

## Τεχνολογίες CCUS και ερευνητικές δράσεις στήριξής τους, στα πλαίσια του Ελληνικού σχεδίου για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής

Η ανάπτυξη σχεδίου για την αρωγή της έρευνας στη διαμόρφωση του ενεργειακού τοπίου του μέλλοντος στην Ελλάδα, προϋποθέτει μια αποτύπωση της υπάρχουσας πραγματικότητας τόσο σε τοπική όσο και σε παγκόσμια κλίμακα. Η αναγνώριση των προβλημάτων των προκλήσεων αλλά και των ευκαιριών θα μας βοηθήσουν να προσδιορίσουμε μια γενική κατεύθυνση και εξ αυτής να συνάγουμε κάποια συμπεράσματα για τις ερευνητικές κατευθύνσεις που μπορούν να στηρίξουν την επιθυμητή πορεία.

Όπως αποτυπώθηκε και στην πρόσφατη σύνοδο για το κλίμα στη Γλασκώβη, η τεχνολογική και η οικονομική πραγματικότητα ωθούν στο συμπέρασμα ότι η ενεργειακή μετάβαση δεν μπορεί να ολοκληρωθεί αποκλειστικά με την εξάπλωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Όπως χαρακτηριστικά αναφέρεται σε πλειάδα σχετιών μελετών και ερευνητικών δημοσιεύσεων, δεν υπάρχει η «ασημένια σφαίρα», η μία και μοναδική τεχνολογία η οποία να μπορεί να στηρίζει από μόνη της αυτή τη στιγμή την μετάβαση σε μια εποχή μηδενικού αποτυπώματος της ανθρώπινης δραστηριότητας στο περιβάλλον και στο χρονοδιάγραμμα που έχει στόχο το 2050. Αντίθετα γίνεται λόγος για «σφήνες» διαφορετικών τεχνολογιών οι οποίες μπορούν αθροιστικά να συμβάλουν και λαμβάνοντας κάθε φορά υπόψη τις τοπικές προδιαγραφές κάθε περιοχής. Για παράδειγμα, μια σημαντική παράμετρος του προβλήματος όσο αφορά την παραγωγή ηλεκτρισμού παραμένει το γεγονός ότι σε κάθε περίπτωση υπάρχει η ανάγκη της κάλυψης του φορτίου βάσης των οικισμών και των πόλεων, το οποίο με τις τρέχουσες τεχνολογικές εξελίξεις, ελλείπει μεθόδων αποθήκευσης που να προσφέρουν οικονομίες κλίμακας σε τοπικό ή ευρύτερο επίπεδο, μπορεί να καλυφθεί αξιόπιστα μόνο από καύσιμα βασισμένα στον άνθρακα και από την πυρηνική ενέργεια. Οπωσδήποτε μια άλλη παράμετρος του προβλήματος είναι η ανάγκη ταυτόχρονα με την κλιματική αλλαγή να αντιμετωπιστούν η ενεργειακή φτώχεια (800εκ. άνθρωποι στον πλανήτη δεν έχουν πρόσβαση σε ηλεκτρισμό) αλλά και η οικονομική ανάπτυξη των αναπτυσσόμενων ή των φτωχών περιοχών όπου η πρόσβαση στην ενέργεια έχει χαμηλά ποιοτικά χαρακτηριστικά π.χ. διαλειμματική πρόσβαση (ενεργειακή ανισότητα). Ο διαρκώς αυξανόμενος πληθυσμός του πλανήτη και μάλιστα σε περιοχές του αναπτυσσόμενου κόσμου σε συνδυασμό με την εδραιωμένη συσχέτιση ΑΕΠ ή ΑΕΠ ανά κάτοικο με την συνολική κατανάλωση ενέργειας ή την κατανάλωση ενέργειας ανά κάτοικο αντίστοιχα, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι οι ενεργειακές ανάγκες του πλανήτη διαρκώς θα μεγαλώνουν. Αυτό το γεγονός εξηγεί γιατί παρά την εντυπωσιακή διείσδυση ανανεώσιμων πηγών στο ενεργειακό μίγμα, το ποσοστό συμμετοχής τους δεν έχει αλλάξει σημαντικά τα τελευταία χρόνια σε παγκόσμιο επίπεδο. Μια ακόμη απόδειξη του γεγονότος του πόσο δύσκολο είναι το εγχείρημα της απεξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα, είναι το ότι το 2020 εν μέσω πανδημίας που νέκρωσε

