεν απαιτείται κάποια ιδιαίτερη παρέμβαση, όπως εξόρυξη, άντληση ή καύση, παρά μόνο η εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση, και **(β)** πρόκειται για «καθαρές» μορφές ενέργειας, «φιλικές» προς το περιβάλλον, που δεν αποδεσμεύουν υδρογονάνθρακες (C_xH_y), CO₂ ή τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα, σε αντίθεση με τις μέχρι τώρα χρησιμοποιούμενες πηγές ενέργειας. Έτσι οι ΑΠΕ αποτελούν μία αφετηρία και πιθανά ασφαλή λύση για την επίλυση των περιβαλλοντικών προβλημάτων που αντιμετωπίζει ο πλανήτης. Μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση του 1979, δόθηκε έντονη βαρύτητα στις ΑΠΕ, προκειμένου να αξιοποιηθούν ευρύτερα και να αναπτυχθούν αξιόπιστες και οικονομικά αποδοτικότερες τεχνολογίες [14].

Οι ήπιες μορφές ενέργειας βασίζονται κατ' ουσίαν στην ηλιακή ακτινοβολία, με εξαίρεση τη γεωθερμική ενέργεια, η οποία είναι ροή ενέργειας από το εσωτερικό του φλοιού της Γης, και την ενέργεια από τις παλίρροιες που εκμεταλλεύεται τη βαρύτητα. Οι βασιζόμενες στην ηλιακή ακτινοβολία ήπιες πηγές ενέργειας είναι ανανεώσιμες, μιας και δεν πρόκειται να εξαντληθούν όσο υπάρχει ο ήλιος, δηλαδή για μερικά ακόμα δισεκατομμύρια χρόνια. Ουσιαστικά είναι ηλιακή ενέργεια «συσκευασμένη» κατά τον ένα ή τον άλλο τρόπο: η βιομάζα είναι ηλιακή ενέργεια δεσμευμένη στους ιστούς των φυτών μέσω της φωτοσύνθεσης, η αιολική ενέργεια εκμεταλλεύεται τους ανέμους που προκαλούνται απ' τη θέρμανση του αέρα, ενώ οι μορφές ενέργειας που βασίζονται στο νερό εκμεταλλεύονται τον κύκλο εξάτμισης-συμπύκνωσης του νερού και την κυκλοφορία του [15]. Η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να θεωρηθεί πρακτικά ανανεώσιμη **Error! Reference source not found.**, εφόσον δεν γίνεται υπεράντληση [17]

Ηλιακή ενέργεια

Η θερμότητα που λαμβάνουμε από τον ήλιο και άλλες ακτινοβολίες, καθώς και το φως και η θερμότητα αποτελούν ένα συγκεκριμένο φάσμα της συνολικής ακτινοβολίας που προσπίπτει στον πλανήτη. Η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας διεξάγεται κυρίως για θέρμανση σε: **(α)** ενεργητικά ηλιακά συστήματα, όπως ο ηλιακός θερμοσίφωνας, **(β)** σε παθητικά συστήματα, όπως στους ενεργειακούς σχεδιασμούς κτιρίων, και **(γ)** στα φωτοβολταϊκά συστήματα για ηλεκτροπαραγωγή. Η χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων ενδείκνυται ως βέλτιστη αποτελεσματική λύση, καθώς μπορεί να καλύψει απευθείας τις ενεργειακές ανάγκες επειδή παράγεται άμεσα ηλεκτρική ενέργεια με αποτέλεσμα την κατασκευή ολοένα και περισσότερων ηλιακών πάρκων. Όπως φαίνεται και στο παρακάτω **Διάγραμμα 4**, οι νότιες χώρες της Ευρώπης, συμπεριλαμβανομένης και της Ελλάδας, με εξαίρεση τη Γερμανία, κατέχουν τις πρώτες θέσεις καθώς διαθέτουν αρκετή ηλιοφάνεια για

εκμετάλλευση. Η Γερμανία έχει τόσο μεγάλη ποσότητα σε εγκατεστημένα φωτοβολταϊκά συστήματα, λόγω της ανεπτυγμένης οικονομίας της, που βασίζεται κυρίως σε κατασκευαστικές επιχειρήσεις και την ανάπτυξη νέων μηχανολογικών τεχνολογιών [14].

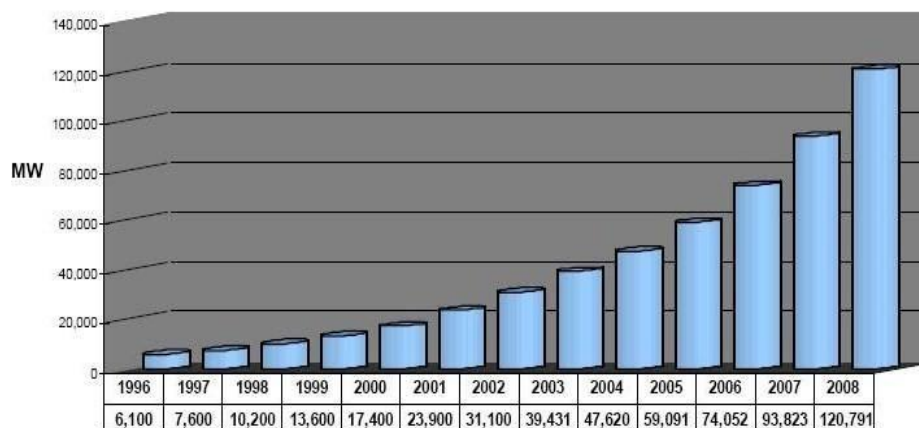


Διάγραμμα 4: Κατά κεφαλήν εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών σε Watt ανά χώρα Error! Unknown switch argument.

Αιολική ενέργεια

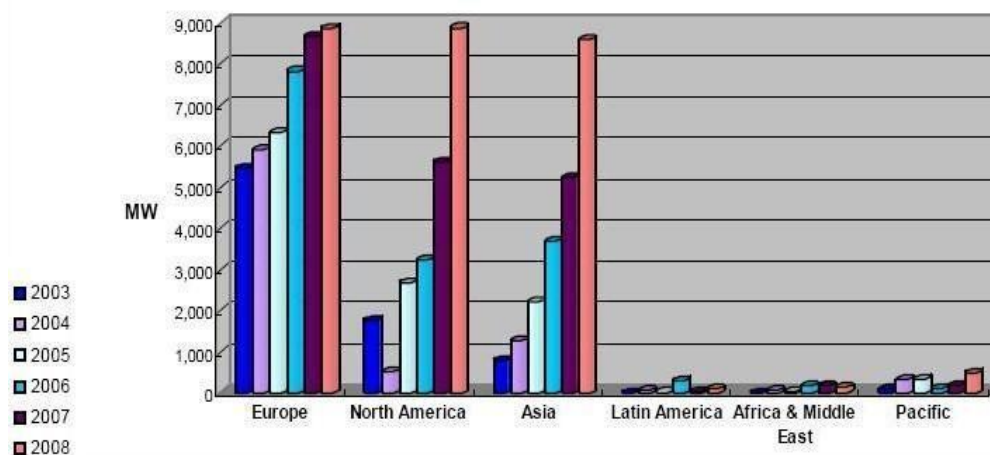
Η αιολική ενέργεια προέρχεται από τη θέρμανση αερίων μαζών κατά τη μετακίνησή τους. Η εκμετάλλευσή της ενυπήρχε ήδη από πολύ παλιά στα ιστιοφόρα πλοία και αργότερα σε ανεμόμυλους, καθώς και στην άντληση από τα πηγάδια. Σήμερα, η εκμετάλλευσή της έγκειται στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με ανεμογεννήτριες που μπορούν να φτάσουν σε ισχύ τα 5MW και τα 140m ύψος μαζί με τα πτερύγιά τους. Η τοποθέτηση πολλών ανεμογεννητριών μαζί οδηγεί στο σχηματισμό αιολικών πάρκων, κυρίως σε περιοχές που, αφού έχουν μελετηθεί επαρκώς, φαίνεται ότι έχουν υψηλό αιολικό δυναμικό, αλλά και ταυτόχρονα εκπληρώνουν κάποιες προϋποθέσεις με βάση τη Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ) που έχει εκπονηθεί εκ των προτέρων. Ειδικότερα, για την κατασκευή μεγάλων ανεμογεννητριών η ΜΠΕ είναι ύψιστης σημασίας καθώς υπάρχει η πιθανότητα τα αιολικά πάρκα να προκαλέσουν απώλειες αποδημητικών πουλιών, έντονο θόρυβο λόγω των ταλαντώσεων, αλλά και πιθανότητα να χρειαστεί αποψίλωση δέντρων για την εγκατάστασή τους. Οι συγκεκριμένες επενδύσεις έχουν μεγάλο κόστος, αλλά το περιβαλλοντικό όφελος είναι μεγάλο καθώς με μια ανεμογεννήτρια 1500kW που θα λειτουργεί 20 χρόνια αποφεύγεται η χρήση 8000tn λιγνίτη και οι εκπομπές 64,000tn CO₂. Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει η έρευνα που πραγματοποιήθηκε από μια ομάδα Ολλανδών επιστημόνων, στο Πανεπιστήμιο της Ουτρέχτης, για το παγκόσμιο αιολικό δυναμικό βάσει της οποίας αποδεικνύεται ότι το 20% της γης έχει «αρκετό» άνεμο για εκμετάλλευση, χωρίς να συμπεριλαμβάνονται οι πόλεις, οι λίμνες, τα βουνά, καθώς και τα εθνικά πάρκα. Το συνολικό δυναμικό ανέρχεται σε 96 petawatt, κάτι που αρκεί για να καλύψει περίπου έξι (6) φορές την παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση ετησίως. Σε ορισμένες περιοχές όπως ο Καναδάς, το δυναμικό ήταν κατά τριάντα (30) φορές υψηλότερο από την ετήσια κατανάλωση, αλλά ακόμη και στη Δυτική Ευρώπη ο άνεμος αρκεί για να προσφέρει τη διπλάσια από την απαιτούμενη ενέργεια [14].

Είναι αξιοσημείωτο να αναφερθεί ότι με τα αποτελέσματα της έρευνας, διαπιστώθηκε και διατυπώθηκε ότι «αν θέλαμε να εκμεταλλευτούμε όλο το παγκόσμιο δυναμικό, το ηλεκτρικό ρεύμα θα κόστιζε είκοσι πέντε (25) φορές περισσότερο απ’ όσο κοστίζει σήμερα». Αξίζει ακόμα να σημειωθεί ότι η συνολική ηλεκτρική ισχύς από ανεμογεννήτριες παγκοσμίως στα τέλη του 2008 έφτασε τα 120,791MW [19]. Το **Διάγραμμα 5** παρουσιάζει την εξέλιξη της συνολικής ηλεκτρικής ισχύος από ανεμογεννήτριες παγκοσμίως, από το έτος 1996. Αναφορικά, στην Ελλάδα στα τέλη του 2008 η συνολική εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς από ανεμογεννήτριες έφτασε τα 985MW [19]. Ακόμα, στο **Διάγραμμα 5** Διάγραμμα 6: Ετήσια προστιθέμενη ηλεκτρική ισχύς από ανεμογεννήτριες ανά περιοχή **Error! Unknown switch argument.** φαίνονται οι προοπτικές εξέλιξης στη Νότια Αμερική και στην Ασία, καθώς από το 2003 μέχρι το 2008 η ετήσια προστιθέμενη ηλεκτρική ισχύς καταγράφηκε να έχει δεκαπλασιαστεί. Στο άλλο άκρο, οι υπόλοιπες περιοχές που αναφέρονται στο



Διάγραμμα 6, δε δείχνουν κανένα σημάδι ανάπτυξης λόγω της οικονομικής κατάστασης των χωρών αυτών [14].

Διάγραμμα 5: Παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς ανεμογεννητριών ανά έτος [19]



Διάγραμμα 6: Ετήσια προστιθέμενη ηλεκτρική ισχύς από ανεμογεννήτριες ανά περιοχή **Error! Unknown switch argument.**

Υδατοπτώσεις

Οι υδατοπτώσεις είναι απότοκο του κύκλου μεταφοράς του νερού από την επιφάνεια της Γης στην ατμόσφαιρα. Όταν χρησιμοποιείται για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ονομάζεται υδροηλεκτρική ενέργεια, η οποία ουσιαστικά αποτελεί τη μετατροπή της μηχανικής ενέργειας του νερού των

ποταμών σε ηλεκτρική ενέργεια με τη βοήθεια στροβίλων και ηλεκτρογεννητριών. Για την παραγωγή της υδροηλεκτρικής ενέργειας, θα πρέπει να κτισθούν εργοστάσια υδροηλεκτρικής ενέργειας σε

περιοχές με τρεχούμενο νερό, όπως φράγματα κοιλάδων, τεχνητά φράγματα, έτσι ώστε να γίνεται μέγιστη εκμετάλλευση της ροής του νερού. Το κόστος της δημιουργίας ενός συστήματος υδροηλεκτρικού σταθμού κυμαίνεται ανάλογα με την υδατόπτωση (μεγάλη ή μικρή) και τη δυναμικότητά του, ενώ το κόστος ανά kW μειώνεται με την αύξηση του ύψους της υδατόπτωσης και της δυναμικότητας της μονάδας [14].

Τα πλεονεκτήματα των υδροηλεκτρικών σταθμών είναι πολλά. Έχουν μεγάλη απόδοση, είναι αξιόπιστοι και με μεγάλη διάρκεια ζωής. Ακόμα, έχουν την δυνατότητα άμεσης σύνδεσης - απόζευξης από το δίκτυο και αυτόνομης λειτουργίας, η παραγωγή ενέργειας γίνεται χωρίς διακυμάνσεις και ο χρόνος απόσβεσης των αρχικών επενδύσεων είναι σχετικά σύντομος, μιας και το κόστος συντήρησης τους είναι χαμηλό και το κόστος πρώτης ύλης είναι ανύπαρκτο. Αξίζει να σημειωθεί, ότι ενώ το νερό αποταμιεύεται σε ταμιευτήρες για μελλοντική του χρήση στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μπορεί ταυτόχρονα να χρησιμοποιηθεί για άρδευση κατά τη διάρκεια ξηρών περιόδων. Αναφορικά, στη χώρα μας η ισχύς από υδροηλεκτρικά έργα φτάνει τα 120MW [14].

Γεωθερμία

Η Γεωθερμία αναφέρεται σε μια φυσική θερμική ενέργεια της Γης που διαρρέει από το εσωτερικό της προς την επιφάνειά της. Η θερμοκρασία του γεωθερμικού ρευστού ή ατμού, διαφέρει από περιοχή σε περιοχή και συνήθως κυμαίνεται από 25°C μέχρι 360°C. Στις περιπτώσεις που τα γεωθερμικά ρευστά έχουν υψηλή θερμοκρασία (πάνω από 150°C), η γεωθερμική ενέργεια ενδείκνυται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ όταν η θερμοκρασία είναι χαμηλότερη χρησιμοποιείται για θέρμανση θερμοκηπίων, για τηλεθέρμανση, ακόμα και για υδατοκαλλιέργειες [14].

Στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής, τα πλεονεκτήματα της γεωθερμίας είναι αξιοσημείωτα, καθώς είναι σταθερά διαθέσιμη και μπορεί να λειτουργεί το 90% του χρόνου, σε αντίθεση με τους παραδοσιακούς σταθμούς που λειτουργούν το 65%-75% του χρόνου. Ένα επιπλέον πλεονέκτημα είναι ότι οι αντλίες γεωθερμικής ενέργειας μπορούν να έχουν ποικίλες χρήσεις καθώς καταλαμβάνουν μικρή επιφάνεια γης και δεν έχουν αρνητικές επιπτώσεις κατά τη διάρκεια διάνοιξης πηγαδιών [14].

Τέλος, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οικιακές εφαρμογές για θέρμανση και ψύξη κτιρίων και για την παροχή ζεστού νερού. Η εφαρμογή αυτή μπορεί να λάβει χώρα σε οποιοδήποτε κτίριο αξιοποιώντας το ενεργειακό δυναμικό του εδάφους σε λιγότερο από 100m βάθος. Με αυτό τον τρόπο καταναλώνεται 40%-60% λιγότερη ηλεκτρική ενέργεια, για θέρμανση ή ψύξη κτιρίων, σε σχέση με τα κλιματιστικά της τελευταίας τεχνολογίας. Στην Ελλάδα γεωθερμία κατάλληλη για ηλεκτροπαραγωγή σε προσιτά βάθη υπάρχει στα νησιά του ηφαιστειακού τόξου του Αιγαίου (π.χ. Μήλος, Κίμωλος, Σαντορίνη, Νίσυρος), καθώς και στη Λέσβο, στη Χίο, στη Σαμοθράκη και στην Αλεξανδρούπολη [14].

Βιομάζα

Με τον όρο βιομάζα χαρακτηρίζεται η ύλη που προέρχεται βιολογικά (οργανικά), δηλαδή οποιοδήποτε υλικό προϊόν ζωντανών οργανισμών (όπως είναι το ξύλο και άλλα δασικά προϊόντα, τα υπολείμματα καλλιεργειών, τα κτηνοτροφικά απόβλητα, τα απόβλητα βιομηχανιών τροφίμων, κλπ.) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για την παραγωγή ενέργειας. Ουσιαστικά πρόκειται για μία δεσμευμένη και αποθηκευμένη μορφή της ηλιακής ενέργειας και οφείλεται στην δραστηριότητα της φωτοσύνθεσης των φυτικών οργανισμών, ενώ είναι η μόνη πηγή ενέργειας με άνθρακα η οποία

βρίσκεται στη φύση και που τα αποθέματά της στη φύση υπάρχουν σε τέτοια επάρκεια ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο των ορυκτών καυσίμων [14].

Υπολογίζεται ότι η βιομάζα που παράγεται κάθε χρόνο στον πλανήτη ανέρχεται σε 172 δις τόνους ξηρού υλικού [20] με ενεργειακό περιεχόμενο δεκαπλάσιο της ενέργειας που καταναλίσκεται παγκοσμίως στο ίδιο διάστημα. Όμως, δεν γίνεται σωστή εκμετάλλευση του τεράστιου αυτού ενεργειακού δυναμικού με αποτέλεσμα να παραμένει κατά το μεγαλύτερο μέρος του αναξιοποίητο, καθώς, σύμφωνα με πρόσφατες εκτιμήσεις, μόνο το 1/7 της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας καλύπτεται από τη βιομάζα και αφορά κυρίως τις παραδοσιακές χρήσεις της (π.χ. καυσόξυλα, κλπ.). Η βιομάζα μπορεί να εφαρμοστεί με απόλυτη επιτυχία στη θέρμανση θερμοκηπίων, στη θέρμανση κτιρίων με ατομικούς ή κεντρικούς λέβητες, στην παραγωγή ενέργειας σε γεωργικές βιομηχανίες, στην παραγωγή ενέργειας σε βιομηχανίες ξύλου, στην τηλεθέρμανση και στην παραγωγή ενέργειας σε μονάδες βιολογικού καθαρισμού και σε Χώρους Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ) [14].

Με τη χρήση της βιομάζας δεν επιβαρύνεται η ατμόσφαιρα με διοξείδιο του θείου (SO_2) που παράγεται κατά την καύση των ορυκτών καυσίμων και συντελεί στο φαινόμενο της όξινης βροχής, καθώς η περιεκτικότητα της βιομάζας σε θείο είναι ελάχιστη και η χρησιμότητά της είναι μεγάλη, μιας και μειώνεται η ενεργειακή εξάρτηση, που είναι αποτέλεσμα της εισαγωγής καυσίμων από τρίτες χώρες. Ακόμα, αξιοποιώντας ενεργειακά την βιομάζα στην ύπαιθρο αυξάνεται η απασχόληση στις αγροτικές περιοχές με τη χρήση εναλλακτικών καλλιεργειών (διάφορα είδη ελαιοκράμβης, σόργο, καλάμι) και δημιουργούνται εναλλακτικές αγορές για τις παραδοσιακές καλλιέργειες. Παράλληλα αυξάνεται η κοινωνικό-οικονομική ανάπτυξη της περιοχής καθώς αξιοποιείται ενεργά ο πληθυσμός στις εστίες του [14].

Το βιοαέριο είναι το αποτέλεσμα της διαδικασίας της αναερόβιας χώνευσης κατά την οποία η οργανική ύλη (απόβλητη και υπολειμματική βιομάζα) αποσυντίθεται παρουσία μικροοργανισμών σε συνθήκες απουσίας οξυγόνου. Το βιοαέριο μπορεί να παραχθεί από ακατέργαστες πρώτες ύλες όπως τα αγροτικά απόβλητα, κοπριά, αστικά απόβλητα, φυτική ύλη, βοθρολύματα, πράσινα απόβλητα ή απορρίμματα τροφών. Είναι ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και σε πολλές περιπτώσεις χρησιμοποιεί ένα πολύ μικρό αποτύπωμα άνθρακα. Η οργανική ύλη των ζωικών λυμάτων περιέχει ενέργεια η οποία δεσμεύεται στα μόριά της, που κατά το μεγαλύτερο μέρος μπορεί να χρησιμοποιηθεί από διάφορους μικροοργανισμούς για τις ανάγκες του μεταβολισμού τους. Η ενέργεια αυτή προέρχεται από την ηλιακή ενέργεια που δεσμεύτηκε στις ζωοτροφές με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης και δεν χρησιμοποιήθηκε από τα ζώα για τις ενεργειακές τους ανάγκες. Η επεξεργασία των λυμάτων αυτών μπορεί να γίνει σε αερόβιες συνθήκες δράσης, όπου ευνοούνται αερόβιοι μικροοργανισμοί, που οξειδώνουν εξ' ολοκλήρου την οργανική ύλη των αποβλήτων και παράγουν σταθερά αβλαβή τελικά προϊόντα όπως CO_2 και H_2O , που όμως δεν έχουν κάποιο ενεργειακό ενδιαφέρον. Αντίθετα, αν οι συνθήκες δράσης είναι αναερόβιες ευνοούνται διάφοροι αναερόβιοι μικροοργανισμοί που οξειδώνουν μερικώς την οργανική ύλη και παράγουν τελικά ένα αέριο μίγμα πλούσιο σε μεθάνιο (CH_4) και συνεπώς με ενεργειακό ενδιαφέρον που ονομάζεται βιοαέριο. Το βιοαέριο είναι άχρωμο με χαρακτηριστική οσμή στάβλου λόγω των διαφόρων προσμίξεων. Σαν τυπική σύσταση θεωρείται 65% CH_4 και 35% CO_2 . Η θερμογόνο δύναμή του κυμαίνεται από 4500kcal έως 7000kcal με τιμή 5,700kcal για την τυπική του σύσταση. Η διαφορά του βιοαερίου με τα ορυκτά καύσιμα είναι ότι αποτελεί μια «καθαρή» μορφή ενέργειας. Αυτό σημαίνει ότι το συνολικό ισοζύγιο των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που παράγεται κατά την καύση του βιοαερίου είναι ισοδύναμο αυτού που απορροφάται κατά την παραγωγή του, και επομένως δεν επιβαρύνει την ατμόσφαιρα. Επειδή το

μεγαλύτερο ποσοστό των αστικών απορριμμάτων αποτελείται από οργανικά στερεά (υπολείμματα τροφής, χαρτιά, κτλ.) παράγεται βιοαέριο και στους Χώρους Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ). Το αέριο χωματερών παράγεται από υγρά οργανικά απόβλητα που αποσυντίθενται κάτω από αναερόβιες συνθήκες σε μια χωματερή [14].

Τα απόβλητα επικαλύπτονται και συμπιέζονται μηχανικά από το βάρος των υλικών που αποτίθενται από πάνω. Στο εσωτερικό του χώρου ταφής λαμβάνει χώρα η αποσύνθεση της οργανικής αυτής ύλης υπό τη δραστηριότητα μικροοργανισμών, όπως βακτήρια και μύκητες. Στην επιφάνεια της απόθεσης υπάρχει αερόβια ζύμωση που δίνει σαν κύρια προϊόντα CO₂ και H₂O. Αντίθετα, στα βαθύτερα στρώματα της απόθεσης η έλλειψη αέρα οδηγεί γρήγορα σε συνθήκες αναερόβιας ζύμωσης που δίνει σαν κύριο προϊόν το βιοαέριο. Η σταθερή παραγωγή βιοαερίου εξασφαλίζεται αφού περάσουν άλλα 3 στάδια, δηλαδή, η αερόβια ζύμωση, η αναερόβια, αλλά όχι μεθανογενής, ζύμωση και η αναερόβια μεθανογενής ασταθής ζύμωση. Αυτές οι 3 φάσεις μπορεί να διαρκέσουν από 180 έως 500 ημέρες ανάλογα με τις συνθήκες της απόθεσης. Κάθε τόνος απορριμμάτων μπορεί να παράγει μέχρι 300m³ βιοαέριο μέσα σε χρονικό ορίζοντα μερικών δεκαετιών. Το πρόβλημα με τη χρήση του βιοαερίου είναι ότι η επεξεργασία του επιβάλλεται να γίνει στο σημείο παραγωγής του, καθώς είναι δύσκολη η υγροποίησή του και η ελαστικότητα στην παραγωγή του είναι μικρή. Χρησιμοποιείται εύκολα στην κτηνοτροφία για θέρμανση στάβλων, ξήρανση ζωοτροφών και ηλεκτροδότηση. Σε χώρες με χαμηλό επίπεδο οικονομικής ανάπτυξης, η χρήση του βιοαερίου στον οικιακό τομέα για μαγείρεμα, φωτισμό και θέρμανση είναι μεγάλης σημασίας. Τα τελευταία χρόνια έχει ενταθεί η τάση για στροφή προς μεγάλες κτηνοτροφικές μονάδες και κατάργηση των μικρών οικογενειακών μονάδων. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να προκύψουν προβλήματα στη διάθεση των ζωικών αποβλήτων, καθώς και στην έκλυση οσμών. Παρόμοια τάση υπάρχει και για τη δημιουργία λιγότερων και μεγαλύτερων ΧΥΤΑ. Έτσι, η εκμετάλλευση του βιοαερίου για παραγωγή ενέργειας και θερμότητας (συμπαγωγή) δίνει τη λύση, ενώ παράλληλα καθιστά τα απόβλητα πηγή εισοδήματος. Μάλιστα με τις νέες τιμές για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από βιοαέριο γίνεται αρκετά γρήγορα η απόσβεση της κατασκευής μιας τέτοιας μονάδας. Ακόμα το βιοαέριο μετά από την επεξεργασία και την αναβάθμισή του, μπορεί να διοχετευθεί σε δίκτυο φυσικού αερίου, ή ακόμα και να χρησιμοποιηθεί για την κίνηση των αυτοκινήτων. Μέχρι την ανακάλυψη της μικροσυμπαγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού τα δύο τρίτα (2/3) όλης της ενέργειας που παραγόταν από αναερόβια χώνευση χανόταν (ως θερμότητα), αλλά χρησιμοποιώντας το δίκτυο μεταφοράς του αερίου στους καταναλωτές, ο ηλεκτρισμός και η θερμότητα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για επιτόπια παραγωγή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των απωλειών στη μεταφορά της ενέργειας. Οι τυπικές απώλειες ενέργειας στα συστήματα μεταφοράς στο φυσικό αέριο ποικίλουν από 1% έως 2%. Οι τρέχουσες απώλειες ενέργειας σε μεγάλα ηλεκτρικά συστήματα ποικίλουν από 5% έως 8% [14].

Θαλάσσια Ενέργεια

Η θάλασσα καλύπτει ένα μεγάλο μέρος του πλανήτη και ταυτόχρονα «περιέχει» μεγάλα ποσά ενέργειας μέσω των κυμάτων, των παλιρροιών, των θαλάσσιων ρευμάτων και των θερμοκρασιακών διαφορών. Στη συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικά οι συγκεκριμένες μορφές θαλάσσιας ενέργειας [14]:

Κύματα

Η προφανέστερη μορφή ενέργειας της θάλασσας είναι οι κυματισμοί και γι' αυτό η ιδέα για την εκμετάλλευσή τους δεν είναι νέα καθώς η πρώτη ευρεσιτεχνία χρονολογείται στα 1799, ενώ λόγω της μεγάλης πετρελαϊκής κρίσης κατά τη δεκαετία του 1970 πλήθος άλλων τεχνολογιών επινοήθηκαν.

Τέτοιες κατασκευές αποτελούν πλωτές δεξαμενές που γεμίζουν με τα κύματα και εκμεταλλεύονται την υψομετρική διαφορά, καθώς και πλωτήρες που μετατρέπουν τη παλινδρομική κίνηση των κυμάτων σε ηλεκτρική μέσω μηχανικών ή υδραυλικών συστημάτων. Αξίζει να αναφερθεί, όπως έχει αξιολογηθεί ότι η αξιοποίηση του 1% του κυματικού δυναμικού του πλανήτη θα κάλυπτε στο τετραπλάσιο την παγκόσμια ενεργειακή ζήτηση. Μεταξύ των μορφών ΑΠΕ, τα κύματα έχουν το ιδίωμα της υψηλότερης ενεργειακής πυκνότητας, καθώς για παράδειγμα σε ημερήσια βάση, η ενέργεια κυματισμού ύψους 1m μπορεί -σε μέτωπο πλάτους μόλις 1μm- να ξεπεράσει τις 300kWh. Από την ενέργεια αυτή θα μπορούσε να μετατραπεί σε ηλεκτρισμό τουλάχιστον το 5%-10%, δηλαδή περίπου 15-30kWh ημερησίως [14].

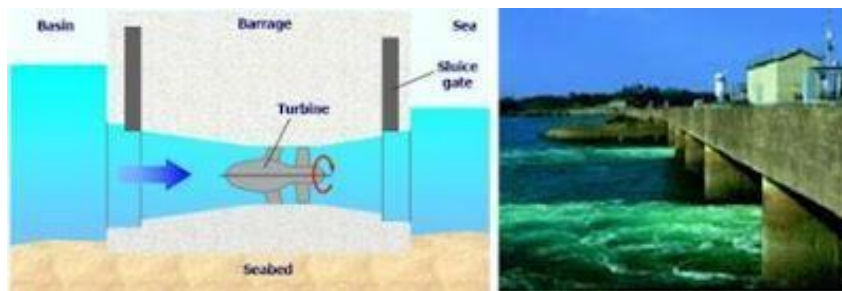
Η παραγωγή ενέργειας από τα κύματα συγκεντρώνει τα περισσότερα πλεονεκτήματα των ΑΠΕ ενώ, σε αντίθεση με τις υπόλοιπες, οι εγκαταστάσεις κυματικής ενέργειας δεν δεσμεύουν γη, ενώ η οπτική και ακουστική ενόχληση είναι σχεδόν μηδενική. Το μειονέκτημα είναι ότι υπάρχουν και δυσκολίες στην εφαρμογή καθώς οι κυματισμοί είναι τυχαίοι ως προς την διεύθυνση, το ύψος και τη φάση, ενώ και οι φορτίσεις που θα πρέπει να αντέχουν σε περιπτώσεις ακραίων καιρικών φαινομένων μπορεί να είναι εκατό (100) φορές μεγαλύτερες από τις μέσες φορτίσεις που δέχονται οι κατασκευές σε συνήθεις καταστάσεις λειτουργίας [21]. Αξίζει να αναφερθούν το σύστημα με πλωτήρες διαμέτρου 2m το οποίο έχει κατασκευασθεί και δοκιμασθεί με επιτυχία από την ελληνική εταιρεία Κυματική Ενέργεια Α.Ε., καθώς και ένα άλλο σύστημα με πλωτές δεξαμενές στις ακτές της Δανίας, που και αυτό έχει εφαρμοσθεί με επιτυχία [14].

Παράλληλα, η ενέργεια των κυματισμών γίνεται εκμεταλλεύσιμη με τα πλωτά αρθρωτά συστήματα τα οποία στις αρθρώσεις φέρουν αντλίες, οι οποίες με τις κινήσεις των κυματισμών συμπιέζουν υδραυλικό υγρό και δίνουν κίνηση σε υδραυλικούς κινητήρες. Μια τέτοια εφαρμογή είναι το σύστημα Pelamis, της βρετανικής εταιρείας Pelamis Wave Power, ονομαστικής ισχύος 750kW, το οποίο έχει ήδη δοκιμασθεί με επιτυχία σε διασυνδεδεμένη λειτουργία, ενώ ετοιμάζονται κυματικά πάρκα με πολλές μηχανές Pelamis στις πορτογαλικές, σκοτσέζικες και βρετανικές ακτές. Τέλος, υπάρχει και η παλλόμενη στήλη ύδατος, που είναι ένας θάλαμος αέρος βυθισμένος κατακόρυφα στο μισό μήκος του περίπου και ανοικτό από την πλευρά του πυθμένα. Η παλινδρομική κίνηση της θαλάσσιας επιφάνειας προκαλεί ρυθμική συμπίεση-αποσυμπίεση της αέριας μάζας μέσα στο θάλαμο, η οποία χρησιμοποιείται για την κίνηση αεροστρόβιλου [14].

Σταθμοί της κατηγορίας αυτής έχουν εγκατασταθεί στις Πορτογαλικές Αζόρες (Portuguese Azores) και στη νήσο Άιλα (Islay) στη βόρεια Σκωτία [14].

Παλίρροια

Με την κατασκευή ενός φράγματος στην είσοδο ενός κόλπου ή θαλάσσιου διαύλου, επιτυγχάνεται η εκμετάλλευση των αυξομειώσεων της στάθμης της θάλασσας, κατά την παλίρροια, δημιουργώντας με τον τρόπο αυτό μία φυσική δεξαμενή, στην οποία εισέρχεται το νερό με την άνοδο της παλίρροιας μέσα από υδατοφράκτες, οι οποίοι κλείνουν όταν η παλίρροια φτάσει στο μέγιστο σημείο (ζενίθ). Οι υδατοφράκτες ανοίγουν πάλι στο κατώτερο σημείο (ναδίρ) της παλίρροιας, επιτρέποντας την έξοδο του νερού διά μέσου υδροστροβίλων. Αντιπροσωπευτικό παράδειγμα αποτελεί ο σταθμός που κατασκευάστηκε τη δεκαετία του 1960 στη γαλλική πόλη LaRance, συνολικής ισχύος 240MW, ο οποίος λειτουργεί από τότε με επιτυχία. Η **Εικόνα 2** απεικονίζει τον τρόπο λειτουργίας του σταθμού καθώς και την απελευθέρωση των υδάτων κατά τη διάρκεια των πρωινών ωρών [14].



Εικόνα 2: Ο σταθμός στη LaRance [22]

Θερμική ενέργεια

Η θαλάσσια θερμική ενέργεια αναφέρεται στην αξιοποίηση της θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ του θερμότερου επιφανειακού νερού και του ψυχρότερου νερού σε μεγαλύτερο βάθος για να προκύψει η θερμική ενέργεια των ωκεανών. Η διαφορά αυτή πρέπει να είναι τουλάχιστον 3.5°C και η απόδοση κυμαίνεται στα 40-70kW ανά μέτρο μετώπων κύματος. Επειδή το κόστος μεταφοράς της ενέργειας στη στεριά είναι ιδιαίτερα υψηλό, δεν έχει εφαρμοσθεί σε μεγάλη κλίμακα [14].

Θαλάσσια ρεύματα

Μια μεγάλη πηγή ενέργειας της θάλασσας αποτελούν τα θαλάσσια ρεύματα και είναι σχετικά πιο εύκολα εκμεταλλεύσιμη, καθώς η αξιοποίησή της παρουσιάζει πολλές ομοιότητες με την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας. Τα θαλάσσια ρεύματα μπορεί να προκαλούνται, είτε λόγω θερμοκρασιακών διαφορών, είτε λόγω της παλίρροιας. Τα ρεύματα αυτά, είναι ισχυρά και θεωρούνται ιδιαίτερα κατάλληλα για ενεργειακή αξιοποίηση επειδή εμφανίζονται σε σχετικά μικρά βάθη. Λόγω της πολύ μεγαλύτερης πυκνότητας του ύδατος σε σχέση με το νερό, το μέγεθος ενός στροβίλου παλιρροιακού ρεύματος είναι περίπου το ένα τέταρτο (1/4) από αυτό μίας ανεμογεννήτριας της ίδιας ηλεκτρικής ισχύος. Ένα αξιοσημείωτο κίνητρο για την εκμετάλλευση των θαλασσιών ρευμάτων είναι ότι η οπτική και ακουστική όχληση από στροβίλους παλιρροιακών ρευμάτων είναι ελάχιστη. Στην Ευρώπη, αξιοποιήσιμα παλιρροιακά ρεύματα εντοπίζονται στα στενά της Μάγχης και στη νότια Ιρλανδία. Επίσης ρεύματα, μεγάλου βαθμού, απαντώνται στην περιοχή της Μεσσίνας στην Ιταλία, καθώς και στο Αιγαίο Πέλαγος, με γνωστότερο το ρεύμα του Ευρίπου.

Ήδη στην Ευρώπη έχουν εγκατασταθεί και λειτουργούν με επιτυχία αρκετοί πιλοτικοί σταθμοί, παρά το γεγονός ότι η συστηματική έρευνα στον τομέα αυτό ξεκίνησε την τελευταία δεκαετία. Ο πιο πρόσφατος εγκατεστημένος σταθμός είναι το Sea Gen Tidal System στο Strangford Lough της Β. Ιρλανδίας, 400m από την ακτή, το οποίο είναι το μεγαλύτερο στον κόσμο σύστημα παραγωγής ενέργειας από παλιρροιακά ρεύματα, με δυναμικότητα που ανέρχεται στα 1,2MW [14].

2.3.2 Χρήση καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα και βιοκαύσιμα 1ης και 2ης γενιάς

Η ανάγκη δημιουργίας μιας νέας γενιάς καυσίμων με ουσιαστικά χαμηλές εκπομπές άνθρακα για τον περιορισμό του φαινομένου του θερμοκηπίου είναι ιδιαίτερα επείγουσα. Τα εναλλακτικά καύσιμα, όπως το υγραέριο (Liquefied Petroleum Gas - LPG), το συμπιεσμένο φυσικό αέριο (Compressed Natural Gas - CNG), το υδρογόνο (H₂), καθώς και τα βιοκαύσιμα, προσφέρουν μειώσεις των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου από 10% έως 50% κατά τη διάρκεια ολόκληρου του κύκλου ζωής, φυσικά κατ' αναλογία με το πώς παράγονται και πού χρησιμοποιούνται. Το υψηλότερο κόστος, η

περιορισμένη αυτονομία, η έλλειψη της προσφοράς καυσίμων και υποδομών ανεφοδιασμού, καθώς και η ανάγκη για ειδικά σχεδιασμένους κινητήρες αποτελούν βασικά μειονεκτήματα των συγκεκριμένων καυσίμων. Τα καύσιμα υποκατάστασης, και ιδιαίτερα τα βιοκαύσιμα, επιπλέον παρεμποδίζονται στη χρήση τους σε μεγάλο βαθμό, καθώς πρέπει να αναμειχθούν με καύσιμα πετρελαίου για να χρησιμοποιηθούν, αλλά υπόσχονται μείωση των εκπομπών στις μεταφορές κατά τη διάρκεια των επόμενων 15 ετών έως και 20% [14].

Τα οχήματα που χρησιμοποιούν υγραέριο (LPG) μπορούν να συμβάλλουν στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά σχεδόν 20% σε σύγκριση με τα βενζινοκίνητα οχήματα. Παράλληλα, το δυναμικό του υγραερίου, ως ένα μεγάλης κλίμακας καύσιμο μεταφοράς, είναι περιορισμένο λόγω του ότι τα αποθέματα είναι πολύ μικρότερα από εκείνα του αργού πετρελαίου και του φυσικού αερίου. Τέλος, το φυσικό αέριο (CNG) μπορεί να μειώσει τις εκπομπές CO₂ κατά περίπου 30%, και είναι εύκολο να δημιουργηθεί καθώς σχεδόν παντού υπάρχει υποδομή ανεφοδιασμού φυσικού αερίου. Η εκτεταμένη χρήση του φυσικού αερίου που χρησιμοποιείται ευρέως για τη θέρμανση κτιρίων ως αντικατάσταση του πετρελαίου, με μειωμένα έξοδα αλλά και μειωμένες εκπομπές, αποτελεί ένα κύριο πλεονέκτημα στην αναζήτηση βιοκαυσίμων για την παρεμπόδιση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Επίσης τα τελευταία χρόνια το φυσικό αέριο χρησιμοποιείται αρκετά και για την ηλεκτροπαραγωγή [14].

Τα βιοκαύσιμα που παράγονται από διάφορα φυτά, αλλά κυρίως από τη куτταρίνη, το ζαχαροκάλαμο, τη σόγια και το καλαμπόκι, τα οποία αφού καλλιεργηθούν και συλλεχθούν οδηγούνται σε ειδικούς μύλους λαμβάνοντας την λεγόμενη αιθανόλη, αποτελούν ένα άλλο είδος βιοκαυσίμων. Η χρήση της αιθανόλης συντελεί στη μείωση των εκπομπών, αλλά και τη μειωμένη κατανάλωση ορυκτών καυσίμων, όμως προτού χρησιμοποιηθεί, χρειάζεται να αναμειχθεί με πετρέλαιο ή βενζίνη μέχρι ένα ποσοστό, το οποίο εξαρτάται από την τεχνολογία της μηχανής που θα χρησιμοποιηθεί. Τονίζοντας το περιβαλλοντικό όφελος από μια τέτοια διαδικασία, είναι αναγκαίο να ληφθεί υπόψη ολόκληρος ο κύκλος ζωής της αιθανόλης και συνεπώς να συγκαταλεγούν στις εκπομπές και εκείνες από τα μηχανήματα που συνέβαλλαν στη σπορά, τη συλλογή και τη μεταφορά, καθώς και από το μύλο που έγινε η επεξεργασία [14].

Τα βιοκαύσιμα 2^{ης} γενιάς τα οποία παράγονται από τα αγροτικά υπολείμματα, από τα παραπροϊόντα επεξεργασίας ξύλου και από τα βιομηχανικά και αστικά οργανικά απόβλητα θα αποτελούσαν την ιδανική λύση έναντι εκείνων που παράγονται από την куτταρίνη γιατί με αυτόν τον τρόπο δεν θα δημιουργείται αντιπαλότητα μεταξύ διατροφικών καλλιεργειών και πρώτων υλών βιοκαυσίμων, ενώ παράλληλα αυξάνεται και ο βαθμός μετατροπής άνθρακα σε τελικό προϊόν με σχετικά χαμηλό κόστος και ανταγωνιστικές τιμές τελικού προϊόντος. Οι μέχρι στιγμής επικρατέστερες τεχνολογίες είναι η ενζυματική υδρόλυση λιγνοκυτταρινικού υλικού και οι θερμοκαταλυτικές διεργασίες. Η αποδοτικότητα τους εξαρτάται από τις υπάρχουσες υποδομές, αλλά και από τη σύσταση της διαθέσιμης πρώτης ύλης, καθώς και από τη χρήση τηλεθέρμανσης για αεριοποίηση των βιοκαυσίμων. Τέλος, με την παράλληλη καύση άνθρακα προκειμένου να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια αυξάνεται η απόδοση, ενώ παράλληλα, μειώνονται οι εκπομπές CO₂ λόγω αντικατάστασης του άνθρακα [14].

Η παραγωγή βιοκαυσίμων μέσω θερμοκαταλυτικών διαδικασιών έχει ως βασικά πλεονεκτήματα τη χρήση των υπαρχουσών υποδομών, τον υψηλό βαθμό μετατροπής άνθρακα σε τελικό προϊόν, την παραγωγή προϊόντων συμβατών με τα σημερινά καύσιμα και το χαμηλό κόστος λειτουργίας, όμως

το μεγάλο αρχικό κόστος επένδυσης, σε περίπτωση νέων εγκαταστάσεων, και η ανάγκη για μεγάλες ποσότητες βιομάζας σαν πρώτη ύλη μειώνουν την ευκολία χρήσης αυτής της μεθόδου [23]. Αντίθετα, με την ενζυματική υδρόλυση λιγνοκυτταρινικού υλικού επιτυγχάνεται χαμηλότερο κόστος επένδυσης, ενώ παράλληλα αποτελεί φιλικότερη διαδικασία ως προς το περιβάλλον σε σύγκριση με την προηγούμενη μέθοδο. Τέλος, έχει προϊόντα υψηλού αριθμού οκτανίων [24].

Ωστόσο, η συγκεκριμένη μέθοδος παρουσιάζει αρκετά μειονεκτήματα ανάμεσα στα οποία είναι το υψηλό λειτουργικό κόστος λόγω αυξημένης ζήτησης νερού και ενέργειας, η μερική μετατροπή (66%) του άνθρακα της βιομάζας σε αιθανόλη και η περιορισμένη συμβατότητα με τις υπάρχουσες υποδομές μεταφοράς και αποθήκευσης [23].

2.3.3 Βελτίωση ενεργειακής απόδοσης

Παρά το γεγονός ότι η παραγωγή ενέργειας με συμβατές και φιλικές προς το περιβάλλον μεθόδους αποτελεί ικανοποιητική λύση, δεν αρκεί για την αντιμετώπιση του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής. Το ποσό της ενέργειας που απαιτείται για την παροχή προϊόντων και υπηρεσιών είναι αναγκαίο να μπορεί να μειώνεται για να θεωρηθεί ότι χρησιμοποιείται η ενέργεια αποδοτικά. Στόχος, λοιπόν, είναι η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης στα κτίρια, στις μεταφορές και στη βιομηχανία για το μετριασμό των εκπομπών [14].

Αναλυτικότερα:

Κτίρια

Η ελλιπής θερμομόνωση του σκελετού και των κουφωμάτων των κτιρίων που είναι χτισμένα πριν το 1990 έχουν ως αποτέλεσμα την πολύ χαμηλή ενεργειακή αποδοτικότητα, ενώ ακόμα και σε καινούρια κτίρια, η αποδοτικότητα είναι μειωμένη λόγω λανθασμένου προσανατολισμού, χωροκατανομής και σχεδιασμού [25]. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να αυξάνεται το ενδιαφέρον και συνάμα η ανάγκη για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων και γενικά ενός πιο προσεγγμένου σχεδιασμού όσον αφορά στην απαίτηση των κτιρίων σε ενέργεια για ψύξη, θέρμανση και φωτισμό. Η θέση και το περιβάλλον του κτιρίου διαδραματίζουν βασικό ρόλο, όπως για παράδειγμα τα δέντρα και οι λόφοι που μπορούν να παρέχουν σκιά και άνεμο στη ρύθμιση της θερμοκρασίας και στο φωτισμό του κάθε κτιρίου. Σε περιοχές με ψυχρότερα κλίματα, ο σχεδιασμός των κτιρίων με νότιο προσανατολισμό στα παράθυρα αυξάνει την ποσότητα του ήλιου και κατά συνέπεια της θερμικής ενέργειας, που εισέρχονται στο κτίριο, ενώ κάτι ανάλογο μπορεί να γίνει και με παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης. Επιπλέον, στέγες σχεδιασμένες με σκούρο χρώμα είναι ενεργειακά αποδοτικότερες κατά 39°C σε σχέση με λευκές ανακλαστικές επιφάνειες, με αποτέλεσμα ένα μέρος αυτής της επιπλέον θερμότητας να μεταδίδεται στο εσωτερικό του κτιρίου. Αντίστοιχα είναι και τα αποτελέσματα για θερμά κλίματα σχετικά με τις απαιτήσεις σε ενέργεια για ψύξη με τη χρήση του λευκού χρώματος στις στέγες. Αξίζει να αναφερθεί ότι μία σωστή τοποθέτηση παραθύρων και φεγγιτών, καθώς και η χρήση των αρχιτεκτονικών στοιχείων που αντανακλούν το φως σε ένα κτίριο μπορεί να μειώσει την ανάγκη για τεχνητό φωτισμό.

Παράλληλα, η επιλογή καυσίμου (δηλ. φυσικό αέριο ή πετρέλαιο), καθώς και της τεχνολογίας θέρμανσης ή ψύξης χώρων μπορεί να έχει σημαντικές επιπτώσεις στη χρήση της ενέργειας και της αποδοτικότητας. Συγκεκριμένα, αν αντικαταστήσουμε έναν παλαιότερο φούρνο φυσικού αερίου αποδοτικότητας 50% με ένα νέο αποδοτικότητας 95% μπορεί να μειωθεί ουσιαστικά η χρήση της

ενέργειας, των εκπομπών CO₂, καθώς και το κόστος για φυσικό αέριο τον χειμώνα. Οι αντλίες θερμότητας μπορεί να είναι πολύ αποδοτικές, ενεργειακά και οικονομικά, καθώς χρησιμοποιούν τέσσερις (4) φορές λιγότερη ηλεκτρική ενέργεια για να προσφέρουν ισοδύναμο ποσό θερμότητας σε σχέση με μια ηλεκτρική θερμάστρα. Επίσης, υπάρχει δυνατότητα αντιστροφής της λειτουργίας της το καλοκαίρι ώστε να λειτουργεί για την ψύξη του αέρα με τη μεταφορά θερμότητας από το κτίριο προς το έδαφος. Παρόλα αυτά το αρχικό κόστος επένδυσης είναι αρκετά υψηλό, αλλά μπορεί να αποσβεστεί σε διάστημα 5-10 ετών [14].

Μεταφορές

Ο τομέας των μεταφορών αποτελεί την πρώτιστη μέριμνα των κρατικών υπηρεσιών, καθώς η αποδοτικότητα των μεταφορών αποτελεί βασικό στόχο, μιας και περίπου το ένα τρίτο (1/3) των εκπομπών οφείλεται σε αυτές. Έτσι το ενδιαφέρον των εταιριών παραγωγής κινητήρων, από κινητήρες αεροσκαφών μέχρι αυτοκινήτων, έχει στραφεί περισσότερο προς τη μείωση των εκπομπών και τη μείωση κατανάλωσης καυσίμου, παρά προς της αύξηση της ισχύος. Το συγκεκριμένο γεγονός προέκυψε από την ανάγκη τήρησης των προδιαγραφών των εκπεμπόμενων ρύπων, καθώς και της μείωσης του κόστους χρήσης, είτε είναι αεροπλάνο, οπότε και μείωση των εξόδων της εταιρείας, είτε πρόκειται για αυτοκίνητο, οπότε μείωση του κόστους της βενζίνης για τον καθημερινό καταναλωτή. Με τον τρόπο αυτό παρατηρούνται ολοένα και περισσότερα αυτοκίνητα με σύστημα “start and stop”, σύστημα ανάκτησης ενέργειας κατά το φρενάρισμα, μικρότερους συντελεστές οπισθέλκουσας, ακόμα και μικρούς κινητήρες με τούρμπο σε μεγάλα αυτοκίνητα, ενώ παράλληλα η εξέλιξη και η παραγωγή υβριδικών αυτοκινήτων αυξάνεται με ιδιαίτερα ταχείς ρυθμούς [14].

Βιομηχανία

Ένα μεγάλο ποσό ενέργειας καταναλώνεται από τον τομέα της βιομηχανίας προκειμένου να ενισχύσει ένα ευρύ φάσμα της παραγωγής. Αυτές οι βιομηχανικές διαδικασίες απαιτούν μεγάλες ποσότητες θερμότητας και μηχανικής ενέργειας, τις περισσότερες εκ των οποίων τις λαμβάνουν από το φυσικό αέριο, τα καύσιμα πετρελαίου και ως επί το πλείστον την ηλεκτρική ενέργεια. Επειδή όμως οι βιομηχανικές διαδικασίες είναι τόσο διαφορετικές, είναι αδύνατο να περιγραφεί το πλήθος των πιθανών ευκαιριών για την ενεργειακή απόδοσή τους. Νέες τεχνολογίες και διαδικασίες, φιλικότερες προς το περιβάλλον, μπορεί να βελτιώσουν την ενεργειακή απόδοση. Ωστόσο, υπάρχουν μια σειρά από διαδικασίες και ενεργειακές υπηρεσίες που χρησιμοποιούνται ευρέως σε πολλές βιομηχανίες. Διάφορες βιομηχανίες παράγουν ατμό και ηλεκτρισμό για μετέπειτα χρήση εντός των εγκαταστάσεών τους. Όταν παράγεται ηλεκτρική ενέργεια, η παραγόμενη θερμότητα μπορεί να αξιοποιηθεί και να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ατμού, θέρμανσης ή άλλους βιομηχανικούς σκοπούς. Συμβατική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας έχει περίπου απόδοση 30%, ενώ η συνδυασμένη παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού (συμπαραγωγή) μετατρέπει έως και 90% των καυσίμων σε ωφέλιμη ενέργεια. Οι τεχνολογίες αυτές είναι πιο αποδοτικές και παράγουν λιγότερους ρύπους. Ακόμα, πάνω από το 45% των καυσίμων που χρησιμοποιούνται από τους κατασκευαστές των ΗΠΑ έχει χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ατμού. Η τυπική βιομηχανική εγκατάσταση μπορεί να μειώσει αυτή τη χρήση ενέργειας κατά 20% με μονωτικό ατμού και συμπυκνωμάτων, γραμμές επιστροφής συμπυκνωμάτων και σταματώντας τις διαρροές ατμού με τακτική συντήρηση. Επιπρόσθετα, οι ηλεκτροκινητήρες συνήθως λειτουργούν με σταθερή ταχύτητα, αλλά μια μεταβλητή ταχύτητα επιτρέπει την παραγωγή ενέργειας του κινητήρα να ταιριάζει με το απαιτούμενο φορτίο,

ενώ επιτυγχάνει και εξοικονόμηση ενέργειας που κυμαίνεται από 3% έως 60%, ανάλογα με τη χρήση του κινητήρα.

Οι αντλίες και οι συμπιεστές που χρησιμοποιούνται στις βιομηχανικές μονάδες σε μια ευρεία ποικιλία εφαρμογών είναι εξαιρετικά αποτελεσματικές, αλλά η αποτελεσματικότητα αυτών των αντλιών και συμπιεστών εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Όμως συχνά, μπορούν να γίνουν βελτιώσεις με την εφαρμογή καλύτερου έλεγχου της διαδικασίας και καλύτερης συντήρησης [14].

2.3.4 Ανάπτυξη νεφών - ανάκλαση ηλιακής ακτινοβολίας

Η ιδιότητα της Γης να ανακλά την ηλιακή ακτινοβολία είναι γνωστή και ως “albedo” και οι μέθοδοι για την αύξηση αυτής της ανακλαστικής ιδιότητας είναι γνωστές ως “βελτίωση του albedo”. Επιστήμονες προτείνουν ως λύση ενάντια στην παγκόσμια θέρμανση την αύξηση της ποσότητας της ηλιακής ενέργειας που ανακλάται πίσω στο διάστημα. Μια φυσική μέθοδος ανάκλασης ηλιακής ακτινοβολίας αποτελούν τα σύννεφα καθώς είναι λευκά οπότε ανακλούν άμεσα το φως του ήλιου. Αν αυξάνονταν τα σύννεφα, θα αυξανόταν και η ποσότητα της ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας. Όμως η αύξηση της νεφοκάλυψης θα επηρέαζε τις καιρικές συνθήκες, γεγονός που θα επηρέαζε τις ανθρώπινες δραστηριότητες αλλά και τη ψυχολογική κατάσταση των ανθρώπων. Ως εκ τούτου, μία άλλη πρόταση είναι να αυξηθεί η νεφοκάλυψη στον ανοιχτό ωκεανό με μία μέθοδο η οποία χρησιμοποιεί ειδικά σχεδιασμένα πλοία τα οποία ωθούν το νερό των ωκεανών στον αέρα. Οι υποστηρικτές της ιδέας αυτής ισχυρίζονται ότι με την ώθηση προς τα έξω περίπου 50m³ ωκεάνιου ύδατος ανά δευτερόλεπτο θα αντισταθμιστεί ο διπλασιασμός των σημερινών συγκεντρώσεων CO₂ [14].

Εκτός από την αύξηση της νεφοκάλυψης στους ωκεανούς προτάθηκε οτιδήποτε μπορεί να βαφεί άσπρο χρώμα, όπως δρόμοι, στέγες, κ.α., καθώς δύναται να συμβάλλει θετικά στην ανάκλαση της ηλιακής ακτινοβολίας. Παρ’ όλα αυτά, η βαφή των δρόμων με άσπρο χρώμα θα είχε αρνητική επίπτωση στους οδηγούς, μιας και δρόμοι άσπρου χρώματος μια ημέρα με αρκετό ήλιο θα δημιουργούσαν έντονη ανάκλαση φωτός με κίνδυνο την πρόκληση σοβαρών τροχαίων ατυχημάτων. Μια άλλη ενδιαφέρουσα πρόταση αποτελεί η κάλυψη της Σαχάρας, της Αραβικής ερήμου και της ερήμου Γκόμπι, με κάλυμμα πολυαιθυλενίου. Έχει υπολογιστεί ότι ένα τέτοιο εγχείρημα θα καθυστερούσε τις συνέπειες της υπερθέρμανσης του πλανήτη κατά 60 χρόνια. Σύμφωνα με αυτό το φιλόδοξο σχέδιο 67,000 τετραγωνικά μίλια ερήμου θα καλύπτονταν με ένα γυαλιστερό πλαστικό, το οποίο θα έπρεπε να ανανεώνεται κάθε χρόνο για διάρκεια 60 χρόνων [26]. Το πλαστικό κάλυμμα θα έπρεπε να διατηρείται και περιοδικά να αντικαθίσταται. Η πρόωρη απομάκρυνση του θα είχε ραγδαία επίπτωση στην υπερθέρμανση του πλανήτη. Ωστόσο, τα μειονεκτήματα αυτής της προσέγγισης είναι η πιθανότητα κρίσιμων και απρόβλεπτων αλλαγών των καιρικών συνθηκών σε εκτεταμένες περιοχές, καθώς και σημαντικές κλιματικές αλλαγές σε τοπικό, περιφερειακό ακόμα και πλανητικό επίπεδο. Επίσης, η κάλυψη των ερήμων θα μπορούσε να επιδεινώσει τα επίπεδα της φτώχειας στην Αφρική και να προκαλέσει διαταραχές - πιθανότατα αρνητικές - σε κάθε μορφή ζωής στις περιοχές της ερήμου που θα καλύπτονταν. Η σκόνη από τη Σαχάρα είναι γνωστό ότι ταξιδεύει χιλιάδες χιλιόμετρα και μεταφέρει θρεπτικά συστατικά μέχρι τον Ατλαντικό Ωκεανό, αποτελώντας βασικό κομμάτι της τροφικής αλυσίδας του ωκεανού, αλλά επειδή το πλαστικό κάλυμμα της ερήμου κατασκευάζεται από πετρέλαιο, τα κοιτάσματα του οποίου σταδιακά εξαντλούνται, η βιομηχανική παραγωγή πλαστικού θα συνέβαλε στην αύξηση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου [14].

Σε αυτή την κατηγορία μετριασμού περιλαμβάνονται και τα θειικά άλατα, τα οποία απελευθερώνονται όταν εκρήγνυνται ηφαιστεια, τα οποία είναι γνωστό ότι μειώνουν τη θερμοκρασία σε παγκόσμιο επίπεδο προκαλώντας ανάκλαση της ηλιακής ακτινοβολίας πίσω στο διάστημα. Ορισμένοι επιστήμονες προτείνουν αύξηση των επιπέδων θειικών αλάτων στην ατμόσφαιρα μέσω προσομοίωσης μιας ηφαιστειακής έκρηξης. Για να φτάσει όμως το θείο μέχρι τη στρατόσφαιρα, είναι αναγκαία η χρήση δεκάδων χιλιάδων μπαλονιών, ναυτικών κανονιών, μεγάλων καμινάδων και ειδικά σχεδιασμένων αεροσκαφών. Μια άλλη εκδοχή είναι να αυξηθούν οι εκπομπές θειικών αλάτων των συμβατικών αεροσκαφών με τη χρήση καυσίμων με αυξημένη περιεκτικότητα σε θείο. Υπολογίζεται ότι 5 εκατομμύρια τόνοι θείου θα χρειαζόνταν κάθε χρόνο για να ισορροπήσει με ένα διπλασιασμό στη συγκέντρωση CO₂. Στην ουσία όμως η μέθοδος αυτή είναι πιθανά καταστροφική γιατί θα δημιουργήσει περισσότερη μόλυνση, καθώς τα θειικά άλατα προκαλούν ελάττωση του πάχους του στρώματος του όζοντος της ατμόσφαιρας, ενώ στο τέλος θα επιστρέψουν στο έδαφος με άγνωστες συνέπειες για τα οικοσυστήματα. Οι κυβερνήσεις έχουν προσπαθήσει να μειώσουν τις εκπομπές θειικών αερίων καθώς αυτές προκαλούν όξινη βροχή, διότι σύμφωνα με τον νομπελίστα Πολ Κρουζάν (Paul Crutzen), τα θειικά αερολύματα (αεροζόλ) αποτελούν την ύστατη λύση ενάντια στην υπερθέρμανση του πλανήτη, ενώ περίπου μισό εκατομμύριο θάνατοι θα προέλθουν ως αποτέλεσμα της σωματιδιακής μόλυνσης.

Τέλος, οι αγρότες θα μπορούσαν να βοηθήσουν στον περιορισμό της αύξησης της θερμοκρασίας του πλανήτη, με την ανάπτυξη κατάλληλων ποικιλιών από φυτά τα οποία να αντανakλούν περισσότερο φως του ήλιου στο διάστημα, μέθοδος που χρειάζεται να γίνει εκτεταμένα για να φτάσει σε ικανοποιητικά επίπεδα βελτίωσης το “albedo”. Το σιτάρι, το καλαμπόκι, το κριθάρι και το σόργο αντανakλούν την ηλιακή ενέργεια με διαφορετικό τρόπο, ανάλογα με το πόσο κηρώδης είναι η επιφάνεια ενός φυτού (το καλαμπόκι για παράδειγμα έχει μια αρκετά μεγάλη κηρώδη επικάλυψη των φύλλων του οπότε αυξάνει το “albedo”), ποιά είναι η διάταξη των φύλλων ή πόσο τριχωτά είναι. Όπως και με τα αγροκαύσιμα, κάτι τέτοιο μπορεί να έχει μελλοντικά επίδραση στις τιμές των τροφίμων και στο ρυθμό αποψίλωσης των δασών, λόγω της αλλαγής χρήσης της γης και να αυξήσει την χρήση των γενετικά μεταλλαγμένων καλλιεργήσιμων φυτών [14].

Κεφάλαιο 3. Μεθοδολογικό πλαίσιο αξιολόγησης επιλογών μετριασμού της κλιματικής αλλαγής με τη χρήση δεικτών

3.1 Εισαγωγή

Πλήθος μελετών και ακαδημαϊκών δημοσιεύσεων πλαισιώνει τη διεθνή βιβλιογραφία σχετικά με τις μεθοδολογίες αξιολόγησης επιλογών μετριασμού της κλιματικής αλλαγής. Ανάλογα με το είδος των δεδομένων που χρησιμοποιούν και των αποτελεσμάτων - πληροφορίας που παρουσιάζουν, οι μεθοδολογίες αυτές διακρίνονται σε ποσοτικές (quantitative), ποιοτικές (qualitative) και ημι-ποσοτικές (semi-quantitative). Η ποσοτική έρευνα χρησιμοποιείται για την ποσοτικοποίηση του εκάστοτε προβλήματος με τη δημιουργία αριθμητικών δεδομένων ή δεδομένων που μπορούν να μετατραπούν σε χρήσιμες στατιστικές. Χρησιμοποιείται για να ποσοτικοποιήσει τις στάσεις, τις απόψεις, τις συμπεριφορές και άλλες καθορισμένες μεταβλητές και να γενικεύσει τα αποτελέσματα από μεγαλύτερο δείγμα πληθυσμού. Οι ποσοτικές μεθοδολογίες χρησιμοποιούν μετρήσιμα δεδομένα για τη διατύπωση στοιχείων και την αποκάλυψη προτύπων. Οι μέθοδοι ποσοτικής συλλογής δεδομένων είναι πολύ πιο δομημένες από τις μεθόδους συλλογής ποιοτικών δεδομένων και περιλαμβάνουν διάφορες μορφές ερευνών, όπως επιγραμμικές έρευνες, έρευνες σε χαρτί, προσωπικές συνεντεύξεις, τηλεφωνικές συνεντεύξεις, διαχρονικές μελέτες, διαδικτυακούς σταθμούς παρακολούθησης, ηλεκτρονικές δημοσκοπήσεις και συστηματικές παρατηρήσεις.

Από την άλλη μεριά, η ποιοτική έρευνα είναι πρωτίστως διερευνητική έρευνα και χρησιμοποιείται για να κατανοήσει τους βασικούς λόγους, τις απόψεις και τα κίνητρα. Παρέχει πληροφορίες για το πρόβλημα ή βοηθά στην ανάπτυξη ιδεών ή υποθέσεων για πιθανή ποσοτική έρευνα. Η ποιοτική έρευνα χρησιμοποιείται επίσης για να αποκαλύψει τις τάσεις στη σκέψη και τις απόψεις και να περιγράψει βαθύτερα το πρόβλημα. Οι ποιοτικές μέθοδοι συλλογής δεδομένων ποικίλλουν χρησιμοποιώντας μη δομημένες ή ημι-δομημένες τεχνικές. Ορισμένες κοινές μέθοδοι περιλαμβάνουν ομάδες εστίασης (ομαδικές συζητήσεις), ατομικές συνεντεύξεις και συμμετοχές/παρατηρήσεις. Το μέγεθος του δείγματος είναι συνήθως μικρό και οι ερωτηθέντες επιλέγονται για να εκπληρώσουν μια συγκεκριμένη ποσόστωση. Τέλος, οι ημι-ποσοτικές προσεγγίσεις χρησιμοποιούνται κυρίως σε μια προσπάθεια να ξεπεραστούν ορισμένες από τις αδυναμίες που συνδέονται με τις ποιοτικές, καθώς πηγαίνουν ουσιαστικά την ποιοτική προσέγγιση ένα βήμα παραπέρα, προσδίδοντας τιμές ή πολλαπλασιαστές στις πιθανότητες και τις ομάδες των επιπτώσεων.

Μερικές κύριες μεθοδολογίες που έχουν ήδη εφαρμοστεί στη διεθνή βιβλιογραφία είναι η Ανάλυση με χρήση Δεικτών Βιωσιμότητας (Sustainability Indicator Analysis), η Ανάλυση με χρήση Σεναρίων (Scenario Analysis), η Ανάλυση Εξειδίκευσης της Αγοράς (Niche Market Analysis), η Πολυκριτηριακή Μέθοδος Καθεστώτος (Multi-criteria Regime Analysis), τα Ολοκληρωμένα Μοντέλα Αξιολόγησης (Integrated Assessment Models - IAMs), η Ολοκληρωμένη Προσέγγιση (Integrated Modeling), η Μοντελοποίηση Προσομοίωσης (Simulation Modeling), η Ανάλυση Κύκλου Ζωής (Life Cycle Analysis) και τέλος η Δυναμική Μοντελοποίησης (Dynamic Modeling). Όλες οι προαναφερθείσες μεθοδολογίες έχουν ήδη αναπτυχθεί και εφαρμοσθεί αρκετά αποδοτικά για την αξιολόγηση της τεχνολογικής απόδοσης ή των επιπτώσεων επιλογών μετριασμού της κλιματικής αλλαγής (CCMOs). Παρόλα αυτά, μέχρι και σήμερα, η αποδοτικότητα αυτών των μεθοδολογικών πλαισίων περιορίζεται από την έλλειψη ρεαλιστικών δεδομένων, την έλλειψη υπολογιστικής ισχύος

και την ελλιπή μοντελοποίηση των ενεργειακών συστημάτων (ιδιαίτερα σε επίπεδο υποθέσεων και περιορισμών).

Οι παραπάνω μεθοδολογίες, συχνά χρησιμοποιούνται στο πλαίσιο αξιολόγησης των επιπτώσεων μιας δράσης με σκοπό την αειφορία, όπου η δράση αυτή μπορεί να είναι μια προτεινόμενη ή υπάρχουσα πολιτική, ένα σχέδιο, ένα πρόγραμμα, ένα νομοθέτημα, ή μια υπάρχουσα τεχνολογία ή πρακτική. Ωστόσο, αυτό το ευρύ φάσμα μεθοδολογιών αξιολόγησης καλύπτει διαφορετικά πεδία εφαρμογής, που ανάλογα με το πρόβλημα υπό μελέτη και τον τρόπο ανάλυσης ή προσέγγισης, κατηγοριοποιούνται σε υπό-μεθόδους, οι οποίες θα παρουσιαστούν εκτενέστερα παρακάτω (**Κεφ. 3.2.3 Μεθοδολογικό πλαίσιο ανάλυσης της συλεχθείσας πληροφορίας- 3.3.1 Αξιολόγηση της επιλεχθείσας βιβλιογραφίας**).

Το σύνολο αυτών των μεθοδολογικών πλαισίων, αποτελούν ένα εργαλείο αξιολόγησης και βελτιστοποίησης που ως βασικό σκοπό έχει την ενίσχυση και ενσωμάτωση της αειφόρου ανάπτυξης στις διαδικασίες σχεδιασμού πολιτικών και λήψης αποφάσεων σε όλους τους τομείς της βιωσιμότητας. Επιπλέον, αξιολογούν τις κοινωνικές, οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις των δράσεων υπό μελέτη, αποκαλύπτουν αντικρουόμενες στόχους και προωθούν τη βελτιστοποίηση στο νωρίτερο δυνατό στάδιο, με την έννοια της εκ των προτέρων αξιολόγησης. Όσο η προγενέστερη εκτίμηση της βιωσιμότητας περιλαμβάνεται στη διαδικασία πολιτικού σχεδιασμού, τόσο μεγαλύτερη είναι η ελευθερία σχεδιασμού μιας πολιτικής και το πεδίο βελτιστοποίησης, καθώς και πιο αποτελεσματική η χρήση της αξιολόγησης της βιωσιμότητας. Τέλος, οι μεθοδολογίες αυτές επικεντρώνονται σε θέματα στρατηγικού σχεδιασμού και μπορούν να εφαρμοστούν για την αξιολόγηση δράσεων υπό το ευρύτερο πρίσμα των κλιματικών και ενεργειακών πολιτικών.

Όλες οι διαστάσεις βιωσιμότητας έχουν ως σκοπό να εξετάσουν τα χαρακτηριστικά μίας τεχνολογίας ή πρακτικής μετριασμού ή τις πιθανές επιπτώσεις που μπορούν να έχουν, λαμβάνοντας ταυτόχρονα υπόψη τα κριτήρια της βιώσιμης ανάπτυξης. Οι εν λόγω διαστάσεις βιωσιμότητας των επιλογών μετριασμού της κλιματικής αλλαγής καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα εννοιολογικού πεδίου και για το λόγο αυτό διακρίνονται σε ομάδες, αναλόγως με το τι αντιπροσωπεύουν ως μία γενικότερη έννοια. Με βάση τα παραπάνω και στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας διακρίνονται πέντε (5) διαφορετικές διαστάσεις βιωσιμότητας, η Οικονομική, η Περιβαλλοντική, η Κοινωνική, η Ετοιμότητα της Αγοράς και η Τεχνολογική. Κάθε μέθοδος αξιολόγησης μπορεί να παράγει αποτελέσματα, ανάλογα με το είδος προσέγγισης/ανάλυσης της, που να αφορούν όλες ή κάποιες από τις πέντε (5) αυτές διαστάσεις.

Έχοντας, λοιπόν, κάνει ένα μικρό ενδεικτικό πρόλογο σχετικά με τις μεθοδολογίες αξιολόγησης τεχνολογιών και πρακτικών μετριασμού της κλιματικής αλλαγής, σκοπός του παρόντος κεφαλαίου είναι:

1. Μέσω ανασκόπησης της υπάρχουσας επιστημονικής και τεχνικής βιβλιογραφίας να καταγραφούν και να συνοψιστούν οι βασικές μεθοδολογίες αξιολόγησης και τα κύρια χαρακτηριστικά τους, όπως αυτά αναδεικνύονται στις υπάρχουσες μελέτες και,
2. Έχοντας εξετάσει τα υπάρχοντα μεθοδολογικά πλαίσια, να καταγραφούν οι βασικοί δείκτες αξιολόγησης, που υποστηρίζονται από τις διαθέσιμες επιστημονικές μελέτες στη βιβλιογραφία, και να κατηγοριοποιηθούν ανά τις πέντε (5) διαστάσεις της βιωσιμότητας που ορίστηκαν και παραπάνω, με σκοπό την παραγωγή ενός βέλτιστου (υπό την έννοια του εύρωστου και

συνεκτικού) συνόλου δεικτών, το οποίο θα αποτυπώνει επαρκώς τις βασικές και αναγκαίες πτυχές αξιολόγησης τεχνολογιών και πρακτικών μετριασμού της κλιματικής αλλαγής.

3. Βασικό κίνητρο της παρούσας διπλωματικής, όπως έχει ήδη αναφερθεί, δεν είναι η αναπαραγωγή έρευνας σχετικά με την αξιολόγηση των τεχνολογιών και πρακτικών μετριασμού της κλιματικής αλλαγής, αλλά η συλλογή και η σύνθεση της υπάρχουσας γνώσης, όπως αυτή παρατίθεται σε μεγάλο αριθμό επιστημονικών άρθρων και αναφορών. Με βάση τα παραπάνω, το κεφάλαιο αυτό έχει ως σημείο αναφοράς του τον εντοπισμό και την αξιολόγηση των υπάρχουσών βιβλιογραφικών πηγών (όπως περιγράφεται παρακάτω **Κεφ. 3.2.1** Συλλογή βιβλιογραφικών πηγών - **3.3.1** Αξιολόγηση της επιλεχθείσας βιβλιογραφίας) και έπειτα την ανασκόπηση μεθοδολογικών πλαισίων και δεικτών αξιολόγησης (**Κεφ. 3.2.2** Μέθοδος αξιολόγησης της επιλεχθείσας βιβλιογραφίας - **3.2.3** Μεθοδολογικό πλαίσιο ανάλυσης της συλεχθείσας πληροφορίας), με απώτερο σκοπό τη σύνθεση της διαθέσιμης πληροφορίας, κατηγοριοποίηση της (βλ. **Παράρτημα 3.2, Παράρτημα 3.3**) και τέλος την παρουσίασή της στους τελικούς ενδιαφερόμενους αποδέκτες (**Κεφ. 3.3.2** Παρουσίαση μεθοδολογικών πλαισίων αξιολόγησης επιλογών μετριασμού της κλιματικής αλλαγής βάσει την επιλεχθείσα βιβλιογραφία- **3.3.3** Σύνοψη των μεθοδολογικών πλαισίων που εντοπίστηκαν στη βιβλιογραφία).

Τέλος, τα εξαγόμενα αποτελέσματα αναδεικνύουν έλλειψη πληροφορίας και κενά γνώσης στο συγκεκριμένο επιστημονικό πεδίο. Έτσι, το παρόν κεφάλαιο μπορεί να αποτελέσει αφετηρία για εμπειρογνώμονες και ενδιαφερόμενα μέρη που δραστηριοποιούνται στο πεδίο της αξιολόγησης τεχνολογιών και πρακτικών μετριασμού της κλιματικής αλλαγής.

3.2 Γενική Μεθοδολογική Προσέγγιση

3.2.1 Συλλογή βιβλιογραφικών πηγών

Για τη συλλογή των βιβλιογραφικών πηγών που μελετήθηκαν έγινε αναζήτηση πληροφοριών στη διεθνή βιβλιογραφία σχετικά με το αντικείμενο των μεθοδολογιών αξιολόγησης τεχνολογιών ή πρακτικών μετριασμού της κλιματικής αλλαγής, με αποτέλεσμα να προκύψει ένας μεγάλος αριθμός διαθέσιμων πηγών, οι οποίες περιελάμβαναν ποιοτικές, ποσοτικές, αλλά και ημι-ποσοτικές πληροφορίες, σχετικές με το αντικείμενο ενασχόλησης του παρόντος κεφαλαίου.

Πιο συγκεκριμένα, έχοντας ως στόχο την σφαιρική προσέγγιση του αντικειμένου, εξετάστηκαν εκτός από ακαδημαϊκά άρθρα και αναφορές, δημοσιεύματα σε διεθνή αναγνωρισμένα επιστημονικά περιοδικά με κρίση και έγγραφα «γκρίζας βιβλιογραφίας». Τέτοια βιβλιογραφία μπορεί να είναι αναφορές, ερευνητικές εργασίες, υλικό συνεδρίων και συναντήσεων, λόγοι που εκφωνούνται από στελέχη της ΕΕ ή στελέχη εταιρειών. Αυτού του είδους η βιβλιογραφία, συχνά δεν είναι εύκολα προσβάσιμη ή ανιχνεύσιμη, καθώς τα πνευματικά τους δικαιώματα ανήκουν σε ιδιώτες. Η «γκρίζα βιβλιογραφία» θεωρείται ότι περιλαμβάνει πληροφορίες απαραίτητες για τους ερευνητές, γιατί συχνά έχει πρωτότυπο χαρακτήρα και γίνεται αξιοσημείωτη προσπάθεια παγκοσμίως για να αυξηθεί η προσβασιμότητα σε αυτήν [26].

Από την άλλη, η ακαδημαϊκή βιβλιογραφία (όπως θα αναλύσουμε και εκτενέστερα στο **Κεφ. 3.3.1** Αξιολόγηση της επιλεχθείσας βιβλιογραφίας) συναντάται περισσότερο σε σχέση με τους άλλους τύπους πηγών της παρούσας εργασίας. Το συγκεκριμένο είδος βιβλιογραφίας περιλαμβάνει επιστημονικές δημοσιεύσεις που αναφέρονται σε πρωτότυπες πρακτικές και θεωρητικές εργασίες στον κλάδο των φυσικών και κοινωνικών επιστημών. Για τη δημοσίευση της ακαδημαϊκής βιβλιογραφίας πραγματοποιείται μια διαδικασία συλλογής των αποτελεσμάτων της έρευνας, τα οποία προέκυψαν από την ανασκόπηση του συνόλου της βιβλιογραφίας. Κατά τη διαδικασία αυτή

συχνά απαιτείται αξιολόγηση από ομότιμους με σκοπό την διασφάλιση της εγκυρότητας της κάθε δημοσίευσης.

Η ακαδημαϊκή βιβλιογραφία μπορεί να χαρακτηριστεί ως πρωτογενής, δευτερεύουσα ή τριτογενής ανάλογα με τη φύση του αντικειμένου της. Ως πρωτογενής βιβλιογραφία, χαρακτηρίζεται η πρωτότυπη επιστημονική έρευνα που δημοσιεύθηκε για πρώτη φορά σε επιστημονικά περιοδικά. Επίσης, οι τεχνικές εκθέσεις, που παρουσιάζουν δευτερεύοντα ερευνητικά αποτελέσματα και έργα του κλάδου μηχανικής και σχεδιασμού (συμπεριλαμβανομένου του λογισμικού ηλεκτρονικών υπολογιστών), μπορούν επίσης να θεωρηθούν ως πρωτογενή βιβλιογραφία. Ενώ, οι δευτερεύουσες πηγές περιλαμβάνουν άρθρα ανασκόπησης (τα οποία συνοψίζουν τα ευρήματα δημοσιευμένων μελετών με σκοπό την ανάδειξη της προόδου της έρευνας και των νέων κατευθυντήριων γραμμών της) και βιβλία (μεγάλα έργα, συμπεριλαμβανομένων τις συλλογές άρθρων). Τέλος, οι τριτογενείς πηγές περιλαμβάνουν εγκυκλοπαίδειες και παρόμοια έργα που προορίζονται για ευρεία δημόσια κατανάλωση [27].

Στοχεύοντας, λοιπόν, στη σχετική και ποιοτική συλλογή της βιβλιογραφίας προς ανασκόπηση, κύριος σκοπός μας είναι η διασφάλιση της βιβλιογραφικής αναζήτησης με δομημένο τρόπο, έτσι ώστε η πιθανότητα αποκλεισμού χρήσιμων και πλούσιων σε πληροφορίες συνεισφορών να ελαχιστοποιηθεί. Έτσι, κατά τη συλλογή των βιβλιογραφικών πηγών ορίστηκαν κατάλληλα κριτήρια ένταξης και αποκλεισμού των πηγών που εντοπίζονταν.

Αρχικά, χρησιμοποιήθηκε ένα φίλτρο με σκοπό τον περιορισμό των αποτελεσμάτων αναζήτησης με βάση τη φύση των άρθρων, καθώς και με τη χρονολογία δημοσίευσής τους. Βασικός παράγοντας συλλογής έγκαιρων πληροφοριών, είναι να περιέχουν όσο το δυνατόν πιο επικαιροποιημένα δεδομένα. Ως εκ τούτου, η επιλεγμένη βιβλιογραφία περιλαμβάνει πηγές από την τελευταία δεκαπενταετία, με την πλειοψηφία αυτών να εσωκλείονται στο εύρος της τελευταίας πενταετίας (2012-2017).

Έπειτα, επιλέχθηκαν λέξεις - κλειδιά με σκοπό την ανεύρεση της σχετικής με το θέμα προς εξέτασης βιβλιογραφίας. Βασικό κριτήριο κατά την επιλογή των λέξεων-κλειδιών της έρευνας ήταν να είναι όσο το δυνατόν πιο περιεκτικές, για να αποφευχθεί ο αποκλεισμός σημαντικών μελετών. Οι λέξεις-κλειδιά που επιλέχθηκαν, ήταν οι εξής:

- Τεχνολογίες/Πρακτικές μετριασμού της κλιματικής αλλαγής (Climate Change Mitigation Options - CCMOs),
- Μεθοδολογίες αξιολόγησης (Assessment Methodologies),
- Δείκτες αξιολόγησης (Assessment Indicators),
- Αξιολόγηση της βιωσιμότητας (Sustainability Assessment),
- Ανάλυση Κόστους-Οφέλους (Cost-Benefit Analysis - CBA) και
- Ενδεικτικές τεχνολογίες/πρακτικές ή τομείς μετριασμού της κλιματικής αλλαγής, όπως: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Renewable Energy Sources), Εξοικονόμηση Ενέργειας (Energy Efficiency), Φωτοβολταϊκά (Solar PV), Δέσμευση και Αποθήκευση Άνθρακα (Carbon Capture and Storage - CCS), Βιοενέργεια με Δέσμευση και Αποθήκευση Άνθρακα (Bioenergy with Carbon Capture and Storage - BECCS), κ.ά.

Μετά την οριοθέτηση της στρατηγικής αναζήτησης, χρησιμοποιήθηκαν ορισμένα κριτήρια συμπερίληψης/αποκλεισμού, όσον αφορά τις πηγές που ανακτήθηκαν, και έτσι εξαλείφθηκαν κάποιες που δεν ενέπιπταν στο πεδίο εφαρμογής του ερευνητικού θέματος. Βασικός στόχος ήταν οι πηγές που θα μελετούνταν να διακρίνονται από αδιαμφισβήτητα επιστημονικά τεκμήρια για

την εξασφάλιση συλλογής αξιόπιστων και επικυρωμένων έργων. Επιστημονικές δημοσιεύσεις ανακτήθηκαν κυρίως μέσω της μηχανής αναζήτησης του “Science Direct”, ενώ η τελική ένταξη των δημοσιεύσεων που εξετάστηκαν για ανάλυση πλήρους κειμένου προσδιορίστηκε μετά από μια διαδικασία αξιολόγησης της ποιότητας, υπολογίζοντας ένα Δείκτη Ελέγχου Ποιότητας (ΔΕΠ) για κάθε βιβλιογραφική πηγή (Κεφ. 3.2.2 Μέθοδος αξιολόγησης της επιλεχθείσας βιβλιογραφίας).

3.2.2 Μέθοδος αξιολόγησης της επιλεχθείσας βιβλιογραφίας

Ως προς την αξιολόγηση και τη διασφάλιση της εγκυρότητας, καθώς και της αξιοπιστίας των πληροφοριών που περιέχονται μέσα στις πηγές που εξετάστηκαν, δημιουργήθηκε η ανάγκη ύπαρξης μιας μεθόδου αξιολόγησης των ίδιων των πηγών. Επομένως, όλα τα στοιχεία και δεδομένα που μελετήθηκαν στις επιλεχθείσες πηγές υπόκεινται σε μια διαδικασία με βάση μια κλίμακα, η οποία αξιολογεί την ποιότητα και τη σχετικότητα της εκάστοτε έρευνας. Πιο συγκεκριμένα, κατά την αξιολόγηση των βιβλιογραφικών πηγών χρησιμοποιήθηκε ως βάση η Κλίμακα Warren [28].

Τα σημεία προς εξέταση παρουσιάζονται παρακάτω:

Αναθεώρηση από Ομότιμο:

1. Κρίση από ένα (1) σχετικό εμπειρογνώμονα
2. Κρίση από τουλάχιστον δύο (2) σχετικούς εμπειρογνώμονες

Αξιοπιστία :

3. Αξιοπιστία συγγραφέα/φορέα

Αναγνώριση:

4. Ύπαρξη δήλωσης αναγνώρισης
5. Ύπαρξη δηλώσεων σύγκρουσης συμφερόντων ή/και πνευματικών δικαιωμάτων
6. Χρηματοδότηση μελέτης από την ΕΕ ή άλλη πηγή χρηματοδότησης

Εγκυρότητα:

7. Χρήση ως βάσης έγκυρων επιστημονικών θεωριών και προσεγγίσεων/συμφωνία συμπερασμάτων-στοιχείων που παρουσιάζονται

Εφαρμογή:

8. Ύπαρξη εφαρμογής στον πραγματικό κόσμο (π.χ. μελέτη περίπτωσης)
9. Εφαρμογή νέας ή υφιστάμενης μεθοδολογίας

Αξιολόγηση:

10. Επικύρωση ή/και αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Οι τιμές που μπορεί να πάρει ο κάθε ένας από τους παραπάνω δείκτες αξιολόγησης είναι δύο (2): είτε την τιμή 0 (αν δεν ισχύει η δήλωσή του - αρνητική απάντηση), είτε την τιμή 1 (αν η δήλωση ισχύει - θετική απάντηση). Ο τελικός δείκτης αξιολόγησης που λαμβάνεται είναι ο **Δείκτης Ελέγχου Ποιότητας (ΔΕΠ)**, ο υπολογισμός του οποίου προκύπτει από το άθροισμα των τιμών των επιμέρους δεικτών προς το συνολικό αριθμό των δεικτών (ο οποίος στην περίπτωση μας ισούται με δέκα (10)). Ο συγκεκριμένος δείκτης μπορεί να λαμβάνει τιμές στο εύρος 0-1 και έτσι μπορούμε να έχουμε μία ολοκληρωμένη εικόνα για την ποιότητα των πληροφοριών που παρέχει η κάθε πηγή. Για την εκτίμηση της σχετικότητας και της αξιοπιστίας των πηγών ως προς την πληροφορία που παρέχουν, ακολουθείται η παρακάτω κλίμακα αξιολόγησης. Η αριστερή στήλη αναφέρεται στις τιμές που μπορεί να λάβει ο Δείκτης Ελέγχου Ποιότητας, ενώ η δεξιά δείχνει το πόσο αξιόπιστη και σχετική είναι η πηγή με την ανάλυση που ακολουθείται. Προκειμένου να εξασφαλιστεί ο στόχος της άντλησης πληροφοριών και δεδομένων από αξιόπιστες και απόλυτα σχετικές πηγές, επιλέγεται ως αποδεκτό εύρος τιμής του ΔΕΠ το διάστημα 0.5-1.0 [28].

Στον παρακάτω **Πίνακας 1** απεικονίζεται αναλυτικά και η κλίμακα αξιολόγησης τιμής Δείκτη Ελέγχου Ποιότητας (ΔΕΠ):

Πίνακας 1: Κλίμακα αξιολόγησης τιμής Δείκτη Ελέγχου Ποιότητας (ΔΕΠ)

Τιμή ΔΕΠ	Αξιοπιστία και Σχετικότητα Πηγής
0.0-0.2	Ασήμαντη
0.3-0.4	Σχετικά Σημαντική
0.5-0.6	Σημαντική
0.7-0.8	Πολύ Σημαντική
0.9-1.0	Ιδιαίτερα Σημαντική

3.2.3 Μεθοδολογικό πλαίσιο ανάλυσης της συλεχθείσας πληροφορίας

Η συλλεχθείσα βιβλιογραφία ανέδειξε μία πληθώρα όρων όπως μέθοδοι, διαδικασίες και εργαλεία, τα οποία είναι περισσότερο ή λιγότερο εναλλάξιμα, αλλά έχουν διαφορετικές σημασίες σε διαφορετικά άρθρα. Για να επιτευχθεί η αξιολόγηση θα πρέπει η προσέγγιση που θα επιλεγεί να είναι αρκετά ευέλικτη, ώστε να μπορεί να επικεντρωθεί στις ελλείψεις των δεδομένων, αλλά και να μην παραλειφθούν τα χαρακτηριστικά της τεχνολογίας που δεν μπορούν να προβλεφθούν πριν από τη διεξαγωγή της ανάλυσης, κάτι που έχει ιδιαίτερη βαρύτητα για τις νέες και τις αναδυόμενες τεχνολογίες. Έτσι η προσέγγιση που χρησιμοποιήθηκε βασίζεται σε αυτή των Michiel C. Zijp et al. [29], όπου και αναφέρεται ο τρόπος συλλογής και δόμησης της πληροφορίας, όπως περιγράφεται πιο λεπτομερώς στη συνέχεια. Συγκεκριμένα, σε κάθε πηγή, πραγματοποιείται εκτενής αναζήτηση των παρακάτω απαιτούμενων στοιχείων και η διαθέσιμη πληροφορία καταγράφεται στο αντίστοιχο πεδίο με τρόπο κατανοητό και όπως ορίζεται στην ανάλυση της αξιολόγησης που ακολουθεί. Τα απαραίτητα καταγραφόμενα στοιχεία που συγκεντρώνονται από κάθε πηγή είναι:

Πλαίσιο (Framework): Με τον όρο πλαίσιο εννοούμε τον τρόπο με τον οποίον η αξιολόγηση γίνεται αντιληπτή. Πιο συγκεκριμένα, μπορεί να χαρακτηριστεί ως η λογική και η δομή για την ενσωμάτωση των εξεταζόμενων εννοιών, των μεθοδολογιών, των μεθόδων, κλπ. [29].

Μέθοδος (Method): Με τον όρο Μέθοδος, εννοούμε μια συλλογή διαδοχικών και συμπληρωματικών υπό-μεθόδων, οι οποίες μπορούν να απαντήσουν μια συγκεκριμένη ερώτηση. Πιο συγκεκριμένα, οι μέθοδοι αποτελούν τα λειτουργικά τμήματα μιας οντότητας υψηλότερου επιπέδου (δηλ. Πλαίσιο), στο οποίο πραγματοποιείται η αξιολόγηση των υπόμελετη τεχνολογιών ή πρακτικών. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν η επιλογή δεικτών, η ποσοτικοποίηση ή τα ποιοτικά χαρακτηριστικά, ή όλα τα παραπάνω ταυτόχρονα [29].

Υπό-μέθοδος (Sub-method): Ως Υπό-μέθοδοι ορίζονται τα διαδοχικά ή και συμπληρωματικά αναλυτικά βήματα από τα οποία αποτελείται η εκάστοτε Μέθοδος. Για παράδειγμα, οι μέθοδοι με τις οποίες οι δείκτες μπορούν να προσδιοριστούν ποσοτικά ή με τις οποίες τα αποτελέσματα μπορεί να είναι συγκεντρωτικά. Η διάκριση των μεθόδων και υπό-μεθόδων είναι αναγκαία, καθώς στην πράξη οι μέθοδοι δεν είναι απαραίτητο να εφαρμοστούν ως σύνολο. Μία τέτοια μέθοδος είναι, η μέθοδος Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (Life Cycle Analysis - LCA) , όπου περιέχει μια υπό-μέθοδο με την οποία οι εκπομπές και η χρήση των πόρων μπορεί να μεταφραστεί σε επιπτώσεις: την Ανάλυση Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής (LCIA). Αυτή η υπό-μέθοδος μπορεί με τη σειρά της να χρησιμοποιηθεί για να διαπιστωθεί η επίδραση των δραστηριοτήτων χωρίς να λαμβάνεται υπόψη ο κύκλος ζωής της εν λόγω δραστηριότητας, και επομένως χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η μέθοδος LCA ως σύνολο. Η υπό-μέθοδος αποτελεί μια μέθοδο που εξασφαλίζει την εκτίμηση, τον υπολογισμό ή την παρουσίαση των συγκεντρωτικών αποτελεσμάτων [29].

Συμπληρωματικά, στις πηγές που εξετάζονται, αναλύονται επίσης τα εξής:

Δυνατά σημεία και Αδυναμίες (Strengths & Weaknesses): Στο πεδίο αυτό, πραγματοποιείται αναφορά στα πλεονεκτήματα ή στα μειονεκτήματα του γενικότερου μεθοδολογικού πλαισίου ανάλυσης σχετικά με την ευχρηστία και τους περιορισμούς του, όπως αυτό παρουσιάζεται σε διαθέσιμες μελέτες στη βιβλιογραφία, αλλά και σχετικά με τη δυνατότητά του να διευκολύνει και να προάγει την έρευνα γύρω από το πεδίο της αξιολόγησης των τεχνολογιών και των πρακτικών μετριασμού της κλιματικής αλλαγής [29].

Πηγές (Sources): Γίνεται αναφορά στις πηγές από τις οποίες αντλούνται τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή της ανάλυσης, όπως είναι οι συνεντεύξεις (interviews), οι έρευνες (surveys), τα δημόσια δεδομένα (public data pools), οι στατιστικές έρευνες (statistical surveys), η επιστημονική βιβλιογραφία (scientific literature), τεχνικές αναφορές (technical reports), ιστορικά δεδομένα (historical data), κλπ [29].

Δεδομένα (Data): Γίνεται αναφορά στον τύπο των δεδομένων, όπως π.χ. αν είναι ποσοτικά (quantitative) ή ποιοτικά (qualitative) και στο επίπεδο αναφοράς (δεδομένα ατομικά, τοπικά, εθνικά ή συγκεκριμένου τομέα) [29].

Επεξεργασία Δεδομένων (Processing of Data): Αναλύεται ο τρόπος επεξεργασίας των δεδομένων που συλλέγονται, ώστε να φτάσουν σε κατάλληλη μορφή και να μπορούν να αξιοποιηθούν από τα αντίστοιχα μεθοδολογικά εργαλεία και υπολογιστικά μοντέλα (για παράδειγμα πώς γίνεται η επεξεργασία των δεδομένων της συνέντευξης για να καταλήξουμε σε δεδομένα, τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν από μία μέθοδο ή μοντέλο Ανάλυσης Κύκλου Ζωής μίας τεχνολογίας) [29].

Σύμφωνα με το προτεινόμενο πλαίσιο στο παρόν κεφάλαιο [29], διεξάγεται μία επισκόπηση της πληροφορίας και των χαρακτηριστικών των μεθοδολογιών που χρησιμοποιούνται σε πενήντα (50)

βιβλιογραφικές πηγές και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω. Τα πεδία συμπλήρωσης της πληροφορίας είναι ομαδοποιημένα σε δύο (2) τομείς.

Τομέας: Όρια συστήματος/Καταγραφή (System boundaries/inventory)

Αντικείμενο (Object): Αναφέρεται στον τομέα μετριασμού της κλιματικής αλλαγής, στην επιλογή μετριασμού που αξιολογείται και στο εάν πρόκειται για ένα φυσικό αντικείμενο (προϊόν, διαδικασία) ή για μία πρακτική, μία συγκεκριμένη επιστημονική περιοχή, ένα μέτρο πολιτικής, μία δραστηριότητα, κλπ.

Χωρική Εστίαση (Spatial focus): Εκφράζει την χωρική εστίαση της δραστηριότητας που αναφέρεται. Η δραστηριότητα μπορεί να αξιολογείται σε μικρο- ή σε μακρο- επίπεδο κι αν είναι σε μακρο-, μπορεί να είναι σε τοπική, περιφερειακή, εθνική ή παγκόσμια κλίμακα.

Χρονική Εστίαση (Temporal focus): Εκφράζει την χρονική εστίαση της δραστηριότητας και αν αυτή αξιολογείται εκ των υστέρων (retrospective), μελλοντικά (prospective) ή αρκεί μία στιγμιότυπη απεικόνιση (snapshot analysis).

Εξέταση του Κύκλου Ζωής (Life cycle thinking): Παρουσιάζει τα μέρη του κύκλου ζωής ή της εφοδιαστικής αλυσίδας που περιλαμβάνονται στην αξιολόγηση. Αυτά μπορεί να είναι το σύνολο του κύκλου ζωής (whole life cycle) ή κάτι ενδιάμεσο.

Τομέας: Αξιολόγηση επιπτώσεων/Επιλογή θέματος (Impact Assessment/Theme selection)

Επιλογή δείκτη (1) (Indicator Selection): Εξετάζει αν η μέθοδος βασίζεται σε δείκτες.

Επιλογή δείκτη (2) (Indicator Selection): Εξετάζει αν η μέθοδος είναι δομημένη με εμφανή τρόπο ως προς την επιλογή και τη χρήση κατάλληλων δεικτών αξιολόγησης.

Χωρική εστίαση των επιπτώσεων (Spatial focus of impact): Εξετάζεται η χωρική κλίμακα των επιπτώσεων που το μεθοδολογικό πλαίσιο εξετάζει και αν η αξιολόγηση περιλαμβάνει ενδογενείς επιπτώσεις. Δηλαδή, αν η αξιολόγηση έχει ως στόχο την εσωτερική ή εξωτερική βιωσιμότητα και σε ποια κλίμακα λαμβάνονται υπόψη οι επιπτώσεις (προσιδιάζουν στη συγκεκριμένη τοποθεσία/είναι εξαρτημένες (site specific/dependent) ή ανεξάρτητες (independent)).

Χρονική εστίαση των επιπτώσεων (Temporal focus of the impact): Εξετάζεται η χρονική κλίμακα των επιπτώσεων που το μεθοδολογικό πλαίσιο μελετά και αν η αξιολόγηση είναι διαχρονική (inter-temporal) ή αφορά μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο (intra-temporal).

Η αξιολόγηση των πηγών ως προς το περιεχόμενό τους και το αντικείμενο με το οποίο ασχολούνται, γίνεται με βάση τα προαναφερθέντα πεδία συμπλήρωσης της πληροφορίας που συνοψίζονται στον παρακάτω

Πίνακας 2: Πεδία συμπλήρωσης πληροφορίας για την καταγραφή του περιεχομένου των

Πίνακας 2.

Πίνακας 2: Πεδία συμπλήρωσης πληροφορίας για την καταγραφή του περιεχομένου των βιβλιογραφικών μελετών

Όρια συστήματος/Καταγραφή			
Αντικείμενο			

	Χωρική Εστίαση		Χρονική Εστίαση		Εξέταση του Κύκλου Ζωής	
Σχεδιασμός Έρευνας						
Πλαίσιο	Μέθοδος	Υπό-μέθοδος	Δυνατά σημεία και Αδυναμίες	Πηγές	Δεδομένα	Επεξεργασία Δεδομένων
Αξιολόγηση Επιπτώσεων/Επιλογήθέματος						
Επιλογή δείκτη (1)	Επιλογή δείκτη (2)		Χωρική εστίαση των επιπτώσεων		Χρονική εστίαση των επιπτώσεων	

3.2.4 Επιλογή Δεικτών Αξιολόγησης (Δ.Α.) - Κριτήρια Επιλογής

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται ο τρόπος επιλογής των δεικτών αξιολόγησης, καθώς και τα κριτήρια επιλογής τους. Αρχικά, πραγματοποιήθηκε ανασκόπηση σχετικής με τα υπάρχοντα μεθοδολογικά πλαίσια αξιολόγησης επιλογών μετριασμού της κλιματικής αλλαγής βιβλιογραφίας, και έπειτα αναλύοντάς την βηματικά ως προς τις βασικές μεθόδους, υπό-μεθόδους και τα κύρια δεδομένα που χρησιμοποιούνται, έγινε συλλογή ενός μεγάλου εύρους πληροφοριών και στοιχείων, που αφορούσαν τις συγκεκριμένες μεθοδολογίες, καθώς και τον τρόπο με τον οποίο οι μεθοδολογίες αυτές ανέλυαν τις ενδεχόμενες επιπτώσεις των τεχνολογιών μετριασμού στις ορισμένες διαστάσεις της βιωσιμότητας (δηλ. περιβάλλον, οικονομία, κοινωνία, κλπ).