ολόκληρους τομείς της οικονομικής δραστηριότητας, οι παγκόσμιες εμπομπές διοξειδίου του άνθρακα μειώθηκαν μόνο κατά 6% (από 33Gt CO<sub>2</sub> σε 31Gt CO<sub>2</sub>) ενώ ανέκαμψαν στα επίπεδα του 2019 το 2021 μετά την επανεκκίνηση της οικονομίας. Υπάρχουν άλλα τέσσερα ζητήματα σχετικά με την αποτύπωση της πραγματικότητάς με τα 3 εκ των οποίων δεν θα ασχοληθούμε σε αυτήν την εισήγηση αλλά τα αναφέρουμε για λόγους πληρότητας. Η μεταλλαγή του οικονομικού μοντέλου των περιοχών εκείνων που παραδοσιακά στηρίζονται σε υπό απόσυρση τεχνολογίες άνθρακα, οφείλει να αποτελεί μέλος της πρόνοιας των οργανωμένων κοινωνιών που επιχειρούν την πράσινη μετάβαση. Ο παράγοντας της ενεργειακής ασφάλειας, αυτάρκειας και των γεωπολιτικών συσχετισμών είναι αναμφίβολα βασικός πυλώνας του ενεργειακού σχεδιασμού. Μια ιδιαίτερη και νέα παράμετρος αυτής της όψης του προβλήματος είναι το γεγονός ότι οι ανανεώσιμες τεχνολογίες στηρίζονται σε σπάνιες γαίες και εν γένει σε κρίσιμα υλικά που είναι διαθέσιμα σε συγκεκριμένες περιοχές του πλανήτη. Επιπρόσθετα, στην Ε.Ε. αλλά και σε παγκόσμια κλίμακα υπάρχει η ανησυχία για τη «διαφυγή διοξειδίου» δηλαδή για το οικονομικό πλεονέκτημα που μπορεί να προκύψει σε όφελος χωρών οι οποίες δεν εφαρμόζουν πολιτικές φιλικές προς το περιβάλλον έναντι γειτονικών τους χωρών που εφαρμόζουν σχετικές πολιτικές. Τέλος, υπάρχει προβληματισμός για την επάρκεια των πρώτων υλών που μπορούν να στηρίξουν την αναπτυσσόμενη ενεργειακή μετάβαση και των οικονομικών συνεπειών πιθανής ανεπάρκειας, για την επόμενη μέρα του ενεργειακού και οικονομικού γίγνεσθαι.

Στο καθαρά τεχνικό πεδίο, ένα χαρακτηριστικό των υποδομών που σχετίζονται με την έρευνα και την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών στο πεδίο της ενέργειας και της βιομηχανίας είναι ότι το μεγάλο διάστημα που μεσολαβεί από την σύλληψη μέχρι τη βιομηχανική εκμετάλλευση μιας ιδέας. Αυτό το διάστημα έχει μειωθεί από την πρώτη στην τέταρτη βιομηχανική επανάσταση, αλλά ακόμα παραμένει υπολογίσιμο. Υπολογίζεται ότι άνευ μεθόδων fast-track για την προώθηση της έρευνας και της καινοτομίας, απαιτείται διάστημα περίπου 15-20 χρόνων για να οδηγηθεί μια τεχνολογία από TRL 1 σε TRL 9. Συμπληρωματικά, γνωρίζουμε ότι μεγάλα έργα υποδομής ή δίκτυα αγωγών, συνήθως χρειάζονται 7 έως 10 χρόνια από την αρχική ιδέα μέχρι τη μελέτη σκοπιμότητας, τη μελέτη FEED και τον τελικό σχεδιασμό, την κατασκευή και εν τέλει τη λειτουργία. Όλα τα παραπάνω σημαίνουν ότι υπάρχει μια επιπλέον δυσκολία στην υλοποίηση των πολιτικών της ενεργειακής μετάβασης και αυτός είναι ένας επιπλέον λόγος που οι ποιοτικές αλλά ποσοτικές εκτιμήσεις θέτουν ως ορόσημο για την πραγματοποίηση σημαντικών αλλαγών το 2050.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση ηγείται της πολιτικής πραγματοποίησης της πράσινης μετάβασης. Σε αυτά τα πλαίσια έχει υιοθετήσει τον στόχο για κλιματική ουδετερότητα ως το 2050 και ενδιάμεσα τη μείωση κατά 55% ως το 2030, όπως περιγράφεται στο