Στη συνέχεια, έχοντας συλλέξει στοιχεία σχετικά με τα μεθοδολογικά πλαίσια αξιολόγησης, δημιουργείται η ανάγκη για συλλογή όλων των εμφανιζόμενων δεικτών αξιολόγησης, καθώς και η κατηγοριοποίησή τους σε βασικά πεδία-διαστάσεις εφαρμογής (ανάλογα με το είδος των πτυχών ή/και των επιπτώσεων που αξιολογούν). Επιπλέον, σύμφωνα με τους Rai, D., et al. [30], η επιλογή των πεδίων-διαστάσεων αυτών θα πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο, ώστε να είναι διακριτές και να μπορούν να συμπεριλάβουν ένα μεγάλο σύνολο των δεικτών που θα αντιπροσωπεύουν. Οι ομάδες δεικτών αξιολόγησης στο παρόν μεθοδολογικό πλαίσιο αναλύονται, υπό το πρίσμα πέντε (5) διαφορετικών διαστάσεων, όπως έχει ήδη αναφερθεί και παραπάνω. Σε ακολουθία λοιπόν, της κατηγοριοποίησης των δεικτών ανά διαστάσεις βιωσιμότητας, γίνεται ένας δεύτερος διαχωρισμός που αφορά την κατηγοριοποίησή τους σε επιμέρους κατηγορίες μέσα σε κάθε διάσταση. Ένας από τους βασικούς παράγοντες για την διεξαγωγή καλύτερων αποτελεσμάτων, είναι ο καλύτερος διαχωρισμός του πλήθους των δεικτών, όπως επίσης και η ομαδοποίηση των δεικτών εκείνων που έχουν μεγάλη συνάφεια μεταξύ τους, αλλά όχι τόση που να μπορούν να συγχωνευθούν και να ορισθούν υπό μία κοινή ονομασία. Οι πέντε (5) διαστάσεις με τις επιμέρους κατηγορίες δεικτών είναι οι εξής:

Οικονομικοί Δείκτες Αξιολόγησης

Οι δείκτες που εντάσσονται στην οικονομική διάσταση της βιωσιμότητας, είναι σχετικοί με τα κόστη που αφορούν τη διάρκεια ζωής μιας επιλογής μετριασμού της κλιματικής αλλαγής, την κερδοφορία, τη συνεισφορά στο Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν (ΑΕΠ) ή/και τους οικονομικούς κινδύνους που μπορούν να προκαλέσουν. Αναλυτικότερα, οι προαναφερόμενοι δείκτες είναι οι εξής [31]:

Μικροοικονομικά Κόστη (Microeconomic costs): Αφορούν συνολικά κόστη εγκατάστασης, κόστη παραγωγής, κόστη κεφαλαίου, σταθμισμένο κόστος ενέργειας και γενικά κόστη κατασκευής, συντήρησης και λειτουργίας ενός ενεργειακού συστήματος. Επιπλέον, στην κατηγορία αυτή ανήκουν φόροι και έκτακτα κόστη που μπορεί να προκύψουν καθ' όλη τη διάρκεια ζωής μιας τεχνολογίας μετριασμού.

Ενεργειακή Ένταση (Energy Intensity): Με τη μεταβλητή αυτή, ορίζουμε το λόγο της ενεργειακής κατανάλωσης προς τον ΑΕΠ. Η μελέτη του λόγου αυτού εκφράζει ένα ποσοτικό μέτρο της μέσης παραγωγικότητας του ενεργειακού τομέα, άμεσα συγκρίσιμο με τις επιδόσεις άλλων χωρών ή/και περιοχών, ενώ δείχνει επίσης το μέγεθος των ενεργειακών αναγκών ανά μονάδα οικονομικής δραστηριότητας. Η ερμηνεία αυτού του δείκτη είναι πολύ κρίσιμη, γιατί μπορεί να δώσει κατευθύνσεις διορθωτικών κινήσεων, ώστε μία χώρα να προσεγγίσει τη δομή μιας άλλης πιο αποτελεσματικής στην ενεργειακή χρήση.

Σταθμισμένο Κόστος (Levelized Cost): Ως Σταθμισμένο Κόστος ορίζεται το καθαρό κόστος για την εγκατάσταση ενός συστήματος παραγωγής ενέργειας, διαιρούμενο με την αναμενόμενη παραγωγή ενέργειας στη διάρκεια ζωής του. Υπό-δείκτες που εντάσσονται σε αυτήν την κατηγορία είναι κυρίως το σταθμισμένο κόστος ενέργειας, το ποσοστό χρήσης του σταθμισμένου κόστους ενέργειας, κ.α.

Εκπομπές CO₂ ανά μονάδα ΑΕΠ (CO₂ emissions per unit of GDP): Ο συγκεκριμένος δείκτης μετράει το μέγεθος των εκπομπών CO₂ ανά μονάδα κατανάλωσης. Η εφαρμογή του πραγματοποιείται σε επίπεδο συνολικού ενεργειακού συστήματος, όσο και σε επίπεδο διαφορετικών κλάδων μετατροπής και κατανάλωσης της ενέργειας. Παρέχει πληροφορίες για την άσκηση περιβαλλοντικής πολιτικής στο επίπεδο μιας χώρας, αλλά και των επιμέρους κλάδων. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν δείκτες, όπως το ποσοστό μείωσης εκπομπών CO₂, το κόστος του αποφθεγμένου ποσού εκπομπών CO₂, οι φόροι για τις εκπομπές CO₂, κλπ.

Κόστος Μετριασμού/Πρόνοιας (Mitigation/welfare costs): Ο δείκτης αυτός περιγράφει το κόστος της εφαρμογής των τεχνικών εγκαταστάσεων, των υποδομών, της ζήτησης από την πλευρά των κανονισμών και δεν έχει σημαντικές έμμεσες οικονομικές επιπτώσεις στις αγορές και τις τιμές. Δείκτες όπως το κόστος μετριασμού εκπομπών CO₂, το κόστος του αποφθεγμένου ποσού εκπομπών CO₂, οι επιδοτήσεις, οι φόροι, κ.α., ανήκουν σε αυτή την κατηγορία.

Ενεργειακή Ασφάλεια (εξάρτηση από τις εισαγωγές) (Energy Security - Import Dependency): Αναφέρεται στην αδιάλειπτη διαθεσιμότητα των πηγών ενέργειας σε προσιτή τιμή. Ουσιαστικά, είναι η σχέση μεταξύ εθνικής ασφάλειας και της διαθεσιμότητας των φυσικών πόρων για την κατανάλωση ενέργειας. Η πρόσβαση σε φθηνή ενέργεια έχει καταστεί απαραίτητη για τη λειτουργία των σύγχρονων οικονομιών. Ωστόσο, η άνιση κατανομή του ενεργειακού εφοδιασμού μεταξύ των χωρών έχει οδηγήσει σε σημαντικές ευπάθειες. Μερικές από τις πτυχές της Ενεργειακής Ασφάλειας είναι η μακροπρόθεσμη ενεργειακή ασφάλεια, της οποίας κύριος στόχος είναι οι έγκαιρες επενδύσεις για την παροχή ενέργειας, βάσει των οικονομικών εξελίξεων και των περιβαλλοντικών αναγκών. Αντίθετα, η βραχυπρόθεσμη ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού ασχολείται κυρίως με την ικανότητα του ενεργειακού συστήματος να αντιδρά άμεσα σε απρόσμενες αλλαγές της ισορροπίας προσφοράς-ζήτησης. Στην συγκεκριμένη κατηγορία ανήκουν δείκτες όπως, η τιμή καυσίμων, η τιμή πρώτων υλών, η ασφάλεια προμήθειας καυσίμων, η ενεργειακή ζήτηση, η διαθεσιμότητα καυσίμων, κλπ.

Οικονομική Προσιτότητα (Affordability): Η οικονομική προσιτότητα μιας τεχνολογίας αποτελεί έννοια, που συχνά συνδέεται με τη βιωσιμότητά της. Ένα από τα κύρια ζητήματα είναι ότι ανέκαθεν οι άνθρωποι έχουν επίκεντρο το πόσο κοστίζει ένας εξοπλισμός ή η συντήρηση μιας τεχνολογίας. Αυτό δεν είναι πρακτικά το πρόβλημα, αλλά είναι πάντα το κυριότερο. Μερικές φορές το κόστος μιας τεχνολογίας δεν έχει άμεση σχέση με τα χρήματα που απαιτούνται, για την αγορά ή τη συντήρησή της, αλλά με το κόστος που συνδέεται με τις συνέπειες της χρήσης της. Οι κύριοι υπό-δείκτες αυτής της κατηγορίας είναι το προεξοφλητικό επιτόκιο, η προσιτότητα κεφαλαιουχικών επενδύσεων, κ.α.

Κερδοφορία (Profitability): Με την έννοια Κερδοφορία ορίζουμε ένα χρήσιμο εργαλείο για την κατάταξη των τεχνολογιών, που επιτρέπει να υπολογιστεί το ποσό της αξίας που δημιουργείται ανά μονάδα επένδυσης. Κύριοι υπό-δείκτες αυτής της κατηγορίας είναι το ποσοστό κερδοφορίας, η ετήσια εξοικονόμηση κόστους καυσίμων, η εξοικονόμηση φόρων άνθρακα, κ.α.

Υποστηρικτικοί Χρηματοδοτικοί Μηχανισμοί (Supportive Financial Mechanisms): Ο δείκτης αυτός αφορά χρηματοδοτούμενα επενδυτικά προγράμματα που παρέχονται για την ανάπτυξη και την προώθηση της εξέλιξης των τεχνολογιών μετριασμού της κλιματικής αλλαγής. Στην συγκεκριμένη κατηγορία ανήκουν δείκτες όπως, το ποσοστό χρηματοδότησης, η επένδυση κεφαλαίου, το προεξοφλητικό επιτόκιο, κ.α.

Κόστος Κύκλου Ζωής (Life Cycle Cost): Το Κόστος Κύκλου Ζωής αποτελεί το σύνολο όλων των επαναλαμβανόμενων ή και εφάπαξ δαπανών στη διάρκεια ζωής ή σε ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα της ζωής μιας τεχνολογίας. Περιλαμβάνει την κεφαλαιουχική επένδυση, την τιμή αγοράς, το κόστος εγκατάστασης, λειτουργίας, συντήρησης και αναβάθμισης, και την υπολειπόμενη αξία στο τέλος της κυριότητας ή της ωφέλιμης ζωής της.

Συμβολή στην Τομεακή Ανάπτυξη και στο ΑΕΠ (Contribution to sectoral growth and GDP): Ο όρος αυτός δείχνει τη συνεισφορά του κάθε τομέα στον ετήσιο ονομαστικό ρυθμό αύξησης της ακαθάριστης προστιθέμενης αξίας (ΑΠΑ) σε βασικές τιμές αξίας (που είναι ίσο με το ΑΕΠ σε τιμές αγοράς μείον τους φόρους συν επιδοτήσεις προϊόντων). Δείκτες που ανήκουν συνήθως σε αυτήν την κατηγορία είναι οι επιπτώσεις στο ΑΕΠ και οι κρατικές εισφορές.

Χρηματοοικονομικοί Κίνδυνοι (Financial Risks): Αποτελεί έναν γενικό όρο για πολλούς τύπους κινδύνων που συνδέονται με τη χρηματοδότηση, συμπεριλαμβανομένων των οικονομικών συναλλαγών που περιλαμβάνουν δάνεια σε κίνδυνο αθέτησης. Επιπλέον, χρησιμοποιείται συχνά για να περιγράψει την αβεβαιότητα της επιστροφής και το ενδεχόμενο της οικονομικής απώλειας.

Πίνακας 3: Οικονομικοί Δείκτες Αξιολόγησης της Βιωσιμότητας

Οικονομικοί Δείκτες Αξιολόγησης	Μικροοικονομικά Κόστη
	Ενεργειακή Ένταση
	Σταθμισμένο Κόστος
	Εκπομπές CO ₂ ανά μονάδα ΑΕΠ
	Κόστος Μετριασμού/Πρόνοιας
	Ενεργειακή Ασφάλεια
	Οικονομική Προσιτότητα
	Κερδοφορία
	Υποστηρικτικοί Χρηματοδοτικοί Μηχανισμοί
	Κόστος Κύκλου Ζωής
	Συμβολή στην Ανάπτυξη του Τομέα και στο ΑΕΠ

Περιβαλλοντικοί Δείκτες Αξιολόγησης

Στην περιβαλλοντική διάσταση της βιωσιμότητας εντάσσονται δείκτες, που αφορούν τη μόλυνση του εδάφους, του νερού, του αέρα, την υπερθέρμανση του πλανήτη και πιθανές επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου που μπορεί να επιφέρει μία επιλογή μετριασμού της κλιματικής αλλαγής. Αναλυτικά οι δείκτες που ορίζονται είναι [31]:

Χρήση γης (Απόδοση της χρήσης της γης) (Land use - Land use efficiency): Σχετίζεται με τη χρήση και την εκμετάλλευση εκτάσεων γης από τις δραστηριότητες που σχετίζονται με προϊόντα, όπως η γεωργία, οι δρόμοι, η στέγαση, η εξόρυξη, κλπ. Η γη δεν μπορεί να εξαντληθεί, αλλά δεδομένου ότι μια συγκεκριμένη έκταση μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για περιορισμένο αριθμό σκοπών, η έλλειψη γης μπορεί να είναι ένα πραγματικό πρόβλημα. Εκτάσεις γης μπορούν επίσης να γίνουν λιγότερο πολυτίμες, λόγω φυσικών αλλαγών, όπως η διάβρωση. Μείωση των διαθέσιμων εκτάσεων γης μπορεί να επηρεάσει μια ευρεία ποικιλία συστημάτων, συμπεριλαμβανομένου της γεωργίας, τον πολιτισμό και τη βιοποικιλότητα, την ποσότητα και την ποικιλία της ζωής που η γη μπορεί να υποστηρίξει.

Θόρυβος (Noise): Ο ήχος που παράγεται κατά την κατασκευή ενός συστήματος ή από τη λειτουργία κάποιας τεχνολογίας μετριασμού της κλιματικής αλλαγής μπορεί να επηρεάσει τόσο τους εργαζόμενους σε αυτό, όσο και το περιβάλλον γύρω από αυτό, με πιθανή απομάκρυνση των έμβιων οργανισμών.

Βιοποικιλότητα (Biodiversity): Η βιοποικιλότητα επηρεάζεται από την κλιματική αλλαγή, με αρνητικές συνέπειες για την ευημερία των ανθρώπων, αλλά και του οικοσυστήματος, ενώ συμβάλλει επίσης σε μεγάλο βαθμό στο μετριασμό της. Ως εκ τούτου, η διατήρηση και η βιώσιμη διαχείριση της βιοποικιλότητας είναι ζωτικής σημασίας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, αλλά και το αντίστροφο.

Χρήση μη Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Non - renewable energy use): Αφορά την ενέργεια που καταναλώνεται από ορισμένα συστήματα παραγωγής ενέργειας ή επιλογές μετριασμού και που προέρχεται από πηγές που θα εξαντληθούν ή δεν θα αναπληρωθούν στη διάρκεια ζωής μιας γενιάς ανθρώπων ή και ακόμα περισσότερο.

Στερεά και Υγρά Απόβλητα, συμπεριλαμβανομένων των λυμάτων (Solid and liquid waste including waste water): Απόβλητα που προέρχονται από βιομηχανικές δραστηριότητες ή προκύπτουν από την εφαρμογή επιλογών μετριασμού της κλιματικής αλλαγής, τα οποία μπορούν να προκαλέσουν μόλυνση του οικοσυστήματος, βλάβες σε οργανισμούς, κλπ.

Παγκόσμια Υπερθέρμανση (Global Warming): Πρόκειται για την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του κλιματικού συστήματος της Γης και τα αποτελέσματα που σχετίζονται με αυτή. Οι επιλογές μετριασμού μπορούν να συμβάλουν στον περιορισμό του φαινομένου αυτού.

Όξινη (Acidification): Πρόκειται για την μείωση του pH του νερού και του εδάφους, που προκαλείται από το CO₂ που υπάρχει στην ατμόσφαιρα. Αέρια σε επαφή με την υγρασία του αέρα σχηματίζουν οξύ, το οποίο εναποτίθεται στο έδαφος και το νερό με αρνητικές επιπτώσεις στα φυσικά οικοσυστήματα και το ανθρωπογενές περιβάλλον, συμπεριλαμβανομένων των κτιρίων.

Ευτροφισμός (Eutrophication): Περιβαλλοντικό πρόβλημα που παρουσιάζεται στο έδαφος, σε λίμνες ή κλειστούς αβαθείς κόλπους κάτω από ορισμένες συνθήκες. Σχετίζεται με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των υπερβολικά υψηλών επιπέδων των θρεπτικών ουσιών στο έδαφος ή στο νερό που οδηγούν σε αλλαγές στη σύνθεση των ειδών και μπορεί να επηρεάσει περαιτέρω τους έμβιους οργανισμούς. Στην ουσία δημιουργείται υπέρμετρη αύξηση της συγκέντρωσης θρεπτικών στοιχείων, που προκαλείται από τον εμπλουτισμό των υδάτων ή του εδάφους με απορροές θρεπτικών στοιχείων (νιτρικά και φωσφορικά ιόντα από λιπάσματα και απορρυπαντικά). Στο νερό για παράδειγμα, τα βακτήρια και τα φύκη αυξάνονται σε αριθμό τόσο, που σχηματίζουν επικάλυμμα στις υδάτινες επιφάνειες, προκαλώντας σκίαση στο νερό κάτω από την επιφάνεια. Χωρίς φως, οι φωτοσυνθετικοί οργανισμοί στον πυθμένα αποβιώνουν, προσφέροντας ακόμη μεγαλύτερη ποσότητα τροφής σε άλλα βακτήρια, που συνεχίζουν να αναπτύσσονται. Καθώς ο αριθμός των βακτηρίων αυξάνεται, η κατανάλωση του διαλυμένου στο νερό οξυγόνου αυξάνεται δραματικά, ενώ η παραγωγή ελαττώνεται, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει οξυγόνο για τους μη φωτοσυνθετικούς οργανισμούς, όπως, π.χ. τα ψάρια. Τα ψάρια είναι οι πρώτοι οργανισμοί που πεθαίνουν, ενώ ακολουθούν και τα βακτήρια δημιουργώντας ένα νεκρό οικοσύστημα.

Καταστροφή του Όζοντος (Ozone Depletion): Το στρώμα του όζοντος που βρίσκεται στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας (στρατόσφαιρα) της Γης μειώνεται σε πάχος πάνω από την Ανταρκτική. Λόγω του ότι το όζον (αλλοτροπική μορφή του οξυγόνου, τριατομικό οξυγόνο, O_3) προστατεύει από την ηλιακή ακτινοβολία, απορροφώντας μεγάλο μέρος της υπεριώδους, η δημιουργία της τρύπας του όζοντος έχει αρνητικά αποτελέσματα στην ανθρώπινη υγεία. Επίσης αυξάνει την θερμοκρασία στον πλανήτη και συμβάλλει αρνητικά στο λιwσίμο των πάγων.

Σχηματισμό Φωτοχημικού Όζοντος (Photochemical ozone formation): Πρόκειται για μια κατάσταση που οφείλεται σε συσσώρευση αέριων ρύπων, οι οποίοι προέρχονται κυρίως από τις μηχανές καύσης των βιομηχανιών και των αυτοκινήτων. Το όζον, που είναι δευτερογενής ρύπος, παράγεται - στην περίπτωση του φωτοχημικού νέφους - από την αλληλεπίδραση των οξειδίων του αζώτου με την ηλιακή ακτινοβολία, γι' αυτό και το νέφος ονομάζεται "φωτοχημικό".

Αιωρούμενα Σωματίδια (Διαταραχές του αναπνευστικού από ανόργανες ουσίες) (Particulate matter - Regulatory inorganics): Είναι τα αιωρούμενα σωματίδια, που συχνά προκύπτουν από την καύση των ορυκτών καυσίμων που εκπέμπουν θειϊκά και νιτρικά αερολύματα. Αυτά τα σωματίδια επιβαρύνουν το αναπνευστικό σύστημα και γενικότερα την ανθρώπινη υγεία.

Τοξικότητα για τον Άνθρωπο (Human toxicity): Τοξικές χημικές ουσίες που απελευθερώνονται στον αέρα, το νερό και το έδαφος εισέρχονται στον ανθρώπινο οργανισμό μέσω της αναπνοής, της κατάποσης και μέσω του δέρματος. Κατά συνέπεια, προκαλούνται καρκινικά στελέχη (καρκινογόνες ουσίες), ουσίες που μπορεί να προκαλέσουν γενετικές ανωμαλίες (τερατογόνες), ή άλλες παθογόνες και αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία.

Οικοτοξικότητα (Ecotoxicity): Αναφέρεται στη δυνατότητα βιολογικών, χημικών ή φυσικών παραγόντων να επηρεάσουν τα οικοσυστήματα. Τέτοιοι παράγοντες ενδέχεται να προκύψουν στο φυσικό περιβάλλον σε πυκνότητες, συγκεντρώσεις ή επίπεδα αρκετά υψηλά, ώστε να διαταράξουν τη φυσική βιοχημεία, τη φυσιολογία, τη συμπεριφορά και τις αλληλεπιδράσεις των ζωντανών οργανισμών που αποτελούν το οικοσύστημα.

Χρήση του Γλυκού Νερού (Freshwater use): Ασχολείται με την ποσότητα του νερού που αφαιρείται από το περιβάλλον και τις συνέπειες αυτής της απομάκρυνσης στα οικοσυστήματα που εξαρτώνται από το γλυκό νερό. Η σχέση μεταξύ του νερού, της ενέργειας, της γεωργίας και του κλίματος είναι σημαντική. Όλο και περισσότερο, η σχέση αυτή βρίσκεται εκτός ισορροπίας, θέτοντας σε κίνδυνο τα τρόφιμα, το νερό και την ενεργειακή ασφάλεια. Η κλιματική αλλαγή και οι επιπτώσεις της έχουν γίνει όλο και πιο εμφανείς σε όλο τον κόσμο. Καθώς η θερμοκρασία της Γης συνεχίζει να αυξάνεται, μπορούμε να αναμένουμε μια υψηλού ποσοστού επίδραση στα αποθέματα πόσιμου νερού. Καθώς οι θερμοκρασίες αυξάνονται, αυξάνεται η εξάτμιση, μερικές φορές με αποτέλεσμα την ξηρασία. Η πιο κοινή λύση για την αύξηση της ζήτησης του πόσιμου νερού, καθώς και ένας τρόπος για την ασφάλιση έναντι πιθανών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, είναι η μηχανική αναδιανομή του γλυκού νερού στο χώρο και στο χρόνο: ταμειυτήρες για την αποθήκευση, αγωγοί για να τη μεταφορά και αφαλάτωση για την ανάκτηση γλυκού νερού από τους ωκεανούς.

Ραδιενέργεια (Radioactivity): Πρόκειται για το φαινόμενο εκπομπής σωματιδίων ή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τους πυρήνες ορισμένων χημικών στοιχείων, που γι' αυτό το λόγο ονομάζονται ραδιενεργά. Τα άτομα των ραδιενεργών στοιχείων φέρουν ασταθείς πυρήνες. Αυτό σημαίνει πως αυτοί μπορούν να διασπασθούν αυθόρμητα, απελευθερώνοντας πυρηνική ακτινοβολία.

Εξάντληση των μη ενεργειακών πόρων (εξάντληση πηγών) (Depletion of non - energy resources): Πρόκειται για την κατανάλωση ενός πόρου σε ρυθμούς πιο γρήγορους από ότι μπορεί να αναπληρωθεί. Ένας μη-ανανεώσιμος πόρος είναι ένας πόρος που δεν ανανεώνεται σε επαρκή βαθμό και σε ουσιαστικά ανθρώπινα χρονικά πλαίσια. Τα ορυκτά και τα μεταλλεύματα, τα ορυκτά καύσιμα (άνθρακας, πετρέλαιο, φυσικό αέριο) και τα υπόγεια ύδατα θεωρούνται όλα μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, αν και σαν μεμονωμένα στοιχεία είναι σχεδόν πάντα διατηρημένα.

Εκπομπές Αερίων Θερμοκηπίου ανά προϊόν (Greenhouse Gas Emissions by product): Αέρια που παγιδεύουν τη θερμότητα στην ατμόσφαιρα ονομάζονται αέρια του θερμοκηπίου. Κατά την παραγωγή προϊόντων παράγεται πλήθος αερίων που συμβάλλουν στη αύξηση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Για ένα προϊόν μπορεί να οριστεί το ανθρακικό του αποτύπωμα, ως το συνολικό διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) μαζί με τα υπόλοιπα αέρια του θερμοκηπίου, τα οποία εκπέμπονται κατά τη διάρκεια ζωής (κύκλο ζωής) του προϊόντος, συμπεριλαμβανομένης της παραγωγής του, της χρήσης του και της τελικής απόρριψής του.

Συνολική κατανάλωση ενέργειας ανά εκροή (Total Energy Consumption per output): Εφαρμόζεται στο επίπεδο του συνολικού ενεργειακού συστήματος ή της τελικής ζήτησης.

Πίνακας 4: Περιβαλλοντικοί Δείκτες Αξιολόγησης της Βιωσιμότητας

Περιβαλλοντικοί Δείκτες	Χρήση γης
	Θόρυβος
	Βιοποικιλότητα
	Χρήση μη Ανανεώσιμης Ενέργειας
	Στερεά και Υγρά Απόβλητα
	Παγκόσμια Υπερθέρμανση
	Όξυνση
	Ευτροφισμός
	Καταστροφή του Όζοντος

Αξιολόγησης	Σχηματισμό Φωτοχημικού Όζοντος
	Αιωρούμενα Σωματίδια
	Τοξικότητα για τον Άνθρωπο
	Οικοτοξικότητα
	Χρήση του Γλυκού Νερού
	Ραδιενέργεια
	Εξάντληση των μη ενεργειακών πόρων
	Εκπομπές Αερίων Θερμοκηπίου ανά προϊόν
	Συνολική κατανάλωση ενέργειας ανά εκροή

Κοινωνικοί Δείκτες Αξιολόγησης

Στην κοινωνική διάσταση της βιωσιμότητας εντάσσονται δείκτες αξιολόγησης, που αφορούν την αντιμετώπιση κοινωνικό-οικονομικών κινδύνων, τη διασφάλιση της ισότητας και τη δημιουργία επιπρόσθετων θέσεων απασχόλησης, μέσω της ευρύτερης εφαρμογής επιλογών μετριασμού της κλιματικής αλλαγής.

Αναλυτικά οι δείκτες που ορίζονται είναι [31]:

Αποδοχή από το Κοινό (Public acceptance): Ιστορικά, πολλές τεχνολογίες έχουν συσχετιστεί με κοινωνικές διαμάχες, οδηγώντας σε δημόσια απόρριψη της χρήσης τους. Καθοριστικός παράγοντας είναι ο κίνδυνος, η εμπιστοσύνη, η αντίληψη του οφέλους, η γνώση, όπως και η γενικότερη κοινωνική στάση απέναντι σε κάποια επιλογή μετριασμού της κλιματικής αλλαγής.

Εμπιστοσύνη στην Κανονιστική Εποπτεία (Trust in regulatory oversight): Αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό της δημόσιας διακυβέρνησης. Προσδιορίζει τη σχέση μεταξύ εμπιστοσύνης (από την πλευρά των πολιτών) και ελέγχου (από την πλευρά της κυβέρνησης).

Εμπιστοσύνη στην Πηγή Πληροφοριών (Trust in source of information): Η εμπιστοσύνη είναι απαραίτητη για την κατανόηση της αντίδρασης του κοινού σε καινοτόμα θέματα, όπως την ανάπτυξη και προώθηση μιας νέας επιλογής μετριασμού. Για το λόγο αυτό στο πλαίσιο προώθησης νέων δράσεων και πολιτικών για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, οι αρμόδιοι φορείς θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψιν τους την ακεραιότητα της πηγής που προωθεί κάθε φορά τα εκάστοτε μηνύματα, μιας και πολλές φορές το κοινό απορρίπτει πληροφορίες λόγω έλλειψης εμπιστοσύνης στους αρμόδιους φορείς.

Κοινωνικό-οικονομικοί Κίνδυνοι (Socio-economic risks): Σχετίζεται με κοινωνικούς και οικονομικούς κινδύνους που μπορεί να εμφανιστούν με την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών ή πρακτικών μετριασμού της κλιματικής αλλαγής και με το ποιους από τους κινδύνους αυτούς μπορούν οι αντίστοιχες δράσεις να εξαλείψουν.

Πολιτιστική Κληρονομιά (Cultural heritage): Η πολιτιστική κληρονομιά είναι η κληρονομιά των φυσικών αντικειμένων και των άυλων χαρακτηριστικών μιας κοινωνίας που κληρονομούνται από τις προηγούμενες γενιές, διατηρούνται στο παρόν και κληροδοτούνται στις επόμενες γενιές. Η πολιτιστική κληρονομιά περιλαμβάνει το φυσικό πολιτισμό (όπως τα κτίρια, τα μνημεία, τα τοπία, τα βιβλία, τα έργα τέχνης και τα αντικείμενα), τον άυλο πολιτισμό (όπως η λαογραφία, οι παραδόσεις, η γλώσσα και η γνώση) και τη φυσική κληρονομιά (συμπεριλαμβάνει ύψιστης σημασίας πολιτιστικά τοπία και τη βιοποικιλότητα). Σε έναν κόσμο όπου το κλίμα αλλάζει, οι πρακτικές μετριασμού θα πρέπει να εξελιχθούν, για να μειωθούν οι επιπτώσεις των νέων απειλών,

ενώ θα πρέπει επίσης να αναγνωριστεί η ανάγκη για μια στροφή από τους μηχανισμούς που προκαλούν ζημιές (όπως η ρύπανση του αέρα) προς μια διαφορετική βιολογική και φυσική διαδικασία που θα οδηγήσει σε μορφές ζημιών που αναμένεται να είναι διαφορετικές από εκείνες του περασμένου αιώνα.

Ταυτότητα τόπου (Place identity): Η κατασκευή συστημάτων για τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής, οι βιομηχανίες και η κατασκευή νέων υποδομών υπάρχει περίπτωση να αλλοιώσουν την ταυτότητα ενός τόπου ή την φυσική ομορφιά του. Ο συγκεκριμένος δείκτης παρουσιάζει σχετική συνάφεια με τον προηγούμενο.

Απόσπαση δύναμης (Spin-off power): Στον τομέα της πολιτικής σχετίζεται με τη δημιουργία «κυβερνητικού χώρου» για συναφείς δραστηριότητες και τον ορισμό προτεραιοτήτων, και στον τομέα των επιχειρήσεων τη δημιουργία δεξιοτήτων, δικτύων και νέων πρωτοβουλιών.

Τοπική Αυτονομία (Local autonomy): Ο δείκτης αυτός σχετίζεται με την ενεργειακή αυτονομία μίας κοινωνίας σε επίπεδο εκτάσεων και πόρων. Η αυτονομία επηρεάζεται αρνητικά όταν για παράδειγμα ένας τόπος εξαρτάται ενεργειακά από έναν άλλον, με διαφορετικά συμφέροντα.

Ανησυχίες λόγω Εκσυγχρονισμού (Modernization concerns): Η εξέλιξη, οι νέες τεχνολογίες και η γρήγορη ανάπτυξη της κοινωνίας, φέρνουν ανησυχίες σχετικά με την εξάλειψη των παραδοσιακών τεχνικών και την εξάρτηση από τις μηχανές.

Εκπαίδευση και Ανάπτυξη Δεξιοτήτων (Education and skills): Ο δείκτης αυτός πληροφορεί για το κατά πόσο μια επιλογή μετριασμού προσφέρει δυνατότητες και υποδομές εξέλιξης ικανοτήτων, εκπαίδευσης και περαιτέρω μάθησης και κατά πόσο απαιτεί εργαζόμενους άρτια εκπαιδευμένους και ειδικευμένους.

Κοινωνική Δικαιοσύνη (Equity concerns): Ο δείκτης αυτός αναφέρεται κυρίως στο κατά πόσο η επιβολή μίας κλιματικής πολιτικής για την προώθηση και την εφαρμογή μίας τεχνολογίας ή πρακτικής μετριασμού μπορεί να οδηγήσει στην άμβλυνση κοινωνικών διακρίσεων (δηλ. φυλετικών, φύλου, θρησκευτικών, κ.ά.) αναδεικνύοντας παράλληλα θέματα κοινωνικής δικαιοσύνης και ισότητας.

Υιοθέτηση Εθελοντισμού (Voluntariness of adoption): Αποτελεί ένα δείκτη που εξετάζει κατά πόσο ο άνθρωπος είναι διατεθειμένος να προσφέρει εθελοντικά, για το καλό του συνόλου και την προστασία του περιβάλλοντος, μέσω της εθελοντικής του συνεισφοράς σε δράσεις προώθησης περιβαλλοντικών επιλογών για το μετριασμό της κλιματικής αλλαγής.

Νέες Θέσεις Εργασίας (Increase in employment): Ο δείκτης αυτός αναφέρεται στο κατά πόσο η επιβολή μίας κλιματικής πολιτικής, και η κατά συνέπεια προώθηση και εφαρμογή επιλογών μετριασμού της κλιματικής αλλαγής, μπορούν να δημιουργήσουν νέες θέσεις εργασίας συμβάλλοντας στην περαιτέρω κοινωνική ανάπτυξη.

Προτιμήσεις του κοινωνικού συνόλου (Consumer Surplus - Preferences): Ο δείκτης αυτός υποδηλώνει τις προτιμήσεις των καταναλωτών και την ικανοποίησή τους, ως προς την αισθητική, την αξιοπιστία και την απόδοσή, μίας τεχνολογίας ή πρακτικής μετριασμού της κλιματικής αλλαγής. Ο συγκεκριμένος δείκτης είναι ιδιαίτερα χρήζει επισήμανσης, μιας και αντικατοπτρίζει τις τάσεις της

πλειοψηφίας ενός κοινωνικού συνόλου, οι οποίες ουσιαστικά καθορίζουν την υιοθέτηση μίας επιλογής μετριασμού.

Πίνακας 5: Κοινωνικοί Δείκτες Αξιολόγησης της Βιωσιμότητας

Κοινωνικοί Δείκτες Αξιολόγησης	Αποδοχή από το Κοινό
	Εμπιστοσύνη στην Κανονιστική Εποπτεία
	Εμπιστοσύνη στην Πηγή Πληροφοριών
	Κοινωνικό-οικονομικοί Κίνδυνοι
	Πολιτιστική Κληρονομιά
	Ταυτότητα Τόπου
	Απόσπαση Δύναμης
	Τοπική Αυτονομία
	Ανησυχίες λόγω Εκσυγχρονισμού
	Εκπαίδευση και Ανάπτυξη Δεξιοτήτων
	Ανησυχίες για τη Δικαιοσύνη
	Υιοθέτηση Εθελοντισμού
	Αύξηση στην Απασχόληση
	Πλεόνασμα καταναλωτή – Προτιμήσεις

Δείκτες Αξιολόγησης της Ετοιμότητας της Αγοράς

Στην διάσταση της βιωσιμότητας που αφορά την ετοιμότητα της αγοράς, εντάσσονται δείκτες σχετικοί με την ζήτηση μιας τεχνολογίας ή το επίπεδο ωριμότητάς της. Αναλυτικά οι δείκτες που ορίζονται είναι [31]:

Ζήτηση της τεχνολογίας (Demand of technology): Η ανάγκη, ο βαθμός και η ένταση διάχυσης μίας τεχνολογίας και της περαιτέρω εμπορευματοποίησής της μπορεί να επηρεαστούν από τη φύση και τον προσανατολισμό των εκάστοτε τεχνολογικών αναγκών. Η ζήτηση μιας τεχνολογίας μπορεί να παίξει βασικό ρόλο στην αποδοχή της από το κοινό και στη μελέτη για περαιτέρω ανάπτυξής της. Επίσης, η ζήτηση μίας τεχνολογίας μπορεί να διαμορφώσει και τις μελλοντικές κλιματικές και ενεργειακές στρατηγικές, τόσο σε τοπικό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο.

Επίπεδο Ωριμότητας (Maturity level): Μια ώριμη τεχνολογία είναι μια τεχνολογία που έχει χρησιμοποιηθεί για αρκετό καιρό, με αποτέλεσμα οι περισσότερες από τις αρχικές βλάβες και τα εγγενή προβλήματα να έχουν αντιμετωπισθεί ή προληφθεί με την περαιτέρω ανάπτυξή της. Ο παρών δείκτης μπορεί επίσης να αναφέρεται σε αναδυόμενες τεχνολογίες ή πρακτικές για τις οποίες η παρούσα επιστημονική γνώση είναι αρκετά προηγμένη.

Επίπεδο απαιτούμενων Τεχνικών και Επιχειρηματικών δεξιοτήτων (Level of technical and business skills needed): Οι τεχνικές δεξιότητες που απαιτούνται για την υιοθέτηση μιας νέας τεχνολογίας, αντικατοπτρίζουν το υπόβαθρο των πρακτικών γνώσεων γύρω από αυτή, ενώ οι επιχειρηματικές δεξιότητες, υπάρχουσες δραστηριότητες για την περαιτέρω προώθηση της.

Πίνακας 6: Δείκτες Αξιολόγησης Ετοιμότητας της Αγοράς

Δείκτες Αξιολόγησης Ετοιμότητας Αγοράς	Ζήτηση της Τεχνολογίας
	Επίπεδο Ωριμότητας

	Επίπεδο Αναγκαίων Τεχνικών και Επιχειρηματικών δεξιοτήτων
	Άλλοι

Τεχν

Τέλος, στην περαιτέρω διατύπωση περιλαμβάνονται δείκτες, που έχουν να κάνουν με την αποδοτικότητα των τεχνολογιών, τη δυνατότητα ένταξής τους στο παρόν ή στο μελλοντικό ενεργειακό σύστημα και την αβεβαιότητα σχετικά με τη μελλοντική τους επίδοση. Αναλυτικά οι δείκτες που ορίζονται είναι [31]:

Αξιοπιστία της τεχνολογίας-Ικανοποίηση του χρήστη (Reliability of technology and user satisfaction): Ο δείκτης αυτός αντικατοπτρίζει την αξιοπιστία μίας τεχνολογικής επιλογής μέσω της ικανοποίησης που επιφέρει στους χρήστες της σε επίπεδο απόδοσης, χρήσης και χρησιμότητας.

Ικανότητα ένταξης στα σημερινά και στα μελλοντικά ενεργειακά συστήματα (Capacity level of integration into present and future energy systems): Ο δείκτης αυτός υποδηλώνει την ικανότητα μίας τεχνολογίας ή πρακτικής μετριασμού να ενταχθεί στα υπάρχοντα ενεργειακά συστήματα ή, ακόμα σημαντικότερα, να ενταχθεί στις μελλοντικές κλιματικές πολιτικές και στα μελλοντικά ενεργειακά μείγματα αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής.

Αβεβαιότητα σχετικά με τη μελλοντική απόδοση (Uncertainty regarding future performance): Μία τεχνολογία που έχει μελετηθεί και αναπτυχθεί πλήρως και έχει αποδειχθεί στην αγορά θεωρείται ώριμη και αποδοτική. Αβεβαιότητα συνοδεύει συνήθως αναδυόμενες και καινοτόμες τεχνολογίες, των οποίων η μελλοντική τους απόδοση δεν είναι ακόμα πρακτικά γνωστή. Επίσης, αβεβαιότητα παρατηρείται και σε υπάρχοντες τεχνολογίες σχετικά με το κατά πόσο θα μπορούν να ανταπεξέλθουν και να παραμείνουν αποδοτικές στις μελλοντικές ενεργειακές επιταγές.

Παραγωγή Ενέργειας (Energy output): Ο δείκτης αυτός εκφράζει την καθαρή παραγωγή ενέργειας και το βαθμό απόδοσης ενός συστήματος παραγωγής.

Πίνακας 7: Τεχνολογικοί Δείκτες Αξιολόγησης της Βιωσιμότητας

Τεχνολογικοί Δείκτες Αξιολόγησης	Αξιοπιστία της Τεχνολογίας και της Ικανοποίησης των Χρηστών
	Επίπεδο Ικανότητας Ένταξης στα Σημερινά και στα Μελλοντικά Ενεργειακά Συστήματα
	Αβεβαιότητα σχετικά με τη Μελλοντική Απόδοση
	Παραγωγή Ενέργειας

Σημειώνεται πως η ανασκόπηση της βιβλιογραφίας μπορεί να αναδείξει πρόσθετους δείκτες, συμπληρωματικούς σε αυτή τη λίστα. Έχοντας ως βάση τις παραπάνω διαστάσεις βιωσιμότητας, με τους αντίστοιχους δείκτες που έχουν οριστεί, επιβεβαιώνεται μέσω της βιβλιογραφίας ποιοι από αυτούς επικυρώνονται, με σκοπό να ενταχθούν σε ένα νέο σύνολο δεικτών, το οποίο θα αποτελέσει τη βάση για την περαιτέρω αξιολόγηση της βιωσιμότητας επιλογών μετριασμού στις πέντε (5) διαφορετικές διαστάσεις που έχουν οριστεί.

Για την επιλογή των δεικτών, εφαρμόστηκαν μια σειρά από κριτήρια. Οι δείκτες που επιλέγονται θα πρέπει να είναι:

- Σαφώς ορισμένοι
- Αντιπροσωπευτικοί,
- Επεξηγηματικοί,
- Συμπληρωματικοί,

- Εύλογοι,
- Αυτόνομοι και
- Καθολικά Εφαρμόσιμοι

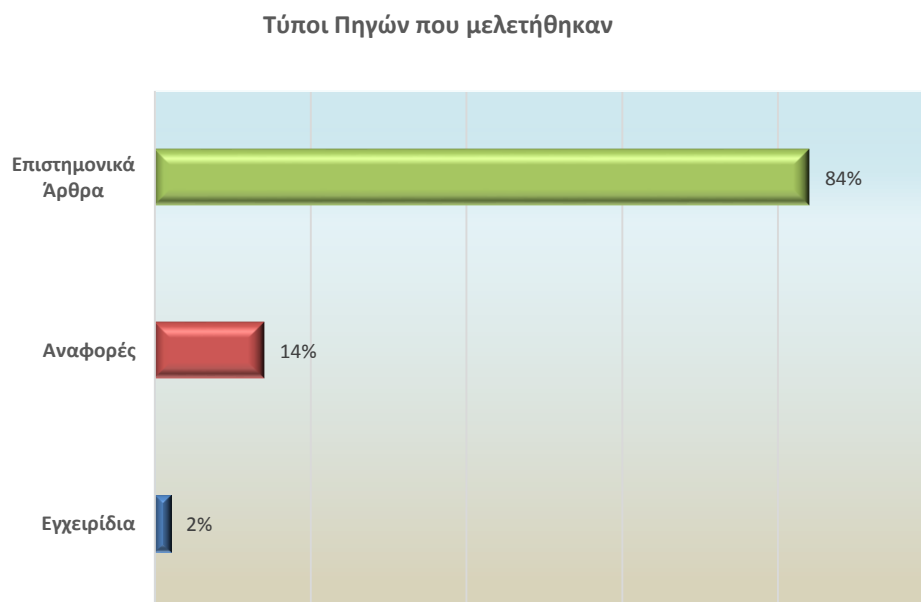
3.3 Εφαρμογή μεθοδολογίας και παρουσίαση αποτελεσμάτων

3.3.1 Αξιολόγηση της επιλεγθείσας βιβλιογραφίας

Με μια πρώτη αναζήτηση στη διεθνή βιβλιογραφία πρόκυψε ένας μεγάλος αριθμός διαθέσιμων πηγών σχετικές με το αντικείμενο ενασχόλησης του παρόντος κεφαλαίου. Για την επιλογή του τελικού συνόλου πηγών προς μελέτη εφαρμόστηκε η μέθοδος αξιολόγησης που αναλύθηκε στην ενότητα **3.2.2 Μέθοδος αξιολόγησης της επιλεγθείσας βιβλιογραφίας**.

Έτσι, με βάση τα κριτήρια που περιγράφηκαν στο Κεφάλαιο 3.2.1 Συλλογή βιβλιογραφικών πηγών, επιλέχθηκαν και μελετήθηκαν πενήντα (50) διαφορετικές πηγές, οι οποίες ήταν είτε Αναφορές, είτε Επιστημονικά Άρθρα, είτε Εγχειρίδια (βλ.

Διάγραμμα 7: Τύποι πηγών που μελετήθηκαν **Διάγραμμα 7**).

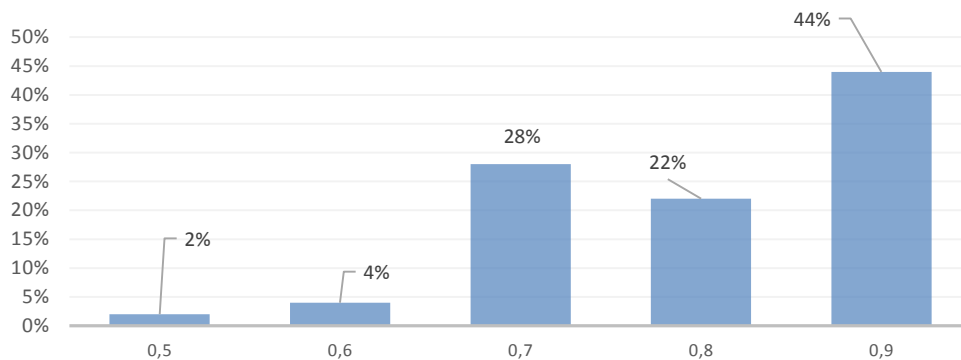


Διάγραμμα 7: Τύποι πηγών που μελετήθηκαν

Και στις πενήντα (50) αυτές πηγές εφαρμόστηκαν τα κριτήρια αξιολόγησης, όπως ορίστηκαν σε προηγούμενη ενότητα και υπολογίστηκε ο Δείκτης Ελέγχου Ποιότητας (ΔΕΠ). Οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν, ο υπολογισμός, καθώς και τα αποτελέσματα που προέκυψαν για το ΔΕΠ για κάθε πηγή παρουσιάζονται στο **Παράρτημα 3.1: Υπολογισμός τιμής Δείκτη Ελέγχου Ποιότητας πηγών 3^{ου} Κεφαλαίου**.

Όπως προκύπτει από τα εξαγόμενα αποτελέσματα οι τιμές του ΔΕΠ των πηγών κατανέμονται, όπως παρουσιάζεται ακολούθως στο **Διάγραμμα 8**.

Κατανομή Τιμών Δείκτη Ελέγχου Ποιότητας (ΔΕΠ)



Διάγραμμα 8: Κατανομή Τιμών Δείκτη Ελέγχου Ποιότητας (ΔΕΠ)

Σύμφωνα με τη μεθοδολογία που έχει οριστεί [28], το εύρος της τιμής του Δείκτη Ελέγχου Ποιότητας το οποίο ορίζεται ως αποδεκτό για τη συλλογή στοιχείων και πληροφοριών από τις πηγές είναι από 0.5 έως 1.0, το οποίο και επιτυγχάνεται στις ανωτέρω πηγές, ενώ παρατηρείται ότι σε ποσοστό 94% οι πηγές που επιλέγονται έχουν υψηλή τιμή ΔΕΠ (μεγαλύτερο ή ίσο του 0.7), με μέσο όρο της τιμής στο 0.8, το οποίο είναι πολύ ικανοποιητικό (βλ. Παράρτημα 3.1).

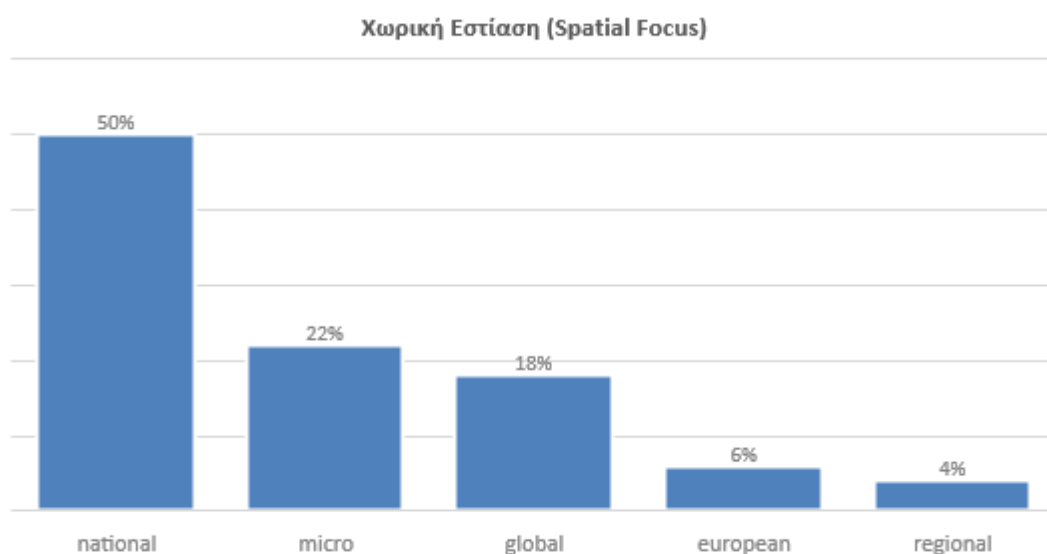
Τέλος, πραγματοποιήθηκε διαχωρισμός του συνόλου των επιλεγθεισών πηγών ως προς το αντικείμενο που ασχολείται η κάθε πηγή ξεχωριστά (Object), ως προς τη χωρική εστίαση (Spatial focus), ως προς τη χρονική εστίαση (Temporal focus), ως προς την Εξέταση του Κύκλου Ζωής (Life Cycle Thinking), ως προς το Πλαίσιο (Framework), ως προς τη Μέθοδο (Method), ως προς την Υπό-μέθοδο (Sub-method) και ως προς τα Δυνατά σημεία και Αδυναμίες (Strengths & Weaknesses) του κάθε πλαισίου (βλ. Παράρτημα 3.2). Τα Δεδομένα (Data) που χρησιμοποιούνται στις πηγές που μελετώνται είναι τόσο ποιοτικά, όσο και ποσοτικά, και αφορούν σε παγκόσμιο ή σε εθνικό επίπεδο, ενώ η πηγή τους είναι κυρίως από την επιστημονική βιβλιογραφία, βάσεις δεδομένων, στατιστικές έρευνες, επιστημονική βιβλιογραφία, τεχνικές αναφορές, κ.ά. Το πεδίο της Επεξεργασίας των Δεδομένων (Processing of Data) αποσκοπεί στο να αποκτήσουν τα δεδομένα μια τελική μορφή και να μπορούν να αξιοποιηθούν άρτια. Αυτό μπορεί να γίνει με την χρήση ποικίλων εργαλείων, όπως η Διαδικασία Λήψης Αποφάσεων, η Πολυκριτηριακή Ανάλυση Αποφάσεων, τα μοντέλα κανονικοποίησης των δεδομένων, οι συμβουλευτικές προσεγγίσεις από εμπειρογνώμονες, κλπ. Τέλος, όλες οι επιλεγθείσες πηγές χρησιμοποιούν μεθόδους που βασίζονται σε δείκτες αξιολόγησης όλων των διαστάσεων βιωσιμότητας, ενώ η αξιολόγηση τους πραγματοποιείται κυρίως σε διαχρονικό επίπεδο (inter-temporal).

Έτσι, η πληροφορία που καταγράφηκε και τα εξαγόμενα αποτελέσματα κατηγοριοποιήθηκαν ως εξής:

Αντικείμενο (Object): Το σύνολο των πηγών που εξετάστηκαν, κάλυπτε ένα ευρύ Αντικείμενο του ενεργειακού εφοδιασμού και αναφερόταν σε διάφορες επιλογές μετριάσμου της κλιματικής

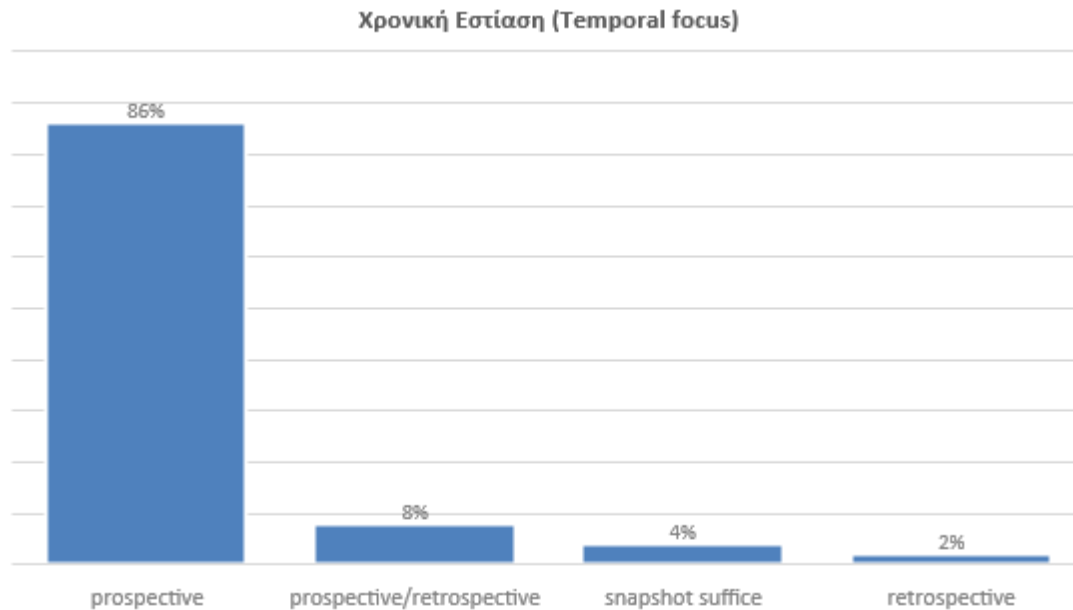
αλλαγής, όπως για παράδειγμα τη Δέσμευση και Αποθήκευση Άνθρακα (Carbon Capture and Storage - CCS), την Ολοκληρωμένη Αεριοποίηση Συνδυασμένου Κύκλου (Integrated Gasification Combined Cycle – Carbon Capture Storage - IGCC-CCS), την Πυρηνική ενέργεια (Nuclear Power), τη Γεωθερμία (Geothermal Energy), τα Ηλιακά φωτοβολταϊκά συστήματα (Solar Photovoltaic Systems), τα Συγκεντρωτικά παραβολικά κάτοπτρα ηλιακής ενέργειας (CSP), κλπ. (βλ. **Παράρτημα 3.2**).

Χωρική Εστίαση (Spatial focus): Παρατηρήθηκε ότι από τις 50 πηγές, οι 11 πραγματοποιούν ανάλυση σε μικρο-επίπεδο, οι 25 εστιάζουν σε εθνικό (national focus), οι 9 εστιάζουν σε παγκόσμιο (global focus), οι 2 σε περιφερειακό (regional), ενώ οι υπόλοιπες () σε ευρωπαϊκό επίπεδο (European Focus). Τα παραπάνω αποτελέσματα απεικονίζονται και γραφικά στο παρακάτω **Διάγραμμα 9** και αναλυτικότερα στο **Παράρτημα 3.2** ανά πηγή, στο **Παράρτημα 4** ανά μεθοδολογία και στο **Παράρτημα 3.5** για το σύνολο της βιβλιογραφίας.



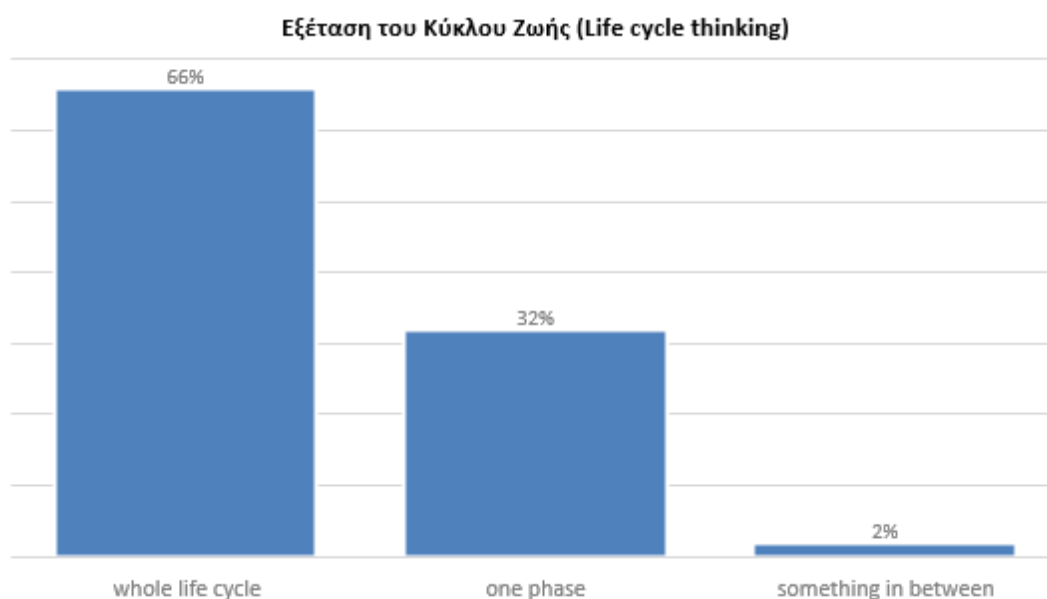
Διάγραμμα 9: Χωρική Εστίαση (Spatial focus)

Χρονική Εστίαση (Temporal focus): Από τις 50 συνολικά εξεταζόμενες πηγές, το 86% αυτών πραγματοποιούσε μελλοντική αξιολόγηση (prospective), ενώ σε μικρότερα ποσοστά 8% , 4% και 2% πραγματοποιούσαν ταυτόχρονα μελλοντική αξιολόγηση και εκ των υστέρων (prospective/retrospective), στιγμιότυπη αξιολόγηση (snapshot suffice) και εκ των υστέρων (retrospective) αντίστοιχα, όπως αναπαριστώνται και παρακάτω στο **Διάγραμμα 10**, στο **Παράρτημα 3.2** ανά πηγή, στο **Παράρτημα 4** ανά μεθοδολογία και στο **Παράρτημα 3.5** για το σύνολο της βιβλιογραφίας.



Διάγραμμα 10: Χρονική Εστίαση (Temporal focus)

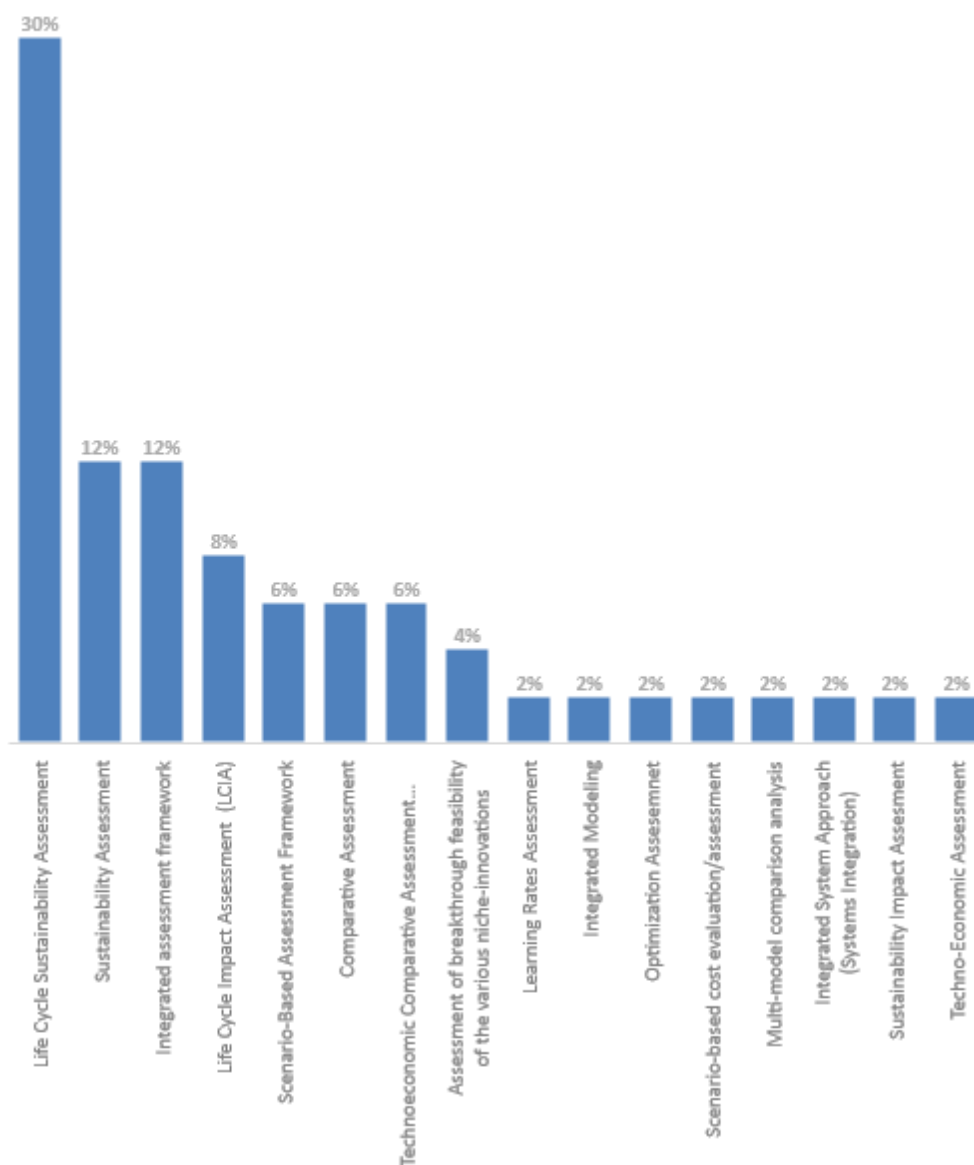
Εξέταση του Κύκλου Ζωής (Life cycle thinking): Η πλειοψηφία των πηγών που μελετήθηκαν (σε ποσοστό 66%) κάνουν αξιολόγηση των επιπτώσεων των επιλογών μετριασμού της κλιματικής αλλαγής σε όλο τον κύκλο ζωής (whole life cycle), Σε ποσοστό 32% πραγματοποιείται αξιολόγηση σε μία φάση του κύκλου ζωής (one phase), ενώ σε πολύ μικρότερο ποσοστό (2%) κάτι μεταξύ των δύο παραπάνω. Στο παρακάτω **Διάγραμμα 11** παρουσιάζονται τα παραπάνω αποτελέσματα και γραφικά, ενώ αναλυτικότερα στο **Παράρτημα 3.2** ανά πηγή, στο **Παράρτημα 4** ανά μεθοδολογία και στο **Παράρτημα 3.5** για το σύνολο της βιβλιογραφίας.



Διάγραμμα 11: Εξέταση του Κύκλου Ζωής (Life cycle thinking)

Πλαίσιο (Framework): Η πλειονότητα των πηγών που μελετήθηκαν (30%) έκαναν χρήση Αξιολόγησης της Βιωσιμότητας στον Κύκλο Ζωής των επιλογών μετριασμού (Life Cycle Sustainability Assessment), ενώ σε μικρότερο βαθμό (12%) πραγματοποίησαν Αξιολόγηση της Βιωσιμότητας (Sustainability Assessment) και Ολοκληρωμένο Πλαίσιο Αξιολόγησης (Integrated Assessment Framework). Άλλα πλαίσια με μικρότερο ποσοστό εμφάνισης, ήταν η Ανάλυση σεναρίων (Scenario-Based Assessment Framework), η Συγκριτική Ανάλυση με χρήση πολλαπλών μοντέλων (Multi-model Comparison Analysis), κ.α. Αναλυτικά όλα τα πλαίσια έχουν καταγραφεί στο παρακάτω **Διάγραμμα 12** ανά ποσοστό χρήσης τους, καθώς και αναλυτικότερα στο **Παράρτημα 3.2** ανά πηγή, στο **Παράρτημα 4** ανά μεθοδολογία και στο **Παράρτημα 3.5** για το σύνολο της βιβλιογραφίας.

Μεθοδολογικά Πλαίσια (Framework)



Διάγραμμα 12: Μεθοδολογικά Πλαίσια (Frameworks)

Μέθοδος (Method): Η πλειοψηφία των βιβλιογραφικών πηγών που μελετήθηκαν χρησιμοποίησε διαφορετικές μεθόδους που εντάσσονται στην κατηγορία Άλλες Μέθοδοι (Other Methods) (41%), ενώ ακολουθούν η Επιλογή Δεικτών (Indicator Selection) (14%), η Αξιολόγηση των Επιπτώσεων στον Κύκλο Ζωής (Life Cycle Impact Assessment) (5%) και η Μοντελοποίηση Προσομοίωσης (Modeling and Simulation) (5%). Άλλες μέθοδοι που εφαρμόστηκαν είναι η Ανάλυση Κύκλου Ζωής (Life Cycle Analysis), η Ανάλυση Σεναρίων (Scenario Analysis), η Ανάλυση Ευαισθησίας (Sensitivity Analysis), η Πολυκριτηριακή Ανάλυση (Multi-Criteria Analysis), η Αξιολόγηση της Βιωσιμότητας (Sustainability Assessment), η Συγκριτική Μέθοδος (Comparative Assessment), κ.α. Στο **Παράρτημα 3.5** παρουσιάζονται πιο αναλυτικά όλες οι μέθοδοι που εντοπίστηκαν στο σύνολο των πηγών της βιβλιογραφίας.

Υπό-μέθοδος (Sub-method): Η επιλεχθείσα βιβλιογραφία ανέδειξε ένα μεγάλο πλήθος υπό-μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν για να υποστηρίξουν τα κύρια μεθοδολογικά πλαίσια που καταγράφηκαν. Η πλειοψηφία αυτών εντάσσεται στην κατηγορία «Άλλες Υπό-Μέθοδοι» (Other Sub-methods) (41%), καθώς δεν παρατηρήθηκαν παραπάνω από μία φορά στο σύνολο της εξεταζόμενης βιβλιογραφίας. Κυρίαρχη από τις υπόλοιπες Υπό-μεθόδους ήταν η Ανάλυση Ευαισθησίας (Sensitivity Analysis) (5%). Άλλες υπό-μέθοδοι που εντοπίστηκαν με χαμηλότερο ποσοστό εμφάνισης, ήταν η Μέθοδος Delphi, η Πολυκριτηριακή Ανάλυση (Multi-Criteria Analysis), Ανάλυση σεναρίων (Scenario Based Analysis), η Ανάλυση τυποποίησης (βάσει προτύπων ISO) και μεθοδολογίες που έχουν αναπτυχθεί στα πλαίσια ερευνητικών έργων Ευρωπαϊκής ή άλλης χρηματοδότησης, όπως οι Poles Modeling Framework, ReCipe impact evaluation method, IMPACT 2002+ evaluation method και MARKAL model. Τέλος, λιγότερο εμφανίστηκαν υπό-μέθοδοι όπως, η Ανάλυση Monte Carlo, Στατιστικές Αναλύσεις (Statistical Analysis), τα μοντέλα DEX, GIS, WITCH, κλπ. Στο **Παράρτημα 3.5** παρουσιάζονται όλες οι υπό-μέθοδοι που εντοπίστηκαν στο σύνολο της βιβλιογραφίας.

Δυνατά σημεία και Αδυναμίες (Strengths & Weaknesses): Σε αυτή την κατηγορία επισημαίνονται τόσο τα πλεονεκτήματα όσο και τα μειονεκτήματα των μεθόδων που αναλύονται, αναφορικά με την εκάστοτε τεχνολογία μετριασμού της κλιματικής αλλαγής. Συγκεκριμένα, τα κύρια πλεονεκτήματα που παρατηρήθηκαν κατά την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας κατά κύριο λόγο ήταν η λεπτομερής ανάλυση, η διαφάνης και η εκτεταμένη τεκμηρίωση των αποτελεσμάτων, η χρήση δεδομένων από πραγματικές εφαρμογές, το κατανοητά γραμμένο κείμενο για τους αναγνώστες και τέλος η παρότρυνση και καθοδήγηση των συγγραφέων για μελλοντική, πιο ποιοτική, επέκταση της έρευνάς τους. Από την άλλη, η έλλειψη ρεαλιστικών δεδομένων ακριβείας φαίνεται να αποτελεί το κυριότερο μειονέκτημα των μεθοδολογικών πλαισίων αξιολόγησης που εξετάστηκαν (βλ. και αναλυτικότερα στο **Παράρτημα 3.2**).

Δεδομένα (Data) Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στις πηγές που μελετήθηκαν, είναι κατά βάση ποσοτικά, και σε μικρότερο βαθμό εμφανίστηκαν ποιοτικά ή ημιποσοτικά δεδομένα. Τα δεδομένα αυτά αναφέρονται σε παγκόσμιο, σε εθνικό, σε ηπειρωτικό, σε τομεακό, είτε σε ιδιωτικό επίπεδο. Συγκεκριμένα η αναφορά των περισσότερων πηγών πραγματοποιήθηκε σε εθνικό επίπεδο, αναλύοντας την εφαρμογή μιας τεχνολογίας μετριασμού κλιματικής αλλαγής σε εθνικό επίπεδο. Σχετικά με την πηγή τους (Source), είναι κυρίως από επιστημονική βιβλιογραφία, βάσεις δεδομένων από άλλες παρεμφερείς μελέτες, στατιστικά γραφεία, μελέτες από εμπειρογνώμονες και έρευνες από διάφορους φορείς (βλ. στο **Παράρτημα 3.2**).

Επεξεργασία των Δεδομένων (Processing of Data): Οι πηγές που μελετήθηκαν ανέδειξαν μία ποικιλία εργαλείων για την επεξεργασία των χρησιμοποιούμενων δεδομένων, με σκοπό να αποκτήσουν μια τελική μορφή και να μπορούν να αξιοποιηθούν. Οι βασικές μέθοδοι επεξεργασίας που παρατηρήθηκαν είναι: η Πολυκριτηριακή Ανάλυση-Λήψη Αποφάσεων, συμβουλευτικές προσεγγίσεις από εμπειρογνώμονες, μοντέλα κανονικοποίησης δεδομένων, μαθηματικά μοντέλα, μοντέλα προσομοίωσης, στατιστικές αναλύσεις, πειραματικές αναλύσεις, χρήση σεναρίων, κλπ (βλ. και **Παράρτημα 3.2**).

3.3.2 Παρουσίαση μεθοδολογικών πλαισίων αξιολόγησης επιλογών μετριασμού της κλιματικής αλλαγής βάσει την επιλεχθείσα βιβλιογραφία

Στην υποενότητα αυτή παρουσιάζονται τα μεθοδολογικά πλαίσια αξιολόγησης επιλογών (τεχνολογιών ή πρακτικών) μετριασμού της κλιματικής αλλαγής, όπως αναδείχθηκαν από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση που πραγματοποιήθηκε. Επιπλέον, αναλύονται τα βασικά χαρακτηριστικά των μεθοδολογικών αυτών πλαισίων, ποιες μέθοδοι ή υπό-μέθοδοι χρησιμοποιούνται στα πλαίσια της κάθε συστημικής ανάλυσης, αλλά και σε ποιές από τις πέντε διαστάσεις της βιωσιμότητας εστιάζει περισσότερο το κάθε μεθοδολογικό πλαίσιο (βάσει πάντα της πληροφορίας που υπήρχε στο δείγμα των βιβλιογραφικών πηγών που μελετήθηκε).

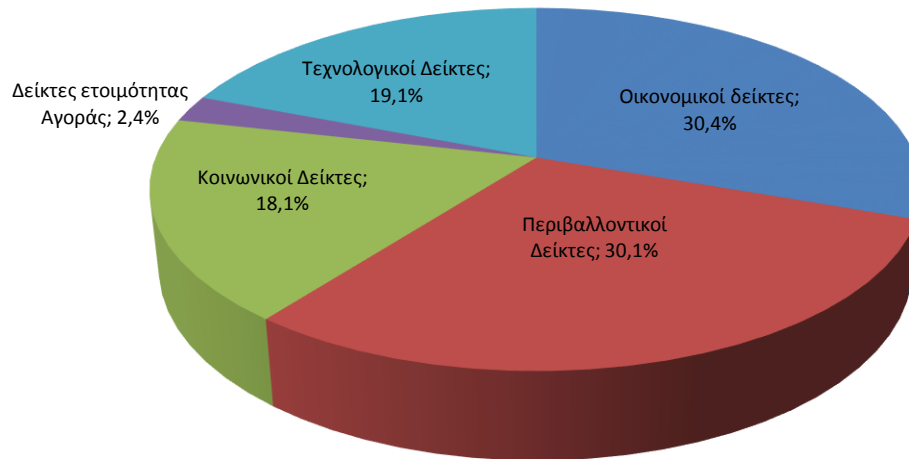
Επιλογή και Χρήση Δεικτών Αειφορίας (Sustainability Indicator Analysis)

Η χρήση δεικτών αποτελεί ένα βασικό εργαλείο αξιολόγησης της βιωσιμότητας, μιας και συντελεί στην παρακολούθηση της προόδου μιας τεχνολογίας με την πάροδο του χρόνου, τον εντοπισμό προβλημάτων σχετικά με τη βελτίωση της απόδοσης της και τον εντοπισμό προβλέψεων από προηγούμενες αναλύσεις. Η αποδοτικότητα μίας τεχνολογίας δεν μετράται μόνο από οικονομικούς δείκτες, αλλά μία πιο ολιστική ανάλυση θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη της πολλαπλές διαστάσεις της βιωσιμότητας. Οι δείκτες βιωσιμότητας μπορούν να απλοποιήσουν, να ποσοτικοποιήσουν, να αναλύσουν και να συνδέσουν καλύτερα πληροφορίες, όταν αυτές εξετάζονται, λαμβάνοντας υπόψη τους όλες τις διαφορετικές πτυχές της βιώσιμης ανάπτυξης. Εντούτοις, ο προσδιορισμός ενός κατάλληλου συνόλου δεικτών αποτελεί μία από τις κύριες προκλήσεις για την αξιολόγηση τεχνολογιών και πρακτικών μετριασμού της κλιματικής αλλαγής [32].

Σύμφωνα με το **Διάγραμμα 22**, το συγκεκριμένο μεθοδολογικό πλαίσιο αξιολόγησης φαίνεται να εμφανίστηκε στις πηγές που μελετήθηκαν σε ένα αξιοσημείωτο ποσοστό της τάξης του 17%. Οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν κυρίως με τη χρήση των μεθοδολογικών πλαισίων Αξιολόγηση της Βιωσιμότητας και Αξιολόγηση Ανάλυσης Κύκλου Ζωής της Βιωσιμότητας. Κύριοι υποστηρικτικές μέθοδοι και υπό-μέθοδοι ήταν η Επιλογή Δεικτών, η Αξιολόγηση Επιπτώσεων του Κύκλου ζωής, η Πολυκριτηριακή Ανάλυση, η Ανάλυση Ευαισθησίας και η Αξιολόγηση της Βιωσιμότητας (βλ. **Παράρτημα 3.3**).

Σχετικά με τις διαστάσεις της βιωσιμότητας, στο συγκεκριμένο μεθοδολογικό πλαίσιο, όπως φαίνεται και στο **Διάγραμμα 13**, εμφανίζονται κατά βάση περιβαλλοντικοί και οικονομικοί δείκτες (κυρίως δείκτες που αφορούν εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, μικρο-οικονομικά κόστη και κόστη κύκλου ζωής). Σε μικρότερο βαθμό εντοπίστηκαν κοινωνικοί και τεχνολογικοί δείκτες, με κάποιους να ξεχωρίζουν, όπως, **α.** η αξιοπιστία της τεχνολογίας, ως προς την ικανοποίηση των χρηστών της και **β.** κοινωνικό-οικονομικοί κίνδυνοι. Οι δείκτες ετοιμότητας της αγοράς εμφανίστηκαν σε πολύ μικρό ποσοστό (βλ. **Παράρτημα 3.3**).

Επιλογή και Χρήση Δεικτών Αειφορίας - Συχνότητα εμφάνισης Δεικτών Βιωσιμότητας



Διάγραμμα 13: Συχνότητα εμφάνισης Δεικτών Βιωσιμότητας - Επιλογή Δεικτών Αειφορίας

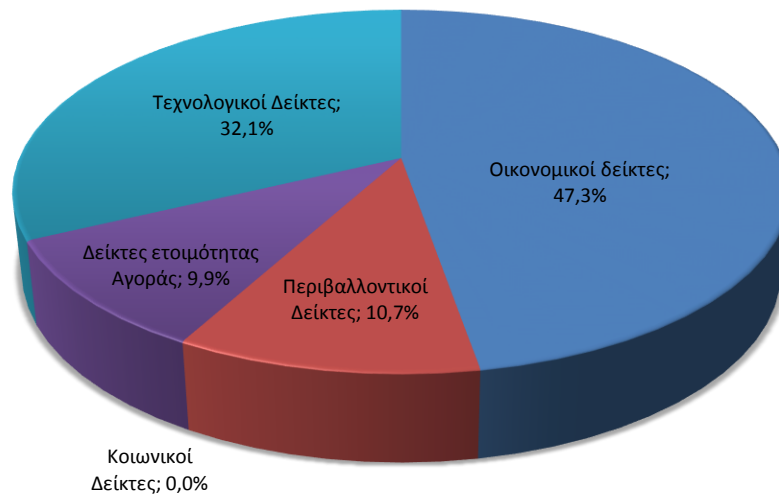
Ανάλυση Σεναρίων (Scenario Analysis)

Ο δυνητικός αντίκτυπος των επενδυτικών κινδύνων στην κερδοφορία των επενδύσεων ΑΠΕ, μπορεί να αξιολογηθεί μέσω των προεξοφλημένων ταμειακών ροών σε διάφορα σενάρια, αντανακλώντας διαφορετικές πιθανές μελλοντικές εξελίξεις. Συνήθως, αυτά τα σενάρια αντιπροσωπεύουν, είτε τις πιο πιθανές καταστάσεις (καταστάσεις που είναι πιθανότερο να εμφανιστούν), είτε ακραίες περιπτώσεις (σενάρια σε χειρότερη ή βέλτιστη περίπτωση). Κάθε σενάριο συνήθως υποθέτει αξίες στοιχείων, όπως η μελλοντική τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας ή το κόστος CO₂ και μεταξύ άλλων, θέτει ως προϋπόθεση την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία των σεναρίων εξαρτώνται από την περιοχή, στην οποία ο ερευνητής επιδιώκει να εστιάσει [33].

Το συγκεκριμένο μεθοδολογικό πλαίσιο παρουσιάζει κυρίως ποιοτικά ή ημι-ποσοτικά δεδομένα, καθώς βασίζεται σε σενάρια που δεν μπορούν να προσεγγίσουν ακριβείς ποσοτικές πληροφορίες. Το μεθοδολογικό πλαίσιο Ανάλυσης Σεναρίων εμφανίζεται σε σχετικά χαμηλό ποσοστό, 8%, (βλ. Διάγραμμα 22), συγκριτικά με τα υπόλοιπα. Κατά την εφαρμογή του, τα βασικά πλαίσια που χρησιμοποιήθηκαν ήταν η Αξιολόγηση Σεναρίων, η μέθοδος που κυριάρχησε ήταν η Ανάλυση Σεναρίων με τη χρήση ολοκληρωμένων Μοντέλων Αξιολόγησης, ενώ δεν ξεχώρισε κάποια υπό-μέθοδος (βλ. Παράρτημα 3.3).

Η Μέθοδος Ανάλυσης Σεναρίων, όπως μπορεί να παρατηρήσει κανείς και από το παρακάτω **Διάγραμμα 14**, εστιάζει κυρίως σε οικονομικούς και τεχνολογικούς δείκτες, ενώ σε μικρότερο βαθμό σε δείκτες ετοιμότητας αγοράς, χωρίς να εμφανίζεται κάποιος από αυτούς παραπάνω από μία φορά στο σύνολο των πηγών που εξετάστηκαν. Οι κοινωνικοί δείκτες απουσιάζουν από το συγκεκριμένο μεθοδολογικό πλαίσιο.

Ανάλυση Σεναρίων - Συχνότητα εμφάνισης Δεικτών Βιωσιμότητας



Διάγραμμα 14: Συχνότητα εμφάνισης Δεικτών Βιωσιμότητας - Ανάλυση Σεναρίων

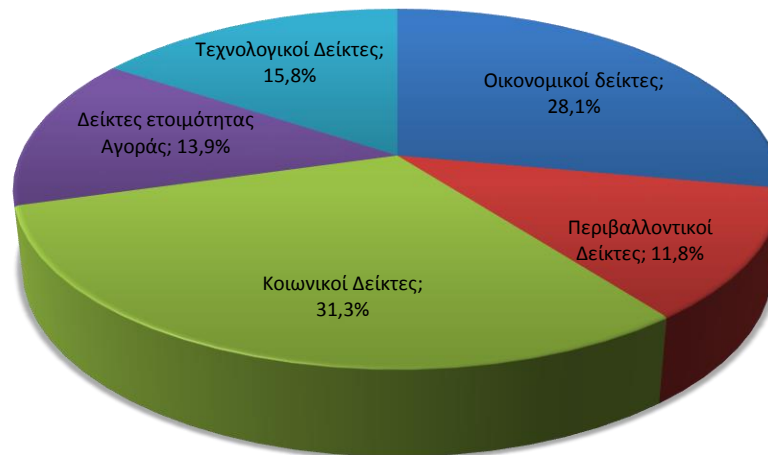
Ανάλυση Εξειδίκευσης της Αγοράς (Niche Market Analysis)

Το συγκεκριμένο μεθοδολογικό πλαίσιο επικεντρώνεται στην αποτίμηση μίας τεχνολογίας σε ένα περιορισμένο τμήμα μιας αγοράς, που παρουσιάζει διφορούμενες ανάγκες. Πρόκειται για ένα όχι και τόσο γνωστό και πλήρως διασαφηνισμένο μεθοδολογικό πλαίσιο, που μπορεί όμως να εφαρμοστεί τόσο σε νέες και αναδυόμενες, όσο και σε ώριμες τεχνολογίες [34].

Σύμφωνα με το **Διάγραμμα 22** το μεθοδολογικό αυτό πλαίσιο παρουσιάστηκε σε βαθμό 9%, εφαρμόζοντας πλαίσια Αξιολόγησης Βιωσιμότητας Κύκλου Ζωής. Μοναδική μέθοδος που παρατηρήθηκε σε όλο το πλήθος των εξεταζόμενων πηγών ήταν η Επιλογή και η Χρήση δεικτών, ενώ δεν παρατηρήθηκε χρήση καμίας υπό-μεθόδου (βλ. **Παράρτημα 3.3**).

Οι δείκτες βιωσιμότητας με μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης ήταν οικονομικοί και κοινωνικοί (βλ. **Διάγραμμα 15**), με πιο βασικούς, **α.** το οριακό κόστος, **β.** την τιμή καυσίμου, **γ.** το κόστος εγκατάστασης και **δ.** την κοινωνική αποδοχή. Περισσότερο εμφανιζόμενοι τεχνολογικοί, περιβαλλοντικοί και δείκτες ετοιμότητας αγοράς ήταν αντίστοιχα: **ε.** η τεχνολογική διάχυση/αποδοτικότητα και **στ.** η μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (βλ. **Παράρτημα 3.3**).

Ανάλυση Εξειδίκευσης της Αγοράς - Συχνότητα εμφάνισης Δεικτών Βιωσιμότητας



Διάγραμμα 15: Συχνότητα εμφάνισης Δεικτών Βιωσιμότητας – Ανάλυση Εξειδίκευσης της Αγοράς

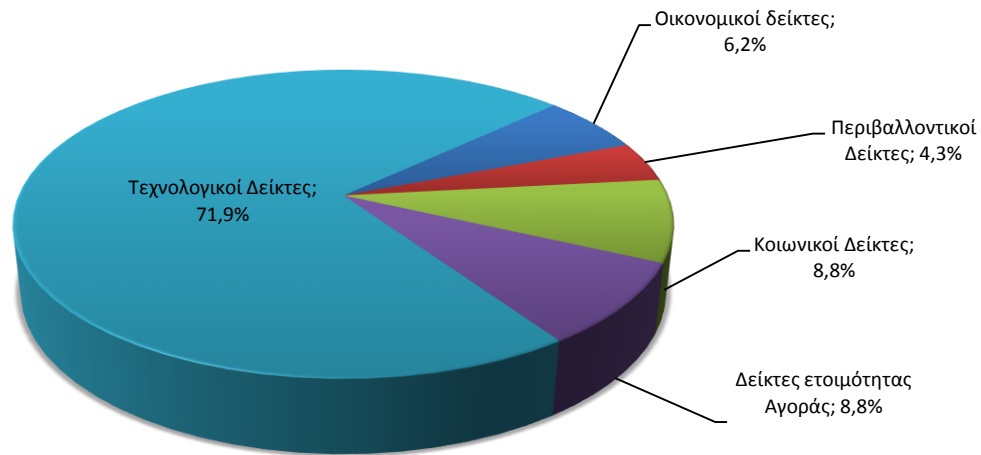
Πολυκριτηριακή Μέθοδος Καθεστώτος (Regime Analysis)

Η Πολυκριτηριακή Μέθοδος Καθεστώτος είναι ένα διακριτό μεθοδολογικό πλαίσιο πολλαπλής αξιολόγησης, κατάλληλο για την αξιολόγηση πρακτικών μετριασμού, καθώς και κλιματικών πολιτικών. Ένα δυναμικό στοιχείο του συγκεκριμένου πλαισίου είναι, ότι είναι σε θέση να αντιμετωπίσει τα δυαδικά, τακτικά αριθμητικά, κατηγορηματικά και απολύτως αριθμητικά (κλίμακα αναλογίας και κλίμακα διαστημάτων) δεδομένα, ενώ η μέθοδος αυτή είναι επίσης σε θέση να χρησιμοποιεί μικτά δεδομένα. Αυτό ισχύει, τόσο για τα αποτελέσματα, όσο και για τις αντίστοιχες βαρύτητες των αποτελεσμάτων στην αξιολόγηση των εναλλακτικών λύσεων.

Ένα ακόμα χαρακτηριστικό του μεθοδολογικού αυτού πλαισίου είναι ότι, σε περίπτωση που υπάρξουν ποιοτικά δεδομένα, πρέπει πρώτα να τα μετατρέψουμε σε αριθμητικά. Ως εκ τούτου, αυτή η μέθοδος ανάλυσης συχνά ταξινομείται ως έμμεση μέθοδος για την περίπτωση ποιοτικών δεδομένων. Αυτό είναι ένα βασικό θετικό χαρακτηριστικό αυτής της μεθόδου, καθώς όταν εφαρμόζουμε την καρδινάλωση των ποιοτικών πληροφοριών μέσω έμμεσων μεθόδων, όπως η ανάλυση καθεστώτος, δεν χάνουμε πληροφορίες, όπως στις άμεσες μεθόδους. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στις άμεσες μεθόδους χρησιμοποιείται συστηματικά, μόνο, το περιεχόμενο των διαθέσιμων ποσοτικών πληροφοριών [35].

Το συγκεκριμένο μεθοδολογικό πλαίσιο αποτελεί το 8% (βλ. **Διάγραμμα 22**) του συνόλου των μεθοδολογικών πλαισίων αξιολόγησης που καταγράφηκαν, ενώ το βασικό και μοναδικό πλαίσιο που χρησιμοποιήθηκε είναι η Αξιολόγηση Βιωσιμότητας Κύκλου Ζωής. Η Επιλογή και Χρήση Δεικτών παρατηρήθηκε να είναι βασικό εργαλείο αυτού του πλαισίου, καθώς και τα μοντέλα κλίμακας, τμήματος και σειράς καταγράφηκαν ως βασικές υπό-μέθοδοι (βλ. **Παράρτημα 3.3**). Σύμφωνα με το **Διάγραμμα 16** σε μεγαλύτερη συχνότητα παρατηρήθηκαν τεχνολογικοί δείκτες βιωσιμότητας, χωρίς κάποιος από αυτούς να εμφανιστεί περισσότερες από μία φορά. Τέλος, σε σχεδόν ίδιο επίπεδο εμφανιστήκαν οι υπόλοιπες τέσσερις κατηγορίες δεικτών βιωσιμότητας.

Πολυκριτηριακή Μέθοδος Καθεστώτος - Συχνότητα εμφάνισης Δεικτών Βιωσιμότητας



Διάγραμμα 16: Συχνότητα εμφάνισης Δεικτών Βιωσιμότητας - Πολυκριτηριακή Μέθοδος Καθεστώτος

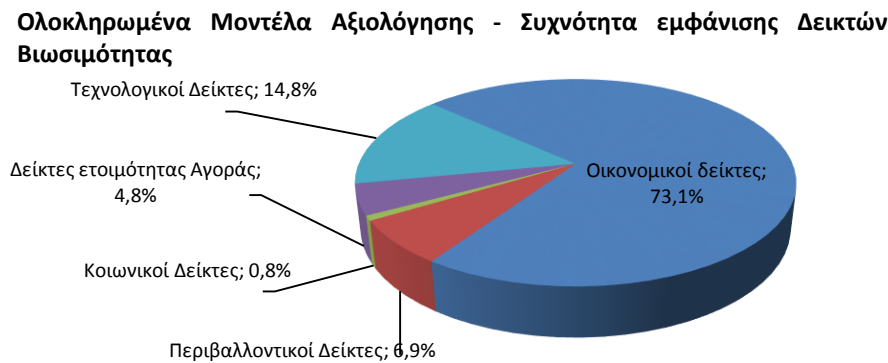
Ολοκληρωμένα Μοντέλα Αξιολόγησης (Integrated Assessment Models)

Έχουν αναπτυχθεί πολυάριθμες προσεγγίσεις και πλαίσια για τη μέτρηση και την αξιολόγηση των στόχων της αειφόρου ανάπτυξης, που κυμαίνονται από κατευθυντήριες γραμμές έως πιο συγκεκριμένους δείκτες [36]. Σύμφωνα με τους Ness et al. [37], πολλά από τα ολοκληρωμένα εργαλεία αξιολόγησης που έχουν αναθεωρηθεί, ενσωματώνουν οικονομικές, περιβαλλοντικές και κοινωνικές πτυχές της βιωσιμότητας. Σύμφωνα με τους Weaver και Rotmans οι διαστάσεις της ολοκλήρωσης που μπορούν να συμπεριληφθούν στις διαδικασίες αξιολόγησης της βιωσιμότητας είναι οι εξής :

- Ολοκληρωμένοι στόχοι που να περιλαμβάνουν πολλαπλές ανησυχίες και αξίες αειφορίας,
- Γνώσεις και πληροφορίες σε πολλούς τομείς,
- Αξίες και αρχές αειφορίας σε όλη τη διαδικασία,
- Φορείς χάραξης πολιτικής και γνώση από εμπειρογνώμονες,
- Ποσοτικά και ποιοτικά εργαλεία, μέθοδοι και πληροφορίες,
- Σχεδιασμός και αξιολόγηση προτάσεων (ενσωμάτωση στη διαδικασία ανάπτυξης πολιτικών),
- Κοινωνική μάθηση, αυτοαξιολόγηση και
- Εσωτερικά Ολοκληρωμένα Μοντέλα Αξιολόγησης, που διαμορφώνουν ένα συνεκτικό καθεστώς αξιολόγησης.

Τέλος, οι προσεγγίσεις πολυκριτηριακών αναλύσεων (Multi-Criteria Analysis), κατατάσσονται στην κατηγορία ολοκληρωμένης αξιολόγησης, δεδομένου ότι ενσωματώνουν πολλαπλούς στόχους, ενώ συμπεριλαμβάνουν επίσης πολλούς ενδιαφερόμενους στη διαδικασία αξιολόγησης [37]. Με βάση το **Διάγραμμα 22**, ο βαθμός εμφάνισης της συγκεκριμένης μεθοδολογίας είναι 6%. Τα μεθοδολογικά πλαίσια που εμφανίστηκαν ισάριθμες φορές ήταν η Εκτίμηση Μαθησιακών Ποσοστών, η Ανάλυση Σύγκρισης Πολλαπλών Μοντέλων και τα Ολοκληρωμένα Μοντέλα Αξιολόγησης. Οι βασικοί μέθοδοι που παρατηρήθηκαν ήταν η Ανάλυση Σεναρίων, τα Ολοκληρωμένα Μοντέλα Αξιολόγησης, ενώ ως υπό-μέθοδος κυρίαρχη ήταν το Μοντέλο Αξιολόγησης POLES (βλ. **Παράρτημα 3.3**).

Στο σύνολο της βιβλιογραφίας, όπου έγινε χρήση των Ολοκληρωμένων Μοντέλων Αξιολόγησης, αναλύθηκαν, με βάση το **Διάγραμμα 17**, κυρίως οικονομικοί και τεχνολογικοί δείκτες, χωρίς όμως κάποιος από αυτούς να ξεχωρίσει σε συχνότητα εμφάνισης.



Διάγραμμα 17: Συχνότητα εμφάνισης Δεικτών Βιωσιμότητας - Ολοκληρωμένα Μοντέλα Αξιολόγησης

Ολοκληρωμένη Προσέγγιση (Integrated Modeling)

Το μελλοντικό κόστος των τεχνολογικών επιλογών χαμηλών εκπομπών άνθρακα, αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για τον προσδιορισμό του κόστους και της σκοπιμότητας των πολιτικών για την κλιματική αλλαγή. Η πρόσφατη πέμπτη έκθεση αξιολόγησης της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Αλλαγή του Κλίματος (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC, WGIII) [38] τονίζει τη συνάφεια των υποθέσεων σχετικά με τη διαθεσιμότητα και το κόστος των μελλοντικών τεχνολογιών στη διαμόρφωση της κλίμακας των δαπανών πολιτικής. Αυτό έχει αναγνωριστεί εδώ και πολύ καιρό στο πλαίσιο της κοινής αξιολόγησης [39] και η ποσοτική ανάλυση της μελλοντικής διαθεσιμότητας/κόστους τεχνολογιών χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, βρίσκεται στο επίκεντρο μιας αναπτυσσόμενης επιστημονικής βιβλιογραφίας. Η πιο συχνά υιοθετημένη προσέγγιση βασίζεται στη χρήση μιας Ολοκληρωμένης Προσέγγισης, στη λειτουργία σεναρίων με κλιματικές συνθήκες και χωρίς τη διαθεσιμότητα βασικών ενεργειακών τεχνολογιών, προκειμένου να εκτιμηθεί η αύξηση του κόστους μετριασμού του κλίματος και των τιμών του άνθρακα κάτω από κάθε εναλλακτική λύση. Μερικές μελέτες έχουν αναλύσει διεξοδικά την επίδραση της προόδου των μελλοντικών ενεργειακών τεχνολογιών στο κόστος μετριασμού των αερίων του θερμοκηπίου μέσω της ανάλυσης ευαισθησίας και χρησιμοποιώντας ένα μεμονωμένο μοντέλο [40],[41].

Η συχνότητα χρήσης του συγκεκριμένου μεθοδολογικού πλαισίου ανέρχεται στο 6%, βάσει και του **Διάγραμμα 22**. Σύμφωνα με τα στοιχεία του **Παράρτημα 3.3**, η μέθοδος της Ολοκληρωμένης Προσέγγισης βασίζεται κυρίως στα μεθοδολογικά πλαίσια της Αξιολόγησης με χρήση Ολοκληρωμένων μοντέλων καθώς και, σε μικρότερο βαθμό, στη Συγκριτική Αξιολόγηση. Μέθοδοι όπως, η Ανάλυση Σεναρίων, η Ολοκληρωμένη Περιβαλλοντική Προσέγγιση Ελέγχου, η Αξιολόγηση Κόστους/Απόδοσης, αλλά και υπό-μέθοδοι, όπως η Ολοκληρωμένη Περιβαλλοντική Προσέγγιση Ελέγχου και η Ανάλυση Ευαισθησίας, εμφανίστηκαν κατά κύριο λόγο υπό το πρίσμα του συγκεκριμένου μεθοδολογικού πλαισίου.

Η επιλεχθείσα βιβλιογραφία ανέδειξε πως το συγκεκριμένο μεθοδολογικό πλαίσιο χρησιμοποιεί σε μεγάλο ποσοστό δείκτες οικονομικής και τεχνολογικής διάστασης (βλ. **Διάγραμμα 18**). Βασικότερος όλων φαίνεται να είναι ο οικονομικός δείκτης, **α.** κεφαλαιουχικό κόστος και ακόλουθοι αυτού κατά σειρά συχνότητας εμφάνισης, **β.** το κόστος καυσίμου, **γ.** τα ετήσια λειτουργικά και κόστη

συντήρησης και **δ.** το σταθμισμένο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας. Όσο αναφορά, την τεχνολογική διάσταση βιωσιμότητας, πρωταρχικό ρόλο είχαν οι δείκτες **ε.** συντελεστής λειτουργικότητας, **στ.** έλεγχος εκπομπών, **ζ.** χρόνος ζωής μιας τεχνολογίας και **η.** εφαρμοσιμότητα (βλ. **Παράρτημα 3.3**).

Ολοκληρωμένη Προσέγγιση - Συχνότητα εμφάνισης Δεικτών Βιωσιμότητας



Διάγραμμα 18: Συχνότητα εμφάνισης Δεικτών Βιωσιμότητας - Ολοκληρωμένη Προσέγγιση

Μοντελοποίηση Προσομοίωσης (Simulation Modeling)

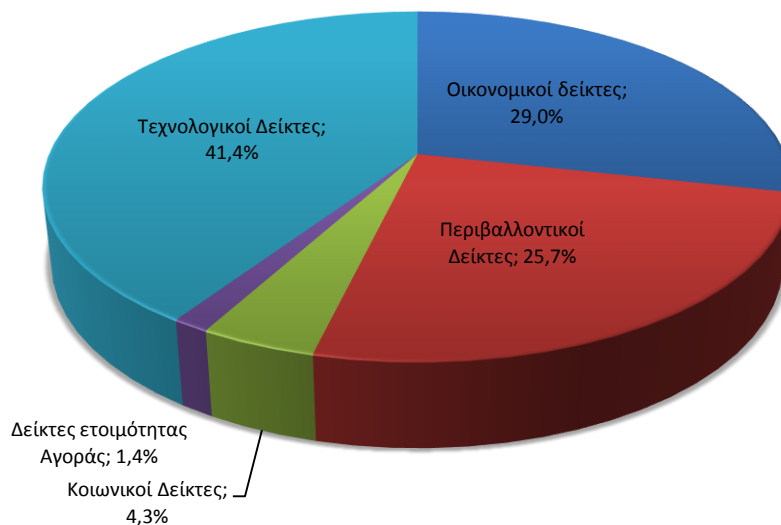
Η Μοντελοποίηση Προσομοίωσης είναι ένα ισχυρό επιστημονικό εργαλείο που επιτρέπει σε κάθε χρήστη να υποβάλει ερωτήσεις, να αξιολογεί εναλλακτικές λύσεις και να υποστηρίζει τη λήψη αποφάσεων για την περιβαλλοντική διαχείριση. Η εκτίμηση των μεμονωμένων και σωρευτικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής με τη χρήση δεδομένων παρακολούθησης, μπορεί να είναι δαπανηρή και, σε ορισμένες περιπτώσεις, μη πρακτική, ιδιαίτερα για μελέτες με αναδρομική χρονική εστίαση (retrospective temporal focus) [42].