πρόγραμμα “fit for 55”. Βασικό ζητούμενο είναι η επίτευξη του στόχου που τέθηκε στη διάσκεψη το 2015 στο Παρίσι για την κλιματική αλλαγή που μεταφράζεται σε δραστική μείωση των εκπομπών που σχετίζονται με χρήση ορυκτών καυσίμων. Για την προώθηση αυτού του στόχου, έχει υιοθετηθεί το ευρωπαϊκό σύστημα ελέγχου εκπομπών (ETS) το οποίο προβλέπει προοδευτικά υψηλότερες οικονομικές ποινές για εκπομπές GHG. Η Ελλάδα εναρμονισμένη με την Ευρωπαϊκή στόχευση, έχει εξαγγείλει το δικό της σχέδιο για την υλοποίηση της ενεργειακής μετάβασης με το ΕΣΕΚ. Βασικοί πυλώνες της ελληνικής προσέγγισης, είναι η απολιγνιτοποίηση, η αντικατάσταση του λιγνίτη με Φ.Α., ο εξηλεκτρισμός της κίνησης και η εμβάθυνση της διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Οι τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας που επηρεάζονται από την πολιτική της κλιματικής ουδετερότητας και δια του μετασχηματισμού των οποίων αυτή θα υλοποιηθεί, είναι οι εξής 5: η ηλεκτρική ενέργεια, ο τρόπος που κατασκευάζουμε κατασκευές και προϊόντα, η καλλιέργεια της τροφής, η μετακίνηση και το τρίπτυχο κλιματισμός-ψύξη-θέρμανση. Η επιτυχής υλοποίηση του στόχου απαιτεί την αντιμετώπιση των εκπομπών και από τους 5 αυτούς τομείς. Η αντικειμενική εξέταση του θέματος αποκαλύπτει ότι υπάρχουν κάποιοι τομείς που είναι πιο εύκολο να «απανθρακοποιηθούν» με την τρέχουσα τεχνολογία κι άλλοι τομείς αποδεικνύεται πολύ δυσκολότερο έως εντελώς αδύνατο να μειώσουμε τις εκπομπές τους. Σε κάθε περίπτωση, οι προτεινόμενες λύσεις για να είναι προϊόν αντικειμενικής θεώρησης και να έχουν το μέγιστο δυνατό αποτέλεσμα, οφείλουν να εξετάζονται κι αξιολογούνται ως προς την επίτευξη του ζητούμενου στόχου και να μην αποκλείουν πιθανές λύσεις εκ των προτέρων.

Με όλα τα προηγούμενα στοιχεία ως υπόβαθρο, με την παρούσα εισήγηση προτείνουμε την ενσωμάτωση στη φαρέτρα της Ελλάδας για την αντιμετώπιση της κλιματικής κρίσης την υιοθέτηση των μεθόδων δέσμευσης, χρήσης και αποθήκευσης άνθρακα (Carbon Capture, Utilization and Storage). Μια περίληψη των λόγων για τους οποίους πρέπει το CCUS να συμπεριληφθεί ως ένα από τα εργαλεία με τα οποία θα επιτύχουμε τους στόχους της πράσινης μετάβασης είναι οι κάτωθι:

1. Η παγκόσμια πρακτική έχει αποδείξει ότι σε πολλές περιπτώσεις η τεχνολογία είναι ανταγωνιστική παρά τις μεγάλες επενδύσεις που χρειάζονται, αφού επιτρέπει τη χρήση φθηνών καυσίμων. Το οικονομικό μοντέλο της CCUS γίνεται όλο και πιο βιώσιμο, όσο το κόστος εκπομπής άνθρακα αυξάνεται. Τον Δεκέμβριο του 2021 το κόστος στην Ε.Ε. ήταν στα €90/ton CO<sub>2</sub>. Σημειώνεται ότι το κόστος της δέσμευσης στο πρώτο στο είδος εργοστάσιο στο κόσμο στο οποίο εφαρμόστηκε βιομηχανική δέσμευση, το Boundary Dam στον Καναδά (2013) είχε κόστος δέσμευσης \$110/ton CO<sub>2</sub> με οικονομικό μοντέλο την ενισχυμένη άντληση

πετρελαίου (Enhanced Oil Recovery-EOR) ενώ στο δεύτερο του είδους, το Petra Nova στις ΗΠΑ (2017) επίσης με EOR, το κόστος έπεσε στα \$65/ton CO<sub>2</sub>.

2. Η διαλειμματική φύση των ανανεώσιμων πηγών σε σχέση με τα καύσιμα άνθρακα, καθιστά απαραίτητη τη συνέχιση χρήσης σταθμών π.χ. Φ.Α. ή ακόμη και άνθρακα με ευέλικτη λειτουργία και δέσμευση.
3. Η γη που απαιτείται από τις ανανεώσιμες που δεν είναι πάντα διαθέσιμη (γη και ενεργειακή πυκνότητα τεχνολογίας)
4. Επιτρέπει την παραγωγή σε μαζική κλίμακα υδρογόνου με χαμηλό αποτύπωμα άνθρακα (μπλε υδρογόνο) το οποίο σε κάθε διεθνή ανάλυση είναι ο πυλώνας της ενεργειακής μετάβασης. Το υδρογόνο και τα καύσιμα «φορείς» ή «διανύσματα» υδρογόνου (H<sub>2</sub> vectors) θεωρούνται η κατάλληλη λύση για τη βαριά βιομηχανία, τη ναυτιλία και της μεταφορές που αντιμετωπίζουν δυσκολία σε εξηλεκτρισμό είτε λόγω πρόσβασης σε δίκτυα είτε λόγω τεχνολογίας. Ακόμα και σήμερα, η παραγωγή υδρογόνου στη βιομηχανία γίνεται κατά 90% με αναμόρφωση μεθανίου με ατμό ενώ το κόστος του μπλε υδρογόνου είναι περίπου το 1/3 αυτού του πράσινου με ηλεκτρόλυση. (Εάν η ζήτηση υδρογόνου φτάσει τους 530εκ τόνους το χρόνο μέχρι το 2050, για να παραχθεί αυτό το υδρογόνο μέσω ηλεκτρόλυσης, θα χρειαστούν γύρω στις 25,000TWh ηλεκτρισμού από ΑΠΕ ή Πυρηνική ενέργεια. Αυτό αντιστοιχεί περίπου στο τριπλάσιο της συνολικής ηλεκτρικής που παράχθηκε από ΑΠΕ και Πυρηνική εντός του 2017). Τα δίκτυα αγωγών και υποδομών υδρογόνου που θα δημιουργηθούν με βάση το μπλε υδρογόνο, θα είναι η βάση περαιτέρω διεξόδου στο μέλλον του πράσινου υδρογόνου στις περιοχές στις οποίες έχει νόημα, όταν η τεχνολογία γίνει ωριμότερη και οικονομικότερη.
5. Οι ανανεώσιμες χρησιμοποιούν νερό που δεν βρίσκεται πάντα και παντού εν αφθονία για να χρησιμοποιείται ως υλικό τροφοδοσίας για την παραγωγή υδρογόνου.
6. Η τεράστια κλίμακα των υλικών που απαιτούνται για τις μπαταρίες και των φωτοβολταϊκά όπως προαναφέρθηκε είναι αντιειμμένο προβληματισμού.
7. Η αδυναμία ή δυσκολία αντικατάστασης των τεχνολογιών που παράγουν ειπομπές στις βιομηχανίες τσιμέντου, σιδήρου και χάλυβα, και στις χημικές διεργασίες καθιστούν απαραίτητη την εφαρμογή CCUS για την αντιμετώπιση των ειπομπών από αυτές τις δραστηριότητες.
8. Προσφέρει ευελιξία στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών

9. Η αφαίρεση διοξειδίου από τον αέρα που εμφανίζεται πλέον ως αναγκαία δράση για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, βασίζεται πάνω σε τεχνολογίες CCUS.
10. Προσφέρει προοπτική δίκαιης οικονομικής μετάβασης σε περιοχές που έχουν απώλειες θέσεων εργασίας λόγω της πράσινης ενεργειακής μετάβασης.