Μία βασική πρόκληση τόσο των μοντέλων προσομοίωσης, είναι το πώς να προτείνουν εύλογες υποθέσεις για τη μελλοντική συμπεριφορά των συντελεστών της αγοράς, αλλά και πώς θα πρέπει να μεταφράζουν αυτές τις υποθέσεις σε παραμέτρους [43].

Η ανασκόπηση της επιλεγείσας βιβλιογραφίας ανέδειξε πως η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιήθηκε σε ποσοστό 9% (βλ. **Διάγραμμα 22**). Βασικό μεθοδολογικό πλαίσιο αποτελεί η Τεχνοοικονομική Συγκριτική Αξιολόγηση, ενώ η Μοντελοποίηση και η Προσομοίωση παρατηρήθηκε να είναι οι βασικές μέθοδοι. Επιπρόσθετα, καμία από τις χρησιμοποιούμενες υπό-μεθόδους (μαθηματικά μοντέλα, υπολογιστικά μοντέλα, ανάλυση ευαισθησίας, κλπ.) δεν παρουσιάζει κρίσιμο ποσοστό εμφάνισης (βλ. **Παράρτημα 3.3**).

Η εν λόγω μέθοδος αξιολόγησης πραγματοποιεί κυρίως τεχνό-περιβαλλοντική ανάλυση (βλ. **Διάγραμμα 19**). Πρωταρχικοί περιβαλλοντικοί δείκτες τείνουν να είναι οι εξής: **α.** Πιθανότητα Όξυνσης, **β.** Πιθανότητα Ανθρώπινης Τοξικότητας και **γ.** Πιθανότητα Παγκόσμιας Υπερθέρμανσης, ενώ οι αντίστοιχοι τεχνολογικοί είναι **η δ.** Μείωση της Αποδοτικότητας του Κύκλου Ζωής, **ε.** ο Χρόνος Ζωής της εκάστοτε τεχνολογίας και **στ.** η Παραγόμενη Ενέργεια (βλ. **Παράρτημα 3.3**).

Μοντελοποίηση Προσομοίωσης - Συχνότητα εμφάνισης Δεικτών Βιωσιμότητας



Διάγραμμα 19: Συχνότητα εμφάνισης Δεικτών Βιωσιμότητας - Μοντελοποίηση Προσομοίωσης

Ανάλυση Κύκλου Ζωής (Life Cycle Analysis)

Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ) είναι μια τεχνική για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που συνδέονται με όλα τα στάδια της ζωής μίας τεχνολογίας, από την εξαγωγή πρώτων υλών, την επεξεργασία, την κατασκευή, τη διανομή, τη χρήση, την επισκευή ή/και τη συντήρηση και τη διάθεση ή την ανακύκλωση. Οι ΑΚΖ τυπικά μπορούν να συντελέσουν στην αποφυγή μιας εκ των παρακάτω περιβαλλοντικών ανησυχιών:

- Συλλογή των σχετικών εισροών ενέργειας και υλικών και περιβαλλοντικών εκλύσεων,
- Αξιολόγηση των δυνητικών επιπτώσεων που συνδέονται με προσδιορισμένες εισροές και εκλύσεις, και
- Ερμηνεία των αποτελεσμάτων για την υποστήριξη λήψεων πιο ενημερωμένων αποφάσεων.

Η ΑΚΖ είναι εξίσου έγκυρη με τα δεδομένα της. Ως εκ τούτου, είναι μείζον ζήτημα, τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για την ολοκλήρωση της να είναι ακριβή και πρόσφατα. Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι δεδομένων:

1. Διεργασία δεδομένων μονάδας ΑΚΖ και
2. Διεργασία δεδομένων περιβαλλοντικών εισροών-εκροών, όπου το τελευταίο βασίζεται σε εθνικά οικονομικά δεδομένα.

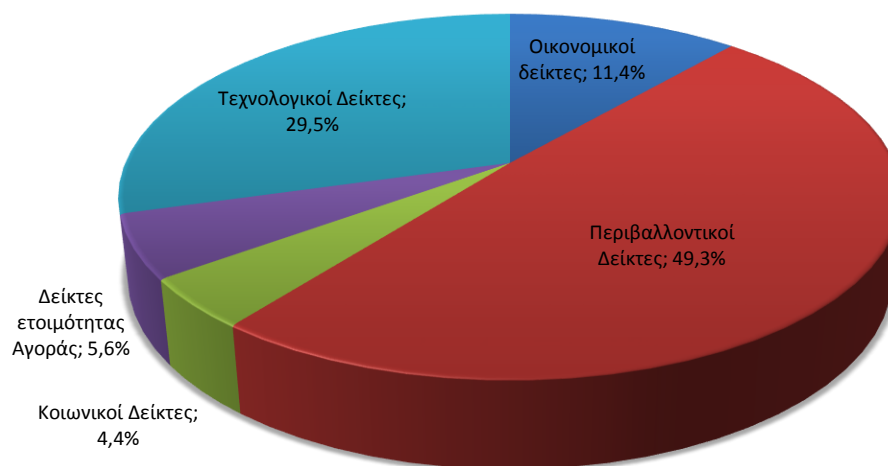
Τα δεδομένα διεργασίας μονάδας προέρχονται από άμεσες έρευνες επιχειρήσεων ή μονάδων παραγωγής του προϊόντος που παρουσιάζουν ενδιαφέρον. Η εγκυρότητα των δεδομένων αποτελεί συνεχή ανησυχία για τις ΑΚΖ. Λόγω της παγκοσμιοποίησης και των ταχέων ρυθμών έρευνας και ανάπτυξης, εισάγονται συνεχώς νέα υλικά και μέθοδοι παραγωγής στην αγορά, κάτι το οποίο καθιστά αναγκαία και πολύ δύσκολη τη χρήση επικαιροποιημένων πληροφοριών κατά την εκτέλεση μιας ΑΚΖ. Για να είναι τα συμπεράσματα της ΑΚΖ έγκυρα, θα πρέπει τα δεδομένα να είναι πρόσφατα. Ωστόσο, η διαδικασία συλλογής δεδομένων απαιτεί χρόνο. Εάν ένα προϊόν και οι σχετικές

διεργασίες του δεν έχουν υποστεί αρκετές αναθεωρήσεις από τη συλλογή των τελευταίων δεδομένων ΑΚΖ, η εγκυρότητα των δεδομένων δεν αποτελεί πρόβλημα [44].

Η ΑΚΖ φαίνεται να αποτέλεσε μία από τις κύριες μεθόδους αξιολόγησης της επιλεχθείσας βιβλιογραφίας, με ποσοστό χρήσης 23%, με βάση το **Διάγραμμα 22**. Σε μεγαλύτερο ποσοστό χρησιμοποιούμενες μέθοδοι διαπιστώθηκαν να είναι η Ανάλυση Αποθέματος Κύκλου Ζωής, η Ανάλυση Ευαισθησίας και η Ανάλυση Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής, ενώ υπό-μέθοδοι, η Ανάλυση Σεναρίων, η Μέθοδος Αξιολόγησης Επιπτώσεων ReCipe, το Αναλυτικό Μοντέλο Κύκλου Ζωής, το Μοντέλο Προσομοίωσης Monte Carlo, η Ανάλυση Αποθέματος, η Ανάλυση Ευαισθησίας, η Ανάλυση Υλικών με χρήση απλού μοντέλου, η Ανάλυση Κόστους με χρήση εισροών-εκροών και το υπολογιστικό πρόγραμμα Siam Prow (βλ. **Παράρτημα 3.3**).

Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής, όπως είναι εύλογο, χρησιμοποιεί κυρίως περιβαλλοντικούς δείκτες (βλ. **Διάγραμμα 20**), με το δείκτη **α**. Εκπομπές Αερίων του Θερμοκηπίου να υπερτερεί μετά από την κατηγορία των διάφορων δεικτών. Δεύτεροι στην κατάταξη παρουσιάζονται να είναι οι τεχνολογικοί δείκτες με κυρίαρχους την **β**. Αξιοπιστία της Τεχνολογίας βάσει της ικανοποίησης των χρηστών της, χωρίς κάποιος δείκτης από αυτήν την κατηγορία να ξεχωρίζει ως προς τον βαθμό εμφάνισης. Καταλήγοντας, έπειτα εμφανίστηκαν οι υποκατηγορίες των οικονομικών δεικτών, **γ**. μικροοικονομικά κόστη και **δ**. κόστη κύκλου ζωής, ενώ σε πολύ μικρότερο βαθμό διάφοροι κοινωνικοί και δείκτες ετοιμότητας της αγοράς (βλ. **Παράρτημα 3.3**).

Ανάλυση Κύκλου Ζωής - Συχνότητα εμφάνισης Δεικτών Βιωσιμότητας



Διάγραμμα 20: Συχνότητα εμφάνισης Δεικτών Βιωσιμότητας - Ανάλυση Κύκλου Ζωής

Δυναμική Μοντελοποίηση (Dynamic Modeling):

Η Δυναμική Μοντελοποίηση θεωρείται ως μια κατάλληλη προσέγγιση για την πρόβλεψη δυναμικών αποτελεσμάτων, αλληλεπιδράσεων και την ανάλυση επιπτώσεων των διαφορετικών κλιματικών πολιτικών που δημιουργούν σύμπλοκα. Η μέθοδος μπορεί να ενσωματώσει αποτελεσματικά μεμονωμένα στοιχεία του κάθε συστήματος σε ένα γενικό πλαίσιο και στη συνέχεια να αναλύσει διεξοδικά τις αλληλεπιδράσεις τους. Είναι μείζονος σημασίας, να διευθετηθούν οι περιβαλλοντικές

ανησυχίες, καθώς και να δοθούν σχετικές πολιτικές απαντήσεις σχετικά με τη βιωσιμότητα της αστικής ανάπτυξης, μιας και τελευταία αυξάνονται οι βιβλιογραφικές μελέτες σχετικά με τις εφαρμογές δυναμικών μοντέλων στην αστική ανάπτυξη και τα ολοκληρωμένα συστήματα βιώσιμης διαχείρισης [45].

Κατά την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας, όπως παρατηρεί κανείς και στα **Διάγραμμα 22, Παράρτημα 3.3**), εμφανίστηκε μία μόνο πηγή που να κάνει χρήση της Δυναμικής Μοντελοποίησης. Συγκεκριμένα το μεθοδολογικό πλαίσιο που χρησιμοποιήθηκε ήταν η Αξιολόγηση Βιωσιμότητας Κύκλου ζωής, η μέθοδος ήταν η Ανάλυση Κοινωνικό-Οικονομικών Επιδόσεων με Χρήση Μοντέλων Προσομοίωσης και οι υπό-μέθοδοι αποτελούσαν η χρήση Συμμετοχικών Δυναμικών Μοντέλων, η χρήση Πιθανοτικών Προβλέψεων και η χρήση Αναλυτικού Μοντέλου Κύκλου Ζωής (βλ. **Παράρτημα 3.3**).

Με βάση το **Διάγραμμα 21**, στη συγκεκριμένη βιβλιογραφική πηγή εντοπίστηκαν περισσότερο τεχνολογικοί δείκτες, με μεγαλύτερο ποσοστό εμφάνισης δεικτών το **α**. Επίπεδο Ικανότητας ενσωμάτωσης στο παρόν και στο μελλοντικό ενεργειακό σύστημα, **β**. την Αβεβαιότητα σχετικά με τη μελλοντική απόδοση και **γ**. Άλλοι. Σε αρκετά μικρότερο βαθμό εντοπίστηκαν δείκτες που αφορούσαν τις υπόλοιπες τέσσερις (4) διαστάσεις βιωσιμότητας (βλ. **Παράρτημα 3.3**).

Δυναμική Μοντελοποίηση - Συχνότητα εμφάνισης Δεικτών Βιωσιμότητας

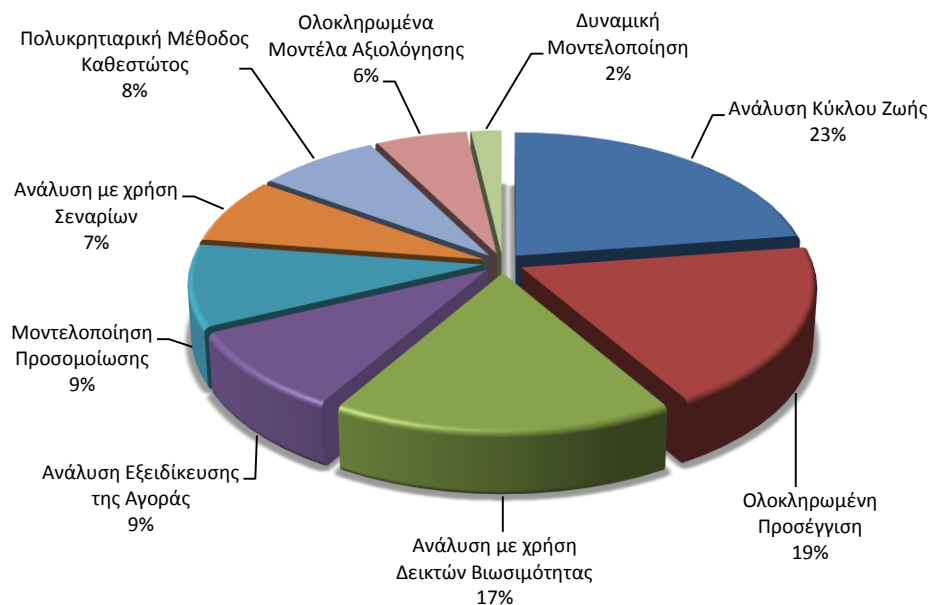


Διάγραμμα 21: Συχνότητα εμφάνισης Δεικτών Βιωσιμότητας κατά τη Δυναμική Μοντελοποίηση

3.3.3 Σύνοψη των μεθοδολογικών πλαισίων που εντοπίστηκαν στη βιβλιογραφία

Στο παρακάτω **Διάγραμμα 22** και **Error! Reference source not found. Πίνακας 8** παρουσιάζονται τα βασικά είδη Μεθοδολογικών Πλαισίων Αξιολόγησης που εντοπίστηκαν κατά την ανασκόπηση της επιλεγείσας βιβλιογραφίας, κατηγοριοποιημένα κατά συχνότητα εμφάνισης ανά το πλήθος των πηγών.

Μεθοδολογικά Πλαίσια Αξιολόγησης επιλογών μετριασμού της κλιματικής αλλαγής



Διάγραμμα 22: Μεθοδολογικά Πλαίσια Αξιολόγησης επιλογών μετριασμού της κλιματικής αλλαγής

Πίνακας 8: Μεθοδολογικά Πλαίσια Αξιολόγησης επιλογών μετριασμού της κλιματικής αλλαγής, όπως εντοπίστηκαν στην επιλεγείσα βιβλιογραφία

Μεθοδολογικά Πλαίσια Αξιολόγησης επιλογών μετριασμού της κλιματικής αλλαγής	Ανάλυση με χρήση Δεικτών Βιωσιμότητας(Sustainability Indicator Analysis)
	Ανάλυση με χρήση Σεναρίων (Scenario Analysis)
	Ανάλυση Εξειδίκευσης της Αγοράς (Niche Market Analysis)
	Πολυκριτηριακή Μέθοδος Καθεστώτος(Multi-criteria Regime Analysis)
	Ολοκληρωμένα Μοντέλα Αξιολόγησης (Integrated Assessment Models)
	Ολοκληρωμένη Προσέγγιση (Integrated Modeling)
	Μοντελοποίηση Προσομοίωσης (Simulation Modeling)
	Ανάλυση Κύκλου Ζωής (Life Cycle Analysis)
	Δυναμική Μοντελοποίηση (Dynamic Modeling)

3.3.4 Παρουσίαση Δεικτών Αξιολόγησης

Σκοπός της συγκεκριμένης ενότητας είναι η παρουσίαση ενός τελικού τυποποιημένου συνόλου δεικτών αξιολόγησης διαστάσεων της βιωσιμότητας, κοινό για όλες τις επιλογές μετριασμού, προκειμένου να αποδειχθεί πώς οι διαφορετικές μέθοδοι/πλαίσια μπορούν να συμβάλουν στην αξιολόγηση διαφορετικών πτυχών της βιωσιμότητας. Το τελικό σύνολο δεικτών παρουσιάζει το πλεονέκτημα χρήσης του ως γλωσσάρι για τον εκάστοτε ενδιαφερόμενο αναγνώστη, αυξάνοντας την κατανόηση των αποτελεσμάτων της εκάστοτε αξιολόγησης. Οι δείκτες αυτοί μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν περαιτέρω, αξιολογώντας την κάλυψη και την αξιοπιστία των υφιστάμενων δεδομένων (σενάρια και εκτιμήσεις κόστους/οφέλους που έχουν αναπτυχθεί) για κάθε τεχνολογία μετριασμού και όπου η υπάρχουσα βιβλιογραφία δεν επαρκεί για την παροχή δεδομένων, να υποδηλώνουν την ανάγκη για περαιτέρω αξιολόγηση. Η βασική ιδέα πάνω στην οποία στηρίζεται το

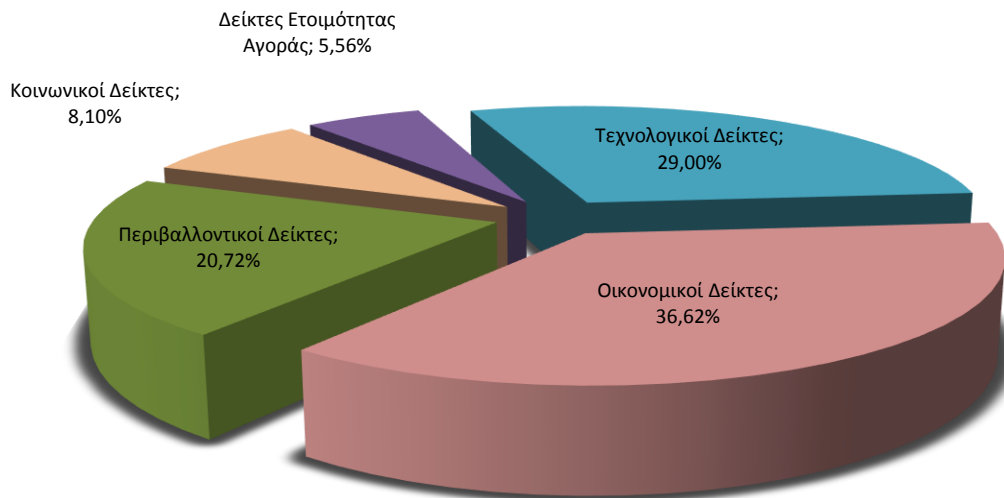
παρόν κεφάλαιο, είναι η "a priori" εύρεση ενός αρχικού συνόλου δεικτών γενικού ενδιαφέροντος για κάθε τεχνολογία και στη συνέχεια, μέσω της ανασκόπησης της υπάρχουσας βιβλιογραφίας, η συνεχής επικαιροποίησή του, βάσει των βιβλιογραφικών ευρημάτων, μέχρι την ανάδειξη ενός τελικού εύρους και συνεκτικού συνόλου δεικτών, το οποίο θα αποτελέσει νέα βάση για περαιτέρω μεθοδολογικά πλαίσια και εφαρμογές αξιολόγησης.

Συνεπώς, λαμβάνοντας υπόψη την κατηγοριοποίηση των δεικτών στις διάφορες διαστάσεις της βιωσιμότητας (οικονομική, περιβαλλοντική, κλπ), αντλούνται οι επιμέρους δείκτες από τις πενήντα (50) πηγές που εξετάστηκαν στο κεφάλαιο αυτό. Οι επιμέρους αυτοί δείκτες εντάσσονται στις κατηγορίες που έχουν οριστεί για κάθε διάσταση βιωσιμότητας.

Πιο συγκεκριμένα, στο **Παράρτημα 3.3** παρουσιάζεται για κάθε πηγή το σύνολο των δεικτών στους οποίους αναφέρεται ή και αναλύει. Οι δείκτες αυτοί έχουν τοποθετηθεί στην κατηγορία αξιολόγησης της βιωσιμότητας που ανήκουν, βάσει της υποκειμενικής κρίσης και πραγματογνωμοσύνης των συγγραφέων της παρούσας διπλωματικής .

Από τα αποτελέσματα που προκύπτουν κατά την καταγραφή των δεικτών αξιολόγησης της βιωσιμότητας και τα οποία παρουσιάζονται στο **Διάγραμμα 23**, εξάγεται το συμπέρασμα ότι οι αναφορές στην οικονομική διάσταση ήταν πολύ περισσότερες από τις αντίστοιχες για την τεχνολογική και την περιβαλλοντική, ενώ οι αναφορές που έγιναν για την κοινωνική διάσταση και την ετοιμότητα της αγοράς ήταν ελάχιστες. Αυτό εξηγείται και από τη σπουδαιότητα του οικονομικού κλάδου, ο οποίος αποτελεί μείζον ζήτημα στην αξιολόγηση μίας επιλογής μετριασμού της κλιματικής αλλαγής, ιδιαίτερα στο πλαίσιο των πρόσφατων οικονομικών συνθηκών ύφεσης. Συγκεκριμένα, για κάθε διάσταση της βιωσιμότητας των επιλογών μετριασμού γίνεται καταγραφή των δεικτών που αναφέρονται και κατηγοριοποιούνται με βάση την ομαδοποίηση που αναλύεται στο **Κεφάλαιο 3.2.2** Μέθοδος αξιολόγησης της επιλεχθείσας βιβλιογραφίας και καταγράφεται η συχνότητα εμφάνισής τους. Λεπτομερώς τα στοιχεία που συγκεντρώθηκαν παρουσιάζονται στο **Παράρτημα 3.6**. Από τα αποτελέσματα αυτά εξάγονται συμπεράσματα για την κατηγορία δεικτών με την πιο συχνή εμφάνιση μέσα στις πηγές (ανά διάσταση βιωσιμότητας). Από αυτούς τους δείκτες, αυτοί που έχουν τις περισσότερες αναφορές επιλέγονται να ενταχθούν στο τελικό σύνολο δεικτών αξιολόγησης της βιωσιμότητας.

Αναφορές πηγών ανά ομάδα επιπτώσεων

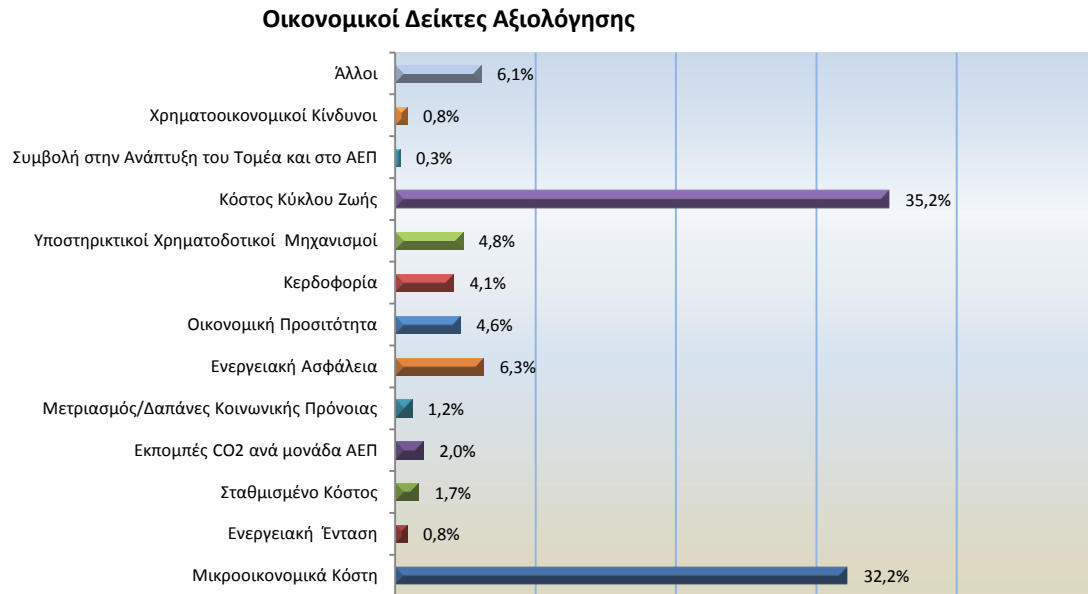


Διάγραμμα 23: Συχνότητα εμφάνισης δεικτών, στην επιλεχθείσα βιβλιογραφία, ανά διάσταση βιωσιμότητας

Οικονομικοί Δείκτες Αξιολόγησης

Η συχνότητα εμφάνισης των δεικτών που προέκυψε μετά την ανασκόπηση των πενήντα (50) πηγών, φαίνονται στο παρακάτω **Διάγραμμα 24**. Όπως παρατηρείται, σε ορισμένες κατηγορίες δεικτών, οι αναφορές σε αυτές είναι σχετικά λίγες σε σύγκριση με άλλες. Συγκεκριμένα, αυτό συμβαίνει στους δείκτες:

Συμβολή στην Ανάπτυξη του Τομέα και στο ΑΕΠ, Χρηματοοικονομικοί Κίνδυνοι, Μετριασμό/Δαπάνες Κοινωνική Πρόνοιας, Εκπομπές CO₂ ανά μονάδα ΑΕΠ, Σταθμισμένο κόστος, Υποστηρικτικοί Χρηματοδοτικοί Μηχανισμοί και Ενεργειακή Ένταση. Αυτοί οι δείκτες, λόγω της χαμηλής τους συχνότητας εμφάνισης, επιλέγεται να αφαιρεθούν από το τελικό σύνολο δεικτών αξιολόγησης της βιωσιμότητας. Αντίθετα, οι δείκτες Κόστος Κύκλου Ζωής, Μικροοικονομικά Κόστη, Άλλοι και Ενεργειακή Ασφάλεια, φαίνεται να αποτελούν δείκτες οι οποίοι εξυπηρετούν την πληθώρα των μεθοδολογικών πλαισίων αξιολόγησης στις βιβλιογραφικές πηγές που μελετήθηκαν, και επομένως ενός μεγάλου μέρους του δείγματος της διεθνούς βιβλιογραφίας.



Διάγραμμα 24: Οικονομικοί Δείκτες Αξιολόγησης

Το τελικό σύνολο δεικτών αξιολόγησης της οικονομικής διάστασης ορίζεται παρακάτω, έχοντας επιλέξει τους βασικότερους, κατά φθίνοντα βαθμό εμφάνισης τους στη διαθέσιμη βιβλιογραφία:

Κόστος Κύκλου Ζωής (Life Cycle Cost): Ο συγκεκριμένος δείκτης παρουσιάζει ομοιότητες με τα μικροοικονομικά κόστη, με τη διαφορά ότι περιλαμβάνει όλα τα πιθανά κόστη που μπορεί να προκύψουν στη διάρκεια ζωής ή σε ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα της ζωής μιας τεχνολογίας. Αυτά μπορεί να είναι λειτουργικά κόστη και κόστη συντήρησης, κόστη εργασίας, κόστη παραγωγής, κόστη κατασκευής, κόστη πρώτων υλών, κλπ.

Μικροοικονομικά Κόστη (Microeconomic costs): Περιλαμβάνονται κυρίως κόστη που σχετίζονται με την οικονομική βιωσιμότητα των επιλογών μετριασμού, όπως είναι οι δαπάνες κεφαλαίου, τα κόστη εργασίας, τα κόστη συντήρησης και επισκευής, οι φόροι που επιβάλλονται, τα κόστη καυσίμων, κλπ. Τα κόστη αυτά έχουν καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη και την εξέλιξη μιας επιλογής μετριασμού, επομένως και στη βιωσιμότητά της.

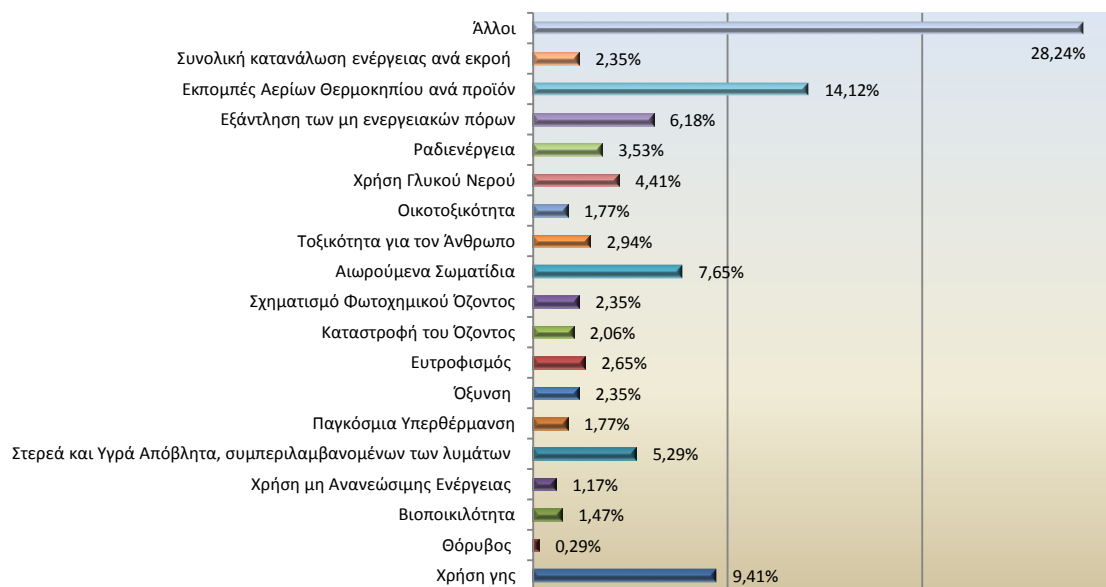
Ενεργειακή Ασφάλεια (εξάρτηση από τις εισαγωγές) (Energy Security - Import Dependency): Ο συγκεκριμένος δείκτης σχετίζεται με τα κόστη πρώτων υλών, την εξάρτηση των εισαγωγών, την παραγωγικότητα των πόρων και γενικά την ενεργειακή ασφάλεια και πώς μπορεί αυτή να εξασφαλιστεί, ώστε να μη δημιουργούνται ανισορροπίες στη σχέση προσφοράς-ζήτησης, είτε λόγω των τιμών ενέργειας, είτε λόγω διπλωματικών προβλημάτων μεταξύ χωρών, κλπ. Αν τίθενται θέματα ενεργειακής ασφάλειας, τότε και η ίδια η βιωσιμότητα μιας επιλογής μετριασμού επηρεάζεται, για τους λόγους που αναφέρονται και παραπάνω.

Άλλοι: Στην κατηγορία αυτή ανήκουν δείκτες που δεν μπορούν να ενταχθούν ξεκάθαρα σε κάποια από τις βασικές κατηγορίες. Οι δείκτες αυτοί είναι, η ύπαρξη μονοπωλίων, η ευημερία, η ύπαρξη καινοτομίας σε έναν τομέα, οι εργασιακές απαιτήσεις και οι χρηματοοικονομικοί κίνδυνοι, που μπορούν να ανατρέψουν την εξασφάλιση της βιωσιμότητας μιας τεχνολογίας.

Περιβαλλοντικοί Δείκτες Αξιολόγησης Επιπτώσεων

Ο βαθμός εμφάνισης αυτής της κατηγορίας δεικτών, που προέκυψε μετά την ανασκόπηση των πενήντα (50) βιβλιογραφικών πηγών που μελετήθηκαν, αναπαρίσταται στο παρακάτω **Διάγραμμα 25**. Όπως μπορεί να παρατηρήσει κανείς, βασικοί δείκτες σε αυτήν τη διάσταση είναι, οι Άλλοι, οι Εκπομπές αερίων Θερμοκηπίου ανά προϊόν, η χρήση της γης και τα αιωρούμενα σωματίδια. Όλοι οι υπόλοιποι δείκτες παρουσιάζουν συχνότητα εμφάνισης στα ίδια περίπου επίπεδα. Επομένως, μόνο οι βασικοί παραπάνω δείκτες μπορούν να παραμείνουν και να ενταχθούν στο τελικό σύνολο δεικτών αξιολόγησης της βιωσιμότητας.

Περιβαλλοντικοί Δείκτες Αξιολόγησης



Διάγραμμα 25: Περιβαλλοντικοί Δείκτες Αξιολόγησης

Το τελικό σύνολο των περιβαλλοντικών δεικτών, όπως προέκυψε από την ανάλυση και την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας, κατά φθίνοντα βαθμό εμφάνισης τους στη διαθέσιμη βιβλιογραφία, περιλαμβάνει:

Άλλοι: Σε αυτή την κατηγορία εντάσσονται δείκτες που δεν μπορούν να ενταχθούν ξεκάθαρα σε κάποια από τις βασικές κατηγορίες της ομάδας αυτής. Οι δείκτες αυτοί παίζουν πρωταρχικό ρόλο στην αξιολόγηση της βιωσιμότητας και είναι κυρίως οι επικίνδυνες για το περιβάλλον επιπτώσεις, η γενική περιβαλλοντική απειλή, οι γενικές περιβαλλοντικές καταστροφές, η ύπαρξη πιστοποιημένων συστημάτων περιβαλλοντικής διαχείρισης, η φωτορύπανση, τα ατυχήματα, η επίσημη πολιτική σχετικά με την υγεία και την ασφάλεια, κλπ.

Εκπομπές Αερίων Θερμοκηπίου ανά προϊόν (Greenhouse Gas Emissions by product): Ο συγκεκριμένος δείκτης σχετίζεται με τη μέτρηση των εκπομπών CO₂, την ποιότητα του αέρα λόγω των εκπομπών, την επίδραση στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, τις εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων, τα αμεσα απόβλητα από τα αυτοκίνητα, κλπ.

Χρήση γης (Απόδοση της χρήσης της γης) (Land use-Land use efficiency): Σχετίζεται με τον τρόπο χρήσης της γης, την αστική και γεωργική κάλυψη, τη μετατροπή έκτασης γης από τις δραστηριότητες που σχετίζονται με την εξόρυξη, κλπ.

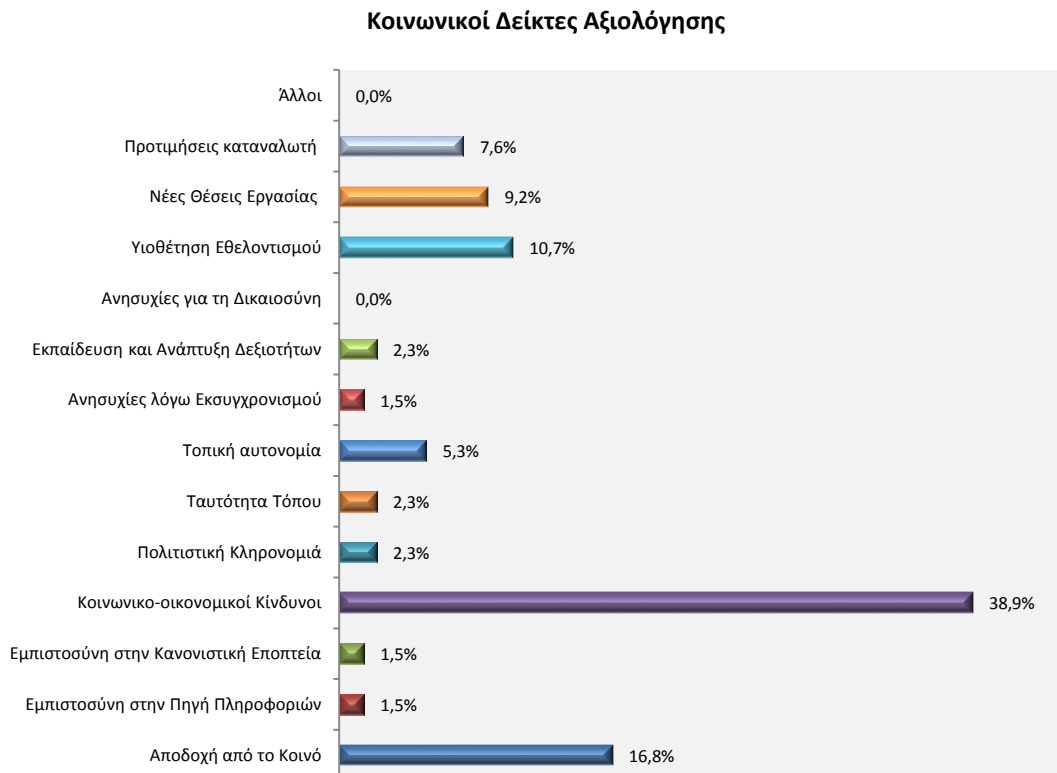
Αιωρούμενα σωματίδια (Διαταραχές του αναπνευστικού από ανόργανες ουσίες) (Particulate matter - Regulatory inorganics): Είναι τα αιωρούμενα σωματίδια που συχνά προκύπτουν από την καύση των ορυκτών καυσίμων που εκπέμπουν θειικά και νιτρικά αερολύματα. Ο συγκεκριμένος δείκτης αντικατοπτρίζει την ατμοσφαιρική ρύπανση, την ποιότητα του αέρα, τα σωματίδια, κλπ.

Εξάντληση των μη ενεργειακών πόρων (εξάντληση πηγών) (Depletion of non-energy resources): Η κατανάλωση ενός πόρου εάν γίνεται πιο γρήγορα από ό,τι μπορεί να αναπληρωθεί, τότε μπορεί να οδηγήσει στην εξάντλησή του. Τα ορυκτά και τα μεταλλεύματα, τα ορυκτά καύσιμα (άνθρακας, πετρέλαιο, φυσικό αέριο) και τα υπόγεια ύδατα θεωρούνται όλα μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Έτσι, τεχνολογίες που χρησιμοποιούν σαν πρώτη ύλη αυτούς τους πόρους, δεν χαρακτηρίζονται ως βιώσιμες. Ο συγκεκριμένος δείκτης σχετίζεται με έννοιες, όπως, η εξάντληση των ορυκτών, η αποθήκευση των περιορισμένων υλικών πόρων, η εξάντληση των μεταλλευμάτων, η επίδραση στην εξάντληση των πόρων, οι εξαγόμενοι ορυκτοί πόροι, η χρήση των ορυκτών πόρων, κλπ.

Στερεά και Υγρά Απόβλητα, συμπεριλαμβανομένων των λυμάτων (Solid and liquid waste including waste water): Σκοπός των τεχνολογιών μετριασμού είναι η μείωση ρύπων και η προστασία του περιβάλλοντος. Σε περίπτωση που κάτι τέτοιο επιδεινώνεται, τότε επηρεάζεται και η βιωσιμότητα των επιλογών μετριασμού. Ο δείκτης αυτός σχετίζεται με την απόρριψη λαδιών, τα λύματα και απόβλητα στη θάλασσα, τη διαχείριση αποβλήτων, την αποτελεσματικότητα και την ασφάλεια της διαδικασίας διαχείρισης αποβλήτων, κλπ.

Κοινωνικοί Δείκτες Αξιολόγησης Επιπτώσεων

Ο βαθμός εμφάνισης των δεικτών ανά κατηγορία, που προέκυψε μετά την ανασκόπηση των πενήντα (50) πηγών παρουσιάζεται στο παρακάτω **Διάγραμμα 26**. Όπως παρατηρείται, σε ορισμένες κατηγορίες δεικτών οι αναφορές σε αυτούς είναι σχετικά λίγες ή καθόλου σε σύγκριση με άλλους. Συγκεκριμένα, αυτό συμβαίνει στους δείκτες: Εξοικονόμηση Ενέργειας, Ανησυχίες για τη δικαιοσύνη και Άλλοι. Αντιθέτως, οι δείκτες: Κοινωνικο-οικονομικοί κίνδυνοι, Αποδοχή από το κοινό, Εθελοντισμός Υιοθεσίας, Νέες θέσεις εργασίας, Προτιμήσεις καταναλωτή, Τοπική αυτονομία, Πολιτιστική κληρονομιά, Εκπαίδευση και Ανάπτυξη δεξιοτήτων, Ταυτότητα τόπου παρουσιάζουν υψηλότερα ποσοστά εμφάνισης ανά τις μελετώμενες πηγές, μη αρκετά παρόλα αυτά για συμπερίληψή τους στο τελικό σύνολο δεικτών.



Διάγραμμα 26: Κοινωνικοί Δείκτες Αξιολόγησης

Παρακάτω αναλύεται το τελικό σύνολο δεικτών αξιολόγησης της κοινωνικής διάστασης, κατά φθίνοντα βαθμό εμφάνισης τους στη διαθέσιμη βιβλιογραφία:

Κοινωνικό-οικονομικοί Κίνδυνοι (Socio-economic risks): Σχετίζεται με τους κοινωνικο-οικονομικούς κινδύνους ή ζητήματα που μπορεί να εμφανιστούν με την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών. Πιο συγκεκριμένα, ο δείκτης αυτός παραπέμπει στην καινοτόμο δύναμη μιας κοινωνίας, στον αριθμό των καινοτόμων επιχειρήσεων, στον οικονομικό πλούτο μιας κοινωνίας, στο ποσοστό βρεφικής θνησιμότητας, στην ασφάλεια, στις πολιτικές διαμαρτυρίες, στην επιβολή καταναγκαστικής εργασίας, στην παιδική εργασία, κλπ.

Αποδοχή από το Κοινό (Public acceptance): Ο συγκεκριμένος δείκτης είναι καθοριστικός παράγοντας για την αξιολόγηση της βιωσιμότητας μιας τεχνολογίας και σχετίζεται με την αποδοχή από το κοινωνικό σύνολο, τη συμμετοχή στα κοινά, την ποιότητα και την ένταση των διαδικασιών συμμετοχής του κοινωνικού συνόλου, την κινητοποίηση του κοινωνικού συνόλου (π.χ. η εμφάνιση διαμαρτυριών), τον αριθμό των καταγγελιών, την κοινωνική αποδοχή, κλπ.

Υιοθέτηση Εθελοντισμού (Voluntariness of adoption): Ο συγκεκριμένος δείκτης σχετίζεται με την αποδοχή μέτρων και δράσεων μετριασμού από το κοινωνικό σύνολο και την ενημέρωση του για τρόπους και δράσεις συμμετοχής, αλλά και υποστήριξης μηχανισμών μετριασμού της κλιματικής αλλαγής. Ουσιαστικά ο συγκεκριμένος δείκτης περιγράφει το αν η εφαρμογή και η υιοθέτηση μίας τεχνολογίας μετριασμού της κλιματικής αλλαγής προωθεί ή όχι την κατάλληλη ενημέρωση του κοινωνικού συνόλου και προάγει την εθελοντική του ενασχόληση με θέματα ή δράσεις μετριασμού.

Νέες Θέσεις Εργασίας (Increase in employment): Η δημιουργία νέων υποδομών μπορεί να δημιουργήσει νέες θέσεις εργασίας. Ο δείκτης αυτός σχετίζεται συνήθως με τις συνθήκες στο χώρο εργασίας, τη συνολική απασχόληση, την ικανοποίηση στον χώρο εργασίας, τον αριθμό εργαζομένων, κλπ.

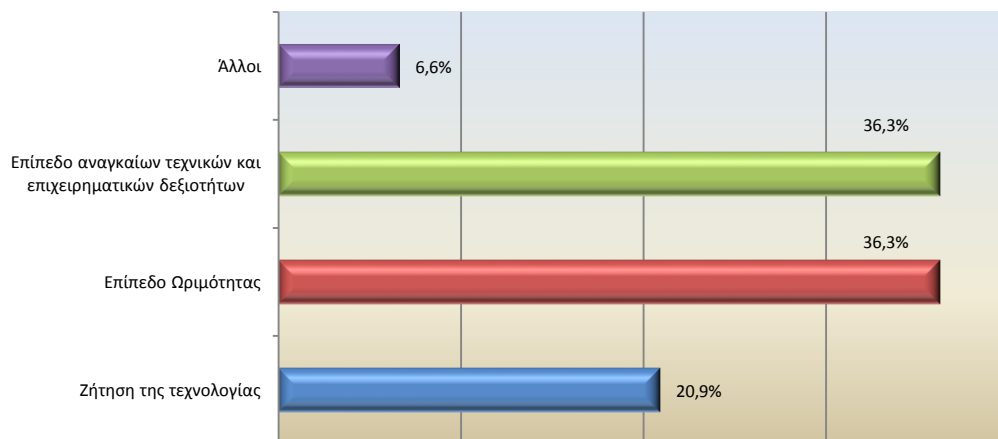
Προτιμήσεις καταναλωτή (Consumer Surplus - Preferences): Ο συγκεκριμένος δείκτης σχετίζεται με τις προτιμήσεις των καταναλωτών και την ικανοποίησή τους από μία επιλογή μετριασμού ή το αποτέλεσμα αυτής, ως προς την αισθητική, την υγεία, την αξιοπιστία της, που εκφράζονται, συνήθως, με καταγγελίες ή παράπονα, π.χ. για την ύπαρξη θορύβου, οσμής, κλπ. Ο συγκεκριμένος δείκτης περιγράφει, επίσης, το κατά πόσο μια κοινωνία αντιλαμβάνεται τον κίνδυνο από τη χρήση μίας τεχνολογίας.

Τοπική Αυτονομία (Local Autonomy): Ο δείκτης αυτός σχετίζεται με το αν μία κοινωνία έχει τον έλεγχο του τόπου και της κουλτούρα της, την υποβάθμιση της κληρονομιάς, των τοπίων, της αισθητικής, κλπ.

Δείκτες Αξιολόγησης της Ετοιμότητας της Αγοράς

Οι αναφορές στις κατηγορίες δεικτών που προέκυψαν μετά την ανασκόπηση των πενήντα (50) πηγών παρουσιάζονται στο παρακάτω **Διάγραμμα 27**. Όπως παρατηρείται, ο βαθμός εμφάνισης των δεικτών στην βιβλιογραφία είναι αρκετά υψηλός και για τους τέσσερις δείκτες, με υψηλότερους αυτούς των δεικτών: Επίπεδο Ωριμότητας και Επίπεδο αναγκαίων τεχνικών και επιχειρηματικών δεξιοτήτων. Επομένως, όλοι οι δείκτες λαμβάνονται στο τελικό σύνολο.

Δείκτες Αξιολόγησης Ετοιμότητας της Αγοράς



Διάγραμμα 27: Δείκτες Αξιολόγησης Ετοιμότητας της Αγοράς

Οι δείκτες που ανήκουν στο πεδίο της διάστασης της ετοιμότητας της αγοράς, όπως προέκυψε από την ανάλυση και την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας κατά φθίνοντα βαθμό εμφάνισης τους στη διαθέσιμη βιβλιογραφία, είναι οι εξής:

Επίπεδο αναγκαίων τεχνικών και επιχειρηματικών δεξιοτήτων: Με τον δείκτη αυτό περιγράφεται το επίπεδο των τεχνικών και επιχειρηματικών δεξιοτήτων που απαιτούνται, με σκοπό την προώθηση και διάχυση μιας τεχνολογίας στην αγορά.

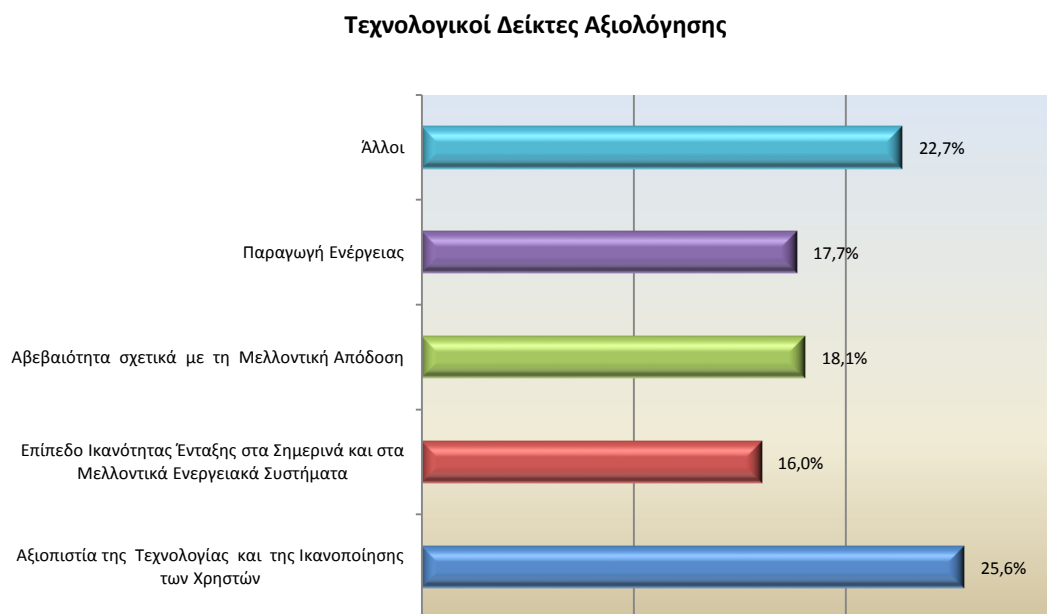
Επίπεδο Ωριμότητας (Maturity level): Με τον δείκτη αυτό απεικονίζεται το επίπεδο Διάχυσης μιας τεχνολογίας στην αγορά, το ποσοστό Διείσδυσης της, η ικανότητα της να ανταποκριθεί στην υπάρχουσα ζήτηση, κλπ.

Ζήτηση της τεχνολογίας (Demand of technology): Ο συγκεκριμένος δείκτης περιγράφει την ικανότητα μίας επιλογής να ανταποκρίνεται στην υπάρχουσα ζήτηση, να είναι αποδοτική και να έχει διεισδυτικότητα στην αγορά.

Άλλοι (Other): Στην κατηγορία αυτή ανήκουν δείκτες που δεν ενσωματώνονται στις παραπάνω κατηγορίες, όπως για παράδειγμα η Καινοτομία και ο βαθμός Καινοτομίας που χαρακτηρίζει μία επιλογή μετριασμού και που μπορεί να την καταστήσει βιώσιμη.

Τεχνολογικοί Δείκτες Αξιολόγησης Επιπτώσεων

Οι αναφορές στις κατηγορίες δεικτών που προέκυψαν μετά την ανασκόπηση των πενήντα (50) πηγών παρουσιάζονται στο παρακάτω **Διάγραμμα 28**. Όπως μπορεί να διακρίνει κανείς, οι αναφορές ανά κατηγορία δεικτών κυμαίνονται σε σχετικά παρόμοια επίπεδα, χωρίς να υπάρχει κάποιος δείκτης με πολύ λίγες αναφορές. Επομένως, όλοι οι παραπάνω δείκτες μπορούν να παραμείνουν και να ενταχθούν στο τελικό σύνολο δεικτών.



Διάγραμμα 28: Τεχνολογικοί Δείκτες Αξιολόγησης

Τέλος, το σύνολο δεικτών αξιολόγησης της τεχνολογικής διάστασης της βιωσιμότητας έπειτα από την ανάλυση και ανασκόπηση της επιλεχθείσας βιβλιογραφίας, κατά φθίνοντα βαθμό εμφάνισης τους, είναι οι εξής:

Αξιοπιστία της Τεχνολογίας ως προς το βαθμό ικανοποίησης των χρηστών της (Reliability of technology and user satisfaction): Για την αξιολόγηση της βιωσιμότητας, πρωταρχικό ρόλο παίζει η αξιοπιστία της εκάστοτε επιλογής μετριασμού ως προς την απόδοσή της, τη διάρκεια ζωής της και

την χρησιμότητά της. Αυτό εξαρτάται και από την αποδοτικότητα των πόρων και την αποτελεσματικότητα των υποδομών και υπηρεσιών.

Άλλοι: Σε αυτή την κατηγορία εντάσσονται δείκτες που δεν μπορούν να ενταχθούν ξεκάθαρα σε κάποια από τις βασικές κατηγορίες της ομάδας αυτής, όπως είναι η ανταγωνιστικότητα, οι κανόνες εμπορίου, κλπ.

Αβεβαιότητα σχετικά με τη μελλοντική απόδοση (Uncertainty regarding future performance): Μία επιλογή μετριασμού για να είναι βιώσιμη, θα πρέπει να μπορεί να αντεπεξέλθει και στις μελλοντικές απαιτήσεις. Ο δείκτης αυτός περιγράφει την αποδοτικότητα των πόρων, την έλλειψη διαθεσιμότητας για μελλοντική εξόρυξη, όπως π.χ. των ορυκτών καυσίμων, την αποτελεσματικότητα των υποδομών και των υπηρεσιών, το βαθμός αβεβαιότητας που σχετίζεται με μία τεχνολογία ή πρακτική, κλπ.

Παραγωγή Ενέργειας (Energy output): Ο δείκτης αυτός εκφράζει την καθαρή παραγωγή ενέργειας, την αποδοτικότητα και τον συντελεστή δυναμικότητας ενός τεχνολογικού συστήματος.

Επίπεδο Ικανότητας Ένταξης στα σημερινά και στα μελλοντικά Ενεργειακά Συστήματα (Capacity level of integration into present and future energy systems): Ο δείκτης αυτός περιγράφει την ικανότητα μιας τεχνολογίας να ενταχθεί στα ενεργειακά συστήματα του παρόντος, αλλά και να εξασφαλίσει την ένταξή της στα μελλοντικά ενεργειακά συστήματα που θα καθορισθούν βάσει των επερχόμενων κλιματικών στρατηγικών. Ουσιαστικά πρόκειται για την πιθανή, διττή χρήση και αξιοποίηση μιας τεχνολογίας.

Συνοψίζοντας, το σύνολο δεικτών που αναλύθηκε και αξιολογήθηκε παραπάνω, κρίνεται, έπειτα από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας, ότι μπορεί να αποτελέσει το νέο σύνολο δεικτών αξιολόγησης της βιωσιμότητας για επιλογές μετριασμού της κλιματικής αλλαγής (βλ. Error! Reference source not found.), καθώς το τελικό σύνολο δεικτών κρίνεται σαφές, επεξηγηματικό, εύλογο σε αριθμό ανά διάσταση βιωσιμότητας, καθολικά εφαρμόσιμο και αντιπροσωπευτικό για κάθε διάσταση βιωσιμότητας.

Κεφάλαιο 4. Αναγνώριση αναγκών περαιτέρω αξιολόγησης για υπάρχουσες τεχνολογίες μετριασμού της κλιματικής αλλαγής στον τομέα Ενεργειακού Εφοδιασμού και Κατανάλωσης

4.1 Αναγνώριση προτεραιοτήτων και αναγκών περαιτέρω έρευνας για τεχνολογίες μετριασμού της κλιματικής αλλαγής - Περιγραφή της ισχύουσας κατάστασης

Η κλιματική αλλαγή και η απειλή της οξίνισης των ωκεανών από τις ανθρωπογενείς εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (Greenhouse Gases - GHGs) είναι ένα από τα κύρια περιβαλλοντικά προβλήματα παγκοσμίως, αναδεικνύοντας σημαντικές προκλήσεις σε κοινωνικό-οικονομικό, τεχνικό και περιβαλλοντικό επίπεδο. Σύμφωνα με την Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC), οι μέσες παγκόσμιες θερμοκρασίες δεν πρέπει να αυξηθούν περισσότερο από 2°C πάνω από τα προ-βιομηχανοποιημένα επίπεδα, καθώς θεωρείται ευρέως ως η μέγιστη θερμοκρασία για να αποφευχθεί η μη αναστρέψιμη επιβλαβής αλλαγή του παγκόσμιου κλίματος και παρέμβασης των οικοσυστημάτων. Στην Παγκόσμια Έκθεση Ενέργειας (ΠΕΕ) του 2009 (World Energy Outlook - WEO, 2009), ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας-ΔΟΕ (International Energy Agency - IEA) συνιστά ότι, προκειμένου να επιτευχθεί αυτός ο στόχος, οι εκπομπές CO₂, που σχετίζονται με τον ενεργειακό τομέα, πρέπει να κορυφωθούν παγκοσμίως το 2020 στα 30,9 gigatonnes (Gt) και κατόπιν να μειωθούν στα 26,4 Gt το 2030 [46].

Οι επείγουσες προσπάθειες για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHGs), πρέπει να πραγματοποιηθούν στο πλαίσιο της αυξανόμενης ζήτησης ενέργειας σε διεθνές επίπεδο. Στην ΠΕΕ του 2009, σύμφωνα με τις εκτιμήσεις του ΔΟΕ, με βάση τις κυβερνητικές πολιτικές και τα μέτρα που εγκρίθηκαν ή υιοθετήθηκαν από τα μέσα του 2009, το 2030 η παγκόσμια ζήτηση πρωτογενούς ενέργειας θα είναι 40% υψηλότερη από ό,τι το 2007. Εντούτοις, το 90% αυτής της αύξησης αναμένεται ότι θα πραγματοποιηθεί σε χώρες που δεν είναι μέλη του Οργανισμού Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης-ΟΟΣΑ (Organisation for Economic Cooperation and Development - OECD). Επιπλέον, το 77% της παγκόσμιας αύξησης της ζήτησης ενέργειας θα βασίζεται στη χρήση ορυκτών καυσίμων. Ταυτόχρονα, το 2030, 1,3 δισεκατομμύρια άνθρωποι θα εξακολουθούν να μην έχουν πρόσβαση στην ηλεκτρική ενέργεια [46].

Η ομάδα εμπειρογνομόνων για τη μεταφορά τεχνολογίας-OEMT (Expert Group on Technology Transfer - EGTT), εκτιμά ότι οι πρόσθετες ανάγκες χρηματοδότησης για την αντιμετώπιση των ανωτέρω ενεργειακών και κλιματικών προκλήσεων, καλύπτουν το πόσο της κλίμακας των 262-670 δισεκατομμυρίων USD ετησίως, το οποίο είναι περίπου τρεις (3) έως τέσσερις (4) φορές μεγαλύτερο από τα σημερινά παγκόσμια επίπεδα επενδύσεων στις ενεργειακές τεχνολογίες (OEMT, 2009a). Από αυτό το ποσό, 100-400 δισεκατομμύρια USD ετησίως αφορούν τις αναπτυσσόμενες χώρες [46].

Στο πλαίσιο αυτού του γενικού πλαισίου ανάπτυξης και πολιτικής για το κλίμα, ένα κρίσιμο βήμα για τις χώρες είναι να επιλέξουν τεχνολογίες που θα επιτρέψουν να επιτύχουν ισότητα ανάπτυξης και περιβαλλοντικής βιωσιμότητας, καθώς και να ακολουθήσουν χαμηλά επίπεδα εκπομπών και χαμηλή ευπάθεια στην αναπτυξιακή τους πορεία [46].

Η ανάπτυξη και η ανταλλαγή τεχνολογιών μετριασμού μεταξύ ανεπτυγμένων και αναπτυσσόμενων χωρών θα βοηθήσει, όχι μόνο το κλιματικό μετριασμό και την κλιματική προσαρμογή, αλλά και τη

δημιουργία αναπτυξιακών ικανοτήτων στις αναπτυσσόμενες χώρες. Συνεπώς η έρευνα, η ιεράρχηση και η αξιολόγηση τεχνολογικών αναγκών είναι ιδιαίτερα αναγκαίες δράσεις για την ανάπτυξη και τη διάχυση τέτοιων τεχνολογιών που δεν υποστηρίζουν μόνο τη στρατηγική ανάπτυξης τεχνολογιών κάθε χώρας, αλλά και το κόστος άντλησης νέων τεχνολογικών μεθόδων στις λιγότερο αναπτυσσόμενες χώρες, όπως επίσης και τη βελτίωση των δυνατοτήτων των αναπτυσσόμενων χωρών για την καταπολέμηση και την προσαρμογή στην αλλαγή του κλίματος.

Υπάρχουν δύο μορφές τεχνολογιών για την κλιματική αλλαγή: **1)** οι τεχνολογίες προσαρμογής και **2)** οι τεχνολογίες μετριασμού. Η τεχνολογία μετριασμού στοχεύει στην μείωση των αερίων του θερμοκηπίου. Σε σύγκριση με την προσαρμογή της αξιολόγησης των αναγκών, οι βασικοί δείκτες της τεχνολογίας μετριασμού δύνανται να μετρήσουν τη μείωση των εκπομπών και τη μείωση του κόστους, μειώσεις, οι οποίες επιτρέπουν τη σύγκριση μεταξύ των τομέων [47].

Η αξιολόγηση των τεχνολογιών έχει ως στόχο τον προσδιορισμό, την αξιολόγηση και την ιεράρχηση των επιμέρους τεχνολογικών μέσων, τόσο για τον μετριασμό όσο και την προσαρμογή, με σκοπό να επιτευχθούν οι στόχοι της αειφόρου ανάπτυξης. Με τον προσδιορισμό και την ιεράρχηση των επιλογών μετριασμού, επιλέγονται εκείνες που είναι επιτεύξιμες και των οποίων η εφαρμογή έχει πρόσθετα οφέλη, χωρίς να παρεμποδίζονται τα αναπτυξιακά σχέδια μιας χώρας. Βάσει της κλιματικής αλλαγής και της αναπτυξιακής προοπτικής, η αξιολόγηση τεχνολογικών αναγκών για περαιτέρω έρευνα θα δώσει έμφαση και προτεραιότητα στις τεχνολογίες, στις πρακτικές και στις μεταρρυθμίσεις, που θα μπορούσαν να εφαρμοστούν σε διάφορους τομείς μιας χώρας, ώστε να μειώσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, να περιορίσουν την κλιματική ευπάθεια και να συμβάλουν στην επίτευξη των αναπτυξιακών στόχων. Σε πρώτο επίπεδο καθορίζονται οι τομείς προτεραιότητας και σε δεύτερο επίπεδο αναδεικνύονται οι πιο κατάλληλες τεχνολογικές μέθοδοι, οι οποίες εμφανίζονται ως πιο αποτελεσματικές για τον περιορισμό των εκπομπών.

Πολλές από τις τεχνολογίες και πρακτικές για την προσαρμογή και το μετριασμό της κλιματικής αλλαγής έχουν προσαρμοστεί ικανοποιητικά στις αναπτυξιακές ανάγκες υπό την ευρύτερη έννοιά τους. Οι τομείς που ασχολούνται με την προσαρμογή, όπως την προστασία των υδάτινων πόρων, τη διατήρηση και τη βελτίωση της παραγωγής στη γεωργία, την παροχή διασφαλίσεων έναντι αλλαγών στις καιρικές συνθήκες, κλπ, αποτελούν αναγκαία απαίτηση της αειφόρου ανάπτυξης. Πολλές από τις τεχνολογίες που αναπτύσσονται για την αντιμετώπιση των αναγκών του μετριασμού, ειδικότερα οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) και η ενεργειακή απόδοση, αποτελούν επίσης βασικές πηγές της προμήθειας και της χρήσης ενέργειας με αποτελεσματικό τρόπο [31].

Με την αξιολόγηση και ιεράρχηση των τεχνολογικών αναγκών για επιπλέον έρευνα, μπορούν οι αναπτυσσόμενες και υπό μετάβαση χώρες να καθορίσουν και να διευκρινίσουν τις προτεραιότητές τους για την κλιματική αλλαγή και να αναπτύξουν αποτελεσματικές μεθόδους και στρατηγικές για την αντιμετώπισή της. Οι συγκεκριμένες μέθοδοι και στρατηγικές μπορούν να αποτελούν ισχυρά κίνητρα για να προσελκύσουν την προσοχή των κυβερνήσεων και των κρατικών υπηρεσιών, της διεθνούς κοινότητας χορηγών και επενδυτών του ιδιωτικού τομέα σε ένα καλά καθορισμένο σύνολο δραστηριοτήτων προτεραιότητας. Αυτές οι αξιολογήσεις και ιεραρχήσεις των αναγκών όταν επικεντρώνονται στις τεχνολογίες και στις ενέργειες που εξυπηρετούν τους εθνικούς αναπτυξιακούς στόχους θα είναι πιο επιτυχημένες, ενώ παράλληλα ανταποκρίνονται καλύτερα στην απειλή της κλιματικής αλλαγής. Είναι αναγκαίο να συμμετάσχουν ενεργά όλα τα βασικά ενδιαφερόμενα μέρη, προκειμένου να επιτευχτεί μία σωστή αξιολόγηση τεχνολογικών αναγκών, συγκαταλεγμένων των

κυβερνητικών αξιωματούχων, των επιχειρήσεων, των τεχνολογικών ιδρυμάτων, και των διεθνών εταιρών στην επιλογή των προτεραιοτήτων της τεχνολογίας και του σχεδιασμού των ενεργειών, έτσι ώστε να ξεπεραστούν τα εμπόδια για την εφαρμογή των σχετικών τεχνολογικών λύσεων [31].

4.2 Κριτήρια - Επιλογή τομέα και τεχνολογιών μετριασμού

4.2.1 Κριτήρια επιλογής τομέα μετριασμού και τεχνολογιών

Πραγματοποιώντας ανασκόπηση της επιλεχθείσας βιβλιογραφίας, παρατηρήθηκαν αναφορές που σχετίζονταν με πλήθος τεχνολογιών μετριασμού της κλιματικής αλλαγής σε τομείς όπως είναι ο ενεργειακός τομέας, ο βιομηχανικός, ο κτιριακός, καθώς και ο τομέας των μεταφορών/υποδομών. Οι προαναφερθείσες τεχνολογίες αφορούν κατά βάση στον μετριασμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (Greenhouse Gases - GHGs), σε εφαρμογές όπως είναι η μετακίνηση με ηλεκτρικά αυτοκίνητα (τομέας μεταφορών) ή η χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας-ΑΠΕ (ενεργειακός τομέας). Επιπλέον αφορούν στη μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων και πόρων στον κτιριακό και βιομηχανικό τομέα, έχοντας ως κύριο στόχο την προώθηση της χρήσης συσκευών/μηχανημάτων υψηλής ενεργειακής απόδοσης και του βιοκλιματικού σχεδιασμού κτιρίων και κατοικιών (παθητικά κτίρια - passive houses).

Στην παρούσα εργασία, έχοντας ως σκοπό μια εκτενέστερη και σε βάθος ανάλυση, πραγματοποιείται ανάλυση και αξιολόγηση μίας συγκεκριμένης τεχνολογίας, της Δέσμευσης και Αποθήκευσης Άνθρακα - ΔΑΑ (Carbon Capture and Storage - CCS), η οποία ανήκει σε έναν από τους τομείς που αναφέρθηκαν παραπάνω, και συγκεκριμένα στον ενεργειακό τομέα.

Ένα κριτήριο, στο οποίο στηριχθήκαμε, για την επιλογή του τομέα μετριασμού που θα αναλυθεί, είναι να επιλεχθεί ο τομέας εκείνος που συμβάλλει περισσότερο στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (Greenhouse Gases - GHGs) και που μπορεί να προσφέρει πλήθος επιλογών μετριασμού (Climate Change Mitigation Options – CCMOs) για αξιολόγηση και εφαρμογή. Εφόσον πραγματοποιήθηκε η επιλογή του τομέα που θα αναλυθεί, έγινε αναζήτηση επιστημονικών άρθρων, αναφορών και άλλων τύπων πηγών στη σχετική βιβλιογραφία επιστημονικών βιβλιοθηκών, χρησιμοποιώντας κατάλληλες λέξεις κλειδιά για την σχετική επιλεχθείσα τεχνολογία.

Για περαιτέρω ανάλυση, κρίνεται σκόπιμο να συγκεντρωθούν στοιχεία για την συγκεκριμένη τεχνολογία μετριασμού της κλιματικής αλλαγής, έτσι ώστε να μπορεί να γίνει διαχωρισμός των πληροφοριών αυτών και σύγκριση μεταξύ τους, όπως επίσης να τονιστούν τα προτερήματα της τεχνολογίας Δέσμευσης και Αποθήκευσης Άνθρακα - ΔΑΑ (Carbon Capture and Storage - CCS).

Τα κριτήρια επιλογής της συγκεκριμένης τεχνολογίας, Δέσμευσης και Αποθήκευσης Άνθρακα - ΔΑΑ (Carbon Capture and Storage - CCS) που επιλέχθηκε προς αξιολόγηση είναι κατά βάση τα παρακάτω:

- Θα ήταν εύστοχο να επιλεχθεί κάποια αναδυόμενη τεχνολογία, δηλαδή τεχνολογία που σήμερα έχει μικρό μερίδιο αγοράς, αλλά θα μπορούσε να έχει τη δυνατότητα να αποκτήσει μια κυρίαρχη θέση στην αγορά μακροπρόθεσμα.
- Ιδιαίτερη προσοχή έπρεπε να δοθεί στην τεχνολογία που θα επιλεγόταν από την πλευρά της ζήτησης. Αυτό εξασφαλίζει μια ισορροπία με τις μάλλον πολυάριθμες τεχνολογικές αναλύσεις για τον τομέα που εξετάζεται.
- Η επιλεχθείσα τεχνολογία, θα πρέπει να διαδραματίσει κύριο ρόλο ανάμεσα στις

- τεχνολογίες που μελετώνται, όσο αναφορά την συσχέτιση της με τις διαδικασίες και τη χρήση των υλικών σε βιομηχανικές διεργασίες, καθώς το 70% της βιομηχανικής χρήσης σχετίζεται με την παραγωγή υλικών.
- Οι επιλεχθείσα τεχνολογία θα ήταν εύστοχο να έχει μια τρέχουσα ή ενδεχομένως μελλοντική επίπτωση στο περιβάλλον, την οικονομία και τις κοινωνικές πτυχές (διεισδυτικές τεχνολογίες) [30].

4.2.2 Επιλογή τομέα και τεχνολογιών μετριασμού της κλιματικής αλλαγής προς αξιολόγηση

Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε η περίπτωση μελέτης της τεχνολογίας μετριασμού της κλιματικής αλλαγής, Δέσμευσης και Αποθήκευσης Άνθρακα - ΔΑΑ (Carbon Capture and Storage – CCS), η οποία ανήκει στον τομέα του Ενεργειακού Εφοδιασμού και Κατανάλωσης (συμπεριλαμβανομένης της Βιομηχανίας). Ο τομέας του Ενεργειακού Εφοδιασμού περιλαμβάνει όλες τις διαδικασίες εξαγωγής ενέργειας, τη μετατροπή, την αποθήκευση, τη μεταφορά και διανομή στους τελικούς χρήστες.

Η επιλογή του συγκεκριμένου τομέα δεν είναι τυχαία - ο τομέας Ενεργειακού Εφοδιασμού αποτελεί, ουσιαστικά, τον τομέα με το μεγαλύτερο ποσοστό συνεισφορών στις παγκόσμιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Σύμφωνα με στοιχεία του 2010, ο τομέας αυτός ήταν υπεύθυνος για περίπου το 35% των συνολικών ανθρωπογενών εκπομπών. Παρά τη Σύμβαση Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (United Nations Framework Convention on Climate Change - UNFCCC) και του Πρωτοκόλλου του Κιότο, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου αυξήθηκαν ταχύτερα μεταξύ του 2000 και του 2010 σε σχέση με την προηγούμενη δεκαετία. Ο ετήσιος ρυθμός αύξησης των εκπομπών παγκοσμίως επιταχύνθηκε από 1,7% ετησίως μεταξύ 1990-2000, σε 3,1% ετησίως από το 2000 έως το 2010. Οι κύριοι παράγοντες που συνέβαλαν σε αυτή την εξέλιξη ήταν η υψηλότερη ζήτηση ενέργειας που σχετίζεται με την ταχεία οικονομική ανάπτυξη και την αύξηση του μεριδίου του άνθρακα στην παγκόσμια μείγμα καυσίμων [5].

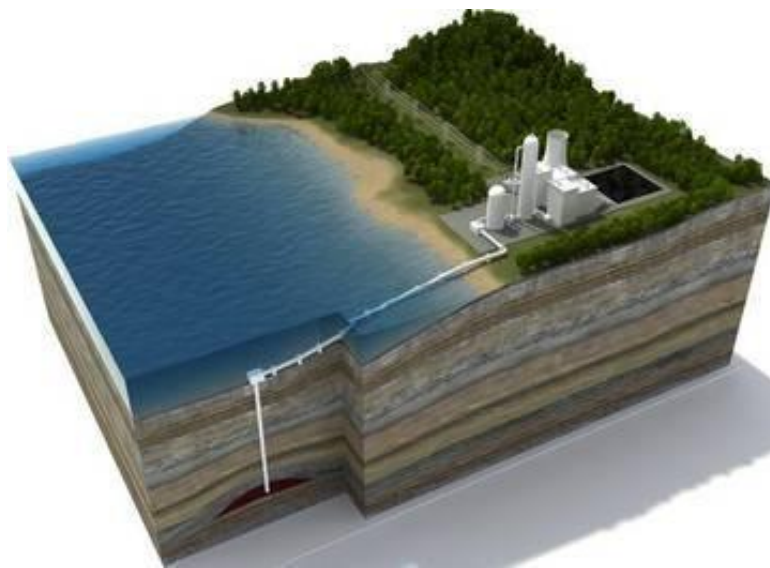
Υπάρχουν πολλές επιλογές για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στον τομέα του ενεργειακού εφοδιασμού. Αυτές περιλαμβάνουν τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και το μετριασμό των ανεξέλεγκτων εκπομπών στην εξόρυξη καυσίμων, στη μετατροπή ενέργειας, στα συστήματα διανομής, καθώς και στην εναλλαγή των ορυκτών καυσίμων και τεχνολογιών χαμηλών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου παροχής ενέργειας, όπως οι ΑΠΕ, η Πυρηνική Ενέργεια και η Δέσμευση και Αποθήκευση Διοξειδίου του άνθρακα (ΔΑΑ) [48][48].

4.3 Δέσμευση και Αποθήκευση Άνθρακα - ΔΑΑ (Carbon Capture and Storage – CCS)

4.3.1. Εισαγωγή

Πρόκειται για ένα συνδυασμό τεχνολογιών που αποσκοπούν στη δέσμευση του CO₂ που παράγεται μέσω της συμβατικής ηλεκτροπαραγωγής και τις βιομηχανικές διεργασίες παραγωγής, με έγχυση του CO₂ σε κατάλληλες υπόγειες δεξαμενές αποθήκευσης. Βασικά, η τεχνολογία δέσμευσης διαχωρίζει τις εκπομπές CO₂ από τη διαδικασία, και το συμπιεσμένο CO₂ μεταφέρεται σε κατάλληλη γεωλογική θέση αποθήκευσης και εγχέεται. Κατάλληλες γεωλογικές θέσεις αποθήκευσης CO₂ αποτελούν τα εγκαταλελειμμένα κοιτάσματα πετρελαίου και φυσικού αερίου, βαθείς γεωλογικοί σχηματισμοί και φλέβες άνθρακα. Ο κυρίαρχος λόγος για τη χρήση της τεχνολογίας αυτής είναι μείωση των εκπομπών

CO₂ από τη βιομηχανία και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, χωρίς την παροχή κινήτρων. Η εφαρμογή της ΔΑΑ στους τομείς της βιομηχανίας και της ηλεκτροπαραγωγής θα επιτρέψει τη χρήση ορυκτών καυσίμων με εμφανή μείωση των εκπομπών CO₂. Ωστόσο, μια πλήρης αλυσίδα ΔΑΑ χρειάζεται ακόμη να υλοποιηθεί και πολλές τεχνικές, περιβαλλοντικές και οικονομικές αβεβαιότητες παραμένουν. Η ΔΑΑ θα μπορούσε να συλλάβει μεταξύ 85-95% του CO₂ που παράγεται από ένα εργοστάσιο, αλλά οι καθαρές μειώσεις των εκπομπών είναι της τάξης του 72-90%, λόγω της ενέργειας που απαιτείται να διαχωριστεί το CO₂ και οι άλλες εκπομπές. Στην παρακάτω **Εικόνα 3** παρουσιάζεται ένα παράδειγμα σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με την ενσωμάτωση τεχνολογίας ΔΑΑ [49].



Εικόνα 3: Παράδειγμα ενός σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που ενσωματώνει τεχνολογία Δέσμευσης και Αποθήκευσης Άνθρακα – ΔΑΑ (Carbon Capture and Storage – CCS)

4.3.2. Η περίπτωση ΔΑΑ - κενά γνώσης/ανάγκες για περαιτέρω έρευνα

Η τεχνολογία της δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα είναι ένα αμφισβητούμενο σύνολο τεχνολογιών, με τη χρησιμότητά τους να είναι ασαφής, αλλά συχνά προτείνεται ως πολύτιμη πρακτική μετριασμού της κλιματικής αλλαγής. Έχει δηλωθεί ότι οι λύσεις ενεργειακής απόδοσης και η αυξημένη παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας ενδέχεται να μην επαρκούν για την επίτευξη της απαιτούμενης μείωσης των εκπομπών, επομένως η τεχνολογία ΔΑΑ απαιτείται ως συμπληρωματική τεχνολογία στην όλο και αυξανόμενη διάχυση τεχνολογιών ΑΠΕ. Η εφαρμογή της τεχνολογίας ΔΑΑ θα μπορούσε να κάνει την ενέργεια από ορυκτά καύσιμα σχεδόν κλιματικά ουδέτερη, με μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου της τάξης του 65-80%, επιτρέποντας έτσι μεγάλες μειώσεις εκπομπών. Εκτός αυτού, η τεχνολογία ΔΑΑ μπορεί επίσης να είναι χρήσιμη για την αντιστάθμιση των εκπομπών που παράγονται από βιομηχανικές διεργασίες σε διάφορες βιομηχανικές μονάδες.

Για να συμβεί αυτό χρειάζεται να εδραιωθεί ένας παγκόσμιος οργανισμός αξιολόγησης στον τομέα των βιώσιμων επενδύσεων, κανονισμοί και κίνητρα, έτσι ώστε να καταστεί η τεχνολογία ΔΑΑ εμπορικά βιώσιμη εγκαίρως για την αντιμετώπιση των κλιματικών προκλήσεων [50]. Αυτά τα κίνητρα θα πρέπει να επικεντρωθούν στη δημιουργία έργων επίδειξης που θα επιφέρουν βιομηχανική εμπειρία, οικονομίες κλίμακας και μείωση των κόστων. Τα κίνητρα για τέτοιου είδους έργα πρέπει

να είναι ένας συνδυασμός χρηματοδότησης από την Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ), χρηματοδότησης από τα κράτη μέλη και συνεισφοράς της βιομηχανίας. Ένα άλλο ζήτημα είναι η ρύθμιση της αγοράς για την τεχνολογία ΔΑΑ, η οποία θα πρέπει να βασίζεται στο Ευρωπαϊκό Σύστημα Εμπορίας (European Trading System – ETS) της ΕΕ, σε συνδυασμό με πιστοποιητικά χαμηλών εκπομπών ή πρότυπα επιδόσεων εκπομπών. Αυτό θα οδηγήσει σε υψηλή τιμή Επιτρεπτών Μονάδων Εκπομπών (Emission Allowance Units – EAU) και σε συνδυασμό με ένα σαφές ρυθμιστικό πλαίσιο, μπορεί να εξασφαλίσει μια αγορά για την τεχνολογία ΔΑΑ μετά το 2020. Για την εφαρμογή της τεχνολογίας ΔΑΑ πρέπει, επίσης, να θεσπιστεί και να μεταφερθεί σε όλα τα κράτη μέλη της ΕΕ ένα νομικό πλαίσιο για τη διασφάλιση ασφαλούς και φιλικής προς το περιβάλλον αποθήκευσης του CO₂. Τα μέτρα που προάγουν τη μεταφορά τεχνολογίας στις αναδυόμενες και αναπτυσσόμενες χώρες φαίνεται να έχουν προς το παρόν θετικό πρόσημο.

Η τεχνολογία ΔΑΑ ως προσωρινή και μεταβατική τεχνολογία θα χρησιμοποιηθεί μέχρις ότου οι τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας χωρίς άνθρακα να εφαρμοστούν σε παγκόσμιο επίπεδο και η εμπορική ανάπτυξή της θα υποστηριχθεί μόνο ως μέρος μιας συνολικής στρατηγικής για τη μείωση των εκπομπών CO₂ στην παραγωγή ενέργειας. Η προώθηση της τεχνολογίας ΔΑΑ δεν θα πρέπει να λάβει χώρα εις βάρος της περαιτέρω ανάπτυξης των ΑΠΕ και των πρακτικών εξοικονόμησης ενέργειας και ενεργειακής απόδοσης [50]. Συνεπώς, δεδομένης της ταχύτητας που το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής αναπτύσσεται, οι δυνατότητες και οι περιορισμοί της τεχνολογίας ΔΑΑ θα πρέπει να διερευνηθούν και να εξετασθούν εντατικά και να αναλυθεί η σημασία της τεχνολογίας σε εθνικό και παγκόσμιο επίπεδο.

Σχετικά με τις απώλειες απόδοσης που σχετίζονται με την τεχνολογία, θα πρέπει να θεσπιστούν ξεχωριστές απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης για τις μονάδες ΔΑΑ, καθώς αυτές δεν μπορούν να συγκριθούν άμεσα με μία εγκατάσταση δίχως τη δυνατότητα ΔΑΑ. Η τεχνολογία ΔΑΑ είναι κατά κύριο λόγο κατάλληλη για μεγάλες σταθερές πηγές CO₂, όπως σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και ορισμένες βιομηχανικές διεργασίες. Έτσι, η εφαρμογή σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής με καύση άνθρακα παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, καθώς οι εγκαταστάσεις αυτές είναι σημαντικές εκπομπές CO₂, ενώ η ΔΑΑ μπορεί επίσης να εφαρμοστεί στη βιομηχανία ορυχείων και μετάλλων, στη βιομηχανία δομικών υλικών (ιδιαίτερα στην παραγωγή τσιμέντου), στη χημική βιομηχανία και στην παραγωγή χαρτιού. Η τεχνολογία της δέσμησης CO₂ μετά την καύση, έχει ιδιαίτερη σημασία λόγω της χρήσης της στην αναβάθμιση υφιστάμενων σταθμών ηλεκτροπαραγωγής. Ωστόσο, ένα μειονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι οι μεγάλες απαιτήσεις σε χώρο και σε ενέργεια. Από την άλλη πλευρά, η τεχνολογία Ολοκληρωμένης Αεριοποίησης Συνδυασμένου Κύκλου-ΟΑΣΚ (Integrated Gasification Combined Cycle - IGCC) δέσμησης CO₂ αναμένεται να επιφέρει τη μικρότερη απώλεια απόδοσης, αλλά κρίσιμα τεχνικά προβλήματα, που δεν έχουν αντιμετωπιστεί ακόμα.

Ωστόσο, η Ευρωπαϊκή Ένωση Ασβεστίου-ΕΕΑ (European Lime Association - Eula) υποστηρίζει ότι η ΔΑΑ δεν θα πρέπει να προωθείται μόνο για την αποζημίωση των εκπομπών ορυκτών καυσίμων, αλλά και για την αντιστάθμιση των εκπομπών διεργασιών σε διάφορες βιομηχανίες, συμπεριλαμβανομένου του ασβέστη [51]. Ωστόσο, η ΕΕΑ εξετάζει διάφορες προκλήσεις για να εμποδίσει την περαιτέρω ανάπτυξη της ΔΑΑ:

- Το κόστος δέσμησης CO₂ σε ασβεστολιθικές εγκαταστάσεις εκτιμάται ότι είναι οικονομικά μη βιώσιμο (δηλαδή το κόστος δέσμησης CO₂ θα υπερδιπλασιάσει το κόστος παραγωγής του ασβέστη σε περίπου 60 €/τόνο ασβέστη),

- Η έλλειψη κατάλληλου σχεδιασμού υποδομών μεταφοράς CO₂ αυξάνει σημαντικά το κόστος δέσμευσης και η μεταφορά του κόστους της υποδομής ΔΑΑ στους χρήστες της ενδέχεται να μην είναι οικονομικά βιώσιμη,
- Οι προσπάθειες που επικεντρώνονται επί του παρόντος στη χρήση του CO₂ (αντί αποθήκευσής του) για την παραγωγή καυσίμων/υδρογονανθράκων, ως δομικά υλικά, ως πρώτη ύλη για την παραγωγή πολυμερών και για την ενίσχυση της ανάκτησης ορυκτών καυσίμων, περιορίζονται σε ερευνητικό επίπεδο.

Οι προαναφερθείσες θέσεις επισημαίνουν τους ακόλουθους τομείς έρευνας που απαιτούνται (βλ. Πίνακας 9) για την ενίσχυση της ανάπτυξης της τεχνολογίας ΔΑΑ, σχετικά με έργα βιομηχανικής επίδειξης και τις συναφείς εκτιμήσεις για την ενίσχυση της διαμόρφωσης πλαισίων στήριξης:

Πίνακας 9: Θέματα που καλύπτονται από την παρούσα έκθεση

Ερευνητικές Προτεραιότητες	Γιατί οι ερευνητικές προτεραιότητες είναι σημαντικές για την ερευνητική κοινότητα?
1. Προσδιορισμός των πραγματικών δυνατοτήτων και περιορισμών της ΔΑΑ	- Προσδιορισμός των πραγματικών δυνατοτήτων και περιορισμών της ΔΑΑ, έτσι ώστε να μπορέσει να επιτευχθεί αποτελεσματικά η μακροπρόθεσμη ανάπτυξη της.
2. Περαιτέρω μελέτη των τεχνολογιών δέσμευσης CO ₂	- Περαιτέρω μελέτη των συγκεκριμένων τεχνολογιών ΔΑΑ, προκειμένου να επιλυθούν τεχνικές προκλήσεις υψηλής απόδοσης, ενώ παράλληλα να είναι δυνατή η εκ των υστέρων αναβάθμιση των υφιστάμενων εγκαταστάσεων με τον αποδοτικότερο τρόπο.
3. Μείωση του κόστους των διαδικασιών δέσμευσης και αποθήκευσης και αύξηση της ανταγωνιστικότητας	- Περαιτέρω έρευνα πρέπει να επικεντρωθεί στον καλύτερο χαρακτηρισμό της τοποθεσίας αποθήκευσης, με σκοπό την εκμετάλλευση μεγάλων εκτάσεων που αποτελούν μεγάλο μέρος της αποθηκευτικής χωρητικότητας, - Οι δραστηριότητες E&A και τα αποτελέσματα των καμπύλων μάθησης είναι κρίσιμα, καθώς οι βελτιωμένες και ευρέως χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες θα μπορούσαν να μειώσουν τα μελλοντικά κόστη.
4. Περαιτέρω έρευνα για έρευνα νέων καινοτόμων τρόπων χρήσης του δεσμευμένου CO ₂ , αντί αποθήκευσής του	- Περαιτέρω έρευνα για έρευνα νέων καινοτόμων τρόπων χρήσης του δεσμευμένου CO ₂ , αντί αποθήκευσής του, καθώς τα αποτελέσματά της βιβλιογραφίας δηλώνουν ότι ορισμένες χρήσεις CO ₂ δεν αποτελούν μόνιμη λύση αποθήκευσης, αλλά θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την αντιστάθμιση του κόστους δέσμευσης, ενώ παράλληλα θα σημειώνεται περαιτέρω τεχνολογική πρόοδος, θα εντοπίζονται κατάλληλοι χώροι αποθήκευσης και θα μειώνεται το κόστος της τεχνολογίας ΔΑΑ. - Επιπλέον, με βάση τα ευρήματα της βιβλιογραφικής ανασκόπησης, τα έργα δέσμευσης, αξιοποίησης και αποθήκευσης άνθρακα (Carbon Capture, Utilization and Storage - CCUS) είναι πιθανόν να είναι τα πρώτα έργα επίδειξης ΔΑΑ που θα εφαρμοστούν, δεδομένου ότι το CO ₂ παρέχει μια ροή εσόδων που θα βελτιώσει την εμπορική βιωσιμότητα των εν λόγω έργων.
5. Διάχυσης της τεχνολογίας ΔΑΑ στις αναδυόμενες και αναπτυσσόμενες χώρες	Διάχυσης της τεχνολογίας ΔΑΑ στις αναδυόμενες και αναπτυσσόμενες χώρες, καθώς: - Τα ευρήματά της βιβλιογραφίας επιβεβαιώνουν ότι η τεχνολογία ΔΑΑ εξετάζεται ως μια εξαιρετική επιλογή, ανθεκτική στην κλιματική αλλαγή, για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στις αναπτυσσόμενες οικονομίες.
6. Αναγνώριση και αξιολόγηση προϊόντων με την ικανότητα μόνιμης δέσμευσης και αποθήκευσης των εκπομπών CO ₂	- Λίγες διεργασίες που χρησιμοποιούν βιομηχανικά κατάλοιπα έχουν ήδη φθάσει σε πιλοτικό στάδιο και περαιτέρω έρευνα θα πρέπει να επικεντρωθεί στο να κάνει αυτές τις διεργασίες εμπορικά διαθέσιμες, με περαιτέρω στόχο να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή πολύτιμων προϊόντων με μεγαλύτερη χωρητικότητα CO ₂ .

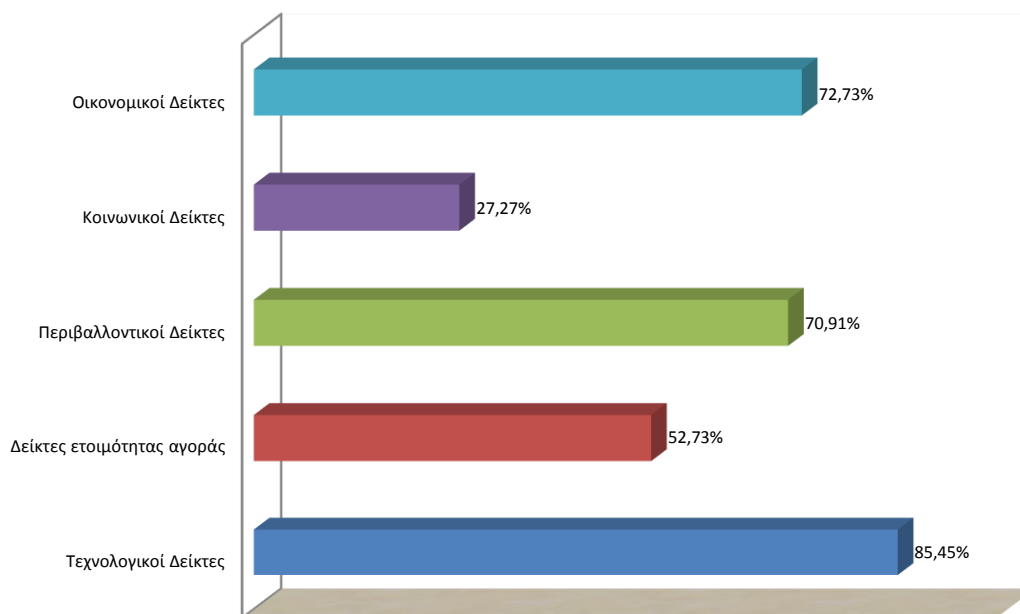
<p>7. Διερεύνηση εφαρμογής της τεχνολογίας ΔΑΑ σε άλλους βιομηχανικούς κλάδους εκτός του τομέα της ηλεκτροπαραγωγής</p>	<p>Διερεύνηση εφαρμογής της τεχνολογίας ΔΑΑ σε άλλους βιομηχανικούς κλάδους εκτός του τομέα της ηλεκτροπαραγωγής, καθώς:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Οι βιομηχανικές εφαρμογές της τεχνολογίας ΔΑΑ είναι εξίσου σημαντικές με την εφαρμογή της ΔΑΑ στην ηλεκτροπαραγωγή σε παγκόσμιο επίπεδο, κάτι το οποίο επιβεβαιώνουν αρκετές εφαρμογές μέχρι στιγμής, - Τα ευρήματά μας δείχνουν ότι υπάρχει έλλειψη έργων ΔΑΑ στους τομείς παραγωγής σιδήρου και χάλυβα, τσιμέντου, διύλισης πετρελαίου, βιοκαυσίμων και χαρτοπολτού, οι οποίοι αποτελούν τομείς με τα μεγαλύτερα ποσοστά εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου.
<p>8. Δημιουργία ειδικών κανονισμών και κινήτρων για την ΔΑΑ</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Η βιβλιογραφία αναγνωρίζει σοβαρά εμπόδια στην επίτευξη επαρκών έργων για την ωρίμανση της τεχνολογίας ΔΑΑ, ώστε να μπορεί να αντιμετωπίσει αποτελεσματικά τις εκπομπές CO₂ από τα εργοστάσια καύσης ορυκτών καυσίμων. - Η τεχνολογία ΔΑΑ χρειάζεται άμεση πολιτική στήριξη για την ανάπτυξη και επίδειξη των εμπορικών εγκαταστάσεων «πρώτων του είδους τους» (First-Of-A-Kind – FOAK)), για να μειώσουν το κόστος τους και τα διαθέσιμα κυβερνητικά κεφάλαια μέχρι σήμερα καλύπτουν μόνο εν μέρει τα κόστη της τεχνολογίας ΔΑΑ.

4.3.3. Εκτίμηση της διαθεσιμότητας δεδομένων αξιολόγησης/μελετών στη βιβλιογραφία

Υπάρχει ένα ευρύ φάσμα ακαδημαϊκής βιβλιογραφίας που αξιολογεί την ευκολία υλοποίησης και τις συνέπειες της ΔΑΑ, βάσει βιβλιογραφικών ανασκοπήσεων, οι οποίες αποτελούνται από εκατοντάδες επιστημονικά άρθρα (δημοσιευμένα σε περιοδικά με κρίση) και επιστημονικές εκθέσεις (παραδοτέα ερευνητικών έργων χρηματοδοτούμενων από την ΕΕ, τεχνικές εκθέσεις, κλπ.). Αρχίζουμε την έρευνά μας παρουσιάζοντας σύντομα μια επισκόπηση αυτής της βιβλιογραφίας και αξιολογώντας τη διαθεσιμότητα μελετών και δεδομένων που παρουσιάζονται σε ακαδημαϊκές δημοσιεύσεις και επιστημονικές εκθέσεις. Στη συνέχεια, επανεξετάζουμε το τί αναφέρθηκε στη βιβλιογραφία σχετικά με κενά γνώσης και ανάγκες για περαιτέρω έρευνα, σε σχέση με τις ερευνητικές θεματικές/προτεραιότητες που παρουσιάστηκαν στην παραπάνω ενότητα.

Καμία ανασκόπηση της βιβλιογραφίας δεν μπορεί ποτέ να είναι εξαντλητική. Για την περίπτωση της ΔΑΑ, εξετάσαμε συνολικά σαράντα ένα (41) βιβλιογραφικές πηγές. Το παρακάτω **Διάγραμμα 29** συνοψίζει τα πορίσματα της βιβλιογραφίας σχετικά με τις διαθέσιμες μελέτες και τις πτυχές τις οποίες οι αντίστοιχες μελέτες εξετάζουν.

Μελέτες Αξιολόγησης κατά την επισκόπηση της επιλεχθείσας βιβλιογραφίας



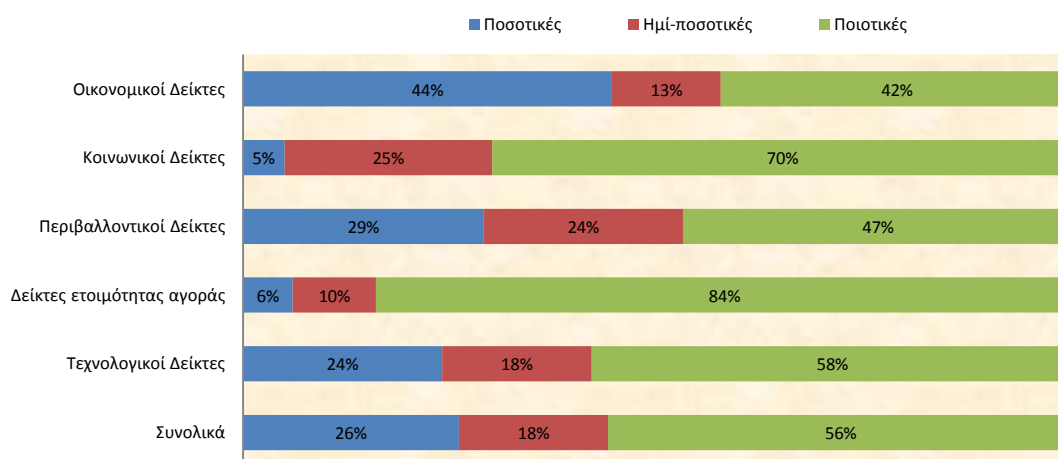
Διάγραμμα 29: Περίληψη των μελετών από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας σύμφωνα με την πτυχή που εξετάστηκε

Όπως παρουσιάζεται στο παραπάνω **Διάγραμμα 29**, σχεδόν 9 στις 10 πηγές εξέτασαν τις τεχνολογικές πτυχές της ΔΑΑ στην έρευνά τους, αξιολογώντας τα τεχνικά χαρακτηριστικά και τις προκλήσεις των τεχνολογιών δέσμευσης, μεταφοράς και αποθήκευσης σχετικά με την αύξηση της αποδοτικότητάς τους, προβλέποντας αβεβαιότητα σύμφωνα με τη μελλοντική απόδοσή τους και προσδιορίζοντας τους τομείς στους οποίους πρέπει να επικεντρωθεί η περαιτέρω τεχνική έρευνα. Όπως επίσης παρουσιάζεται στο παραπάνω **Διάγραμμα 29**, σχεδόν τρεις 3 στις 4 πηγές της βιβλιογραφίας περιελάμβαναν μελέτες περιβαλλοντικής και οικονομικής αξιολόγησης. Από περιβαλλοντική άποψη, οι περισσότερες από τις μελέτες που διεξήχθησαν στο πλαίσιο της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (Life Cycle Assessment - LCA), αξιολόγησαν την μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην αλυσίδα αξίας της ΔΑΑ και την ανάλυση των επιπτώσεων της στο έδαφος, στην υπερθέρμανση του πλανήτη, στην οξύνιση, στον ευτροφισμό του εδάφους και του νερού, στην ανθρώπινη τοξικότητα, στην οικοτοξικότητα και στην εξάντληση των διαθέσιμων ενεργειακών πόρων. Από οικονομικής πλευράς, οι περισσότερες μελέτες αξιολόγησαν το κόστος (τόσο μικρο-οικονομικό, όσο και κόστος αποφυγής (μετριασμού/πρόνοιας) σε ολόκληρη τη διάρκεια ζωής της ΔΑΑ για διαφορετικά σενάρια ενσωμάτωσης και ανέλυσαν κυρίως ζητήματα ενεργειακής ασφάλειας (με την έννοια της εξάρτησης από τις εισαγωγές), οικονομικής προσιτότητας, κερδοφορίας, υποστηρικτικών χρηματοοικονομικών μηχανισμών, οικονομικών κινδύνων και της συμβολής στην τομεακή ανάπτυξη.

Το παραπάνω διάγραμμα δείχνει, επίσης, ότι περίπου οι μισές από τις μελέτες αξιολόγησαν την ετοιμότητα αγοράς της ΔΑΑ, υπό το πρίσμα της ωριμότητας και της ζήτησης της. Οι μελέτες αυτές ασχολήθηκαν με θέματα τεχνολογικής διάδοσης και επεσήμαναν τα υπάρχοντα και αναγκαία ρυθμιστικά πλαίσια για να καταστεί δυνατή η περαιτέρω ανάπτυξη της ΔΑΑ, εγκαθιστώντας έργα επίδειξης. Τέλος, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία μας, σχεδόν 1 στις 3 πηγές μελέτησε την ΔΑΑ από κοινωνική σκοπιά, αξιολογώντας θέματα κοινωνικής αποδοχής και ενημέρωσης, εμπιστοσύνης στη ρυθμιστική εποπτεία, τοπικής αυτονομίας, ανησυχιών εκσυγχρονισμού, εκπαίδευσης, ισότητας, κ.ά.