Στη διεθνή σκηνή η CCUS είναι ένα από τα απαραίτητα εργαλεία με τα οποία θα υλοποιηθεί η ενεργειακή μετάβαση. Είναι χαρακτηριστικό ότι τόσο στην Αμερική όσο και στην Ευρώπη αλλά και σε όλη την υφήλιο δίνεται πολύ μεγάλη έμφαση στη δημιουργία όλων των κατάλληλων ερευνητικών και βιομηχανικών υποδομών που θα φέρουν αυτή τη δέσμη τεχνολογιών σε εμπορική χρήση το δυνατόν συντομότερο. Είναι χαρακτηριστικό ότι από τα 62 δις δολάρια που ο νέος νόμος για τις υποδομές προβλέπει ότι θα πάνε στο DOE, τα 20 δις αφορούν CCUS, Carbon Dioxide Removal και Negative Emissions Technologies, προβλέπεται δε η δημιουργία 4 εργοστασίων δέσμευσης από τον αέρα, ενώ δημιουργείται και νέα διεύθυνση Επίδειξης Υποδομών Καθαρών Τεχνολογιών στην οποία έχει εξαγγελθεί η πρόσληψη δυναμικού 1000 ανθρώπων. Ο τρόπος με τον οποίο η φιλική προς το περιβάλλον πολιτική όπως αυτή των ΗΠΑ της διακυβέρνησης Μπάιντεν αντιλαμβάνεται τη CCUS είναι ότι δεν είναι μηχανισμός για να διατηρηθούν εν ζωή τεχνολογίες που μπορούν να αντικατασταθούν φθηνότερα από ΑΠΕ αλλά για αντιμετωπιστούν οι δύσκολο να επιτύχουν απανθρακοποίηση τομείς (hard-to-abate-sectors) και να επιχειρηθεί η δέσμευση από τον αέρα σε συνδυασμό με τη μόνιμη αποθήκευση του διοξειδίου. Η Ευρώπη επίσης έχει το δικό της δίκτυο υποδομών: το δίκτυο ECCSEL στο οποίο συμμετέχουν η Νορβηγία, η Ολλανδία η Μεγάλη Βρετανία, η Γαλλία και η Ιταλία. Οι υποδομές αυτές συνιστούν ένα European Research Infrastructure Consortium (ERIC). Το ECCSEL είναι η ευρωπαϊκή ερευνητική υποδομή για τη δέσμευση, τη χρήση, τη μεταφορά και την αποθήκευση CO<sub>2</sub>. Στόχος του είναι η ενίσχυση της ευρωπαϊκής ανάπτυξης της επιστήμης, της τεχνολογίας, της καινοτομίας και της εκπαίδευσης στον τομέα του CCUS (περισσότερα για το ECCSEL στο παράρτημα 3). Ταυτόχρονα, η Ευρωπαϊκή Ένωση επενδύει πάνω από 1,1 δισεκατομμύρια ευρώ σε επτά μεγάλης κλίμακας καινοτόμα έργα απανθρακοποίησης στο πλαίσιο του Ταμείου Καινοτομίας όπως ανακοινώθηκε τον Νοέμβριο του 2021. Οι επιχορηγήσεις θα υποστηρίξουν έργα που στοχεύουν να συνδυάσουν πρωτοποριακές τεχνολογίες υδρογόνου, CCUS και ΑΠΕ. Τα έργα βρίσκονται στο Βέλγιο, την Ιταλία, τη Φινλανδία, τη Γαλλία, την Ολλανδία, τη Νορβηγία, την Ισπανία και τη Σουηδία.