Κατά τη διάρκεια της ανασκόπησης της βιβλιογραφίας μας καταγράψαμε, επίσης, πληροφορίες σχετικά με τον τύπο πληροφοριών/δεδομένων που κάθε μελέτη χρησιμοποίησε για την αξιολόγηση των διαφόρων διαστάσεων της τεχνολογίας ΔΑΑ. Το **Διάγραμμα 30** συνοψίζει τη δουλειά μας για κάθε διάσταση, καθώς και για το σύνολο τους.

Τύπος πληροφοριών/δεδομένων στις διαθέσιμες μελέτες αξιολόγησης



Διάγραμμα 30: Περίληψη των μελετών από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση σύμφωνα με τον τύπο των διαθέσιμων πληροφοριών/δεδομένα ανά πτυχή υπό εξέταση

Βάσει του **Διάγραμμα 30: Περίληψη των μελετών από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση σύμφωνα με τον τύπο των διαθέσιμων πληροφοριών/δεδομένα ανά πτυχή**, καταλήγουμε, ότι παρ' όλο που οι οικονομικές πληροφορίες/δεδομένα είναι εξίσου ποσοτικά και ποιοτικά, οι περισσότερες από τις σχετικές μελέτες χρησιμοποιούν κυρίως ποιοτικές πληροφορίες/δεδομένα.

Συνολικά, η ανασκόπηση της βιβλιογραφίας μας δείχνει ότι υπάρχει ήδη ικανοποιητικός αριθμός διαθέσιμων μελετών στη διεθνή βιβλιογραφία καλύπτοντας επαρκώς τις περισσότερες πτυχές της ΔΑΑ. Τα αποτελέσματά μας σηματοδοτούν, επίσης, ότι για τις υπό μελέτη διαστάσεις, έχει ήδη δρομολογηθεί περαιτέρω έρευνα. Ωστόσο, από κοινωνική άποψη, οι διαθέσιμες πληροφορίες εξακολουθούν να φαίνονται ανεπαρκείς και περαιτέρω έρευνα θα πρέπει να επικεντρωθεί περισσότερο στις κοινωνικές πτυχές στο μέλλον.

Στην επόμενη ενότητα θα προχωρήσουμε σε μεγαλύτερο βάθος με τη διερεύνηση των πορισμάτων από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, με στόχο την παροχή περισσότερης λεπτομέρειας σχετικά με τη διαθέσιμη γνώση και πληροφορία για τις ερευνητικές προτεραιότητες και ανάγκες που εντοπίστηκαν.

4.3.4. Ευρήματα από τη διεθνή βιβλιογραφία

Σε αυτή την ενότητα, συνοψίζουμε τα ευρήματά μας όπως συλλέχθηκαν από τις μελέτες της βιβλιογραφίας (βλ. **Κεφάλαιο 4.3.3. Εκτίμηση της διαθεσιμότητας δεδομένων αξιολόγησης/μελετών στη βιβλιογραφία**) με σκοπό την εξαγωγή και αναγνώριση κενών/αναγκών για περαιτέρω έρευνα, όπως προτείνονται από την επιστημονική βιβλιογραφία.

4.3.3.1. Τεχνολογίες δέσμευσης CO₂: Τεχνικές προκλήσεις για την επίτευξη υψηλής απόδοσης και την αναβάθμιση υφιστάμενων εγκαταστάσεων

Υπάρχουν τρεις (3) τυπικές τεχνολογίες για τη δέσμευση CO₂ [51]:

Οι τεχνολογίες δέσμευσης CO₂ μετά τη καύση (Post-combustion CO₂ capture technologies) διαχωρίζουν το CO₂ από τα καυσαέρια κατά την καύση του καυσίμου. Ως εκ τούτου, το άζωτο και το CO₂ είναι οι κύριες ουσίες που πρέπει να διαχωριστούν. Η δέσμευση μετά την καύση με τη χρήση καθαρισμού διαλυτών είναι μία από τις πιο καθιερωμένες μεθόδους για τη δέσμευση CO₂ και αρκετές εγκαταστάσεις χρησιμοποιούν αμινικούς διαλύτες για να δεσμεύσουν μεγάλο βαθμού ροές CO₂ από ρεύματα καυσαερίων [53].

Η καύση με οξυγόνο (Oxy-fuel combustion) βασίζεται στον διαχωρισμό του αζώτου και του οξυγόνου σε μια μονάδα διαχωρισμού αέρα. Το σχεδόν καθαρό οξυγόνο στη συνέχεια χρησιμοποιείται για την καύση του καυσίμου, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα ένα καυσαέριο που αποτελείται κυρίως από CO₂ και νερό, τα οποία διαχωρίζονται μέσω συμπύκνωσης. Η καύση με οξυγόνο επιδεικνύεται αυτή τη στιγμή σε πιλοτική κλίμακα στη Γερμανία, στην Αυστραλία και στο Ηνωμένο Βασίλειο και η καύση με οξυγονοκίνητο καύσιμο χρησιμοποιείται πιλοτικά στη βιομηχανία μεταποίησης χάλυβα με εγκαταστάσεις δυναμικότητας έως 250MW που λειτουργούν εμπορικά [54][54].

Η δέσμευση CO₂ προ καύσης (Pre-combustion CO₂ capture) διαχωρίζει το υδρογόνο και το CO₂ μετά την αεριοποίηση του καυσίμου και την απόθεση του αερίου, με την καύση του υδρογόνου να ακολουθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η δέσμευση CO₂ πριν από την καύση από μια ολοκληρωμένη μονάδα συνδυασμένου κύκλου αεριοποίησης (Integrated Combined Cycle Gasification Unit - IGCC) δεν έχει ακόμη εφαρμοστεί [54]. Ωστόσο, στοιχεία της τεχνολογίας έχουν ήδη εφαρμοστεί επιτυχώς σε άλλες βιομηχανικές διεργασίες.

Οι τεχνολογίες δέσμευσης μετά την καύση μπορούν να τοποθετηθούν σε υπάρχουσες εγκαταστάσεις που επιτρέπουν τη συνεχή λειτουργία των εγκατεστημένων υποδομών και του ενεργητικού της εγκατάστασης. Ωστόσο, εντοπίζονται τεχνικές προκλήσεις σχετικά με τις τρέχουσες διεργασίες και τεχνολογίες διαλυτών. Συγκεκριμένα, οι περισσότερες διεργασίες διαλύτη διατίθενται στο εμπόριο σε σχετικά μικρή κλίμακα και ως εκ τούτου χρειάζονται ανασχεδιασμό. Επιπλέον, η δέσμευση με τις σημερινές τεχνολογίες διαλυτών έχει ως αποτέλεσμα απώλεια της καθαρής παραγωγής ισχύος περίπου 30% και μείωση κατά περίπου 11% της αποδοτικότητας. Για την περίπτωση της αναβάθμισης, αυτό θα σήμαινε την ανάγκη αντικατάστασης για να αντισταθμιστεί η ζημία [55].

Η περίπτωση καύσης με οξυγόνο θα πρέπει να είναι σε θέση να αναπτύξει συμβατικούς, καλά ανεπτυγμένους ατμομηχανισμούς υψηλής απόδοσης- χωρίς να χρειάζεται να αφαιρέσει μεγάλες ποσότητες ατμού από τον κύκλο δέσμευσης CO₂ και ώντας λιγότερο ανταγωνιστική με τις τεχνολογίες δέσμευσης προ- και μετά καύσης, μπορεί να αποκτήσει ένα μελλοντικό στρατηγικό πλεονέκτημα κόστους. Ωστόσο, η κύρια τεχνική πρόκληση που αναγνωρίζεται είναι η δυνατότητα ανάπτυξης οξύ-καύσης μικρότερης κλίμακας ή «ολισθώμενης ροής» στις υπάρχουσες μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η καύση οξυγόνου απαιτεί μια ολοκληρωμένη εγκατάσταση και η ανάπτυξη της δέσμευσης με κάυση οξυγόνου απαιτεί τη δέσμευση ολόκληρης της μονάδας παραγωγής ενέργειας από την τεχνολογία. Το τελευταίο καθιστά την πορεία της τεχνολογικής εξέλιξης για την καύση οξυγόνου πιο δαπανηρή απ' ό,τι για τις τεχνολογίες δέσμευσης προ- ή μετά- καύσης [55] και ως εκ τούτου, η αναβάθμιση υφιστάμενων εγκαταστάσεων καθίσταται πρόκληση. Σχετικά με τις

βελτιώσεις στη διαδικασία δέσμευσης CO₂, σε μια μονάδα καύσης με οξυγόνο, υπάρχει λιγότερη εξέλιξη Έρευνας και Ανάπτυξης (E&A) σε σύγκριση με τις διαδικασίες δέσμευσης προ- και μετά-καύσης, καθώς η χρησιμοποιούμενη τεχνολογία είναι σχετικά απλή. Ωστόσο, ένας βασικός τομέας έρευνας σχετίζεται με τη δέσμευση του CO₂ που περιέχεται στο εξαερωμένο αδρανές αέριο (το οποίο τυπικά έχει περίπου 10% του συνολικού CO₂) από την μονάδα καθαρισμού CO₂ (CO₂ Purification Unit - CPU) [55].

Τέλος, στην περίπτωση της δέσμευσης CO₂ προ καύσης, η χρήση της αντίδρασης μετατόπισης ύδατος-αερίου (Water-Gas Shift – WGS) και η απομάκρυνση του CO₂ με διαδικασίες αφαίρεσης όξινου αερίου (Acid Gas Removal – AGR) (εμπορικά εφαρμοσμένες), συνεπάγεται λιγότερη ενέργεια από την τρέχουσα τεχνολογία μετά καύσης με δέσμευση CO₂ 90%. Επιπλέον, η δέσμευση CO₂ πριν από την καύση έχει ήδη παρουσιαστεί σε εμπορική κλίμακα σε μονάδες αεριοποίησης άνθρακα που χρησιμοποιούνται σε μη ηλεκτρικές εφαρμογές. Η βιβλιογραφία αναδεικνύει ευκαιρίες για εκ των υστέρων αναβάθμιση όταν πρόκειται για τεχνολογίες δέσμευσης προ καύσης [56].

Το **Παράρτημα 7** παρουσιάζει λεπτομερέστερα τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των τριών αυτών κύριων τύπων τεχνολογιών δέσμευσης.

Συνοψίζοντας:

- Οι βελτιώσεις για τη δέσμευση προ-καύσης στις ολοκληρωμένες μονάδες συνδυασμένου κύκλου αεριοποίησης (Integrated Gasification Combined Cycles – IGCCs), μέχρι στιγμής, επικεντρώνονται κυρίως στις τεχνικές επεξεργασίας συνθετικών αερίων που μειώνουν την ενεργειακή ποινή και αυξάνουν την αποτελεσματικότητα. Ωστόσο, η κύρια πρόκληση που εντοπίστηκε είναι ότι, ενώ η απώλεια ενέργειας για τη δέσμευση προ καύσης είναι χαμηλότερη από ότι για τη μετά-, εξακολουθεί να είναι μείζονος σημασίας.
- Ένα άλλο τεχνικό εμπόδιο που επισημάνθηκε είναι ότι η Ολοκληρωμένη Αεριοποίηση Συνδυασμένου Κύκλου (Integrated Gasification Combined Cycle - IGCC) δεν χρησιμοποιείται ακόμη ευρέως στη βιομηχανία ηλεκτρικής ενέργειας. Επομένως, η μονάδα αεριοποίησης παραμένει άγνωστη στις περισσότερες εταιρείες ηλεκτροπαραγωγής.
- Συνολικά, σήμερα είναι τεχνικά εφικτό να ενσωματωθεί εξοπλισμός για τη δέσμευση του διοξειδίου του άνθρακα σε όλους τους τύπους νέων σταθμών ηλεκτροπαραγωγής που λειτουργούν με άνθρακα. Ειδικότερα, οι τεχνολογίες δέσμευσης μετά την καύση και προ-καύσης επιτρέπουν τη αναβάθμιση των υπάρχοντων εργοστασίων με άνθρακα, λαμβάνοντας υπόψη τους υφιστάμενους περιορισμούς και παράγοντες (δηλ. χώρο, τεχνολογική συμβατότητα, κ.λπ.). Η σημασία της αναβάθμισης των υπάρχοντων μονάδων άνθρακα δεν πρέπει να υποτιμηθεί λόγω του αυξανόμενου αριθμού νέων μονάδων άνθρακα που προστίθενται (ιδίως στην Κίνα και την Ινδία).
- Τα ευρήματα από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση επιβεβαίωσαν ότι οι τεχνικές προκλήσεις όσον αφορά την αύξηση της αποτελεσματικότητας στην περίπτωση των τριών κύριων τεχνολογιών δέσμευσης πρέπει ακόμη να επιλυθούν, και ότι ειδικοί κανονισμοί που επιτρέπουν την επεκτάσιμη επίδειξη και εφαρμογή τέτοιων τεχνολογιών και τη χρηματοδότηση περαιτέρω δραστηριοτήτων E&A είναι ζωτικής σημασίας.

4.3.3.2. Μείωση του κόστους της τεχνολογίας ΔΑΑ και αύξηση της ανταγωνιστικότητάς της

Το συνολικό κόστος της τεχνολογίας ΔΑΑ περιλαμβάνει το κόστος δέσμευσης και συμπίεσης του CO₂, το κόστος μεταφοράς του CO₂ (συνήθως μέσω αγωγού) και το κόστος αποθήκευσης του CO₂. Τα έξοδα δέσμευσης αποτελούν γενικά το μεγαλύτερο μερίδιο και καθορίζονται κυρίως από το πρόσθετο απαιτούμενο καύσιμο και το κόστος επένδυσης και λειτουργίας του πρόσθετου εξοπλισμού. Αυτά τα κόστη διαφέρουν συνήθως ανάλογα με τον τύπο των εγκαταστάσεων και των τιμών των ορυκτών καυσίμων **Error! Reference source not found.**[58] . Το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής με τεχνολογία ΔΑΑ εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον τύπο καυσίμου, τον τόπο εγκατάστασης, την τεχνολογία που χρησιμοποιείται, τόσο για τον σταθμό παραγωγής, όσο και για τη διαδικασία δέσμευσης, καθώς και από χρηματοοικονομικούς παράγοντες, όπως ο χρόνος απόσβεσης, το επιτόκιο και ιδιαίτερα το κόστος καυσίμων. Οι διαφορετικές υποθέσεις που χρησιμοποιούνται στις διαθέσιμες μελέτες για τις ποσότητες σχετικά με το κόστος δέσμευσης CO₂ στους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, καθιστούν δύσκολη την ύπαρξη αξιόπιστων άμεσων συγκρίσεων των αριθμών από διαφορετικές μελέτες [61]. Το τελευταίο αντικατοπτρίζεται στη βιβλιογραφία, καθώς οι υπάρχουσες μελέτες χρησιμοποιούν ένα ευρύ φάσμα παραδοχών και δεν διαθέτουν μια συνεπή μέθοδο κοστολόγησης. Το μεγάλο εύρος δαπανών οφείλεται όχι μόνο στις διαφορετικές κυρώσεις απόδοσης, αλλά και στις διαφορετικές παραδοχές για τις τιμές καυσίμων, τις οικονομικές παραδοχές και τις διαφορές στην τεχνολογία βασικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής, δηλαδή τη μεταβολή του κόστους των βασικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής [61].

Η ανασκόπηση του κόστους της τεχνολογίας ΔΑΑ έδειξε ένα ευρύ φάσμα αποτελεσμάτων κόστους αποθήκευσης (1-20 €/tCO₂) ανάλογα με τη θέση, την χωρητικότητα και τα χαρακτηριστικά των χώρων αποθήκευσης: τοποθεσίες χαμηλού κόστους, συνήθως μεγάλα πεδία με καλή έγχυση αποτελούν προτεραιότητες, ιδιαίτερα στις πρώτες φάσεις εφαρμογής της τεχνολογίας ΔΑΑ. Για παράδειγμα, η χερσαία αποθήκευση είναι φθηνότερη από ό,τι η παράκτια και τα εδάφη αχρησιμοποίητου πετρελαίου και φυσικού αερίου είναι φθηνότερα από τα υδροφόρα στρώματα. Περαιτέρω έρευνα θα πρέπει να χαρακτηρίσει καλύτερα τα μεγάλα εδάφη που αποτελούν ένα μεγάλο μέρος της υπάρχουσας χωρητικότητας, καθώς τα αποτελέσματα των καμπύλων μάθησης μπορεί να οδηγήσουν σε μείωση των κόστων χαρακτηρισμού και λειτουργίας με την πάροδο του χρόνου. Ο ρυθμός μάθησης για τον χαρακτηρισμό των διαθέσιμων τοποθεσιών, ο οποίος ενδέχεται να μειώσει τα κόστη με την πάροδο του χρόνου, είναι πιθανό να είναι αργός, δεδομένου του μεγάλου χρονικού διαστήματος για το οποίο μπορεί να αξιολογηθεί η απόδοση μιας εγκατάστασης αποθήκευσης [61]. Ωστόσο, η βιβλιογραφία αναφέρει ότι αναμένεται να χρησιμοποιηθούν οι πιο ακριβοί χώροι αποθήκευσης, καθώς οι φθηνότεροι έχουν χρησιμοποιηθεί σε πρώιμα στάδια [61].

Εξαιρουμένης της ακριβότερης επιλογής (δηλ. δεξαμενόπλοιο), τα τυπικά βασικά έξοδα αποθήκευσης CO₂ (μεταφορά και έγχυση), χωρίς πίστωση παραπροϊόντων πετρελαίου ή αερίου, κυμαίνονται μεταξύ 3-5,5 \$/tCO₂. Το συνολικό κόστος κυμαίνεται μεταξύ 2-15 \$/tCO₂. Με μια πίστωση παραπροϊόντων για το φυσικό αέριο ή το πετρέλαιο, η πίστωση θα αντισταθμίσει το κόστος αποθήκευσης σε πολλές περιπτώσεις. Για παράδειγμα, στην βασική περίπτωση της Ενισχυμένης Ανάκτησης Πετρελαίου (Enhanced Oil-Recovery - EOR), μπορεί κανείς να πληρώσει 12,21 \$/tCO₂ και παρ' όλα αυτά να αντισταθμίσει τα κόστη (νεκρό σημείο, όπου το κόστος αντισταθμίζεται από την πίστωση των παραπροϊόντων) [58].

Για τις νέες μονάδες παραγωγής ενέργειας με καύση άνθρακα, που θα κατασκευαστούν στη δεκαετία του 2020, μετά από μεγάλης κλίμακας επίδειξη, οι τρεις διαφορετικές διαδρομές δέσμευσης CO₂ στην παραγωγή ενέργειας με καύση άνθρακα θα έχουν συγκρίσιμο κόστος με τις σημερινές τεχνολογίες [62]. Ωστόσο, το κόστος της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από άνθρακα θα μπορούσε να αυξηθεί κατά 40% έως 63% με την προσθήκη δέσμευσης διοξειδίου του άνθρακα, σε περίπου 100 \$/MWh για εμπορικές εγκαταστάσεις («πρώτες του είδους τους» (First-Of-A-Kind - FOAK)) με τη χρήση της υπάρχουσας τεχνολογίας. Το σχετικό κόστος της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με καύση αερίου με τεχνολογία ΔΑΑ, σε σύγκριση με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με καύση άνθρακα με τεχνολογία ΔΑΑ ή άλλες τεχνολογίες χαμηλών εκπομπών άνθρακα, θα εξαρτηθεί σε μεγάλο βαθμό από τις τιμές του φυσικού αερίου, οι οποίες τείνουν να είναι πιο μεταβλητές από τις τιμές του άνθρακα [57],[63].

Η μείωση του κόστους της τεχνολογίας ΔΑΑ από 60-90 €/tCO₂ επί του παρόντος, σε 30-50 €/tCO₂ έως το 2020, αναμενόταν το 2009 ότι θα καθιστούσε την τεχνολογία ανταγωνιστική από πλευράς κόστους εντός ενός περιβάλλοντος τιμολόγησης άνθρακα που θα παρείχε το Ευρωπαϊκό Σύστημα Εμπορίας (European Trading System - ETS) της ΕΕ [61]. Τα κόστη κεφαλαίου και η αποδοτικότητα των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής εξοπλισμένων με δέσμευση αναμένεται να μειωθούν, τόσο ως αποτέλεσμα δράσεων Ε&Α για τη βελτίωση της τεχνολογίας, όσο και λόγω των αποτελεσμάτων του φαινομένου της μάθησης, καθώς αυξάνεται η διαθέσιμη χωρητικότητα [64]-[66].

Το **Παράρτημα 8** παρουσιάζει μία πιο λεπτομερή ανασκόπηση των διαθέσιμων στην επιστημονική βιβλιογραφία μελετών, σχετικά με την οικονομική αξιολόγηση της ΔΑΑ, με την παρουσίαση βασικών υποθέσεων και συμπερασμάτων.

Συνοψίζοντας:

- Συνολικά, για να επιτευχθεί μείωση του κόστους και αύξηση της ανταγωνιστικότητας για την περίπτωση της ΔΑΑ, περαιτέρω έρευνα πρέπει να επικεντρωθεί στον καλύτερο χαρακτηρισμό της τοποθεσίας αποθήκευσης, με σκοπό την εκμετάλλευση μεγάλων εκτάσεων που αποτελούν μεγάλο μέρος της αποθηκευτικής χωρητικότητας. Η χερσαία αποθήκευση και η αποθήκευση σε τοποθεσίες αχρησιμοποίητων κοιτασμάτων πετρελαίου και αερίου είναι πάντα μια φθηνότερη επιλογή. Επιπρόσθετη μείωση του κόστους χαρακτηρισμού και λειτουργίας με την πάροδο του χρόνου θα επιτευχθεί λόγω της επίδρασης του φαινομένου της μάθησης.
- Η διευθέτηση του κόστους αποθήκευσης θα έχει επίσης αντίκτυπο στις δαπάνες μεταφοράς, καθώς υπάρχει προφανής εξάρτηση μεταξύ της μεταφοράς και της αποθήκευσης CO₂. Επιπλέον, η βιβλιογραφική έρευνα αναδεικνύει ότι, με μια πίστωση παραπροϊόντων για το φυσικό αέριο ή το πετρέλαιο, η πίστωση θα αντισταθμίσει το κόστος αποθήκευσης σε πολλές περιπτώσεις. Για παράδειγμα, στη βασική περίπτωση της Ενισχυμένης Ανάκτησης Πετρελαίου (Enhanced Oil-Recovery - EOR), το κόστος ισούται με την πίστωση παραπροϊόντων. Ωστόσο, στην περίπτωση αυτή, είναι απαραίτητο οι κυβερνήσεις να υποστηρίξουν ειδικά τα σχέδια επίδειξης της τεχνολογίας ΔΑΑ με κεφαλαιουχικές επιχορηγήσεις, μιας και, ακόμα και αν πρόσθετα έσοδα προκύψουν από την πώληση CO₂ για την περίπτωση της Ενισχυμένης Ανάκτησης Πετρελαίου (Enhanced Oil-Recovery - EOR), μπορεί να μην είναι επαρκή για να επιτραπεί πλήρης χρηματοδότηση.
- Για τα νέα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, τα στοιχεία από τη βιβλιογραφία δείχνουν ότι αν και το κόστος τεχνολογίας θα μπορούσε να συγκριθεί με το σημερινό κόστος παραγωγής, θα μπορούσε να αυξηθεί ριζικά λόγω της ισχυρής εξάρτησης από τις τιμές του

φυσικού αερίου και του άνθρακα. Για να αποφευχθεί αυτό, τα μελλοντικά ρυθμιστικά πλαίσια και οι μηχανισμοί παροχής κινήτρων πρέπει να επικεντρωθούν στην συμπερίληψη της τεχνολογίας ΔΑΑ σε περιβάλλον τιμολόγησης άνθρακα στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού Συστήματος Εμπορίας (European Trading System - ETS) της ΕΕ. Τέλος, οι δραστηριότητες Ε&Α και τα αποτελέσματα των καμπύλων μάθησης είναι κρίσιμα, καθώς οι βελτιωμένες και ευρέως χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες θα μπορούσαν να μειώσουν τα μελλοντικά κόστη.

4.3.3.3. Υφιστάμενοι κανονισμοί/μηχανισμοί στήριξης και οικονομικά κίνητρα για την τεχνολογία ΔΑΑ

Η ανάγκη για έργα επίδειξης της τεχνολογίας ΔΑΑ αναγνωρίζεται από πολλές χώρες και οργανισμούς. Ενώ έχουν προταθεί πολυάριθμες εφαρμογές για τα τρία υπάρχοντα είδη τεχνολογιών δέσμευσης παγκοσμίως και σημαντική χρηματοδότηση από κυβερνήσεις έχει τεθεί κατά μέρος για το σκοπό αυτό, η πρόοδος δεν ήταν αρκετά γρήγορη και διάφορα προτεινόμενα έργα ακυρώθηκαν – και με πολλά ακόμα έργα επίδειξης να ακυρώνονται και στο μέλλον. Η βιβλιογραφία αναγνωρίζει σοβαρά εμπόδια στην επίτευξη επαρκών έργων για την ωρίμανση της τεχνολογίας ΔΑΑ, ώστε να μπορεί να αντιμετωπίσει αποτελεσματικά τις εκπομπές CO₂ από τα εργοστάσια καύσης ορυκτών καυσίμων. Όπως αναφέρθηκε, η τεχνολογία ΔΑΑ χρειάζεται άμεση πολιτική στήριξη για την ανάπτυξη και επίδειξη των εμπορικών εγκαταστάσεων («πρώτων του είδους τους» - First-Of-A-Kind – FOAK), για να μειώσουν το κόστος τους και τα διαθέσιμα κυβερνητικά κεφάλαια μέχρι σήμερα καλύπτουν μόνο εν μέρει τα κόστη της τεχνολογίας ΔΑΑ. Τα έργα που μπορούν να αποκτήσουν μια πρόσθετη ροή εσόδων από την πώληση CO₂ για την Ενισχυμένη Ανάκτηση Πετρελαίου (Enhanced Oil-Recovery - EOR), μπορούν να προσφέρουν μερικές από τις καλύτερες πρώτες προοπτικές για επίδειξη έργων Δέσμευσης, Αξιοποίησης και Αποθήκευσης Άνθρακα (Carbon Capture, Utilization and Storage - CCUS). Κρίσιμες ευκαιρίες για την Ενισχυμένη Ανάκτηση Πετρελαίου (Enhanced Oil-Recovery - EOR) παρατηρούνται σε ολόκληρο τον κόσμο, ιδιαίτερα στις Ηνωμένες Πολιτείες, στην περιοχή της Βόρειας Θάλασσας της Ευρώπης και στην Κίνα, αλλά αυτές οι ευκαιρίες δεν θα είναι καθολικά διαθέσιμες. Για τις Ηνωμένες Πολιτείες, το Ηνωμένο Βασίλειο και την Κίνα, η πρόσθετη παραγωγή εγχώριου αργού πετρελαίου θα έχει μεγάλο πλεονέκτημα για την προώθηση μεγαλύτερων βαθμών εθνικής ενεργειακής ασφάλειας και αυτάρκειας.

Η Ενισχυμένη Ανάκτηση Πετρελαίου (Enhanced Oil-Recovery - EOR) ήταν κερδοφόρα σε εφαρμογές εμπορικής κλίμακας για πάνω από 40 χρόνια σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς. Η πλειοψηφία των εφαρμογών ήταν στις Ηνωμένες Πολιτείες με φυσικά εδάφη CO₂ να είναι η κυρίαρχη πηγή CO₂ για την αγορά Ενισχυμένης Ανάκτησης Πετρελαίου (Enhanced Oil-Recovery - EOR) των Ηνωμένων Πολιτειών. Η επίτευξη των οφελών της Ενισχυμένης Ανάκτησης Πετρελαίου (Enhanced Oil-Recovery - EOR) θα απαιτήσει από τις κυβερνήσεις να συνεχίσουν να εργάζονται για να εξασφαλίσουν ένα πολιτικό, ρυθμιστικό και νομικό περιβάλλον που θα ενθαρρύνει την εφαρμογή της Ενισχυμένης Ανάκτησης Πετρελαίου (Enhanced Oil-Recovery - EOR) σε συνδυασμό με την τεχνολογία ΔΑΑ, καθώς και την ενθάρρυνση μιας μακροπρόθεσμης και βιώσιμης αγοράς για το CO₂ σε εφαρμογές Ενισχυμένης Ανάκτησης Πετρελαίου (Enhanced Oil-Recovery - EOR) [61]. Ενώ τα έργα δέσμευσης, αξιοποίησης και αποθήκευσης άνθρακα (Carbon Capture, Utilization and Storage - CCUS) είναι απαραίτητα για την προώθηση των επιδείξεων και της τεχνολογίας ΔΑΑ, δεδομένου ότι η Ενισχυμένη Ανάκτηση Πετρελαίου (Enhanced Oil-Recovery - EOR) δεν είναι καθολικά εφαρμόσιμη (π.χ. στη Νοτιοανατολική Ασία) ή μπορεί να μην μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποθήκευση επαρκούς ποσότητας CO₂ ακόμη και σε περιοχές όπου μπορεί να εφαρμοστεί, έμφαση πρέπει να

εξακολουθεί να δίνεται, μέσω μηχανισμών E&A, στην επίδειξη γεωλογικής αποθήκευσης σε αλατούχους σχηματισμούς [55].

Προφανώς, οι κεφαλαιουχικοί και εμπορικοί μηχανισμοί στήριξης έχουν προωθηθεί ως το κύριο εργαλείο για την άρση των εμποδίων που αφορούν τα κόστη υιοθέτησης της τεχνολογίας, ωστόσο υπάρχει μεγάλο χάσμα μεταξύ του κόστους αποφυγής άνθρακα για την τεχνολογία ΔΑΑ, το οποίο παρουσιάζει ένα εύρος τιμών 20-60 \$/tCO₂ και η τιμή άνθρακα κυμαίνεται μεταξύ 6-30 \$/tCO₂ [67]. Το χάσμα αυτό, σε συνδυασμό με τη μεταβλητότητα της τιμής του άνθρακα, καθιστά πιθανό το να χρειαστούν πρόσθετες πολιτικές παροχής κινήτρων για την εξασφάλιση μεγάλης κλίμακας διάχυσης της τεχνολογίας ΔΑΑ [68]. Τα χαμηλότερα όρια εκπομπών και οι υψηλότερες τιμές εκπομπών CO₂ θα αυξήσουν την πιθανότητα εκτεταμένης ανάπτυξης της τεχνολογίας ΔΑΑ, αν συνδυαστούν με μακροπρόθεσμα σήματα (π.χ. μέχρι το 2050) και με πολιτικές δεσμεύσεις για στόχους μείωσης των εκπομπών [68]. Οι τιμές αυτές είναι πιθανόν να είναι ανεπαρκείς για την πρόκληση διαρθρωτικής ανάπτυξης της τεχνολογίας ΔΑΑ, αν και θα είναι αρκετά υψηλές για ορισμένες επιλογές ΔΑΑ [53]. Όλα τα εμπορικής-κλίμακας έργα αποθήκευσης CO₂, είτε σε λειτουργία, είτε που έχουν προγραμματιστεί, μπορούν να θεωρηθούν ως ευκαιριακοί στόχοι. Τέλος, νέες τεχνολογίες μπορούν να μειώσουν τα κόστη που συνδέονται με την τεχνολογία ΔΑΑ [58].

Μια λεπτομερής ανάλυση της βιβλιογραφίας και των ερευνών που αφορούν τη λήψη αποφάσεων σχετικά με την τεχνολογία ΔΑΑ από τις δημόσιες επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας **Error! Reference source not found.**, αποκαλύπτει ότι η μεγαλύτερη αβεβαιότητα που αντιμετωπίζει ένας υπεύθυνος λήψης αποφάσεων στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας σχετίζεται με τα ρυθμιστικά πλαίσια: τα κόστη είναι τέτοια που η περαιτέρω διάχυση της τεχνολογίας ΔΑΑ δεν αποδίδει οικονομικά δίχως την κατάλληλη τιμολόγηση ή επιδότηση άνθρακα. Επιπλέον, ακόμη και στις περιπτώσεις που έχει καθοριστεί τιμολόγηση άνθρακα, όπως στο Ευρωπαϊκό Σύστημα Εμπορίας (European Trading System - ETS), οι αγορές είναι ανώριμες και υπόκεινται σε κυβερνητικές αποτυχίες (π.χ. σχετικά με τις αρχικές χορηγήσεις). Έτσι, η τιμή του άνθρακα εξακολουθεί να αποτελεί πηγή αβεβαιότητας. Η τιμολόγηση του άνθρακα (είτε με τη μορφή φόρου επί της πίστωσης εκπομπών CO₂ για τις εκπομπές που δεσμεύονται, είτε μέσω αγορών που επιτρέπουν την εμπορία εκπομπών, όπως το Ευρωπαϊκό Σύστημα Εμπορίας - European Trading System-ETS) πρέπει να παρέχει κίνητρα για τέτοιου είδους επενδύσεις. Ωστόσο, είτε οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικών παρουσιάζουν απροθυμία να δεσμευτούν στη φορολόγηση του άνθρακα (π.χ. οι ΗΠΑ), είτε τα συστήματα εμπορίας που έχουν εφαρμοστεί μέχρι τώρα χαρακτηρίζονται από υπερβολική τιμολόγηση που προκαλεί ανεπάρκειες στην αγορά και έχει οδηγήσει σε τεράστιες διακυμάνσεις των τιμών και συνεπώς επενδυτική αβεβαιότητα (π.χ. στην Ευρώπη) **Error! Reference source not found.** Όπως αναφέρεται στη βιβλιογραφία, οι μειώσεις εκπομπών CO₂ από τη χρήση της τεχνολογίας ΔΑΑ δεν ανταμείβονται προς το παρόν, δεδομένου ότι η τεχνολογία ΔΑΑ δεν προβλέπεται ακόμα στο πλαίσιο του Συστήματος Εμπορίας Εκπομπών της ΕΕ, ούτε του Μηχανισμού “Καθαρής” Ανάπτυξης (Clean Development Mechanism – CDM). Αν η τεχνολογία συμπεριληφθεί στα πλαίσια αυτών των μηχανισμών υποστήριξης, τότε η μείωση του CO₂ που θα επέλθει μέσω της χρήσης της θα αποτιμάται στην τελική τιμολόγηση του άνθρακα. Ως εκ τούτου, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή συνιστά να καταστεί δυνατή η συμπερίληψη της τεχνολογίας ΔΑΑ στο πλαίσιο του Ευρωπαϊκού Συστήματος Εμπορίας (European Trading System - ETS), χωρίς όμως η πρόβλεψη αυτή να γίνει υποχρεωτική ή να επιτραπεί η επιχορήγηση της τεχνολογίας για τη μετά-επίδειξη φάση. Η επιχορήγηση για τη φάση επίδειξης καθ’ αυτή είναι ένα διαφορετικό θέμα και έτσι αντιμετωπίζεται στο πλαίσιο της “Ανακοίνωσης για την υποστήριξη της πρόωρης επίδειξης της αειφόρου ηλεκτροπαραγωγής από ορυκτά καύσιμα” (Communication on Supporting Early

Demonstration of Sustainable Power Generation from Fossil Fuels). Η βιβλιογραφία επισημαίνει, επίσης, ότι η τεχνολογία ΔΑΑ είναι σχεδόν αποκλειστικά καθοδηγούμενη από πολιτικές εξελίξεις σχετικές με την κλιματική αλλαγή και τη διαποίκιση που παρουσιάζει ο ενεργειακός εφοδιασμός (έλλειψη αυτόνομης εμπορικής λογικής) και ως εκ τούτου οι δημόσιες πολιτικές είναι ζωτικής σημασίας. Το Ευρωπαϊκό Σύστημα Εμπορίας (European Trading System - ETS) αποτελεί σημείο εκκίνησης για την προώθηση και διάχυση της τεχνολογίας ΔΑΑ στην ΕΕ. Προς το παρόν, δεν υπάρχει κάποιο τεκμήριο που να επιβεβαιώνει ότι τα περαιτέρω μέτρα σε επίπεδο ΕΕ είναι κατάλληλα, αλλά όλες οι πιθανές επιλογές πρέπει να εξεταστούν [69].

Εκτός από τους κεφαλαιουχικούς και εμπορικούς μηχανισμούς στήριξης, η βιβλιογραφική μας ανασκόπηση εντόπισε 80 "Ολοκληρωμένα Έργα Μεγάλης Κλίμακας - OEMK" (Large-Scale Integrated Projects - LSIPs) που αντικατοπτρίζουν τις προσπάθειες ορισμένων κυβερνήσεων να παρέχουν οικονομική υποστήριξη για τα πρώτα εμπορικά έργα ΔΑΑ. Για παράδειγμα, εκτιμάται ότι, μέχρι σήμερα, συνολική χρηματοδότηση άνω των 26 δισεκατομμυρίων δολαρίων έχει ήδη δεσμευτεί, συμπεριλαμβανομένων κυβερνητικών χρηματοδοτήσεων για την έναρξη 19 έως 43 OEMK μέχρι το 2020. Η πλειοψηφία των δεσμεύσεων προέρχεται από κυβερνήσεις αναπτυσσόμενων χωρών, όπως οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, ο Καναδάς, η Ευρωπαϊκή Ένωση, η Νορβηγία, η Ιαπωνία, η Κορέα και η Αυστραλία [71][71].

Το

Παράρτημα 9, Παράρτημα 10 και Παράρτημα 11 παρουσιάζουν βασικά παραδείγματα ισχύοντων και/ή αναπτυσσόμενων πολιτικών και κανονιστικών πλαισίων, με δυνατότητα δημιουργίας κινήτρων για περαιτέρω ανάπτυξη της ΔΑΑ.

Συνοψίζοντας:

- Ευρήματα από τη βιβλιογραφία επιβεβαιώνουν ότι έχουν ήδη προταθεί πολυάριθμες επιδείξεις και για τους τρεις, υπάρχοντες τύπους τεχνολογιών δέσμευσης παγκοσμίως, και ότι παρόλο που σημαντικές κυβερνητικές χορηγήσεις έχουν ήδη τεθεί κατά μέρος, η επιτευκτική πρόοδος δεν ήταν αρκετά γρήγορη με την ακύρωση αρκετών προτεινόμενων έργων και με πολλά ακόμα να αναμένεται να ακυρωθούν στο μέλλον.
- Τα αποτελέσματα της έρευνάς μας υποδηλώνουν ότι η τεχνολογία ΔΑΑ χρειάζεται περαιτέρω άμεση πολιτική στήριξη για την ανάπτυξη και επίδειξη εμπορικών μονάδων («πρώτων του είδους τους» - First-Of-A-Kind-FOAK) για να μειωθεί το κόστος τους, ενώ οι διαθέσιμες κυβερνητικές χορηγήσεις καλύπτουν μόνο εν μέρει το κόστος της τεχνολογίας ΔΑΑ.
- Τα βιβλιογραφικά ευρήματα δείχνουν επίσης ότι τα έργα που μπορούν να αποκτήσουν μια πρόσθετη ροή εσόδων από την πώληση του CO₂ για την Ενισχυμένη Ανάκτηση Πετρελαίου (Enhanced Oil-Recovery - EOR) προσφέρουν ίσως τις καλύτερες πρώτες προοπτικές για επίδειξη Δέσμευσης, Αξιοποίησης και Αποθήκευσης Άνθρακα (ΔΑΑΑ). Αναγνωρίζεται επίσης ότι η Ενισχυμένη Ανάκτηση Πετρελαίου (Enhanced Oil-Recovery - EOR) ήταν κερδοφόρα σε εφαρμογές εμπορικής κλίμακας για πάνω από 40 χρόνια, υπό τους ισχύοντες κανονισμούς και ότι παρ' όλο που υπάρχουν ήδη σημαντικές ευκαιρίες σε ολόκληρο τον κόσμο, ιδίως στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, στην περιοχή της Βόρειας Θάλασσας της Ευρώπης, και στην Κίνα, οι ευκαιρίες αυτές δεν θα είναι καθολικά διαθέσιμες.
- Ένα άλλο σημείο ενδιαφέροντος είναι ότι η πιο κρίσιμη αβεβαιότητα που αντιμετωπίζει ένας υπεύθυνος για τη λήψη αποφάσεων στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας προέρχεται από

ρυθμιστικά πλαίσια, καθώς το κόστος είναι τέτοιο που η ανάπτυξη της τεχνολογίας ΔΑΑ δεν αποδίδει οικονομικά, εάν δεν υπάρχει τιμολόγηση ή επιδότηση άνθρακα.

- Επιπλέον, τα αποτελέσματά μας δείχνουν ότι ακόμη και όταν έχουν καθοριστεί τιμές άνθρακα, όπως το Ευρωπαϊκό Σύστημα Εμπορίας (European Trading System - ETS), οι αγορές είναι ανώριμες και υπόκεινται σε αποτυχίες από τις κυβερνήσεις, αναδεικνύοντας την τιμολόγηση του άνθρακα ως κύρια πηγή αβεβαιότητας. Η έρευνα μας αναγνωρίζει επίσης ότι, είτε οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικών έχουν απροθυμία να δεσμευτούν για τη φορολόγηση του άνθρακα (π.χ. οι ΗΠΑ), είτε τα συστήματα εμπορίας, στα οποία οι υπερτιμολογήσεις και άλλες ανεπάρκειες της αγοράς έχουν οδηγήσει σε τεράστιες διακυμάνσεις των τιμών και συνεπώς επενδυτική αβεβαιότητα, έχουν εφαρμοστεί ευρέως. Ωστόσο, συνολικά, η έρευνά μας επιβεβαιώνει ότι το Ευρωπαϊκό Σύστημα Εμπορίας (European Trading System - ETS) εξακολουθεί να αποτελεί το σημείο εκκίνησης για την προώθηση της ανάπτυξης της ΔΑΑ στην ΕΕ.
- Τέλος, τα ευρήματά μας αναδεικνύουν 80 “Ολοκληρωμένα Έργα Μεγάλης Κλίμακας - OEMK” (Large-Scale Integrated Projects - LSIPs) που αντικατοπτρίζουν τις προσπάθειες ορισμένων κυβερνήσεων να προσφέρουν οικονομική υποστήριξη για τα πρώτα εμπορικά έργα ΔΑΑ και αναγνωρίζουν ότι οι περισσότερες μέχρι σήμερα δεσμεύσεις προέρχονται από κυβερνήσεις αναπτυγμένων χωρών (δηλ. Ηνωμένες Πολιτείες, Καναδάς, ΕΕ, Νορβηγία, Ιαπωνία, Κορέα και Αυστραλία).

4.3.3.4. Διάχυση της τεχνολογίας ΔΑΑ σε αναδυόμενες και αναπτυσσόμενες χώρες

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η τεράστια πρόκληση για επίτευξη ευρείας ανάπτυξης και διάχυσης σε εμπορική κλίμα της τεχνολογίας ΔΑΑ, σε καμία περίπτωση, δεν πρέπει να υπερεκτιμηθεί. Βιβλιογραφικές μελέτες παρουσιάζουν ανάγκη για 100, τουλάχιστον, “Ολοκληρωμένα Έργα Μεγάλης Κλίμακας-OEMK” (Large-Scale Integrated Projects - LSIPs) έως το 2020, ώστε να επιτευχθεί εμπορική ανάπτυξη της ΔΑΑ, με 40 εξ’ αυτών να ανήκουν στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής και περίπου τα μισά να αναπτύσσονται σε αναπτυσσόμενες οικονομίες. Μέχρι στιγμής 80 OEMK βρίσκονται σε διάφορα στάδια ανάπτυξης, με τα 9 εξ’ αυτών να λειτουργούν ήδη και 2 να βρίσκονται ακόμη στο στάδιο της κατασκευής. Σχετικά με την εφαρμογή της τεχνολογίας ΔΑΑ στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής, έχει υπάρξει ήδη πρόνοια και σχεδιασμός για 44 OEMK, με τις περισσότερες προσπάθειες να επικεντρώνονται στη Βόρεια Αμερική, στην Ευρωπαϊκή Ένωση, στην Αυστραλία και κάποιες σε αναπτυσσόμενες οικονομίες, όπως η Κίνα [72].

Το Παράρτημα 12 συνοψίζει τα βασικά έργα μεγάλης κλίμακας με εφαρμογές ΔΑΑ, τα οποία ήταν εν λειτουργία ή σε επίπεδο κατασκευής το 2012 για την περίπτωση των αναπτυσσόμενων χωρών.

Η χρήση του άνθρακα ως ορυκτό καύσιμο, παραμένει μέχρι και σήμερα ένας από τους πιο διαδεδομένους τρόπους για ηλεκτροπαραγωγή. Το χαμηλό κόστος, η αφθονία και η ευρεία διανομή καθιστούν την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω άνθρακα ελκυστική, ιδιαίτερα σε αναδυόμενες χώρες, όπως η Κίνα και η Ινδία, όπου η ηλεκτροπαραγωγή με καύση άνθρακα αυξήθηκε δραματικά τα τελευταία χρόνια, καθώς η ζήτηση για ενέργεια λόγω της αναβάθμισης του βιοτικού επιπέδου αυξήθηκε σε συνάρτηση με τον πληθυσμό. Στην περίπτωση των τεχνολογιών που θα απαιτηθούν στα πλαίσια των εθνικών στρατηγικών μετριασμού στις αναδυόμενες και αναπτυσσόμενες χώρες, η τεχνολογία ΔΑΑ εξετάζεται ως μία ιδιαίτερα ελπιδοφόρα επιλογή πράσινης ανάπτυξης, ανθεκτική στην κλιματική αλλαγή και στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (Greenhouse Gases - GHGs), για την περίπτωση της Μογγολίας και της Ταϊλάνδης.

Για την περίπτωση της Μογγολίας, ο άνθρακας αναμένεται να παραμείνει ο κυριότερος πρωτογενής ενεργειακός πόρος στο εγγύς μέλλον, λόγω των μεγάλων αποθεμάτων, τα οποία επικαλύπτουν τα αποθέματα των άλλων ενεργειακών πόρων, όπως το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Συνεπώς, η τεχνολογία ΔΑΑ θα μπορούσε να αποτελέσει βαρόμετρο για τη Μογγολία για τη μείωση εκπομπών του θερμοκηπίου στο μέλλον. Η τιμολόγηση ή φορολόγηση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, θεωρείται ευρέως ως η καλύτερη δυνατή στρατηγική για την καθιέρωση αγορών για τεχνολογίες χαμηλών εκπομπών άνθρακα, όπως η τεχνολογία ΔΑΑ [73]. Αυτό ισχύει και για την περίπτωση της Μογγολίας [74].

Για την περίπτωση της Ταϊλάνδης, δεν υπάρχει αναφερόμενη εφαρμογή ΔΑΑ προς το παρόν [54]. Ωστόσο, βιβλιογραφικές μελέτες αναφέρουν ότι οι τομείς πετροχημικών και ηλεκτροπαραγωγής ενδιαφέρονται να επενδύσουν σε αυτήν την τεχνολογία στο μέλλον. Σε κυβερνητικό επίπεδο, το Τμήμα “Ορυκτών Καυσίμων” του Υπουργείου Ενέργειας της χώρας ξεκίνησε το πρώτο έργο για να διερευνήσει τη δυνατότητα εφαρμογής ΔΑΑ στην Ταϊλάνδη, με την έρευνα να επικεντρώνεται στα συνολικά κόστη επένδυσης και λειτουργίας και στην αξιοπιστία της τεχνολογίας. Μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η Ταϊλάνδη είναι αρκετά νέα στην τεχνολογία ΔΑΑ και, ως εκ τούτου, η κυβερνητική πολιτική και τα αντίστοιχα ρυθμιστικά πλαίσια παραμένουν ασαφή.

Τα βασικά εμπόδια που εμποδίζουν την εφαρμογή της ΔΑΑ στην Ταϊλάνδη, οι κυριότερες λύσεις για την αντιμετώπισή τους και οι ενδιαφερόμενοι φορείς για τη στήριξη της διαδικασίας συνοψίζονται στο **Παράρτημα 13**, το οποίο αποτελεί ένα πραγματικό παράδειγμα του πώς οι αναδυόμενες οικονομίες μπορούν να συμπεριλάβουν την ΔΑΑ στο ενεργειακό τους μείγμα.

Συνοψίζοντας:

- Τα βιβλιογραφικά ευρήματα καταλήγουν στο συμπέρασμα, ότι η τεράστια πρόκληση της επίτευξης εκτεταμένης εμπορικής ανάπτυξης της τεχνολογίας ΔΑΑ, ειδικά στις αναδυόμενες οικονομίες, δεν πρέπει να υπερεκτιμηθεί και αναγνωρίζουν την ανάγκη για τουλάχιστον 20 “Ολοκληρωμένα Έργα Μεγάλης Κλίμακας - OEMK” (Large-Scale Integrated Projects - LSIPs), μέχρι το 2020, με σκοπό την εμπορική ανάπτυξη της τεχνολογίας ΔΑΑ στις αναδυόμενες χώρες. Επιπλέον, αναφέρουν ότι ο άνθρακας παραμένει το επικρατούμενο καύσιμο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ιδιαίτερα σε αυτές τις οικονομίες (δηλ. Κίνα, Ινδία, κ.λπ.), όπου η ηλεκτροπαραγωγή με καύση άνθρακα αυξήθηκε δραματικά τα τελευταία χρόνια. Τα ευρήματά μας επιβεβαιώνουν ότι η τεχνολογία ΔΑΑ εξετάζεται ως μια εξαιρετική επιλογή, ανθεκτική στην κλιματική αλλαγή, για τη μείωση των εκπομπών του θερμοκηπίου στις αναπτυσσόμενες οικονομίες [54][55],[61].
- Ειδικότερα, για την περίπτωση της Μογγολίας, ο άνθρακας αναμένεται να παραμείνει ο βασικότερος πρωτογενής ενεργειακός πόρος στο εγγύς μέλλον, λόγω των μεγάλων αποθεμάτων άνθρακα που υπάρχουν εκεί και κατά συνέπεια η τεχνολογία ΔΑΑ στο μέλλον αναμένεται να αποδειχθεί ιδιαίτερα πολύτιμη για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στη Μογγολία. Επιπλέον, τα ευρήματά μας συνηγορούν στο ότι η τιμολόγηση ή φορολόγηση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου θεωρείται ως η προτιμότερη στρατηγική για τη δημιουργία αγοράς για τεχνολογίες χαμηλών εκπομπών CO₂, όπως η ΔΑΑ, στη Μογγολία.
- Ένα άλλο παράδειγμα αναδυόμενης οικονομίας είναι η περίπτωση της Ταϊλάνδης, όπου δεν έχει ακόμη προβλεφθεί η εφαρμογή τεχνολογίας ΔΑΑ. Ωστόσο, τα ευρήματα από την έρευνά μας επιβεβαιώνουν ότι υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον, ιδιαίτερα από τους τομείς πετροχημικών και ηλεκτροπαραγωγής, για επενδύσεις ΔΑΑ στο μέλλον.

- Συνολικά, όλα τα ευρήματα της βιβλιογραφίας υποστηρίζουν ότι, ειδικά στην περίπτωση των αναδυόμενων χωρών, οι κυβερνητικές πολιτικές και τα κίνητρα είναι ζωτικής σημασίας για την υιοθέτηση της τεχνολογίας ΔΑΑ, παρ' όλο που οι προσπάθειες αυτές εξακολουθούν να είναι ασαφείς και πρέπει να αντιμετωπιστούν περαιτέρω.

4.3.3.5. Κοινωνικές πτυχές και περαιτέρω ανάπτυξη της τεχνολογίας ΔΑΑ

Τα διαθέσιμα βιβλιογραφικά ευρήματα δείχνουν ότι απαιτούνται αξιόπιστα πολιτικά και ρυθμιστικά πλαίσια για τη διαχείριση των οικονομικών, υγειονομικών και περιβαλλοντικών κινδύνων που συνδέονται με τις φάσεις επίδειξης και ανάπτυξης πλήρους κλίμακας, στην περίπτωση που η τεχνολογία ΔΑΑ λάβει αποδοχή της κοινής γνώμης σε διεθνές επίπεδο. Η κοινή γνώμη θα διαμορφωθεί με βάση την απόδοση και την επίδοση των μέχρι τώρα έργων επίδειξης: οι πρώιμες αποτυχίες ενδέχεται να έχουν σοβαρές επιπτώσεις στην αξιοπιστία και στο εκτιμώμενο κόστος της τεχνολογίας ΔΑΑ σαν βασική επιλογή μετριασμού. Η έρευνά μας επισημαίνει επίσης ότι οι κίνδυνοι που συνδέονται με τη δέσμευση άνθρακα θεωρούνται γενικά λιγότερο σημαντικοί από εκείνους που συνδέονται με την αποθήκευση του και ότι οι ανεπαρκείς διαβουλεύσεις σχετικά με την τοποθεσία μονάδων δέσμευσης και συμπίεσης και των απαραίτητων υποδομών μεταφοράς, ενδέχεται να καθυστερήσουν ή να οδηγήσουν σε αποτυχία περαιτέρω ανάπτυξης της τεχνολογίας σε τέτοιο ρυθμό ώστε να αντληθούν μαθησιακά οφέλη από την πρόωρη επίδειξη [72].

Βιβλιογραφικές μελέτες αναδεικνύουν ότι η παράδοση και η κοινή γνώμη μπορούν να επηρεάσουν τον τρόπο με τον οποίο γίνεται αντιληπτή η τεχνολογία, καθώς η συμβατότητα μιας νέας τεχνολογίας με τις αξίες και τις πεποιθήσεις μιας κοινωνίας μπορεί να επηρεάσει την υιοθέτηση και την περαιτέρω ανάπτυξή της [75]. Τα κυριότερα αποτελέσματα της βιβλιογραφικής ανασκόπησης δείχνουν ότι, αν και η αυξημένη επαγγελματική απασχόληση και απορρόφηση που αναμένονται λόγω της περαιτέρω ανάπτυξης της ΔΑΑ αποτελεί ενθαρρυντικό παράγοντα για το κοινό, κοινωνικά θέματα μπορούν να επιδράσουν ιδιαίτερα αρνητικά στην αντίληψη του κοινωνικού συνόλου σχετικά με την τεχνολογία ΔΑΑ. Από την άλλη πλευρά, η αξιολόγηση της αποδοχής του κοινού, της ευαισθητοποίησης και της εμπιστοσύνης στη ρυθμιστική εποπτεία σε σχέση με την τεχνολογία ΔΑΑ, καθίσταται αντιφατική και δύσκολη σύμφωνα με αποτελέσματα της βιβλιογραφίας. Από την άποψη της κοινωνικής αποδοχής, τα αποτελέσματά μας αναδεικνύουν κυρίως την επίδραση του συνδρόμου "Όχι στην πίσω αυλή μου" (Not In My Backyard - NIMBY) και την αντίληψη που θέλει την τεχνολογία ΔΑΑ μία εναλλακτική των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) ("Φαινόμενο του αντίρροπου αποτελέσματος" - Rebound Effect). Σχετικά με την εμπιστοσύνη στη ρυθμιστική εποπτεία, τα ευρήματά μας επιβεβαιώνουν ότι οι άνθρωποι που εμπιστεύονται έναν υπέρμαχο/αντιπρόσωπο της τεχνολογίας ΔΑΑ για τις ικανότητές του και την αξιοπιστία του, όχι μόνο αντιλαμβάνονται μικρότερους κινδύνους και μεγαλύτερα οφέλη, αλλά είναι πιο πρόθυμοι να αποδεχθούν την τεχνολογία. Από την άλλη, επισημαίνεται ότι οι άνθρωποι τείνουν να είναι πιο αρνητικοί όσον αφορά την τεχνολογία ΔΑΑ στην περίπτωση που η εμπιστοσύνη στην ακεραιότητα ενός υπέρμαχου/αντιπρόσωπου της τεχνολογίας ΔΑΑ είναι χαμηλή και όχι υψηλή. Ωστόσο, όλα τα ευρήματά μας καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι η ευαισθητοποίηση του κοινωνικού συνόλου σχετικά με την τεχνολογία είναι χαμηλή και ότι η γνώση σχετικά με την τεχνολογία ΔΑΑ παραμένει περιορισμένη μέχρι και σήμερα [53],[54][75][77].

Βασικά ευρήματα από την ανασκόπηση μας που δείχνουν πώς επηρεάζουν τα θέματα κοινωνικής αποδοχής την ανάπτυξη της ΔΑΑ συνοψίζονται στο **Παράρτημα 14**.

Συνοψίζοντας:

- Η βιβλιογραφική ανασκόπηση καταλήγει στο συμπέρασμα ότι για να διασφαλιστεί η περαιτέρω ανάπτυξη και επίδειξη στην περίπτωση της ΔΑΑ, τα συστήματα στήριξης εθνικών πολιτικών και τα κανονιστικά πλαίσια θα πρέπει να επικεντρωθούν στην αντίληψη και στην εκπαίδευση του κοινού σχετικά με τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής και τις αναδυόμενες τεχνολογίες μετριασμού, και συνεπώς, οι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων πρέπει πρώτα να επιδείξουν αξιοπιστία και να κερδίσουν την εμπιστοσύνη της κοινής γνώμης.

4.3.3.6. Διερεύνηση εφαρμογής της τεχνολογίας ΔΑΑ σε άλλες βιομηχανίες εκτός του τομέα ηλεκτροπαραγωγής

Παρά την προφανή συμβολή τους στις παγκόσμιες εκπομπές CO₂, οι ενεργειακά «βαριές» βιομηχανίες, όπως οι τσιμεντοβιομηχανίες και τα διυλιστήρια παρουσιάζουν εμφανώς λιγότερη προσοχή, τόσο σε ερευνητικό επίπεδο, όσο και σε επίπεδο κυβερνητικών πολιτικών, σε σχέση με την εφαρμογή ΔΑΑ στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής. Για παράδειγμα, στο Ηνωμένο Βασίλειο, οι άμεσες βιομηχανικές εκπομπές αντιπροσωπεύουν περίπου το ένα τέταρτο των συνολικών εκπομπών (βάσει καταγεγραμμένων δεδομένων του 2008) και μια πρόσφατη ανάλυση της Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή εκτιμά ότι θα ήταν τεχνικά και οικονομικά βιώσιμη η εφαρμογή της τεχνολογίας ΔΑΑ για την αντιμετώπιση περίπου του 30% αυτών των εκπομπών (38 Mt το 2030). Σύμφωνα με την πρόσφατη τεχνική έκθεση του Παγκόσμιου Ινστιτούτου Δέσμευσης και Αποθήκευσης Άνθρακα (Global Carbon Capture and Storage Institute - GCCSI) για τις εφαρμογές ΔΑΑ, μόνο 3 βιομηχανικά έργα μέχρι στιγμής ταξινομούνται σαν “Ολοκληρωμένα Έργα Μεγάλης Κλίμακας - OEMK” (Large-Scale Integrated Projects - LSIPs): ένα έργο στον τομέα της τσιμεντοβιομηχανίας (CEMEX), ένα στον τομέα παραγωγής σιδήρου και χάλυβα (ULCOS Florange) και ένα στη βιομηχανία χαρτοπολτού και παραγωγής χαρτιού (Battelle Memorial Institute). Το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ ανακοίνωσε πρόσφατα χρηματοδότηση ύψους 1 δισεκατομμυρίου δολάρια (συμπεριλαμβανομένων ιδιωτικών κεφαλαίων) για 3 έργα εμπορικής κλίμακας που στοχεύουν στην παραγωγή χημικών ουσιών σε συνδυασμό με την Ενισχυμένη Ανάκτηση Πετρελαίου (Enhanced Oil-Recovery - EOR). Όλες οι μελέτες δείχνουν ότι οι πολιτικές και οι κανονισμοί που αφορούν συγκεκριμένους κλάδους θα είναι απαραίτητοι για την ενθάρρυνση και την υποστήριξη περισσότερων έργων στο μέλλον, λαμβάνοντας υπόψη τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του κάθε βιομηχανικού κλάδου. Οι υπάρχουσες πολιτικές περιορισμού των εκπομπών στις αναπτυσσόμενες χώρες, είναι προβληματικές σε ό,τι αφορά τη δυνατότητα διαρροής άνθρακα, με τη μεταφορά των βαρέων εκπομπών βιομηχανιών από αυτές τις χώρες σε περιοχές όπου η δικαιοδοσία ενδέχεται να είναι πιο χαλαρή [62],[57].

Παρά την υψηλή δραστηριότητα σε ορισμένες βιομηχανικές περιοχές, κυρίως της επεξεργασίας αερίου, η εφαρμογή της τεχνολογίας ΔΑΑ σε ορισμένους βασικούς βιομηχανικούς τομείς σχεδόν απουσιάζει [78]. Βιβλιογραφικά ευρήματα δείχνουν ότι υπάρχει έλλειψη έργων στους τομείς σιδήρου και χάλυβα, τσιμέντου, διύλισης πετρελαίου, βιοκαυσίμων και χαρτοπολτού. Μόνο δύο πιθανά έργα επίδειξης σε εργοστάσια σιδήρου και χάλυβα και ένα σε εργοστάσιο μετατροπής άνθρακα σε χημικά/υγρά βρίσκονται σε προχωρημένα στάδια σχεδιασμού [79].

Η σημασία των εφαρμογών ΔΑΑ και σε άλλους τομείς απεικονίζεται στους τρεις παρακάτω χρονικούς στόχους [57]:

- Μέχρι το 2020, η δέσμευση του CO₂ θα έχει εφαρμοστεί με επιτυχία σε τουλάχιστον 30 έργα σε διαφορετικούς τομείς, όπως η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με καύση άνθρακα και αερίου, η επεξεργασία αερίου, η βιοαιθανόλη, η παραγωγή υδρογόνου για χημικά και διύλιση και η παραγωγή σιδήρου. Αυτό σημαίνει ότι όλα τα έργα που βρίσκονται αυτή τη στιγμή σε προχωρημένο στάδιο προγραμματισμού θα ολοκληρωθούν και πολλά ακόμη έργα θα προχωρήσουν με γρήγορο ρυθμό, με σκοπό την επίτευξη του στόχου ασφαλούς και αποτελεσματικής αποθήκευσης πάνω από 50 MtCO₂/έτος.
- Μέχρι το 2030, η τεχνολογία ΔΑΑ θα έχει χρησιμοποιηθεί συστηματικά για τη μείωση εκπομπών στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αφού έχει εφαρμοστεί με επιτυχία σε βιομηχανικές εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένης της παραγωγής τσιμέντου, υψικαμίνων, παραγωγής χαρτοπολτού και χαρτιού και βιοκαυσίμων δεύτερης γενιάς. Αυτό το επίπεδο δραστηριότητας θα οδηγήσει στην αποθήκευση άνω των 2.000 MtCO₂/έτος.
- Μέχρι το 2050, η τεχνολογία ΔΑΑ θα χρησιμοποιείται συστηματικά για τη μείωση των εκπομπών σε όλες τις εφαρμόσιμες διεργασίες, τόσο στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, όσο και στις υπόλοιπες βιομηχανικές εφαρμογές σε διάφορες περιοχές ανά τον κόσμο, οδηγώντας στην αποθήκευση πάνω από 7.000 MtCO₂/έτος.

Ενώ οι σημερινές τεχνολογίες δέσμευσης είναι ώριμες για ορισμένα είδη εφαρμογών, εξακολουθεί να απαιτείται ανάγκη για μάθηση σε άλλα είδη εφαρμογών - όπως συγκεκριμένες διεργασίες στον τομέα παραγωγής σιδήρου και χάλυβα, τσιμέντου, στον τομέα διύλισης, παραγωγής χημικών και στον τομέα χαρτοπολτού και παραγωγής χαρτιού [55]. Επιπρόσθετα, υπάρχουν αρκετά περιθώρια βελτίωσης των υπάρχοντων, σχετικά ώριμων, τεχνολογιών δέσμευσης, μιας και οι περισσότερες είναι σχετικά ανεπαρκείς από άποψη ενεργειακών απαιτήσεων [80][81] και χρήσης νερού [82].

Η βιβλιογραφία αναγνωρίζει ότι η τεχνολογία ΔΑΑ δεν αναπτύσσεται με την ίδια ταχύτητα σε όλους τους τομείς. Ενώ εφαρμογές όπως η επεξεργασία αερίου και αμμωνίας αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος της ανάπτυξης της τεχνολογίας ΔΑΑ μέχρι το 2025, μέχρι το 2030 οι βιομηχανικές εφαρμογές δεύτερης φάσης θα προσπεράσουν σε ποσότητα CO₂ που δεσμεύεται και αποθηκεύεται. Αυτό σημαίνει ότι μέχρι το 2025 εφαρμογές όπως, οι υψικάμινοι σιδήρου και χάλυβα, οι τσιμεντοβιομηχανίες και ο καθαρισμός των καυσαερίων από τα διυλιστήρια, πρέπει να φθάσουν στο επίπεδο εμπορικής ωριμότητας που αναμένεται σήμερα στις βιομηχανικές εφαρμογές πρώτης φάσης. Στα πλαίσια του σημερινού χρηματοοικονομικού και πολιτικού περιβάλλοντος, αυτό είναι πιθανό να απαιτήσει στοχευμένες δημόσιες επενδύσεις σε πιλοτικά έργα και έργα επίδειξης και γρήγορη διάχυση των μαθημάτων που αποκομίζονται [57][57].

Η στενή ενσωμάτωση των σύγχρονων μονάδων παραγωγής χαρτοπολτού και χαρτιού, οι περιορισμοί διαμόρφωσης, η έλλειψη θερμότητας και οι ακαθαρσίες των καυσαερίων, είναι οι κύριες προκλήσεις στην εφαρμογή της τεχνολογίας ΔΑΑ σε υφιστάμενες εγκαταστάσεις χαρτοπολτού και παραγωγής χαρτιού [61].

Σχετικά με τις εφαρμογές στη χημική βιομηχανία, η δραστική απορρόφηση είναι η πιο ώριμη τεχνολογία για τις τεχνολογίες δέσμευσης άνθρακα μετά καύσης, επειδή υπάρχει τεράστια εμπειρία με την τεχνολογία αυτή για τον καθαρισμό φυσικού αερίου, καθώς και για τις διαδικασίες καθαρισμού των αερίων στη χημική βιομηχανία. Μια παρόμοια ιστορία μπορεί να ειπωθεί για τη χημική βιομηχανία της Ευρώπης. Ωστόσο, οι αυξανόμενες επενδύσεις E&A, για τη μετατροπή του διοξειδίου του άνθρακα σε βασικά χημικά και βιομάζα, ενσωματώνονται στο μακροπρόθεσμο όραμα

της χημικής βιομηχανίας για μείωση της εξάρτησής της από το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο τερματίζοντας μακροπρόθεσμα το βιομηχανικό κύκλο άνθρακα [83].

Τέλος, η βιβλιογραφική μας ανασκόπηση επισημαίνει ότι στα σενάρια μοντελοποίησης για την επίτευξη μείωσης της παγκόσμιας θερμοκρασίας κάτω από τους 2°C από τα επίπεδα θερμοκρασίας της προβιομηχανικής εποχής, (2°C modeling scenario - 2DS), οι βιομηχανικές εφαρμογές της ΔΑΑ παρουσιάζονται εξίσου πλεονεκτικές με την εφαρμογή της ΔΑΑ στην παραγωγή ενέργειας, σε παγκόσμιο επίπεδο. Ωστόσο, σε ορισμένες περιοχές-μέλη του Οργανισμού Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης-ΟΟΣΑ (Organisation for Economic Cooperation and Development - OECD) και σε ορισμένες χώρες που δεν είναι μέλη του ΟΟΣΑ (π.χ. Ινδία), οι βιομηχανικές εφαρμογές της ΔΑΑ είναι πολύ πιο σημαντικές από τις εφαρμογές στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το CO₂ παράγεται ως αναπόφευκτο παραπροϊόν των διαδικασιών με τις οποίες παράγονται ο χάλυβας, το τσιμέντο και ορισμένες χημικές ουσίες. Στις διεργασίες αυτές δεν είναι δυνατόν να μετριαστούν αυτές οι εκπομπές μέσω της αύξησης της ενεργειακής απόδοσης και των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ). Ευτυχώς, σε πολλές από αυτές τις διεργασίες, το CO₂ είναι σχετικά καθαρό και εύκολο να δεσμευθεί. Για να επιτευχθούν μειώσεις εκπομπών άνω του 50% στους συγκεκριμένους τομείς και να ακολουθηθεί μια κατεύθυνση μείωσης των εκπομπών CO₂ με χαμηλότερο κόστος για ολόκληρη την οικονομία, η τεχνολογία ΔΑΑ είναι πολύ πιθανό να διαδραματίσει ουσιαστικό ρόλο [57].

Συνοψίζοντας:

- Οι βιομηχανικές εφαρμογές της τεχνολογίας ΔΑΑ είναι εξίσου ουσιαστικές με την εφαρμογή της ΔΑΑ στην ηλεκτροπαραγωγή σε παγκόσμιο επίπεδο, κάτι το οποίο επιβεβαιώνουν αρκετές εφαρμογές μέχρι στιγμής,
- Ωστόσο, οι εφαρμογές αυτές έχουν λάβει σημαντικά λιγότερη προσοχή τόσο σε ερευνητικό επίπεδο, όσο και σε επίπεδο κυβερνητικών πολιτικών, σε σύγκριση με την εφαρμογή της ΔΑΑ στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής,
- Τα αποτελέσματά μας υποδεικνύουν μόνο 3 βιομηχανικά έργα που ταξινομούνται ως "Ολοκληρωμένα Έργα Μεγάλης Κλίμακας - OEMK" (Large-Scale Integrated Projects - LSIPs) στον τομέα παραγωγής τσιμέντου, σιδήρου και χάλυβα και στον τομέα του χαρτοπολτού και παραγωγής χαρτιού,
- Τα ευρήματά μας επιβεβαιώνουν ότι η χάραξη πολιτικών και η επιβολή κανονισμών που αφορούν συγκεκριμένους τομείς εφαρμογών, είναι απαραίτητοι για την ενθάρρυνση περισσότερων έργων, λαμβάνοντας υπόψη τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε τομέα, αν και οι υπάρχουσες πολιτικές είναι προβληματικές, λόγω πιθανής διαρροής άνθρακα κατά τη μεταφορά βαρέων εκπομπών σε περιοχές όπου ενδέχεται η νομική διακαιοδοσία να είναι πιο χαλαρή,
- Συμπερασματικά, τα ευρήματά μας δείχνουν ότι υπάρχει έλλειψη έργων στους τομείς παραγωγής σιδήρου και χάλυβα, τσιμέντου, διύλισης πετρελαίου, βιοκαυσίμων και χαρτοπολτού. Αναγνωρίζεται επίσης ότι, ενώ οι σημερινές τεχνολογίες δέσμευσης είναι ώριμες, σε ορισμένες από αυτές τις εφαρμογές υπάρχει μεγάλη ανάγκη για μάθηση που απαιτείται ακόμα,
- Τα αποτελέσματά μας, επίσης, επισημαίνουν ότι οι εφαρμογές της ΔΑΑ δεν αναπτύσσονται σε όλους τους τομείς με την ίδια ταχύτητα. Συνεπώς, προκειμένου να επιτευχθεί εμπορική ωριμότητα, στα πλαίσια του σημερινού κοινωνικό-οικονομικού και πολιτικού περιβάλλοντος, είναι πιθανό να απαιτηθούν στοχευμένες δημόσιες επενδύσεις σε πιλοτικά έργα και έργα επίδειξης και ταχεία διάδοση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν.

4.3.3.7. Περαιτέρω έρευνα για έρευνα νέων καινοτόμων τρόπων χρήσης του δεσμευμένου CO₂, αντί της αποθήκευσής του

Η επιστημονική βιβλιογραφία που μελετήθηκε φαίνεται να υποδηλώνει την ύπαρξη περιορισμένων εφαρμογών σχετικά με τους τρόπους εκμετάλλευσης (αντί αποθήκευσης) του CO₂ που δεσμεύεται. Τα έργα ΔΑΑ που σχετίζονται με εφαρμογές Ενισχυμένης Ανάκτησης Πετρελαίου (Enhanced Oil-Recovery - EOR) ή έργα δέσμευσης, αξιοποίησης και αποθήκευσης άνθρακα (Carbon Capture, Utilization and Storage - CCUSs) είναι πιθανό να αποτελέσουν τα πρώτα έργα επίδειξης ΔΑΑ που θα εφαρμοστούν, μιας και το CO₂ παρέχει ένα ρεύμα εσόδων που βελτιώνει την οικονομική βιωσιμότητά τους. Επιπλέον, σε βάθος χρόνου, όταν το κόστος δέσμευσης CO₂ είναι υψηλό και δεν υπάρχει αξία για το CO₂ που σχετίζεται με την κατ' εξοχήν γεωλογική συγκέντρωση, οι εφαρμογές δέσμευσης, αξιοποίησης και αποθήκευσης άνθρακα, ενώ δεν είναι καθολικά εφαρμόσιμες, θα προσφέρουν την ευκαιρία και την εμπειρία για τη βελτίωση των τεχνολογιών δέσμευσης, συμπίεσης και μεταφοράς του CO₂. Με τον τρόπο αυτό, οι εφαρμογές αυτές μπορούν να βοηθήσουν όλα τα μελλοντικά έργα ΔΑΑ, ακόμη και εκείνα που δεν έχουν ευκαιρίες για Ενισχυμένη Ανάκτηση Πετρελαίου, μειώνοντας το συνολικό κόστος της τεχνολογίας. Η πλειοψηφία των έργων που θα προχωρήσουν είναι κυρίως εφαρμογές δέσμευσης, αξιοποίησης και αποθήκευσης άνθρακα και Ενισχυμένης Ανάκτησης Πετρελαίου, οι οποίες παρέχουν μια πρόσθετη ροή εσόδων που βοηθά στην εμπορική βιωσιμότητά τους [55].

Εκτός από την Ενισχυμένη Ανάκτηση Πετρελαίου, τα ευρήματά μας δείχνουν ότι το CO₂ μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ορισμένες άλλες βιομηχανικές διεργασίες, όπως η μεταλλοποίηση (ανθρακωρύχωση), η φαρμακευτική και η χημική επεξεργασία και οι γεωργικές και βιολογικές εφαρμογές [55], καθώς και σε άλλα πεδία εφαρμογής, όπως τρόφιμα, ψυκτικά μέσα και αέρια πυρόσβεσης [56]. Άλλοι σχετικοί νέοι τομείς συμπεριλαμβάνουν τη χρήση του CO₂ για την αποθήκευση ενέργειας [56]. Ωστόσο, τα βιβλιογραφικά ευρήματα επισημαίνουν ότι καμία από τις χρήσεις αυτές δεν καταναλώνει μεγάλες ποσότητες CO₂.

Αναδυόμενες τεχνολογίες που θα μπορούσαν να απορροφήσουν μεγαλύτερες ποσότητες βρίσκονται προς το παρόν σε ερευνητικό ή πιλοτικό στάδιο. Σε ένα εργοστάσιο επίδειξης στο Λούζου της Κίνας ανατέθηκε πρόσφατα η παραγωγή αμμωνίας και ουρίας από τη χρήση του CO₂ (160 t/ημέρα) που δεσμεύεται κατά τη διάρκεια λειτουργίας του [56]. Τα αποτελέσματά μας δηλώνουν ότι ορισμένες χρήσεις CO₂ δεν αποτελούν μόνιμη λύση αποθήκευσης, αλλά θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την αντιστάθμιση του κόστους δέσμευσης, ενώ παράλληλα, όσο θα σημειώνεται περαιτέρω τεχνολογική πρόοδος, θα εντοπίζονται κατάλληλοι χώροι αποθήκευσης και θα μειώνεται το κόστος της τεχνολογίας ΔΑΑ [84]. Οι κύριοι τρόποι χρήσης του δεσμευμένου CO₂ στις εφαρμογές ΔΑΑ παρουσιάζονται παρακάτω.

Ενισχυμένη ανάκτηση πετρελαίου και αερίου (Enhanced Oil & Gas – Recovery)

Οι συμβατικές τεχνικές παραγωγής πετρελαίου μπορούν να ανακτήσουν μόνο ένα μικρό κλάσμα πετρελαίου στις δεξαμενές, σε ποσοστό 5%-15%, αν και η αρχική ανάκτηση από ορισμένες δεξαμενές μπορεί να υπερβαίνει το 50%. Για την πλειονότητα των δεξαμενών, οι δευτερεύουσες τεχνικές ανάκτησης, όπως η πλημμύρα, μπορούν να αυξήσουν το ποσοστό ανάκτησης σε 30%-50%. Οι τεχνικές τριτοβάθμιας ανάκτησης, όπως η έγχυση CO₂, που χρησιμοποιείται ήδη σε πολλά μέρη του κόσμου (ιδιαίτερα στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής), προωθούν ακόμη περισσότερο την ιδέα της ανάκτησης. Επί του παρόντος, το μεγαλύτερο μέρος του CO₂ που χρησιμοποιείται για την Ενισχυμένη

Ανάκτηση Πετρελαίου λαμβάνεται, κυρίως, από φυσικές πηγές παραγωγής CO₂ ή ανακτάται από την παραγωγή φυσικού αερίου. Η αγορά CO₂ για το σκοπό αυτό εισάγει ένα επιπλέον κόστος και το CO₂ ανακυκλώνεται όσο το δυνατόν περισσότερο σε όλη τη διαδικασία ανάκτησης. Παρ' όλα αυτά, το CO₂ που απομένει στη δεξαμενή στο τέλος της ανάκτησης θεωρείται μόνιμα αποθηκευμένο [55]-[56].

Ορυκτοποίηση (Mineralization)

Ο φυσικός τρόπος αποθήκευσης του CO₂ είναι η πολύ αργή αντίδραση μεταξύ του CO₂ και των φυσικών ορυκτών, όπως το πυριτικό μαγνήσιο, για να σχηματιστεί το αντίστοιχο ανθρακικό ανόργανο άλας. Μεταξύ όλων των μορφών άνθρακα, τα ανθρακικά άλατα κατέχουν τη χαμηλότερη ενέργεια και επομένως είναι τα πιο σταθερά. Το CO₂ που αποθηκεύεται ως ανόργανο ανθρακικό άλας απομακρύνεται μόνιμα από την ατμόσφαιρα και προς το παρόν εντείνονται οι ερευνητικές προσπάθειες για την αύξηση της ταχύτητας ενανθράκωσης. Παρόλα αυτά, η μάζα ορυκτών που θα έπρεπε να σπαταληθεί κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αυτής είναι πολλές φορές η μάζα του CO₂ που δεσμεύτηκε. Ένα καινοτόμο παράδειγμα ενός έργου πειραματικής κλίμακας Ορυκτοποίησης, περιλαμβάνει τη χημική μετατροπή των αποβλήτων διύλισης, όπως υπολείμματα βωξίτη (κόκκινη λάσπη), συνδυάζοντάς τα με CO₂. Ενώ είναι ιδανικό για τη μείωση των όγκων CO₂, η διαδικασία αυτή αντιμετωπίζει τις ανάγκες αποθήκευσης CO₂, μειώνοντας ταυτόχρονα τα περιβαλλοντικά ζητήματα που σχετίζονται με την καυστική μορφή του υπολείμματος [55]-[56].

Βιοδιέγερση (Bio-Stimulation)

Η βιοδιέγερση είναι μια τεχνική για την παραγωγή βιομάζας με χρήση CO₂ και ηλιακής ενέργειας, που συνήθως χρησιμοποιεί μικροφύκη ή κυανοβακτήρια. Η φυτοκομία (σε γυάλινα σπίτια) χρησιμοποιεί συχνά CO₂ για να αυξήσει τους ρυθμούς ανάπτυξης των φυτών αυξάνοντας τεχνητά τις συγκεντρώσεις CO₂ [55].

Συνοψίζοντας:

- Με βάση τα ευρήματα της βιβλιογραφικής ανασκόπησης, τα έργα δέσμευσης, αξιοποίησης και αποθήκευσης άνθρακα (Carbon Capture, Utilization and Storage - CCUS) είναι πιθανόν να είναι τα πρώτα έργα επίδειξης ΔΑΑ που θα εφαρμοστούν, δεδομένου ότι το CO₂ παρέχει μια ροή εσόδων που βελτιώνει την εμπορική βιωσιμότητά τους,
- Τα ευρήματά μας καταλήγουν επίσης στο συμπέρασμα ότι το CO₂ μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ορισμένες άλλες βιομηχανικές διεργασίες, όπως η ανοργανοποίηση (ενανθράκωση), η φαρμακευτική και χημική επεξεργασία και οι γεωργικές και βιολογικές εφαρμογές και σε πεδία εφαρμογής, όπως τα τρόφιμα, τα ψυκτικά μέσα και τα αέρια πυρόσβεσης. Επίσης, νεότερες μέθοδοι αφορούν τη χρήση του CO₂ ως μέσο αποθήκευσης ενέργειας. Εντούτοις, τα αποτελέσματά μας έδειξαν ότι καμία από τις χρήσεις αυτές δεν καταναλώνει μεγάλες ποσότητες CO₂.
- Οι κύριοι τρόποι χρήσης του CO₂ σε εφαρμογές ΔΑΑ, όπως προσδιορίζονται από την έρευνά μας, είναι η Ενισχυμένη ανάκτηση πετρελαίου και αερίου (Enhanced Oil & Gas-Recovery - EOGR), η Ορυκτοποίηση (Mineralization) και η Βιοδιέγερση (Bio-Stimulation).

4.3.3.8. Αναγνώριση και αξιολόγηση προϊόντων με την ικανότητα μόνιμης δέσμευσης και αποθήκευσης των εκπομπών CO₂

Το CO₂ θα μπορούσε να μετατραπεί μόνιμα σε σταθερά και αβλαβή ορυκτά χρησιμοποιώντας πετρώματα που περιέχουν αντιδρόντα ασβεστίου ή μαγνησίου [56],[61]. Τα οξείδια μετάλλων

(ασβεστίου/μαγνησίου) και τα πυριτικά άλατα στα πυριτικά πετρώματα που συναντώνται στο φλοιό της Γης, θα μπορούσαν θεωρητικά να δεσμεύσουν όλο το CO₂, που θα παραγόταν δυνητικά κατά την καύση όλων των διαθέσιμων αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων [85]. Η αποθήκευση του CO₂ μέσω της ορυκτοποίησης (Mineralization) και ενανθράκωσης (ή συνηθέστερα “Ανόργανης Ανθράκωσης” - ‘mineral carbonation’) θα μπορούσε να γίνει επί τόπου, εγχύοντας CO₂ σε σχηματισμούς πετρωμάτων, όπως ο βασάλτης (έκχυτο εκρηξιγενές πέτρωμα), όπου ο μηχανισμός μακρόχρονης αποθήκευσης προέρχεται από την αντίδραση του CO₂ με τα πετρώματα. Σε μία μελέτη των McGrail et al., αναφέρεται ότι η δυνατότητα αποθήκευσης μέσω της επί τόπου ενανθράκωσης υγρού βασάλτη εκτιμήθηκε σε 100 GtCO₂, εκτίμηση που αφορούσε μόνο το ανατολικό τμήμα της Αμερικής [85]. Στην Ισλανδία, ένα εν λειτουργία πιλοτικό έργο (CarbFix) εγχέει CO₂ διαλυμένο σε νερό, σε πετρώματα βασάλτη για την επί τόπου καθίζηση του CO₂. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η εν λόγω έγχυση ξεκίνησε τον Ιανουάριο του 2012 [87].

Ωστόσο, τα περισσότερα πετρώματα που περιέχουν πυριτικά άλατα μαγνησίου και πυριτικά άλατα ασβεστίου, είναι κρυσταλλικά και έχουν στην πράξη μη προσβάσιμο χώρο πόρων. Ως εκ τούτου, οι περισσότερες ερευνητικές προσπάθειες εστιάζουν σε αποκεντρωμένη ενανθράκωση, όπου το ορυκτό θα εξορύσσεται και θα εγχύεται με CO₂ σε ξεχωριστό εργοστάσιο, παράγοντας ανθρακικά άλατα και πυρίτιο. Τα προϊόντα αυτής της διαδικασίας θα μπορούσαν να διατίθενται και να αξιοποιούνται ως υλικά πλήρωσης ορυχείων. Η διαδικασία της ενανθράκωσης παγιδεύει με ασφάλεια το CO₂ ως ανθρακικό άλας, οπότε είναι ελάχιστη ή και καθόλου αναγκαία η παρακολούθηση των χώρων διάθεσης. Ως εναλλακτική, η αποκεντρωμένη “Ανόργανη Ανθράκωση” μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή δομικών υλικών ή την παραγωγή βιομηχανικών πρώτων υλών [56],[61].

Επιπρόσθετα, τα βιομηχανικά αλκαλικά απόβλητα και παραπροϊόντα, όπως οι χαλύβδινες σκωρίες και τέφρες διεργασίας, έχουν επίσης υψηλές περιεκτικότητες μαγνησίου και ασβεστίου [61]. Γενικά, αυτά τα ρεύματα βιομηχανικών αποβλήτων έχουν υψηλότερη αντιδραστικότητα από τα φυσικά ορυκτά ασβεστίου και μαγνησίου, και συνεπώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν φτηνότερες διεργασίες για τη μετατροπή του CO₂ σε ανθρακικό άλας [87]. Η χωρητικότητα αποθήκευσης CO₂, ωστόσο, είναι πολύ πιο περιορισμένη λόγω των διαθέσιμων ροών αποβλήτων. Το παγκόσμιο δυναμικό είναι της τάξεως των μερικών εκατοντάδων εκατομμυρίων τόνων CO₂/έτος. Η ενανθράκωση της χαλυβουργικής σκωρίας είναι μία, ακόμα, πολλά υποσχόμενη επιλογή χρήσης CO₂, από άποψη τεχνικής επιτευξιμότητας και χωρητικότητας. Ωστόσο, η τρέχουσα παραγωγή της, ύψους 400 Mt/έτος [89][89] θα αντιστοιχούσε μόνο σε συνολική παγκόσμια χωρητικότητα αποθήκευσης 3 GtCO₂ για τα επόμενα 40 χρόνια, η οποία θα μπορούσε να βελτιωθεί κάπως χρησιμοποιώντας αποθηκευμένη χαλύβδινη σκωρία.

Αν και μερικές διεργασίες που χρησιμοποιούν βιομηχανικά κατάλοιπα έχουν ήδη φτάσει σε πιλοτικό στάδιο (για παράδειγμα το εργοστάσιο ενανθράκωσης βωξίτη "Alcoa" στην Αυστραλία), οι διεργασίες αυτές δεν αποτελούν εναλλακτική της γεωλογικής αποθήκευσης, μιας και η χωρητικότητα αποθήκευσης τους είναι πολύ χαμηλότερη. Παρόλα αυτά, οι διεργασίες αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή δομικών υλικών, όπως συσσωματωμάτων και τεμαχίων τοιχοποιίας και υλικών πλήρωσης. Ως εκ τούτου, οι διεργασίες αυτές επιτρέπουν στα βιομηχανικά απόβλητα να μετατραπούν σε πολύτιμα προϊόντα, εξοικονομώντας παρθένες πρώτες ύλες και μετρίζοντας τις εκπομπές CO₂ [61].

Συνοψίζοντας:

- Τα βιβλιογραφικά ευρήματα επισημαίνουν ότι το CO₂ μπορεί να δεσμευθεί μόνιμα και να αποθηκευτεί σε πετρώματα που περιέχουν αντιδρόντα ασβεστίου ή μαγνησίου,
- Τα οξείδια μετάλλων και τα πυριτικά άλατα σε αυτά τα πετρώματα (που βρίσκονται στο φλοιό της Γης) θα μπορούσαν θεωρητικά να δεσμεύσουν όλο το CO₂ που παράγεται από την καύση όλων των διαθέσιμων αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων. Ωστόσο, λόγω τεχνικών περιορισμών σχετικών με το χώρο των πόρων, οι ερευνητικές προσπάθειες έχουν επικεντρωθεί σε εναλλακτικές τεχνικές, όπως η ενανθράκωση,
- Η ενανθράκωση έχει το πλεονέκτημα ότι παγιδεύει με ασφάλεια το CO₂ ως ανθρακικό άλας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή δομικών υλικών ή για την παραγωγή βιομηχανικών πρώτων υλών που δεσμεύουν και αποθηκεύουν με ασφάλεια το CO₂. Μια άλλη εναλλακτική λύση είναι η χρήση βιομηχανικών αλκαλικών αποβλήτων και παραπροϊόντων (χαλύβδινες σκωρίες και τέφρες διεργασίας) με υψηλή περιεκτικότητα σε μαγνήσιο και ασβέστιο. Αυτή η εναλλακτική λύση επιτρέπει φθηνότερες διεργασίες για τη μετατροπή του CO₂ σε ανθρακικό άλας, ωστόσο, υστερεί σε χωρητικότητα αποθήκευσης CO₂, σε σύγκριση με τη γεωλογική αποθήκευση.
- Προφανώς λίγες διεργασίες που χρησιμοποιούν βιομηχανικά κατάλοιπα έχουν ήδη φθάσει σε πιλοτικό στάδιο και περαιτέρω έρευνα θα πρέπει να επικεντρωθεί στο να κάνει αυτές τις διεργασίες εμπορικά διαθέσιμες, με περαιτέρω στόχο να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή πολύτιμων προϊόντων με μεγαλύτερη χωρητικότητα CO₂.

4.3.5. Συμπερασματικές παρατηρήσεις

- Η επιστημονική βιβλιογραφία επισημαίνει πως, για την περίπτωση των 3 κύριων τεχνολογιών δέσμευσης της τεχνολογίας ΔΑΑ, υπάρχουν ακόμα **τεχνικές προκλήσεις** τροχοπέδη για την **αύξηση της αποδοτικότητάς** τους, οι οποίες χρήζουν περαιτέρω έρευνας και μηχανισμών υποστήριξης, που θα επιτρέψουν κλιμακωτή επίδειξη των τεχνολογιών δέσμευσης CO₂. Επιπλέον, χρηματοδότηση που αποσκοπεί στη στοχευμένη στήριξη προγραμμάτων E&A είναι αναγκαία για την περαιτέρω ανάπτυξη αυτών των τεχνολογιών. Τέλος, λαμβάνοντας υπόψη τη μεγάλη σημασία της **αναβάθμισης των υπάρχουσων εγκαταστάσεων και μονάδων παραγωγής**, τα βιβλιογραφικά ευρήματα επισημαίνουν ότι πλέον είναι τεχνολογικά και τεχνικά εφικτό να ενσωματωθεί εξοπλισμός για τη δέσμευση CO₂ σε όλους τους τύπους νέων σταθμών ηλεκτροπαραγωγής με καύση άνθρακα, ειδικά για την περίπτωση τεχνολογιών δέσμευσης πριν την καύση (PCC technologies).
- Προκειμένου να επιτευχθεί **μείωση του κόστους και αύξηση της ανταγωνιστικότητας** στην περίπτωση της τεχνολογία ΔΑΑ, η ανασκόπηση της βιβλιογραφίας έδειξε ότι περαιτέρω έρευνα πρέπει να επικεντρωθεί στον καλύτερο χαρακτηρισμό των τοποθεσιών αποθήκευσης, εστιάζοντας στην εκμετάλλευση των μεγάλων εκτάσεων γης, που αποτελούν κύριο μέρος της χωρητικότητας αποθήκευσης. Οι χερσαίοι αποθηκευτικοί χώροι και τα αχρησιμοποίητα κοιτάσματα πετρελαίου και φυσικού αερίου φαίνεται να αποτελούν τη φθηνότερη επιλογή. Επιπλέον, τα κόστη χαρακτηρισμού των τοποθεσιών αποθήκευσης και τα κόστη λειτουργίας, αναμένεται να μειωθούν περαιτέρω, λόγω της επίδρασης του φαινομένου της μάθησης και των καμπύλων εκμάθησης. Επιπλέον, τα βιβλιογραφικά ευρήματα ανέδειξαν, ότι για πολλές περιπτώσεις εφαρμογών, η πίστωση των παραπροϊόντων φυσικού αερίου ή πετρελαίου είναι πιθανό να αντισταθμίσει τα κόστη αποθήκευσης. Αυτό μπορεί να συμβεί στην περίπτωση της

Ενισχυμένης Ανάκτησης Πετρελαίου (Enhanced Oil-Recovery - EOR), όπου τα συνολικά κόστη λειτουργίας αντισταθμίζονται από την πίστωση των εν λόγω παραπροϊόντων. Παρ' όλα αυτά, η βιβλιογραφία επισημαίνει πως κυβερνητικές προσπάθειες στήριξης και χρηματοδότησης είναι απαραίτητο να στηρίξουν, ιδιαίτερα τα έργα επίδειξης ΔΑΑ, με κεφαλαιουχικές επιχορηγήσεις, καθώς και μέσω στήριξης της τιμής της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, μιας και, ακόμη και αν πρόσθετα έσοδα προκύψουν από την πώληση CO₂ μέσω της Ενισχυμένης Ανάκτησης Πετρελαίου (Enhanced Oil-Recovery - EOR), ενδέχεται να μην επαρκούν για να υποστηρίξουν την πλήρη χρηματοδότηση των έργων σε όλες τις περιπτώσεις. Σχετικά με τα κόστη παραγωγής, τα βιβλιογραφικά αποτελέσματά δείχνουν ότι θα μπορούσαν να αυξηθούν ριζικά λόγω της ισχυρής εξάρτησης τους από τις τιμές του φυσικού αερίου και του άνθρακα. Για να αποφευχθεί αυτό, τα μελλοντικά ρυθμιστικά πλαίσια και οι μηχανισμοί παροχής κινήτρων πρέπει να επικεντρωθούν στην συμπερίληψη της τεχνολογίας ΔΑΑ σε ένα περιβάλλον τιμολόγησης του άνθρακα, όπως το Ευρωπαϊκό Σύστημα Εμπορίας (European Trading System - ETS) της ΕΕ. Τέλος, η περαιτέρω ενίσχυση δραστηριοτήτων E&A και το φαινόμενο της μάθησης μέσω των καμπύλων εκμάθησης είναι κρίσιμα, καθώς οι βελτιωμένες και ευρέως χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες θα μπορούσαν να μειώσουν τα μελλοντικά κόστη.

- Σχετικά με τα **υφιστάμενα ρυθμιστικά πλαίσια** για την περίπτωση της τεχνολογία ΔΑΑ, τα βιβλιογραφικά ευρήματα επιβεβαιώνουν πολυάριθμες προτάσεις για επίδειξη και των 3 τεχνολογιών δέσμευσης παγκοσμίως, και ότι, παρ' όλο που μεγάλο μερίδιο κρατικών χρηματοδοτήσεων έχει τεθεί μέχρι σήμερα στην άκρη για ακριβώς αυτόν το σκοπό, δεν έχει υπάρξει η απαιτούμενη πρόοδος, με αποτέλεσμα πολλά προτεινόμενα έργα να έχουν ήδη ακυρωθεί, και πολλά ακόμα να αναμένεται ότι θα ακυρωθούν στο μέλλον. Η βιβλιογραφία υποστηρίζει ότι η τεχνολογία ΔΑΑ χρειάζεται περαιτέρω άμεση πολιτική στήριξη για την ανάπτυξη και την επίδειξη των μονάδων παραγωγής («πρώτων του είδους τους» (First-Of-A-Kind - FOAK)) για την άμεση μείωση των κόστων παραγωγής τους και ότι οι διαθέσιμες κυβερνητικές χορηγήσεις καλύπτουν μόνο μερικώς τα απαραίτητα κόστη. Στοιχεία από εκθέσεις αξιολόγησης δείχνουν επίσης ότι τα έργα που μπορούν να αποκτήσουν μια πρόσθετη ροή εσόδων από την πώληση CO₂ στην περίπτωση της Ενισχυμένης Ανάκτησης Πετρελαίου (Enhanced Oil-Recovery - EOR), προσφέρουν ίσως την καλύτερη προοπτική για πρόωρα έργα επίδειξης εφαρμογών Δέσμευσης, Αξιοποίησης και Αποθήκευσης Άνθρακα (Carbon Capture, Utilization and Storage - CCUS). Επίσης, εφαρμογές Ενισχυμένης Ανάκτησης Πετρελαίου (Enhanced Oil-Recovery - EOR) έχουν υπάρξει κερδοφόρες σε επίπεδο εμπορικής κλίμακας για πάνω από 40 χρόνια υπό τους ισχύοντες ρυθμιστικούς κανονισμούς. Αναφορικά, παρ' όλο που υπάρχουν ήδη σημαντικές ευκαιρίες σε ολόκληρο τον κόσμο, ιδίως στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, στην περιοχή της Βόρειας Θάλασσας της Ευρώπης και στην Κίνα, η βιβλιογραφία επισημαίνει ότι τέτοιου είδους εφαρμογές είναι πιθανόν να μην είναι καθολικά διαθέσιμες. Ιδιαίτερα αξιοσημείωτο είναι ότι παρ' όλο που οι κεφαλαιουχικοί και εμπορικοί μηχανισμοί στήριξης έχουν ήδη προωθηθεί σαν λύση για την άρση των κόστων υιοθέτησης της τεχνολογίας, χάσμα εξακολουθεί να υπάρχει μεταξύ των τιμών του κόστους αποφυγής CO₂ για την περίπτωση ΔΑΑ. Τα ευρήματά μας επιβεβαιώνουν ότι το χάσμα αυτό, σε συνδυασμό με τη μεταβλητότητα της τιμής του άνθρακα, καθιστά πιθανό το να χρειαστούν πρόσθετες πολιτικές παροχής κινήτρων για την εξασφάλιση της ανάπτυξης και της διάχυσης της τεχνολογίας ΔΑΑ σε μεγάλη κλίμακα.

- Η ανασκόπηση της βιβλιογραφίας επισημαίνει επίσης ότι οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικών έχουν επιδείξει απροθυμία να δεσμευτούν στη φορολόγηση του άνθρακα (π.χ. στις ΗΠΑ), μιας και οι τιμολογικές υπερεκτιμήσεις και η ανεπάρκεια των ευρέως εφαρμοσμένων εμπορικών μηχανισμών στήριξης, οδήγησαν σε τεράστιες διακυμάνσεις της τιμολόγησης άνθρακα και, κατά συνέπεια, σε επενδυτική αβεβαιότητα (π.χ. στην Ευρώπη). Ωστόσο, τα βιβλιογραφικά πορίσματα επισημαίνουν ότι το Ευρωπαϊκό Σύστημα Εμπορίας (European Trading System - ETS) εξακολουθεί να αποτελεί το βασικό σημείο αφετηρίας για την περαιτέρω ανάπτυξη και διάχυση της τεχνολογίας ΔΑΑ στην ΕΕ.
- Εκτός από τους κεφαλαιουχικούς και εμπορικούς μηχανισμούς στήριξης, η βιβλιογραφία αναδεικνύει την περίπτωση 80 «Ολοκληρωμένων Έργων Μεγάλης Κλίμακας» (Large-Scale Integrated Projects - LSIPs), τα οποία είναι προς το παρόν σε λειτουργία, και αντικατοπτρίζουν κυβερνητικές προσπάθειες παροχής οικονομικής στήριξης για τα πρώτα έργα ΔΑΑ εμπορικής κλίμακας. Η πλειοψηφία των δεσμεύσεων ως προς τη χρηματοδοτική στήριξη έχει μέχρι στιγμής γίνει από κυβερνήσεις των ανεπτυγμένων χωρών (δηλ. Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, Καναδάς, ΕΕ, Νορβηγία, Ιαπωνία, Κορέα και Αυστραλία).
- Επιπλέον, η πρόκληση της επίτευξης **ευρείας εμπορικής ανάπτυξης και διάχυσης** της τεχνολογίας ΔΑΑ, γίνεται αντιληπτή, ιδίως για τις **αναπτυσσόμενες οικονομίες**, με την ανάγκη για επίδειξη τουλάχιστον 20 «Ολοκληρωμένων Έργων Μεγάλης Κλίμακας» (Large-Scale Integrated Projects - LSIPs) έως το 2020, ώστε να καταστεί δυνατή η εμπορική ανάπτυξη της τεχνολογίας ΔΑΑ στις αναδυόμενες χώρες. Συγκεκριμένα, ο άνθρακας παραμένει ένα από τα πιο σημαντικά και επικρατέστερα καύσιμα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ιδιαίτερα στις οικονομίες αυτών των χωρών (Κίνα, Ινδία, Μογγολία, Ταϊλάνδη, κ.λπ.), όπου η ηλεκτροπαραγωγή με καύση άνθρακα έχει αυξηθεί δραματικά τα τελευταία χρόνια. Τα ευρήματά μας επιβεβαιώνουν ότι η τεχνολογία ΔΑΑ εξετάζεται ως μία εκ των επικρατέστερων επιλογών, με ανθεκτικότητα στην κλιματική αλλαγή, για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (Green House Gases - GHGs) στις οικονομίες αυτές, και ότι η τιμολόγηση ή η φορολόγηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου θεωρείται προτιμητέα στρατηγική για τη δημιουργία μίας αναδυόμενης αγοράς για τεχνολογίες χαμηλών εκπομπών άνθρακα, όπως είναι η τεχνολογία ΔΑΑ. Συνοπτικά, όλα τα βιβλιογραφικά ευρήματα υποστηρίζουν ότι, ειδικά στην περίπτωση των αναδυόμενων χωρών, οι κυβερνητικές πολιτικές και η παροχή κινήτρων είναι ζωτικής σημασίας για την υιοθέτηση της τεχνολογίας ΔΑΑ, παρόλο που οι μέχρι τώρα προσπάθειες παραμένουν ασαφείς.
- Η διαθέσιμη βιβλιογραφία επισημαίνει ότι οι **δημόσιες αντιλήψεις για την τεχνολογία ΔΑΑ** ενδέχεται να διαμορφωθούν με βάση τις επιδόσεις των έργων επίδειξης και ότι οι πρώιμες αποτυχίες ενδέχεται να έχουν σοβαρές επιπτώσεις στην αξιοπιστία και στο εκτιμώμενο κόστος της ΔΑΑ, ως πρωταρχική επιλογή μετριασμού της κλιματικής αλλαγής. Παρ' όλο που η δημιουργία θέσεων απασχόλησης που αναμένεται λόγω της περαιτέρω ανάπτυξης της τεχνολογίας ΔΑΑ αποτελεί ενθαρρυντικό παράγοντα για τη κοινή γνώμη, κοινωνικά θέματα που μπορεί να προκύψουν από την εξάπλωση εφαρμογών ΔΑΑ έχουν κυρίως αρνητικό αντίκτυπο στην κοινή γνώμη σχετικά με την τεχνολογία. Από την άλλη πλευρά, η αξιολόγηση της αποδοχής του κοινού, της υπάρχουσας ενημέρωσης και της εμπιστοσύνης στη ρυθμιστική εποπτεία σχετικά με την τεχνολογία ΔΑΑ, καθίσταται αντιφατική σύμφωνα με τα αποτελέσματα της βιβλιογραφίας.

Από την άποψη της κοινωνικής αποδοχής, τα αποτελέσματά μας υπογραμμίζουν κυρίως την επίδραση του συνδρόμου “Όχι στην πίσω αυλή μου” (Not In My Backyard - NIMBY) και την αντίληψη που θέλει την τεχνολογία ΔΑΑ μία εναλλακτική των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) (“Φαινόμενο του αντίρροπου αποτελέσματος” - Rebound Effect). Σχετικά με την εμπιστοσύνη του κοινού στη ρυθμιστική αρχή, τα ευρήματά μας επιβεβαιώνουν ότι οι άνθρωποι που εμπιστεύονται έναν υπέρμαχο της τεχνολογίας ΔΑΑ για την ακεραιότητά του, όχι μόνο αντιλαμβάνονται μικρότερους κινδύνους και μεγαλύτερα οφέλη, αλλά είναι πιο πρόθυμοι να δεχθούν την επιλογή της ΔΑΑ. Από την άλλη πλευρά, οι άνθρωποι τείνουν να είναι πιο αρνητικοί ή επιφυλακτικοί στην περίπτωση που η εμπιστοσύνη στην ακεραιότητα ενός υπέρμαχου της τεχνολογίας είναι χαμηλή. Ωστόσο, όλα τα ευρήματά μας καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι η ευαισθητοποίηση και η ενημέρωση του κοινού σχετικά με την τεχνολογία ΔΑΑ είναι χαμηλή και ότι η μέχρι τώρα γνώση για αυτήν είναι πολύ περιορισμένη μέχρι στιγμής. Επιπλέον, η βιβλιογραφική μας ανασκόπηση καταλήγει στο συμπέρασμα ότι για να διασφαλιστεί η περαιτέρω ανάπτυξη και επίδειξη εφαρμογών ΔΑΑ, εθνικά συστήματα πολιτικής και μηχανισμοί στήριξης και αντίστοιχα ρυθμιστικά πλαίσια πρέπει να εστιάσουν στην αντίληψη της κοινής γνώμης και στην ενημέρωση του κοινού σχετικά με τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής και τις αναδυόμενες τεχνολογίες μετριασμού, και ότι οι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων θα πρέπει πρώτα να επιδείξουν αξιοπιστία και να κερδίσουν την εμπιστοσύνη του κοινωνικού συνόλου.

- Σχετικά με τις **βιομηχανικές εφαρμογές της τεχνολογίας ΔΑΑ**, στοιχεία από μελέτες δείχνουν ότι είναι εξίσου ουσιαστικές με εκείνες που αφορούν την ηλεκτροπαραγωγή σε παγκόσμια κλίμακα, αλλά επιβεβαιώνουν την ύπαρξη λίγων τέτοιων εφαρμογών μέχρι στιγμής. Ωστόσο, αυτές οι εφαρμογές έχουν λάβει αρκετά λιγότερη προσοχή, τόσο σε επίπεδο διαθέσιμης έρευνας, όσο και σε επίπεδο κυβερνητικής στήριξης, σε σύγκριση με την εφαρμογή της τεχνολογίας ΔΑΑ στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής. Τα βιβλιογραφικά ευρήματα υποδεικνύουν μόνο 3 βιομηχανικά έργα που ταξινομούνται ως «Ολοκληρωμένα Έργα Μεγάλης Κλίμακας» (Large-Scale Integrated Projects - LSIPs) στον τομέα παραγωγής τσιμέντου, στον τομέα παραγωγής σιδήρου και χάλυβα και στον τομέα χαρτοπολτού και παραγωγής χαρτιού. Τα ευρήματά μας επιβεβαιώνουν, επίσης, ότι για την ενθάρρυνση περισσότερων τέτοιων εφαρμογών, θα απαιτηθούν πολιτικές και ρυθμιστικά πλαίσια στοχευμένα για την περίπτωση βιομηχανικών εφαρμογών, λαμβάνοντας υπόψη τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε βιομηχανίας, παρόλο που οι τρέχουσες πολιτικές έχουν αποδειχθεί προβληματικές μέχρι στιγμής. Τα στοιχεία από τη βιβλιογραφία επισημαίνουν ότι υπάρχει έλλειψη έργων στους βιομηχανικούς τομείς παραγωγής σιδήρου και χάλυβα, παραγωγής τσιμέντου, διύλισης πετρελαίου, παραγωγής βιοκαυσίμων και χαρτοπολτού και παραγωγής χαρτιού, και ότι οι εφαρμογές ΔΑΑ σε κάθε έναν από αυτούς τους τομείς αναμένεται να μην αναπτυχθούν με την ίδια ταχύτητα. Τα ευρήματά μας καταλήγουν στο συμπέρασμα, ότι προκειμένου να επιτευχθεί εμπορική ωριμότητα, το σημερινό πολιτικό-οικονομικό περιβάλλον απαιτεί στοχευμένες δημόσιες επενδύσεις για πιλοτικά έργα και έργα επίδειξης και ταχεία διάδοση των αποτελεσμάτων που θα προκύψουν.
- Σχετικά με τη **χρήση του CO₂ αντί αποθήκευσής του**, η βιβλιογραφία επισημαίνει ότι τα έργα Δέσμευσης, Αξιοποίησης και Αποθήκευσης Άνθρακα (Carbon Capture, Utilization and Storage - CCUS), που αφορούν την απορρόφηση και αποθήκευση άνθρακα είναι πιθανόν να αποτελέσουν τα πρώτα έργα επίδειξης εφαρμογών ΔΑΑ, μιας και το CO₂ παράγει ένα ρεύμα εσόδων που θα βοηθήσει την οικονομική και εμπορική βιωσιμότητά τους. Τα βιβλιογραφικά ευρήματα

επισημαίνουν, επίσης, ότι το CO₂ μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ορισμένες άλλες βιομηχανικές διεργασίες, όπως η ορυκτοποίηση (ή ενανθράκωση), οι φαρμακευτικές και χημικές επεξεργασίες και οι γεωργικές και βιολογικές εφαρμογές. Συνολικά, οι κυριότεροι τρόποι χρήσης του CO₂ σε εφαρμογές ΔΑΑ είναι η Ενισχυμένη Ανάκτηση Πετρελαίου και Αερίου (Enhanced Oil & Gas Recovery), η Ορυκτοποίηση (Mineralization) και η Βιοδιέγερση (Bio-Stimulation)

- Τα βιβλιογραφικά ευρήματα επισημαίνουν, επίσης, ότι το **CO₂ μπορεί να δεσμευθεί και να αποθηκευτεί μόνιμα** χρησιμοποιώντας πετρώματα που περιέχουν αντιδρόντα ασβεστίου ή μαγνησίου. Τα οξείδια μετάλλων και τα πυριτικά άλατα σε αυτά τα πετρώματα (που βρίσκονται στο φλοιό της Γης) θα μπορούσαν θεωρητικά να δεσμεύσουν όλο το CO₂ που παράγεται από την καύση όλων των διαθέσιμων αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων. Ωστόσο, λόγω των τεχνικών περιορισμών του χώρου των πόρων, οι ερευνητικές προσπάθειες έχουν επικεντρωθεί σε εναλλακτικές τεχνικές, όπως είναι η ενανθράκωση. Η ενανθράκωση έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να παγιδεύει με ασφάλεια το CO₂ ως ανθρακικό άλας για την παραγωγή δομικών υλικών ή για την κατασκευή βιομηχανικών πρώτων υλών που δεσμεύουν και αποθηκεύουν με ασφάλεια το CO₂. Μια άλλη εναλλακτική λύση εντοπίζεται στη χρήση αλκαλικών βιομηχανικών αποβλήτων και παραπροϊόντων με υψηλή περιεκτικότητα σε μαγνήσιο και ασβέστιο. Αυτή η εναλλακτική λύση επιτρέπει φθηνότερες διεργασίες για τη μετατροπή του CO₂ σε ανθρακικό άλας, ωστόσο, διαθέτει ελλιπή αποθηκευτική ικανότητα σε σύγκριση με τη γεωλογική αποθήκευση. Η βιβλιογραφία καταλήγει στο συμπέρασμα ότι λίγες διεργασίες που χρησιμοποιούν τέτοια βιομηχανικά απόβλητα έχουν ήδη φθάσει σε πιλοτικό στάδιο και ότι περαιτέρω έρευνα πρέπει να επικεντρωθεί στην καθιέρωση αυτών των διεργασιών, ώστε να γίνουν εμπορικά διαθέσιμες, με περαιτέρω στόχο να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή πολύτιμων προϊόντων με μεγαλύτερη χωρητικότητα απόθηκευσης CO₂.

Κεφάλαιο 5. Συμπεράσματα – Προοπτικές

5.1 Συμπεράσματα

Η κλιματική αλλαγή έχει εμφανή αποτελέσματα, τόσο στην αύξηση της θερμοκρασίας, όσο και στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας ως αποτέλεσμα της τήξης των πάγων, καθώς επίσης και στη συχνότερη εμφάνιση δυσμενών καιρικών φαινομένων. Οι μεταβολές αυτές επιφέρουν με τη σειρά τους σοβαρές επιπτώσεις στην ακεραιότητα των οικοσυστημάτων, τους υδατικούς πόρους, τη δημόσια υγεία, τις γεωργικές καλλιέργειες, τις υποδομές, κ.λπ.

Οι ενέργειες για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής απαιτούν τη λήψη βιώσιμων μέτρων, τα οποία θα περιορίσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και θα προσαρμόζονται σε παγκόσμιο, αλλά και τοπικό επίπεδο. Η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου μπορεί να επέλθει μέσω επιλογών (τεχνολογιών ή πρακτικών) μετριασμού της κλιματικής αλλαγής, των οποίων οι επιπτώσεις αξιολογούνται σε συγκεκριμένες διαστάσεις της βιωσιμότητας, ώστε να προσδιοριστούν, να αξιολογηθούν και να ιεραρχηθούν τα τεχνολογικά μέσα, τόσο για τον μετριασμό του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής, όσο και για την προσαρμογή στα δεδομένα της εποχής, προκειμένου να επιτευχθούν οι στόχοι της αειφόρου ανάπτυξης.

Η παρούσα διπλωματική δεν αποσκοπεί στην αναπαραγωγή έρευνας στο πεδίο της αξιολόγησης των τεχνολογιών και πρακτικών μετριασμού της κλιματικής αλλαγής, αλλά στη συλλογή και σύνθεση της υπάρχουσας γνώσης, όπως αυτή παρουσιάζεται σε πληθώρα επιστημονικών δημοσιεύσεων και τεχνικών αναφορών. Ξεκινώντας σαν αφετηρία με την αξιολόγηση της διαθέσιμης βιβλιογραφίας (η διαδικασία συλλογής/αξιολόγησης της βιβλιογραφίας περιγράφεται στα **Κεφάλαια 0 - 0**) στο επίπεδο των τεχνολογιών/πρακτικών μετριασμού της κλιματικής αλλαγής (στο **0** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την συλλογή/αξιολόγηση της επιλεγθείσας βιβλιογραφίας), η παρούσα διπλωματική επιχείρησε σε πρώτο στάδιο να συνθέσει τη μέχρι τώρα υπάρχουσα γνώση, αναδεικνύοντας και κατηγοριοποιώντας τα βασικά μεθοδολογικά πλαίσια που εντοπίστηκαν στα μελετώμενα άρθρα (βλ. **Κεφάλαιο 0**) και έπειτα αναλύθηκε με την ευρεία έννοια η Ανάλυση/Αξιολόγηση της Βιωσιμότητας (Sustainability Assessment), η οποία κατηγοριοποιείται, με βάση τις μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν, σε επιμέρους μεθοδολογίες (όπως αυτές παρουσιάστηκαν στο **0 - 0**), αναπτύσσοντας ένα τελικό σύνολο δεικτών αξιολόγησης (όπως παρουσιάστηκαν αναλυτικά στο **Κεφάλαιο 0**), που θα εξετάζει τη βιωσιμότητα τεχνολογιών και πρακτικών από μία πολυδιάστατη σκοπιά (βλ. **Κεφάλαιο 0**).

Εξετάζοντας τη βιβλιογραφία και τις διάφορες πηγές που πραγματεύονται τα μεθοδολογικά πλαίσια της ανάλυσης/αξιολόγησης της βιωσιμότητας, συλλέχθηκαν και παρουσιάστηκαν τα κύρια χαρακτηριστικά των μεθοδολογιών (βλ. **0**), βάσει ενός ήδη αναπτυγμένου και αυστηρά δομημένου πλαισίου, καθώς και η συχνότητα εμφάνισης τους στην επιλεγθείσα βιβλιογραφία. Τα αποτελέσματα της βιβλιογραφικής μας αναζήτησης, όπως παρουσιάστηκαν στο **0**, επιβεβαιώνουν ότι οι μεθοδολογίες αξιολόγησης της βιωσιμότητας είναι ισχυρά εργαλεία για την περίπτωση τεχνολογιών και πρακτικών μετριασμού της κλιματικής αλλαγής, για τους παρακάτω κύριους λόγους που ακολουθούν για κάθε επιμέρους μεθοδολογία:

Επιλογή Δεικτών Αειφορίας (Sustainability Indicator Analysis)

Η χρήση δεικτών αποτελεί ένα ισχυρό εργαλείο αξιολόγησης της βιωσιμότητας, καθώς κατά την

παρακολούθηση της προόδου μιας τεχνολογίας και της αποδοτικότητας της με την πάροδο του χρόνου, πραγματοποιείται μία ολιστική ανάλυση που λαμβάνει υπόψη όλες τις πτυχές της βιώσιμης ανάπτυξης.

Ανάλυση Σεναρίων (Scenario Analysis)

Το συγκεκριμένο μεθοδολογικό πλαίσιο είναι ένα βασικό εργαλείο λήψης αποφάσεων, καθώς μπορεί να βοηθήσει εμπειρογνώμονες ή ενδιαφερόμενα μέρη στο να κατανοήσουν τον τρόπο με τον οποίο μπορούν να χειριστούν μία κατάσταση και πώς οι διάφορες δράσεις τους θα επηρεάσουν το αποτέλεσμα της.

Η μέθοδος αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε καταστάσεις με υψηλά ποσοστά συμμετοχής και υψηλή αβεβαιότητα: η ανάλυση των σεναρίων μπορεί να βοηθήσει στην εκπόνηση των βέλτιστων και χειριστων σεναρίων και μερικές φορές να εκθέσει τα αποτελέσματα που ενδεχομένως θα είχαν προβλεφθεί ή και παραληφθεί.

Ανάλυση Εξειδίκευσης της Αγοράς (Niche Market Analysis)

Επικεντρώνεται στην αποτίμηση μίας τεχνολογίας σε ένα περιορισμένο τμήμα της αγοράς, που παρουσιάζει διφορούμενες ανάγκες.

Πρόκειται για ένα, όχι και τόσο γνωστό και πλήρως διασαφηνισμένο μεθοδολογικό πλαίσιο, που μπορεί όμως να εφαρμοστεί τόσο σε νέες, όσο και ώριμες τεχνολογίες.

Πολυκριτηριακή Μέθοδος Καθεστώτος (Regime Analysis)

Ένα κορυφαίο στοιχείο αυτής της μεθόδου αποτελεί το ότι είναι σε θέση να αντιμετωπίσει τα δυαδικά, τακτικά αριθμητικά, κατηγορηματικά και απολύτως αριθμητικά δεδομένα, καθώς και μικτά δεδομένα.

Ένα ακόμα διακεκριμένο χαρακτηριστικό του μεθοδολογικού αυτού πλαισίου είναι ότι συχνά ταξινομείται ως έμμεση μέθοδος για την περίπτωση ποιοτικών δεδομένων και συνεπώς δεν χάνουμε πληροφορίες, όπως συμβαίνει στις άμεσες μεθόδους. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στις άμεσες μεθόδους χρησιμοποιείται μόνο το συστηματικό περιεχόμενο των διαθέσιμων ποσοτικών πληροφοριών.

Ολοκληρωμένα Μοντέλα Αξιολόγησης (Integrated Assessment Models)

Ένα κύριο στοιχείο αυτής της μεθόδου αποτελεί το ότι λαμβάνει υπόψη όλες τις πτυχές της βιωσιμότητας.

Ένα ακόμα πολύτιμο χαρακτηριστικό του μεθοδολογικού αυτού πλαισίου είναι ότι παρέχει δυνατότητα αντιμετώπισης και προσαρμογής στις αναδιαμορφώσεις των στρατηγικών ενεργειακής πολιτικής.

Τέλος, το συγκεκριμένο μεθοδολογικό πλαίσιο καλύπτει εφαρμογές όπου απαιτείται μεγάλη χρονική κλίμακα.

Ολοκληρωμένη Προσέγγιση (Integrated Modeling)

Η ολοκληρωμένη προσέγγιση έχει αναδειχθεί ως μία από τις κύριες τεχνικές αξιολόγησης των πολιτικών μετριασμού της κλιματικής αλλαγής.

Λαμβάνει υπόψη όλες τις πτυχές του προβλήματος της κλιματικής αλλαγής ολιστικά.

Επιτρέπει στους ερευνητές να μελετήσουν το πρόβλημα υπό το πρίσμα της συστημικής ανάλυσης.

Έχει υποστηρίξει πολλές σημαντικές μελέτες σχετικές με την κλιματική αλλαγή, συμπεριλαμβανομένης της Διακυβερνητικής Πέμπτης έκθεση αξιολόγησης της επιτροπής για την κλιματική αλλαγή (IPCC) (IPCC 2014) και πολλών άλλων.

Μοντελοποίηση Προσομοίωσης (Simulation Modeling)

Η Μοντελοποίηση Προσομοίωσης είναι ένα ισχυρό επιστημονικό εργαλείο καθώς επιτρέπει σε κάθε χρήστη:

- να υποβάλει ερωτήσεις,
- να αξιολογεί εναλλακτικές λύσεις, και
- να υποστηρίζει τη λήψη αποφάσεων με σκοπό την περιβαλλοντική διαχείριση.

Ανάλυση Κύκλου Ζωής (Life Cycle Analysis)

Κύριο στοιχείο της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ) είναι ότι πρόκειται για μια τεχνική που μπορεί να εκτιμήσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, που συνδέονται με όλα τα στάδια της ζωής μίας τεχνολογίας.

Οι Αναλύσεις Κύκλου Ζωής μπορούν να βοηθήσουν στην αποφυγή μιας περιορισμένης προοπτικής στις παρακάτω περιβαλλοντικές ανησυχίες:

- Συλλογή των σχετικών εισροών ενέργειας και υλικών και περιβαλλοντικών εκλύσεων,
- Αξιολόγηση των δυνητικών επιπτώσεων που συνδέονται με προσδιορισμένες εισροές και εκλύσεις, και
- Ερμηνεία των αποτελεσμάτων για την υποστήριξη λήψεων πιο ενημερωμένων αποφάσεων.

Δυναμική Μοντελοποίηση (Dynamic Modeling)

Η Δυναμική Μοντελοποίηση θεωρείται ως μια κατάλληλη προσέγγιση για την πρόβλεψη δυναμικών αποτελεσμάτων, αλληλεπιδράσεων και την ανάλυση επιπτώσεων των διαφορετικών κλιματικών πολιτικών που δημιουργούν σύμπλοκα.

Η μέθοδος αυτή, μπορεί να ενσωματώσει αποτελεσματικά μεμονωμένα στοιχεία του κάθε συστήματος σε ένα γενικό πλαίσιο και στη συνέχεια να αναλύσει διεξοδικά τις αλληλεπιδράσεις τους.

Ύστερα από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας και τη διεξαγωγή των αποτελεσμάτων, όπως παρουσιάστηκαν στο

Κεφάλαιο 3. Μεθοδολογικό πλαίσιο αξιολόγησης επιλογών μετριασμού της κλιματικής αλλαγής με τη χρήση δεικτών, όλες οι μεθοδολογίες αξιολόγησης στο σύνολο τους παρουσιάζουν τα εξής σημαντικά χαρακτηριστικά:

- Επιτρέπουν τη χρήση ενός τεράστιου εύρους μεθόδων (όπως η Επιλογή Δεικτών (Indicator Selection), η Ανάλυση Σεναρίων (Scenario Analysis), η Συγκριτική Αξιολόγηση (Comparative Assessment), κ.α.) και υπό-μεθόδων (όπως η Ανάλυση Ευαισθησίας (Sensitivity Analysis), το Ολοκληρωμένο Περιβαλλοντικό Μοντέλο Ελέγχου (Integrated Environmental Control Model), η Πολυκριτηριακή Ανάλυση (Multi-Criteria Analysis), το Μοντέλο Ανάλυσης Κύκλου-Ζωής (Life-Cycle Analytical Model), κ.α.), και κατά συνέπεια επιτρέπουν την επίτευξη διεπιστημονικών προσεγγίσεων και συμπερασμάτων (βλ. **Παράρτημα 3.5**).
- Σύμφωνα με την συντριπτική πλειοψηφία των διαθέσιμων ερευνητικών μελετών μέχρι τώρα, τα συγκεκριμένα μεθοδολογικά πλαίσια, επιτρέπουν την πολυδιάστατη αξιολόγηση τεχνολογιών/πρακτικών, εξετάζοντας και αξιολογώντας τις διαφορετικές πτυχές τους, με αποτέλεσμα να προσεγγίζουν το θέμα της αξιολόγησης από μία ολιστική προοπτική.

Έχοντας διερευνήσει και παρουσιάσει τα βασικότερα χαρακτηριστικά των μεθοδολογικών πλαισίων της ανάλυσης/αξιολόγησης βιωσιμότητας, η παρούσα διπλωματική προβαίνει στην εξαγωγή ενός τελικού συνόλου δεικτών (όπως αυτό υποστηρίζεται ξανά από τη σχετική βιβλιογραφία), το οποίο προσεγγίζει ολιστικά την αξιολόγηση τεχνολογιών/πρακτικών μετριασμού της κλιματικής αλλαγής, εξετάζοντας τις 5 πιο βασικές διαστάσεις της βιωσιμότητας, όπως αυτές υπογραμμίζονται στην πλειοψηφία των βιβλιογραφικών πηγών. Το τελικό εξαγόμενο σύνολο δεικτών αξιολόγησης, όπως αυτό παρουσιάζεται στον παρακάτω **Πίνακα 10**, καταφέρνει να πληροί τις προδιαγραφές ευρωστίας (υπό την έννοια ότι οι δείκτες είναι σαφώς και αυστηρώς ορισμένοι και έχουν καθολική εφαρμογή σε όλες τις περιπτώσεις τεχνολογιών και πρακτικών υπό μελέτη) και βελτιστότητας (υπό την έννοια ότι σκοπός εξ' αρχής ήταν να εντοπίσουμε το μικρότερο αναγκαίο και ικανό σύνολο δεικτών που χρειάζεται για να περιγραφεί, να ορισθεί και να αξιολογηθεί πλήρως η βιωσιμότητα μίας τεχνολογίας ή μίας πρακτικής από όλες τις εξεταζόμενες σκοπιές).

Πίνακας 10: Επιλογή νέου συνόλου Δεικτών Αξιολόγησης

Οικονομική Διάσταση	Κόστος Κύκλου Ζωής
	Μικροοικονομικά Κόστη
	Ενεργειακή Ασφάλεια
	Άλλοι
Περιβαλλοντική Διάσταση	Άλλοι
	Εκπομπές Αερίων Θερμοκηπίου ανά προϊόν
	Χρήση γης
	Αιωρούμενα Σωματίδια
	Εξάντληση των μη ενεργειακών πόρων
	Στερεά και Υγρά Απόβλητα
Κοινωνική	Κοινωνικο-οικονομικοί Κίνδυνοι
	Αποδοχή από το Κοινό
	Υιοθέτηση Εθελοντισμού

Διάσταση	Νέες Θέσεις Εργασίας
	Προτιμήσεις καταναλωτή
	Τοπική Αυτονομία
Διάσταση Ετοιμότητας της Αγοράς	Επίπεδο αναγκαίων τεχνικών και επιχειρηματικών δεξιοτήτων
	Επίπεδο Ωριμότητας
	Ζήτηση της τεχνολογίας
	Άλλοι
Τεχνολογική Διάσταση	Αξιοπιστία της Τεχνολογίας και της Ικανοποίησης των Χρηστών
	Άλλοι
	Παραγωγή Ενέργειας
	Αβεβαιότητα σχετικά με τη Μελλοντική Απόδοση
	Επίπεδο Ικανότητας Ένταξης στα Σημερινά και στα Μελλοντικά Ενεργειακά Συστήματα

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα αποτελέσματα του

Κεφάλαιο 3. Μεθοδολογικό πλαίσιο αξιολόγησης επιλογών μετριασμού της κλιματικής αλλαγής με τη χρήση δεικτών για τελικούς δέκτες που δραστηριοποιούνται στον τομέα του Ενεργειακού Εφοδιασμού και Κατανάλωσης μιας και υποστηρίζουν και ενδυναμώνουν την έρευνα για συγκεκριμένα μεθοδολογικά πλαίσια αξιολόγησης τεχνολογιών/πρακτικών μετριασμού της κλιματικής αλλαγής και συνοψίζουν-παρουσιάζουν μεγάλο μέρος της υπάρχουσας γνώσης και των μέχρι τώρα επιστημονικών μελετών, αναδεικνύοντας παράλληλα πεδία και πτυχές οι οποίες χρήζουν περαιτέρω έρευνας.

Σε δεύτερο χρόνο η εν λόγω διπλωματική επιχείρησε την εφαρμογή μίας εκτενούς περίπτωσης μελέτης σχετικά με την τεχνολογία Δέσμευσης και Αποθήκευσης Άνθρακα (Carbon Capture and Storage - CCS) από τον τομέα Ενεργειακού Εφοδιασμού και Κατανάλωσης (βλ. **Κεφάλαιο 4.** Αναγνώριση αναγκών περαιτέρω αξιολόγησης για υπάρχουσες τεχνολογίες μετριασμού της κλιματικής αλλαγής στον τομέα Ενεργειακού Εφοδιασμού και Κατανάλωσης), ώστε να επιτευχθεί εντοπισμός κενών γνώσης και ερευνητικών προτεραιοτήτων προς ενημέρωση των ενδιαφερόμενων μερών.

Οι 3 κύριες τεχνολογίες Δέσμευσης και Αποθήκευσης Άνθρακα (Carbon Capture and Storage - CCS) αποτελούν κρίσιμο σημείο για την εξέλιξη των σταθμών παραγωγής ενέργειας ορυκτών καυσίμων με μηδενικές εκπομπές. Είναι απαραίτητο οι ερευνητικές προσπάθειες να επικεντρωθούν στην αντιμετώπιση των βασικών ζητημάτων που συνδέονται με την γεωλογική αποθήκευση του CO₂ συμπεριλαμβανομένης της ασφάλειας, της σταθερότητας της υπόγειας αποθήκευσης, καθώς και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από μία πιθανή διαρροή κάποιου υπόγειου ταμιευτήρα. Από την άλλη, η πολιτική στήριξη, η διάχυση, τα κίνητρα για την ευαισθητοποίηση του κοινού σχετικά με την εξεταζόμενη τεχνολογία αποτελούν ενέργειες, απαραίτητες για την μακροπρόθεσμη ανάπτυξη της. Τέλος, εκτός των περιβαλλοντικών αναδεικνύονται σημαντικές κοινωνικές, οικονομικές, πολιτικές και ηθικές πτυχές. Πρόκειται, λοιπόν, για ένα σύνθετο ζήτημα διεθνών επιπτώσεων και γι αυτό απαιτεί συντονισμένη δράση σε παγκόσμια κλίμακα.

Εν κατακλείδι, έχοντας εξετάσει/αναλύσει την τεχνολογία Δέσμευσης και Αποθήκευσης Άνθρακα - ΔΑΑ (βλ. **Error! Reference source not found.**) και λάβει υπόψη τις κύριες ανάγκες για περαιτέρω έρευνα, συνοψίσαμε τα βασικά μας συμπεράσματα όπως εξάγονται από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας στον παρακάτω **Πίνακας 11**.

Πίνακας 11: Επισκόπηση των πορισμάτων από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας

Ερευνητικές Προτεραιότητες	Μαθήματα από την βιβλιογραφία (Με λίγα λόγια)	Συμπερασματικές Παρατηρήσεις
4.3.3.1. Τεχνολογίες δέσμευσης CO₂: Τεχνικές προκλήσεις για την επίτευξη υψηλής απόδοσης και την αναβάθμιση υφιστάμενων εγκαταστάσεων	<ul style="list-style-type: none"> - Τεχνικά εφικτό σήμερα να ενσωματωθεί εξοπλισμός για τη δέσμευση CO₂ σε όλους τους τύπους νέων σταθμών ηλεκτροπαραγωγής που λειτουργούν με άνθρακα. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ειδικοί κανονισμοί που επιτρέπουν την επεκταθείσα επίδειξη και τη χρηματοδότηση περαιτέρω δραστηριοτήτων E&A για την επίλυση των εναπομεινουσών τεχνικών προκλήσεων των 3 κύριων τεχνολογιών δέσμευσης.
4.3.3.2. Μείωση του κόστους της τεχνολογίας ΔΑΑ και αύξηση της ανταγωνιστικότητάς της	<ul style="list-style-type: none"> - Θα χρησιμοποιηθούν προοδευτικά ακριβότερες τοποθεσίες αποθήκευσης, καθώς οι φθηνότερες έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί σε πρώιμα στάδια, - Κατά συνέπεια, η μείωση του κόστους χαρακτηρισμού και λειτουργίας με την πάροδο του χρόνου θα επιτευχθεί λόγω της επίδρασης των καμπυλών εκμάθησης. Ωστόσο, τα ποσοστά εκμάθησης μέχρι στιγμής για τον χαρακτηρισμό της τοποθεσίας είναι αργά δεδομένου του μεγάλου χρονικού διαστήματος κατά το οποίο μπορεί να αξιολογηθεί η απόδοση μιας εγκατάστασης αποθήκευσης, - Οι δραστηριότητες E&A και τα μαθησιακά αποτελέσματα είναι ζωτικής σημασίας, καθώς οι βελτιωμένες και ευρέως χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες θα μπορούσαν να μειώσουν το μελλοντικό κόστος. 	<ul style="list-style-type: none"> - Περαιτέρω έρευνα θα πρέπει να επικεντρωθεί στον καλύτερο χαρακτηρισμό της τοποθεσίας, εστιάζοντας στις μεγάλες εκτάσεις γης που αποτελούν ένα σημαντικό μέρος της χωρητικότητας αποθήκευσης, - Οι κυβερνήσεις θα πρέπει να υποστηρίξουν συγκεκριμένα τα σχέδια επίδειξης ΔΑΑ, καθώς η μάθηση μέσω χρήσης θα μειώσει το μελλοντικό κόστος, - Τα μελλοντικά ρυθμιστικά πλαίσια και οι μηχανισμοί κινήτρων θα πρέπει να επικεντρωθούν στην ενσωμάτωση της ΔΑΑ σε περιβάλλον τιμολόγησης άνθρακα που παρέχεται από το Ευρωπαϊκό Σύστημα Εμπορίας (European Trading System - ETS).
4.3.3.3. Υφιστάμενοι κανονισμοί/μηχανισμοί στήριξης και οικονομικά κίνητρα για την τεχνολογία ΔΑΑ	<ul style="list-style-type: none"> - Έχουν ήδη προταθεί πολυάριθμες επιδείξεις και για τα 3 υπάρχοντα είδη τεχνολογιών δέσμευσης. Εντούτοις: οι κρατικές χρηματοδοτήσεις δεν είχαν τεθεί σε ισχύ και η πρόοδος δεν ήταν αρκετά ταχεία/διάφορα προτεινόμενα έργα έχουν ακυρωθεί - και ακόμη περισσότερα αναμένεται ότι θα ακυρωθούν στο μέλλον, - Τα διαθέσιμα κρατικά κονδύλια καλύπτουν μόνο εν μέρει το κόστος εφαρμογής ΔΑΑ, - Οι κεφαλαιουχικοί και εμπορικοί μηχανισμοί υποστήριξης έχουν ήδη προωθηθεί ως ένας τρόπος μείωσης των φραγμών σχετικά με το κόστος υιοθέτησης της τεχνολογίας, - 80 "Ολοκληρωμένα έργα μεγάλης κλίμακας" ((Large-Scale Integrated Projects-LSIPs)) αντικατοπτρίζουν τις προσπάθειες ορισμένων κυβερνήσεων για την οικονομική υποστήριξη των πρώτων εμπορικών εφαρμογών ΔΑΑ (η πλειονότητα των δεσμεύσεων μέχρι σήμερα προέρχεται από αναπτυγμένες χώρες). 	<ul style="list-style-type: none"> - Περαιτέρω άμεση πολιτική στήριξη για την ανάπτυξη και επίδειξη των μονάδων FOAK για μείωση του κόστους τους. - Θα χρειαστούν πρόσθετες πολιτικές παροχής κινήτρων για την εξασφάλιση της μεγάλης κλίμακας ανάπτυξης της CCS. - Το ΣΕΔΕ της ΕΕ εξακολουθεί να αποτελεί το σημείο εκκίνησης για την προώθηση της ανάπτυξης της CCS στην ΕΕ.
4.3.3.4. Διάχυση της τεχνολογίας ΔΑΑ σε αναδυόμενες και αναπτυσσόμενες χώρες	<ul style="list-style-type: none"> - Η επιστημονική βιβλιογραφία αναδεικνύει την ανάγκη για ευρεία εμπορική ανάπτυξη της ΔΑΑ στις αναπτυσσόμενες οικονομίες. 	<ul style="list-style-type: none"> - Τιμολόγηση ή φορολόγηση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου στις χώρες αυτές, - Οι περαιτέρω κυβερνητικές πολιτικές και κίνητρα παραμένουν ασαφείς και πρέπει να αντιμετωπιστούν, - Ανάγκη για τουλάχιστον 20 "Ολοκληρωμένα έργα μεγάλης κλίμακας" ((Large-Scale Integrated Projects-LSIPs)), μέχρι το 2020, ώστε να προωθηθεί η εμπορική ανάπτυξη της ΔΑΑ στις αναπτυσσόμενες χώρες

<p>4.3.3.6. Διερεύνηση εφαρμογής της τεχνολογίας ΔΑΑ σε άλλες βιομηχανίες εκτός του τομέα ηλεκτροπαραγωγής</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Αρκετές βιομηχανικές εφαρμογές μέχρι στιγμής. Σημαντικά λιγότερη προσοχή, τόσο σε ερευνητικό επίπεδο, όσο και σε επίπεδο κυβερνητικών πολιτικών, σε σύγκριση με την εφαρμογή της ΔΑΑ στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής, - Μόνο 3 βιομηχανικά έργα ταξινομούνται ως "Ολοκληρωμένα έργα μεγάλης κλίμακας" ((Large-Scale Integrated Projects-LSIPs)) μέχρι στιγμής, - Οι τρέχουσες πολιτικές είναι προβληματικές λόγω πιθανών διαρροών άνθρακα, - Έλλειψη εφαρμογών παρατηρείται στους βιομηχανικούς τομείς. 	<ul style="list-style-type: none"> - Περαιτέρω πολιτικές και κανονιστικά-ρυθμιστικά πλαίσια, ειδικά για βιομηχανικές εφαρμογές, για την ενθάρρυνση περισσότερων έργων, - Για την επίτευξη εμπορικής ωριμότητας, το σημερινό οικονομικό και πολιτικό περιβάλλον απαιτεί στοχευμένες δημόσιες επενδύσεις σε πιλοτικά έργα και έργα επίδειξης, - Οι τρέχουσες τεχνολογίες δέσμευσης είναι ώριμες σε κάποιες από αυτές τις εφαρμογές, ωστόσο περισσότερη εκμάθηση απαιτείται ακόμα.
<p>4.3.3.7. Περαιτέρω έρευνα για έρευνα νέων καινοτόμων τρόπων χρήσης του δεσμευμένου CO₂, αντί της αποθήκευσής του</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Τα έργα αξιοποίησης και αποθήκευσης άνθρακα (CCUS) είναι πιθανόν να είναι τα πρώτα έργα επίδειξης CCS που υλοποιούνται, - Το CO₂ παρέχει μια ροή εσόδων που βοηθά την εμπορική βιωσιμότητα των έργων ΔΔΑ, - Οι κυριότεροι τρόποι χρήσης του CO₂ στις εφαρμογές ΔΑΑ είναι η Ενισχυμένη Ενάκτηση Πετρελαίου (Enhanced Oil Recovery) και φυσικού αερίου, η Ορυκτοποίηση (Mineralization) και η Βιοδιέγερση (Bio-Stimulation). 	<ul style="list-style-type: none"> - Θα πρέπει να διερευνηθεί η περαιτέρω χρήση του CO₂ σε ορισμένες άλλες βιομηχανικές διεργασίες, όπως η μεταλλοποίηση (ή η ενανθράκωση), η φαρμακευτική και χημική επεξεργασία και οι γεωργικές και βιολογικές εφαρμογές.
<p>4.3.3.8. Αναγνώριση και αξιολόγηση προϊόντων με την ικανότητα μόνιμης δέσμευσης και αποθήκευσης των εκπομπών CO₂</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Οι τεχνικές ενανθράκωσης έχουν το πλεονέκτημα να παγιδεύουν με ασφάλεια το CO₂, - Οι τεχνικές ενανθράκωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή δομικών υλικών ή την κατασκευή βιομηχανικών πρώτων υλών που συλλέγουν και αποθηκεύουν με ασφάλεια το CO₂, - Η χρήση αλκαλικών βιομηχανικών αποβλήτων και παραπροϊόντων επιτρέπει φθηνότερες διαδικασίες για τον καθορισμό του CO₂, - Λίγες διαδικασίες που χρησιμοποιούν βιομηχανικά υπολείμματα έχουν ήδη φθάσει σε πιλοτικό στάδιο. 	<ul style="list-style-type: none"> - Τα βιομηχανικά απόβλητα πρέπει να μετατραπούν σε πολύτιμα προϊόντα, διατηρώντας τις παρθένες πρώτες ύλες και μετριάζοντας τις εκπομπές CO₂, - Οι περαιτέρω ερευνητικές προσπάθειες θα πρέπει να επικεντρωθούν σε εναλλακτικές τεχνικές δέσμευσης, όπως η ενανθράκωση, - Περαιτέρω έρευνα θα πρέπει να επικεντρωθεί στην εμπορευματοποίηση διεργασιών που χρησιμοποιούν βιομηχανικά υπολείμματα, ώστε να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή πολύτιμων προϊόντων με υψηλότερη χωρητικότητα CO₂.

5.2 Προοπτικές

Με την περάτωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αναδύονται ορισμένες προοπτικές εξέλιξης και περαιτέρω έρευνας, ως προς τα μεθοδολογικά πλαίσια βάσει των οποίων δομήθηκε και ως προς τη βελτίωση τη συλλογής και καταγραφής της πληροφορίας, με σκοπό τον καλύτερο εντοπισμό κενών γνώσης και αναγκών για περαιτέρω έρευνα.

Συνοπτικά:

- ❖ Κατά τη μελέτη και την ανάλυση της διαθέσιμης βιβλιογραφίας χρησιμοποιήθηκε ένας ικανοποιητικός αριθμός διαφορετικών πηγών, πενήντα (50) στο
 - ❖ **Κεφάλαιο 3.** Μεθοδολογικό πλαίσιο αξιολόγησης επιλογών μετριασμού της κλιματικής αλλαγής με τη χρήση δεικτών και σαράντα ένα (41) στο **Error! Reference source not found.** από τις οποίες αντλήθηκαν σημαντικά δεδομένα και πληροφορίες για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Για μεγαλύτερη πληρότητα, διαθεσιμότητα στοιχείων και μικρότερη πιθανότητα σφάλματος στην εξαγωγή συμπερασμάτων, το σύνολο των εξεταζόμενων πηγών μπορεί να αυξηθεί και στις δύο περιπτώσεις, ώστε να περιλαμβάνουν ένα μεγαλύτερο εύρος επιστημονικών απόψεων και δεδομένων.
 - ❖ Στην παρούσα διπλωματική εργασία, έπειτα από την ανασκόπηση και διερεύνηση της βιβλιογραφίας, εξήχθη ένα τελικό σύνολο δεικτών, των μεθοδολογικών πλαισίων που μελετήθηκαν. Προτείνεται ως περαιτέρω έρευνα να μελετηθεί η εξαγωγή ενός νέου συνόλου δεικτών, που θα προκύψει υπό το πρίσμα των τεχνολογιών – όχι δηλαδή υπό το πρίσμα των διαφορετικών μεθοδολογιών αξιολόγησης, όπως πραγματοποιήθηκε στη συγκεκριμένη διπλωματική.
 - ❖ Στην παρούσα διπλωματική εργασία επιλέχθηκε η ανάλυση του τομέα του ενεργειακού εφοδιασμού και κατανάλωσης. Σαν περαιτέρω έρευνα προτείνεται η εφαρμογή του ερευνητικού εγχειρήματος που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής και σε άλλους τομείς εφαρμογής δράσεων μετριασμού της κλιματικής αλλαγής, όπως ο κτιριακός, ο βιομηχανικός, ο τομέας των μεταφορών, κλπ, για αντίστοιχες τεχνολογίες ή/και πρακτικές μετριασμού. Η ανάλυση στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να συμβαδίζει με τις ανάγκες του εκάστοτε τομέα και την αντίστοιχη διαθέσιμη πληροφορία στη βιβλιογραφία.
 - ❖ Προτείνεται η σύνταξη μιας πλήρους αναφοράς για κάθε τεχνολογία/πρακτική μετριασμού που εξετάζεται, στην οποία θα περιγράφονται πλήρως και αναλυτικά τα χαρακτηριστικά της τεχνολογίας, καθώς και όλα τα στοιχεία εκείνα που σχετίζονται με τη βιωσιμότητά της σε όλες τις διαστάσεις της, σύμφωνα με το σύνολο δεικτών αξιολόγησης που έχει εξαχθεί από την παρούσα εργασία. Η αναφορά αυτή θα αποτελεί πλήρη οδηγό για τα κατά περίπτωση ενδιαφερόμενα μέρη (επιστήμονες, ερευνητές, τεχνολόγοι, επενδυτές, κ.λπ.).
 - ❖ Επιπλέον, ένα σημείο στο οποίο το μεθοδολογικό πλαίσιο και η αντίστοιχη υλοποίησή του, όπως παρουσιάζονται στην παρούσα διπλωματική, υστερούν, είναι η έλλειψη διαβούλευσης με ενδιαφερόμενα μέρη και εμπειρογνώμονες από τη βιομηχανία, τον ακαδημαϊκό χώρο, τους αρμόδιους δημόσιους ή ιδιωτικούς φορείς, τους αρμόδιους

κυβερνητικούς φορείς, κτλ. Η υλοποίηση κατάλληλων συνεντεύξεων στα πλαίσια διαβουλεύσεων θα ενδυναμωने ουσιαστικά την παρούσα μεθοδολογική προσέγγιση και θα την έκανε ακόμα πιο εύρωστη ως προς τα τελικά της αποτελέσματα. Πιο συγκεκριμένα, η ανάδραση από μία τέτοια πρωτοβουλία διαβούλευσης θα βελτίωνε σε μεγάλο βαθμό το τελικό εξαγόμενο σύνολο δεικτών, καθώς θα περιέκλειε πληροφορία από εμπειρογνώμονες ειδικούς στην αξιολόγηση τεχνολογιών. Επίσης, μία τέτοια ενδυναμωμένη μεθοδολογική προσέγγιση, θα οδηγούσε στην αναγνώριση/εντοπισμό συγκεκριμένων κενών γνώσης, προκλήσεων και αναγκών για περαιτέρω έρευνα, σύμφωνα με εμπειρογνώμονες και ενδιαφερόμενα μέρη, κάτι το οποίο οδηγεί σε επόμενη φάση σε μία πιο στοχευόμενη αναζήτηση στη βιβλιογραφία.

- ❖ Τέλος, στην παρούσα διπλωματική εργασία περιγράφησαν οι τρέχουσες προκλήσεις και οι ερευνητικές ανάγκες σχετικά με την τεχνολογία ΔΑΑ. Προτείνεται να πραγματοποιηθεί σε περαιτέρω έρευνα, η ανάλυση και η περιγραφή των αντίστοιχων πληροφοριών για υπάρχουσες τεχνολογίες μετριασμού της κλιματικής αλλαγής, και ειδικότερα αναδυόμενες τεχνολογίες, με σκοπό τη γεφύρωση κενών γνώσης μεταξύ ερευνητικών μελετών και αναγκών της βιομηχανίας/αγοράς για τη χάραξη κατευθύνσεων για περαιτέρω έρευνα στο μέλλον.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] United Nations, 'UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE', διαθέσιμο από <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>, [στο διαδίκτυο], [Πρόσβαση: 08.08.2017]
- [2] Tokar B. (2013), "Κλιματική Δικαιοσύνη, Προοπτικές για την Κλιματική Κρίση και την Κοινωνική Αλλαγή", μτφρ. Καραγεωργιάκης Σ., Θεσσαλονίκη.
- [3] WWF, <http://www.wwf.gr/sustainable-economy/clean-energy/climate-change> [στο διαδίκτυο], [Πρόσβαση: 08.08.2017]
- [4] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2007), 'Climate change 2007: Synthesis report - Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change', Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva
- [5] Wikipedia: https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CE%BB%CE%B9%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CE%B1%CE%BB%CE%BB%CE%B1%CE%B3%CE%AE [στο διαδίκτυο], Πρόσβαση: [08.08.2017]
- [6] Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (ΥΠΕΚΑ) (2012), Επίσημη ιστοσελίδα URL: <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=226> [στο διαδίκτυο], [Πρόσβαση: 08.08.2017]
- [7] WWF, http://www.wwf.gr/images/pdfs/odikos_xartis.pdf [στο διαδίκτυο], [Πρόσβαση: 08.08.2017]
- [8] Μπερκοβίτς Α. (2012), « Διπλωματική εργασία Κλιματική Αλλαγή Και Τοπική Αυτοδιοίκηση, Αρμοδιότητες και Ενέργειες», Μυτιλήνη, Σεπτέμβριος
- [9] ΕΟΠ (Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος), <https://www.eea.europa.eu/el/themes/climate/intro> [στο διαδίκτυο], [Πρόσβαση: 08.08.2017]
- [10] Stern N., (2007), The Economics of Climate Change: The Stern Review, Cambridge: Cambridge University Press.
- [11] Echnernacht L., Thema J. & Berg H. (2015), "Deliverable D.2.3: Integrated analysis of D2.1 and D2.2 to assess the feasibility of different transition pathways", Country Report 4: The German heat domain, December
- [12] Σολομώντος Ρ. (2014), « Διπλωματική εργασία Η πρόκληση της κλιματικής αλλαγής και η αντιμετώπισή της: Διεθνές Πλαίσιο, Ευρωπαϊκή Πολιτική και Περιφερειακές Στρατηγικές», Θεσσαλονίκη
- [13] Martins, R.D.A. and Ferreira, L.C., (2011), Opportunities and constraints for local and subnational climate change policy in urban areas: insights from diverse contexts, International Journal of Global Environmental Issues, Vol. 11, No. 1: 37–53.
- [14] Κάνλης, Ι. (2012), « Διπλωματική εργασία Αξιολόγηση Μέτρων Αντιμετώπισης της Κλιματικής Αλλαγής με χρήση Πολυκριτηριακής Ανάλυσης», Θεσσαλονίκη, Ιούλιος
- [15] Wikipedia: https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%BD%CE%B1%CE%BD%CE%B5%CF%8E%CF%83%CE%B9%CE%BC%CE%B5%CF%82_%CE%80%CE%B7%CE%B3%CE%AD%CF%82_%CE%B5%CE%BD%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1%CF%82#.CE.92.CE.B9.CE.B2.CE.BB.CE.B9.CE.BF.CE.B3.CF.81.CE.B1.CF.86.CE.AF.CE.B1 [στο διαδίκτυο], Πρόσβαση: [28.10.2017]
- [16] Κέντρο Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης Καστοριάς, 'Τι είναι γεωθερμική ενέργεια', διαθέσιμο από <http://kpe-kastor.kas.sch.gr/energy1/alternative/geothermal.htm> [στο διαδίκτυο], [Πρόσβαση: 28.10.2017]
- [17] Αρβανίτης Α. (2008), «Μύθοι και πραγματικότητα για τη γεωθερμία», Υπουργείο Ανάπτυξης, Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Αθήνα
- [18] Κουτελιδάκης Κωνσταντίνος (2010), «Εφαρμογή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε στρατόπεδο», Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Ρευστών, Επιβλέπων: Αρθούρος Ζερβός, Αθήνα, Σεπτέμβριος
- [19] Global Wind Energy Council (GWEC) (2008), December
- [20] Τσιλικιρίδης Γ. (2006), «Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας», διδακτικές σημειώσεις, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Ενεργειακός Τομέας, Εργαστήριο Κατασκευής Συσκευών Διεργασιών
- [21] Μαυράκος Σ. Α. (2007) «Θαλάσσια Ενέργεια», Τμήμα Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών Ε.Μ.Π., Εργαστήριο Πλωτών Κατασκευών και Συστημάτων Αγκύρωσης
- [22] European Thematic Network on Wave Energy, Centre for Renewable Energy Sources (CRES) (2002), 'Wave Energy Utilization in Europe' Brochure'
- [23] Λιάπης Ν. (2010), «Βιοκαύσιμα στην Ελλάδα: Υπάρχουσα κατάσταση και προοπτικές»,ΕΛΙΝΟΙΛ Α.Ε.
- [24] Τριανταφυλλίδης Κ. (2007), «Έρευνα για τα βιοκαύσιμα 2ης γενιάς», Σύγχρονες εξελίξεις στον ενεργειακό τομέα και επιπτώσεις στο περιβάλλον, Exrolink 2007, ΙΤΧΗΔ/ΕΚΕΤΑ
- [25] Παπαδόπουλος Α & Μουσιόπουλος Ν. (1999), «Θέρμανση – Ψύξη - Κλιματισμός», διδακτικές σημειώσεις, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Ενεργειακός Τομέας, Εργαστήριο Μετάδοσης Θερμότητας και Περιβαλλοντικής Μηχανικής
- [26] Fauset C. (2009), 'Techno-fixes a critical guide to climate change technologies', Corporate Watch report, London, United Kingdom'Wikipedia: https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%93%CE%BA%CF%81%CE%AF%CE%B6%CE%B1_%CE%B2%CE%B9%CE%B2%CE%BB%CE%B9%CE%BF%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%86%CE%AF%CE%B1 [στο διαδίκτυο], [Πρόσβαση: 20.09.2017]
- [27] Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Scientific_literature [στο διαδίκτυο], [Πρόσβαση: 20.09.2017]
- [28] Warren P., "Demand-Side Management Policy: Failure and Transferability", London
- [29] Zijp M. (2015), "An identification key for selecting methods for sustainability assessments." Sustainability 7.3: 2490-2512
- [30] Rai D. (2010), "Overview of Essential technology features and parameters for the Assessment of Emerging Technologies,

227078.", PROSUITE, Utrecht

- [31] Πρεκάτε Α., (2016), « Διπλωματική εργασία Ανάπτυξη μεθοδολογικού πλαισίου για την αξιολόγηση της διαθέσιμης βιβλιογραφίας και την αναγνώριση αναγκών για περαιτέρω έρευνα σε τεχνολογίες μετριασμού της κλιματικής αλλαγής.», Αθήνα, Οκτώβριος
- [32] Xian Tan H., Yeoa Z., Nga R., Bestari Tjandraa T. & Songa B. (2015), 'A sustainability indicator framework for Singapore small and medium-sized manufacturing enterprises', Scientific publication, Volume 29, pp. 132 – 137
- [33] Ioannou A., Angus A. & Brennan F. (2017), 'Risk-based methods for sustainable energy system planning: A review', Scientific publication, Volume 74, pp. 602 - 615
- [34] Toften K. & Hammervoll T. (2013), 'Niche marketing research: status and challenges', Marketing Intelligence & Planning, Scientific publication, Volume 31, Iss 3, pp. 272 – 285
- [35] Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Σχολή Περιβάλλοντος, Τμήμα Περιβάλλοντος, 'Regime Analysis', διαθέσιμο από: <http://www1.aegean.gr/environment/energy/mcda/library/Regime%20and%20Flag.pdf> [στο διαδίκτυο], [Πρόσβαση: 20.09.2017]
- [36] Ness B., Urbel - Piirsalu E., Anderberg S. & Olsson L. (2007), 'Categorising Tools for Sustainability Assessment.' Ecological Economics, Volume 60, pp. 498–508
- [37] Grafakos S., Enseñado E. M. & Flamos A (2017), 'Developing an integrated sustainability and resilience framework of indicators for the assessment of low-carbon energy technologies at the local level', International Journal of Sustainable Energy, Volume 36, Iss. 10, pp. 945-971
- [38] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2014), 'Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Cambridge, UK.: Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change', Cambridge University Press (W.)
- [39] Edmonds, J.A., Calvin, K.V., Clarke, L.E., Janetos, A.C., Kim, S.H., Wise, M.A. & McJeon, H.C. (2012), 'Integrated assessment modeling. In: Meyers, R.A. (Ed.)', Encyclopedia of Sustainability Science and Technology, Volume 1, Springer Reference, New York
- [40] McJeon, H.C., Clarke, L., Kyle, P., Wise, M., Hackbarth, A., Bryant, B.P. & Lempert, R.J. (2011), 'Technology interactions among low-carbon energy technologies: what can we learn from a large number of scenarios?', Energy Econ, Volume 33, Iss. (4), pp. 619–631
- [41] Bosetti V., Marangoni G., Borgonovo E., Anadon L.D., Barron R., McJeon H., Politis S. & Friley P. (2015), 'Sensitivity to energy technology costs: A multi-model comparison analysis', Scientific publication, Volume 80, pp. 244–263
- [42] Arabi M., Meals D. W. & Hoag D. (2012), 'Lessons Learned from the NIFA-CEAP: Simulation Modeling for the Watershed-scale Assessment of Conservation Practices', NC State University, Raleigh, NC
- [43] Horschig T. & Thrän D. (2017), 'Are decisions well supported for the energy transition? A review on modeling approaches for renewable energy policy evaluation', Scientific publication, Volume 7, Iss. 5
- [44] Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Life-cycle_assessment#LCI_Methods [στο διαδίκτυο], [Πρόσβαση: 05.10.2017]
- [45] Guan D., Gao W., Su W., Li H. & Hokao K. (2011), 'Modeling and dynamic assessment of urban economy–resource–environment system with a coupled system dynamics – geographic information system model', Scientific publication, Volume 11, Iss. 5, pp. 1333-1344
- [46] United Nations, 'Technology Needs Assessment for Climate Change', διαθέσιμο από http://unfccc.int/ttclear/misc/_StaticFiles/gnwoerk_static/TNR_HAB/b87e917d96e94034bd7ec936e9c6a97a/1529e639caec4b53a4945ce009921053.pdf [στο διαδίκτυο], [Πρόσβαση: 27.11.2017]
- [47] Wang Ke et al. " Methodology Frame of Mitigation Technology Needs Assessment" GEF China Climate Technology Needs Assessment (TNA) Project
- [48] IPCC, (2014): Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- [49] <http://www.climatetechwiki.org>
- [50] Oekom, Position paper on Carbon Capture & Storage, July 2010: http://www.oekom-research.com/homepage/german/oekom_PositionPaper_CCS.pdf
- [51] EuLa, European Lime Association, Future of Carbon Capture and Storage (CCS) in Europe, 2014.

- [52] Kathrin Volkart, Christian Bauer, Céline Boulet, Life cycle assessment of carbon capture and storage in power generation and industry in Europe, *International Journal of Greenhouse Gas Control*, Volume 16, August 2013, Pages 91-106, ISSN 1750-5836, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijggc.2013.03.003>.
- [53] Intergovernmental Panel on Climate Change Special Report on Carbon Capture and Storage (IPCC SRCSS), 2005, available from <http://www.ipcc.ch/ipccrreports/special-reports.htm>.
- [54] Thailand - Technology Needs Assessment Report for Climate Change Mitigation, Coordinated by National Science Technology and Innovation Policy Office, Thailand 2012.
- [55] 21st Century Coal Advanced Technology and Global Energy Solution, Report by the IEA Coal Industry Advisory Board, OECD/IEA 2013
- [56] Dennis Y.C. Leung, Giorgio Caramanna, M. Mercedes Maroto-Valer, An overview of current status of carbon dioxide capture and storage technologies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (39), 2014, p. 426-443, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.093>.
- [57] Fifth International Conference on Clean Coal Technologies (CCT2011) (2011), *IGCC and Pre combustion Carbon Capture I, II, III*, 8-12 May 2011, Zaragoza, Spain, available from: <http://www.cct2011.org/ibis/CCT2011-website/my-event>
- [58] Technology Roadmap, Carbon Capture and Storage, IEA, 2013 edition.
- [59] D. Rai, M. Harmelink, M. K. Patel, M Goedkoop, J. Fontes, S. DeMeester, J. DeWulf, P. Sellke, R. Schroeter, L. Talens, G. Villalba & R. Ayers (2010), *Overview of essential technology features and parameters for the assessment of emerging technologies*, Final Report, PROSUITE project, Utrecht, March 2010
- [60] Herzog, H. & Colomb, D.: Carbon capture and storage from fossil fuel use, In: *Encyclopedia of Energy*, Vol.1, Article Number: NRGY 00422, Elsevier, 2004.
- [61] Carbon capture and storage in Europe, EASAC policy report 20, May 2013.
- [62] IEA, (2011a). Combining Bioenergy with CCS Reporting and Accounting for Negative Emission under UNFCCC and the Kyoto Protocol, Working Paper by the IEA International energy agency, OECD/IEA, Paris, France.
- [63] Carbon credit supply potential beyond 2012, A bottom-up assessment of mitigation options, ECN.
- [64] Mc Donald A. & Schrattenholzer L., Learning rates for energy technologies, *Energy Policy*, 2001, vol. 29, issue 4, 255-261
- [65] Rubin S. E., Chen C. & Rao A.B., Cost and performance of fossil fuel power plants with CO₂ capture and storage, *Energy Policy*, 2007, vol. 35, pp. 4444-4454
- [66] Jones, D.A., T.F. McVey & S.J. Friedmann (2012), Technoeconomic Evaluation of MEA versus Mixed Amines for CO₂ Removal at Near-Commercial Scale at Duke Energy Gibson 3 Plant, report LLNL-TR-607574, Lawrence Livermore National Laboratory
- [67] Roine K. & Hasselknippe H. (2007), Carbon 2007 - a new climate for carbon trading, Point Carbon, Oslo, Norway
- [68] Groenenberg H. & Coninck H.C. (2008), Effective EU and Member State policies for stimulating CCS, *International Journal for Greenhouse Gas Control*, Volume 2, pp.653-664
- [69] Fuss S., Reuter W., Wood R., Hertwich E. & Sanders M. (2013), *The Impact of Uncertainty on Technology Adoption*, Report, PROSUITE project, Laxenburg, January 2013
- [70] Commission Staff Working Document, Accompanying document to the Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the geological storage of carbon dioxide Impact Assessment, Commission European Communities, Brussels, 2008.
- [71] IEA/CSLF, (2010), IEA/CSLF report to the Muskoka 2010 G8 Summit. Carbon capture and storage: progress and next steps, Report by the IEA International energy agency, OECD/IEA, Paris, France.
- [72] N., Florin, P., Fennell, Carbon capture technology: future fossil fuel use and mitigating climate change, Grantham Institute for Climate Change, Briefing paper No. 3, November 2010
- [73] Edward S. Rubin and HaiboZhai, The Cost of Carbon Capture and Storage for Natural Gas Combined Cycle Power Plants, *Environ. Sci. Technol.*, 2012, 46 (6), pp 3076-3084.
- [74] Technology Needs Assessment Report, Volume 2 - Climate Change Mitigation in Mongolia, Coordinated by Climate Change Coordination Office of the Ministry of Environment and Green Development, Mongolia, Mongolia 2013.
- [75] Wallquist, L., Visschers, V.H.M., Siegrist, M., Impact of Knowledge and Misconceptions on Benefit and Risk Perception of CCS, *Environ. Sci. Technol.*, 2010, 44 (17), pp 6557-6562, DOI: 10.1021/es1005412.
- [76] M., Blunt, Carbon dioxide storage, Grantham Institute for Climate Change, Briefing paper No. 4, December 2010.
- [77] Ramirez A., Schakel W., Wood R. & Grytli T. (2013), Final Deliverable W6, D6.4: Coal power plants with carbon capture and storage – A sustainability assessment, Report, PROSUITE project, October 2013.
- [78] IEA/UNIDO, (2011), Technology Roadmap Carbon Capture and Storage in Industrial Applications, Report by the IEA International energy agency and UNIDO United Nations Industrial Development Organization.
- [79] Global CCS Institute (2013), *The Global Status of CCS 2013*, Australia
- [80] Mc Glashan NR & Marquis AI, 2007, Availability analysis of post-combustion carbon capture systems: minimum work input, PROCEEDINGS OF THE INSTITUTION OF MECHANICAL ENGINEERS PART C-JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING SCIENCE, Vol: 221, Pages: 1057-1065
- [81] Bhowan A.S. & Freeman B.C., 2011, Analysis and status of post-combustion carbon dioxide capture technologies., *Environ Sci Technol.*, Vol: 20, Pages: 8624-8632
- [82] Zhai H, Rubin ES, Versteeg PL (2011), Water use at pulverized coal power plants with postcombustion carbon capture and storage, *Environ Sci Technol.*, Vol: 45, Iss: 6, pp: 2479-2485

- [83] European Chemical Industry Council (Cefic) (2011), Facts and Figures 2011 The European chemical industry in a worldwide perspective
- [84] CSLF, 2009, CCS integrated project database (on line). Washington DC, Secretariat Carbon Sequestration Leadership Forum
- [85] Lackner K.S., Wendt C.H., Butt D.P., Joyce E.L. & Sharp D.H., 1995, 'Carbon dioxide disposal in carbonate minerals', *Energy* 20, pp. 1153-1170
- [86] Mc Grail B.P., Schaef H.T., Ho M.A., Chien Y.J., Dooley J.J. & Davidson C.L. (2006), Potential for carbon dioxide sequestration in flood basalts, *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, VOL. 111, B12201, doi:10.1029/2005JB004169
- [87] Aradóttir E.S.P., Sonnenthal E.L. & Jónsson H. (2012), Development and evaluation of a thermodynamic dataset for phases of interest in CO₂ mineral sequestration in basaltic rocks, Scientific Publication, Volumes 304–305, Pages 26-38
- [88] Quaghebeur, M., Nielsen, P., Laenen, B., Nguyen, E., and Van Mechelen, D. (2010). Carbstone: sustainable valorisation technology for fine grained steel slags and CO₂. *Refract. Worldforum* 2, 75–79
- [89] World Steel Association (2010), World Steel in Figures 2010, [διαθέσιμο στο ίντερνετ], http://www.steelonthenet.com/kb/files/World_Steel_in_Figures_2010.pdf, [πρόσβαση: 26/11/2017]
- [90] Luong S., Liu K. & Robey J. (2012), 'Sustainability Assessment Framework for Renewable Energy Technology', Conference Paper
- [91] Banuls V.A. & Salmeron J.L. (2007), 'A Scenario-Based Assessment Model—SBAM', Scientific publication, Volume 74, pp. 750–762
- [92] Rogge K.S., Friedrichsen N. & Schlomann B. (2015), "Deliverable D2.3: 'Integrated analysis of the feasibility of different transition pathways'", Country report 1: Feasibility of transition pathways in German electricity system, December
- [93] Geels F., McMeekin A. & Hodson M. (2015), "Deliverable D2.3: 'Integrated analysis of the feasibility of different transition pathways'", Country report 2: The UK electricity system, December
- [94] Criqui P., Mima S., Menanteau P. & Kitous A. (2015), 'Mitigation strategies and energy technology learning: an assessment with the POLES model', Scientific publication, Volume 90, pp.119-136
- [95] FEEM (2014), "DELIVERABLE No 4.1 Report on how to improve the representation of technical change into IAMs", Advanced Model Development and Validation for Improved Analysis of Costs and Impacts of Mitigation Policies, Report, June
- [96] Dzebo A. & Nykvist B. (2015), "Deliverable D2.3: 'Integrated analysis of the feasibility of different transition pathways'", Country report 3: The Swedish heat system, December
- [97] Echternacht L., Thema J. & Berg H. (2015), "Deliverable D2.3: 'Integrated analysis of D2.1 and D2.2 to assess the feasibility of different transition pathways'", Country report 4: the German heat domain, December
- [98] Turnheim B. (2015), "Deliverable D2.3: 'Integrated analysis of D2.1 and D2.2 to assess the feasibility of different transition pathways'", Country report 5: the UK heating system, December
- [99] Kriegler E. (PIK), Tavoni M. (FEEM), Aboumahboub T. (PIK), Luderer G. (PIK), Calvin K. (PNNL) & Bob van der Zwaan (ECN) (2013), "DELIVERABLE No 1.1 [Report on the various mitigation requirements compatible with a global 2°C target]", Report, October
- [100] Zhang X., Shen J., Xu P., Zhao X. & Xu Y. (2014), 'Socio-economic performance of a novel solar photovoltaic/loop-heat-pipe heat pump water heating system in three different climatic regions, Scientific publication, Volume 135, pp. 20-34
- [101] Odeh N. & Cockerill T. (2008), 'Life cycle analysis of UK coal fired power plants', Scientific publication, Volume 36, pp. 367-380
- [102] Sweere A.P.J., Luyben K. Ch. A. M. & Kossen N. W. F. (1987), "Regime analysis and scale-down: tools to investigate the performance of bioreactors", review, vol. 9, pp. 386-398, July
- [103] Rhodes J.S. & Keith D.W. (2005), 'Engineering economic analysis of biomass IGCC with carbon capture and storage', Scientific publication, Volume 29, pp. 440–450
- [104] Odeh N. & Cockerill T. (2008), 'Life cycle GHG assessment of fossil fuel power plants with carbon capture and storage', Scientific publication, Volume 49, pp. 212-220
- [105] Collet P., Hélias A., Lardon L., Ras M., Goy R.A. & Steyer J.P. (2011), 'Life-cycle assessment of microalgae culture coupled to biogas production', Scientific publication, Volume 102, pp. 207–214
- [106] Tzolakis G., Papanikolaou P., Kolokotronis D., Samaras N., Tzourlidakis A. & Tomboulides A. (2012), 'Simulation of a coal-fired power plant using mathematical programming algorithms in order to optimize its efficiency', Scientific publication, Volume 48, pp. 256-267
- [107] Koornneef J., Tim van Keulen, Faaij A. & Turkenburg W. (2008), 'Life cycle assessment of a pulverized coal power plant with post-combustion capture, transport and storage of CO₂', Scientific publication, Volume 2, pp. 448–467
- [108] Pehnt M. & Henkel J. (2009), 'Life cycle assessment of carbon dioxide capture and storage from lignite power plants', Scientific publication, Volume 3, pp. 49–66
- [109] Ling-Chin J., Heidrich O. & Roskilly A.P. (2016), 'Life cycle assessment (LCA) – from analysing methodology development to introducing an LCA framework for marine photovoltaic (PV) systems', Scientific publication, Volume 59, pp. 352–378
- [110] Rubin E.S., Yeh S., Antes M., Berkenpas M. & Davison J. (2007), 'Use of experience curves to estimate the future cost of power plants with CO₂ capture, Scientific publication, Volume 1, pp. 188–197
- [111] Ordorica-Garcia G., Douglas P., Croiset E. & Zheng L. (2006), 'Technoeconomic evaluation of IGCC power plants for CO₂ avoidance', Scientific publication, Volume 47, pp. 2250–2259
- [112] Verbruggen A., Laes E. & Lemmens S. (2014), 'Assessment of the actual sustainability of nuclear fission power', Scientific publication, Volume 32, pp. 16–28

- [113] Volkart K., Bauer C. & Boulet C. (2013), 'Life cycle assessment of carbon capture and storage in power generation and industry in Europe', Scientific publication, Volume 16, pp. 91–106
- [114] Dombi M., Kuti I. & Balogh P. (2014), "Sustainability assessment of renewable power and heat generation technologies", Scientific publication, Volume 67, pp. 264–27
- [115] Thomassen G., Miet Van Dael, Lemmens B. & Steven Van Passel (2016), 'A review of the sustainability of algal-based biorefineries: Towards an integrated assessment framework', Scientific publication, Volume 68, part 2, pp. 876-887
- [116] Traverso M., Asdrubali F., Francia A. & Finkbeiner M. (2012), 'Towards life cycle sustainability assessment: an implementation to photovoltaic modules', Scientific publication, Volume 17, pp. 1068–1079
- [117] De Meester S., Demeyer J., Velghe F., Peene A., Van Langenhove H. & Dewulf J. (2012), The environmental sustainability of anaerobic digestion as a biomass valorization technology', Scientific publication, Volume 121, pp. 396–403
- [118] Zhai H. & Rubin E.S. (2013), 'Comparative Performance and Cost Assessments of Coal-and Natural-Gas-Fired Power Plants under a CO₂ Emission Performance Standard Regulation', Article, August
- [119] Carnevale E., Lombardi L. & Zanchi L. (2014), 'Life Cycle Assessment of solar energy systems: Comparison of photovoltaic and water thermal heater at domestic scale', Scientific publication, Volume 77, pp. 434-446
- [120] Grafakos S., Flamos A. & Enseñado E.M. (2015), 'Preferences Matter: A Constructive Approach to Incorporating Local Stakeholders' Preferences in the Sustainability Evaluation of Energy Technologies', Article, Volume 7, pp. 10922-10960
- [121] Hernandez-Moro J. & Martinez-Duart J.M. (2012), 'CSP electricity cost evolution and grid parities based on the IEA roadmaps', Scientific publication, Volume 41, pp. 184-192
- [122] Maraver D., Sin A., Sebastián F. & Royo J. (2013), 'Environmental assessment of CCHP (combined cooling heating and power) systems based on biomass combustion in comparison to conventional generation', Scientific publication, Volume 57, pp. 17-23
- [123] Bosetti V., Marangoni G., Borgonovo E., Anadon L.D., Barron R., McJeon H., Politis S. & Friley P. (2015), 'Sensitivity to energy technology costs: A multi-model comparison analysis', Scientific publication, Volume 80, pp. 244–263
- [124] Parajuli R., Dalgaard T., Jørgensen U., Adamsen A.P., Knudsen M.T., Birkved M., Gylling M., Schjørring J.K., (2015), 'Biorefining in the prevailing energy and materials crisis: a review of sustainable pathways for biorefinery value chains and sustainability assessment methodologies', Scientific publication, Volume 43, pp. 244–263
- [125] Raugei M. & Leccisi E. (2016), 'A comprehensive assessment of the energy performance of the full range of electricity generation technologies deployed in the United Kingdom', Scientific publication, Volume 90, pp. 46-59
- [126] Machteld van den Broek, Hoefnagels R., Rubin E., Turkenburg W. & Faaij A. (2009), 'Effects of technological learning on future cost and performance of power plants with CO₂ capture', Scientific publication, Volume 35, pp. 457-480
- [127] Sastre C.M., González-Arechavala Y. & Santos A.M. (2015), 'Global warming and energy yield evaluation of Spanish wheat straw electricity generation – A LCA that takes into account parameter uncertainty and variability', Scientific publication, Volume 154, pp. 900–911
- [128] Neij L. (2008), 'Cost development of future technologies for power generation—A study based on experience curves and complementary bottom-up assessments', Scientific publication, Volume 36, pp. 2200-2211
- [129] Branker K., Pathak M.J.M. & Pearce J.M. (2011), 'A review of solar photovoltaic levelized cost of electricity', Scientific publication, Volume 15, pp. 4470– 4482
- [130] Alhajaj A., Mac Dowell N. & Shah N. (2016), 'A techno-economic analysis of post-combustion CO₂ capture and compression applied to a combined cycle gas turbine: Part I. A parametric study of the key technical performance indicators', Scientific publication, Volume 44, pp. 26–41
- [131] Rubin E.S., Rao A.B. & Chen C. (2004), 'Comparative Assessments of fossil fuel power plants with CO₂ capture and storage', Scientific publication, Volume 1, pp. 1-9
- [132] Shortall R., Davidsdottir B., Axelsson G. (2015), 'Geothermal energy for sustainable development: A review of sustainability impacts and assessment frameworks', Scientific publication, Volume 44, pp. 391–406
- [133] Konti B., Bohanec M., Konti D., Trdin N. & Matko M. (2016), 'Improving appraisal of sustainability of energy options – A view from Slovenia', Scientific publication, Volume 90, pp. 154–171
- [134] Blaber-Wegg T., Hodbod J. & Tomei J. (2015), 'Incorporating equity into sustainability assessments of biofuels', Scientific publication, Volume 14, pp. 180–186
- [135] Roth S., Hirschberg S., Bauer C., Burgherr P., Dones R., Heck T. & Schenler W. (2009), "Sustainability of electricity supply technology portfolio", Scientific publication, Volume 36, pp. 409–416
- [136] Spataru C., Chung Kok Y., Barrett M. & Sweetnam T. (2015), "Techno-Economic Assessment for Optimal Energy Storage Mix", Scientific publication, Volume 83, pp. 515 – 524
- [137] Fiorese G., Catenacci M., Bosetti V. & Verdolini E. (2014), "The power of biomass: Experts disclose the potential for success of bioenergy technologies", Scientific publication, Volume 65, pp. 94–114
- [138] Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Φυσικής, "Το φαινόμενο του θερμοκηπίου", [διαθέσιμο στο <http://lap.physics.auth.gr/pms/upload/%CE%BA%CE%BB%CE%B9%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%B7%20%CE%B1%CE%BB%CE%BB%CE%B1%CE%B3%CE%B7.pdf>], [πρόσβαση: 05/12/2017]

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ 3^{ου} Κεφαλαίου

Παράρτημα 1: Υπολογισμός τιμής Δείκτη Ελέγχου Ποιότητας πηγών 3^{ου} Κεφαλαίου

A/A -	Πηγές - Αναφορές	Τύπος	Δείκτης Ελέγχου Ποιότητας (Συνολικοί βαθμοί)	<u>Αναθεώρηση από Ομότιμο</u> Αναθεώρηση από 1 σχετικό εμπειρογνώμονα	<u>Αναθεώρηση από Ομότιμο</u> Αναθεώρηση από 2+ σχετικούς εμπειρογνώμονες		Ευχαριστίες Υπαρξη δήλωσης ευχαριστιών	Ευχαριστίες Υπαρξη δηλώσεων σύγκρουσης συμφερόντων ή/και πνευματικών δικαιωμάτων	Ευχαριστίες Χρηματοδότηση μελέτης από την ΕΕ ή άλλο δημόσιο φορέα	Εγκυρότητα Χρήση ως βάση έγκυρων επιστημονικών θεωριών και προσεγγίσεων/ συμφωνία συμπερασμάτων – στοιχείων που παρουσιάζονται	Εφαρμογή Υπαρξη εφαρμογής στον πραγματικό κόσμο (π.χ. μελέτη περίπτωσης)	Αξιολόγηση Επικύρωση ή/και αξιολόγηση αποτελεσμάτων	Εφαρμογή νέας ή υφιστάμενης μεθοδολογίας
1	[90] Luong_TSBE_Conference_Paper_2012 (Technologies folder)	Εγχειρίδιο	0,50	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1
2	[91] Banuls_Salmeron_2007_Technological Forecasting & Social change	Επιστημονικό Άρθρο	0,67	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1
3	[92] Country report 1 Integrated analysis German electricity system	Αναφορά	0,70	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1
4	[93] Country report 2 Integrated analysis of UK electricity system	Αναφορά	0,70	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1
5	[94] Mitigation strategies and energy technology learning_POLES model	Επιστημονικό Άρθρο	0,90	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
6	[95] ADVANCE_technical change into IAMs	Αναφορά	0,80	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1
7	[96] Country report 3 Integrated analysis of Swedish heat system	Αναφορά	0,70	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1
8	[97] Country report 4 Integrated analysis of German heat system	Αναφορά	0,70	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1
9	[98] Country report 5 Integrated analysis of UK heat system	Αναφορά	0,70	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1
10	[99] limits_d1-1_pik	Αναφορά	0,80	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1
11	[100] 1-s2.0-S030626191400885X-main	Επιστημονικό Άρθρο	0,90	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
12	[101] 1-s2.0-S0196890407001756-main	Επιστημονικό Άρθρο	0,90	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
13	[102] 1-s2.0-0141022987901335-main	Επιστημονικό Άρθρο	0,60	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1
14	[103] 1-s2.0-S096195340500098X-main	Επιστημονικό Άρθρο	0,80	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1
15	[104] 1-s2.0-S0301421507004120	Επιστημονικό Άρθρο	0,90	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
16	[105] 1-s2.0-S0960852410011594	Επιστημονικό Άρθρο	0,90	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1

17	[65] 1-s2.0-S0301421507000948-main	Επιστημονικό Άρθρο	0,90	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
18	[106] 1-s2.0-S1359431112002943-main	Επιστημονικό Άρθρο	0,70	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1
19	[107] 1-s2.0-S1750583608000571-main	Επιστημονικό Άρθρο	0,90	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
20	[108] 1-s2.0-S1750583608000650	Επιστημονικό Άρθρο	0,90	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
21	[109] 1-s2.0-S1364032115014410-main	Επιστημονικό Άρθρο	0,80	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1
22	[110] 1-s2.0-S1750583607000163-main	Επιστημονικό Άρθρο	0,90	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
23	[111] Technoeconomic_evaluation_of _IGCC_power	Επιστημονικό Άρθρο	0,70	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1
24	[112] Assessment-of-the-actual- sustainability-of-nuclear-fission- power_2014_Renewable-and- Sustainable-Energy-Reviews	Επιστημονικό Άρθρο	0,70	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1
25	[113] 1-s2.0-S1750583613001230-main	Επιστημονικό Άρθρο	0,90	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
26	[113] Sustainability-assessment-of- renewable-power-and-heat- generation- technologies_2014_Energy-Policy	Επιστημονικό Άρθρο	0,90	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
27	[73] 11-2012 Environmental Science and Technology	Επιστημονικό Άρθρο	0,80	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1
28	[115] A-review-of-the-sustainability-of- algal-based-biorefineries-Towards-an- integrated-assessment- framework_2016_Renewable-and- Sustainable-Energy-Reviews	Επιστημονικό Άρθρο	0,60	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1
29	[115] art%3A10.1007%2Fs11367-012-0433-8	Επιστημονικό Άρθρο	0,70	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1
30	[117] 1-s2.0-S0960852412010231-main	Επιστημονικό Άρθρο	0,90	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
31	[118] 13- 2013 Energy and Fuels	Επιστημονικό Άρθρο	0,90	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
32	[119] Life-Cycle-Assessment-of-solar-energy- systems-Comparison-of-photovoltaic- and-water-thermal-heater-at-domestic- scale_2014_Energy	Επιστημονικό Άρθρο	0,90	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
33	[120] sustainability-07-10922-v2	Επιστημονικό Άρθρο	0,90	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
34	[121] 1-s2.0-S0301421511008160-main	Επιστημονικό Άρθρο	0,80	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1

35	[122] Environmental-assessment-of-CCHP-combined-cooling-heating-and-power-systems-based-on-biomass-combustion-in-comparison-to-conventional-generation_2013_	Επιστημονικό Άρθρο	0,90	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
36	[123] Sensitivity-to-energy-technology-costs-A-multi-model-comparison-analysis_2015_Energy-Policy	Επιστημονικό Άρθρο	0,90	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
37	[124] Biorefining-in-the-prevailing-energy-and-material-crisis-a-review-of-sustainable-pathways-for-biorefinery-value-chains-and-sustainability-assessment-	Επιστημονικό Άρθρο	0,90	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
38	[125] A-comprehensive-assessment-of-the-energy-performance-of-the-full-range-of-electricity-generation-technologies-deployed-in-the-United-Kingdom_2016_Ener	Επιστημονικό Άρθρο	0,80	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1
39	[126] 1-s2.0-S0360128509000215	Επιστημονικό Άρθρο	0,9	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
40	[127] 1-s2.0-S0306261915007412	Επιστημονικό Άρθρο	0,8	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1
41	[128] 1-s2.0-S0301421508001237	Επιστημονικό Άρθρο	0,8	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1
42	[129] 1-s2.0-S1364032111003492-main	Επιστημονικό Άρθρο	0,80	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1
43	[130] 1-s2.0-S1750583615301092-main	Επιστημονικό Άρθρο	0,90	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
44	[131] Comparative Assessments of Fossil Fuel Power Plants with CO ₂ Cap	Επιστημονικό Άρθρο	0,70	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1
45	[132] Geothermal-energy-for-sustainable-development-A-review-of-sustainability-impacts-and-assessment-frameworks_2015_Renewable-and-Sustainable-Energy-Revie	Επιστημονικό Άρθρο	0,80	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1
46	[133] Improving-appraisal-of-sustainability-of-energy-options-A-view-from-Slovenia_2016_Energy-Policy	Επιστημονικό Άρθρο	0,90	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
47	[134] Incorporating-equity-into-sustainability-assessments-of-biofuels_2015_Current-Opinion-in-Environmental-Sustainability	Επιστημονικό Άρθρο	0,70	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1
48	[135] Roth et al2009_Sustainability of electricity supply technology portfolio	Επιστημονικό Άρθρο	0,70	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1

49	[136] Techno-economic-Assessment-for-Optimal-Energy-Storage-Mix_2015_Energy-Procedia	Επιστημονικό Άρθρο	0,70	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1
50	[137] The-power-of-biomass-Experts-disclose-the-potential-for-success-of-bioenergy-technologies_2014_Energy-Policy	Επιστημονικό Άρθρο	0,90	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1

Παράρτημα 2: Καταγραφή της διαθεσιμότητας και της ποιότητας δεδομένων του 3^{ου} ανά μεθοδολογία

			System boundaries/inventory				Research Design							Impact assessment/Theme selection			
a/a	Assessment Methods	References /Sources	Object: Mitigation option/SECTOR	Spatial focus	Temporal focus	Life cycle thinking	Framework:	Method	Sub-method	Strengths and weaknesses	Sources - What are the sources of data used to conduct the analysis	Data	Processing of Data	Indicator selection	Indicator selection	Spatial focus of impact	Temporal focus of the impact
1	Sustainability Indicator Analysis	1/ [90]	Renewable Energy Technology (PV solar on building roof)	Micro	Retrospective	whole life cycle	Life Cycle Sustainability Assessment	indicator selection	N/A	The proposed framework and indicators provides a natural guide for future research. Initially, the scope of this research includes specific types of renewable energy technology and one type of non-domestic buildings. More case studies are needed to test and validate the proposed framework and indicators.	scientific literature data measured	both quantitative and qualitative local	the data was measured	YES	YES	site specific	intra temporal
		24/ [112]	nuclear fission power	global	prospective	whole life cycle	Sustainability Assessment	indicator selection	IEA scenarios qualitative argumentation high-end assumptions probabilistic risk assessment multi-criteriaAnalysis	limitation to the marketability of nuclear power limited scope to the impact of building nuclear power plant lack of extended framework for nuclear fission power's suitability brief review of assessment initial review of nuclear fission power's performance need of more evidence, information and data lack of knowledge instructive results	stakeholder's consultation, previous publications and a range of assumptions, scientific literature data	quantitative qualitative global	decision-making processes comparison with previous studies comparing by analogy data from previous studies use a range of assumptions	YES	NO	site specific	inter temporal
		26/ [113]	Renewable power and heat	micro	retrospective/prospective	whole life cycle	Sustainability Assessment	indicator selection	Choice experiment method(CE)	this approach allows realistic trade-off situations to be modeled	previous publications and a range of assumptions	quantitative	using a range of assumptions	YES	YES	site specific	inter temporal

	generation technologies						survey questionnaire	lower response rate and lower representativeness because of use of web surveys	scientific literature	sectoral	statistical analysis				
							Multi Criteria Analysis	several utilisation possibilities were excluded due to the lack of data or unreliable data sources	survey questionnaires						
									Choice Experiment Method						
28/ [115]	Algal-based biorefineries	global	prospective	whole life cycle	Life Cycle Sustainability Assessment	indicator selection	Environmental TEA (E TEA) methodology based on TEA framework and LCA methodology	act as a guidance to decrease the time-to-market for technologies	previous publications and a range of assumptions	qualitative	using a range of assumptions	YES	NO	site specific	inter temporal
						integrated economic-environmental assessment	Environmental analysis using excluding certain life cycle phases approach	iterative approach	scientific databases (EBSCOHOST and Google Scholar)	global	comparison with previous studies				
						Techno-Economic assessment	Environmental analysis using the reduction of number of environmental impact categories approach	provides clear view on the commercialization potential of microalgae-based biorefineries	review literature data		using integrated approaches				
							Environmental analysis using surrogate data approach	brief discusses for technological aspects	ISO guidelines		ISO guidelines				
							Economic analysis using cost literature data or proxy data	lack of a detailed engineering design and system analysis							
							Environmental analysis using ISO guidelines	no possible generic conclusion over the environmental impacts of algal-based biorefineries							
							Sensitivity analysis	clear and harmonized assumptions							
33/ [120]	low-carbon energy technologies (Integrated Gasification Combined Cycle (IGCC) coal, IGCC coal with Carbon Capture and Storage (CCS), Gas Turbine Combined Cycle (GTCC), GTCC with CCS, Nuclear European Pressure Water Reactor (EPR), Wind onshore, Wind Offshore, Solar Photovoltaics (PVs)-crystalline silicon, Hydropower, Biogas CHP)	European	prospective	whole life cycle	Sustainability Assessment	integrated sustainability evaluation	Multiple Criteria Analysis (MCA)	tests respondents' consistency and enables them to consistently express their preferences	previous publications and a range of assumptions	qualitative	literature review and screening	YES	YES	site specific	inter temporal
						sustainability ranking	Constructive Weighting methodology	identifies and analyzes the preferences of local energy stakeholders at the European level, which has not been previously studied	literature review and screening	European	Self-validation (desk study and internal peer review)				
							'3S' indicators' validation methodology	limited survey sample	experts' judgement survey of 40 European experts		Scientific validation (survey of external experts' views)				
							cluster analysis (Hierarchical agglomerative clustering methods) using Ward's method	may advance the practise of local stakeholder-driven process in the evaluation of low-carbon energy options in Europe	survey of local stakeholders' views		Stakeholders' validation (survey of local stakeholders' views)				
							cluster analysis (Hierarchical agglomerative clustering methods) using squared Euclidean distance	provide a framework to support group decision-making situations and policy design	data from International Energy Agency (IEA)		data from International Energy Agency (IEA)				
							comparative assessment	pilot application of the constructive weighting methodology	data from New Energy Externalities Development for Sustainability (NEEDS) project		data from New Energy Externalities Development for Sustainability (NEEDS) project				
							criteria weighting	high number of criteria led to some inconsistencies of stakeholders' preferences			experts' judgement survey of 40 European experts				

								useful tool in expanding the range of possible outcomes			decision-making processes				
								useful tool in assessing the performance of technologies against a set of evaluation criteria							
								MCDAs methods have been used extensively in Europe							
								data availability							
								elaborated and advanced version of an integrated weighting methodology							
								tested the consistency of stakeholders' preferences							
								"forced" the stakeholders to rethink, revise their initial preferences and evaluate the issue of criteria importance							
								analysis of weights and stakeholders' priorities is insightful							
								MCA method resulted in a high cognitive burden on the respondents							
								with pairwise comparisons, inconsistencies inevitably arose							
								pairwise comparisons enabled a more accurate expression of the respondents' preferences							
								constructive weighting methodology enhances the reliability of the results							
								constructive weighting methodology shows great potential for better decision making, supporting stakeholders' efforts to gradually construct their preferences							
								weighting methodology can be applied in a group decision context, where local stakeholders and decision-makers meet face-to-face							
								weighting methodology could be carried out through an online process of interaction, eg. Webinar							
								local stakeholders' preferences can be mapped out by applying weighting methodology							
							Life Cycle Impact Assessment (LCIA) method	monetary tools	assess the environmental hotspots in the biomass supply chains	previous publications and a range of assumptions	quantitative	decision-making processes			
							Comparative assessment	biophysical tools	supports the prioritization of specific biobased products	International Energy Agency (IEA)- Bioenergy	national	previous publications and a range of assumptions			
							Multi-criteria assessment	outranking-based method	quantify the mass of materials under transformation	scientific literature		International Energy Agency (IEA)- Bioenergy			
							indicator selection	systems principle approach	involves the process of defining/assigning the composite indicators and evaluation of alternatives	measured data and information		comparison with results from other studies			
							Life Cycle Cost Analysis	consistency principle approach	Delphi method assesses the overall rankings of the criteria collected from individuals and then aggregates them into a single collective framework						
37/ [124]	biorefinery systems (biomass supply chains)	national (Denmark)	prospective	whole life cycle	Life Cycle Sustainability Assessment							YES	YES	site specific	inter temporal

							independency principle approach	pairwise comparison seems effective, as it allows entertaining stakeholder preferences on the qualified sustainability indicators									
							measurability principle approach	LCA can be regarded as an important tool to capture complex features and interdependency of material flows									
							comparability principle approach	facilitates to compare the environmental impacts of biomass conversion pathways									
							Delphi method	LCIA can be used for accounting the environmental impacts related to the conversion of biomass									
							least square method (statistical method)	Multi-criteria assessment is a suitable method to assess the overall sustainability of biorefinery processes									
							min-max deviation method										
							subjective weighting method										
							objective weighting method										
							combination weighting method										
							pair-wise comparison										
							consistent matrix analysis										
							analytical hierarchy process (AHP)										
							methods for entropy assessment (TOPSIS method)										
							value-based method										
							Indicator selection	sustainability appraisal (SA)	this paper demonstrates the need for a sustainability assessment framework specifically for geothermal projects		qualitative	N/A					
								Pressure-State-Response	Various tools for assessing sustainability of energy projects have been reviewed in this paper no economic scope		sectoral						
									The issues reviewed in this paper will be used as a foundation for creating a customized assessment framework for geothermal electricity generation developments creating a customized assessment framework for geothermal electricity generation developments	scientific literature				YES	YES	site specific	inter temporal
	45/ [132]	geothermal energy	global	prospective	whole life cycle	Sustainability Impact Assessment											
							Sustainability Assessment	sustainability appraisal analysis	no qualitative data to support more quantitative indicators and documentary evidence	stakeholders consultation	qualitative	using statements from previous publications					
									no dissemination of results to stakeholders along the biofuel supply chain	previous publications and a range of assumptions	regional	Stakeholders' validation (survey of stakeholders' views)					
									brief review of assessment	scientific literature data				YES	NO	site specific	inter temporal
									need of more evidence, information and data								
									lack of knowledge								
									no technological and economic scope								

		48/ [137]	Electricity Supply Technologies	national (Switzerland)	prospective	whole life cycle	Sustainability Assessment	life cycle assessment (LCA)	Learning curves-based analysis	satisfactory and validated results	scientific literature	quantitative	using multi criteria models						
								impact pathway approach (IPA)	Multi-criteria decision analysis(MCDA)	this research uses a wide range of indicators	data from stake holders	national	decision-making processes	YES	YES	site specific	inter temporal		
								probabilistic safety assessment (PSA)	sensitivity analysis	this method enhances the research quality of a wider research community									
								cost evaluation	weighted multiple attribute function	graphical presentation									
2	Scenario Analysis	2/ [91]	technology portfolio (i.e.set of interrelated technologies)	Micro	Prospective	One phase	Scenario-Based Assessment Model	Scenario analysis using Cross-Impact Method	Multi-criteria analysis (Analytic Hierarchy Process), Delphi Method, geometrical mean		N/A	N/A	N/A	NO					
		5/ [94]	Power Generation Technologies	national	Prospective	One phase	Scenario-Based Assessment Framework	Scenario analysis using Integrated Assessment Models	Two-Factor Learning Curves (TFLC Equations) POLES Modeling Framework Learning Rates Assessment	This research enables analysis of model projections in the long run. It refers to only some types of renewable technologies. This paperpublication uses many detailed and valued elements in order to export results.	scientific literature TECHPOL database	quantitative national	decision-making processes	NO	NO	site specific	inter temporal		
		10/ [99]	technology portfolio (i.e.set of interrelated technologies)	global	prospective	one phase	Scenario-Based Assessment Framework	Scenario analysis using Integrated Assessment Models	Cross-model comparison study Participatory models Probabilistic projections	More research will be needed on the regional implications of 2°C pathways The analysis focused exclusively on the direct impacts of mitigation It did not include the benefits from avoided climate change impacts and the co-benefits from climate action to other policy objectives	public data pools	quantitative qualitative global	comparison study of six integrated assessment and energy-economy models	NO	NO	site specific	inter temporal		
		34/ [121]	Concentrating solar power (CSP)	national (USA, Spain)	Prospective	whole life cycle	Scenario - based cost evaluation/assessment	Scenario analysis	Life Cycle Cost Analysis	Net present value approach and discounted cash flow technique are the most appropriate for making comparisons	previous publications and a range of assumptions	quantitative	International Energy Agency (IEA)						
										resulting equation permits to straightforwardly calculate the LCOEs	International Energy Agency (IEA)	national	previous publications and a range of assumptions						
results can be considered realistic if IEA assumptions are accomplished											comparison with previous studies	YES	YES	site specific	inter temporal				
study does not take into account as many independent variables											scientific literature								
								study does not apply to particular geographical areas in certain countries											
								studies on the CSP electricity cost evolution can be of great significance from the point of view of energy policy planning											
3	Niche Market Analysis	3/ [92]	Solar PV	national (Germany)	retrospective	one phase	Life Cycle Sustainability Assessment	indicator selection	N/A	Analysis cannot automatically be deducted from the pathway suggested by a particular niche Forward-looking analysis of future developments From the analysis, it cannot be straight forwardly concluded	public data pools scientific literature	qualitative national	statistical analysis	YES	NO	site specific	intra temporal		
			Onshore Wind	national (Germany)	prospective	one phase													
			Offshore Wind	national (Germany)	prospective	one phase													
			Bioenergy	national (Germany)	prospective	one phase													

		LED lighting	national (Germany)	prospective	one phase					which pathway the transition is following									
		CFL lighting	national (Germany)	prospective	one phase														
		Smart meters	national (Germany)	prospective	one phase														
	4/ [93]		Onshore Wind	national (UK)	Prospective	one phase	Life Cycle Sustainability Assessment	indicator selection	N/A		The analysis is possible to have a more mixed or 'hybrid' character Existing regimes are more dynamic and innovative No in-depth analysis	public data pools scientific literature	qualitative national	statistical analysis	YES	NO	site specific	intra temporal	
			Offshore Wind	national (UK)	Prospective	one phase													
			Bio-power	national (UK)	Prospective	one phase													
			Solar PV	national (UK)	Retrospective	one phase													
			Energy Saving Lighting- CFLs	national (UK)	Retrospective	one phase													
			Energy Saving Lighting- LEDs	national (UK)	Retrospective	one phase													
			Smart meters	national (UK)	Prospective	one phase													
	7/ [96]		Heat pumps	national (Sweden)	Retrospective	one phase	Life Cycle Sustainability Assessment	indicator selection	N/A		The dominating transition pathway is one of symbiotic adoption of niche-innovations Shows radical system change over time	public data pools scientific literature	qualitative national	statistical analysis	YES	NO	site specific	intra temporal	
			District Heating	national (Sweden)	Prospective	one phase													
			Waste heat recovery	national (Sweden)	Retrospective	one phase													
			Individual metering and billing (IMB)	national (Sweden)	Retrospective	one phase													
			Small-scale biomass-Pellet boiler systems	national (Sweden)	Retrospective	one phase													
			Low Energy housing	national (Sweden)	Prospective	one phase													
	8/ [97]		Small scale biomass heating systems	national (Germany)	prospective	one phase	Assessment of breakthrough feasibility of the various niche-innovations	indicator selection	N/A		The proposed framework and indicators provides a natural guide for future research. no in-depth analysis no quantitative facts The scope of this research includes only information on a national level, but	scientific literature public data pools	qualitative national	statistical analysis	YES	NO	site specific	intra temporal	
			Heat pumps	national (Germany)	prospective	one phase													
			Solar thermal	national (Germany)	prospective	something in between													
			Low-energy and passive houses	national (Germany)	prospective	one phase													
			Smart metering	national (Germany)	prospective	one phase													
	9/ [98]		Small biomass	national (UK)	prospective	one phase	Assessment of breakthrough feasibility of the various niche-innovations	indicator selection	N/A		no in-depth analysis no quantitative facts The scope of this research includes only information on a national level, but refers to all possible types of heating.	scientific literature statistics offices	qualitative national	statistical analysis	YES	NO	site specific	intra temporal	
			District heating	national (UK)	prospective	one phase													
			Heat pumps	national (UK)	prospective	one phase													
Solar thermal			national (UK)	prospective	one phase														
Low-energy retrofits			national (UK)	prospective	one phase														
Smart heating control and meters			national (UK)	prospective	one phase														
4 Regime analysis	3/ [92]	Electricity generation regime	national (Germany)	prospective	one phase	Life Cycle Sustainability Assessment	indicator selection	N/A		Analysis cannot automatically be deducted from the pathway suggested by a particular niche Forward-looking analysis of future developments From the analysis, it cannot be straight forwardly concluded which pathway the transition is following	public data pools	qualitative national	statistical analysis	YES	NO	site specific	intra temporal		
		Electricity network regime		snapshot suffice	one phase														
		Electricity consumption regime		snapshot suffice	one phase														