Η δέσμη τεχνολογιών CCUS δημιουργεί επίσης νέες θέσεις εργασίας υψηλής αξίας. Οι εγκαταστάσεις CCUS είναι μεγάλα μηχανολογικά και κατασκευαστικά έργα που χρειάζονται χρόνια για να υλοποιηθεί ο σχεδιασμός, η ανάθεση και η κατασκευή τους.

Απαιτούν ένα σημαντικό εργατικό κι εξειδικευμένο δυναμικό ανάπτυξης και κατασκευής το οποίο χρειάζεται δεξιότητες παρόμοιες με αυτές της τεχνολογίας των ορυκτών καυσίμων. Αυτός είναι ακόμα ένας λόγος που εγκαταστάσεις CCUS πρέπει να αποτελούν άξονα ανάπτυξης στις περιοχές που πλήττονται από τη παύση οικονομικής δραστηριότητάς με βάση των άνθρακα. Στο αποκορύφωμά της, η εγκατάσταση Boundary Dam CCS στον Καναδά χρησιμοποίησε εργατικό δυναμικό 1.700 μηχανικών, τεχνικών κι εργατών. Ομοίως, έως και 2.000 άτομα βοήθησαν στην κατασκευή τη «γραμμή άνθρακα» της Alberta (αγωγός CO<sub>2</sub> μήκους 240 χλμ που συλέγει πλεονάζων διοξείδιο και το μεταφέρει σε πηγάδια πετρελαίου για EOR). Μετά τη φάση της κατασκευής, δημιουργούνται συνεχώς θέσεις εργασίας για τη λειτουργία και τη συντήρηση των εγκαταστάσεων CCS. Η εμπορική δέσμευση CO<sub>2</sub> μπορεί να απασχολεί περίπου 20 χειριστές και συντηρητές ανά εγκατάσταση, ενώ υποστηρίζει και θέσεις εργασίας σε επιχειρήσεις που της παρέχουν προϊόντα και τις υπηρεσίες. Η εκτίμηση είναι ότι το 2050 ο πλανήτης πρέπει να φτάσει να βάζει στο έδαφος περίπου 5.5Gt CO<sub>2</sub> έναντι των 111MtCO<sub>2</sub> σήμερα. Για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος, η παγκόσμια βιομηχανία CCS πρέπει να μεγαλώσει περισσότερο από 100 φορές έως το έτος 2050, για να επιτευχθεί ο στόχος του Παρισιού. Αυτό σημαίνει κατασκευή 70 έως 100 εγκαταστάσεων CCUS ετησίως, περίπου 100.000 θέσεις εργασίας στις κατασκευές και συνεχείς θέσεις εργασίας για 30.000 έως 40.000 χειριστές και συντηρητές. Οι επενδύσεις που αναμένονται να γίνουν για να αναπτυχθεί αυτή η βιομηχανία κυμαίνονται σύμφωνα με εκτιμήσεις μεταξύ 565 δις δολάρια μέχρι 1.280 τρις. Το μέγεθος της παγκόσμιας βιομηχανίας CCUS θα μπορούσε να προσεγγίσει αυτή του φυσικού αερίου μέσα σε λίγες δεκαετίες, δημιουργώντας έναν σημαντικό μοχλό ανάπτυξης, παράλληλα με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και να ζωογονήσει εξίσου την οικονομία χαμηλών εκπομπών.

Σε παγκόσμια βιομηχανική κλίμακα η δέσμευση διοξειδίου παρουσιάζει διαρκή άνοδο λόγω της αναγνώρισής της ως σημαντικής μεθόδου αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής. Από δυναμικό 73 εκατομμυρίων τόνων ετησίως (Mtpa) στο τέλος του 2020, η ικανότητα των έργων αυξήθηκε σε 111 Mtpa τον Σεπτέμβριο του 2021 – αύξηση 48 τοις εκατό. Αυτή τη στιγμή λειτουργούν συνολικά 27 έργα σε όλο τον κόσμο στα οποία πραγματοποιείται CCUS. Άλλα 4 βρίσκονται υπό κατασκευή, 58 σε φάση προχωρημένης ανάπτυξης, 44 σε φάση πρώιμης ανάπτυξης και 2 έχουν αναστείλει τη λειτουργία τους. Σε παγκόσμια κλίμακα λοιπόν υπάρχουν σε διαφορετικές φάσεις λειτουργίας 135 έργα CCS. Σε αυτά συμπεριλαμβάνονται συνολικά 35 έργα υπό ανάπτυξη στην Ευρώπη.