4/ [93]	Electricity generation regime-CCS	national (UK)	prospective	one phase	Life Cycle Sustainability Assessment	indicator selection	N/A	The analysis is possible to have a more mixed or 'hybrid' character Existing regimes are more dynamic and innovative No in-depth analysis	public data pools	qualitative national	statistical analysis	YES	NO	site specific	intra temporal									
	Electricity consumption regime		prospective	one phase																				
	Electricity networks regime		prospective	one phase																				
7/ [96]	Regime DH Regime HP	national (Sweden)	retrospective	one phase	Life Cycle Sustainability Assessment	indicator selection	N/A	The dominating transition pathway is one of symbiotic adoption of niche-innovations Shows radical system change over time	public data pools	qualitative national	statistical analysis	YES	NO	site specific	intra temporal									
13/ [102]	Bioreactors	micro	snapshot suffice	one phase	Life Cycle Sustainability Assessment	optimization fermentation processes	scale model segment model series model dimensional analysis	no experimental verification at a production scale only theoretical analysis no economic scope	scientific literature	qualitative individual	experimental analysis	NO	NO	site specific	inter temporal									
5	Integrated Assessment Models (IAMs)	Renewable Energy Technologies	national	snapshot suffice	whole life cycle	Learning Rates Assessment	Integrated Assessment Models (IAMs)	Statistical Analysis Multi Factor Learning Curves Analysis top-down (econometric) and bottom-up (expert-based) approaches POLES Modeling Framework	scientific literature TECHPOL database	quantitative national	statistics analysis comparison analysis of learning rates	NO	NO	site specific	inter temporal									
								global sensitivity measurements and estimation methods (post-processing or given data logic)								the resulting estimates span a wide array of uncertainties	existing literature and knowledge	quantitative	previous publications and a range of assumptions					
								Scenarios analysis (climate constrained scenarios)												Importance sampling method	we can explore differences in the sensitivity of various models to parameter uncertainty	use of a set of expert elicitation surveys	global	decision-making processes
																				representative concentration pathways (RCPs)	permits us to systematically explore the technological cost dimension	representative concentration pathways (RCPs)	comparison analysis of learning rates	
	ANOVA analysis (smoothing spline ANOVA metamodel)	quantitative insights	GCAM wiki page																					
36/ [123]	carbon free and low-carbon technologies (solar power, biofuels, bioelectricity and carbon capture and storage (CCS))	global	prospective	whole life cycle	Multi-model comparison analysis							YES	YES	site specific	inter temporal									

								comparison methodology	essential step toward the design of optimal energy R&D portfolios	International Energy Agency (IEA) database							
								COSI method	improves our understanding of the extent to which technology assumptions drive results	Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC) database							
									improvement of the usability of models to support policy making								
									helps unpack the model structure and address the "black box" critique								
									important from the viewpoint of modelers who can better understand what is driving the results of their complex models								
									deeper understanding of the mechanisms involved in models								
50/ [137]	Portfolio of bioenergy technologies	global	prospective	whole life cycle	Integrated Assessment Models (IAMs)	Scenario Analysis	POLES Modeling Framework	this paper guides future RD&D choices in supporting biomass technologies	Literature	quantitative	Collecting information from experts through elicitation protocols	YES	NO	site specific	inter temporal		
						Decision-making analysis	WITCH Modeling Framework	this survey minimize the risks of errors or biases in the experts' estimates	Historical Data	global	decision-making processes						
						Learning curves-based analysis		selection of a wider reliable group of experts									
								thorough analysis									
							use of questionnaire and interviews										
6	Dynamic Modeling	11/ [100]	Solar PV/LHP heat pump water heating system	regional (London, Shanghai, Hong Kong)	prospective	one phase	Life Cycle Sustainability Assessment	Social economic performance analysis using Simulation Models	Participatory dynamic models Probabilistic projections Life-cycle analytical model	Reasonable accuracy of mean error less than 9%	public data pools	quantitative national	decision-making processes comparison analysis of learning rates	YES	NO	site specific	inter temporal
										good level of agreement							
										Prediction of the annual operational performance of the PV/LHP							
										Recommending regions for operation							
							Suitability										
7	Life Cycle Analysis	12/ [101]	Coal power plants IGCC power plant CCS	national (UK)	prospective	whole life cycle	Life Cycle Sustainability Assessment	Material based analysis Cost based analysis	material analysis using process analysis with simple model cost analysis using input-output analysis	considerable variation among other studies	literature sources, Internet, previous publications and by direct correspondence	quantitative national	material analysis using process analysis with simple model comparison with previous studies	YES	NO	site specific	inter temporal
										results based on data reflecting the current status in UK							
					sensitivity of results to efficiency, load factor, coal transport distance and type of coil												
		15/ [104]	power generation with carbon capture and storage (CCS) Supercritical pulverized coal (super-PC) fossil fuel power plant	national (UK)	prospective	whole life cycle	Life Cycle Sustainability Assessment	Sensitivity Analysis Material based analysis Cost based analysis	Material-based Process Chain Analysis (PCA) using techno-economic model Cost-based Input/Output	equivalent results by both methods	Literature data, stakeholder, software databases, UK I/O tables	quantitative national	Material-based Process Chain Analysis (PCA) using techno-economic model	YES	NO	site specific	inter temporal

								Analysis (IOA) using techno-economic model comparison with previous studies	More complete accounting of emissions by IOA									
									Dependence on the availability of data			Cost-based Input/Output Analysis (IOA) using techno-economic model						
									lack of data			comparison with previous studies						
16/ [105]	Microalgae culture coupled to biogas production	national (Southern Europe)	prospective	whole life cycle	Life Cycle Sustainability Assessment	Life-cycle Inventory (Environmental and energy analysis) CML method (Centrum voor Milieukunde Leiden) Substitution method	Experimental data from lab-scale processes (Process Chain Analysis) ISO guidelines Anaerobic Process Life-cycle analytical model	high sensibility prospective LCA non-existing process	data often over-estimate both the algal productivity and the methane yield production	based on conservative state-of-the-art engineering	Extrapolation from lab-scale studies, figures from academic resources, communications with industrial producers, state-of-the-art engineering for wastewater treatment applications	quantitative national	comparison analysis of learning rates lab-scale processes (Process Chain Analysis) Life-cycle analytical model	YES	NO	site specific	inter temporal	
19/ [107]	Pulverized coal power plant with CCS (post-combustion capture, transport and storage of CO ₂)	national (Netherlands)	prospective	whole life cycle	Life Cycle Sustainability Assessment	First-order processes (foreground processes) Second-order processes Third-order processes Sensitivity analysis Life cycle inventory assessment Life cycle impact assessment Coal supply chain processes	Process data Third-order process based on cost data Second and third-order process based on input/output tables LCI data (Life Cycle inventory data) CML 2 baseline 2000 V2.03 impact method MEA Life-cycle analytical model	LCA is a powerful tool to exploration of GHG emission reduction with CCS no complete LCA has been performed yet data limitation in CO ₂ capture high uncertainty of LCI data lack of accurate process data	model based on simplified and uncertain causal relationships	no account for spatial and temporal dependency of environmental impacts inaccurate data on the production chain of MEA uncertainties on the final outcome	provide insight into desirable improvement directions for CO ₂ capture	process data, literature data, LCI data from Ecoinvent database v1.3, input/output tables, cost data	quantitative national	third-order process based on cost data second and third-order process based on I/O tables	YES	NO	site specific	inter temporal
20/ [108]	Lignite power plants with CCS (post-combustion, pre-combustion, oxyfuel)	national (Germany)	prospective	whole life cycle	Life Cycle Sustainability Assessment	Process chain analysis Sensitivity analysis LCA process (international standardisation process) Life cycle impact assessment Life cycle	Input data Life-cycle analytical model (lignite-fuelled CCS model) ISO standards CML method chemical absorption processes	Parts of CCS are industrial practise today	Many parameters have to be estimated with high uncertainty	more detailed investigation of pollutant emission reduction	scientific data, existing literature data, LCI data from Ecoinvent database, data from chemical industry, experimental data (laboratory scale)	quantitative national	Life-cycle analytical model experimental data (laboratory scale) comparison analysis of learning rates	YES	NO	site specific	inter temporal	

						inventory assessment											
								limitations due to data quality and data sources			Input data using LCI models						
								data for emissions to water and soil were not available and could not be evaluated									
								uncertainty in knowledge									
								very little data available for environmental impacts of IGCC with CCS									
								lack of data for solvent production									
								LCA process of Oxyfuel power plant has been applied on a laboratory scale									
								Not known if the obtained results from Oxyfuel power plant are applicable for large-scale use									
21/ [109]	marine PV systems	micro	prospective	whole life cycle	Life Cycle Impact Assessment (LCIA)	Life Cycle Inventory Analysis (LCI)	ISO standards	not thoroughgoing methodology	research articles, technical reports,	quantitative sectoral	using process flow diagram and matrix, fuzzy matrix, IO, tiered hybrid IO based hybrid and integrated hybrid approaches	YES	NO	site specific	inter temporal		
						software programmes	uncertainty	guidelines, conference papers									
						Scenario Analysis	this method enhances the research quality of a wider research community										
						analytical method	understandable for readers										
							advanced statistics	LCA is a powerful tool to exploration of GHG emission reduction									
25/ [113]	Carbon capture and storage (CCS) in power generation and industry	european	prospective	whole life cycle	Life Cycle Impact Assessment (LCIA)	Life Cycle Assessment	SimaPro LCA software	future progress in technology development is considered	previous publications and a range of assumptions	quantitative	decision-making processes	YES	YES	independent	inter temporal		
							Sensitivity analysis	transparent and extensive documentation of the key parameters	scientific literature	continentall	comparison with previous studies						
							process analysis	a wide field of CCS subjects is not yet covered	existing literature data		using a range of assumptions						
							ReCiPe method	only modelled data for the MEA process are included	LCI database ecoinvent								
							Life Cycle Inventory analysis	no site-specific information for the storage sites is given									
								second and third order processes are not temporally and spatially adjusted									
	this method enhances the research quality of a wider research community																
29/ [115]	pv modules	national (Italy, Germany)	prospective	one phase	Life Cycle Sustainability Assessment	Life cycle costing, social LCA S-LCA)	Life Cycle Sustainability Assessment (LCSA) using scenario analysis	Life Cycle Sustainability Assessment (LCSA) is valuable tool to support decision-making processes	SimaPro software	quantitative	decision-making processes	YES	YES	site specific	inter temporal		
						Life Cycle Sustainability Dashboard (LCSD)	Life Cycle Sustainability Dashboard (LCSD) using scenario analysis	Not many implementations of LCSA are available yet	Ecoinvent libraries	national	comparison analysis of learning rates						
							Life Cycle Sustainability Assessment (LCSA) using consultation process	huge amounts of experiences of LCA	existing literature data								

							Life Cycle Assessment (LCA) using Eco-indicators 99 (E)	Difficulties of collection social data	UNEP/SETAC guidelines and references							
							Social LCA (S-LCA) using indicators	LCSA methodology is a theoretical and complementary approach	interviews and questionnaires							
							Life Cycle Sustainability Assessment (LCSA) using plausibility analysis	limitations in LCSA methodology	national statistics (ENEL, ISTAT and websites)							
							Life Cycle Sustainability Dashboard (LCSA) using selection of indicators	not so many data are available in LCSA	scientific literature							
								results of LCA analysis are not always in the same direction	stakeholders							
								no data about revenues because of confidentially reasons in LCC analysis								
								LCSA methodology is globally accepted by the scientific community								
								LCSA methodology makes the interpretation step easier and more understandable								
								LCSA methodology gives the opportunity to give different weights to each indicator								
								complexity of indicators in LCSA methodology								
								practicability and applicability of both LCSA and LCSA methodologies								
								Ability of LCSA methodology to solve the problem of communication								
							Life Cycle Assessment	RECIPE methodology	the used models were not sufficient for further impact modeling of toxicity	scientific literature	quantitative	using a process diagram				
							Environmental Sustainability Assessment	Monte Carlo simulation	uncertainty of the results	collected data by experts and farmers were calculated by applying models	national	using a system description and a clarification of the data sources				
							Technological Assessment	Comparison Analysis		collected data were based on measurements and judgement of involved stakeholders and experts		by applying models	YES	YES	independent	inter temporal
							indicator selection	scenario analysis		experimental literature data		using data from other literature				
								energy and exergy balance assessment				by using Gibbs calculations, the group contribution method and the b LHV methodology				

											using assumptions and value choices according to the ISO 14040/44 guidelines and the ILCD handbook				
32/ [119]	PV roof systems water thermal heaters	national (Italy)	prospective	whole life cycle	Life Cycle Impact Assessment (LCIA)	indicator selection	Scenario Analysis	not analysing the advantages from an environmental point of view	existing literature data	quantitative	a large variety of sources was examined for the inventory analysis completion	YES	YES	independent	inter temporal
						Impact Assessment	Energy performance analysis	this study includes the end-of-life step of such technologies	existing data bases	sectoral	using a range of assumptions				
						Comparison Assessment	<i>Inventory Analysis</i>	this method enhances the research quality of a wider research community			scenarios were considered				
										comparison with results from other studies					
35/ [122]	CCHP (Combined Cooling Heating and power) systems based on biomass combustion	european	prospective	whole life cycle	Life Cycle Impact Assessment (LCIA)	Life Cycle Environmental Assessment (LCEA)	SimaPro 7.3 software package	the use of PESR analysis might not be adequate to assess the steady-state performance of CCHP technology	previous publications and a range of assumptions	quantitative	previous publications and a range of assumptions	YES	YES	site specific	inter temporal
						Comparative assessment	Eco-Indicator 99 evaluation method	Ability to understand the specific design conditions that would entail environmental benefits	ISO 14040 standards	european	ISO 14040 standards				
							IMPACT 2002+ evaluation method	completes the thinking of previous works	Ecoinvent libraries		SimaPro 7.3 software				
							ReCipe impact evaluation method	results allow us to state that the achievement of environmental benefits should not always be accepted as a valid hypothesis	recent available energy statistics						
							parameter analysis using the Primary Energy Saving Ratio (PESR)	PESR analysis supports efficient plants							
							Thermodynamic model (CCHP model) using a primary energy savings analysis	impact evaluation methods reduce the possible subjectivity of the LCA methodology							
								lack of a reference system for the cooling generation							
								impact evaluation methods allowed aggregating the impact score of every category to obtain a single result							
								life cycle assessment can help to draw wider conclusions about suitability							
40/ [127]	wheat straw biomass combustion	national (Spain)	prospective	whole life cycle	Life Cycle Impact Assessment (LICA)	Environmental impact assessment method	RSB GHG Calculation Methodology v 2.1	Life cycle assessment (LCA) should be performed to evaluate environmental impacts and in particular GHG emissions reduction	previous publications and a range of assumptions	quantitative	previous publications and a range of assumptions	YES	YES	site specific	inter temporal
							Cumulative Energy Requirement Analysis (CERA)	the incorporation of uncertainty through the use of a stochastic modeling with Monte Carlo Simulation is not yet a common practice for recent LCA studies	Ecoinvent libraries	national	decision-making processes				
							SimaPro 7.3 software package	LCA involves a systematic set of procedures for compiling and examining the inputs and outputs of materials and energy and the associated environmental impacts directly attributable to the functioning of a product or service system throughout its life cycle	FAOSTAT						

								Monte Carlo Simulation		ECN Phyllis 2 database								
								Sensitivity analysis		BIOBID database								
								Inventory Analysis		Spanish platform of agricultural machinery								
										IPCC and RSB Methodology								
										real data of a Spanish 25 Mwe straw power plant								
										ISO standards (ISO 14040, ISO 14044)								
8	Integrated Modeling	14/ [103]	Biomass energy technologies with carbon capture and sequestration Biomass IGCC with carbon capture and storage	micro	prospective	one phase	System Integration	integrated economic modeling	identification of component technologies and integration points	based on real appliances	scientific literature	quantitative	the data was measured or assumed	YES	NO	site specific	inter temporal	
								integrated process stream modeling	design modification to facilitate integration									
									top to bottom approaches									
		17/ [65]	IGCC power plant PC power plant NGCC powerplant CCS	micro	prospective	whole life cycle	Comparative Assessment	Baseline analysis	Integrated Environmental Control Model	updated analysis	previous publications and a range of assumptions	quantitative	baseline analysis summarising, comparing data from recent studies and using a range of assumptions	YES	NO	site specific	inter temporal	
										use of a range assumption for key parameters		sectoral						
										affirmation of earlier findings								
										no all parameters studied								
		22/ [110]	power plants with carbon capture	micro	prospective	whole life cycle	Comparative Assessment	Integrated Environmental Control Modeling	experience curves	not including potential cost increases	previous publications and a range of assumptions	quantitative sectoral	comparing by analogy data from previous studies	YES	NO	site specific	inter temporal	
									Integrated Environmental Control Model (IECM)	estimating future costs			using a range of assumptions					
									Sensitivity analysis	making assumptions								
		31/ [118]	NGCC power plants PC power plants	National (U.S.A)	prospective	whole life cycle	Integrated System Approach (Systems Integration)	Comparative Performance	Integrated Environmental Control Model (IECM)	characterization of uncertainties of key performance and cost criteria	existing literature	quantitative	comparing by analogy data from previous studies	YES	YES	site specific	inter temporal	
								Cost Assessment	New Source Performance Standards (NSPS)	performance of probabilistic assessments of current and advanced system designs under the common framework	a range of assumptions	sectoral	making scenarios					
								Techno-economic Evaluation	Sensitivity analysis	This analysis does not consider potential future cost reduction over time								
								Scenarios Assessment	Probabilistic analysis									
									Parametric analysis									
		38/ [125]	electricity production technologies (coal, oil, gas, gas combined cycle, nuclear, biomass, hydro, wind on-shore, wind off-shore, PV)	national (UK)	Prospective	whole life cycle	Integrated assessment framework	Net Energy Analysis (NEA)	Life Cycle Inventories (LCI)	2013-the most recent year for which official data were available	latest published 2013 official data	semi-quantitative	decision-making processes	YES	NO	site specific	inter temporal	
						Life Cycle Assessment (LCA)	model of pressurised water reactor (PWR)	NEA leads to the ranking of alternative energy supply chains	International Energy Agency (IEA)	national	previous publications and a range of assumptions							
						Scenario analysis	sensitivity analysis	NEA does not differentiate between renewable and non-renewable energy sources	number of studies conducted in the 1960's and 70's		comparison with previous studies							
						comparison analysis		LCA makes a clear distinction between renewable and non-	Ecoinvent database		scientific literature							

								renewable energy sources and flows									
								LCA allows the ranking of the same technologies according to their ultimate degree of energy sustainability	existing literature sources			Ecoinvent database					
								NEA and LCA enable a balanced discussion of the results in terms of short-term energy effectiveness and long-term energy sustainability	previous publications and a range of assumptions			International Energy Agency (IEA)					
								unavailability of detailed inventory data for Qatari operations									
								UK national data for uranium imports are not directly available									
							learning curve-based performance assessment	CMU/UU model	CMU model had provided insight into the potential learning of cost variables in power plants with CO2 capture	existing literature sources	quantitative	previous publications and a range of assumptions					
							simulation assessment	Integrated Environmental Control Model (IECM)	the results of global learning are explicitly reported, so that they can be used for other purposes such as in regional bottom-up models	collection of historical data	global	comparison analysis of learning rates					
							cost performance assessment	Single-factor learning curve model	learning curve method provides insight into the pace at which a technology can improve and how this depends on market developments	global energy modelling studies		simulation models					
								time constant model	learning curve method is applied to identify and estimate cost reduction trends in the capital costs of energy technologies	EPRI Technology Assessment Guide		EPRI Technology Assessment Guide					
								Sensitivity analysis	publications of learning curves are nowadays mostly applied to identify cost trends	WETO-H2 study							
								POLES model	no effort has been undertaken to integrate learning curves of performance variables with those of cost variables	IEA's CoalPower database			YES	YES	site specific	inter temporal	
								MARKAL model	techno-economic modelling studies usually report the resulting penetration of technologies on this large scale and not the resulting cost reductions over time	NERC-GADS database							
									extension of CMU model in order to include several power plant performance variables which also influence future costs								
									in the CMU model a lower bound and upper bound for the progress ratio of capital and O&M cost were defined to characterize the uncertainty in these ratios								
									data on costs and performance of these separate components are less readily available								
									little historical data appeared to be available on energy intensity trends for this process								
									impact of projections was not readily available or not detailed enough								

								more research is necessary to quantify the relation between the increasing complexity of new technologies and the necessary experience required to reach availabilities of mature power plants									
								results of this study are sensitive to the baseline input data									
								use of projections of power plant capacities from one study in order to extrapolate the learning trends to the future									
								we assumed that learning takes place at a global level as power plants are generally built by large multinationals									
								needs to be further assessed how the learning processes in individual components of power plants influence each other									
								more research is necessary to quantify the relation between the increasing complexity of new technologies and the necessary experience required to reach availabilities of mature power plants									
								more understanding and quantification of technology spillover from applications outside the power sector									
41/ [128]	advanced energy technologies (wind turbines, photovoltaics, solar thermal power plants, fuel cells, nuclear power, fossil-fuel technologies, bioenergy technologies)	global	prospective	one phase	Integrated assessment framework	Technology foresight analysis	judgmental expert assessment	the bottom-up analysis confirms large uncertainties in future cost development not captured by the experience curves	data from a large number of studies on experience curves	quantitative	previous publications and a range of assumptions	YES	YES	site specific	inter temporal		
						Modeling and Simulation assessment		experience curves offer a means of analysing past cost development that has been adapted to analyse future cost development	cost/price data	qualitative	comparison analysis of learning rates						
						Scenario analysis		experience curves illustrate the approximate rate of cost reduction for different types of energy technologies	expert-based knowledge gained through interviews with selected experts from companies and firms	global	simulation models						
						Cost Evaluation/ Performance Assessment		the integration of experience curves into energy models has made it easier to integrate technology change into energy-system analysis and scenario planning	Photex project								
						Bottom-up Assessment		experience curves clearly illustrate the need for an initial market in order to cut costs	literature data								
						Experience curves-based Analysis		experience curves are used for cost analysis and cost forecasts of non-standardised products produced globally or nationally	collection of historical data								
								leads to uncertainties									
								leads to uncertainties and variation in results that are not often critically discussed in experience curve analysis									
		the use of the experience curve concept is based on an aggregated approach of analysing cost reductions															

									experience curves are used to forecast long-term cost development								
									experience curves is a trend analysis tool and is only suitable for the analysis of established technologies and forecasts of mid-time ranges								
									lack of producer cost data								
									bottom-up approach is used describing different sources of cost reduction and calculated figures of cost in a mid-term perspective								
									judgmental methodology is used for wind turbines and photovoltaics to forecast long-term alternative cost development paths								
									bottom-up approach and judgmental methodology are used to evaluate the cost reduction path described by the experience curves								
									bottom-up approach and judgmental methodology are used to identify the actual and perceived sources of cost reduction								
									the studies on BOS indicate limitations in future cost reductions								
	42/ [129]	solar photovoltaic systems (PV)	national (Canada)	prospective	whole life cycle	Integrated Assessment Framework	LCOE performance assessment/evaluation		this paper corrects the misconceptions made in the assumptions found throughout the literature	existing literature	quantitative	correcting the misconceptions made in the assumptions found throughout the literature	YES	NO	site specific	inter temporal	
							economic feasibility assessment		no social, health and environmental impacts have been taken into account		national	using a range of assumptions					
	44/ [131]	fossil fuel power plants with CO2 capture and storage	micro	prospective	whole life cycle	Integrated assessment framework	Integrated Environmental Control Modeling	Integrated Environmental Control Model (IECM)	not all costs for new plants are included in this paper	previous publications and a range of assumptions	quantitative	comparing by analogy data from previous studies	YES	YES	site specific	inter temporal	
							Comparative Performance Assessment	Baseline analysis	this paper uses a broader range of assumptions		national	using a range of assumptions					
							Scenario analysis										
	49/ [136]	energy storage mix technologies	national (UK)	prospective	whole life cycle	Techno-Economic Assessment	Analytical Hierarchy Process (AHP)	mathematical modeling	data inaccuracy in sensitivity and criteria analysis	scientific literature	quantitative	scenarios have been considered	YES	NO	site specific	inter temporal	
							Cost performance assessment	sensitivity analysis	some other characteristics are required for a more complete research		national	measuring and comparing concerns to identify promising technologies					
								criteria analysis	graphical presentation			using a decision-making model					
									satisfactory and validated results			evaluating a wide range of concerns					
9	Simulation Modeling	18/ [106]	coal-fired power plants CCS	micro	prospective	one phase	Optimization Assessment	Modeling and Simulation	mathematical models	minimal error rate analysis	scientific literature	quantitative	mathematical programming algorithms were applied for the simulation introduction. Next, the results of the simulations are presented and validated. The	YES	NO	site specific	inter temporal

												optimization results are illustrated.				
							software programmes	satisfactory and validated results			individual					
								reduction of needed time of analysis								
								no economic scope								
23/ [111]	IGCC power plant without CO2 capture IGCC power plant with 80% capture IGCC power plant with CO2 emissions similar with NGCC IGCC power plant with CO2 and H2S co-capture NGCC without capture	global	prospective	one phase	Technoeconomic Comparative Assessment/Evaluation	Modeling and Simulation	ASPEN Plus TM models	estimating future energy pricing scenarios	previous publications and a range of assumptions, scientific literature data, ASPEN Icarus Process Evaluator (IPE)	quantitative global	comparison analysis of learning rates	YES	NO	site specific	inter temporal	
						cost estimation methodology (using cost model)					simulation models					
											comparing by analogy data from previous studies					
											using a range of assumptions					
											calculation with ASPEN Icarus Process Evaluator (IPE)					
27/ [73]	NGCC power plant with CCS	national (USA)	prospective	one phase	Techno-economic Comparative Assessment/Evaluation	Modeling and Simulation	cost estimation methodology (cost analysis) using Integrated Environmental Control Model (IECM)	more systematic approach in the quantification of costs	previous publications and a range of assumptions, existing literature data, empirical data, EPRI Technical Assessment Guide (industry standard)	quantitative national	EPRI Technical Assessment Guide (industry standard)	YES	YES	site specific	inter temporal	
						Sensitivity analysis	No reflection of probabilistic results in the full range of conditions which apply at NGCC power plants				comparing by analogy data from recent studies					
						Probabilistic analysis using Monte Carlo methods	Application of sensitivity analysis only to new plants and no reflection of retrofitting CCS cost to existing NGCC units				using a range of assumptions					
							No reflection of potential cost reductions from advances in CCS technologies									
							Provides a tool to further exploration of the impact on the cost of CCS for NGCC power plants									
							Costing method is not so common yet									
43/ [130]	CCGT power plant	micro	prospective	one phase	Techno-economic Comparative Assessment/Evaluation	Modeling and Simulation	equilibrium steady-state monoethanolamine-based CO2capture plant and compression train model	A better accuracy could be obtained by adding complexity to the model	scientific literature	quantitative	using a combination of literature data and engineering judgment	YES	YES	site specific	inter temporal	
						Indicator Selection	Parametric Analysis/study	Provides a tool to further exploration of the impact on the cost of CCGT power plants		regional	using simulating and mathematical models					
							Regional impact case study analysis	satisfactory and validated results			experimental analysis					
46/ [133]	coal fired plants	national (Slovenia)	prospective	whole life cycle	Sustainability Assessment	Multi-criteria assessment	simulation model	this paper promotes further studies of appropriateness for many technologies and sites	scientific literature	semi-quantitative	using simulating and multi criteria models	YES	YES	site specific	inter temporal	

	gas fired plants					Comparative Assessment	multi-criteria decision model (MCDM)	graphical presentation	previous publications and a range of assumptions	national	decision-making processes				
	biomass					Integrated sustainability evaluation	GIS model	this paper takes into account the uncertainty of the evaluation	International Energy Agency (IEA)- Bioenergy		comparison with results from other studies				
	oil						DELPHI method								
	nuclear						DEX model								
	hydro						decision making approach								

Παράρτημα 3: Καταγραφή των δεικτών αξιολόγησης του 3ου Κεφαλαίου ανά μεθοδολογία

1. Ανάλυση με χρήση Δεικτών Βιωσιμότητας (Sustainability Indicator Analysis)

A. Οικονομικοί Δείκτες

Assessment Method	Economic/ Prosperity Aspects											
	Microeconomic Costs			Life Cycle Costs			CO ₂ emissions per unit of GDP			Supportive Financial Mechanisms		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
Sustainability Indicator Analysis	total installation cost	1	1	total installation cost	1	1	low CO ₂ emissions	1	24	government incentive scheme	1	1
	maintenance cost	2	1;33	maintenance cost	2	1;33	Energy Intensity			assumed standard import tariff	1	1
	government scheme-carbon tax	1	1	government scheme-carbon tax	1	1	Indicators	times encountered	indicator sources	government scheme-export tariff	1	1
	operation costs (€/kWh)	5	1;28;33;37;26	operation costs (€/kWh)	5	1;28;33;37;26	energy consumed on premises	1	1	investment analysis	1	37
	corporate tax	1	1	costs/billing at the end use of nuclear power	1	24	total value of energy generated	1	1	local taxes	1	26
	costs/billing at the end use of nuclear power	1	24	reduction of energy output's costs	1	24	fossil fuel intensity	1	37	increase in investments	1	45
	reduction of energy output's costs	1	24	high production costs	1	28	Energy security	1	45			
	ignorance of externality costs	1	24	economic feasibility	1	28	Levelized Cost			Contribution sectoral growth and GDP		
	high production costs	1	28	labor and overhead costs	1	28	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
	economic feasibility	1	28	construction costs	1	28	levelized cost of electricity (€/kWh)	2	33;26	government incentive income	1	1
	labor and overhead costs	1	28	subsidies and taxes	1	28	Mitigation/welfare costs			Impacts on the GDP	1	48
	construction costs	1	28	expensive use of photobioreactors	1	28	Indicators	times encountered	indicator sources			
	subsidies and taxes	1	28	social costs	1	28	subsidies and taxes	1	28	Financial Risks		
	expensive use of photobioreactors	1	28	opportunity costs	1	28	Energy Security (Import Dependency)			Indicators	times encountered	indicator sources
	social costs	1	28	environmental costs	1	28	Energy Security	1	24	internalization of financial costs	1	24
	opportunity costs	1	28	financial costs	1	28	prices of the raw ingredients	1	37	financial costs	1	28
	environmental costs	1	28	investment costs (€/kWh)	1	33;26	eco-cost of material depletion	1	37	Financial viability	1	45
	financial costs	1	28	fuel costs	1	33	access to energy	1	47			
	investment costs (€/kWh)	2	33;26	capacity factor	1	33	energy security	1	47			
	fuel costs	1	33	costs of material use	1	33	Affordability			Other		
capacity factor	1	33	use of levelized costs of energy (LCOE) (€/MWh)	1	33	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	
costs of material use	1	33	energy cost stability	1	33	affordability of capital investments	1	24	energy exported to grid	1	1	
use of levelized costs of energy (LCOE) (€/MWh)	1	33	sensitivity to fuel price fluctuation (%)	1	33	affordable electricity bills	1	24	basic payback time	1	1	
energy cost stability	1	33	prices of the raw ingredients	1	37							

	sensitivity to fuel price fluctuation (%)	1	33	production costs (\$/l-1)	2	37;48	prices of the raw ingredients	1	37	remaining lease of building	1	1		
	cost of manufacturing enzymes	1	37	cellulase cost (cents/gal)	1	37	Profitability			inflation rate	1	28		
	net production costs (\$/l-1)	2	37;48	cost of manufacturing enzymes	1	37	Indicators		times encountered	indicator sources	cost benefit ratio		1	37
	cellulase cost (cents/gal)	1	37	cost of biomass feedstock	1	37	total from corporate tax deduction	1	1	income of producers of row materials			1	26
	eco-cost of energy	1	37	revenue to feedstock ratio	1	37	annual fuel bill savings	1	1	income of local subcontractors			1	26
	cost of biomass feedstock	1	37	revenue to main product ratio	1	37	annual value of energy exported	1	1	allowances for local government			1	26
	net present value	1	37	pollution prevent eco-cost	1	37	carbon tax savings	1	1					
	annualized cost	1	37	eco-cost of energy	1	37	annual return on investment	1	1					
	changes in the eco-cost	1	37	eco-cost of material depletion	1	37	remaining benefit from income	1	1					
	eco-cost of material depletion	1	37	net present value	1	37	economic profitability	1	28					
				annualized cost	1	37	revenue to feedstock ratio	1	37					
				changes in the eco-cost	1	37	revenue to main product ratio	1	37					
				electricity costs	1	48	payback period	1	37					

B. Περιβαλλοντικοί Δείκτες

Assessment Method	Environmental/Health/ Exhaustible Resources Aspects														
	Land use (Land use efficiency)			Solid and liquid waste including wastewater			Human toxicity			Radioactivity			Other		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
Sustainability Indicator Analysis	indirect land-use change emissions	1	28	long-term waste reduction	1	24	low exposure to harmful pressure	1	24	continious radioactivity	1	24	occupied area for electricity generation	1	1
	land demand (ha/kWh)	2	33;26	disposal of waste	2	28;37	impacts on human ecotoxicity	1	28	impacts on ionising radiation	1	28	deployment of renewable energy potentials	1	24
	indirect landuse changes (iLUC)	1	37	(radioactive) waste (m3/kWh)	1	33	mortality and morbidity (YoLL/kWh)	1	33	(radioactive) waste (m3/kWh)	1	33	environmental acceptability	1	24
	agricultural management	1	37	waste generation	2	33;45	Ecotoxicity			nuclear safety	1	33	large biomass productivity	1	28
	effects on soil	1	26	availability of waste disposal infrastructure (kg/kWh)	1	33	Indicators	times encountered	indicator sources	radiation exposure	1	45	high lipid content	1	28
	landscape resources	1	26	waste management	1	45	ecological resilience	1	24	radionuclides	1	45	climate resilience ("1-5")	1	33
	land use	1	45	waste transportation	1	45	impacts on ecotoxicity	1	28				waste generation	1	33
	deforestation	1	45	Waste	1	48	Freshwater use			Greenhouse Gas Emissions by product (Million metric tons by product)			availability of waste disposal infrastructure (kg/kWh)	1	33
	habitat loss	1	45	Acidification			Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	fuel use (fossil) (Mj/kWh)	1	33
	Noise			Indicators	times encountered	indicator sources	total water consumption by building	1	1	total greenhouse gas emission by building	1	1	nuclear safety	1	33
	Indicators	times encountered	indicator sources	impacts on acidification	1	28	high water consumption	1	28	GHG emissions	5	24;28;33;45;48	chemical composition of biomasses	1	37
	noise pollution (%)	3	33;26;45	ecosystem damages (acidification) (PDF-m2-a/kWh)	1	33	water quantity	1	45	impacts by CO ₂ emissions (g/kWh)	1	33	local climatic and weather conditions	1	37
	Biodiversity			acidification potential	2	37;48	water quality	1	45	emissions of Nox	1	33	environmental loadings	1	37
	Indicators	times encountered	indicator sources	Eutrophication			heavy metal water pollution	1	45	emissions of SO ₂	1	33	risk of nitrate leaching	1	37
	biodegradability of cellulose	1	37	Indicators	times encountered	indicator sources	thermal pollution of water	1	45	emissions of PM	1	33	carbon (C) accumulation and decay	1	37
	biodiversity loss	2	37;45	impacts on eutrophication	1	28	Access to drinking water	1	45	GHG balances	1	37	soil C sequestration	1	37
effects on biodiversity	1	21	ecosystem damages (eutrophication) (PDF-m2-a/kWh)	1	33	Water contamination risk	1	45	emission of nitrous oxide	1	37	maintenance of soil health	1	37	
impacts on the ecosystems	2	45;48	eutrophication potential	2	37;48				annual emissions associated with N fertilizer	1	37	landscape impact (%)	1	26	

loss of native vegetation species	1	45	Ozone depletion			Depletion of non-energy resources (Resource Depletion)			Sox emissions (g/MJ)	1	37	water resources	1	26	
biodiversity	1	47	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Nox emissions (g/MJ)	1	37	vulnerability to natural hazards	1	45	
Non-renewable energy use (NREU)			impacts on ozone depletion		1	28	carbon saved per year	1	1	GHG emissions (g CO ₂ eq./y)	2	37;26	disaster preparedness and response	1	45
Indicators	times encountered	indicator sources	Photochemical ozone formation			depletion of exploitable-grade uranium	1	24	reduction of GHG emissions	1	47	air quality	1	45	
fuel use (fossil) (Mj/kWh)	1	33	Indicators	times encountered	indicator sources	redistribution of access to natural resources	1	24	Total Energy Consumption per output (Trillion Btus per output)			gaseous emissions	1	45	
non-renewable energy use	1	37	impacts on photochemical smog		1	28	resource depletion	1	28	Indicators	times encountered	indicator sources	concentrations of toxic chemicals	1	45
Global warming			Particulate matter(Rspiratoryinorganics)			resource use (resource depletions)	1	37	energy consumed by building	1	1	spread of contagious diseases	1	45	
Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	depletion of soil carbon content	1	37	energy consumption	1	28	Induced seismicity	1	45	
global warming potential (GWP)	1	37	impacts on air emissions		1	28	nutrient availability	1	37	fuel consumption	1	37	subsidence of the land surface	1	45
climate change impact	2	45;48	nitrogen cycling and losses		1	37	fuel depletion	1	37			Hydrothermal eruptions	1	45	
			soil organic carbon (SOC)		1	37	Resources	1	48			thermal pollution of air	1	45	
			concentrations of H2S		1	45						improvement in sanitation	1	45	
												water and air quality	1	47	

Γ. Κοινωνικοί Δείκτες

Assessment Method	Social Aspects								
	Public acceptance			Socio-economic risks, e.g. limiting farmers' independence (and welfare)			Increase in Employment		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
Sustainability Indicator Analysis	social acceptability	2	24;37	low-risk solution	1	24	investments in jobs	1	24
	public concern	1	24	income poverty	1	45	creation of jobs at the investment stage	1	33
	level of public resistance/opposition ("1-5")	1	33	crime levels	1	45	creation of jobs at the operation and maintenance stage	1	33
	mortality and morbidity (YoLL/kWh)	1	33	population	1	45	employment opportunities	1	37
	accidents and fatalities (deaths)	1	33	living conditions	1	45	new jobs (prs. MW)	2	26;45
	Trust in regulatory oversight			access to drinking water	1	45	increase of local income (%)	1	26
	Indicators	times encountered	indicator sources	access to energy	1	45	employment rate	1	45
	Trust in source of information			economic security	1	45	Consumer Surplus - Preferences		
	Indicators	times encountered	indicator sources	habitat destruction	1	45	Indicators	times encountered	indicator sources
	Cultural heritage			health status	1	45	functional impact	1	1
	Indicators	times encountered	indicator sources	mortality	1	45	aesthetic impact	1	1
	Indicators	times encountered	indicator sources	health care delivery	1	45	affordable electricity bills	1	24
	cultural impacts	1	45	sanitation	1	45	mortality and morbidity (YoLL/kWh)	1	33
	loss of local culture	1	45	nutritional status	1	45	accidents and fatalities (deaths)	1	33
	Place identity			Increase in income per capita	1	45	willingness to pay by consumers	1	37
	Indicators	times encountered	indicator sources	Increase in salaries	1	45	health impacts	1	37
	aesthetic/functional impact ("1-5")	1	33	improvement in food security	1	45	Other		
	aesthetic impacts	1	37	Social development in initiatives	1	45	Indicators	times encountered	indicator sources
	'Spin off' power			Affordability in energy supply	1	45			
	Indicators	times encountered	indicator sources	Access to drinking water	1	45			
			improvement in sanitation	1	45				

	Local autonomy			increase in property prices	1	45			
	Indicators	times encountered	indicator sources	improvement in education facilities	1	45			
	improvement in the sustainability of rural communities	1	35	improvement in school attendance	1	45			
	local economy	1	45	cultural change	1	45			
	tourism rate	1	45	social change rate	1	45			
	Modernization concerns			improvement in medical facilities	1	45			
	Indicators	times encountered	indicator sources	improvement in living standards	1	45			
				impact on food prices	1	47			
	Education and skills			food security	1	47			
	Indicators	times encountered	indicator sources	Social components of risks	1	48			
	education levels	1	45	Impacts on customers	1	48			
	literacy	1	45	Impacts on state affairs	1	48			
	research and development	1	45	Political stability and legitimacy	1	48			
	Equity concerns			Impacts on quality of landscape & residential areas	1	48			
	Indicators	times encountered	indicator sources	Physical security	1	48			
				Impacts on utility	1	48			
	Voluntariness of adoption			mortality	1	48			
	Indicators	times encountered	indicator sources	Impacts on human health	1	48			
	Indicators	times encountered	indicator sources	Impacts on human health	1	48			

Δ. Δείκτες Ετοιμότητας της Αγοράς

Assessment Method	Market Readiness Aspects								
	Demand for the technology			Maturity level			Level of technical and business skills needed		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
Sustainability Indicator Analysis	technological diffusion	1	24	fast breeder technology	1	24	technological complexity	1	24
	market size (domestic) ("1-5")	1	33	technological maturity ("1-5")	1	33	Other		
	market size (potential export) ("1-5")	1	33	promising emerging technology	1	37	Indicators	times encountered	indicator sources
	demand of biomass	1	37				market concentration on supply ("1-5")	1	33

Ε. Τεχνολογικοί Δείκτες

Assessment Method	Technological Aspects														
	Reliability of technology and user satisfaction			Capacity level of integration into present and future energy systems			Uncertainty regarding future performance			Energy Output			Other		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
Sustainability Indicator Analysis	affordability for present generation	1	24	design life	1	1	design life	1	1	energy generation potential	1	1	construction period	1	1
	vulnerability to extreme events	1	24	flexibility of the system	1	1	climate resilience ("1-5")	1	33	power rating of technology	1	1	fertilizer application rate	1	37
	fast breeder technology	1	24	secure and reliable electricity supply	1	24	stability of energy generation	1	33	more energy output	1	24	animal manure	1	37

energy efficiency	2	24;45;37	large biomass productivity	1	28	innovative ability ("1-5")	1	33	small energy loss	1	24	catch crops	1	37
low vulnerability of electricity supply	1	24	peak load response (%)	1	33	biorefinery process performances	1	37	stability of the output	1	24	soil C stocks	1	37
high reliability	1	24	year-round supply of biomass	1	37	fossil fuel savings	1	37	stability of energy generation	1	33	use of advanced yeast	1	37
small energy losses	1	24	fossil fuel savings	1	37	technological flexibility	1	37	biofuel production chains	1	37	use of straw	1	37
climate resilience ("1-5")	1	33	production capacity	1	37	shortage of feed materials	1	37	production of relevant biomass feedstocks	1	37	crop displacement	1	37
stability of energy generation	1	33	raw material handling capacity	1	37	ability to deliver products	1	37	net energy ratio (%)	1	37	material extraction	1	37
peak load response (%)	1	33	feedstock supply	1	37	energy efficiency (fossil) (energy input/energy in fuel)	2	37;45	net energy input	1	37	working temperature	1	37
technological maturity	1	33	biomass supply	1	37	Financial viability	1	45	net energy output	1	37	material flow analysis	1	37
innovative ability ("1-5")	1	33	shortage of feed materials	1	37				annual crop production	1	37	product substitution effects	1	37
flexibility	2	33;37	energy efficiency (fossil) (energy input/energy in fuel)	1	45				biobased products production	1	37	rate of utilization of the resource	1	45
fossil fuel savings	1	37							renewable energy production	1	37			
fertilizer manufacturing efficiencies	1	37							production of heat and power	1	37			
shortage of feed materials	1	37							mass balance	1	37			
ability to deliver products	1	37							energy balance	1	37			
Financial viability	1	45							capacity factor (%)	1	45			

2. Ανάλυση με χρήση Σεναρίων (Scenario Analysis)

A. Οικονομικοί Δείκτες

Assessment Method	Economic/ Prosperity Aspects											
	Microeconomic Costs			Energy Intensity			Supportive Financial Mechanisms			Life Cycle Costs		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
Scenario Analysis	total installation cost	1	5				discount rate (%)	1	34	total installation cost	1	5
	levelized cost of electricity	1	5							investment costs	1	5
	investment costs	1	5	Levelized Cost			Contribution to sectoral growth and GDP			cost-minimal energy supply	1	10
	Marginal abatement costs	1	5	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	evaluation of levelized costs of energy (LCOE) (\$/kWh)	1	34

	cost-minimal energy supply	1	10	levelized cost of electricity	1	5				amount of subsidies	1	34
	evaluation of levelized costs of energy (LCOE) (\$/kWh)	1	34	evaluation of levelized costs of energy (LCOE) (\$/kWh)	1	34				reduction of cost of CSP electricity	1	34
	amount of subsidies	1	34	CO2 emissions per unit of GDP			Financial Risks			total cost of system (\$/W)	1	34
	reduction of cost of CSP electricity	1	34	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	labor costs	1	34
	total cost of system (\$/W)	1	34	penalty for CO2 emissions	1	34				land costs (\$/W)	1	34
	labor costs	1	34	Mitigation/welfare costs			Other			reduction of transmission costs	1	34
	land costs (\$/W)	1	34	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	low operation and maintenance costs (%)	1	34
	reduction of transmission costs	1	34	Mitiation costs	1	5	discount rate (%)	1	34	quite high capital costs	1	34
	low operation and maintenance costs (%)	1	34	Energy Security (Import Dependency)			tracking factor (%)	1	34	insurance costs (%)	1	34
	quite high capital costs	1	34	Indicators	times encountered	indicator sources				low external costs	1	34
	insurance costs (%)	1	34	cost-minimal energy supply	1	10				grid parities and calculations	1	34
	low external costs	1	34	Affordability						production costs	1	34
	grid parities and calculations	1	34	Indicators	times encountered	indicator sources				future cost of conventional electricity	1	34
	production costs	1	34	affordability of savings in foreign currencies	1	34				projected costs of fuel	1	34
	future cost of conventional electricity	1	34	discount rate (%)	1	34				environmental taxes	1	34
	projected costs of fuel	1	34	Profitability						internalization of external costs	1	34
	environmental taxes	1	34	Indicators	times encountered	indicator sources						
	internalization of external costs	1	34	discount rate (%)	1	34						

B. Κοινωνικοί Δείκτες

Assessment Method	Social Aspects								
	Public acceptance			Place identity			Equity concerns		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
Scenario Analysis									
	Trust in regulatory oversight			'Spin off' power			Increase in Employment		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources

Trust in source of information			Local autonomy			Consumer Surplus - Preferences		
Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
Socio-economic risks, e.g. limiting farmers' independence (and welfare)			Modernization concerns			Voluntariness of adoption		
Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
Cultural heritage			Education and skills			Other		
Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources

Γ. Δείκτες Ετοιμότητας της Αγοράς

Assessment Method	Market Readiness Aspects					
	Demand for the technology			Level of technical and business skills needed		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
Scenario Analysis	expansion of CSP markets	1	34	installation in arid or semi-arid climates	1	34
	Maturity level			large-scale solar power technology	1	34
				thermal storage	1	34
	R&D effort	1	5	high accessibility of coal	1	34
	emerging technology	1	34	Other		
	large-scale solar power technology	1	34	Indicators	times encountered	indicator sources
	estimated lifetime (years)	1	34			
	learning rate (LR) (%)	1	34			
	exponent associated with the learning rate (b) (%)	1	34			

Δ. Τεχνολογικοί Δείκτες

Assessment Method	Technological Aspects											
	Reliability of technology and user satisfaction			Uncertainty regarding future performance			Energy Output			Capacity level of integration into present and future energy systems		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
Scenario Analysis	emerging technology	1	34	ability of storaction heat energy in molten salt tanks	1	34	high energy densities	1	34	cumulative installed capacity (GW)	1	34
	high energy densities	1	34	guarantee of capacity	1	34	high temperatures	1	34	high energy densities	1	34
	intermittency problems	1	34	expansion of CSP markets	1	34	ability of storaction heat energy in molten salt tanks	1	34	guarantee of capacity	1	34
	ability of storaction heat energy in molten salt tanks	1	34	improvement of performance by R&D efforts	1	34	regulation of energy production	1	34	thermal storage	1	34
	guarantee of capacity	1	34	high technological risks	1	34	annual electricity production (GWh)	1	34	installation in arid or semi-arid climates	1	34
	large-scale solar power technology	1	34	performance factor (m2/W)	1	34	thermal storage	1	34			
	high technological risks	1	34	estimated lifetime (years)	1	34	reduction of power losses	1	34	Other		
	high accessibility of coal	1	34	reduction of risks associated with energy shortages	1	34	no net production	1	34	Indicators	times encountered	indicator sources
	reduction of risks associated with energy shortages	1	34	high temperatures	1	34	annual CSP output degradation rate (%)	1	34	plant's size	1	34

Ε. Περιβαλλοντικοί Δείκτες

Assessment Method	Environmental/Health/ Exhaustible Resources Aspect											
	Land use (Land use efficiency)			Eutrophication			Freshwater use			Depletion of non-energy resources (Resource Depletion)		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
Scenario Analysis										availability of solar resource (kWh/m2/yr)	1	34
	Noise			Ozone depletion			Total Energy Consumption per output (Trillion Btus per output)			resource limits	1	34
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources			
	Biodiversity			Photochemical ozone formation			Global warming			Greenhouse Gas Emissions by product (Million metric tons by product)		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
						global warming	1	10	atmospheric greenhouse gas concentrations	1	10	

Non-renewable energy use (NREU)			Particulate matter (Respiratory inorganics)			median sensitivity of X°C global-mean temperature increase for a doubling of CO2	1	10	flexibility of emissions reduction	1	10
Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Radioactivity			low levels pf GHGs emissions	1	34
						Indicators	times encountered	indicator sources	CO2 emissions	1	34
Solid and liquid waste including wastewater			Human toxicity			direct solar irradiation	1	34	emission factor	1	34
Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	direct normal irradiance (DNI) (kWh/m2/yr)	1	34			
						Other					
Acidification			Ecotoxicity			Indicators	times encountered	indicator sources			
Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	penalty for CO2 emissions	1	34			

3. Ανάλυση Εξειδίκευσης της Αγοράς (Niche Market Analysis)

A. Οικονομικοί Δείκτες

Assessment Method	Economic/ Prosperity Aspects								
	Microeconomic Costs			Energy Security (Import Dependency)			Life Cycle Costs		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
Niche Market Analysis	marginal costs	2	3;7	promotion pf exports	1	3	implementation costs	1	3
	total cost of ownership (TCO)	1	3	price of fuel	2	8;9	up-front costs	1	4
	implementation costs	1	3	Annual fuel bill savings	1	8	life-time costs	1	4
	up-front costs	1	4	security of fuel supply	1	7	total installations costs	2	8;9
	total installations costs	2	8;9	Affordability			running costs	1	7
	running costs	1	7	Indicators	times encountered	indicator sources	investment costs	1	7
	investment costs	1	7	affordability	1	7	marginal costs	1	7

Energy Intensity			Profitability			Contribution to sectoral growth and GDP		
Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
			profitability	1	8			
Levelized Cost			Annual fuel bill savings	1	9	Financial Risks		
Indicators	times encountered	indicator sources	Supportive Financial Mechanisms			Indicators	times encountered	indicator sources
			Indicators	times encountered	indicator sources			
CO ₂ emissions per unit of GDP			end-user tariff rate	1	9	Other		
Indicators	times encountered	indicator sources	Annual return on investment	1	9	Indicators	times encountered	indicator sources
			funding rate	1	9			
Mitigation/welfare costs			feed-in-tariff	1	9			
Indicators	times encountered	indicator sources	capital investment	1	7			
			exempted from energy and CO ₂ taxes	1	7			

B. Περιβαλλοντικοί Δείκτες

Assessment Method	Environmental/Health/Exhaustible Resources Aspect								
	Land use (Land use efficiency)			Eutrophication			Radioactivity		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
Niche Market Analysis	conflicts with alternative land uses	1	3						
	Noise			Ozone depletion			Depletion of non-energy resources (Resource Depletion)		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
	noise	1	3				energy savings	1	8
	Biodiversity			Photochemical ozone formation			Greenhouse Gas Emissions by product (Million metric tons by product)		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
							reduction of CO ₂ emissions	3	3;4;7
	Non-renewable energy use (NREU)			Particulate matter (Respiratory inorganics)			carbon emission rate	1	8
Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Total Energy Consumption per output (Trillion Btus per output)			

	renewable energy use	1	8				Indicators	times encountered	indicator sources
	Solid and liquid waste including wastewater			Human toxicity			energy consumed	1	8
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	reduction of energy consumption	1	7
							Other		
	Global warming			Ecotoxicity			Indicators	times encountered	indicator sources
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	nature protection concerns	1	3
							environmental impacts	1	8
	Acidification			Freshwater use			energy savings	1	9
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	environmental benignity	1	7

Γ. Κοινωνικοί Δείκτες

Assessment Method	Social Aspects								
	Public acceptance			Place identity			Voluntariness of adoption		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
Niche Market Analysis	public resistance	2	3;8				public resistance	2	3;8
	reluctance of consumers	1	3	'Spin off' power			reluctance of consumers	1	3
	socio-cognitive acceptance	2	3;4	Indicators	times encountered	indicator sources	socio-cognitive acceptance	2	3;4
	public opinion	3	4;8;9				public opinion	3	4;8;9
	social opposition	1	4	Local autonomy			social opposition	1	4
	pubic acceptance	2	9;7	Indicators	times encountered	indicator sources	political discourse	1	8
	public awareness	1	9				unawareness of owners	1	8
	public support	1	7	Modernization concerns			fear of adoption	1	8
	public and media support	1	7	Indicators	times encountered	indicator sources	pubic acceptance	2	9;7
	public concerns	1	7	societal changes	1	7	public awareness	1	9
	Trust in regulatory oversight			Education and skills			public support	1	7
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	public and media support	1	7

	lack of strict regulation	1	7				public concerns	1	7
	Trust in source of information			Equity concerns			Consumer Surplus - Preferences		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
							reluctance of consumers	1	3
	Socio-economic risks, e.g. limiting farmers' independence (and welfare)			Increase in Employment			user behaviour	1	9
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	convenient	1	7
				creation of jobs	1	3			
	Cultural heritage						Other		
	Indicators	times encountered	indicator sources				Indicators	times encountered	indicator sources
	socio-cognitive bandwagon effects	1	7						

Δ. Δείκτες Ετοιμότητας της Αγοράς

Assessment Method	Demand for the technology			Maturity level		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
Niche Market Analysis	high/medium/low momentum	4	3;4;8;9	technology diffusion	3	3;4;9
	technology diffusion	2	3;9	technology development rate	2	4;9
	application rate	1	8	rate of growth	1	4
	high/medium/low momentum	1	7	market development	1	9
	Other			technical expert knowledge rate	1	9
	Indicators	times encountered	indicator sources	maturity	1	7
	alignment with regime	1	8	Level of technical and business skills needed		
	political promotion	1	9	Indicators	times encountered	indicator sources
	alignment with regime	1	9			

Ε. Τεχνολογικοί Δείκτες

Assessment Method	Technological Aspects											
	Reliability of technology and user satisfaction			Capacity level of integration into present and future energy systems			Uncertainty regarding future performance			Energy Output		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
Niche Market Analysis	emerging technology	1	34	cumulative installed capacity (GW)	1	34	ability of storage heat energy in molten salt tanks	1	34	high energy densities	1	34
	high energy densities	1	34	high energy densities	1	34	guarantee of capacity	1	34	high temperatures	1	34
	intermittency problems	1	34	guarantee of capacity	1	34	expansion of CSP markets	1	34	ability of storage heat energy in molten salt tanks	1	34
	ability of storage heat energy in molten salt tanks	1	34	thermal storage	1	34	improvement of performance by R&D efforts	1	34	regulation of energy production	1	34
	guarantee of capacity	1	34	installation in arid or semi-arid climates	1	34	high technological risks	1	34	annual electricity production (GWh)	1	34
	large-scale solar power technology	1	34				performance factor (m ² /W)	1	34	thermal storage	1	34
	high technological risks	1	34	Other			estimated lifetime (years)	1	34	reduction of power losses	1	34
	high accessibility of coal	1	34	Indicators	times encountered	indicator sources	reduction of risks associated with energy shortages	1	34	no net production	1	34
	reduction of risks associated with energy shortages	1	34	plant's size	1	34	high temperatures	1	34	annual CSP output degradation rate (%)	1	34

4. Πολυκριτηριακή Μέθοδος Καθεστώτος (Multi-criteria Regime Analysis)

Α. Οικονομικοί Δείκτες

Assessment Method	Economic/ Prosperity Aspect								
	Microeconomic Costs			Energy Security (Import Dependency)			Life Cycle Costs		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
Regime Analysis				cheap raw materials	1	7			
	Energy Intensity			Affordability			Contribution to sectoral growth and GDP		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
	Levelized Cost			Profitability			Financial Risks		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
			low CO ₂ prices	1	3				

CO2 emissions per unit of GDP			small financial benefits	1	3			
Indicators	times encountered	indicator sources	Supportive Financial Mechanisms			Other		
			Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
Mitigation/welfare costs			EU interference	1	3			
Indicators	times encountered	indicator sources						

Β. Περιβαλλοντικοί Δείκτες

Assessment Method	Environmental/Health/ Exhaustible Resources Aspect								
	Land use (Land use efficiency)			Eutrophication			Radioactivity		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
Regime Analysis	Noise			Ozone depletion			Depletion of non-energy resources (Resource Depletion)		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
							reduction of oil as a fuel	1	7
	Biodiversity			Photochemical ozone formation			Greenhouse Gas Emissions by product (Million metric tons by product)		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
							reduction of CO2 emissions	1	3
	Non-renewable energy use (NREU)			Particulate matter (Respiratory inorganics)			high GHG emissions reductions		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Total Energy Consumption per output (Trillion Btus per output)		
							Indicators	times encountered	indicator sources
	Solid and liquid waste including wastewater			Human toxicity					
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Other		
							Indicators	times encountered	indicator sources
	Global warming			Ecotoxicity					
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources			

	Acidification			Freshwater use					
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources			

Γ. Κοινωνικοί Δείκτες

Assessment Method	Social Aspects								
	Public acceptance			Place identity			Voluntariness of adoption		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
Regime Analysis	public acceptance	1	3				public acceptance	1	3
	resistance of incumbents	2	3;4	'Spin off' power			resistance of incumbents	2	3;4
	reluctance	1	4	Indicators	times encountered	indicator sources	reluctance	1	4
	Trust in regulatory oversight						Increase in Employment		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Local autonomy			Indicators	times encountered	indicator sources
				Indicators	times encountered	indicator sources			
	Trust in source of information						Consumer Surplus - Preferences		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Modernization concerns			Indicators	times encountered	indicator sources
				Indicators	times encountered	indicator sources			
	Socio-economic risks, e.g. limiting farmers' independence (and welfare)						Other		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Education and skills			Indicators	times encountered	indicator sources
				Indicators	times encountered	indicator sources			
	Cultural heritage								
	Indicators	times encountered	indicator sources	Equity concerns					
				Indicators	times encountered	indicator sources			

Δ. Δείκτες Ετοιμότητας τη Αγοράς

Assessment Method	Market Readiness Aspects					
	Demand for the technology			Maturity level		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
Regime Analysis	innovation	1	4			
	feasibility	1	4	Other		
	rate of progress	2	4;7	Indicators	times encountered	indicator sources
	Level of technical and business skills needed			technology diffusion	1	4
	Indicators	times encountered	indicator sources	stability	1	4
				rate of progress	2	4;7

Ε. Τεχνολογικοί Δείκτες

Assessment Method	Technological Aspects								
	Reliability of technology and user satisfaction			Capacity level of integration into present and future energy systems			Uncertainty regarding future performance		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
Regime Analysis	feasibility	1	4	technology diffusion	1	4	innovation	1	4
	technological rigidity	1	3	integration of renewable energies	1	3	lock-in mechanisms	1	4
	technological stability	1	7	complementarity	1	7	rate of progress	1	4
	efficiency	1	7	interconnectedness	1	7	Weak Waste incineration lock-in	1	7
	ability of replacement	1	7				technological stability	1	7
	Energy Output			Other			rate of progress	1	7
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources			
	stability	1	4						

5. Ολοκληρωμένα Μοντέλα Αξιολόγησης (Integrated Assessment Models)

A. Οικονομικοί Δείκτες

Assessment Method	Economic/ Prosperity Aspects											
	Microeconomic Costs			Energy Intensity			Affordability			Life Cycle Costs		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
Integrated Assessment Models	total installation cost	1	6				carbon price	1	36	total installation cost	1	6
	average investment costs	1	6	Levelized Cost			wind generation tax credits	1	36	average investment costs	1	6
	investment costs	1	6	Indicators	times encountered	indicator sources	market-clearing prices	1	36	investment costs	1	6
	production costs	1	6	levelised costs of energy	1	6	market prices of energy goods and services	1	36	production costs	1	6
	overnight investment costs	1	6	solar LCOE (\$/KWh)	1	36	carbon taxes	1	36	overnight investment costs	1	6
	variable operation & maintenance costs	1	6	CO2 emissions per unit of GDP			marginal price of natural gas	1	36	variable operation & maintenance costs	1	6
	fixed O&M cost	1	6	Indicators	times encountered	indicator sources	cost of exogenous energy and material imports	1	36	fixed O&M cost	1	6
	overnight nuclear capital cost	1	36	carbon taxes	1	36	cost configuration of capital stock	1	36	overnight nuclear capital cost	1	36
	climate policy costs	1	36				cost of the input feedstocks	1	36	climate policy costs	1	36
	GHGs mitigation cost	1	36	Mitigation/welfare costs			crude oil price	1	36	GHGs mitigation cost	1	36
	solar LCOE (\$/KWh)	1	36	Indicators	times encountered	indicator sources	cost of upgrading the crude oil	1	36	solar LCOE (\$/KWh)	1	36
	Biofuels cost (\$/GGE)	1	36	GHGs mitigation cost	1	36	discount rate	1	36	Biofuels cost (\$/GGE)	1	36
	Bio-electricity cost (\$/KWh)	1	36				cost decreases	1	50	Bio-electricity cost (\$/KWh)	1	36
	CCS additional capital cost (\$/KW)	1	36				cost-competitiveness	1	50	CCS additional capital cost (\$/KW)	1	36
	Bio-electricity non-energy cost (\$/KWh)	1	36	Energy Security (Import Dependency)						Bio-electricity non-energy cost	1	36
	Biofuels non-energy cost (\$/GGE)	1	36	Indicators	times encountered	indicator sources				Biofuels non-energy cost	1	36
	cost of nuclear waste management	1	36	raw materials price	1	6	Contribution to sectoral growth and GDP			carbon price	1	36
wind generation tax credits	1	36	carbon price	1	36	Indicators	times encountered	indicator sources	cost of nuclear waste management	1	36	

marginal abatement cost curve (MAC)	1	36	price of fuels	1	36	effects on GDP	1	36	wind generation tax credits	1	36
cost of upgrading the crude oil	1	36	market prices of energy goods and services	1	36				solar costs	1	36
solar costs	1	36	biomass price	2	36;50	Financial Risks			R&D spending	1	36
R&D spending	1	36	subsidies, taxes and penalty on energies sources	1	36	Indicators	times encountered	indicator sources	transition costs	1	36
transition costs	1	36	cost of uranium	1	36				market-clearing prices	1	36
extraction costs	1	36	marginal price of natural gas	1	36				extraction costs	1	36
annual operations and maintenance cost	1	36	cost of exogenous energy and material imports	1	36	Supportive Financial Mechanisms			market prices of energy goods and services	1	36
net present value	1	36	cost configuration of capital stock	1	36	Indicators	times encountered	indicator sources	annual operations and maintenance cost	1	36
cost of storage	2	36	cost of the input feedstocks	1	36	discount rate	1	36	price of fuels	1	36
fixed fee	1	36	crude oil price	1	36	R&D spending	1	36	biomass price	1	36
cost of uranium	1	36	cost of upgrading the crude oil	1	36	subsidies, taxes and penalty on energies sources	1	36	net present value	1	36
cost of exogenous energy and material imports	1	36	trade of oil and carbon permits	1	36	annualized investments	1	36	carbon taxes	1	36
fuel and material delivery costs	1	36	energy demand	1	36	Initial investment	1	50	subsidies, taxes and penalty on energies sources	1	36
crude oil price	1	36	fuel requirement	1	36	funding rate	1	50	cost of storage	1	36
cost configuration of capital stock	1	36	energy supply	1	36	Other			fixed fee	1	36
cost of the input feedstocks	1	36				Indicators	times encountered	indicator sources	cost of uranium	1	36
Cost of electricity	1	50	Profitability			depreciation rates	1	36	marginal price of natural gas	1	36
Price of biomass	1	50	Indicators	times encountered	indicator sources	load factors	1	36	cost of exogenous energy and material imports	1	36
O&M costs	1	50	discount rate	2	36;50	interest rate	1	36	fuel and material delivery costs	1	36

	Biomass cost	1	50	revenue from exogenous energy and material exports	1	36	utilization rate	1	36	annualized investments	1	36
	Initial investment	1	50				charge rate	1	36	cost configuration of capital stock	1	36
							capital interest factor	1	36	cost of the input feedstocks	1	36
							CCS energy penalty (%)	1	36	crude oil price	1	36
							Logistic capacity	1	50	cost of upgrading the crude oil	1	36
										Cost of electricity	1	50
										Price of biomass	1	50
										O&M costs	1	50
										Biomass cost	1	50
										Initial investment	1	50

B. Πειβαλλοντικοί Δείκτες

Assessment Method	Environmental/Health/ Exhaustible Resources Aspect											
	Land use (Land use efficiency)			Global warming			Human toxicity			Greenhouse Gas Emissions by product (Million metric tons by product)		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
Integrated Assessment Models	land use market equilibrium	1	36	Temperature change	1	36				fossil fuel emissions	1	36
	Agricultural Land-use	1	36	Acidification			Ecotoxicity			GHGs emissions	1	36
	competition for land	1	50	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	CO2 emissions	1	36
	land use	1	50							CO2 concentration	1	36
	Noise			Eutrophication			Freshwater use			Total Energy Consumption per output (Trillion Btus per output)		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
							competition for water	1	50	total fuel consumption	1	36
	Biodiversity			Ozone depletion			water use	1	50			
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Radioactivity			Other		
	biodiversity	1	50				Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources

Non-renewable energy use (NREU)			Photochemical ozone formation			radiative forcing	1	36	environmental limitations	1	36
Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Depletion of non-energy resources (Resource Depletion)			CCS energy penalty (%)	1	36
						Indicators	times encountered	indicator sources	Environmental externalities	1	50
Solid and liquid waste including wastewater			Particulate matter (Respiratory inorganics)			resource depletion	1	36			
Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	natural resource availability	1	36			
nuclear waste management	1	36									

Γ. Κοινωνικοί Δείκτες

Assessment Method	Social Aspects								
	Public acceptance			Place identity			Equity concerns		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
Integrated Assessment Models	social acceptability	2	36;50						
	Trust in regulatory oversight			'Spin off' power			Voluntariness of adoption		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
	Trust in source of information			Local autonomy			Increase in Employment		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
	Socio-economic risks, e.g. limiting farmers' independence (and welfare)			Modernization concerns			Consumer Surplus - Preferences		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
				welfare loss	1	36			
Cultural heritage			Education and skills			Other			
Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	

Δ. Δείκτες Ετοιμότητας της Αγοράς

Assessment Method	Market Readiness Aspects					
	Demand for the technology			Maturity level		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
Integrated Assessment Models	technological inertia	1	36	technical lifetime	1	6
	Lack of investment in RD&D	1	50	R&D effort	1	6
				near-term growth rate	1	36
	Level of technical and business skills needed			technological inertia	1	36
	Indicators	times encountered	indicator sources	technological R&D spillovers	1	36
				R&D diffusion	1	36
				technological adoption and penetration	1	36
	Other			rate of bioenergy penetration	1	50
	Indicators	times encountered	indicator sources	Lack of investment in RD&D	1	50
				diffusion rate	1	50
			Development state of plant	1	50	

Ε. Τεχνολογικοί Δείκτες

Assessment Method	Technological Aspects											
	Reliability of technology and user satisfaction			Capacity level of integration into present and future energy systems			Uncertainty regarding future performance			Other		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
Integrated Assessment Models	R&D effort	1	6	wind and solar production	1	36	probabilities of occurrence	1	36	CCS energy penalty (%)	1	36
	feasibility	1	36	nuclear power production	1	36	level of renewable generation	1	36	Scale of plant	1	50
	biofuels conversion efficiency (%)	1	36	cumulated capacity of nuclear capital installed	1	36	technological performance realization	1	36	Plant capacity	1	50
	bio-electricity conversion efficiency (%)	1	36	level of renewable generation	1	36	increase of uncertainty	1	36	Capacity factor	1	50
	availability	1	36	efficiency	2	36;50	technological inertia	1	36			

	probabilities of occurrence	1	36	grid capacity	1	36	Energy Output					
	level of renewable generation	1	36	capacity factor	1	36	Indicators	times encountered	indicator sources			
	near-term growth rate	1	36	repository capacity	1	36	load factor	1	6			
	Development state of plant	1	50	uranium supply curve	1	36	wind and solar production	1	36			
	Plant lifetime	1	50	innovation processes	1	36	nuclear power production	1	36			
	Technology efficiency	1	50	flexibility	1	36	level of renewable generation	1	36			
	Efficiency	1	50	Connection to the national gas grid	1	50	biomass production	1	36			
				Scale of plant	1	50	energy efficiency (%)	1	50			

6. Ολοκληρωμένη Προσέγγιση (Integrated Modeling)

A. Οικονομικοί Δείκτες

Assessment Method	Economic/ Prosperity Aspects														
	Microeconomic Costs			costs of MCFCs	1	41	Mitigation/welfare costs			Life Cycle Costs			construction cost	1	41
	Indicators	times encountered	indicator sources	construction cost	1	41	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	waste disposal costs	1	41
Integrated Modeling	capital cost (\$/MWh)	10	14;17;22;31;49	waste disposal costs	1	41	mitigation costs (€/t CO2)	1	39	capital cost (\$/MWh)	4	14;17;22;31	cost of the biomass feedstock	1	41
	mitigation costs	1	14	cost of the biomass feedstock	1	41	Costs of CO2 avoided	1	39	mitigation costs	1	14	labor rate (\$/h)	1	31
	operation costs (€/kWh)	2	14;42	cost of logging residues	1	41	Energy Security (Import Dependency)			operation costs (€/kWh)	2	14;42	CO2 transport cost (\$/ton)	1	31
	marginal costs	1	14	labor rate (\$/h)	1	31	Indicators	times encountered	indicator sources	marginal costs	1	14	CO2 storage cost (\$/ton)	1	31
	annual operating and maintenance (O&M) costs (\$/MWh)	3	17;22;31	gas price (\$/GJ)	1	31	fuel price (\$/GJ)	3	14;17;31;22	operating and maintenance (O&M) costs (\$/MWh)	3	17;22;31	added cost for CCS (\$/MWh)	1	31
	total cost of electricity	1	17	added cost for CCS (\$/MWh)	1	31	coal imports	1	38	total cost of electricity	1	17	gas price (\$/GJ)	1	31
	Cost of net CO2 captured (\$/tonne CO2)	2	17;44	coal cost (\$/MWh)	1	31	initial inventories of stock feed	1	39	Cost of net CO2 captured	1	17	total levelized annual cost of overall power plant (\$/MWh)	1	31
	Cost of CO2 avoided (\$/tonne CO2)	2	17;31;44	total levelized annual cost of overall power plant (\$/MWh)	1	31	gas price (\$/GJ)	2	39;31	cost of CO2 avoided (\$/MWh)	2	17;31	cost of logging residues	1	41
total levelized cost of electricity	2	22	total installation cost (€/kWh)	1	42	coal price	1	39	total levelized cost of electricity	1	22	variable operation & maintenance costs (€/kWh)	1	42	

transport and storage costs (\$/MWh)	2	17;31	Interest expenditures	1	42	CO2 transport and storage costs (\$/ton)	2	39;31	transport and storage costs (\$/MWh)	2	17;31	total installation cost	1	42
levelized cost of electricity (LCOE)	2	38;39	Net cost of project (€/kWh)	1	42	Affordability			levelized cost of electricity (LCOE)	1	38	Interest expenditures	1	42
mitigation costs (€/t CO2)	1	39	taxes (kWh/m2/year)	1	42	Indicators	times encountered	indicator sources	mitigation costs (€/t CO2)	1	39	Net cost of project (€/kWh)	1	42
CO2 transport and storage costs (€/t)	1	39	retail electrical price (€/kWh)	1	42	economic affordability	1	38	CO2 transport and storage costs (€/t)	1	39	taxes (kWh/m2/yea)	1	42
costs for the last unit (Ccum)	1	39	initial installed cost (€/kWh)	1	42	Discount rate (%)	2	39;42	costs for the last unit (Ccum)	1	39	capital costs (€/kWh)	1	42
costs for first unit (Co)	1	39	capital cost w/o capture (\$/kWh)	1	44	gas price (\$/GJ)	2	39;31	costs for first unit (Co)	1	39	retail electrical price (€/kWh)	1	42
capital investment costs (€/KW)	1	39	capital cost with capture (\$/kWh)	1	44	coal price	1	39	capital investment costs (€/KW)	2	39;42	initial installed cost (€/kWh)	1	42
O&M cost (fixed O&M cost (FOC), cost of fuel (COF), variable O&M cost (VOC)) (€/MWh)	1	39	CO2 transport cost (\$/tonne CO2)	1	44	price of wind turbines	1	41	O&M cost (fixed O&M cost (FOC), cost of fuel (COF), variable O&M cost (VOC)) (€/MWh)	2	39;49	capital cost w/o capture (\$/kWh)	1	44
electricity generating costs	1	39	geologic storage cost (\$/tonne CO2)	1	44	price of on-shore wind turbines	1	41	electricity generating costs	1	39	capital cost with capture (\$/kWh)	1	44
fuel price (\$/GJ)	3	39;31;44	EOR storage cost (\$/tonne CO2)	1	44	discount rate(%)	2	41;49	fuel price (\$/GJ)	2	39;31	CO2 transport cost (\$/tonne CO2)	1	44
total capital requirement (TCR)	1	39	percent increase in capital cost (%)	1	44	market price of PV system	1	41	total capital requirement (TCR)	1	39	geologic storage cost (\$/tonne CO2)	1	44
total plant investment	1	39	COE w/o capture (\$/MWh)	1	44	price for fuel cells	1	41	total plant investment	1	39	EOR storage cost (\$/tonne CO2)	1	44
royalty fees	1	39	COE with capture (\$/MWh)	1	44	fuel price (\$/GJ)	2	31;44	royalty fees	1	39	percent increase in capital cost (%)	1	44
startup costs	1	39	total storage cost	1	49	Profitability			startup costs	1	39	COE w/o capture (\$/MWh)	1	44
COE capture plant (COEcapture) (€/MWh)	1	39	power conversion system cost	1	49	Indicators	times encountered	indicator sources	COE capture plant (COEcapture) (€/MWh)	1	39	COE with capture (\$/MWh)	1	44
levelized cost of electricity generation (€/Kw)	1	39	balance of plant cost	1	49	low CO2 prices	1	14	levelized cost of electricity generation (€/Kw)	1	39	total storage cost	1	49
COE reference plant (COEreference) (€/MWh)	1	39	energy cost	1	49	energy return on investment (EROI)	1	38	levelized cost of electricity (COE)	1	39	total capital cost	1	49
natural gas price	1	39	power cost	1	49	total energy investment (Inv)	1	38	COE reference plant (COEreference) (€/MWh)	1	39	power conversion system cost	1	49
coal price	1	39	initial capital cost	1	49	energy return on investment of direct electricity (EROIel) (MJel/MJpe)	1	38	natural gas price	1	39	balance of plant cost	1	49
non-fuel O&M costs	1	39	Energy Intensity			energy return on investment of equivalent primary energy (EROIpe-eg)	1	38	coal cost (\$/MWh)	2	39;31	energy cost	1	49
Costs of CO2 avoided	1	39	Indicators	times encountered	indicator sources	energy return in investment of UK electric grid (EROIel,g)	1	38	non-fuel O&M costs	1	39	power cost	1	49
investment cost	1	41				capital recovery factor	1	39	Costs of CO2 avoided	1	39	initial capital cost	1	49
O&M costs (fixed, variable) (€/kWh)	2	41;49	Levelized Cost			discount rate (%)	3	31;39;42	investment cost	1	41	Other		
price of wind turbines	1	41	Indicators	times encountered	indicator sources	cost (price) reductions	1	41	O&M costs (fixed, variable) (€/kWh)	1	41	Indicators	times encountered	indicator

															sources
cost of electricity production	1	41	levelized cost of electricity (€/kWh)	3	38;39;42	discount rate	1	41	price of wind turbines	1	41	learning rate (LR)	1	39	
price of on-shore wind turbines	1	41	levelized cost of electricity generation (€/Kw)	1	39	capital recovery factor	1	49	cost of electricity production	1	41	energy penalty (EP)	1	39	
costs related to foundations	1	41	COE capture plant (COEcapture) (€/MWh)	1	39	Supportive Financial Mechanisms			price of on-shore wind turbines	1	41	capital recovery factor	1	39	
costs related to electrical installations	1	41	COE reference plant (COEreference) (€/MWh)	1	39	Indicators	times encountered	indicator sources	costs related to foundations	1	41	fixed charge factor (FCF)	1	39	
costs related to grid connection	1	41	levelised production cost of electricity	1	41	energy return on investment (EROI)	1	38	costs related to electrical installations	1	41	royalty fees	1	39	
market price of PV system (€/Wp)	1	41	plant LCOE (\$/MWh)	1	26	total energy investment (Inv)	1	38	costs related to grid connection	1	41	interest rate (%)	2	41;42	
costs of modules	1	41	CO2 emissions per unit of GDP			energy return on investment of direct electricity (EROIel) (MJel/MJpe)	1	38	market price of PV system (€/Wp)	1	41	fuel price (\$/GJ)	1	31	
costs of BOS	1	41	Indicators	times encountered	indicator sources	energy return on investment of equivalent primary energy (EROIpe-eq)	1	38	costs of modules	1	41	gas price (\$/GJ)	1	31	
cost of silicon	1	41	low CO2 prices	1	14	energy return in investment of UK electric grid (EROIel, g)	1	38	costs of BOS	1	41	CO2 price for utilization (\$/tCO2)	1	31	
costs for a parabolic trough plant	1	41	Costs of CO2 avoided	1	39	capital investment costs	1	39	cost of silicon	1	41	CO2 sale price (\$/tCO2)	1	26	
costs for a central receiver plant	1	41	Contribution to sectoral growth and GDP			total capital requirement (TCR)	1	39	costs for a parabolic trough plant	1	41	fixed charge factor (fraction)	1	26	
costs for a solar updraft power station	1	41	Indicators	times encountered	indicator sources	total plant investment	1	39	costs for a central receiver plant	1	41	escalation rate (%)	1	42	
price for fuel cells	1	41				capital recovery factor	1	39	costs for a solar updraft power station	1	41	equity/debt ratio	1	42	
costs for SOFCs	1	41	Financial Risks			interest rate	1	41	price for fuel cells	1	41	years of loan term (year)	1	42	
			Indicators	times encountered	indicator sources				costs for SOFCs	1	41	percent increase in COE w/o capture	1	44	
			financial costs	1	39				costs of MCFCs	1	41				

B. Περιβαλλοντικοί Δείκτες

Assessment Method	Environmental / Health/ Exhaustible Resources Aspect											
	Land use (Land use efficiency)			Global warming			Human toxicity			Greenhouse Gas Emissions by product (Million metric tons by product)		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
Integrated Modeling				global warming potential	1	38	human toxicity potential	1	38	percent CO2 reduction (%)	4	14;17;22;44
	Noise			Acidification			Ecotoxicity			CO2 emission rate (%)	4	14;17;44;49
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	negative emissions	1	14
							eco-toxicity potential	1	38	reduction of GHG emissions	1	38

Biodiversity			Eutrophication			Radioactivity			emission factor CO2 from coal/natural gas (EFco2) (t CO2/MJth)	1	39
Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	CO2 emissions reference plant (Mco2, reference)	1	39
						radioactive wastes	2	38;41	CO2 emissions capture plant (Mco2, capture)	1	39
Non-renewable energy use (NREU)			Ozone depletion			Depletion of non-energy resources (Resource Depletion)			CO2 removal (mass, %)	1	31
Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	emission rate w/o capture (%)	1	44
use of non-renewable primary resources	1	38	ozone depletion potential	1	38	resource consumption rate (%)	1	44	emission rate with capture (%)	1	44
Solid and liquid waste including wastewater			Photochemical ozone formation			Other			atmospheric emission rate (%)	1	44
Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Total Energy Consumption per output (Trillion Btus per output)		
radioactive wastes	2	38;41				heterogeneity of emissions sources	1	14	Indicators	times encountered	indicator sources
improvement of waste management	1	41	Particulate matter (Rspiratoryinorganics)			solid wastes	1	17			
solid wastes rate (%)	1	44	Indicators	times encountered	indicator sources	environmental sustainability	1	38	Freshwater use		
byproducts rate (%)	1	44				recycling of valuable metals	1	38	Indicators	times encountered	indicator sources
						resource consumption rate (%)	1	44			

Γ. Κοινωνικοί Δείκτες

Assessment Method	Social Aspects								
	Public acceptance			Place identity			Equity concerns		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
Integrated Modeling	local access	3	14;17;49						
	Trust in regulatory oversight			'Spin off' power			Voluntariness of adoption		

Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
demonstrated reliability	1	17						
Trust in source of information			Local autonomy			Increase in Employment		
Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
Socio-economic risks, e.g. limiting farmers' independence (and welfare)			Modernization concerns			Consumer Surplus - Preferences		
Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
Political support	1	49						
Cultural heritage			Education and skills			Other		
Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources

Assessment Method	Market Readiness Aspects								
	Demand for the technology			Maturity level			Level of technical and business skills needed		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
Integrated Modeling	learning rate	1	22	thermal energy	1	38	learning rate (LR)	3	22;39;41
	non-renewable cumulative energy demand (nr-CED) (MJpe/Mjel)	1	38	net energy gain (NEG)	1	38	level of maturity	1	38
	cumulative energy demand (CED)	1	38	primary energy (PE)	1	38	plant life time (L)	1	39
	energy requirement for CO2 capture	1	39	delivered energy carrier (Out el) (MJel)	1	38	technology maturity	3	39;41;49
	thermal energy requirement (Qcapture) (MJth/t CO2 captured)	1	39	equivalent primary energy (Outpe-eq) (MJpe)	1	38	progress ratio (PR)	1	39

	energy requirement for air separation unit (ASU) (Waux)	1	39	energy requirement for CO2 capture	1	39	emerging technologies	1	41
	global electricity demand	1	39	CO2 capture ratio (CCR)	1	39	Other		
	CO2 capture ratio (removal efficiency)	1	44	total energy input per unit of time (Ein) (MWhth)	1	39	Indicators	times encountered	indicator sources
	power plant's net efficiency (n) (%)	1	44	thermal energy requirement (Qcapture) (MJth/t CO2 captured)	1	39			
				energy requirement for air separation unit (ASU) (Waux)	1	39			
				initial inventories of stock feed	1	39			
				global electricity demand	1	39			
				CO2 capture ratio (removal efficiency) (%)	1	44			

Ε. Τεχνολογικοί Δείκτες

Assessment Method	Technological Aspects											
	Reliability of technology and user satisfaction			Capacity level of integration into present and future energy systems			Uncertainty regarding future performance			Other		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
Integrated Assessment Models	thermal efficiency	1	17	natural gas imports	1	38	coal imports	1	38	installed capacity	1	38
	feasibility of large-scale energy storage	1	38	module efficiency	1	38	natural gas losses	1	38	capacity factor (CF)(%)	5	17;38;39;41;44
	natural gas losses	1	38	short-term energy effectiveness	1	38	life-cycle energy efficiency of the grid mix (nG)	1	38	CO2 compression energy (Wcompr.)	1	39
	module efficiency	1	38	long-term energy sustainability	1	38	module efficiency	1	38	emission factor CO2 from coal/natural gas (EFco2)	1	39
	short-term energy effectiveness	1	38	energy storage capacity	2	38;49	short-term energy effectiveness	1	38	CO2 emissions reference plant (Mco2,reference)	1	39
	long-term energy sustainability	1	38	technical integration of technologies into a single grid	1	38	long-term energy sustainability	1	38	CO2 emissions capture plant (Mco2,capture)	1	39
	overall energy loss	1	38	capacity factor (%)	1	31	overall energy loss	1	39	availability factor	1	39
	CO2 capture ratio (removal efficiency)	1	39	maximum train CO2 capacity (tons/h)	1	31	power plant's net efficiency	1	39	scale of plants	1	41
	CO2 capture ratio (CCR)	1	39	power capacity	1	49	scheduled outage (S)	1	39	installed capacity (Kw)	1	41

			Energy Output								
			Indicators	times encountered	indicator sources						
power plant's net efficiency (n)	1	39				forced outage (F)	1	39	fuel type	1	31
thermal energy to electricity ratio (a) (Mje/t CO2 captured)	1	39				efficiency improvements	1	41	plant type	1	31
net amount of electricity produced per year (Eout) (MWh)	1	39	energy penalty	1	17	efficiency of flat-plate PV systems	1	41	plant life (year)	2	31;42
net efficiency of pre-combustion capture plant (npre)	1	39	percentage of plant derating	1	17	outdoor durability	1	41	CO2 removal (mass, %)	1	31
combined cycle efficiency (Ngcc)	1	39	net-to-gross energy output ratio (NTG) (Mjpe/Mjpe)	1	38	solar reflectivity	1	41	sorbent type	1	31
cold gas efficiency (ncoldgas)	1	39	total energy production (Out)	1	38	safety	1	41	sorbent concentration (wt %)	1	31
efficiency of power plant with carbon capture (Nccs)	1	39	coal-fired electricity production	1	38	net plant efficiency (%)	1	31	lean CO2 loading (mol of CO2/mol of sorbent)	1	31
efficiency of power plant without carbon capture (nreference)	1	39	oil-fired electricity production	1	38	CO2 removal efficiency (%)	1	31	sorbent losses (kg/ton of CO2)	1	31
efficiency improvements	1	41	conventional and combined cycle gas-fired electricity production	1	38	ID fan efficiency (%)	1	31	liquid/gas ratio	1	31
efficiency of flat-plate PV systems	1	41	biomass electricity production	1	38	heat-electricity efficiency (%)	1	31	ammonia generation (mol of NH3/mol of sorbent)	1	31
outdoor durability	1	41	nuclear electricity production	1	38	pump efficiency (%)	1	31	gas-phase pressure drop (kPa)	1	31
solar reflectivity	1	41	hydro electricity production	1	38	CO2 compressor efficiency (%)	1	31	regeneration heat requirement (kJ/kg of CO2)	1	31
safety	1	41	wind electricity production	1	38	efficiency penalty (%)	1	31	capture system cooling duty (tons of H2O/ton of CO2)	1	31
CO2 removal efficiency (%)	1	31	PV electricity production	1	38	thermal efficiency (%)	1	31	CO2 product pressure (MPa)	1	31
ID fan efficiency (%)	1	31	overall energy loss	1	39	Power loss s (%)	1	42	solvent pumping head (MPa)	1	31
heat-electricity efficiency (%)	1	31	cumulative production (Cum)	1	39	Degradation rate (%)	1	42	Scale of PV (MW)	1	37
pump efficiency (%)	1	31	net amount of electricity produced per year (Eout) (MWh)	1	39	storage duration	1	49	size of PV	1	37
CO2 compressor efficiency (%)	1	31	net useful electricity output	1	39	system efficiency	1	49	capacity factor	1	37
efficiency penalty	1	31	cumulative output	1	41	lifetime of storage technology	1	49	geographic location of PV	1	37
thermal efficiency (%)	1	31	gross electrical output (MW)	1	31				solar insolation	1	37
energy produced	1	42	net electrical output (MW)	1	31				shading losses (%)	1	37
Power loss s (%)	1	42	gross plant power output (MW)	1	31				inverter life (year)	1	37
storage duration	1	49	auxiliary power output (MW)	1	31				utility scale (\$/Wp)	1	37
system efficiency	1	49	total gross power output (MW)	1	31				energy penalty for capture (%)	1	44
lifetime of storage technology	1	49	net plant power output (MW)	1	31				gross plant size (MW)	1	44
			Yearly rated energy output (MW)	1	42				net plant efficiency(%)	1	44
			net plant output (MWh)	1	44				fixed charge factor(%)	1	44
									CO2 capture efficiency (%)	1	44
									plant utilization factor (%)	1	44

7. Μοντελοποίηση Προσομοίωσης (Simulation Modeling)

Α. Οικονομικοί Δείκτες

Assessment Method	Economic/ Prosperity Aspects								
	Microeconomic Costs			Levelized Cost			Life Cycle Costs		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
Simulation Modeling	high forecasted power production cost (US\$/kwh)	1	23				high forecasted power production cost (US\$/kwh)	1	23
	capital investment cost (US\$/kWe net)	2	23;43	CO ₂ emissions per unit of GDP			capital investment cost (US\$/kWe net)	1	23
	high fixed charged factor (FCF) (fraction/yr)	1	27	Indicators	times encountered	indicator sources	high fixed charged factor (FCF) (fraction/yr)	1	27
	high capital cost (%)	1	27				high capital cost (%)	1	27
	operating costs	2	27;43	Mitigation/welfare costs			operating costs	1	27
	total plant cost (\$/kW)	1	27	Indicators	times encountered	indicator sources	total plant cost (\$/kW)	1	27
	total overnight cost (\$/kW)	1	27				total overnight cost (\$/kW)	1	27
	first-year COE (\$/MWh)	1	27	Energy Security (Import Dependency)			first-year COE (\$/MWh)	1	27
	CCS T&S cost (\$/MWh) (\$/tCO ₂)	1	27	Indicators	times encountered	indicator sources	CCS T&S cost (\$/MWh) (\$/tCO ₂)	1	27
	higher avoidance costs of CO ₂ (\$/tCO ₂)	1	27	Fuel accessibility	1	46	higher avoidance costs of CO ₂ (\$/tCO ₂)	1	27
	owner's costs	1	27	Fuel supply dependence	1	46	owner's costs	1	27
	O&M cost	1	27	Affordability			O&M cost	1	27
	higher retrofit costs	1	27	Indicators	times encountered	indicator sources	higher retrofit costs	1	27
	increase in transport and storage costs (\$/tCO ₂)	1	27				increase in transport and storage costs (\$/tCO ₂)	1	27
	increase in financial costs	1	27	Profitability			increase in financial costs	1	27
	natural gas price (\$/Mbtu)	1	27	Indicators	times encountered	indicator sources	natural gas price (\$/Mbtu)	1	27
	total capital requirement (TCR) (\$)	1	27				total capital requirement (TCR) (\$)	1	27
	fixed O&M cost (FOM) (\$/yr)	1	27	Supportive Financial Mechanisms			fixed O&M cost (FOM) (\$/yr)	1	27
	Variable O&M cost (VOM) (\$/yr)	1	27	Indicators	times encountered	indicator sources	Variable O&M cost (VOM) (\$/yr)	1	27
	levelised annual capacity factor (CF) (%)	1	27				levelised annual capacity factor (CF) (%)	1	27
	operating labor rate	1	27	Contribution to sectoral growth and GDP			operating labor rate	1	27
	levelization cost factor (LCF)	1	27	Indicators	times encountered	indicator sources	levelization cost factor (LCF)	1	27
	Energy price	1	46				Energy price	1	46
Energy Intensity			Financial Risks			Other			
Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	

B. Περιβαλλοντικοί Δείκτες

Assessment Method	Environmental/Health/ Exhaustible ResourcesAspects								
	Land use (Land use efficiency)			Eutrophication			Radioactivity		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
Simulation Modeling	Noise			Ozone depletion			Depletion of non-energy resources (ResourceDepletion)		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
	Biodiversity			Photochemical ozone formation			Greenhouse Gas Emissions by product (Million metric tons by product)		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
	Non-renewable energy use (NREU)			Particulate matter (Rspiratory inorganics)			Total Energy Consumption per output (Trillion Btus per output)		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
	Solid and liquid waste including wastewater			Human toxicity			Other		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
	Global warming			Ecotoxicity					
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources			
	Acidification			Freshwater use					
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources			

Γ. Κοινωνικοί Δείκτες

Assessment Method	Social Aspects								
	Public acceptance			Place identity			Equity concerns		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
Simulation Modeling	Trust in regulatory oversight			'Spin off' power			Voluntariness of adoption		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
	Trust in source of information			Local autonomy			Increase in Employment		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources

	Socio-economic risks, e.g. limiting farmers' independence (and welfare)			Modernization concerns			Consumer Surplus - Preferences		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
	Cultural heritage			Education and skills			Other		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources

Δ. Δείκτες Ετοιμότητας της Αγοράς

Assessment Method	Market Readiness Aspects					
	Demand for the technology			Maturity level		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
Simulation Modeling						
	Level of technical and business skills needed			Other		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources

Ε. Τεχνολογικοί Δείκτες

Assessment Method	Technological Aspects					
	Reliability of technology and user satisfaction			Uncertainty regarding future performance		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
Simulation Modeling						
	Energy Output			Other		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
	Capacity level of integration into present and future energy systems					
Indicators	times encountered	indicator sources				

8. Ανάλυση Κύκλου Ζωής (Life Cycle Analysis)

A. Οικονομικοί Δείκτες

Assessment Method	Economic/ Prosperity Aspects											
	Microeconomic Costs			Energy Intensity			Life Cycle Costs			Affordability		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
Life Cycle Analysis	capital cost	1	21	energy-intensive process	1	15	multiplication of construction costs	1	15			
	O&M cost	1	21	Levelized Cost			multiplication of transport costs	1	15	Profitability		
	multiplication of construction costs	1	15	Indicators	times encountered	indicator sources	increase of operational costs	1	15	Indicators	times encountered	indicator sources
	multiplication of transport costs	1	15				increase of capital costs	1	15	lowest cost for CO2 reduction	1	12
	increase of operational costs	1	15	CO2 emissions per unit of GDP						Supportive Financial Mechanisms		
	increase of capital costs	1	15	Indicators	times encountered	indicator sources				Indicators	times encountered	indicator sources
	cost of photobioreactors	1	16	lowest cost for CO2 reduction	1	12	cost of photobioreactors			Contribution to sectoral growth and GDP		
	cost of open raceways	1	16	lower rate of CO2 emissions	1	20	cost of open raceways	1	16	Indicators	times encountered	indicator sources
	energy cost of injection	1	16	permanent capture of certain share of CO2	1	20	energy cost of injection	1	16			
	incremental costs of one tonne CO2 removal	1	20	emissions reduction	1	35	incremental costs of one tonne CO2	1	20	Financial Risks		
	operational costs	1	20	Mitigation/welfare costs			operational costs	1	20	Indicators	times encountered	indicator sources
	high costs of excess oxygen	1	20	Indicators	times encountered	indicator sources	high costs of excess oxygen	1	20			
	investment costs for infrastructure	1	20	lowest cost for CO2 reduction	1	12	investment costs for infrastructure	1	20	Other		
	impacts on cost of electricity (€/m2)	1	29	Energy Security (Import Dependency)			impacts on cost of electricity (€/m2)	1	29	Indicators	times encountered	indicator sources
	cost of equipment (€/m2)	1	29	Indicators	times encountered	indicator sources	cost of equipment (€/m2)	1	29	learning rate	1	21
	labour force costs (€/m2)	1	29				labour force costs (€/m2)	1	29	cost reduction	1	21
cost of cells (€/m2)	1	29				cost of cells (€/m2)	1	29	energy payback time (year)	1	32	

	investment costs (€/kWh)	1	32				investment costs (€/kWh)	1	32	CO2eq payback time (year)	1	32
--	--------------------------	---	----	--	--	--	--------------------------	---	----	---------------------------------	---	----