Το 2019 το CO<sub>2</sub> που εξέπεμψε η Ελλάδα ήταν 65.74Mt ήτοι 0.2% των παγκόσμιων εκπομπών. Με βάση τη βιβλιογραφία, μέρη στα οποία μπορεί να πραγματοποιηθεί αποθήκευση είναι 1. Η Μεσοελληνική αύλακα (Σχηματισμοί Πενταλόφου κι Επταχωρίου),

2. Η περιοχή της Δυτικής Θεσσαλονίκης 3. Ο Πρίνος 4. Τα ορυχεία λιγνίτη που έχουν εκσκαφεί σε βάθος.

Η εξάρτηση της Ελλάδας από το Φ.Α. η οποία μάλιστα έχει σχεδιασθεί να αυξηθεί τις επόμενες δεκαετίες, σημαίνει ότι παρότι οι εκπομπές θα είναι σημαντικά λιγότερες από το προηγούμενο καθεστώς (κατά μέσο όρο οι εκπομπές στα απαέρια ενός θερμικού εργοστασίου άνθρακα κυμαίνονται 12-15% ενώ σε αυτά ενός συνδυασμένου κύκλου στο 5%), δεν έχουν σε καμία περίπτωση εξαλειφθεί και η εφαρμογή κλιματικής ουδετερότητας θα είναι μια άσκηση χωρίς λύση. Και φυσικά ο εξηλεκτρισμός της κίνησης αν η ενέργεια δεν προέρχεται από ανανεώσιμες μορφές, δεν είναι «πράσινος». Περαιτέρω, η παραγωγή τσιμέντου, προϊόντων χάλυβα και πλαστικών που παράγουν εγγενώς CO<sub>2</sub> στην ελληνική βιομηχανία, είτε δεν έχουν προς το παρόν εναλλακτικές (τσιμέντο) είτε αυτές είναι κοστοβόρες και σε πειραματικά στάδια. Άλλη μια βιομηχανία της Ελλάδας που επηρεάζεται άμεσα από την πολιτική σε σχέση με τις εκπομπές είναι η ναυτιλία. Ο παγκόσμιος οργανισμός ναυτιλίας εξήγγειλε το 2018 την υιοθέτηση πολιτικών μειώσεων των εκπομπών στη ναυτιλία στο 50% ως το 2050 μέχρι πλήρους εξαλείψεως μέχρι το τέλος του αιώνα. Οι αερομεταφορές είναι ακόμα ένα πεδίο που είναι εξαιρετικά δύσκολη η αντικατάσταση των συμβατικών καυσίμων κ.ο.κ.

Για όλους τους παραπάνω λόγους, προκρίνουμε τις παρακάτω ερευνητικές κατευθύνσεις με τους οποίους η έρευνα μπορεί να στηρίζει την εφαρμογή των τεχνολογιών CCUS στην Ελλάδα:

1. Σημειακές πηγές εκπομπών.
  - a. Εργοστάσια Φ.Α. για ευέλικτη λειτουργία (flexible operation) εντός ενός δυναμικού συστήματος που ενσωματώνει πολλές πηγές ενέργειας με απόκριση σε πραγματικό χρόνο.
  - b. Τσιμεντοβιομηχανία, βιομηχανία σιδήρου και χάλυβα, πετροχημική βιομηχανία
  - c. Εναπομείνουσες μηχανές ντήζελ ή θερμικοί σταθμοί σε νησιά που καλύπτουν διακοπές ρεύματος ή άλλες ανάγκες κλπ
2. Μετατροπή-Χρήση CO<sub>2</sub> σε νέα υλικά, βιοκαύσιμα, κλπ.
3. Αξιοπίστη μεταφορά κι αποθήκευση CO<sub>2</sub>.
4. Υδρογόνο με Διαχείριση άνθρακα (Μπλε H<sub>2</sub>)
5. Αγροτικός τομέας και καλλιέργειες.
6. Απομάκρυνση Διοξειδίου Άνθρακα- Βιομάζα με CCS (BECCS). Η κλιματική μοντελοποίηση δείχνει ότι με τις τρέχουσες εκπομπές του πλανήτη είναι εξαιρετικά απίθανο να επιτευχθεί ο στόχος της συγκράτησης της θερμοκρασίας στα επιθυμητά επίπεδα. Για αυτό το λόγο, έχει καταστεί πλέον σαφές σε επιστήμονες και ηγεσίες,