B. Περιβαλλοντικοί Δείκτες

Assessment Method	Environmental/Health/ Exhaustible Resources Aspects														
	Land use (Land use efficiency)			Acidification			Particulate matter (Respiratory inorganics)			Radioactivity			Other		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
Life Cycle Analysis	lower land competition with food production	1	16	Acidification Potential	4	21;15;16;19	no nutrient loss	1	16	impacts on ionising radiation	1	16	lifespan	1	21
	low needs in chemical fertilizers	1	16	contribution of combustion of biogas and methane to acidification	1	16	negligence of loss by volatilization of NH3	1	16	isohumic coefficient (IHC)	1	40	increase of Nox, SO2 and NH3 concentrations	2	15;19
	impacts on land use (PDF m2/year)	1	29	reduction of acidification (kg SO2)	1	20	degradation of nitrogen, phosphorus and potassium fraction of algae	1	16	Depletion of non-energy resources (ResourceDepletion)			increased amounts of heavy metals in water	1	15
	decrease of future fertility	1	40	low impacts in acidification	1	20	low availability of mineral elements	1	16	Indicators	times encountered	indicator sources	lower climate change potential	1	16
	loss of humus and N, P,K nutrients	1	40	impacts on acidification (PDF m2/year)	1	29	high sodium concentration	1	16	increase in abiotic depletion	1	19	production of 1st and 2nd generation biofuels	1	16
	land use changes	1	40	terrestrial acidification (kg SO2-eq/kWhel)	2	25;30	less inhibitory sodium in mesophilic conditions	1	16	weights of the resource depletion	1	35	high photosynthetic yield	1	16
	crop surface (CSYN) (ha)	1	40	Acidification (kg SO2)	1	32	deep reduction of hydrogen fluoride and hydrogen chloride emissions	1	19	depletion of non-renewable energy sources	1	40	ability to recycle CO2 from fuel gas	1	16
	crop land availability (CLA) (available ha/total ha)	1	40	Eutrophication			increase in Nox emissions	1	19	Greenhouse Gas Emissions by product (Million metric tons by product)			reduction of net generating efficiency	1	19
	fertilizers production	1	40	Indicators	times encountered	indicator sources	increase in NH3 emissions	1	19	Indicators	times encountered	indicator sources	high purity of produced oxygen	1	20
	straw exportation fertility compensation (SFC)	1	40	Terrestrial Eutrophication	1	21	minerals	1	29	greenhouse gas (GHG) emission rate	1	21	production UCTE	1	29
fertilizers intensification	1	40	increase of eutrophication	2	15;19	respiratory organics	1	29	direct emission of CO2	1	12	disposal of polyvinyl	1	29	

													fluoride, 0,2% water (kg)		
fertility loss	1	40	impacts on eutrophication	2	16;20	NO2 emissions	1	40	coal emissions	1	12	disposal of plastics, mixture 15,3% water (kg)	1	29	
inorganic nitrogen fertilizers	1	40	contribution of combustion of biogas and methane to eutrophication	1	16	straw N (SN)	1	40	reduction in life cycle GHG emissions	1	15	disposal of used mineral oil, 10% (kg)	1	29	
CO2 emissions due to land uses changes in soil organic carbon (CO2SOC) (kg CO2/ha)	1	40	freshwater eutrophication (kg P-eq/kWhel)	1	25	straw P2O5 (SK)	1	40	degradation of carbon fraction of algae	1	16	improvement in fuel poverty	1	35	
agricultural land occupation (m2a/kWhel)	2	25;30	marine eutrophication	1	30	straw K2O (SP)	1	40	substantial reduction of GHG emissions (per kWh)	1	19	isohumic coefficient (IHC) (kg OM/kg Straw)	1	40	
urban land occupation (m2a/kWhel)	1	25	Eutrophication (kg PO4)	1	32	natural gas factor (NGF)	1	40	GHG balance	1	19	losses of straw due to bales storage (SL) (kg loss/kg straw)	1	40	
Land use (Land use efficiency)			Ozone depletion			nitrate leaching emissions	1	40	decrease in GHG emissions (%)	1	20	straw humidity (SH)	1	40	
Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	inorganic nitrogen fertilizers	1	40	emissions reduction	1	35	conversion factor of C in CO2 (44/12)	1	40	
			Photochemical Ozone Creation Potential	1	21	particulate matter formation (kg PM10-eq/kWhel)	1	25	GHG emissions (g CO2-eq/kWhel)	3	40;25;32	wheat grain yield in dry basis (GY) (kg grain/ha)	1	40	
Noise			Photochemical Ozone Formation	1	21	NOx reduction (kg/kWhel)	1	25	NOx emissions (kg/kWhel)	2	40;25	straw/grain ratio (SG) (kg straw/kggrain)	1	40	
Indicators	times encountered	indicator sources	impacts on ozone layer depletion	2	16;19	SO2 reduction (%)	1	25	CO2 emissions due to land uses changes in soil organic carbon (CO2SOC) (kg CO2/ha)	1	40	straw bales transport distance (SBTD) (km)	1	40	
			low impacts in summer smog	1	20	PM reduction (%)	1	25	aerial emissions	1	40	crop surface (CSYN) (ha)	1	40	
Biodiversity			reduction in summer smog	1	20	Ecotoxicity			combustion emissions of agricultural machinery	1	40	water content of wheat straw (H) (kg water/kg wet straw)	1	40	
Indicators	times encountered	indicator sources	ozone depletion	1	30	Indicators	times encountered	indicator sources	power plant emissions (PPEF)	1	40	straw exportation fertility compensation	1	40	

													(SFC) (kg fertilizer/nutrient content)		
			Ozone layer (kg CFC11)	1	32	Marine Aquatic Ecotoxicity Potential	1	21	nitrate leaching emissions	1	40	IPCC Factor 1 (EF1) (kg N-N2O/kg N)	1	40	
Non-renewable energy use (NREU)			Photochemical ozone formation			Freshwater Aquatic Ecotoxicity Potential	2	21;19	SO2 emissions (kg/kWhel)	1	25	IPCC Factor 4 (EF4) (inputs)	1	40	
Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Terrestrial Ecotoxicity Potential	1	21	PM emissions (kg/kWhel)	1	25	ash & slag transport (ASTF)	1	40	
			impacts on photochemical oxidation	1	16	reduction in marine aquatic ecotoxicity (%)	1	19	NH3 emissions (kg/kWhel)	1	25	conversion factor of N-NO2 in NO2 (44/28)	1	40	
Solid and liquid waste including wastewater			contribution of biogas and methane to photochemical oxidation	1	16	reduction in terrestrial ecotoxicity (%)	1	19	CO2 emissions (kg/kWhel)	1	25	nitrogen contained in crop residues (Ncr)	1	40	
Indicators	times encountered	indicator sources	reduction in photochemical oxidation (%)	1	19	fossil fuel emissions	1	29	Methane emissions	1	30	conversion factor of NH3 in N-NH3 (14/17)	1	40	
production of small amounts of waste	1	15	reduction in SO2 (%)	1	20	minerals	1	29	Total Energy Consumption per output (Trillion Btus per output)			CO2 concentration (%)	1	25	
formation and disposal of wastes	1	19	reduction in Nox (%)	1	20	respiratory organics	1	29	Indicators	times encountered	indicator sources	direct heavy metal emissions	1	25	
disposal of municipal solid waste, 22,9% waste (kg)	1	29	negligible NH3 emissions	1	20	loss of humus and N,P,K nutrients	1	40	energy consumption	1	21	emissions from the ash	1	25	
Waste heat after electricity production (kJ/kg)	1	25	regulation of NH3 emission	1	20	Freshwater use			high energy requirements	1	16	phosphor emissions	1	25	
Solid waste (kg)	1	32	increase of net SO2 emissions per kWh	1	20	Indicators	times encountered	indicator sources	fossil energy (FOSE) consumption	1	40	climate change	1	30	
Global warming			lower pollutant emissions	1	20	Total Freshwater Consumption	1	21	diesel consumption of field works	1	40	water resources	1	30	
Indicators	times encountered	indicator sources	photochemical oxidant formation (kg NMVOC/kWhel)	2	25;30	increase in fresh water aquatic ecotoxicity	1	19	motor oil consumption	1	40	Emissions from agriculture	1	30	
Global Warming Potential	3	21;15;29	Human toxicity			use of tap water	1	29	diesel & Oil consumption factor (DOCF)	1	40	metal emissions	1	30	
higher global warming effect	1	16	Indicators	times encountered	indicator sources	water content of wheat straw (H)	1	40				emissions of nitrogen leakage	1	30	

contribution of biogas and methane to global warming	1	16	Human Toxicity Potential	4	21;15;16;19	freshwater eutrophication (kg P-eq/kWhel)	1	25				Heavy metals (kg Pb)	1	32
significant reduction of global warming (%)	1	19	high contribution of infrastructure on human toxicity	1	16							Carcinogens (kg B(a)P)	1	32
global warming (GWP) potential	1	40	high health impacts	1	20							Pesticides (kg act.subst)	1	32
Greenhouse (kg CO2)	1	32	low health impacts	1	20							Summer smog	1	32
			isohumic coefficient (IHC) (kg OM/kg Straw)	1	40							Winter smog (kg SPM)	1	32
			nitrate leaching emissions	1	40							Energy resources (MJ LHV)	1	32
			human toxicity (kg 1,4-DCB-eq/kWhel)	1	25							emission saving	1	32

Γ. Κοινωνικοί Δείκτες

Assessment Method	Social Aspects								
	Public acceptance			Cultural heritage			Equity concerns		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
Life Cycle Analysis	widespread acceptance	1	29						
	discrimination	1	29	Place identity			Voluntariness of adoption		
	impacts on holiday	1	29	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
	impacts on wages	1	29	improvement in the sustainability of rural communities	1	35			
	impacts on child labour	1	29	'Spin off' power			Increase in Employment		
	impacts on working hours	1	29	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
	impacts on number of workers	1	29				impacts on holiday	1	29
	Trust in regulatory oversight			Local autonomy			impacts on wages	1	29

Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	impacts on child labour	1	29
			improvement in the sustainability of rural communities	1	35	impacts on working hours	1	29
Trust in source of information			Modernization concerns			impacts on number of workers	1	29
Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Consumer Surplus - Preferences		
lack of more detailed information	1	12				Indicators	times encountered	indicator sources
very possible discrepancy	1	12				impacts on health conditions	1	29
Socio-economic risks, e.g. limiting farmers' independence (and welfare)			Education and skills			Other		
Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources

Δ. Δείκτες Ετοιμότητας της Αγοράς

Assessment Method	Market Readiness Aspects					
	Demand for the technology			Maturity level		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
Life Cycle Analysis	learning rate	1	21	use of wire drawing (kg)	1	29
	increase in cumulative energy demand	1	20	use of top water (kg)	1	29
	Level of technical and business skills needed			use of aluminium alloy (kg)	1	29
	Indicators	times encountered	indicator sources	use of Nickel 99,5% (kg)	1	29
	learning rate	1	21	use of blazing solder (kg)	1	29
	no technologically mature	1	20	use of solar glass, low iron (kg)	1	29
	sustainability performance	1	29	use of copper (kg)	1	29
	Other			use of glass fibre reinforced plastic, polyamide, injection moulding (kg)	1	29
	Indicators	times encountered	indicator sources	use of ethyl vinyl acetate, foil (kg)	1	29
	power plant de-rating	1	20	use of polyvinyl fluoride film (kg)	1	29
				use of polyethylene terephthalate, granulate, amorphous (kg)	1	29
				use of silicone (kg)	1	29
				use of acetone, liquid (kg)	1	29
				use of methanol (kg)	1	29
				use of vinyl acetate (kg)	1	29
			use of lubricating oil (kg)	1	29	

E. Τεχνολογικοί Δείκτες

Assessment Method	Technological Aspects											
	Reliability of technology and user satisfaction			Capacity level of integration into present and future energy systems			Energy Output			Other		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
Life Cycle Analysis	accuracy	1	12	learning rate	1	21	reduction of net generating efficiency	1	19	heat sink temperature (°C)	1	35
	reduction of life cycle efficiency	1	15	reduction of life cycle efficiency	2	12;15	reduction of net power plant output	1	20	heat source temperature (°C)	1	35
	reduction of total efficiency	1	20	production of 1st or 2nd generation biofuels	1	16	impacts on energy production (kWh/module)	1	29	cooling temperature (°C)	1	35
	possible high separation efficiencies	1	20	use of aluminium alloy (kg)	1	29	production UCTE	1	29	working fluids	1	35
	gross efficiency	1	20	use of Nickel 99,5% (kg)	1	29	power generation by the prime mover (W)	1	35	heat rate of the burner (Q _{burner})	1	35
	reduction of net efficiency (%)	1	20	use of blazing solder (kg)	1	29	cooling power generation (Q _{cooling})	1	35	heat rate supplied to the prime mover (PM) (Q _{act, pm})	1	35
	additional fuel input needed	1	20	use of solar glass, low iron (kg)	1	29	heating power generation (Q _{heating})	1	35	heat rate rejected from the prime mover (PM) (Q _{rej, pm})	1	35
	zero leakage	1	20	use of copper (kg)	1	29	thermal generation (n _{ref, th})	1	35	extra heat from the burner (Q _{extra})	1	35
	increase in cumulative energy demand	1	20	use of glass fibre reinforced plastic, polyamide, injection moulding (kg)	1	29	net power outputs (kWe)	1	35	heat rate source to the chiller (Q _{act, tac})	1	35
	Uncertainty for efficiency	1	20	use of ethyl vinyl acetate, foil (kg)	1	29	power range (kWe)	1	35	cooling factor (C)	1	35
	Uncertainty for NH ₃ emissions	1	20	use of polyvinyl fluoride film (kg)	1	29	heat losses (Q _{loss})	1	35	amount of machinery (AM)	1	40
	Uncertainty for NO _x emissions	1	20	use of polyethylene terephthalate, granulate, amorphous (kg)	1	29	production of small cooling loads	1	35	weight of the machinery (W)	1	40
	Uncertainty for destiny of pollutants	1	20	use of silicone (kg)	1	29	electrical energy generation (E) (Mje/ha)	1	40	operation time (OT)	1	40
	efficiency	1	29	use of acetone, liquid (kg)	1	29	cumulative energy	1	40	total primary energy	1	40
	impacts on energy consumption (kWh/m ²)	1	29	use of methanol (kg)	1	29	energy balance	1	40	Life time (a)	2	40;25
	impacts on energy production (kWh/module)	1	29	use of vinyl acetate (kg)	1	29	Ex(n)ergy of electricity (MJ)	1	30	total nitrogen input (N _{tot})	1	40
	achievement of primary energy savings (PES)	1	35	use of lubricating oil (kg)	1	29	Ex(n)ergy content of input biomass (MJ)	1	30	Full load hours (h/a)	1	25
	enhancement of the supply network's reliability	1	35	achievement of primary energy savings (PES)	1	35	Ex(n)ergy content of not digested matter (MJ)	1	30	CO ₂ injection rate per well (kg/s)	1	25
	power plant's net electric efficiency (n _{ref, e}) (%)	1	35	cooling capacity (kW _{th})	1	35	rate of produced electricity (%)	1	30	mass flow	1	25
	electric efficiency of the prime mover (n _{pm})	1	35	high performance vapour-compression chiller (COP _{ref})	1	35	rate of produced heat (%)	1	30	Uncertainty regarding future performance		
biomass burner thermal efficiency (n _{burner})	1	35	coefficient of performance of chiller (COP _{tac})	1	35	electricity production (kW _{hel})	1	32	Indicators	times encountered	indicator sources	
power plant efficiency (PE) (Mje/MJ straw)	1	40	power plant's net electric efficiency (n _{ref, e}) (%)	1	35	electricity output (MW)	1	32	Uncertainty for efficiency	1	20	

net heating value of wheat straw (NHVcp, h) (MJ/kg)	1	40	electric efficiency of the prime mover (npm)	1	35					Uncertainty for NH3 emissions	1	20
CO2 capture rate (%)	1	25	biomass burner thermal efficiency (nburner)	1	35					Uncertainty for NOx emissions	1	20
energy efficiency (%)	1	30;32	Electricity from organic waste digestion	1	30					Uncertainty for destiny of pollutants	1	20
electricity efficiency (%)	1	30	Electricity from corn stover and manure digestion (%)	1	30					sustainability performance	1	29
optical efficiency (%)	1	32	Electricity from silage maize digestion (%)	1	30					achievement of primary energy savings (PES)	1	35
energy consumption for installation	1	32	Electricity from sugar beet and grass silage digestion (%)	1	30					high performance vapour-compression chiller (COPref)	1	35
emission savings	1	32								coefficient of performance of chiller (COPtac)	1	35
energy consumption for dismantling (kWh m-2)	1	32								power plant's net electric efficiency (nref, e) (%)	1	35
energy consumption for recycling process (kWh m-2)	1	32								electric efficiency of the prime mover (npm)	1	35
energy for transportations	1	32								biomass burner thermal efficiency (nburner)	1	35
energy produced	2	32								power plant efficiency (PE)	1	40
										losses of straw due to bales storage (SL)	1	40
										efficiency penalty (%)	1	32

9. Δυναμική Μοντελοποίηση (Dynamic Modeling)

A. Οικονομικοί Δείκτες

Assessment Method	Economic/ Prosperity Aspects											
	Microeconomic Costs			Mitigation/welfare costs			Life Cycle Costs			CO2 emissions per unit of GDP		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
Dynamic Modeling	Levelized Cost			Energy Security (Import Dependency)			Supportive Financial Mechanisms			Profitability		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources

Energy Intensity			Affordability			Contribution to sectoral growth and GDP			Financial Risks		
Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
									Other		
									Indicators	times encountered	indicator sources

B. Περιβαλλοντικοί Δείκτες

Assessment Method	Environmental/Health/ Exhaustible Resources Aspect										
	Land use (Land use efficiency)			Eutrophication			Radioactivity				
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources		
Dynamic Modeling	agricultural land occupation (m2a/kWhel)	1	25	freshwater eutrophication (kg P-eq/kWhel)	1	25					
	urban land occupation (m2a/kWhel)	1	25	Ozone depletion			Depletion of non-energy resources (Resource Depletion)				
	Noise			Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources		
		Indicators	times encountered	indicator sources							
					Photochemical ozone formation			Greenhouse Gas Emissions by product (Million metric tons by product)			
		Biodiversity			Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	
		Indicators	times encountered	indicator sources	photochemical oxidant formation (kg NMVOC/kWhel)	1	25	GHG emissions (g CO2-eq/kWhel)	1	25	
					Particulate matter (Respiratory inorganics)			NOx emissions (kg/kWhel)	1	25	
		Non-renewable energy use (NREU)			Indicators	times encountered	indicator sources	SO2 emissions (kg/kWhel)	1	25	
		Indicators	times encountered	indicator sources	particulate matter formation (kg PM10-eq/kWhel)	1	25	PM emissions (kg/kWhel)	1	25	
					NOx reduction (kg/kWhel)	1	25	NH3 emissions (kg/kWhel)	1	25	
		Solid and liquid waste including wastewater			SO2 reduction (%)	1	25	CO2 emissions (kg/kWhel)	1	25	
		Indicators	times encountered	indicator sources	PM reduction (%)	1	25	Total Energy Consumption per output (Trillion Btus per output)			
		Waste heat after electricity production (kJ/kg)	1	25	Human toxicity			Indicators	times encountered	indicator sources	
	Global warming			Indicators	times encountered	indicator sources					

	Indicators	times encountered	indicator sources	human toxicity (kg 1,4-DCB-eq/kWhel)	1	25	Other		
				Ecotoxicity			Indicators	times encountered	indicator sources
	Acidification			Indicators	times encountered	indicator sources	CO2 concentration (%)	1	25
	Indicators	times encountered	indicator sources				direct heavy metal emissions	1	25
	terrestrial acidification (kgSO2-eq/kWhel)	1	25	Freshwater use			emissions from the ash	1	25
				Indicators	times encountered	indicator sources	phosphor emissions	1	25
				freshwater eutrophication (kg P-eq/kWhel)	1	25			

Γ. Κοινωνικοί Δείκτες

Assessment Method	Social Aspects								
	Public acceptance			Place identity			Equity concerns		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
Dynamic Modeling	Trust in regulatory oversight			Local autonomy			Voluntariness of adoption		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
				applicable to region with high financial support	1	11			
	Trust in source of information			applicable to region with high energy charging rates	1	11	Increase		
				most applicable to hot climatic region	1	11	in Employment		
	Indicators	times encountered	indicator sources	applicable to lower energy quality region	1	11	Indicators	times encountered	indicator sources
				Modernization concerns					
	Socio-economic risks, e.g. limiting farmers' independence (and welfare)			Indicators	times encountered	indicator sources	Consumer Surplus - Preferences		
	Indicators	times encountered	indicator sources				Indicators	times encountered	indicator sources
	Cultural heritage			Education and skills			Other		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
'Spin off' power									
Indicators	times encountered	indicator sources							

Δ. Δείκτες Ετοιμότητας της Αγοράς

Assessment Method	Market Readiness AspectS					
	Demand for the technology			Maturity level		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
Dynamic Modeling	Level of technical and business skills needed			Other		
	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
				installation on a building facade	1	11

Ε. Τεχνολογικοί Δείκτες

Technological Aspects														
Reliability of technology and user satisfaction			Capacity level of integration into present and future energy systems			Uncertainty regarding future performance			Energy Output			Other		
Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
stable exergetic efficiency	1	11	stable exergetic efficiency	1	11	stable exergetic efficiency	1	11	stable exergetic efficiency	1	11	PV cells control in a relatively low-temperature operation mode	1	11
			ability to transfer heat for a long distance	1	11	applicable to region with high financial support	1	11				ability to transfer heat for a long distance	1	11
			connection of PV electricity to the national grid	1	11	applicable to region with high energy charging rates	1	11				installation on a building façade	1	11
			installation as an independent heat and power cogeneration unit	1	11	most applicable to hot climatic region	1	11				connection of PV electricity to the national grid	1	11
						applicable to lower energy quality region	1	11						

Παράρτημα 4: Καταγραφή μεθοδολογικού πλαισίου του 3ου Κεφαλαίου ανά μεθοδολογία

1. Ανάλυση με χρήση Δεικτών Βιωσιμότητας (Sustainability Indicator Analysis)

Assessment Method	Number of available sources	Sources Available	Spatial focus			Temporal focus			Life cycle thinking			Framework		
			type	times encountered	indicator sources	type	times encountered	indicator sources	type	times encountered	indicator sources	Type	times encountered	indicator sources
Sustainability Indicator Analysis	9	1;24;28;33;37;26;44;47;48	micro	2	1;26	retrospective	1	1	whole life cycle	9	1;24;28;33;37;26;45;47;48	Life Cycle Sustainability Assessment	3	1;28;37
			global	3	24;28;44	prospective	7	24;28;33;37;44;47;48				Sustainability Assessment	5	24;33;26;47;48
			europaean	1	33	Prospective/retrospective	1	26				Sustainability Impact Assessment	1	45
			national	2	37;48									
			regional	1	47									

Assessment Method	Number of available sources	Sources Available	Method			Sub-method								
			type	times encountered	indicator sources	type	times encountered	indicator sources	type	times encountered	indicator sources	type	times encountered	indicator sources
Sustainability Indicator Analysis	9	1;24;28;33;37;26;44;47;48	Indicator selection	7	1;24;28;37;26;45;47	N/A	1	1	cluster analysis (Hierarchical agglomerative clustering method) using Ward's method	1	33	subjective weighting method	1	37
			integrated economic-environmental assessment	1	28	IEA scenarios	1	24	cluster analysis (Hierarchical agglomerative clustering method) using squared Euclidean distance	1	33	objective weighting method	1	37
			Techno-economic assessment	1	28	qualitative argumentation	1	24	comparative assessment	1	33	combination weighting method	1	37
			integrated sustainability evaluation	1	33	high-end assumptions	1	24	criteria weighting	1	33	pair-wise comparison	1	37
			sustainability ranking	1	33	probabilistic risk assessment	1	24	monetary tools	1	37	consistent matrix analysis	1	37
			Life Cycle Impact Assessment (LCIA) method	2	37;48	Multi-criteria analysis (MCA)	3	24;33;26	biophysical tools	1	37	analytical hierarchy process (AHP)	1	37
			Comparative assessment	1	37	Environmental TEA (E TEA) methodology based on TEA framework and LCA methodology	1	28	outranking-based method	1	37	methods for entropy assessment (TOPSIS method)	1	37
			Multi-criteria assessment	1	37	Environmental analysis using excluding certain life cycle phases approach	1	28	systems principle approach	1	37	value-based method	1	37
			Life Cycle Cost Analysis	1	37	Environmental analysis using the reduction of number of environmental impact categories approach	1	28	consistency principle approach	1	37	Choice experiment method(CE)	1	26
			sustainability assessment	1	47	Environmental analysis using surrogate data approach	1	28	independency principle approach	1	37	survey questionnaire	1	26
			impact pathway approach (IPA)	1	47	Economic analysis using cost literature data or proxy data	1	28	measurability principle approach	1	37	sustainability appraisal (SA)	2	45;46;47
			probabilistic safety assessment (PSA)	1	47	Environmental analysis using ISO guidelines	1	28	comparability principle approach	1	37	Pressure-State-Response Learning curves-based analysis	1	45
cost evaluation	1	47	Sensitivity analysis	2	28;48	Delphi method	1	37		1	48			

						constructive weighting methodology	1	33	least square method (statistical method)	1	37	weighted multiple attribute function	1	48
						"3S" indicators validation methodology	1	33	min-max deviation method	1	37	multi-criteria decision model (MCDM)	1	48

2. Ανάλυση με χρήση Σεναρίων (Scenario Analysis)

Assessment Method	Number of available sources	Sources Available	Spatial focus			Temporal focus			Life cycle thinking			Framework		
			type	times encountered	indicator sources	type	times encountered	indicator sources	type	times encountered	indicator sources	type	times encountered	indicator sources
Scenario Analysis	4	2;5;10;34	micro	1	2	prospective	4	2;5;10;34	one phase	3	2;5;10	Scenario-Based Assessment Model	1	2
			national	2	5;34				whole life cycle	1	34	Scenario-Based Assessment Framework	2	5;10
			global	1	10							Scenario-based cost evaluation/assessment	1	34

Assessment Method	Number of available sources	Sources Available	Method			Sub-method						
			type	times encountered	indicator sources	type	times encountered	indicator sources				
Scenario Analysis	4	2;5;10;34	Scenario analysis using Cross-Impact Method			1	2	Multi-criteria analysis (Analytic Hierarchy Process)			1	2
			Scenario analysis using Integrated Assessment Models			2	5;10	Delphi method			1	2
			Scenario analysis			1	34	geometrical mean			1	2
			Cost evaluation/assessment			1	34	Two-Factor Learning Curves (TFLC Equations)			1	5
			Performance Analysis/assessment			1	34	POLES Modeling Framework			1	5
								Learning Rates Assessment			1	5
								cross-model comparison study			1	10
								participatory models			1	10
								probabilistic projections			1	10
					Life Cycle Cost Analysis			1	34			

												Estimation of performance factor with Comparative method	1	34
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	---	----

3. Ανάλυση Εξειδίκευσης της Αγοράς (Niche Market Analysis)

Assessment Method	Number of available sources	Sources Available	Spatial focus			Temporal focus			Life cycle thinking			Framework		
			type	times encountered	indicator sources	type	times encountered	indicator sources	type	times encountered	indicator sources	type	times encountered	indicator sources
Niche Market Analysis	5	3;4;8;9;7	national	5	3;4;8;9;7	prospective	5	3;4;8;9;7	one phase	5	3;4;8;9;7	Life Cycle Sustainability Assessment	3	3;4;7
						retrospective	3	3;4;7	something in between	1	8	Assessment of breakthrough feasibility of the various niche-innovations	2	8;9

Assessment Method	Number of available sources	Sources Available	Method			Sub-method		
			type	times encountered	indicator sources	type	times encountered	indicator sources
Niche Market Analysis	5	3;4;8;9;7	Indicator selection	5	3;4;8;9;7	N/A	5	3;4;8;9;7

4. Πολυκριτηριακή Μέθοδος Καθεστώτος (Multi-criteria Regime Analysis)

Assessment Method	Number of available sources	Sources Available	Spatial focus			Temporal focus			Life cycle thinking			Framework		
			type	times encountered	indicator sources	type	times encountered	indicator sources	type	times encountered	indicator sources	type	times encountered	indicator sources
Regime Analysis	4	3;4;13;7	national	3	3;4;7	prospective	2	3;4	one phase	4	3;4;13;7	Life Cycle Sustainability Assessment	4	3;4;13;7
			micro	1	13	snapshot suffice	2	3;13						
						retrospective	1	7						

Assessment Method	Number of available sources	Sources Available	Method			Sub-method		
			type	times encountered	indicator sources	type	times encountered	indicator sources
Regime Analysis	4	3;4;13;7	Indicator selection	3	3;4;7	N/A	3	3;4;7
						scale model	1	13
						segment model	1	13

			optimization	1	13	series model	1	13
			fermentation processes	1	13	dimensional analysis	1	13

5. Ολοκληρωμένα Μοντέλα Αξιολόγησης (Integrated Assessment Models)

Assessment Method	Number of available sources	Sources Available	Spatial focus			Temporal focus			Life cycle thinking			Framework		
			type	times encountered	indicator sources	type	times encountered	indicator sources	type	times encountered	indicator sources	type	times encountered	indicator sources
Integrated Assessment Models	3	6;36;50	national	1	6	snapshot suffice	1	6	whole life cycle	3	6;36;50	Learning Rates Assessment	1	6
			global	2	36;50	prospective	2	36;50				Multi-model comparison analysis	1	36
													Integrated Assessment Models (IAMs)	1

Assessment Method	Number of available sources	Sources Available	Method			Sub-method		
			type	times encountered	indicator sources	type	times encountered	indicator sources
Integrated Assessment Models	3	6;36;50	Integrated Assessment Models (IAMs)	2	6;36	Statistical Analysis	1	6
			Scenarios analysis (climate constrained scenarios)	2	36;50	Multi Factor Learning Curves Analysis	1	6
			Decision-making analysis	1	50	top-down (econometric) and bottom-up (expert-based) approaches	1	6
			Learning curves-based analysis	1	50	POLES Modeling Framework	2	6;50
						global sensitivity measurements and estimation methods (post-processing or given data logic)	1	36
						Importance sampling method	1	36
						representative concentration pathways (RCPs)	1	36
						ANOVA analysis (smoothing spline ANOVA metamodel)	1	36

						comparison methodology	1	36
						COSI method	1	36
						WITCH Modeling Framework	1	50

6. Ολοκληρωμένη Προσέγγιση (Integrated Modeling)

Assessment Method	Number of available sources	Sources Available	Spatial focus			Temporal focus			Life cycle thinking			Framework			
			type	times encountered	indicator sources	type	times encountered	indicator sources	type	times encountered	indicator sources	type	times encountered	indicator sources	
Integrated Modeling	10	14;17;22;38;39;41;31;42;44;49	micro	4	14;17;22;44	prospective	10	14;17;22;38;39;41;31;42;44;49	one phase	2	14;41	System Integration	1	14	
			national	4	38;31;42;49				whole life cycle	8	17;22;38;39;31;42;44;49	Comparative Assessment	2	17;22	
			global	2	39;41								Integrated assessment framework	5	38;39;41;42;44
													Integrated System Approach (Systems Integration)	1	31
													Techno-Economic Assessment	1	48

Assessment Method	Number of available sources	Sources Available	Method			Sub-method		
			type	times encountered	indicator sources	type	times encountered	indicator sources
Integrated Modeling	10	14;17;22;38;39;41;31;42;44;49	integrated economic modeling	1	14	identification of component technologies and integration points	1	14
			integrated process	1	14	design modification to facilitate integration	1	14
			stream modeling	1	14	top to bottom approaches	1	14
			Baseline analysis	1	17	Integrated Environmental Control Model	3	17;22;44
			Integrated Environmental Control Modeling	2	22;44	experience curves	1	22
			Net energy analysis (NEA)	1	38	Sensitivity analysis	2	22;39
			Life Cycle Assessment (LCA)	1	38	Life Cycle Inventories (LCI)	1	38
			Scenario analysis	3	38;41;44	model of pressurised water reactor (PWR)	1	38

			comparison analysis	1	38	sensitivity analysis	3	38;31;49
			learning curve-based performance assessment	1	39	CMU/UU model	1	39
			simulation assessment	1	39	Integrated Environmental Control Model (IECM)	2	39;31
			cost performance assessment	1	39	Single-factor learning curve model	1	39
			Technology foresight analysis	1	41	time constant model	1	39
			Modeling and Simulation assessment	1	41	POLES model	1	39
			Cost Evaluation/ Performance Assessment	2	41;31	MARKAL model	1	39
			Bottom-up Assessment	1	41	judgmental expert assessment	1	41
			Experience curves-based Analysis	1	41	New Source Performance Standards (NSPS)	1	31
			Comparative Performance	1	31	Probabilistic analysis	1	31
			Techno-economic Evaluation	1	31	Parametric analysis	1	31
			Scenarios Assessment	1	31	N/A	1	42
			LCOE performance assessment/evaluation	1	42	Baseline analysis	1	44
			economic feasibility assessment	1	42	mathematical modeling	1	48
			Analytical Hierarchy Process (AHP)	1	49	criteria analysis	1	48
			Cost performance assessment	1	49			

7. Μοντελοποίηση Προσομίωσης (Simulation Modeling)

Assessment Method	Number of available sources	Sources Available	Spatial focus			Temporal focus			Life cycle thinking			Framework		
			type	times encountered	indicator sources	type	times encountered	indicator sources	type	times encountered	indicator sources	type	times encountered	indicator sources
Simulation Modeling	5	18;23;27;43;46	micro	2	18;43	prospective	5	18;23;27;43;46	one phase	4	18;23;27;43	Optimization Assessment	1	18
			global	1	23				whole life cycle	1	46	Technoeconomic Comparative Assessment/Evaluation	3	23;27;43
			national	2	27;46							Sustainability Assessment	1	46

Assessment Method	Number of available sources	Sources Available	Method	Sub-method
-------------------	-----------------------------	-------------------	--------	------------

			type	times encountered	indicator sources	type	times encountered	indicator sources
Simulation Modeling	5	18;23;27;43;46	Modeling and Simulation	4	18;23;27;43	mathematical models	1	18
			Indicator Selection	1	43	software programmes	1	18
			Multi-criteria assessment	1	46	ASPEN Plus TM models	1	23
			Comparative Assessment	1	46	cost estimation methodology (using cost model)	1	23
			Integrated sustainability evaluation	1	46	cost estimation methodology (cost analysis) using Integrated Environmental Control Model (IECM)	1	27
						Sensitivity analysis	1	27
						Probabilistic analysis using Monte Carlo methods	1	27
						equilibrium steady-state monoethanolamine-based CO2capture plant and compression train model	1	43
						Parametric Analysis/study	1	43
						Regional impact case study analysis	1	43
						simulation model	1	46
						multi-criteria decision model (MCDM)	1	46
						GIS model	1	46
						DELPHI method	1	46
			DEX model	1	46			
			decision making approach	1	46			

8. Ανάλυση Κύκλου Ζωής (Life Cycle Analysis)

Assessment Method	Number of available sources	Sources Available	Spatial focus			Temporal focus			Life cycle thinking			Framework		
			type	times encountered	indicator sources	type	times encountered	indicator sources	type	times encountered	indicator sources	type	times encountered	indicator sources
Life Cycle Analysis	12	21;12;15;16;19;20;29;35;40;25;30;32	micro	1	21	prospective	12	21;12;15;16;19;20;29;35;40;25;30;32	whole life cycle	11	21;12;15;16;19;20;35;40;25;30;32	Life Cycle Impact Assessment (LCIA)	5	21;35;40;25;32
			national	9	12;15;16;19;20;29;40;30;32				one phase	1	29	Life Cycle Sustainability Assessment	7	12;15;16;19;20;29;30

			European	2	35;25								
--	--	--	----------	---	-------	--	--	--	--	--	--	--	--

Assessment Method	Number of available sources	Sources Available	Method			Sub-method					
			type	times encountered	indicator sources	type	times encountered	indicator sources	type	times encountered	indicator sources
Life Cycle Analysis	12	21;12;15;16;19;20;29;35;40;25;30;32	Life Cycle Inventory Analysis (LCI)	4	21;16;19;20	ISO standards	3	21;16;20	Life Cycle Sustainability Assessment (LCSA) using consultation process	1	29
			Material based analysis	2	12;15	software programmes	1	21	Life Cycle Assessment (LCA) using Eco-indicators 99 (E)	1	29
			Cost based analysis	2	12;15	Scenario Analysis	3	21;30;32	Social LCA (S-LCA) using indicators	1	29
			Sensitivity analysis	3	15;19;20	analyticalmethod	1	21	Life Cycle Sustainability Assessment (LCSA) using plausibility analysis	1	29
			CML method (Centrum voor Milieukunde Leiden)	1	16	advanced statistics	1	21	Life Cycle Sustainability Dashboard (LCSD) using selection of indicators	1	29
			Substitution method	1	16	Material analysis using process analysis with simple model	2	12;15	SimaPro 7.3 software package	1	35
			First-order processes (foreground processes)	1	19	cost analysis using input-output analysis	2	12;15	Eco-indicators 99 evaluation method	1	35
			Second-order processes	1	19	comparison with previous studies	1	15	IMPACT 2002+ evaluation method	1	35
			Third-order processes	1	19	experimental data from lab-scale processes (Process Chain Analysis)	1	16	ReCipe impact evaluation method	3	35;25;30
			Life Cycle Impact assessment	3	19;20;32	anaerobic process	1	16	parameter analysis using the Primary Energy Saving Ratio (PESR)	1	35

			coal supply chain processes	1	19	Life-cycle analytical model	3	16;19;20	Thermodynamic model (CCHP model) using a primary energy savings analysis	1	35
			process chain analysis	1	20	process data	1	19	RSB GHG Calculation Methodology v 2.1	1	40
			LCA process (international standardisation process)	1	20	Third-order process based on cost data	1	19	Cumulative Energy Requirement Analysis (CERA)	1	40
			Life Cycle costing, social LCA (S-LCA)	1	29	Second and third-order process based on input/output tables	1	19	SimaPro 7.3 software package	2	40;25
			Life Cycle Sustainability Dashboard (LCSD)	1	29	LCI data (Life Cycle Inventory data)	2	19;25	Monte Carlo Simulation	2	40;30
			Life Cycle Environmental Assessment (LCEA)	1	35	CML 2 baseline 2000 v2.03 impact method	2	19;20	Sensitivity analysis	2	40;25
			Comparative Assessment	2	35;32	MEA	1	19	Inventory Analysis	2	40;32
			Environmental impact assessment method	1	40	input data	1	20	process analysis	1	25
			Life Cycle Assessment	2	25;30	chemical absorption processes	1	20	comparison analysis	1	30
			Environmental Sustainability Assessment	1	30	Life Cycle Sustainability Assessment (LCSA) using scenario analysis	1	29	energy and exergy balance assessment	1	30
			Technological Assessment	1	30	Life Cycle Sustainability Dashboard (LCSD) using scenario analysis	1	29	Energy performance analysis	1	32
			indicator selection	2	30;32						

9. Δυναμική Μοντελοποίηση (Dynamic Modeling)

Assessment Method	Number of available sources	Sources Available	Spatial focus	Temporal focus
-------------------	-----------------------------	-------------------	---------------	----------------

Dynamic Modeling	1	11	type	times encountered	indicator sources	type	times encountered	indicator sources		
			regional	1	11	prospective	1	11		
			Life cycle thinking			Framework				
			type	times encountered	indicator sources	type	times encountered	indicator sources		
			one phase	1	11	Life Cycle Sustainability Assessment	1	11		
			Method			Sub'Method				
			type	times encountered	indicator sources	type	times encountered	indicator sources		
			Social economic performance analysis using Simulation Models	1	11	participatory dynamic models	1	11		
						probabilistic projections	1	11		
						Life-cycle analytical model	1	11		

Παράρτημα 5: Συχνότητα εμφάνισης μεθοδολογικού πλαισίου του 3ου Κεφαλαίου αξιολόγησης στο σύνολο της βιβλιογραφίας

Spatial focus		
type	times encountered	indicator sources
micro	11	13;1;2;14;17;18;21;22;26;43;44
national	25	5;8;9;6;3;4;7;12;15;16;19;20;27;29;34;37;38;40;30;31;32;42;46;48;49
global	10	10;23;24;28;36;39;41;45;50
regional	2	11;47
european	3	33;35;25

Life cycle thinking		
type	times encountered	indicator sources
one phase	17	5;8;9;13;2;3;4;7;14;18;10;11;23;27;29;41;43
something in between	1	8
whole life cycle	33	6;1;17;21;22;12;15;16;19;20;24;28;33;34;35;36;37;38;39;40;25;26;30;31;32;42;44;45;46;47;48;49;50

Temporal focus		
type	times encountered	indicator sources

prospective	46	5;8;9;2;3;4;7;14;17;18;21;22;10;11;12;15;16;19;20;23;24;27;28;29;33;34;35;36;37;38;39;40;41;25;30;31;32;42;43;44;45;46;47;48;49;50
snapshot suffice	3	13;6;3
retrospective	4	1;3;4;7
prospective/retrospective	1	26

Framework		
type	times encountered	indicator sources
Scenario-Based Assessment Framework	3	5;2;10
Assessment of breakthrough feasibility of the various niche-innovations	2	8;9
Life Cycle Sustainability Assessment	15	13;1;3;4;7;11;12;15;16;19;20;28;29;37;30
Learning Rates Assessment	1	6
Integrated Modeling	1	14
Comparative Assessment	3	17;22
Optimization Assesemnet	1	18
Life Cycle Impact Assessment (LCIA)	4	21;35;25;32
Technoeconomic Comparative Assessment/Evaluation	3	23;27;43
Sustainability Assessment	3	24;33;26
Scenario-based cost evaluation/assessment	1	34
Multi-model comparison analysis	1	36
Integrated assessment framework	6	38;39;41;42;44;50
Integrated System Approach (Systems Integration)	1	31
Sustainability Impact Assessment	1	45
Sustainability Assessment	3	46;47;48
Techno-Economic Assessment	1	49

Method					
type	times encountered	indicator sources	type	times encountered	indicator sources
Scenario analysis using Integrated Assessment Models	2	5;10	Scenario analysis	4	34;38;44;50
Indicator selection	15	8;9;1;3;4;7;24;28;37;26;30;32;43;45	Cost evaluation/assessment	2	34;31
optimization	1	13	Performance Analysis/assessment	1	34
fermentation processes	1	13	Life Cycle Environmental Assessment (LCEA)	1	35
Integrated Assessment Models (IAMs)	2	6;36	Comparative Assessment	4	35;37;32;46
Scenario analysis using Cross-Impact Method	1	2	Multi-criteria assessment	2	37;46
integrated economic modeling	1	14	Life Cycle Cost Analysis	1	37
integrated process	1	14	Net energy analysis (NEA)	1	38
stream modeling	1	14	Life Cycle Assessment (LCA)	2	38;30
Baseline analysis	1	17	comparison analysis	1	38
Modeling and Simulation	5	18;23;27;41;43	learning curve-based performance assessment	2	39;50
Life Cycle Inventory Analysis (LCI)	4	21;16;19;20	simulation assessment	1	39
Integrated Environmental Control Modeling	2	22;44	cost performance assessment	1	39
Social economic performance analysis using Simulation Models	1	11	Environmental impact assessment method	1	40
Material based analysis	2	12;15	Technology foresight analysis	1	41
cost based analysis	2	12;15	Cost Evaluation/ Performance Assessment	1	41
sensitivity analysis	3	15;19;20	Bottom-up Assessment	1	41
CML method (Centrum voor Milieukunde Leiden)	1	16	Experience curves-based Analysis	1	41
Substitution method	1	16	Environmental Sustainability Assessment	1	30
First-order processes (foreground processes)	1	19	Technological Assessment	1	30
Second-order processes	1	19	Comparative Performance	3	31;44;49
Third-order processes	1	19	Techno-economic Evaluation	1	31
Life Cycle Impact assessment	5	19;20;37;25;32	Scenarios Assessment	1	31
coal supply chain processes	1	19	LCOE performance assessment/evaluation	1	42
process chain analysis	1	20	economic feasibility assessment	1	42
LCA process (international standardisation process)	1	20	sustainability assessment	1	47
integrated economic-environmental assessment	1	28	impact pathway approach (IPA)	1	47
Techno-economic assessment	1	28	probabilistic safety assessment (PSA)	1	47
Life Cycle costing, social LCA (S-LCA)	1	29	cost evaluation	1	47
integrated sustainability evaluation	2	33;46	Analytical Hierarchy Process (AHP)	1	49
sustainability ranking	1	33	Decision-making analysis	1	50

Sub-method								
type	times encountered	indicator sources	type	times encountered	indicator sources	type	times encountered	indicator sources
N/A	7	8;9;1;3;4;7;42	qualitative argumentation	1	24	comparability principle approach	1	37
Two-Factor Learning Curves (TFLC Equations)	1	5	high-end assumptions	1	24	least square method (statistical method)	1	37
POLES Modeling Framework	4	5;6;39;50	probabilistic risk assessment	1	24	min-max deviation method	1	37
Learning Rates Assessment	1	5	cost estimation methodology (cost analysis) using Integrated Environmental Control Model (IECM)	1	27	subjective weighting method	1	37
scale model	1	13	Probabilistic analysis using Monte Carlo methods	1	27	objective weighting method	1	37
segment model	1	13	Environmental TEA (ETEA) methodology based on TEA framework and LCA methodology	1	28	combination weighting method	1	37
series model	1	13	Environmental analysis using excluding certain life cycle phases approach	1	28	pair-wise comparison	1	37
dimensional analysis	1	13	Environmental analysis using the reduction of number of environmental impact categories approach	1	28	consistent matrix analysis	1	37
Statistical Analysis	1	6	Environmental analysis using surrogate data approach	1	28	analytical hierarchy process (AHP)	1	37
Multi Factor Learning Curves Analysis	1	6	Economic analysis using cost literature data or proxy data	1	28	methods for entropy assessment (TOPSIS method)	1	37
top-down (econometric) and bottom-up (expert-based) approaches	1	6	Environmental analysis using ISO guidelines	1	28	value-based method	1	37
Multi-criteria analysis	4	2;24;33;26	Life Cycle Sustainability Assessment (LCSA) using scenario analysis	1	29	Life Cycle Inventories (LCI)	3	38;40;32
Delphi method	3	2;37;46	Life Cycle Sustainability Dashboard (LCSD) using scenario analysis	1	29	model of pressurised water reactor (PWR)	1	38
geometrical mean	1	2	Life Cycle Sustainability Assessment (LCSA) using consultation process	1	29	CMU/UU model	1	39
identification of component technologies and integration points	1	14	Life Cycle Assessment (LCA) using Eco-indicators 99 (E)	1	29	Integrated Environmental Control Model (IECM)	1	39
design modification to facilitate integration	1	14	Social LCA (S-LCA) using indicators	1	29	Single-factor learning curve model	1	39
top to bottom approaches	1	14	Life Cycle Sustainability Assessment (LCSA) using plausibility analysis	1	29	time constant model	1	39
Integrated Environmental Control Model	4	17;22;31;44	Life Cycle Sustainability Dashboard (LCSD) using selection of indicators	1	29	MARKAL model	1	39
mathematical models	2	18;49	constructive weighting methodology	1	33	RSB GHG Calculation Methodology v 2.1	1	40
software programmes	2	18;21	"3S" indicators validation methodology	1	33	Cumulative Energy Requirement Analysis (CERA)	1	40

ISO standars	3	21;16;20	cluster analysis (Hierarchical agglomerative clustering method) using Ward's method	1	33	Monte Carlo Simulation	2	40;30
Scenario Analysis	2	21;32	cluster analysis (Hierarchical agglomerative clustering method) using squared Euclidean distance	1	33	judgmental expert assessment	1	41
analytical method	1	21	comparative assessment	1	33	process analysis	1	25
advanced statistics	1	21	criteria weighting	1	33	Choice experiment method(CE)	1	26
experience curves	1	22	Life Cycle Cost Analysis	1	34	survey questionnaire	1	26
Sensitivity analysis	9	22;27;28;38;40;25;31;48;49	Estimation of performance factor with Comparative method	1	34	comparison analysis	1	30
Cross-model comparison study	1	10	SimaPro 7.3 software package	3	35;40;25	energy and exergy balance assessment	1	30
participatory models	2	10;11	Eco-indicators 99 evaluation method	1	35	New Source Performance Standards (NSPS)	1	31
probabilistic projections	2	10;11	IMPACT 2002+ evaluation method	1	35	Probabilistic analysis	1	31
Life-cycle analytical model	4	11;16;19;20	ReCipe impact evaluation method	3	35;25;30	Parametric analysis	2	31;43
Material analysis using process analysis with simple model	2	12;15	parameter analysis using the Primary Energy Saving Ratio (PESR)	1	35	Energy performance analysis	1	32
cost analysis using input-output analysis	2	12;15	Thermodynamic model (CCHP model) using a primary energy savings analysis	1	35	equilibrium steady-state monoethanolamine-based CO ₂ capture plant and compression train model	1	43
comparison with previous studies	1	15	global sensitivity measurements and estimation methods (post-processing or given data logic)	1	36	Regional impact case study analysis	1	43
Experimental data from lab-scale processes (Process Chain Analysis)	1	16	Importance sampling method	1	36	Baseline analysis	1	44
anaerobic process	1	16	representative concentration pathways (RCPs)	1	36	sustainability appraisal	2	45;47
process data	1	19	ANOVA analysis (smoothing spline ANOVA metamodel)	1	36	Pressure-State-Response	2	45
Third-order process based on cost data	1	19	comparison methodology	1	36	simulation model	1	46
Second and third-order process based on input/output tables	1	19	COSI method	1	36	multi-criteria decision model (MCDM)	2	46;48
LCI data (Life Cycle Inventory data)	2	19;25	monetary tools	1	37	GIS model	1	46
CML 2 baseline 2000 v2.03 impact method	2	19;20	biophysical tools	1	37	DEX model	1	46
MEA	1	19	outranking-based method	1	37	decision making approach	1	46
input data	1	20	systems principle approach	1	37	Learning curves-based analysis	1	48

chemical absorption processes	1	20	consistency principle approach	1	37	weighted multiple attribute function	1	48
ASPEN Plus TM models	1	23	independency principle approach	1	37	criteria analysis	1	49
cost estimation methodology (using cost model)	1	23	measurability principle approach	1	37	WITCH Modeling Framework	1	50
IEA scenarios	1	24						

Παράρτημα 6: Συχνότητα εμφάνισης δεικτών βιωσιμότητας του 3ου κεφαλαίου στο σύνολο της βιβλιογραφίας

1. Οικονομικοί δείκτες

Economic/Prosperity Aspect											
Microeconomic Costs											
Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
total installation cost (€/kWh)	7	5;6;8;9;1;42	total overnight cost (\$/kW)	1	27	projected costs of fuel	1	34	levelized cost of electricity generation(€/Kw)	1	39
levelized cost of electricity	5	5;22;38;39;50	first-year COE (\$/MWh)	1	27	environmental taxes	1	34	COE reference plant(COEreference)(€/MWh)	1	39
investment costs (€/kWh)	6	5;6;7;41;26;33;32	CCS T&S cost (\$/MWh) (\$/tCO ₂)	1	27	internalization of external costs	1	34	gas price (\$/GJ)	2	39;31
Marginal costs	4	5;3;7;14	higher avoidance costs of CO ₂ (\$/tCO ₂)	1	27	overnight nuclear capital cost	1	36	coal cost (\$/MWh)	2	39;31
average investment costs	1	6	owner's costs	1	27	climate policy costs	1	36	non-fuel O&M costs	1	39
production costs	3	6;34;48	higher retrofit costs	1	27	GHGs mitigation cost	1	36	O&M costs (fixed, variable) (€/kWh)	1	41
overnight investment costs	1	6	increase in transport and storage costs (\$/tCO ₂)	1	27	solar LCOE (\$/KWh)	1	36	price of wind turbines	1	41
variable operation & maintenance costs	2	6;1	increase in financial costs	1	27	Biofuels cost (\$/GGE)	1	36	cost of electricity production	1	41
fixed O&M cost	1	6	natural gas price (\$/Mbtu)	1	27	Bio-electricity cost (\$/KWh)	1	36	price of on-shore wind turbines	1	41
Government scheme- Carbon tax	1	1	total capital requirement (TCR) (\$)	1	27	CCS additional capital cost (\$/KW)	1	36	costs related to foundations	1	41
corporate tax	1	1	fixed O&M cost (FOM) (\$/yr)	1	27	Bio-electricity non-energy cost (\$/KWh)	1	36	costs related to electrical installations	1	41
total cost of ownership (TCO)	1	3	Variable O&M cost (VOM) (\$/yr)	1	27	Biofuels non-energy cost (\$/GGE)	1	36	costs related to grid connection	1	41
implementation costs	1	3	levelised annual capacity factor(CF)(%)	1	27	cost of nuclear waste management	1	36	market price of PV system (€/Wp)	1	41
up-front costs	1	4	operating labor rate	2	27;31	wind generation tax credits	1	36	costs of modules	1	41
life-time costs	1	4	levelization cost factor (LCF)	1	27	marginal abatement cost curve (MAC)	1	36	costs of BOS	1	41
running costs	1	7	high production costs	1	28	cost of upgrading the crude oil	1	36	cost of silicon	1	41
capital cost (\$/MWh)	8	14;17;21;22;11;23;31;43	economic feasibility	1	28	solar costs	1	36	costs for a parabolic trough plant	1	41
mitigation costs	1	14	labor and overhead costs	1	28	R&D spending	1	36	costs for a central receiver plant	1	41

operation costs (€/kWh)	10	14;11;20;27;28;33; 37;26;42;43	construction costs	2	28;41	transition costs	1	36	costs for a solar updraft power station	1	41
O&M costs	6	17;21;22;27;36;50	subsidies and taxes	1	28	extraction costs	1	36	price for fuel cells	1	41
total cost of electricity	1	17	expensive use of photobioreactors	1	28	net present value	2	36;37	costs for SOFCs	1	41
Cost of net CO ₂ captured (\$/tonne CO ₂)	2	17,44	social costs	1	28	cost of storage	2	36;49	costs of MCFCs	1	41
Cost of CO ₂ avoided (\$/tonne CO ₂)	3	17;39;44	opportunity costs	1	28	fixed fee	1	36	waste disposal costs	1	41
transport and storage costs	1	17	environmental costs	1	28	cost of uranium	1	36	cost of logging residues	1	41
cost-minimal energy supply	1	10	financial costs	1	28	cost of exogenous energy and material imports	1	36	added cost for CCS (\$/MWh)	1	31
low configuration cost	1	11	impacts on cost of electricity (€/m ²)	1	29	fuel and material delivery costs	1	36	total levelized annual cost of overall power plant (\$/MWh)	1	31
maintenance cost	2	11;33	cost of equipment (€/m ²)	1	29	crude oil price	1	36	labor rate (\$/h)	1	31
life-cycle net cost	1	11	labour force costs (€/m ²)	1	29	cost configuration of capital stock	1	36	Interest expenditures	1	42
multiplication of construction costs	1	15	cost of cells (€/m ²)	1	29	cost of the input feedstocks	1	36	Net cost of project (€/kWh)	1	42
multiplication of transport costs	1	15	capital/investment costs	1	33	cost of manufacturing enzymes	1	37	taxes (kWh/m2/year)	1	42
increase of operational costs	1	15	fuel costs	2	33;39	net production costs (\$/l-1)	1	37	retail electrical price (€/kWh)	1	42
increase of capital costs	1	15	capacity factor	1	33	cellulase cost (cents/gal)	1	37	initial installed cost (€/kWh)	1	42
cost of photobioreactors	1	16	costs of material use	1	33	eco-cost of energy	1	37	capital cost w/o capture (\$/kWh)	1	44
cost of open raceways	1	16	use of leveled costs of energy (LCOE) (€/MWh)	1	33	cost of biomass feedstock	2	37;41	capital cost with capture (\$/kWh)	1	44
energy cost of injection	2	16;49	energy cost stability	1	33	annualized cost	1	37	fuel price (\$/GJ)	1	44
incremental costs of one tonne CO ₂ removal	1	20	sensitivity to fuel price fluctuation (%)	1	33	changes in the eco-cost	1	37	CO ₂ transport cost (\$/tonne CO ₂)	1	44
high costs of excess oxygen	1	20	evaluation of leveled costs of energy (LCOE) (\$/kWh)	1	34	eco-cost of material depletion	1	37	geologic storage cost (\$/tonne CO ₂)	1	44
investment costs for infrastructure	1	20	amount of subsidies	1	34	mitigation costs (€/t CO ₂)	1	39	EOR storage cost (\$/tonne CO ₂)	1	44
low costs of natural gas	1	23	reduction of cost of CSP electricity	1	34	CO ₂ transport and storage costs (€/t)	2	39;31	precent increase in capital cost (%)	1	44
low CO ₂ mitigation cost (US\$/tonne CO ₂ avoided)	1	23	total cost of system (\$/W)	1	34	costs for the last unit (Ccum)	1	39	COE w/o capture (\$/MWh)	1	44
stable long-term prices of coil	1	23	labor costs	1	34	costs for first unit (Co)	1	39	COE with capture (\$/MWh)	1	44
high forecasted power production cost (US\$/kwh)	1	23	land costs (\$/W)	1	34	capital investment costs (€/KW)	1	39	Energy price	1	41
capital investment cost (US\$/kWe net)	1	23	reduction of transmission costs	1	34	O&M cost (fixed O&M cost (FOC), cost of fuel (COF), variable O&M cost (VOC)) (€/MWh)	1	39	initial capital cost	1	49
costs'billing at the end use of nuclear power	1	24	low operation and maintenance costs (%)	1	34	electricity generating costs	1	39	power conversion system cost	1	49
reduction of energy output's costs	1	24	quite high capital costs	1	34	total capital requirement (TCR)	1	39	balance of plant cost	1	49
ignorance of externality costs	1	24	insurance costs (%)	1	34	total plant investment	1	39	Price of biomass	1	50
high fixed charged factor (FCF) (fraction/yr)	1	27	low external costs	1	34	royalty fees	1	39	Biomass cost	1	50

high capital cost (%)	1	27	grid parities and calculations	1	34	startup costs	1	39	Initial investment	1	50
total plant cost (\$/kW)	1	27	future cost of conventional electricity	1	34	COE capture plant (COEcapture) (€/MWh)	1	39			

Economic/Prosperity Aspects											
Energy Intensity			CO ₂ emissions per unit of GDP			Levelized Cost			Mitigation/welfare costs		
Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
Energy consumed on premises	1	1	low CO ₂ prices	1	14	levelized cost of electricity (€/kWh)	6	5;6;38;39;26;42	Mitiation costs	1	5
Total value of energy generated	1	1	lowest cost for CO ₂ reduction	1	12	increase in LCOE	1	27	lowest cost for CO ₂ reduction	1	12
energy-intensive process	1	15	lower rate of CO ₂ emissions	1	20	use of levelized costs of energy (LCOE) (€/MWh)	1	33	CO ₂ mitigation cost (US\$/tonne CO ₂ avoided)	1	23
fossil fuel intensity	1	37	permanent capture of certain share of CO ₂	1	20	evaluation of levelized costs of energy (LCOE) (\$/kWh)	1	34	subsidies and taxes	1	28
Energy security	1	45	CO ₂ emissions (g CO ₂ /kWh)	1	23	solar LCOE (\$/kWh)	1	36	GHGs mitigation cost	1	36
Financial Risks			50% reduction of CO ₂ emissions	1	23	levelized cost of electricity generation (€/Kw)	1	39	mitigation costs (€/t CO ₂)	1	39
Indicators	times encountered	indicator sources	low CO ₂ emissions	1	24	COE capture plant (COEcapture) (€/MWh)	1	39	Costs of CO ₂ avoided	1	39
internalization of financial costs	1	24	CO ₂ emission tax (\$/tCO ₂)	1	27	COE reference plant (COEreference) (€/MWh)	1	39	Contribution to sectoral growth and GDP		
financial risk	2	27;39	penalty for CO ₂ emissions	1	34	levelised production cost of electricity	1	41	Indicators	times encountered	indicator sources
increase in financial costs	1	27	emissions reduction	1	35	plant LCOE (\$/MWh)	1	31	Government incentive income	1	1
financial costs	1	28	carbon taxes	1	36				effects on GDP	2	36;48
Financial viability	1	45	Costs of CO ₂ avoided	1	39						

Economic Prosperity Aspect											
Energy Security (Import Dependency)			Affordability			Profitability			Supportive Financial Mechanisms		
Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
fuel price (\$/GJ)	6	8;9;14;17;36;31	Affordability	1	7	profitability	2	8;28	end-user tariff rate	1	9
Annual fuel bill savings	1	8	affordability of capital investments	1	24	Annual fuel bill savings	2	9;1	Annual return on investment	1	9
raw materials price	2	6;7	affordable electricity bills	1	24	total from corporate tax deduction	1	1	funding rate	2	9;50
promotion of exports	1	3	affordability of savings in foreign currencies	1	34	annual value of energy exported	1	1	feed-in-tariff	1	9
security of fuel supply	1	7	discount rate (%)	6	34;36;39;41;42;49	carbon tax savings	1	1	Government incentive scheme	1	1

fuel cost	1	22	carbon price	1	36	annual return on investment	1	1	Assumed standard import tariff	1	1
cost-minimal energy supply	1	10	wind generation tax credits	1	36	remaining benefit from income	1	1	Government scheme-Export tariff	1	1
high uncertainty of natural gas resources	1	23	market-clearing prices	1	36	low CO2 prices	2	3;14	EU interference	1	3
high availability of natural gas	1	23	market prices of energy goods and services	1	36	small financial benefits	1	3	capital investment	3	7;23;39
sensitivity of IGCC power production to fluctuated fuel cost	1	23	carbon taxes	1	36	lowest cost for CO2 reduction	1	12	exempted from energy and CO2 taxes	1	7
Energy Security	1	24	marginal price of natural gas	1	36	discount rate (%)	7	34;36;39;41;31;42;50	discount rate (%)	2	34;36
carbon price	1	36	cost of exogenous energy and material imports	1	36	revenue from exogenous energy and material exports	1	36	R&D spending	1	36
market prices of energy goods and services	1	36	cost configuration of capital stock	1	36	revenue to feedstock ratio	1	37	subsidies, taxes and penalty on energies sources	1	36
biomass price	2	36;50	cost of the input feedstocks	1	36	revenue to main product ratio	1	37	annualized investments	1	36
subsidies, taxes and penalty on energies sources	1	36	crude oil price	1	36	payback period	1	37	investment analysis	1	37
cost of uranium	1	36	cost of upgrading the crude oil	1	36	energy return on investment (EROI)	1	38	energy return on investment (EROI)	1	38
marginal price of natural gas	1	36	prices of the raw ingredients	1	37	total energy investment (Inv)	1	38	total energy investment (Inv)	1	38
cost of exogenous energy and material imports	1	36	economic affordability	1	38	energy return on investment of direct electricity (EROI _{el}) (MJ _{el} /MJ _{pe})	1	38	energy return on investment of direct electricity (EROI _{el}) (MJ _{el} /MJ _{pe})	1	38
cost configuration of capital stock	1	36	gas price (\$/GJ)	2	31;39	energy return on investment of equivalent primary energy (EROI _{pe-eq})	1	38	energy return on investment of equivalent primary energy (EROI _{pe-eq})	1	38
cost of the input feedstocks	1	36	coal price	1	39	energy return in investment of UK electric grid (EROI _{el,g})	1	38	energy return in investment of UK electric grid (EROI _{el,g})	1	38
crude oil price	1	36	price of wind turbines	1	41	capital recoveryfactor	2	39;49	total capital requirement (TCR)	1	39
cost of upgrading the crude oil	1	36	price of on-shore wind turbines	1	41	cost (price) reductions	1	41	total plant investment	1	39
trade of oil and carbon permits	1	36	market price of PV system	1	41	tax revenue	1	45	capital recovery factor	1	39
energy demand	1	36	price for fuel cells	1	41	Return period	1	46	interest rate	1	41
fuel requirement	1	36	fuel price (\$/kWh)	1	44	Return of investment	1	46	local taxes	1	26
energy supply	1	36	Energy price	1	46				increase in investments	1	45
prices of the raw ingredients	1	37	cost decreases	1	50				Financial sources	1	46
eco-cost of material depletion	1	37	cost-competitiveness	1	50				Investment feasibility	1	46
coal imports	1	38							Initial investment	1	50
initial inventories of stock feed	1	39									
gas price (\$/GJ)	2	31;39									
coal price	1	39									
CO2 transport cost (\$/ton)	2	39;31									
Fuel availability	1	46									

Fuel accessibility	1	46											
Fuel supply dependence	1	46											
access to energy	1	47											
energy security	1	47											

Economic Prosperity Aspect														
Life Cycle Costs														
Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
total installation cost (€/kWh)	6	5;1;8;9;6;42	high fixed charged factor (FCF) (fraction/yr)	1	27	labor costs	1	34	cost configuration of capital stock	1	36	costs of BOS	1	41
investment costs (€/kWh)	7	5;6;7;41;26;33;32;42	high capital cost (%)	1	27	land costs (\$/W)	1	34	cost of the input feedstocks	1	36	cost of silicon	1	41
average investment costs	1	6	total plant cost (\$/kW)	1	27	reduction of transmission costs	1	34	crude oil price	1	36	costs for a parabolic trough plant	1	41
production costs	3	6;34;48	total overnight cost (\$/kW)	1	27	low operation and maintenance costs (%)	1	34	cost of upgrading the crude oil	1	36	costs for a central receiver plant	1	41
overnight investment costs	1	6	first-year COE (\$/MWh)	1	27	quite high capital costs	1	34	prices of the raw ingredients	1	37	costs for a solar updraft power station	1	41
variable operation & maintenance costs	2	6;1	CCS T&S cost (\$/MWh) (\$/tCO2)	1	27	insurance costs (%)	1	34	production costs (\$/l-1)	1	37	price for fuel cells	1	41
fixed O&M cost	1	6	higher avoidance costs of CO2 (\$/tCO2)	1	27	low external costs	1	34	cellulose cost (cents/gal)	1	37	costs for SOFCs	1	41
Government scheme- Carbon tax	1	1	owner's costs	1	27	grid parities and calculations	1	34	cost of manufacturing enzymes	1	37	costs of MCFCs	1	41
implementation costs	1	3	higher retrofit costs	1	27	future cost of conventional electricity	1	34	cost of biomass feedstock	2	37;41	waste disposal costs	1	41
up-front costs	1	4	increase in transport and storage costs (\$/tCO2)	1	27	projected costs of fuel	1	34	revenue to feedstock ratio	1	37	cost of logging residues	1	41
life-time costs	1	4	increase in financial costs	1	27	environmental taxes	1	34	revenue to main product ratio	1	37	labor rate (\$/h)	1	31
running costs	1	7	natural gas price (\$/Mbtu)	2	27;31	internalization of external costs	1	34	pollution prevent eco-cost	1	37	CO2 transport cost (\$/ton)	1	31
marginal costs	2	7;14	total capital requirement (TCR) (\$)	1	27	overnight nuclear capital cost	1	36	eco-cost of energy	1	37	CO2 storage cost (\$/ton)	1	31
capital costs	5	14;17;22;23;31;49	fixed O&M cost (FOM) (\$/yr)	1	27	climate policy costs	1	36	eco-cost of material depletion	1	37	added cost for CCS (\$/MWh)	1	31
mitigation costs	1	14	variable operation & maintenance costs (€/kWh)	2	27;42	GHGs mitigation cost	1	36	annualized cost	1	37	gas price (\$/GJ)	1	31
operation costs (€/kWh)	8	14;20;27;28;33;37;26;42	levelised annual capacity factor (CF) (%)	1	27	solar LCOE (\$/kWh)	1	36	changes in the eco-cost	1	37	total levelized annual cost of overall power plant (\$/MWh)	1	31

O&M costs	4	17;22;27;31	operating labor rate	1	27	Biofuels cost (\$/GGE)	1	36	mitigation costs (€/t CO2)	1	39	Interest expenditures	1	42
total cost of electricity	1	17	levelization cost factor (LCF)	1	27	Bio-electricity cost (\$/KWh)	1	36	CO2 transport and storage costs (€/t)	1	39	Net cost of project (€/kWh)	1	42
Cost of net CO2 captured	1	17	high production costs	1	28	CCS additional capital cost (\$/KW)	1	36	costs for the last unit (Ccum)	1	39	taxes (kWh/m2/year)	1	42
Cost of CO2 avoided	3	17;39;31	economic feasibility	1	28	Bio-electricity non-energy cost	1	36	costs for first unit (Co)	1	39	capital costs (€/kWh)	1	42
transport and storage costs	1	17	labor and overhead costs	1	28	Biofuels non-energy cost	1	36	capital investment costs (€/KW)	1	39	retail electrical price (€/kWh)	1	42
levelized cost of electricity	3	22;38;39	construction costs	2	28;41	carbon price	1	36	O&M cost (fixed O&M cost (FOC), cost of fuel (COF), variable O&M cost (VOC)) (€/MWh)	2	39;50	initial installed cost (€/kWh)	1	42
cost-minimal energy supply	1	10	subsidies and taxes	1	28	cost of nuclear waste management	1	36	electricity generating costs	1	39	capital cost w/o capture (\$/kWh)	1	44
maintenance cost	2	11;33	expensive use of photobioreactors	1	28	wind generation tax credits	1	36	cost of fuel	1	39	capital cost with capture (\$/kWh)	1	44
low configuration cost	1	11	social costs	1	28	solar costs	1	36	total capital requirement (TCR)	1	39	CO2 transport cost (\$/tonne CO2)	1	44
life-cycle net cost	1	11	opportunity costs	1	28	R&D spending	1	36	total plant investment	1	39	geologic storage cost (\$/tonne CO2)	1	44
multiplication of construction costs	1	15	environmental costs	1	28	transition costs	1	36	royalty fees	1	39	EOR storage cost (\$/tonne CO2)	1	44
multiplication of transport costs	1	15	financial costs	1	28	market-clearing prices	1	36	startup costs	1	39	percent increase in capital cost (%)	1	44
increase of operational costs	1	15	impacts on cost of electricity (€/m2)	1	29	extraction costs	1	36	COE capture plant (COEcapture) (€/MWh)	1	39	COE w/o capture (\$/MWh)	1	44
increase of capital costs	1	15	cost of equipment (€/m2)	1	29	market prices of energy goods and services	1	36	levelized cost of electricity generation (€/Kw)	2	39;50	COE with capture (\$/MWh)	1	44
cost of photobioreactors	1	16	labour force costs (€/m2)	1	29	annual operations and maintenance cost	1	36	COE reference plant (COEreference) (€/MWh)	1	39	Energy price	1	46
cost of open raceways	1	16	cost of cells (€/m2)	1	29	price of fuels	1	36	natural gas price	1	39	electricity costs	1	48
energy cost of injection	2	16;49	capital/investment costs	1	33	biomass price	1	36	coal price	1	39	power conversion system cost	1	49
incremental costs of one tonne CO2	1	20	fuel costs	2	33;31	net present value	2	36;37	non-fuel O&M costs	1	39	balance of plant cost	1	49
high costs of excess oxygen	1	20	capacity factor	1	33	carbon taxes	1	36	O&M costs (fixed, variable) (€/kWh)	1	41	power cost	1	49
investment costs for infrastructure	1	20	costs of material use	1	33	subsidies, taxes and penalty on	1	36	price of wind turbines	1	41	initial capital cost	1	49

						energies sources								
low costs of natural gas	1	23	use of levelized costs of energy (LCOE) (€/MWh)	1	33	cost of storage	2	36;49	cost of electricity production	1	41	power conversion system cost	1	49
low CO2 mitigation cost (US\$/tonne CO2 avoided)	1	23	energy cost stability	1	33	fixed fee	1	36	price of on-shore wind turbines	1	41	balance of plant cost	1	49
stable long-term prices of coal	1	23	sensitivity to fuel price fluctuation (%)	1	33	cost of uranium	1	36	costs related to foundations	1	41	Price of biomass	1	50
high forecasted power production cost (US\$/kwh)	1	23	evaluation of levelized costs of energy (LCOE) (\$/kWh)	1	34	marginal price of natural gas	1	36	costs related to electrical installations	1	41	Biomass cost	1	50
capital investment cost (US\$/kWe net)	2	23;31	amount of subsidies	1	34	cost of exogenous energy and material imports	1	36	costs related to grid connection	1	41	Initial investment	1	50
costs/billing at the end use of nuclear power	1	24	reduction of cost of CSP electricity	1	34	fuel and material delivery costs	1	36	market price of PV system (€/Wp)	1	41			
reduction of energy output's costs	1	24	total cost of system (\$/W)	1	34	annualized investments	1	36	costs of modules	1	41			

Economic Prosperity Aspect											
Other											
Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
Energy exported to grid	1	1	depreciation rates	1	36	fixed charge factor (FCF)	1	39	amine emission	1	43
Basic payback time	1	1	load factors	1	36	royalty fees	1	39	amine lean loading	1	43
Remaining lease of building	1	1	interest rate	2	36;41	income of producers of raw materials	1	26	percent increase in COE w/o capture	1	44
learning rate	2	21;39	utilization rate	1	36	income of local subcontractors	1	26	Financial shares	1	46
cost reduction	1	21	charge rate	1	36	allowances for local government	1	26	Long-term liabilities	1	46
rate of inflation (%)	1	27	capital interest factor	1	36	fuel price (\$/GJ)	1	31	economic feasibility	1	46
high energy penalties in existing CCS gas turbines	1	27	CCS energy penalty (%)	1	36	gas price (\$/GJ)	1	31	Logistic capacity	1	50
inflation rate	1	28	cost benefit ratio	1	37	CO2 price for utilization (\$/tCO2)	1	31			
discount rate (%)	1	34	energy penalty (EP)	1	39	energy payback time (year)	1	32			
tracking factor (%)	1	34	capital recovery factor	1	39	CO2eq payback time (year)	1	32			

2. Περιβαλλοντικοί δείκτες

Environmental/Health/ Exhaustible Resources Aspect														
Land use (Land use efficiency)			Noise			Global warming			Ozone depletion			Ecotoxicity		
Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
conflicts with alternative land uses	1	3	noise pollution (%)	4	3;33;26;45	Global Warming Potential	7	21;10;15;29;37;38;40	Photochemical Ozone Creation Potential	1	21	Marine Aquatic Ecotoxicity Potential	1	21
lower land competition with food production	1	16	Biodiversity			median sensitivity of X°C global-mean temperature increase for a doubling of CO ₂	1	10	Photochemical Ozone Formation	1	21	Freshwater Aquatic Ecotoxicity Potential	2	21;19
low needs in chemical fertilizers	1	16	Indicators	times encountered	indicator sources	higher global warming effect	1	16	impacts on ozone layer depletion	5	16;19;28;37;38	Terrestrial Ecotoxicity Potential	1	21
indirect land-use change emissions	1	28	biodegradability of cellulose	1	37	contribution of combustion of biogas and methane to global warming	1	16	low impacts in summer smog	1	20	ecological resilience	1	24
impacts on land use (PDF m ² /year)	1	29	biodiversity loss	2	37;45	significant reduction of global warming (%)	1	19	reduction in summer smog	1	20	impacts on ecotoxicity	2	28;38
land demand (ha/kWh)	2	33;26	impacts on the ecosystems	2	45;48	Temperature change	1	36	ozone depletion	1	30	loss of humus and N,P,K nutrients	1	40
land use market equilibrium	1	36	loss of native vegetation species	1	45	Greenhouse (kg CO ₂)	1	32	Ozone layer (kg CFC11)	1	32	Freshwater use		
agricultural land occupation (m ² a/kWhel)	2	36;25;30	biodiversity	2	47;50	climate change impact	2	45;48	Photochemical ozone formation			Indicators	times encountered	indicator sources
indirect land use changes (ILUC)	1	37	Non-renewable energy use (NREU)			Acidification			Indicators	times encountered	indicator sources	Total water consumption by building	1	1
agricultural management	1	37	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	impacts on photochemical oxidation	1	16	Total Freshwater Consumption	1	21
decrease of future fertility	1	40	renewable energy use	1	8	Acidification Potential	6	21;15;16;19;37;48	contribution of combustion of biogas and methane to photochemical oxidation	1	16	high water consumption	1	28
loss of humus and N,P,K nutrients	1	40	fuel use (fossil) (Mj/kWh)	1	33	contribution of combustion of biogas and methane to acidification	1	16	reduction in photochemical oxidation (%)	1	19	use of tap water	1	29
land use changes	1	40	non-renewable energy use	1	37	reduction of acidification (kg SO ₂)	1	20	reduction in SO ₂ (%)	1	20	water content of wheat straw (H)	1	40
crop surface (CSYN) (ha)	1	40	use of non-renewable primary resources	1	38	low impacts in acidification	1	20	reduction in Nox (%)	1	20	freshwater eutrophication (kg P-eq/kWhel)	1	25
crop land availability (CLA) (available ha/total ha)	1	40	Solid and liquid waste including wastewater			impacts on acidification	1	28	negligible NH ₃ emissions	1	20	water quantity	1	45
fertilizers production	1	40	Indicators	times encountered	indicator sources	impacts on acidification (PDF m ² /year)	1	29	impacts on photochemical smog	2	28;37	water quality	1	45
straw exportation fertility compensation (SFC)	1	40	production of small amounts of waste	1	15	ecosystem damages (acidification) (PDF-m ² -a/kWh)	1	33	photochemical oxidant formation (kg NMVOC/kWhel)	2	25;30	heavy metal water pollution	1	45
fertilizers intensification	1	40	formation and disposal of wastes	1	19	terrestrial acidification (kg SO ₂ -eq/kWhel)	2	25;30	Human toxicity			thermal pollution of water	1	45
fertility loss	1	40	long-term waste reduction	1	24	Acidification (kg SO ₂)	1	32	Indicators	times encountered	indicator sources	Access to drinking water	1	45
inorganic nitrogen fertilizers	1	40	disposal of waste	1	28	Eutrophication			Human Toxicity Potential	5	21;15;16;19;38	Water contamination risk	1	45

CO2 emissions due to land uses changes in soil organic carbon (CO2SOC) (kg CO2/ha)	1	40	disposal of municipal solid waste, 22.9% waste(kg)	1	29	Indicators	times encountered	indicator sources	high contribution of infrastructure on human toxicity	1	16	Water protection	1	46
urban land occupation (m2a/kWhel)	1	25	(radioactive) waste (m3/kWh)	1	33	Terrestrial Eutrophication	1	21	high health impacts	1	20	competition for water	1	50
effects on soil	1	26	waste generation	2	33;45	increase of eutrophication	2	15;19	low health impacts	1	20	water use	1	50
landscape resources	1	26	availability of waste disposal infrastructure (kg/kWh)	1	33	impacts on eutrophication	3	16;20;28	low exposure to harmful pressure	1	24	Total Energy Consumption per output (Trillion Btus per output)		
land use	3	45;46;50	nuclear waste management	1	36	contribution of combustion of biogas and methane to eutrophication	1	16	impacts on human ecotoxicity	1	28	Indicators	times encountered	indicator sources
deforestation	1	45	radioactive wastes	2	38;41	ecosystem damages (eutrophication) (PDF-m2-a/kWh)	1	33	mortality and morbidity (YoLL/kWh)	1	33	energy consumed	4	8;1;21;28
habitat loss	1	45	improvement of waste management	1	41	eutrophication potential	1	37	isohumic coefficient (IHC) (kg OM/kg Straw)	1	40	reduction of energy consumption	1	7
Land availability rate	1	46	Waste heat after electricity production (kJ/kg)	1	25	freshwater eutrophication (kg P-eq/kWhel)	2	25;30	nitrate leaching emissions	1	40	high energy requirements	1	16
Land protection	1	46	Solid waste (kg)	1	32	marine eutrophication	1	30	human toxicity (kg 1,4-DCB-eq/kWhel)	1	25	total fuel consumption	2	36;37
Land occupancy rate	1	46	solid wastes rate (%)	1	44	Eutrophication (kg PO4)	2	32;48				fossil energy (FOSE) consumption	1	40
landscape protection	1	46	byproducts rate (%)	1	44							diesel consumption of field works	1	40
competition for land	1	50	waste management	1	45							motor oil consumption	1	40
			waste transportation	1	45							diesel & Oil consumption factor (DOCF)	1	40
			Waste	1	48									

Environmental/Health/Exhaustible Resources Aspects														
Particulate matter(Rspiratoryinorganics)			Depletion of non-energyresources (ResourceDepletion)			Greenhouse Gas Emissions by product (Million metric tons by product)			Other					
Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
no nutrient loss	1	16	energy savings	1	8	carbon emission rate	7	8;14;17;44;45;49	environmental impacts	1	8	straw bales transport distance (SBTD) (km)	1	40
negligence of loss by volatilization of NH3	1	16	Carbon saved per year	1	1	Total greenhouse gas emission by building	1	1	energy savings	1	9	crop surface (CSYN) (ha)	1	40
degradation of nitrogen, phosphorus and potassium fraction of algae	1	16	reduction of oil as a fuel	1	7	reduction of CO2 emissions	10	3;4;7;14;17;18;22;23;44;47	occupied area for electricity generation	1	1	water content of wheat straw (H) (kg water/kg wet straw)	1	40
low availability of mineral elements	1	16	increase in abiotic depletion	1	19	negative emissions	1	14	nature protection	1	3	straw exportation fertility compensation (SFC) (kg fertilizer/nutrient content)	1	40
high sodium concentration	1	16	high uncertainty of natural gas resources	1	23	greenhouse gas (GHG) emission rate	4	18;21;46;48	environmental benignity	1	7	IPCC Factor 1 (EF1) (kg N-N2O/kg N)	1	40
less inhibitory sodium in mesophilic conditions	1	16	high availability of natural gas	1	23	atmospheric greenhouse gas concentrations	1	10	heterogeneity of emissions sources	1	14	IPCC Factor 4 (EF4) (inputs)	1	40

deep reduction of hydrogen fluoride and hydrogen chloride emissions	1	19	sensitivity of IGCC power production to fluctuated fuel cost	1	23	flexibility of emissions reductions	1	10	solid wastes	1	17	ash & slag transport (ASTF)	1	40
increase in NOx emissions	1	19	depletion of exploitable-grade uranium	1	24	life cycle carbon emission reduction	1	11	lifespan	1	21	conversion factor of N-NO2 in NO2 (44/28)	1	40
increase in NH3 emissions	1	19	redistribution of access to natural resources	1	24	direct emission of CO2	1	12	creation of low/zero-carbon water heating operation	1	11	nitrogen contained in crop residues (Ncr)	1	40
impacts on air emissions	1	28	resource depletion	2	28;36	coal emissions	1	12	increase of NOx, SO2 and NH3 concentrations	2	15;19	conversion factor of NH3 in N-NH3 (14/17)	1	40
minerals	1	29	availability of solar resource (kWh/m2/yr)	1	34	reduction in life cycle GHG emissions	1	15	increased amounts of heavy metals in water	1	15	CO2 concentration (%)	1	25
respiratory organics	1	29	resource limits	1	34	degradation of carbon fraction of algae	1	16	lower climate change potential	1	16	direct heavy metal emissions	1	25
nitrogen cycling and losses	1	37	weights of the resource depletion	1	35	substantial reduction of GHG emissions (per kWh)	1	19	production of 1st or 2nd generation biofuels	1	16	emissions from the ash	1	25
soil organic carbon (SOC)	1	37	natural resource availability	1	36	GHG balance	2	19;37	high photosynthetic yield	1	16	phosphor emissions	1	25
NO2 emissions	1	40	resource use (resource depletions)	1	37	ultra-low NOx, Sox and solid emissions	1	23	ability to recycle CO2 from fuel gas	1	16	landscape impact (%)	1	26
straw N (SN)	1	40	depletion of soil carbon content	1	37	GHG emissions (g CO2-eq/kWhel)		24;28;33;36; 40;25;26;32	reduction of net generating efficiency	1	19	water resources	2	26;30
straw P2O5 (SK)	1	40	nutrient availability	1	37	low GHG emissions (%)	1	27	deployment of renewable energy potentials	1	24	climate change	1	30
straw K2O (SP)	1	40	fuel depletion	1	37	reduction of CO2 emission rate (lbs/MWh)	1	27	environmental acceptability	1	24	Emissions from agriculture	1	30
natural gas factor (NGF)	1	40	depletion of non-renewable energy sources	1	40	impacts by CO2 emissions (g/kWh)	1	33	large biomass productivity	1	28	metal emissions	1	30
nitrate leaching emissions	1	40	recourse consumption rate (%)	1	44	NOx emissions (kg/kWhel)	2	33;25	high lipid content	1	28	emissions of nitrogen leakage	1	30
inorganic nitrogen fertilizers	1	40	Resources	1	48	emissions of SO2	1	33	production UCTE	1	29	Heavy metals (kg Pb)	1	32
particulate matter formation (kg PM10-eq/kWhel)	1	25	Radioactivity			emissions of PM	1	33	disposal of polyvinyl fluoride, 0,2% water (kg)	1	29	Carcinogens (kg B(a)P)	1	32
NOx reduction (kg/kWhel)	1	25	Indicators	times encountered	indicator sources	low levels of GHGs emissions	1	34	disposal of plastics, mixture 15,3% water (kg)	1	29	Pesticides (kg act. subst)	1	32
SO2 reduction (%)	1	25	influence of solar radiation and air temperature to PV temperature	1	11	CO2 emissions (kg/kWhel)	3	34;36;25	disposal of used mineral oil, 10% (kg)	1	29	Summer smog	1	32
PM reduction (%)	1	25	impacts on ionising radiation	2	16;28	emission factor	1	34	climate resilience ("1-5")	1	33	Winter smog (kg SPM)	1	32
concentrations of H2S	1	45	continuous radioactivity	1	24	emissions reduction	1	35	waste generation	1	33	Energy resources (MJ LHV)	1	32
			(radioactive) waste (m3/kWh)	1	33	fossil fuel emissions	1	36	availability of waste disposal infrastructure (kg/kWh)	1	33	emission saving	1	32
			nuclear safety	1	33	CO2 concentration	1	36	fuel use (fossil) (MJ/kWh)	1	33	recourse consumption rate (%)	1	44
			direct solar irradiation	1	34	emission of nitrous oxide	1	37	nuclear safety	1	33	vulnerability to natural hazards	1	45

			direct normal irradiance (DNI) (kWh/m2/yr)	1	34	annual emissions associated with N fertilizer	1	37	penalty for CO2 emissions	1	34	disaster preparedness and response	1	45
			radiative forcing	1	36	Sox emissions (g/MJ)	1	37	improvement in fuel poverty	1	35	air quality	1	45
			radioactive wastes	2	38;41	Nox emissions (g/MJ)	1	37	environmental limitations	1	36	gaseous emissions	1	45
			isohumic coefficient (IHC)	1	40	GHG emissions (g CO2-eq/MJ biofuel)	1	37	CCS energy penalty (%)	1	36	concentrations of toxic chemicals	1	45
			radiation exposure	1	45	reduction of GHG emissions	1	38	chemical composition of biomasses	1	37	spread of contagious diseases	1	45
			radionuclides	1	45	emission factor CO2 from coal/natural gas (EFco2) (t CO2/MJth)	1	39	local climatic and weather conditions	1	37	Induced seismicity	1	45
						CO2 emissions reference plant (Mco2, reference)	1	39	environmental loadings	1	37	subsidence of the land surface	1	45
						CO2 emissions capture plant (Mco2, capture)	1	39	risk of nitrate leaching	1	37	Hydrothermal eruptions	1	45
						NO2 emissions	1	40	carbon (C) accumulation and decay	1	37	thermal pollution of air	1	45
						CO2 emissions due to land uses changes in soil organic carbon CO2SOC) (kg CO2/ha)	1	40	soil C sequestration	1	37	improvement in sanitation	1	45
						aerial emissions	1	40	maintenance of soil health	1	37	Pollution	1	46
						combustion emissions of agricultural machinery	1	40	environmental sustainability	1	38	Air pollution	1	46
						power plant emissions (PPEF)	1	40	recycling of valuable metals	1	38	Public health status	1	46
						nitrate leaching emissions	1	40	isohumic coefficient (IHC) (kg OM/kg Straw)	1	40	Other pollutants	1	46
						NH3 emissions (kg/kWhel)	1	25	losses of straw due to bales storage (SL) (kg loss/kg straw)	1	40	Landscape protection	1	46
						Methane emissions	1	30	straw humidity (SH)	1	40	nature protection	1	46
						CO2 removal (mass, %)	1	31	conversion factor of C in CO2 (44/12)	1	40	recourse protection	1	46
						emission rate with capture (%)	1	44	wheat grain yield in dry basis (GY) (kg grain/ha)	1	40	water and air quality	1	47
						atmospheric emission rate (%)	1	44	straw/grain ratio (SG) (kg straw/kggrain)	1	40	Environmental externalities	1	50

3. Κοινωνικοί Δείκτες

SocialAspects											
Public acceptance			Place identity			Voluntariness of adoption			Socio-economic risks, e.g. limiting farmers' independence (and welfare)		
Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
public resistance	5	8;3;4;49;50	aesthetic/functional impact ("1-5")	1	33	public opinion	3	8;9;4	low-risk solution	1	24

public opinion	3	8;9;4	improvement in the sustainability of rural communities	1	35	political discourse	1	8	income poverty	1	45
public acceptance	7	9;3;4;7;24;37;46	aesthetic impacts	1	37	unawareness of owners	1	8	crime levels	1	45
public awareness	1	9	'Spin off' power			fear of adoption	1	8	population	1	45
reluctance of consumers	2	3;4	Indicators	times encountered	indicator sources	public acceptance	4	9;3;4;7	living conditions	1	45
social opposition	1	4				public awareness	1	9	access to drinking water	1	45
resistance of incumbents	1	3	Local autonomy			public resistance	1	3	access to energy	1	45
public support	1	7	Indicators	times encountered	indicator sources	reluctance of consumers	2	3;4	economic security	1	45
public and media support	1	7	applicable to region with high financial support	1	11	social opposition	1	4	Increased economic activity	1	45
public concerns	2	7;24	applicable to region with high energy charging rates	1	11	resistance of incumbents	1	3	habitat destruction	1	45
local access	2	14;17	most applicable to hot climatic region	1	11	resistance	1	4	health status	1	45
widespread acceptance	1	29	applicable to lower energy quality region	1	11	public support	1	7	mortality	1	45
discrimination	1	29	improvement in the sustainability of rural communities	1	35	public and media support	1	7	health care delivery	1	45
impacts on holiday	1	29	local economy	1	45	public concerns	1	7	sanitation	1	45
impacts on wages	1	29	tourism rate	1	45	Increase in Employment			nutritional status	1	45
impacts on child labour	1	29	Modernization concerns			Indicators	times encountered	indicator sources	Increase in income per capita	1	45
impacts on working hours	1	29	Indicators	times encountered	indicator sources	new jobs (prs./MW)	3	3;26;45	Increase in salaries	1	45
impacts on number of workers	1	29	societal changes	1	7	investments in jobs	1	24	improvement in food security	1	45
level of public resistance/opposition ("1-5")	1	33	welfare loss	1	36	impacts on holiday	1	29	Social development in initiatives	1	45
mortality and morbidity (YoLL/kWh)	1	33	Education and skills			impacts on wages	1	29	Affordability in energy supply	1	45
accidents and fatalities (deaths)	1	33	Indicators	times encountered	indicator sources	impacts on child labour	1	29	Access to drinking water	1	45
social acceptability	1	36	education levels	1	45	impacts on working hours	1	29	improvement in sanitation	1	45
			literacy	1	45	impacts on number of workers	1	29	increase in property prices	1	45
			research and development	1	45	creation of jobs at the investment stage	1	33	improvement in education facilities	1	45
Trust in regulatory oversight			Equity concerns			creation of jobs at the operation and maintenance stage	1	33	improvement in school attendance	1	45
Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	employment opportunities	1	37	cultural change	1	45
lack of strict regulation			1	7		increase of local income (%)	1	26	social change rate	1	45

demonstrated reliability	1	17				Employment rate	1	45;46	improvement in medical facilities	1	45
Trust in source of information			Other			Consumer Surplus - Preferences			improvement in living standards	1	45
Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Independence	1	46
lack of more detailed information			1	12		user behaviour	1	9	Political stability	1	46
very possible discrepancy	1	12				functional impact	1	1	Possible societal changes	1	46
Cultural heritage						aesthetic impact	1	1	welfare	1	46
Indicators	times encountered	indicator sources				reluctance of consumers	1	3	Public health status	1	46
socio-cognitive bandwagon effects	1	7				convenient	1	7	Landscape protection	1	46
cultural impacts	1	45				affordable electricity bills	1	24	Societal feasibility	1	46
loss of local culture	1	45				impacts on health conditions	2	29;37	societal advancement	1	46
						mortality and morbidity (YoLL/kWh)	1	33	possible world changes	1	46
						accidents and fatalities (deaths)	1	33	possible world changes	1	46
						willingness to pay by consumers	1	37	impact on food prices	1	47
									food security	1	47
									Social components of risks	1	48
									Impacts on customers	1	48
									Impacts on state affairs	1	48
									Political stability and legitimacy	1	48
									Impacts on quality of landscape & residential areas	1	48
									Physical security	1	48
									Impacts on utility	1	48
									mortality	1	48
									Impacts on human health	1	48
									Political support	1	49

4. Δείκτες ετοιμότητας της αγοράς

Market Readiness Aspects											
Demand for the technology			Maturity level			Level of technical and business skills needed			Other		
Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
high/medium/low momentum	5	8;9;3;4;7	technology diffusion	3	9;3;4	technological complexity	1	24	alignment with regime	1	8
technology diffusion	3	9;3;24	technology development rate	1	9	use of wire drawing (kg)	1	29	political promotion	1	9

application rate	1	8	R&D effort	2	5;6	use of top water (kg)	1	29	alignment with regime	1	9
innovation	1	4	market development	1	9	use of aluminium alloy (kg)	1	29	installation on a building façade	1	11
feasibility	1	4	technical expert knowledge rate	1	9	use of Nickel 99,5% (kg)	1	29	power plant de-rating	1	20
rate of progress	2	4;7	technical lifetime	1	6	use of blazing solder (kg)	1	29	market concentration on supply ("1-5")	1	33
learning rate	2	21;22	technological growth	1	4	use of solar glass, low iron (kg)	1	29			
increase in cumulative energy demand	1	20	rate of growth	1	4	use of copper (kg)	1	29			
market size (domestic) ("1-5")	1	33	stability	1	4	use of glass fibre reinforced plastic, polyamide, injection moulding (kg)	1	29			
market size (potential export) ("1-5")	1	33	rate of progress	2	4;7	use of ethyl vinyl acetate, foil (kg)	1	29			
expansion of CSP markets	1	34	technology maturity	4	7;39;41;49	use of polyvinyl fluoride film (kg)	1	29			
technological inertia	1	36	no technologically mature	1	20	use of polyethylene terephthalate, granulate, amorphous (kg)	1	29			
demand of biomass	1	37	emerging technology	3	23;34;41	use of silicone (kg)	1	29			
non-renewable cumulative energy demand (nr-CED) (Mjpe/Mjel)	1	38	fast breeder technology	1	24	use of acetone, liquid (kg)	1	29			
cumulative energy demand (CED)	1	38	sustainability performance	1	29	use of methanol (kg)	1	29			
thermal energy requirement (Qcapture) (MJth/t CO2 captured)	1	39	technological maturity ("1-5")	1	33	use of vinyl acetate (kg)	1	29			
energy requirement for air separation unit (ASU) (Waux)	1	39	large-scale solar power technology	1	34	use of lubricating oil (kg)	1	29			
global electricity demand	1	39	estimated lifetime (years)	1	34	installation in arid or semi-arid climates	1	34			
Lack of investment in RD&D	1	50	learning rate (LR) (%)	5	21;22;34;39;41	large-scale solar power technology	1	34			
			exponent associated with the learning rate (b) (%)	1	34	thermal storage	1	34			
			near-term growth rate	1	36	high accessibility of coal	1	34			
			technological inertia	1	36	thermal energy	1	38			
			technological R&D spillovers	1	36	net energy gain (NEG)	1	38			
			R&D diffusion	1	36	primary energy (PE)	1	38			
			technological adoption and penetration	1	36	delivered energy carrier (Out el) (MJel)	1	38			
			promising emerging technology	1	37	equivalent primary energy (Outpe-eq) (MJpe)	1	38			
			level of maturity	1	38	energy requirement for CO2 capture	1	39			
			plant life time (L)	1	39	CO2 capture ratio (CCR)	1	39			
			progress ratio (PR)	1	39	total energy input per unit of time (Ein) (MWth)	1	39			
			rate of bioenergy penetration	1	50	thermal energy requirement (Qcapture) (MJth/t CO2 captured)	1	39			
			Lack of investment in RD&D	1	50	energy requirement for air separation unit (ASU) (Waux)	1	39			
			diffusion rate	1	50	initial inventories of stock feed	1	39			
			Development state of plant	1	50	global electricity demand	1	39			

5. Τεχνολογικοί Δείκτες

Technological Aspects											
Reliability of technology and user satisfaction											
Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
energy efficiency (%)	8	8;9;7;14;17;45;46;50	fast breeder technology	1	24	probabilities of occurrence	1	36	safety	1	41
user behaviour	1	8	energy efficiency	3	24;30;32	level of renewable generation	1	36	CO2 capture rate (%)	1	25
technical expert knowledge rate	1	9	low vulnerability of electricity supply	1	24	near-term growth rate	1	36	electricity efficiency (%)	1	30
technological reliability	2	9;7	high reliability	1	24	flexibility	2	33;37	exergy efficiency (%)	1	30
R&D effort	1	6	small energy losses	1	24	fossil fuel savings	1	37	CO2 removal efficiency (%)	1	31
durability	1	4	reduction of net plant efficiency (%)	1	27	fertilizer manufacturing efficiencies	1	37	ID fan efficiency (%)	1	31
technological rigidity	1	3	plant capacity factor	1	27	shortage of feed materials	1	37	heat-electricity efficiency (%)	1	31
feasibility	5	4;14;17;36;38	impacts on energy consumption (kWh/m2)	1	29	ability to deliver products	1	37	pump efficiency (%)	1	31
convenient	1	7	impacts on energy production (kWh/module)	1	29	energy efficiency (fossil) (energy input/energy in fuel)	1	37	CO2 compressor efficiency (%)	1	31
low maintenance	1	7	climate resilience ("1-5")	1	33	feasibility of large-scale energy storage	1	38	efficiency penalty	1	31
technological stability	1	7	stability of energy generation	1	33	natural gas losses	1	38	thermal efficiency (%)	1	31
ability of replacement	1	7	peak load response (%)	1	33	module efficiency	1	38	optical efficiency (%)	1	32
captured CO2	1	17	technological maturity	1	33	short-term energy effectiveness	1	38	energy consumption for installation	1	32
thermal efficiency	3	17;18;23	innovative ability ("1-5")	1	33	long-term energy sustainability	1	38	emission savings	1	32
fuel consumption	1	18	emerging technology	1	34	overall energy loss	1	38	energy consumption for dismantling (kWh m-2)	1	32
stable exergetic efficiency	1	11	high energy densities	1	34	CO2 capture ratio (removal efficiency)	2	39;44	energy consumption for recycling process (kWh m-2)	1	32
accuracy	1	12	intermittency problems	1	34	CO2 capture ratio (CCR)	1	39	energy for transportations	1	32
reduction of life cycle efficiency	1	15	ability of storaton heat energy in molten salt tanks	1	34	power plant's net efficiency (n)	1	39	energy produced	4	32;42;4+6
reduction of total efficiency	1	20	guarantee of capacity	1	34	thermal energy to electricity ratio (a) (Mje/t CO2 captured)	1	39	Power loss s (%)	1	42
possible high separation efficiencies	1	20	large-scale solar power technology	1	34	net amount of electricity produced per year (Eout) (MWh)	1	39	Pumps efficiency (%)	1	43
gross efficiency	1	20	high technological risks	1	34	net efficiency of pre-combustion capture plant (npre)	1	39	Compressor efficiency (%)	1	43
reduction of net efficiency (%)	1	20	high accessibility of coal	1	34	combined cycle efficiency (Ngtcc)	1	39	Financial viability	1	45
additional fuel input needed	1	20	reduction of risks associated with energy shortages	1	34	cold gas efficiency (ncoldgas)	1	39	realiability of supply	1	46
zero leakage	1	20	achivement of primary energy savings (PES)	2	35;32	efficiency of power plant with carbon capture (Nccs)	1	39	Technical feasibility	1	46
increase in cumulative energy demand	1	20	enhancement of the supply network's reliability	1	35	efficiency of power plant without carbon capture (nreference)	1	39	storage duration	1	49
Uncertainty for efficiency	1	20	power plant's net electric efficiency (nref, e) (%)	2	35;44	power plant efficiency (PE) (Mje/MJ straw)	1	40	system efficiency	1	49
Uncertainty for NH3 emissions	1	20	electric efficiency of the prime mover (npr)	1	35	net heating value of wheat straw (NHVcp, h) (MJ/kg)	1	40	lifetime of storage technology	1	49
Uncertainty for NOx emissions	1	20	biomass burner thermal efficiency (nburner)	1	35	efficiency improvements	1	41	Development state of plant	1	50

Uncertainty for destiny of pollutants	1	20	biofuels conversion efficiency (%)	1	36	efficiency of flat-plate PV systems	1	41	Plant lifetime	1	50
affordability for present generation	1	24	bio-electricity conversion efficiency (%)	1	36	outdoor durability	1	41	Technology efficiency	1	50
vulnerability to extreme events	1	24	availability	1	36	solar reflectivity	1	41			

Technological Aspects											
Capacity level of integration into present and future energy systems											
Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
design life	1	1	use of polyethylene terephthalate, granulate, amorphous (kg)	1	29	innovation processes	1	36			
flexibility of the system	2	1;36	use of silicone (kg)	1	29	year-round supply of biomass	1	37			
technology diffusion	2	3;4	use of acetone, liquid (kg)	1	29	fossil fuel savings	1	37			
technological growth	1	4	use of methanol (kg)	1	29	production capacity	1	37			
two-way communication	1	4	use of vinyl acetate (kg)	1	29	raw material handling capacity	1	37			
integration of renewable energies	1	3	use of lubricating oil (kg)	1	29	feedstock supply	1	37			
complementarity	1	7	cumulative installed capacity (GW)	1	34	biomass supply	1	37			
interconnectedness	1	7	high energy densities	1	34	shortage of feed materials	1	37			
learning rate	2	21;22	guarantee of capacity	1	34	natural gas losses	1	38			
stable exergetic efficiency	1	11	thermal storage	1	34	life-cycle energy efficiency of the grid mix (nG)	1	38			
ability to transfer heat for a long distance	1	11	installation in arid or semi-arid climates	1	34	natural gas imports	1	38			
connection of PV electricity to the national grid	1	11	achievement of primary energy savings (PES)	1	35	module efficiency	1	38			
installation as an independent heat and power cogeneration unit	1	11	cooling capacity (kWth)	1	35	short-term energy effectiveness	1	38			
production of 1st or 2nd generation biofuels	1	16	high performance vapour-compression chiller (COPref)	1	35	long-term energy sustainability	1	38			
low internal power demands	1	23	coefficient of performance of chiller (COPtac)	1	35	energy storage	2	38;49			
sensitivity of IGCC power production to fluctuated fuel cost	1	23	power plant's net electric efficiency (nref, e) (%)	1	35	technical integration of technologies into a single grid	1	38			
secure and reliable electricity supply	1	24	electric efficiency of the prime mover (npm)	1	35	Electricity from organic waste digestion	1	30			
large biomass productivity	1	28	biomass burner thermal efficiency (nburner)	1	35	Electricity from corn stover and manure digestion (%)	1	30			
use of aluminium alloy (kg)	1	29	wind and solar production	1	36	Electricity from silage maize digestion (%)	1	30			
use of Nickel 99,5% (kg)	1	29	nuclear power production	1	36	Electricity from sugar beet and grass silage digestion (%)	1	30			
use of blazing solder (kg)	1	29	cumulated capacity of nuclear capital installed	1	36	capacity factor (%)	1	31			

use of solar glass, low iron (kg)	1	29	level of renewable generation	1	36	maximum train CO2 capacity (tons/h)	1	31
use of copper (kg)	1	29	energy efficiency	4	36;45;46;50	power capacity	1	49
use of glass fibre reinforced plastic, polyamide, injection moulding (kg)	1	29	grid capacity	1	36	Connection to the national gas grid	1	50
use of ethyl vinyl acetate, foil (kg)	1	29	repository capacity	1	36	Scale of plant	1	50
use of polyvinyl fluoride film (kg)	1	29	uranium supply curve	1	36			

Technological Aspects								
Uncertainty regarding future performance								
Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
design life	1	1	reduction of risks associated with energy shortages	1	34	forced outage (F)	1	39
innovation	1	4	high temperatures	1	34	power plant efficiency (PE)	1	40
lock-in mechanisms	1	4	achievement of primary energy savings (PES)	1	35	losses of straw due to bales storage (SL)	1	40
rate of progress	2	4;7	high performance vapour-compression chiller (COPref)	1	35	efficiency improvements	1	41
no technological transformations	1	7	coefficient of performance of chiller (COPtac)	1	35	efficiency of flat-plate PV systems	1	41
Weak Waste incineration lock-in	1	7	power plant's net electric efficiency (nref, e) (%)	1	35	outdoor durability	1	41
technological stability	1	7	electric efficiency of the prime mover (npm)	1	35	solar reflectivity	1	41
efficiency	2	14;17	biomass burner thermal efficiency (nburner)	1	35	safety	1	41
feasibility	2	14;17	probabilities of occurrence	1	36	net plant efficiency (%)	1	31
stable exergetic efficiency	1	11	level of renewable generation	1	36	CO2 removal efficiency (%)	1	31
applicable to region with high financial support	1	11	technological performance realization	1	36	ID fan efficiency (%)	1	31
applicable to region with high energy charging rates	1	11	increase of uncertainty	1	36	heat-electricity efficiency (%)	1	31
most applicable to hot climatic region	1	11	technological inertia	1	36	pump efficiency (%)	2	31;43
applicable to lower energy quality region	1	11	biorefinery process performances	1	37	CO2 compressor efficiency (%)	2	31;43
reduction of life cycle efficiency	2	12;15	fossil fuel savings	1	37	efficiency penalty (%)	2	31;32
Uncertainty for efficiency	1	20	technological flexibility	1	37	thermal efficiency (%)	1	31
Uncertainty for NH3 emissions	1	20	shortage of feed materials	1	37	Power loss s (%)	1	42
Uncertainty for NOx emissions	1	20	ability to deliver products	1	37	Degradation rate (%)	1	42
Uncertainty for destiny of pollutants	1	20	energy efficiency (fossil) (energy input/energy in fuel)	2	37;45	degree of capture (%)	1	43
climate resilience ("1-5")	1	33	overall energy performance	1	38	CO2 capture ratio (removal efficiency) (%)	1	44
stability of energy generation	1	33	coal imports	1	38	Financial viability	1	45

innovative ability ("1-5")	1	33	natural gas losses	1	38	Fuel availability	1	46
ability of storage heat energy in molten salt tanks	1	34	life-cycle energy efficiency of the grid mix (nG)	1	38	Fuel accessibility	1	46
guarantee of capacity	1	34	module efficiency	1	38	Weather dependence	1	46
expansion of CSP markets	1	34	short-term energy effectiveness	1	38	Fuel supply dependence	1	46
improvement of performance by R&D efforts	1	34	long-term energy sustainability	1	38	Possible world changes	1	46
high technological risks	1	34	overall energy loss	1	39	Special materials	1	46
performance factor (m2/W)	1	34	power plant's net efficiency	1	39	spatial feasibility	1	46
estimated lifetime (years)	1	34	scheduled outage (S)	1	39	Technical feasibility	1	46

Technological Aspects								
Energy Output								
Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
load factor	1	6	power generation by the prime mover (W)	1	35	nuclear electricity production	1	38
Energy generation potential	1	1	cooling power generation (Qcooling)	1	35	hydro electricity production	1	38
power rating of technology	1	1	heating power generation (Qheating)	1	35	wind electricity production	1	38
predictable and continuous source of power generation	1	4	thermal generation (nref, th)	1	35	PV electricity production	1	38
stability	2	4;24	net power outputs (kWe)	1	35	overall energy loss	1	39
emissions control	2	14;17	power range (kWe)	1	35	cumulative production (Cum)	3	39;40;41
emission rate	1	17	heat losses (Qloss)	1	35	net amount of electricity produced per year (Eout) (MWh)	1	39
thermal efficiency	1	17	production of small cooling loads	1	35	net useful electricity output	1	39
energy penalty	1	17	wind and solar production	1	36	electrical energy generation (E) (Mje/ha)	1	40
percentage of plant derating	1	17	nuclear power production	1	36	Ex(n)ergy of electricity (MJ)	1	30
stable exergetic efficiency	1	11	level of renewable generation	1	36	Ex(n)ergy content of input biomass (MJ)	1	30
reduction of net generating efficiency	1	19	biomass production	2	36;38	Ex(n)ergy content of not digested matter (MJ)	1	30
reduction of net power plant output	1	20	biofuel production chains	1	37	rate of produced electricity (%)	1	30
low power output (%)	1	23	production of relevant biomass feedstocks	1	37	rate of produced heat (%)	1	30
more energy output	1	24	net energy ratio (%)	1	37	gross electrical output (MW)	1	31
small energy loss	1	24	net energy input	1	37	net electrical output (MW)	1	31
reduction of net power output (MW)	1	27	net energy output	1	37	gross plant power output (MW)	1	31
impacts on energy production (kWh/module)	1	29	annual crop production	1	37	auxiliary power output (MW)	1	31

production UCTE	1	29	biobased products production	1	37	total gross power output (MW)	1	31
stability of energy generation	1	33	renewable energy production	1	37	net plant power output (MW)	1	31
high energy densities	1	34	production of heat and power	1	37	electricity production (kWhel)	1	32
high temperatures	1	34	mass balance	1	37	electricity output (MW)	1	32
ability of storaton heat energy in molten salt tanks	1	34	energy balance	2	37;40	Yearly rated energy output (MW)	1	42
regulation of energy production	1	34	net-to-gross energy output ratio (NTG) (Mjpe/Mjpe)	1	38	net plant output (MWh)	1	44
annual electricity production (GWh)	1	34	total energy production (Out)	1	38	Energy ratio	1	46
thermal storage	1	34	coal-fired electricity production	1	38	storage duration	1	49
reduction of power losses	1	34	oil-fired electricity production	1	38	system efficiency	1	49
no net production	1	34	conventional and combined cycle gas-fired electricity production	1	38	lifetime of storage technology	1	49
annual CSP output degradation rate (%)	1	34						

Technological Aspects											
Other											
Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources	Indicators	times encountered	indicator sources
construction period	1	1	catch crops	1	37	plant life (year)	1	31	Pumps efficiency	1	43
life-span	4	4;42;40;25	soil C stocks	1	37	CO2 removal (mass, %)	1	31	Compressor efficiency	1	43
carbon losses	1	14	use of advanced yeast	1	37	sorbent type	1	31	Reboiler duty	1	43
resource consumption	1	17	use of straw	1	37	sorbent concentration (wt %)	1	31	Cooling duty	1	43
coal type	1	17	crop displacement	1	37	lean CO2 loading (mol of CO2/mol of sorbent)	1	31	Volume of packing	1	43
net generation	1	18	material extraction	1	37	sorbent losses (kg/ton of CO2)	1	31	Ancillary power consumption	1	43
mass flow rate	2	18;25	working temperature	1	37	liquid/gas ratio	1	31	Amine slippage	1	43
fuel consumption	1	18	material flow analysis	1	37	ammonia generation (mol of NH3/mol of sorbent)	1	31	Solvent flow rate	1	43
PV cells control in a relatively low-temperature operation mode	1	11	product substitution effects	1	37	gas-phase pressure drops (kPa)	1	31	Solvent temperature	1	43
ability to transfer heat for a long distance	1	11	installed capacity	1	38	regeneration heat requirement (kJ/kg of CO2)	1	31	Absorber dimensions	1	43
installation on a building façade	1	11	capacity factor (CF) (%)	8	17;36;38;39;41;42;44;50	capture system cooling duty (tons of H2O/ton of CO2)	1	31	absorber pressure	1	43
connection of PV electricity to the national grid	1	11	CO2 compression energy (Wcompr.)	1	39	CO2 product pressure (MPa)	1	31	solvent MEA composition	1	43
high capture penalty	1	23	emission factor CO2 from coal/natural gas (EFco2)	1	39	solvent pumping head (MPa)	1	31	surface area	1	43
high energy penalties in existing CCS gas turbines	1	27	CO2 emissions reference plant (Mco2, reference)	1	39	Scale of PV (MW)	1	42	flue gas composition	1	43

plant's size	2	34;44	CO2 emissions capture plant (Mco2, capture)	1	39	size of PV	1	42	CO2 inlet flow rate	1	43
heat sink temperature (°C)	1	35	availability factor	1	39	geographic location of PV	1	42	CO2 captured	1	43
heat source temperature (°C)	1	35	amount of machinery (AM)	1	40	solar insolation	1	42	Pressure drops in packing	1	43
cooling temperature (°C)	1	35	weight of the machinery (W)	1	40	shading losses (%)	1	42	Water makeup	1	43
working fluids	1	35	operation time (OT)	1	40	inverter life (year)	1	42	Stripper diameter	1	43
heat rate of the burner (Qburner)	1	35	total primary energy	1	40	utility scale (\$/Wp)	1	42	CO2 outlet pressure from compressor	1	43
heat rate supplied to the prime mover (PM) (Qact, pm)	1	35	total nitrogen input (Ntot)	1	40	Amine lean loading	1	43	CO2 product content from condenser	1	43
heat rate rejected from the prime mover (PM) (Qrej, pm)	1	35	scale of plants	2	41;50	Stripper and reboiler pressure	1	43	solvent loading	1	43
extra heat from the burner (Qextra)	1	35	installed capacity (Kw)	1	41	Temperature inlet to absorber	1	43	net plant efficiency (%)	1	44
heat rate source to the chiller (Qact, tac)	1	35	Full load hours (h/a)	1	25	Temperature after cooling	1	43	fixed charge factor (%)	1	44
cooling factor (C)	1	35	CO2 injection rate per well (kg/s)	1	25	gas flow rate	1	43	CO2 capture efficiency (%)	1	44
CCS energy penalty (%)	2	36;44	fuel type	1	31	flue gas temperature	1	43	plant utilization factor (%)	2	44;45
fertilizer application rate	1	37	plant type	1	31	flue gas pressure	1	43	Plant capacity	1	50
animal manure	1	37									

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ 4^{ου}Κεφαλαίου

Παράρτημα 7: Πλεονεκτήματα, προκλήσεις και προοπτική βελτίωσης των τεχνολογιών δέσμευσης διοξειδίου του άνθρακα (CO₂)

Τεχνολογίες Δέσμευσης CO ₂	Πλεονεκτήματα	Προκλήσεις	Βελτιώσεις
<p>Δέσμευση CO₂ μετά τη καύση (Post-combustion CO₂ capture)</p>	<p>-Στις νέες εφαρμογές κατασκευής/αναβάθμισης → συνεχής ανάπτυξη της καθιερωμένης τεχνολογίας μετά καύσης που είναι γνωστή στις βιομηχανίες ηλεκτρικής ενέργειας παγκοσμίως.</p> <p>- Η ευρέως διαδεδομένη έρευνα και ανάπτυξη σχετικά με το βελτιωμένο εξοπλισμό διαλύτες – δέσμευσης → περιορίζει τις ενεργειακές απώλειες της τεχνολογίας Κονιοποιημένης Δέσμευσης Άνθρακα (Pulverized Carbon Capture - PCC).</p> <p>- Πολλές επιτυχημένες επιδείξεις της τεχνολογίας Κονιοποιημένης Δέσμευσης Άνθρακα (Pulverized Carbon Capture - PCC) μέχρι στιγμής.</p>	<p>- Προσθήκη της δέσμευσης άνθρακα στις τρέχουσες τεχνολογίες διαλυτών → περίπου 30% απώλεια της καθαρής παραγωγής ισχύος - μείωση της απόδοσης κατά περίπου 11%. Στην περίπτωση της αναβάθμισης των τεχνολογιών, αυτό θα σήμαινε την ανάγκη για υποκατάστατη ενέργεια για την αντιστάθμιση της απώλειας.</p> <p>- Οι περισσότεροι διαλύτες χρειάζονται επιπλέον καθαρισμό καυσαερίων για την ελαχιστοποίηση της χρήσης και του κόστους. Συνήθως, απαιτείται <10 ppm ή τουλάχιστον 1 ppm διοξειδίου του θείου (SO₂) και διοξειδίου του αζώτου (NO₂) ανάλογα με τον συγκεκριμένο διαλύτη.</p> <p>-Αν η εξαγωγή ατμού για την αναγέννηση του διαλύτη λαμβάνεται από το εργοστάσιο, η ροή μειώνεται στην τουρμπίνα χαμηλής πίεσης, με λειτουργική επίδραση στην απόδοση και στην ικανότητα περιστροφής. Η παροχή ατμού με εναλλακτικά μέσα, όπως η προσθήκη ξεχωριστής πηγής ενέργειας, μπορεί να αυξήσει το κόστος και να μειώσει την απόδοση.</p> <p>- Η χρήση νερού αυξάνεται σημαντικά με την προσθήκη Κονιοποιημένης Δέσμευσης Διοξειδίου του άνθρακα (Pulverized Carbon Capture - PCC), ιδιαίτερα για υδρόψυκτες εγκαταστάσεις, όπου η κατανάλωση νερού με δέσμευση, σχεδόν διπλασιάζεται, ανά καθαρή MWh.</p> <p>- Οι απαιτούμενες ανάγκες χώρου είναι σημαντικές, ιδιαίτερη ανησυχία για τον εκσυγχρονισμό της ΔΑΑ. Ο διαθέσιμος χώρος σε υπάρχουσες εγκαταστάσεις → είναι ήδη γεμάτος από άλλο εξοπλισμό ελέγχου εκπομπών. Επιπρόσθετα έξοδα ενδέχεται να απαιτηθούν για την εγκατάσταση Κονιοποιημένης Δέσμευσης Διοξειδίου του άνθρακα (Pulverized Carbon Capture - PCC) σε πιο απομακρυσμένες τοποθεσίες.</p>	<p>- Αρκετοί βασικοί τομείς έρευνας για τις διαδικασίες της Κονιοποιημένης δέσμευσης άνθρακα (Pulverized Carbon Capture - PCC) περιλαμβάνουν:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Αφοσίωση - Έρευνα για την ανάπτυξη νέων διεργασιών διαλυτών που μειώνουν τη συνολική ενεργειακή απώλεια. 2. Προσθήκη - Νέοι σχεδιασμοί συσκευασμένων ρευστοποιημένων στρωμάτων διερευνώνται παράλληλα με νέα στερεά απορροφητικά υλικά (με βάση οργανικά πλαίσια άνθρακα ή μετάλλου) που μπορούν να απορροφήσουν διοξείδιο του άνθρακα (CO₂). 3. Μembranes – Έρευνα διεξάγεται ήδη πάνω στις πολυμερικές μεμβράνες, που απομακρύνουν το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) από τα καυσαέρια, τόσο με υψηλή επιλεκτικότητα, όσο και με διαπερατότητα. Παρ' όλο που δεν έχουν δοκιμαστεί σε μεγάλο βαθμό για αυτή την εφαρμογή, οι μεμβράνες έχουν τη δυνατότητα να μειώσουν την ενεργειακή απώλεια
<p>Καύση με οξυγόνο (Oxy-fuel combustion)</p>	<p>- Ο πρόσθετος εξοπλισμός επεξεργασίας αποτελείται κατά κύριο λόγο από περιστρεφόμενο εξοπλισμό και εναλλάκτες θερμότητας: εξοικειωμένος εξοπλισμός με τους ιδιοκτήτες και τους φορείς εκμετάλλευσης σταθμών ηλεκτρικής ενέργειας.</p> <p>- Εξαιρετικά χαμηλές εκπομπές από συμβατικά καύσιμα μπορούν να επιτευχθούν σε μεγάλο βαθμό ως τυχαίο αποτέλεσμα των επιλεγμένων</p>	<p>- Δεν είναι δυνατή η ανάπτυξη μικρότερης κλίμακας καύσης οξυγόνου στις υφιστάμενες μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η καύση οξυγόνου τάσει αναγκαία την ανάπτυξη ολοκληρωμένων εγκαταστάσεων και η περαιτέρω ανάπτυξη της καύσης οξυγόνου απαιτεί τη δέσμευση ολόκληρης της μονάδας παραγωγής ενέργειας → πιο κοστοβόρο από ό, τι για την προ-καύση ή για την Κονιοποιημένη Δέσμευση άνθρακα, οι οποίες μπορούν να αναπτυχθούν σε υφιστάμενες εγκαταστάσεις.</p>	<p>- Σχετικά με τις βελτιώσεις της ίδιας της διαδικασίας δέσμευσης διοξειδίου του άνθρακα σε μια μονάδα καύσης με οξυγόνο, υπάρχει λιγότερη Έρευνα & Ανάπτυξη σε εξέλιξη σε σύγκριση με αυτήν της τεχνολογίας της Κονιοποιημένης δέσμευσης άνθρακα (Pulverized Carbon Capture - PCC) και την προ-καύση, καθώς η τεχνολογία που χρησιμοποιείται είναι σχετικά απλή. Ωστόσο, ένας βασικός τομέας έρευνας σχετίζεται με τη δέσμευση του διοξειδίου του άνθρακα που περιέχεται στο εξεραωμένο αδρανές αέριο (το οποίο συνήθως έχει περίπου το 10% του συνολικού διοξειδίου του άνθρακα) από την</p>

	<p>διαδικασιών καθαρισμού του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), με ελάχιστο ή καθόλου επιπλέον κόστος.</p> <p>- Έχοντας ως βάση το κόστος/ τόνο δεσμευμένου άνθρακα (cost/t CO₂ captured), θα πρέπει να είναι δυνατή η επίτευξη δέσμευσης διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) κατά 98+% με ένα κατά πολύ μικρότερο κόστος, σε σχέση με το αντίστοιχο της δέσμευσης διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) κατά 90%.</p> <p>- Ενώ δεν υπάρχει επί του παρόντος καμία γεωλογική ή κανονιστική συναίνεση σχετικά με τα επίπεδα καθαρότητας που θα απαιτηθούν για τη συμπίεση, τη μεταφορά και την αποθήκευση διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), το κόστος της καύσης μπορεί να μειωθεί εάν οι απαιτήσεις καθαρότητας είναι χαλαρές.</p> <p>- Η πιο σημαντική πληροφορία προσωρινά σχετικά με την καύση οξυγόνου με δέσμευση διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), είναι ότι θα πρέπει να είναι τουλάχιστον ανταγωνιστική προς την προ-καύση και την Κονιοποιημένη Δέσμευση Άνθρακα (PCC), καθώς και ότι θα μπορεί να έχει ένα μελλοντικό πλεονέκτημα κόστους.</p>	<p>- Η βοηθητική ισχύς που συνδέεται με τη συμπίεση του αέρα σε μια κρυογονική μονάδα (air separation unit - ASU), θα μειώσει την καθαρή παραγωγή των εγκαταστάσεων κατά 15% σε σύγκριση με έναν σταθμό παραγωγής ενέργειας με καύση αέρα, με την ίδια χωρητικότητα (χωρίς δέσμευση CO₂). Αυτός είναι το αντάλλαγμα για την πληρωμή διαχωρισμού του οξυγόνου, έτσι ώστε να παράγει ένα συγκεντρωμένο ρεύμα καυσαερίων CO₂ και επακόλουθα να μειώσει το κόστος δέσμευσης CO₂.</p> <p>- Η καύση με αέρα αναμένεται συνήθως για την εκκίνηση μονάδων παραγωγής καυσίμων με οξυγόνο. Οι πολύ χαμηλές εκπομπές που επιτυγχάνονται με καύση οξυγόνου-με καθαρισμό διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), δεν μπορούν να επιτευχθούν κατά την εκκίνηση με καύση αέρα χωρίς συγκεκριμένους ελέγχους ποιότητας καυσαερίων (που είναι πλεονάζοντα κατά τη διάρκεια αντιδράσεων με σταθερή κατάσταση σε οξυγόνο). Εάν καθοριστεί ένας σημαντικός αριθμός ετήσιων επανεκκινήσεων, θα απαιτηθούν έλεγχοι ποιότητας καυσαερίων, ή θα πρέπει να γίνουν προβλέψεις → ξεκίνημα/ απενεργοποίηση της μονάδας μόνο με καύση με οξυγόνο (χωρίς εξαερισμό σημαντικών ποσοτήτων καυσαερίων).</p> <p>- Οι απαιτήσεις χώρου είναι σημαντικές για την κρυογονική μονάδα (air separation unit - ASU) και την μονάδα καθαρισμού CO₂ (CO₂ Purification Unit - CPU) και συνολικά πρέπει να είναι συγκρίσιμες με αυτές της Κονιοποιημένης Δέσμευσης Διοξειδίου άνθρακα (Pulverized Carbon Capture - PCC).</p> <p>- Η κατανάλωση νερού, ενώ είναι μικρότερη από την αντίστοιχη στην περίπτωση της Κονιοποιημένης Δέσμευσης Διοξειδίου άνθρακα (Pulverized Carbon Capture - PCC), εξακολουθεί να αυξάνεται σε σύγκριση με μια μονάδα παραγωγής ενέργειας άνθρακα που δεν συλλέγει διοξείδιο του άνθρακα (CO₂).</p>	<p>μονάδα καθαρισμού CO₂ (CO₂ Purification Unit - CPU). Οι τεχνολογίες περιλαμβάνουν:</p> <p>- Τόσο η τεχνολογία "Linde" όσο και η τεχνολογία "Praxair" έχουν αναπτύξει διαδικασίες ροής απορρόφησης με περιστροφική πίεση, που χρησιμοποιούνται για τη δέσμευση διοξειδίου του άνθρακα από το ρεύμα αερίων εξαερισμού και την ανακύκλωσή του στην είσοδο του συμπιεστή της μονάδας καθαρισμού CO₂ (CO₂ Purification Unit - CPU). Προβλέπεται ότι τα συστήματα αυτά θα αυξήσουν τη συνολική αποδοτικότητα δέσμευσης διοξειδίου του άνθρακα στο ~99% (Linde, 2011), (IEAGHG, 2011b).</p> <p>- Το αέριο εξαερισμού που εξέρχεται από τα στάδια της ηλεκτρόλυσης είναι υπό πίεση και περιέχει 25% κατ' όγκον διοξείδιο του άνθρακα και 20% κατ' όγκον οξυγόνο. Η "Air Products" προτείνει τη χρήση μιας πολυμερικής μεμβράνης εξ'ολοκλήρου για διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)/οξυγόνο (O₂), για να διαχωριστεί και να ανακυκλωθεί η πλειονότητα αυτών των αερίων πίσω στον λέβητα. Αυτό αυξάνει την απόδοση δέσμευσης διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) σε ποσοστό πάνω από 97%, ενώ μειώνει το μέγεθος και την ζήτηση ισχύος της κρυογονικής μονάδας (air separation unit - ASU) κατά 5% (IEAGHG, 2011a).</p>
<p>Δέσμευση CO₂ προ καύσης (Pre-combustion CO₂ capture)</p>	<p>- Η δέσμευση CO₂ υπό πίεση, προκαλεί λιγότερη ενεργειακή απώλεια (~ 20%) από την αντίστοιχη της τρέχουσας τεχνολογίας της Κονιοποιημένης Δέσμευσης Άνθρακα (Pulverized Carbon Capture - PCC) (~30%), με δέσμευση CO₂ 90%.</p> <p>- Η συνεχιζόμενη έρευνα και ανάπτυξη (E&A) σχετικά με τους βελτιωμένους καταλύτες αλλαγής μονοξειδίου του άνθρακα (CO), τον καθαρισμό του αερίου υψηλότερης θερμοκρασίας και την τεχνολογία διαχωρισμού μεμβρανών για το υδρογόνο και το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), έχει τη δυνατότητα να επιφέρει ριζική μείωση της ενεργειακής απώλειας της δέσμευσης.</p>	<p>- Παρ' ότι η απώλεια ενέργειας για τη δέσμευση πριν από την καύση είναι χαμηλότερη από αυτή της Κονιοποιημένης Δέσμευσης Διοξειδίου άνθρακα (Pulverized Carbon Capture - PCC), η απώλεια αυτή εξακολουθεί να είναι σημαντική.</p> <p>- Η εμπορική επίδειξη μεγάλων αεριοτροβίλων τύπου "F" ή "G" που εκτόξευουν υδρογόνο, η οποία θα απαιτηθεί για > 65% δέσμευση διοξειδίου άνθρακα (CO₂), δεν έχει ακόμη επιτευχθεί.</p> <p>- Σε περίπτωση ανάγκης εξαέρωσης του διοξειδίου άνθρακα (CO₂), μπορεί να χρειαστεί επιπρόσθετος καθαρισμός.</p> <p>- Η τεχνολογία του Ολοκληρωμένου συνδυασμένου κυκλώματος αεριοποίησης (Integrated Gasification Combined Cycle – IGCC) δεν χρησιμοποιείται ακόμη ευρέως στη βιομηχανία ηλεκτρικής ενέργειας, και</p>	<p>-Το σχέδιο βελτίωσης της δέσμευσης της προ-καύσης σε έναν Ολοκληρωμένο συνδυασμένο κύκλωμα αεριοποίησης (IGCC), επικεντρώνεται πρωτίστως στις τεχνικές επεξεργασίας του συνθετικού αερίου, που μειώνουν την ενεργειακή απώλεια (CCT Conference, 2011).</p> <p>Οι τεχνολογίες περιλαμβάνουν:</p> <p>- Μεμβράνες μεταφοράς υδρογόνου (HTM)</p> <p>- Έχουν τη δυνατότητα να μειώσουν σημαντικά το κόστος και να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα της δέσμευσης διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) από την τεχνολογία του Ολοκληρωμένου συνδυασμένου κυκλώματος αεριοποίησης (Integrated Gasification Combined Cycle – IGCC). Μια μελέτη αξιολόγησης του Υπουργείου</p>

	<p>- Η χρήση του νερού, καθώς εξακολουθεί να είναι σημαντική, παρουσιάζεται σε χαμηλότερο επίπεδο από ότι της αντίστοιχης της τεχνολογίας Κονιοποιημένης Δέσμευσης Άνθρακα (Pulverized Carbon Capture - PCC). Ομοίως, οι απαιτήσεις χώρου (οικόπεδο), θα πρέπει να είναι επίσης χαμηλότερες από εκείνες για την τεχνολογία της Κονιοποιημένης Δέσμευσης Άνθρακα (Pulverized Carbon Capture - PCC).</p> <p>- Πλήρως ανεπτυγμένη τεχνολογία, ώριμη εμπορικά στον απαιτούμενο βαθμό σε ορισμένους βιομηχανικούς κλάδους.</p> <p>- Δυνατότητα ανατροφοδότησης σε υπάρχουσες εγκαταστάσεις.</p>	<p>ως εκ τούτου, η μονάδα αεριοποίησης, είναι άγνωστη τεχνολογία στις περισσότερες εταιρείες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.</p> <p>- Τα κεφαλαιουχικά κόστη της τεχνολογίας του Ολοκληρωμένου συνδυασμένου κυκλώματος αεριοποίησης (Integrated Gasification Combined Cycle - IGCC) χωρίς δέσμευση διοξειδίου άνθρακα, είναι πολύ υψηλότερα από αυτά της τεχνολογίας της Κονιοποιημένης Δέσμευσης μετά-καύσης, χωρίς δέσμευση διοξειδίου άνθρακα. Τα κόστη της τεχνολογίας του Ολοκληρωμένου συνδυασμένου κυκλώματος αεριοποίησης (Integrated Gasification Combined Cycle - IGCC) πρέπει να μειωθούν, κυρίως μέσω των διδαγμάτων που αντλήθηκαν από την επερχόμενη εμπορική κλίμακα και των περαιτέρω βελτιώσεων στο σχεδιασμό, ώστε να είναι αποτελεσματικότερα ανταγωνιστικές.</p>	<p>Ενέργειας των Ηνωμένων Πολιτειών, έδειξε ότι η χρήση των μεμβρανών μεταφοράς υδρογόνου (Hydrogen Transport Membranes - HTM) θα μπορούσε να αυξήσει την αποδοτικότητα κατά 2,9 ποσοστιαίες μονάδες (NETL, 2010). Η διαδικασία της μεταφοράς υδρογόνου μέσω των μεμβρανών (Hydrogen Transport Membranes - HTM) αποφεύγει τις θερμοδυναμικές απώλειες, που προκύπτουν από τη συμβατική τεχνολογία επειδή το συνθετικό αέριο δεν ψύχεται πριν το διαχωρισμό και το προϊόν, διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), παράγεται σε σχετικά υψηλή πίεση.</p> <p>- Βελτίωση της διαδικασίας διαχωρισμού θερμού αερίου (Warm Gas separation - WGS) - Υπάρχουν διάφορες προσπάθειες για τη μείωση των απαιτήσεων ατμού.</p> <p>- Καθαρισμός θερμού αερίου (Warm-Gas Clean-up - WGCU) - Η δέσμευση πριν από την καύση θα ήταν πιο αποτελεσματική με συστήματα διαχωρισμού που λειτουργούν σε θερμοκρασίες πιο κοντά σε εκείνες της αντίδρασης διαχωρισμού θερμού αερίου (Warm Gas separation-WGS) (260-370 ° C [500-700 ° F]) παρά σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Ο καθαρισμός θερμού αερίου (Warm-Gas Clean-up - WGCU) αφαιρεί ρύπους, όπως θείο και βαρέα μέταλλα σε υψηλές θερμοκρασίες, εξαλείφοντας την ανάγκη για ψύξη του συνθετικού αερίου και δαπανηρά συστήματα ανάκτησης θερμότητας. Οι μελέτες δείχνουν μια πιθανή βελτίωση στην αποδοτικότητα μιας ποσοστιαίας μονάδας με χρήση της τεχνολογίας καθαρισμού θερμού αερίου (Warm-Gas Clean-up - WGCU) και έως 4%, όταν συνδυάζεται με την τεχνολογία των μεμβρανών μεταφοράς υδρογόνου (HTM) (Hornick and Gardner, 2011).</p>
--	--	--	--

Μελέτη/ Πηγή	Βασικές Υποθέσεις	Βασικά Συμπεράσματα/Αποτελέσματα
IEA GHG, 2004	- Κόστος μεταφοράς πλοίων, συμπεριλαμβανομένων των ενδιάμεσων εγκαταστάσεων αποθήκευσης και του λιμενικού τέλους.	Κόστη Μεταφοράς (\$/t CO₂ – με πλοίο) <ul style="list-style-type: none"> 15 \$/t CO₂ για 1000 km 30 \$/t CO₂ για 5000 km
IEA, 2008	- Οι τεχνικοοικονομικές παράμετροι καθορίζουν το εκτιμώμενο κόστος/τόνο μεταφερόμενου διοξειδίου του άνθρακα (CO ₂) (μέσω αγωγών) - Μεταφορά άνω των 100 χλμ/έτος - Τα έξοδα αποθήκευσης περιλαμβάνουν τις κεφαλαιουχικές δαπάνες (capital expenditures - CAPEX) που καλύπτουν το κόστος αξιολόγησης και ανάπτυξης της γης, το κόστος γεώτρησης, τις επιφανειακές εγκαταστάσεις και τα έξοδα παρακολούθησης, όπως οι σεισμικές και λειτουργικές δαπάνες (operational expenditures - OPEX), τα οποία περιλαμβάνουν λειτουργικές ενέργειες και ενέργειες συντήρησης, καθώς και άλλες δραστηριότητες παρακολούθησης.	Κόστη Δέσμευσης (\$/t CO₂) <ul style="list-style-type: none"> Εγκαταστάσεις καύσης άνθρακα: 40-55 Εγκαταστάσεις καύσης αερίου: 50-90 Κόστη Μεταφοράς (\$/t CO₂ – μέσω αγωγών) <ul style="list-style-type: none"> 2-6 για 2 Mt 1-3 για 10 Mt Κόστη Αποθήκευσης (\$/t CO₂) Ευρώπη: 10-20 (30 Gt χωρητικότητας υδροφορέα) 10-25 (5 Gt της εξαντλημένης χωρητικότητας πετρελαίου και φυσικού αερίου) Βόρεια Αμερική: 15-25 (3500 Gt - 4000 Gt της χωρητικότητας, συμπεριλαμβανομένων των υδροφορέων, της εξαντλημένης χωρητικότητας πετρελαίου και φυσικού αερίου και του μεθανίου από κοιτάσματα άνθρακα (coa-bed methan - CBM))
IEA (2011)	- Μετατροπή νομίσματος, από δολάριο σε ευρώ, με μέσο ποσοστό μετατροπής ύψους 0,722€/ \$ για το 2010	<ul style="list-style-type: none"> Το εύρος τιμών αντικατοπτρίζει διαφορετικές τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας (υπερ - υπερκρίσιμο - υπερκρίσιμο) Κόστη μεταφοράς 0,7 €/ MWh Κόστη αποθήκευσης 4,3 €/ MWh Μετατροπή της απόδοσης από υψηλότερη σε χαμηλότερη τιμή θέρμανσης, με εκτιμώμενη διαφορά 5% για τον άνθρακα και 10% διαφορά για το φυσικό αέριο Σταθμισμένο Κόστος Ενέργειας (Levelised Cost of Energy - LCOE) (€/MWh) <ul style="list-style-type: none"> Στη Βόρεια Αμερική είναι χαμηλότερο σχ σχέση με την Ευρώπη (κυρίως λόγω των χαμηλότερων τιμών των καυσίμων) Τεχνολογίες Κονιοποιημένης Δέσμευσης (Pulverized Coal Capture - PCC) με αμίνες για εφαρμογές φυσικού αερίου: 47-104 €/MWh (κυρίως λόγω της υψηλής αβεβαιότητας στις μελλοντικές τιμές του φυσικού αερίου, (π.χ. αντίκτυπος του σχιστολιθικού φυσικού αερίου) και της υψηλής ευαισθησίας του σταθμισμένου κόστους ενέργειας (Levelised Cost of Energy - LCOE) στην τιμή καυσίμων, για εγκαταστάσεις φυσικού αερίου σε σύγκριση με σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από άνθρακα)

<p>ZEP, 2011a</p>	<p>- αξία χρήματος 2009</p>	<p>Κόστη Παραγωγής:</p> <p>Εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας από λιθάνθρακα</p> <ul style="list-style-type: none"> • Κόστη Δέσμευσης (€/MWh): 65-70 • Κόστη Μεταφοράς (€/MWh): 2-15 • Κόστη Αποθήκευσης (€/MWh): 1-19 • Συνολικά Κόστη (€/MWh): 68-104 • Κόστη χωρίς δέσμευση άνθρακα - ΔΑΑ (€/MWh): 48 • Αύξηση του κόστους λόγω δέσμευσης άνθρακα - ΔΑΑ (%): 42-117 <p>Εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας από φυσικό αέριο (€/MWh)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Κόστη Δέσμευσης (€/MWh): 64-115 • Κόστη Μεταφοράς (€/MWh): 0.6-6 • Κόστη Αποθήκευσης (€/MWh): 0.4-8 • Συνολικά Κόστη (€/MWh): 65-129 • Κόστη χωρίς δέσμευση άνθρακα - ΔΑΑ (€/MWh): 45-90 • Αύξηση του κόστους λόγω δέσμευσης άνθρακα - ΔΑΑ (%): ~43
<p>[5]</p>	<p>- Χρονική Περίοδος: 2015-2030</p> <p>- Το έτος βάσης για τον υπολογισμό των κόστων είναι το 2010</p>	<p>Κόστη Μεταφοράς και Αποθήκευσης (€/MWh)</p> <p>Ευρώπη: 4.9-5.3 Βόρεια Αμερική: 6.1-6.6</p>
<p>[6]</p>	<p>- Η εφαρμογή της τεχνολογίας ΔΑΑ έγινε από το 2012 και έπειτα</p> <p>- Κόστη Μεταφοράς-Αποθήκευσης → μικρό μερίδιο του συνολικού κόστους μείωσης</p>	<p>Κόστη Δέσμευσης (€/t CO₂)</p> <ul style="list-style-type: none"> • (Σημειακές πηγές διοξειδίου του άνθρακα- CO₂) • 30-40 (Νεόκτιστες εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας) • 50-60 (Υφιστάμενες εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας) • 40-50 (Βιομηχανία) • 30 (Άνθρακας) • 40 (Φυσικό Αέριο)
<p>[8]</p>	<p>- Νέες εγκαταστάσεις βασικού φορτίου</p>	<p>Σταθμισμένο Κόστος Ενέργειας (Levelised Cost of Energy - LCOE) (€/MWh)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 20-32 (σταθερό κόστος - \$ για το 2007) • 22-40 (προσωρινή αξία δολαρίου-\$)
<p>IPCC, 2014)</p>	<p>- Αξία χρήματος 2010</p>	<p>Κόστη Μεταφοράς και Αποθήκευσης (\$/t CO₂)</p> <p>10</p>
<p>Global CCS Institute, 2011c</p>	<p>- Μετατροπή νομίσματος, από δολάριο σε ευρώ, με μέσο ποσοστό μετατροπής ύψους 0,755€/€</p> <p>- αξία χρήματος 2010</p>	<p>Σταθμισμένο Κόστος Ενέργειας (Levelised Cost of Energy - LCOE) (€/MWh)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Δέσμευση Διοξειδίου του Άνθρακα (άνθρακας): 67-105 • Δέσμευση Διοξειδίου του Άνθρακα (φυσικό αέριο): 81-90 <p>Σταθμισμένο Κόστος Ενέργειας (Levelised Cost of Energy - LCOE) (€/t CO₂)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Δέσμευση Διοξειδίου του Άνθρακα (άνθρακας): 22-69 • Δέσμευση Διοξειδίου του Άνθρακα (φυσικό αέριο): 51-80

Παράρτημα 9: Παραδείγματα υπάρχοντων και/ή αναπτυσσόμενων πολιτικών με προοπτική παροχής κινήτρων για την περαιτέρω ανάπτυξη της τεχνολογίας ΔΑΑ (CCS)

Στόχος Πολιτικής	Τύπος Πολιτικής	Παραδείγματα	
		Δικαιοδοσία	Περιγραφή
Μειώσεις Εκπομπών	Πρότυπο μείωσης εκπομπών CO ₂	Ηνωμένες Πολιτείες	Προτεινόμενο πρότυπο ρύπανσης άνθρακα για τις νέες μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, στις 27 Μαρτίου 2012. Σύμφωνα με την συγκεκριμένη πρόταση, οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής που ενσωματώνουν ΔΑΑ, θα έχουν τη δυνατότητα να καταθέτουν τις μέσες εκπομπές CO ₂ σε μια περίοδο 30 ετών για την επίτευξη του προτεινόμενου προτύπου, αντί να χρειάζεται να πλοιοούν το πρότυπο κάθε χρόνο.
	Πρότυπο απόδοσης εκπομπών	Αλμπέρτα, Καναδάς	Πολιτικές της Αλμπέρτα για τη μείωση της έντασης εκπομπών: Κανονισμός για τις πηγές εκπομπών αερίων: Εκρεμμές πρωτόκολλο δέσμευσης/αντιστάθμισης εκπομπών. Η ΔΑΑ είναι επιλέξιμη τεχνολογία στο πλαίσιο του πρωτοκόλλου αντιστάθμισης.
	Φορολόγηση άνθρακα	Νορβηγία	Η τιμή του άνθρακα, 51\$/tn, που εισήχθη το 1991 και επιβλήθηκε στα καύσιμα υδρογονανθράκων που παράγονται στην ανοικτή θάλασσα, ώθησε την ενεργειακή εταιρεία "Statoil" να ξεκινήσει το έργο ΔΑΑ "Sleipner" στη Βόρεια Θάλασσα το 1996. Παρ' όλο που η εγκατάσταση ψεκάσμου εκτιμάται ότι κόστισε 100 εκατομμύρια δολάρια για την κατασκευή της, και ενώ η έγχυση κοστίζει 17\$/tn CO ₂ , κάθε χρόνο η "Statoil" απέφευγε να πληρώνει φόρο για εκπνύμενη ποσότητα ενός εκατ. τόνων CO ₂ . Η "Statoil" ξεκίνησε ένα παρόμοιο έργο αποθήκευσης CO ₂ , το "Snøhvit", το 2008, επίσης στη Βόρεια Θάλασσα.
	Εντολή και Έλεγχος	Αυστραλία	Ένα μεγάλο έργο ΔΑΑ στη Δυτική Αυστραλία θα αποθηκεύει ετησίως 3,3Mt CO ₂ , που διαχωρίζονται από την παραγωγή υγροποιημένου φυσικού αερίου. Η ρυθμιστική νομοθεσία αυτού το έργου ακολουθεί το Νόμο του Barrow Island (Δυτική Αυστραλία - Act 2003), η οποίος αποτελεί νομοθεσία ειδική για έργα επίδειξης και θεσπίστηκε αποκλειστικά για τη ρύθμιση εφαρμογών ΔΑΑ, που σχετίζονται με το έργο "Gorgon".
	Πρότυπο απόδοσης εκπομπών	Ηνωμένο Βασίλειο	Ένα Πρότυπο αποδόσεων εκπομπών τέθηκε σε επίπεδο 450kg CO ₂ /MWh, που θα εξασφαλίσει ότι δεν θα κατασκευαστούν νέα εργοστάσια με άνθρακα χωρίς τουλάχιστον μερική χρήση της τεχνολογίας ΔΑΑ.
	Πρότυπο απόδοσης εκπομπών	Καναδάς	Το πρότυπο απόδοσης που σχεδιάστηκε από την κυβέρνηση του Καναδά με τίτλο "Μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα υπό το κανονιστικό πλαίσιο ηλεκτροπαραγωγής με καύση άνθρακα" τέθηκε σε ισχύ την 1 ^η Ιουλίου 2015. Σύμφωνα με αυτούς τους κανονισμούς, όλες οι νέες μονάδες παραγωγής με καύση άνθρακα και οι μονάδες που ενσωματώνουν ΔΑΑ και φθάνουν στο τέλος της οικονομικής τους ζωής, λαμβάνουν προσωρινή απαλλαγή έως το 2025 από πρότυπο απόδοσης βασισμένο στην απόδοση εκπομπών του συνδυασμένου κύκλου παραγωγής φυσικού αερίου. Οι κανονισμοί αναγνωρίζουν επίσης μονάδες που εφαρμόζαν ΔΑΑ προτού υποβληθούν στο πρότυπο.
Τεχνολογία εκμάθησης αντιμετώπισης εμπορικού κινδύνου	Επιχορηγήσεις Κεφαλαίου	Ηνωμένο Βασίλειο	Ο διαγωνισμός εμπορίας ΔΑΑ του Ηνωμένου Βασιλείου παρέχει κεφάλαια ύψους ενός δισεκατομμυρίου λιρών Αγγλίας, μαζί με πρόσθετη στήριξη μέσω των μεταρρυθμίσεων της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας στο Ηνωμένο Βασίλειο, για να υποστηρίξει την πρακτική εμπειρία στο σχεδιασμό, στην κατασκευή και στη λειτουργία μονάδας ΔΑΑ σε εμπορική κλίμακα. Τον Μάρτιο του 2013 η κυβέρνηση ανακοίνωσε δύο προτιμώμενες προσφορές. Μια τελική επενδυτική απόφαση θα ελήφθη από την κυβέρνηση στις αρχές του 2015 για την κατασκευή έως και δύο τέτοιων έργων.
	Επιχορηγήσεις Κεφαλαίου	Ευρωπαϊκή Ένωση	Αναγνωρίζοντας τα ανεπαρκή κίνητρα για την τεχνολογία ΔΑΑ από το Ευρωπαϊκό Σύστημα Εμπορίας της ΕΕ (European Trading System – EU-ETS), η Ευρωπαϊκή Επιτροπή (European Commission - EC) εισήγαγε έναν ειδικό μηχανισμό για την παροχή περαιτέρω κινήτρων για τη ΔΑΑ. Το εν λόγω μέσο, που αναφέρεται ως πρόγραμμα «NER 300», κατανέμει 300 εκατομμύρια άδειες εκπομπών (EU emission allowances - EUAs) από ένα αποθεματικό νέων συμμετεχόντων που θα χρησιμοποιηθεί για τη στήριξη της ανάπτυξης τεχνολογιών ΔΑΑ και καινοτόμων τεχνολογιών ανανεώσιμης ενέργειας. Το αποθεματικό διατέθηκε μέχρι τις 31 Δεκεμβρίου 2015. Ωστόσο, ο πρώτος γύρος του «NER 300», που περιελάμβανε την πώληση των πρώτων 200 εκατομμυρίων άδειων, δεν υποστήριξε κανένα σχέδιο ΔΑΑ στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Επιπλέον, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή υποστηρίζει την επίδειξη ΔΑΑ στην Ευρώπη μέσω του Ευρωπαϊκού Ενεργειακού Προγράμματος Ανάκαμψης (European Energy Programme for Recovery). Έξι έργα επίδειξης επιχορηγήθηκαν από το πρόγραμμα αυτό με χρηματοδότηση ενός δις ευρώ.
	Επιχορηγήσεις Κεφαλαίου	Ιαπωνία	Βάσει εμπειρίας μιας σειράς έργων E&A, η Ιαπωνία αναπτύσσει ένα ολοκληρωμένο πρόγραμμα επίδειξης ΔΑΑ στο χώρο του διυλιστηρίου "Tomakomai", με δημόσια χρηματοδότηση ύψους 50 δισεκατομμυρίων γιεν. Η έγχυση CO ₂ προγραμματίστηκε να ξεκινήσει με ρυθμό άνω του 0,1 Mt CO ₂ /έτος για το 2016.
	Υποστήριξη εφαρμογών Έρευνας & Ανάπτυξης	Κίνα	Υπάρχει σημαντική δραστηριότητα, τόσο σε κυβερνητικά όσο και σε βιομηχανικά προγράμματα E&A, για τη διερεύνηση επιλογών ΔΑΑ. Οι σημερινές προσπάθειες της Κίνας στον τομέα E&A, δίνουν έμφαση στις διάφορες τεχνολογίες δέσμευσης άνθρακα, με αυξανόμενη εστίαση στις ευκαιρίες αξιοποίησης. Το 2005, η Κίνα ενσωμάτωσε τη ΔΑΑ στο εθνικό μεσοπρόθεσμο και μακροπρόθεσμο αναπτυξιακό σχεδιασμό επιστήμης και τεχνολογίας, ως τεχνολογία αιχμής για την επίτευξη σχεδόν μηδενικών εκπομπών στην παραγωγή ενέργειας με ορυκτά καύσιμα. Το 2006, το Υπουργείο Επιστήμης και Τεχνολογίας (Ministry of Science and Technology - MOST) ξεκίνησε το Εθνικό Πρόγραμμα Βασικής Έρευνας της Κίνας (Πρόγραμμα 973) για τη χρησιμοποίηση των

			αερίων θερμοκηπίου (Greenhouse Gases – GHGs) ως πόρο στην Ενισχυμένη Ανάκτηση Πετρελαίου (Enhanced Oil-Recovery - EOR) και στην υποεδάφεια αποθήκευση. Το 2007, η ΔΑΑ αναφέρθηκε ως βασικός τομέας έρευνας για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στο Εθνικό Πρόγραμμα, κατάρτισης για την Κλιματική Αλλαγή. Το 2008, το Υπουργείο Επιστήμης και Τεχνολογίας ξεκίνησε ένα ερευνητικό πρόγραμμα για την τεχνολογία ΔΑΑ, στο πλαίσιο του εθνικού προγράμματος υψηλής τεχνολογίας "863" (MOST, 2008).
	Συμβάσεις για τιμολόγια καθορισμένης τιμής αγοράς (feed-in tariff)	Ηνωμένο Βασίλειο	Το Ηνωμένο Βασίλειο πρότεινε μεταρρυθμίσεις που αποσκοπούν στη σταδιακή απομάκρυνση από τον άνθρακα στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής (συμπεριλαμβανομένων και εφαρμογών ΔΑΑ). Οι διατάξεις σχετικά με την τεχνολογία ΔΑΑ περιλαμβάνουν συμβάσεις για τιμολόγια καθορισμένης τιμής αγοράς, για την παροχή σταθερών εσόδων προς τους παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας χαμηλών εκπομπών CO ₂ . Οι προτεινόμενες μεταρρυθμίσεις αποτελούν την πρώτη προσπάθεια να δημιουργηθούν παγκοσμίως - ως μέρος ενός ευρύτερου πλαισίου μεταρρυθμίσεων - κίνητρα ανάπτυξης τεχνολογιών ΔΑΑ, που γεφυρώνουν το χάσμα μεταξύ των προγραμμάτων χρηματοδότησης έργων επίδειξης ΔΑΑ και της ανάπτυξης που καθοδηγείται αποκλειστικά από τα συστήματα τιμολόγησης του άνθρακα.
	Πρόγραμμα Έρευνας & Ανάπτυξης	Η.Π.Α.	Εκτεταμένο πρόγραμμα Ε&Α, επικεντρώθηκε σε έργα επίδειξης μεγάλης κλίμακας, καθώς και ανάπτυξη τεχνολογιών δεύτερης γενιάς και μετασχηματισμού.

Παράρτημα 10 Επιλεγμένα εθνικά ή περιφερειακά ρυθμιστικά πλαίσια αποθήκευσης CO₂

Αυστραλία	Η Αυστραλία ολοκλήρωσε το 2011 όλες τις προϋποθέσεις του πλαισίου "Έγχυσης και αποθήκευσης CO ₂ " σε ομοσπονδιακό επίπεδο για παράκτια αποθήκευση. Τρία από τα κράτη της έχουν θεσπίσει νομοθεσία σε επίπεδο κράτους για τη ρύθμιση της χερσαίας αποθήκευσης (Βικτώρια, Νότια Αυστραλία και Κουίνσλαντ), και ένα κράτος (Βικτώρια) έχει στη δικαιοδοσία του, επίσης, ένα νομοθετικό πλαίσιο για την αποθήκευση CO ₂ . Επιπλέον, ο νόμος των Νησιών Barrow του 2003, είναι νομοθεσία ειδική με έργα επίδειξης, που θεσπίστηκε για τη ρύθμιση αποκλειστικά δραστηριοτήτων ΔΑΑ, που σχετίζονται με το έργο "Gorgon", στη Δυτική Αυστραλία. Η κυβέρνηση της Δυτικής Αυστραλίας βρίσκεται τώρα στη διαδικασία ανάπτυξης ευρύτερων ρυθμίσεων εφαρμογών ΔΑΑ, μέσω τροποποιήσεων του υφιστάμενου νόμου για το πετρέλαιο και τους γεωθερμικούς ενεργειακούς πόρους του 1967, με βάση τις γνώσεις που αποκτήθηκαν από την εφαρμογή του νόμου για τα νησιά Barrow.
Καναδάς	Η επαρχία της Αλμπέρτα καθόρισε τις βασικές πτυχές του κανονιστικού της πλαισίου το 2010 και το 2011. Κατά τη διάρκεια του 2011 και του 2012, η επαρχία πραγματοποίησε μια μελέτη εμπειρογνωμοσύνης του ρυθμιστικού της πλαισίου για να διασφαλίσει ότι είχε αντιμετωπίσει όλα τα κενά και εμπόδια και ανέπτυξε τροποποιητικές συστάσεις (π.χ. δευτερεύουσα νομοθεσία) και άλλα υποστηρικτικά πλαίσια. Οι γειτονικές επαρχίες της Βρετανικής Κολομβίας και του Σασκάτσουαν εργάζονται προς την κατεύθυνση θέσπισης κατανοητών κανονιστικών πλαισίων. Το Σασκάτσουαν τροποποίησε το Νόμο περί Διατήρησης Πετρελαίου και Φυσικού Αερίου το 2011, για να διευρύνει και να αποσαφηνίσει τη ρυθμιστική αρχή για την αποθήκευση CO ₂ . Τέλος, το κανονιστικό πλαίσιο ΔΑΑ της Βρετανικής Κολούμπια θα βασιστεί επίσης στην υπάρχουσα νομοθεσία για το πετρέλαιο.
Η.Π.Α	Στα τέλη του 2010 τέθηκε σε εφαρμογή ένα νέο κανονιστικό πλαίσιο που αναδεικνυε τις βασικές προδιαγραφές για πηγάδια γεωλογικής αποθήκευσης στο πλαίσιο του προγράμματος "Έλεγχος Υποεδάφιας Έγχυσης" (Underground Injection Control – UIC), το οποίο ρυθμίζει την κατασκευή, τη λειτουργία, την αδειοδότηση και το κλείσιμο πηγαδιών έγχυσης, τα οποία εγχέουν υπόγεια υγρά για αποθήκευση ή διάθεση. Αυτός ο νέος κανόνας επέφερε τη δημιουργία της Κλάσεως VI υπό το πρόγραμμα "Έλεγχος Υποεδάφιας Έγχυσης", η οποία αποσκοπεί στην προστασία υπόγειων πηγών πόσιμου νερού από τις πιθανές επιπτώσεις της γεωλογικής αποθήκευσης. Περίπου την ίδια χρονική στιγμή, τέθηκε σε ισχύ ένας νέος συμπληρωματικός κανόνας που δημιούργησε προδιαγραφές καταγραφής, στα πλαίσια των προγραμμάτων "Greenhouse Gas Reporting Program for geologic storage operations (Subpart RR)" και "CO ₂ -EOR projects (Subpart UU)". Πιο πρόσφατα, εξαιτίας της φύσης της αποθήκευσης CO ₂ , ο Οργανισμός Προστασίας του Περιβάλλοντος (Environmental Protection Agency - EPA), πρότεινε την εξαίρεση των ρευμάτων CO ₂ από τους κανονισμούς περί επικίνδυνων αποβλήτων στο πλαίσιο του νόμου "Διατήρηση και ανάκτηση" (Conservation and Recovery Act - RCRA). Υπάρχουν επίσης 7 πολιτείες που έχουν αναπτύξει κανονισμούς για γεωλογική αποθήκευση σε επίπεδο πολιτείας.
Ευρωπαϊκή Ένωση	Το 2009 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή (EC) εισήγαγε την Οδηγία "2009/31/EC" σχετικά με τη γεωλογική αποθήκευση CO ₂ , η οποία περιλαμβάνει παροχές για: α. τη διαχείριση των περιβαλλοντικών και υγειονομικών κινδύνων που μπορεί να προκύψουν από την αποθήκευση CO ₂ , β. προδιαγραφές αδειοδότησης, γ. τη σύνθεση του ρεύματος CO ₂ , δ. έλεγχο, υποβολή εκθέσεων, επιθεωρήσεις, διορθωτικά μέτρα, ε. μεταβίβαση ευθύνης στο κράτος και στ. οικονομική ασφάλεια. Τα περισσότερα Κράτη-Μέλη εναρμονίστηκαν με την Οδηγία, αλλά σε πολλές περιπτώσεις η εναρμόνιση αυτή δεν πραγματοποιήθηκε υπό την πλήρη συμμόρφωση με τις προδιαγραφές της ΕΕ. Η πλήρης εναρμόνιση των Κρατών-Μελών είναι μία διαδικασία που συνεχίζεται ακόμη και σήμερα.

Παράρτημα 11: Πολιτικές και κανονιστικά πλαίσια των χωρών για την υποστήριξη εγκαταστάσεων ΔΑΑ

Θεσπισμένα Νομικά και Κανονιστικά Πλαίσια	
Επιτρέπουν τις διαδικασίες αδειοδότησης για την εξερεύνηση, την πρόσβαση και τη χρήση πόρων για τη γεωλογική αποθήκευση CO ₂ .	Αυστραλία, Καναδάς, Ευρωπαϊκή Ένωση, Γαλλία, Ιταλία, Νορβηγία, Ισπανία, Ηνωμένο Βασίλειο, Ηνωμένες Πολιτείες
Πλαίσια για τη διαχείριση της περιόδου προγραμματισμού και της μακροπρόθεσμης ευθύνης που σχετίζονται με τις εργασίες αποθήκευσης CO ₂ .	Αυστραλία, Καναδάς, Ευρωπαϊκή Ένωση, Γαλλία, Ιταλία, Νορβηγία, Ισπανία, Ηνωμένο Βασίλειο
Απαιτήσεις παρακολούθησης, υποβολής εκθέσεων και εξακρίβωσης	Αυστραλία, Καναδάς, Ευρωπαϊκή Ένωση, Γαλλία, Ιταλία, Νορβηγία, Ισπανία, Ηνωμένο Βασίλειο, Ηνωμένες Πολιτείες
Χρηματοοικονομικά και Πολιτικά Κίνητρα	
Πρόγραμμα έρευνας και ανάπτυξης (E&A) και υποστήριξη αντίστοιχων δράσεων	Αυστραλία, Καναδάς, Ευρωπαϊκή Ένωση, Φινλανδία, Γαλλία, Γερμανία, Ιταλία, Ιαπωνία, Κορέα, Νορβηγία, Νότια Αφρική, Ισπανία, Σουηδία, Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα, Ηνωμένο Βασίλειο, Ηνωμένες Πολιτείες
Υποστήριξη Προγραμμάτων Επίδειξης	Αυστραλία, Καναδάς, Ευρωπαϊκή Ένωση, Γαλλία, Ιταλία, Κορέα, Νορβηγία, Ισπανία, Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα, Ηνωμένο Βασίλειο, Ηνωμένες Πολιτείες
Υποστήριξη Προγραμμάτων Ανάπτυξης και Διάχυσης	Νορβηγία, Ηνωμένο Βασίλειο
Τιμολόγηση ή οριοθέτηση εκπομπών CO ₂ που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε εφαρμογές ΔΑΑ στους τομείς της ενέργειας και της βιομηχανίας	Αυστραλία (Από τον Ιούλιο του 2012), Καναδάς (από τον Ιούλιο του 2015), Ευρωπαϊκό Σύστημα Εμπορίας Εκπομπών (European Trading System – ETS), μεταρρύθμιση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας στο Ηνωμένο Βασίλειο (από το 2014)
Στρατηγική Ανάπτυξης και Διάχυσης	
Ισχύοντα μακροπρόθεσμα πολιτικά πλαίσια	Αυστραλία, Νορβηγία, Ηνωμένο Βασίλειο

Παράρτημα 12: "Ολοκληρωμένα Έργα Μεγάλης Κλίμακας - OEMK" (Large-Scale Integrated Projects - LSIPs) με εφαρμογές ΔΑΑ, υπό λειτουργία ή υπό κατασκευή, το 2012

Όνομασία	Χώρα	Είδος δέσμευσης CO ₂	Όγκος CO ₂ (Mt ετησίως)	Είδος αποθήκευσης CO ₂	Χρονολογία λειτουργίας
Φάση Λειτουργίας					
"Val Verde Gas Plants"	Η.Π.Α	Προ-κάυση (επεξεργασία αερίου)	1.3	Ενισχυμένη Ανάκτηση Πετρελαίου	1972
"Enid Fertilizer CO ₂ EOR Project"	Η.Π.Α	Προ-κάυση (λίπασμα)	0.68	Ενισχυμένη Ανάκτηση Πετρελαίου	1982
"Shute Creek Gas Processing Facility"	Η.Π.Α	Προ-κάυση (επεξεργασία αερίου)	7	Ενισχυμένη Ανάκτηση Πετρελαίου	1986
"Sleipner CO ₂ Injection"	Νορβηγία	Προ-κάυση (επεξεργασία αερίου)	1 (+0.2 στο στάδιο κατασκευής)	Βαθείς Σχηματισμοί Αφαλάτωσης	1996
"Great Plains Synfuel Plant and Weyburn-Midale Project"	Η.Π.Α	Προ-κάυση (σύνθετα καύσιμα)	3	Ενισχυμένη Ανάκτηση Πετρελαίου	2000
"In Salah CO ₂ Injection"	Αλγερία	Προ-κάυση (επεξεργασία αερίου)	1	Βαθείς Σχηματισμοί Αφαλάτωσης	2004
"Snohvit CO ₂ Injection"	Νορβηγία	Προ-κάυση (επεξεργασία αερίου)	0.7	Βαθείς Σχηματισμοί Αφαλάτωσης	2008
"Century Plant"	Η.Π.Α	Προ-κάυση (επεξεργασία αερίου)	5 (+ 3.5 στο στάδιο κατασκευής)	Ενισχυμένη Ανάκτηση Πετρελαίου	2010
Φάση Εκτέλεσης					
"Air Products Steam Methane Reformer EOR Project"	Η.Π.Α	Μετά την καύση (παραγωγή υδρογόνου)	1	Ενισχυμένη Ανάκτηση Πετρελαίου	2012
"Lost Cabin Gas Plant"	Η.Π.Α	Προ-κάυση (επεξεργασία αερίου)	1	Ενισχυμένη Ανάκτηση Πετρελαίου	2012
"Illinois Industrial CCS Project"	Η.Π.Α	Βιομηχανικός διαχωρισμός (αιθανόλη)	1	Βαθείς Σχηματισμοί Αφαλάτωσης	2013
"ACTL with Agrium CO ₂ Stream"	Καναδάς	Προ-κάυση (λίπασμα)	0.59	Ενισχυμένη Ανάκτηση Πετρελαίου	2014
"Boundary Dam Integrated CCS Demonstration Project"	Καναδάς	Μετά την καύση (παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας)	1	Ενισχυμένη Ανάκτηση Πετρελαίου	2014
"Kemper County IGCC Project"	Η.Π.Α	Προ-κάυση (παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας)	3.5	Ενισχυμένη Ανάκτηση Πετρελαίου	2014
"Gorgon Carbon Dioxide Injection Project"	Αυστραλία	Προ-κάυση (επεξεργασία αερίου)	3.4-4.1	Βαθείς Σχηματισμοί Αφαλάτωσης	2015
"Quest"	Καναδάς	Προ-κάυση (παραγωγή υδρογόνου)	1.08	Βαθείς Σχηματισμοί Αφαλάτωσης	2015

Εμπόδια και λύσεις - ΔΑΑ			
Υπο-τεχνολογία	Εμπόδια	Λύση/Σχέδιο Δράσης Τεχνολογίας	Ενδιαφερόμενα μέρη
<p>Δέσμευση CO₂ μετά τη καύση (Post-combustion CO₂ capture)</p> <p>Δέσμευση CO₂ με καύση οξυγόνου (CO₂ capture with Oxy-fuel combustion)</p> <p>Δέσμευση CO₂ προ-καύσης (Pre-combustion CO₂ capture)</p>	<p>Χρηματοοικονομικά:</p> <ul style="list-style-type: none"> Υψηλό κόστος επένδυσης και απαιτούν μεγάλο χώρο, Η ένταξη της ΔΑΑ στα πλαίσια του Μηχανισμού Καθαρής Ανάπτυξης – ΜΚΑ (Clean Development Mechanism - CMD), βρίσκεται σε εξέλιξη. <p>Πολιτική και Κανονισμοί:</p> <ul style="list-style-type: none"> Οι ισχύουσες πολιτικές και τα ισχύοντα κανονιστικά πλαίσια δεν είναι σαφώς ορισμένα, ιδίως σε σχέση με την παρακολούθηση, τη λειτουργία και την αναφορά διαρροών, Διεθνής Νόμος. <p>Τεχνολογία:</p> <ul style="list-style-type: none"> Η Ταϊλάνδη περιέχει 15-35% CO₂, αλλά εξακολουθεί να υπάρχει έλλειψη Ε&Α σε επίπεδο ινστιτούτων ή το πανεπιστημίων σχετικά με τις εγχώριες δυνατότητες της ΔΑΑ, Έλλειψη ενός βαθιού στρώματος ανάλυσης τόσο επί της ακτής όσο και της υπεράκτιας περίπτωση αποθήκευσης CO₂, Έλλειψη πληροφοριών σχετικά με τις επιπτώσεις σε άλλες χώρες στην περίπτωση παράκτιας αποθήκευσης CO₂, Έλλειψη μελετών σχετικά με τις επιπτώσεις της ΔΑΑ στην κλιματική αλλαγή. <p>Δημιουργία Υποδομών:</p> <ul style="list-style-type: none"> Έλλειψη όλων των απαραίτητων τεχνολογικών γνώσεων από το σχεδιασμό έως τη συντήρηση, Ενδεχόμενο εμφάνισης διαμαρτυριών κατά της ΔΑΑ στο μέλλον, Μακροπρόθεσμη ασφαλής λειτουργία και συντήρηση. 	<p>Χρηματοοικονομικά:</p> <ul style="list-style-type: none"> Απαίτηση διεθνούς υποστήριξης [Βραχυπρόθεσμη], Προώθηση ερευνητικών μελετών σε πιλοτική κλίμακα. [Βραχυπρόθεσμη], Υποστήριξη της ΔΑΑ από το Μηχανισμό Καθαρής Ανάπτυξης – ΜΚΑ (Clean Development Mechanism - CMD) και θέσπιση κατάλληλων εθνικών δράσεων μετριασμού (Nationally Appropriate Mitigation Action - NAMA) [Βραχυπρόθεσμη]. <p>Πολιτική και Κανονιστικά Πλαίσια:</p> <ul style="list-style-type: none"> Μελέτη και ανάπτυξη πολιτικών και κανονισμών υποστήριξης την κατάλληλη στιγμή [Βραχυπρόθεσμη έως μεσοπρόθεσμη], 10 χρόνια → Έγκριση σχεδιασμού και κατασκευή, 20-30 χρόνια → Λειτουργία και διάχυση της ΔΑΑ, Μελέτη Διεθνών κανονισμών τόσο σε διεθνείς συμβάσεις όσο και σε θαλάσσια σύνορα [Μεσοπρόθεσμη] <p>Τεχνολογία:</p> <ul style="list-style-type: none"> Ανάλυση των προοπτικών και προδιαγραφών χωρητικότητας για εφαρμογές ΔΑΑ, Μελέτη και έρευνα της γεωλογίας και των σχετικών δεδομένων [Βραχυπρόθεσμη], Ανάλυση των επιπτώσεων της ΔΑΑ στην κλιματική αλλαγή [Βραχυπρόθεσμη]. <p>Δημιουργία Υποδομών:</p> <ul style="list-style-type: none"> Δημιουργία ενός ερευνητικού δικτύου ΔΑΑ από ακαδημαϊκά ινστιτούτα [Μεσοπρόθεσμη], Ανάπτυξη υποδομών σε βασικά ζητήματα της ΔΑΑ σε συνεννόηση με ενδιαφερόμενα μέρη, συμπεριλαμβανομένης της κατανόησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων [Μεσοπρόθεσμη]. 	<p>Υπουργείο Εκπαίδευσης (Ministry of Education - MOE): (πολιτική, χρηματοδότηση, κανονισμός, δημιουργία υποδομών)</p> <p>Αρχή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της Ταϊλάνδης (Electricity Generating Authority of Thailand - EGAT) (εφαρμογή, χρηματοδότηση, δημιουργία υποδομών)</p> <p>Υπουργείο Επιστήμης και Τεχνολογίας – (Ministry of Science and Technology – MOST) και Υπουργείο Εκπαίδευσης (Ministry of Education - MOE): (Ε&Α, ανάπτυξη υποδομών)</p>

Παράρτημα 14: Βασικά ευρήματα από την έρευνά μας δείχνουν πώς τα θέματα κοινωνικής αποδοχής και συνειδητοποίησης επηρεάζουν την ανάπτυξη της ΔΑΑ

Μελέτες για την κοινωνική διάσταση της τεχνολογίας Δέσμευσης και Αποθήκευσης Άνθρακα-ΔΑΑ (Carbon Capture Storage - CCS)		
Δείκτης	Μελέτη/Πηγή	Κύρια Συμπεράσματα
Νέες Θέσεις Εργασίας	WI, 2008	- Ομάδες Πίεσης που σχετίζονται με τον άνθρακα σε διάφορες χώρες φοβούνται ότι η μείωση του εφοδιασμού και του μεριδίου αγοράς θα προκληθεί από την εφαρμογή ΔΑΑ στα πλαίσια των προσπάθειών μετριασμού της κλιματικής αλλαγής → αρνητικές επιπτώσεις στον κύκλο εργασιών της βιομηχανίας άνθρακα → ενεργοί φορείς προώθησης της τεχνολογίας ΔΑΑ. Από την άλλη πλευρά, οι παραγωγοί πετρελαίου και φυσικού αερίου → Τεχνολογία ΔΑΑ → υποσχόμενες επιχειρηματικές ευκαιρίες στο μέλλον.
	[31]	- Τεχνολογία ΔΑΑ → Τομέας ηλεκτρικής ενέργειας της ΕΕ → θετικές επιπτώσεις στον τομέα της απασχόλησης → περισσότερες θέσεις εργασίας ανά μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας/περισσότερη ζήτηση για ειδικευμένους υπαλλήλους
Εκπαίδευση και Δεξιότητες	IPCC, 2005	- Βασικά τμήματα συστημάτων ΔΑΑ → βασισμένα στην καθιερωμένη τεχνολογία → απαιτούνται εξειδικευμένες δεξιότητες → ευρέως διαθέσιμες μεις και προέρχονται από τη διεθνή βιομηχανία πετρελαίου/φυσικού αερίου
	[31]	- Σημαντική αύξηση των ωρών εργασίας υψηλής παραγωγικότητας σε σχέση με τις ώρες εργασίας που απαιτούν μέσες και χαμηλές δεξιότητες ανά λειτουργική μονάδα στο μελλοντικό σύστημα (παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από άνθρακα με ΔΑΑ) από ό, τι στο σύστημα αναφοράς (παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από άνθρακα χωρίς ΔΑΑ), - Δείκτης θέσεων απασχόλησης με βάση την κλίμακα επιμόρφωσης → παρατηρείται απόλυτα σημαντική διαφορά (με προοπτική το σύστημα αναφοράς) για ολόκληρη την οικονομία (εργατικό δυναμικό υψηλής εξειδίκευσης στην οικονομία), - Αύξηση των συνολικών ωρών εργασίας λόγω της αυξημένης οικονομικής δραστηριότητας (η αύξηση κατά λειτουργική μονάδα είναι περίπου 68%), - Οι συνολικές ώρες εργασίας ανά λειτουργική μονάδα αυξάνονται κατά 73% (71% στην ΕΕ και 81% σε χώρες εκτός της ΕΕ) → Αντίκτυπος της Τεχνολογίας ΔΑΑ σε σταθμούς παραγωγής ενέργειας άνθρακα στην Ευρώπη → λιγότερο μεγαλύτερες (θετικές) επιπτώσεις εκτός Ευρώπης (εξαιτίας των ακατέργαστων προϊόντων (π.χ. άνθρακας) (ανά μονάδα παραγωγής) ως συνέπεια της μειούμενης απόδοσης που προκαλείται από την εφαρμογή ΔΑΑ.
Παιδική Εργασία	[31]	Σενάριο Προοπτικής (εφαρμογή της ΔΑΑ στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας) έναντι του σεναρίου αναφοράς με βάση τη βάση δεδομένων Themis για 9 περιοχές του πλανήτη σε συνδυασμό με δεδομένα κόστων Κύκλου Ζωής (Life Cycle Costs). Οι επιπτώσεις της ΔΑΑ στη συνολική οικονομία είναι αμελητέες (λιγότερο από 0,001%) Ωρες ανά λειτουργική μονάδα → ΔΑΑ → Αύξηση της παιδικής εργασίας κατά 70% → παρατηρείται απόλυτα σημαντική διαφορά (με προοπτική το σύστημα αναφοράς) για ολόκληρη την οικονομία (Παιδική Εργασία με επικίνδυνες δραστηριότητες)
	Siegrist, 2000 Siegrist et al., 2007	- Αντίληψη κινδύνου/οφέλους → σημαντικοί παράγοντες πρόβλεψης της αποδοχής από το κοινό των αναδυόμενων τεχνολογιών, - Ευαισθητοποίηση του κοινού → ΔΑΑ → χαμηλή γνώση → ΔΑΑ → περιορισμένη χρήση και διάχυση.
	IPCC, 2005	Έρευνα βασισμένη στις αντιλήψεις → ΔΑΑ → πρόκληση λόγω: (1) Σχετική τεχνική - «έλλειψη» γνώσης του θέματος → λίγα άμεσα σημεία σύνδεσης στο πλαίσιο αναφοράς του κοινού με βασικές έννοιες (2) Πρώιμο στάδιο της τεχνολογίας → λίγα παραδείγματα-εφαρμογές σε δημόσια θέα που μπορούν να ληφθούν ως πρότυπα
	[24]	Δημόσιες έρευνες → εκτεταμένη έλλειψη γνώσης της ΔΑΑ σε συνδυασμό με τον προβληματισμό/ανησυχία προς αυτήν → Εκτροπή της προσοχής από την ανάπτυξη τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), Αποδοτικότητα → ΔΑΑ → προβληματισμός/ανησυχία → υλοποίηση έργων μεγάλης κλίμακας και έργων ΔΑΑ σε σύγκριση με την κατασκευή μεγάλων αιολικών πάρκων και σταθμών πυρηνικής ενέργειας.
	Fischedick et al., 2009	Γερμανική μελέτη → σειρά πιθανών φραγμών για την αποδοχή από το κοινό → ιδεολογία κατοίκων της περιοχής που πρόκειται να γίνει το έργο της ΔΑΑ: «Όχι στην πίσω αυλή μου» (Not in my Back Yard - NIMBY) δηλαδή αντίθετοι με το να πραγματοποιηθεί το έργο στον περίγυρο τους, καθώς η τεχνολογία αυτή απαιτεί κάποια πρόσθετα περιβαλλοντικά μέτρα λόγω των ρύπων που παράγονται ως τελικό προϊόν (γνωστή λεγόμενη στα αγγλικά ως end-of-ripe technology) σε σύγκριση με τις τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που είναι «καθαρές» (δεν αφήνουν κατάλοιπα), - Διαισθητική αντίληψη κινδύνου για νέα στοιχεία υποδομής (π.χ. αγωγούς, τόπους αποθήκευσης), αυξανόμενο ενεργειακό κόστος, υψηλή κατανάλωση πόρων λόγω ΔΑΑ → αρνητική στάση του κοινού, - Οικονομική εφικτότητα - αποδοχή από το κοινό → τα πιο σημαντικά εμπόδια → Εφαρμογή της τεχνολογίας ΔΑ ακολουθούμενη από νομικά ζητήματα, πτυχές πολιτικής, πτυχές κινδύνου και εφαρμοσιμότητας της τεχνολογίας.
	Wallquist et al., 2010	- Παρόμοια συμπεράσματα με τη μελέτη του Fischedick et al. 2009 - Αντιπροσωπευτική έρευνα στην Ελβετία (n=654)

Αποδοχή από το Κοινό		<ul style="list-style-type: none"> - Κοινωνικοοικονομικές ανησυχίες: αντιληπτός μη βιώσιμος χαρακτήρας των τεχνολογιών ΔΑΑ από το κοινό → λύσεις αντιμετώπισης τελικών περιβαλλοντικών συνεπειών (end-of-pipe solution) → ΔΑΑ έναντι τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας - ΑΠΕ λόγω του αποκαλούμενου "Φαινομένου του αντίρροπου αποτελέσματος" ('Rebound Effect'). - Ανησυχία για τη διαρροή - αντίληψη της πίεσης στη δεξαμενή - Γνώση των μηχανισμών αποθήκευσης διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) - η συνειδητοποίηση της κλιματικής αλλαγής μειώνει την αντίληψη κινδύνου
	Reiner et al, 2006, Itaoka et al., 2008, Ashworth et al., 2008, Huijts et al., 2007 de Best-Waldhober et al., 2006	<ul style="list-style-type: none"> - Η αντίληψη του κοινού σε διάφορες χώρες → χαμηλή επίγνωση της τεχνολογίας ΔΑΑ - Μέτρηση της στάσης του κοινού προς την τεχνολογία ΔΑΑ → δυσκολίες λόγω χαμηλής επίγνωσης → αναξιόπιστα δεδομένα
	de Best-Waldhober et al., 2008	<ul style="list-style-type: none"> - Ευρύ Κοινό → σε αντίθεση με τη διχασμένη αξιολόγηση της πυρηνικής ενέργειας, οι επιλογές της ΔΑΑ, δεν επιλέχθηκαν ούτε απορρίφθηκαν, - Σε σύγκριση με άλλες επιλογές μείωσης του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) (π.χ. αιολική ενέργεια, βιομάζα) και πιθανή συσχέτιση με τη χρήση άνθρακα → Το ευρύ κοινό είναι ελαφρώς λιγότερο θετικό όσον αφορά τις τεχνολογίες ΔΑΑ.
	[32]	<ul style="list-style-type: none"> - Ποιοτικές μελέτες στην Ευρώπη - Η.Π.Α. → οι αντιλήψεις μη ειδημόνων σχετικά με την ΔΑΑ θα μπορούσαν να επηρεάσουν την αντίληψη κινδύνου και οφέλους της τεχνολογίας, - Ομαδική μελέτη εστίασης → Ηνωμένο Βασίλειο → αντιληπτική ικανότητα του κοινού σχετικά με τη γεωλογική και θαλάσσια αποθήκευση CO₂, - Οι ερευνητές συζήτησαν την αποθήκευση διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) με τους συμμετέχοντες σε γενικό επίπεδο → οι ερωτηθέντες εξέφρασαν ανησυχία → για την ακεραιότητα των δεξαμενών αποθήκευσης διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), για την ασφάλεια του αποθηκευμένου διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και για τα αναφερόμενα ανάλογα μεταξύ πυρηνικών αποβλήτων-αποθηκευμένου διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), - Ευαισθητοποίηση του κοινού → Δυναμικό άμβλυνσης των εκπομπών της τεχνολογίας ΔΑΑ - Ο ρόλος του χαρτοφυλακίου παραγωγής ενέργειας πρέπει να αυξηθεί από τους υπεύθυνους οργανισμούς της τεχνολογίας αυτής → κοινό → ενημερωμένες αποφάσεις → οι μη τεχνικές ανησυχίες των πολιτών πρέπει να λαμβάνονται υπόψη από τους υπεύθυνους οργανισμούς, - Οι υπεύθυνοι οργανισμοί δεν πρέπει να παραμελούν τους τεχνικούς παράγοντες που επηρεάζουν τις αντιλήψεις των ανθρώπων για τη ΔΑΑ → επηρεάζουν την αντίληψη κινδύνου – οφέλους, - Η γνώση των τεχνικών πτυχών επιφέρει → εμπιστοσύνη του κοινού στην σκοπιμότητα μιας τεχνολογίας, - Δεν μπορεί να προβλεφθεί αύξηση της αντίληψης κινδύνου ως συνέπεια της εφαρμογής της ΔΑΑ → εξαρτάται από τον τρόπο και το είδος των πληροφοριών που παρουσιάζονται.
	[29]	<p>Κοινή γνώμη – Εκπαίδευση για τις τεχνολογίες μετριασμού της κλιματικής αλλαγής → απαιτείται εθνική πολιτική στήριξη,</p> <p>Παράδοση → Κοινή γνώμη - συμβατότητα μιας νέας τεχνολογίας με αξίες και πεποιθήσεις της κοινωνίας → υιοθέτηση τεχνολογίας → κοινή γνώμη - πολιτική πίσω από συζητήσεις → προβλήματα - αποδεκτές τεχνολογικές λύσεις,</p> <p>Τεχνολογία ΔΑΑ → νέα τεχνολογία → άγνωστες οι επιπτώσεις της στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον → έμφαση στο εκπαιδευτικό πρόγραμμα σπουδών → ευαισθητοποίηση του κοινού όσο αναφορά ανησυχίες για την ανθρώπινη αξία συσχετιζόμενη με την τεχνολογία ΔΑΑ.</p>
[38]	<ul style="list-style-type: none"> - Διερεύνηση απόψεων μεταξύ των ευρωπαϊκών ενδιαφερόμενων φορέων (δείγμα έρευνας ACCSEPT - n = 512) → ο ρόλος της ΔΑΑ στο ενδεχόμενο ενεργειακό μέλλον της Ευρώπης, - Μεγάλη έρευνα (2006) μεταξύ των 27 χωρών της ΕΕ (συν μερικών άλλων κρατών, όπως η Ελβετία, η Νορβηγία, η Κροατία, κ.α. - μεγάλη πλειοψηφία από τους τομείς της ενέργειας, της έρευνας και του δημόσιου τομέα – μικρότερος αριθμός από Μη Κυβερνητικές Οργανώσεις (ΜΚΟ) και εθνικά κοινοβούλια), - Σε σημαντικότερο βαθμό εκπροσωπούμενες χώρες → Ηνωμένο Βασίλειο, Γερμανία, Ολλανδία, Γαλλία, Ιταλία, Βέλγιο, Νορβηγία, Ισπανία, Δανία, Σουηδία και Φινλανδία, - Γενικά διαπιστώθηκε ότι η πλειοψηφία του δείγματος υποστηρίζει μετρίως την τεχνολογία ΔΑΑ και πιστεύεται ότι έπαιξε σημαντικό ρόλο στα σχέδια της χώρας τους για το μετριασμό των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), - Η εμπιστοσύνη στην ΔΑΑ τείνει να αυξάνεται όταν μετακινείται από εθνικό επίπεδο σε ευρωπαϊκό και έπειτα σε παγκόσμια κλίμακα, - Οι ερωτηθέντες τείνουν να θεωρούν ότι οι κίνδυνοι της ΔΑΑ είναι μέτριοι ή ανύπαρκτοι και δεν αντιλαμβάνονται ότι υπάρχουν υπερβολικά αρνητικές επιπτώσεις από επενδύσεις στην ΔΑΑ σε προσπάθειες βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης και μείωσης της ενεργειακής ζήτησης, - Ωστόσο, το 44% του δείγματος πιστεύει ότι ενδέχεται να υπάρχουν κάποιες αρνητικές επιπτώσεις από τη ΔΑΑ για επενδύσεις σε άλλες ενεργειακές τεχνολογίες χαμηλών ή μηδενικών εκπομπών άνθρακα (low- or zero-carbon energy technologies - LZCTs), σε σύγκριση με το 51% που δεν πιστεύει ότι θα υπάρξουν αρνητικές επιπτώσεις ή πιστεύουν ότι οι επιπτώσεις μπορεί να είναι θετικές, - Παρόμοια απάντηση → πιθανές επιπτώσεις της ΔΑΑ κατά τη μετάβαση σε αποκεντρωμένο σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, - Οι μεγάλες διαφορές μεταξύ των απαντήσεων των Μη Κυβερνητικών Οργανώσεων - ΜΚΟ και των βουλευτών, αφενός, και των ενεργειακών, κυβερνητικών και ερευνητικών ενδιαφερομένων αφ' ετέρου → οι απαντήσεις από άτομα, που συμμετείχαν σε Μη Κυβερνητικές Οργανώσεις (ΜΚΟ), τείνουν να είναι πιο δύσπιστες όσον αφορά το ρόλο της ΔΑΑ και να έχουν μια πιο αρνητική αντίληψη για τους δυνητικούς κινδύνους. Οι άλλοι ενδιαφερόμενοι φορείς/ΜΚΟ θεωρούν επίσης τυπικά ότι η ΔΑΑ έχει έντονο ή τουλάχιστον μερικώς αρνητικό αντίκτυπο στις επενδύσεις σε άλλες ενεργειακές τεχνολογίες χαμηλών ή μηδενικών εκπομπών άνθρακα (low- or zero-carbon energy technologies - LZCTs), την ενεργειακή απόδοση, τη μείωση της ζήτησης ενέργειας και τις κινήσεις προς ένα αποκεντρωμένο σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας/οι αντιπρόσωποι των ΜΚΟ είναι επίσης πολύ λιγότερο 	

		<p>ενθουσιασμένοι σε σχέση με την παροχή οικονομικών κινήτρων για την ανάπτυξη της ΔΑΑ από ό, τι το δείγμα των ενδιαφερόμενων φορέων του τομέα της ενέργειας → περισσότερο αισιόδοξοι όσον αφορά το ρόλο της ΔΑΑ, συμπεριλαμβανομένης της χαμηλής αντίληψης των κινδύνων και γενικά μη συμμερισμού των ανησυχιών των ΜΚΟ, σχετικά με τις δυσμενείς επιπτώσεις της επένδυσης ΔΑΑ σε άλλες ενεργειακές τεχνολογίες χαμηλών ή μηδενικών εκπομπών άνθρακα (low- or zero-carbon energy technologies - LZCTs), της ενεργειακής απόδοσης και αποκέντρωσης,</p> <p>- Κυβερνητικοί και ερευνητικοί/ακαδημαϊκοί φορείς → παρόμοια αντίδραση με τους ενεργειακούς φορείς, βουλευτές → τυπικά κάπου μεταξύ των απόψεων των ερωτηθέντων των ΜΚΟ,</p> <p>- Ενδιαφέρουσα παρατήρηση: Οι βουλευτές φαίνεται να έχουν υιοθετήσει μια κάπως κριτική άποψη για τη ΔΑΑ. Ερευνητές/ακαδημαϊκοί φορείς δεν φαίνεται να υιοθετούν μια κρίσιμη απάντηση, αλλά συνήθως υιοθετούν μια παρόμοια απάντηση στους εμπλεκόμενους φορείς του ενεργειακού τομέα,</p> <p>-Οι περισσότεροι που εμπλέκονται με την τεχνολογία ΔΑΑ, ως μέρος της εργασιακής τους δραστηριότητας, τείνουν σε κάποιο βαθμό, να είναι πιο ευνοϊκά προσανατολισμένοι προς αυτήν.</p> <p>Αντιλήψεις του κοινού σχετικά με τη ΔΑΑ:</p> <p>- Για ορισμένα έργα, όπου η αποθήκευση πραγματοποιείται υπεράκτια (off-shore), είναι πιθανό ότι οι αγωγοί CO₂ θα προκαλούν μεγαλύτερη ανησυχία/Για άλλα έργα, όπου πραγματοποιείται χερσαία αποθήκευση → ίδιος χώρος αποθήκευσης, που αναδεικνύεται ως το επίκεντρο της αντιπολίτευσης,</p> <p>- Αν η τεχνολογία ΔΑΑ θεωρείται υπεύθυνη για την αύξηση των λογαριασμών κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος, τότε θα γίνει και πιο αρνητικά αντιληπτή,</p> <p>- Οι μέχρι τώρα προσπάθειες για την ανάπτυξη σχέσεων μεταξύ της ΔΑΑ και του κοινού, δεν ήταν γενικά καλά συντονισμένες ή αποτελεσματικές,</p> <p>Συνοπτικά: Οι αντιλήψεις των συμμετεχόντων σχετικά με την ΔΑΑ, φαίνεται να επηρεάζονται από το επίπεδο ανησυχίας σχετικά με την ενεργειακή ασφάλεια, την κλιματική αλλαγή και τις τιμές ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και με τη γνώμη του κοινού σε σχέση με άλλες τεχνολογίες παραγωγής.</p>
Εμπιστοσύνη στην Κανονιστική Εποπτεία / Εμπιστοσύνη	<p>[31]</p>	<p>- Εμπιστοσύνη σε ριζοκίνδυνες πληροφορίες → πιθανή συμφόρηση για την ανάπτυξη της ΔΑΑ,</p> <p>- Μεγάλος όγκος έρευνας → οδηγοί - πιθανές στρατηγικές → ανάπτυξη σχέσεων ΔΑΑ με το κοινό.</p>
	<p>Terwel et al., 2009</p>	<p>- Η αποδοχή των νέων τεχνολογιών από το κοινό (ΔΑΑ), εξαρτάται από την εμπιστοσύνη των ανθρώπων στους εμπλεκόμενους οργανισμούς και φορείς.</p>
	<p>Einsiedel et al., 2013</p>	<p>- Δεν είναι δυνατόν να προβλεφθεί → ο πληθυσμός → η εμπιστοσύνη στις ριζοκίνδυνες πληροφορίες → η ΔΑΑ που εφαρμόζεται σε μεγάλη κλίμακα το 2030 (μελλοντικό σενάριο),</p> <p>- Είναι δυνατή η αξιολόγηση → εμπιστοσύνης → συμφόρησης → τρέχουσας υλοποίησης έργων επίδειξης ΔΑΑ,</p> <p>- Με βάση την εμπειρία της εφαρμογής της ΔΑΑ στις ΗΠΑ → οι πιο σημαντικοί παράγοντες όταν εμπλέκονται με το ευρύ κοινό-τοπικές κοινότητες → υπάρχει ανάπτυξη στην εμπιστοσύνη του κοινού, των ρυθμιστικών αρχών, της κυβέρνησης → ειλικρινείς πληροφορίες, διεξαγωγή δίκαιης διαδικασίας λήψης αποφάσεων, λογοδοσία, δίκαιη μεταχείριση του κοινού στη διανομή οικονομικών οφελών,</p> <p>- Εμπιστοσύνη → ασταθής, όταν υπάρχει αβεβαιότητα σχετικά με την τεχνολογία ΔΑΑ και έλλειψη εμπιστοσύνης στα θεσμικά όργανα → ρύθμιση-παρακολούθηση.</p>
	<p>Siegrist (2000), Cvetkovich (2000)</p>	<p>- Από σύγκριση 25 «επικίνδυνων» τεχνολογιών - δραστηριοτήτων αναδείχθηκε ότι → "οι άνθρωποι που έχουν λίγες γνώσεις σχετικά με το ρίσκο-κίνδυνο, φαίνεται να βασίζονται και να δείχνουν εμπιστοσύνη περισσότερο στις αρχές που είναι υπεύθυνες για τη διαχείριση του κινδύνου, σε σύγκριση με τους ανθρώπους που έχουν γνώση του θέματος"</p>
	<p>Reiner et al., 2012</p>	<p>- Διαμόρφωση των παραγόντων της ΔΑΑ από εφαρμογή της σε 5 ευρωπαϊκές χώρες → ουσιαστική στατιστική σχέση μεταξύ των αντιλήψεων σχετικά με τους κινδύνους των αποτελεσμάτων της τεχνολογίας ΔΑΑ και της εμπιστοσύνης τους στη βιομηχανία και στις εθνικές κυβερνήσεις/πολιτικούς. Οι ερωτηθέντες αντιδρούν περισσότερο σε κινδύνους.</p> <p>Διαφορά στις ανησυχίες, σχετικά με τον κίνδυνο-ρίσκο, στα διάφορα στάδια της ΔΑΑ:</p> <p>- Όσο αναφορά την αποθήκευση CO₂, οι ερωτώμενοι που βρίσκονταν σε απόσταση 100 χλμ. από την περιοχή αποθήκευσης του → ανησυχούν περισσότερο για τους κινδύνους που ελοχέουν, σε σχέση με αυτούς που βρίσκονται πιο μακριά,</p> <p>- Όσο αναφορά την περιοχή δέσμευσης του CO₂, η σχέση μεταξύ της απόστασης από την περιοχή και της άποψης των ερωτηθέντων είναι περίπλοκη: όσοι ζουν κοντά στην περιοχή, όπου πραγματοποιείται η δέσμευση CO₂, ήταν πιο θετικοί απέναντι στο τοπικό έργο, από εκείνους που ζούσαν μακρύτερα,</p>

στην Πηγή Πληροφοριών		<p>- Σύγκριση παραγόντων διαμόρφωσης σε τοπικά έργα ΔΔΑ → τοπικές αντιλήψεις σχετικά με το εάν η τοπική κοινότητα αντιμετωπίστηκε με δίκαιο τρόπο → επηρεάζει τη στάση των ερωτηθέντων απέναντι στη ΔΔΑ (ιδιαίτερα σε σχέση με το τοπικό έργο). Οι ερωτηθέντες που συμφώνησαν ότι η τρέχουσα διαδικασία σχεδιασμού δίνει επαρκή απόκριση στις τοπικές ανησυχίες και ότι η τοπική τους κοινότητα αντιμετωπίστηκε με δίκαιο τρόπο κατά το παρελθόν, ήταν πιο πιθανό να είναι θετικοί απέναντι στα τοπικά έργα ΔΔΑ.</p>
	Riesch et al., 2013	<p>- Ευρωπαϊκή μελέτη σχετικά με την κοινή γνώμη σχετικά με την τεχνολογία ΔΔΑ στην Πολωνία και την Ισπανία → επίπεδο εμπιστοσύνης στην τοπική χωροταξική διαδικασία για την ενεργειακή υποδομή και βαθμός, στον οποίο οι συμμετέχοντες θεώρησαν ότι οι τοπικές απόψεις λαμβάνονται επαρκώς υπόψη → Θετική συσχέτιση μεταξύ εμπιστοσύνης - τοπικής χωροταξικής διαδικασίας και ευνοϊκότερες απόψεις → ΔΔΑ</p>
	Terwell et al., 2011	<p>- Πειραματική έρευνα στην Ολλανδία → επιρροή της εμπιστοσύνης στη δημόσια αποδοχή της ΔΔΑ,</p> <p>Ευρήματα → άτομα που εμπιστεύονται έναν υποστηρικτή της ΔΔΑ για την ικανότητα της, αντιλαμβάνονται μικρότερους κινδύνους /μεγαλύτερα οφέλη → πιο πρόθυμοι να δεχθούν τη ΔΔΑ,</p> <p>- Χαμηλή εμπιστοσύνη με βάση την ακεραιότητα → άτομα που αντιτίθενται στις θέσεις που υποστηρίζουν οι ενδιαφερόμενοι φορείς → πιο αρνητικοί όσον αφορά την ΔΔΑ: εμπιστοσύνη που βασίζεται στην ακεραιότητα ενός υποστηρικτή της ΔΔΑ → χαμηλή,</p> <p>- Εξετάστηκε ο τρόπος σκέψης του τοπικού κοινού, σχετικά με ένα προτεινόμενο σχέδιο επίδειξης της ΔΔΑ στο Barendrecht (Ολλανδία) Έρευνα από → μεγάλο δείγμα του πληθυσμού στο Barendrecht της Ολλανδίας (n=811) απόφασε την ακύρωση έργου λόγω της μη αποδοχής του από το κοινό, λίγο πριν αποφασιστεί η πραγματοποίησή του,</p> <p>Αποτελέσματα → περισσότερο από το ήμισυ των ερωτηθέντων (55%) → δεν εμπιστεύονται όσους τελικά θα αποφάσιζαν για το σχέδιο ΔΔΑ και μόνο το 10% των ερωτηθέντων έδειξαν → "μεγάλη" - "πολύ μεγάλη" εμπιστοσύνη</p>
	Dütschke, 2011	<p>Πραγματοποιήθηκε σύγκριση των οδηγιών τοπικής δημόσιας αποδοχής σε 2 περιπτώσεις στη Γερμανία → στο Jänschwalde & στο Ketzin,</p> <p>- Η περίπτωση του Jänschwalde της Γερμανίας: Το έργο επίδειξης ΔΔΑ σταμάτησε λόγω της ισχυρής δημόσιας μη αποδοχής του έργου - Ο υπεύθυνος του έργου (Vattenfall) δεν ήταν αξιόπιστος από το κοινό,</p> <p>- Η περίπτωση του Ketzin της Γερμανίας: Επιτυχής εφαρμογή → Το κοινό του Ketzin αισθάνεται ασφάλεια σχετικά με την τεχνολογία ΔΔΑ, καθώς οι ποσότητες CO₂ που εγχύθηκαν ήταν μικρές - το έργο θα πρέπει να σταματήσει σε περίπτωση διαρροών → οι ερευνητές από το GFZ εμπιστεύονται τους εκπροσώπους της κοινότητας,</p> <p>Τοπικό ιστορικό → επίπεδο αποδοχής (ή μη αποδοχής) σε ένα σχέδιο επίδειξης ΔΔΑ,</p> <p>- Εάν η κοινωνία θέλει να συμπεριλάβει τη ΔΔΑ ως μέρος της ενεργειακής της στρατηγικής → Υποστήριξη από πολλούς (τοπικούς) ενδιαφερόμενους φορείς (ΜΚΟ, πολιτικούς, επιστήμονες, βιομηχανία) → προσπαθεί να πείσει τους ανθρώπους σε τοπικό επίπεδο → ότι αξίζει το ρίσκο να ζουν κοντά στο εργοτάξιο της μονάδας ΔΔΑ.</p>
	de Best-Waldhober et al., 2008	<p>- Παρουσιάστηκαν ενημερωμένες απόψεις των πολιτών, οι οποίοι παρείχαν πληροφορίες σε σημαντικό βαθμό, για τις οποίες οι συμμετέχοντες κατέβαλαν σημαντική προσπάθεια,</p> <p>- Αμφισβητούμενα ζητήματα → Είναι το ευρύ κοινό καλά ενημερωμένο → και κατά πόσον άλλες πτυχές που είναι δύσκολο να ελεγχθούν, όπως η εμπιστοσύνη στους εμπλεκόμενους φορείς, υπερτερούν των γενικών πληροφοριών → ποιο είναι το επίπεδο της δημόσιας αποδοχής της ΔΔΑ.</p>