ότι δεν αρκούν τα μέτρα που μέχρι τώρα προβλέπονται από τη New Green Deal αλλά απαιτείται να προχωρήσουμε σε πιο επιθετικές πολιτικές οι οποίες θα μας επιτρέψουν να αφαιρούμε μόρια διοξειδίου του άνθρακα από τον αέρα (Direct Air Capture DAC) ή να έχουν συνολικά ένα αρνητικό ισοζύγιο εκπομπών Negative Emissions Technologies-NETs). Μια ενδιαφέρουσα περίπτωση τέτοιας τεχνολογίας για τα ελληνικά δεδομένα είναι ο συνδυασμός της αεριοποίησης βιομάζας μαζί με CCS. Είναι χαρακτηριστικό ότι τέτοιες λύσεις αποτελούν μέρος του σχεδιασμού σε περιοχές όπως η Καλιφόρνια, η οποία το 2020 εξέδωσε τον δικό της οδικό χάρτη για την ενεργειακή ουδετερότητα (Getting to Neutral).

7. Διαχείριση Απορριμμάτων- Waste-to-Energy με CCUS. Η μέθοδος WtE επιφέρει σημαντικό περιορισμό εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου μιας και αποφεύγεται ο σχηματισμός αερίων υγειονομικούς ταφής μέσω της αποτέφρωσης των οργανικών ενώσεων που παράγουν μεθάνιο. Σημειωτέο ότι το μεθάνιο είναι 25 φορές πιο ισχυρότερο αέριο θερμοκηπίου από το CO<sub>2</sub>. Όταν η τεχνολογία συνδυαστεί με έργο CCUS δεσμεύει περισσότερο από το μη-βιογενές κλάσμα των εκπομπών CO<sub>2</sub>, αυτό μπορεί να καταστήσει μια εγκατάσταση WtE καθαρά αρνητική σε ρύπους CO<sub>2</sub> και να δώσει έτσι άλλη μια εφαρμογή τεχνολογία αρνητικών εκπομπών.
8. Βελτιστοποίηση αλυσίδας αξίας και logistics προϊόντων άνθρακα και CCUS με ιδιαίτερη έμφαση στις θαλάσσιες μεταφορές.

Εξειδικεύοντας περαιτέρω την κατανομή των παραπάνω με βάση ξεχωριστά τις περιοχές της δέσμευσης, της χρήσης και της αποθήκευσης αλλά συμπεριλαμβάνοντας και διαθεματικές δράσεις προτείνουμε τα εξής:



<p><b>Δέσμευση</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Σχεδιασμός διαλυτών υψηλής απόδοσης για δέσμευση CO<sub>2</sub></li> <li>• Δημιουργία φιλικών προς το περιβάλλον διεργασιών διαλυτών για τη δέσμευση CO<sub>2</sub>.</li> <li>• Σχεδιασμός προσαρμοσμένων ροφητικών υλικών</li> <li>• Ενσωμάτωση ροφητικών υλικών και διεργασιών</li> <li>• Κατανόηση των φαινομένων μεταφοράς σε υλικά μεμβράνης.</li> <li>• Σχεδιασμός αρχιτεκτονικών συστημάτων μεμβρανών.</li> <li>• Παραγωγή υδρογόνου από ορυκτά καύσιμα με δέσμευση CO<sub>2</sub></li> </ul>
<p><b>Χρήση</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Σχεδιασμός πολύπλοικων διεπαφών για την ενίσχυση της ανάκτησης υδρογονανθράκων με την αποθήκευση άνθρακα</li> <li>• Αξιοποίηση του CO<sub>2</sub> με πρωτοποριακούς καταλυτικούς μετασχηματισμούς σε καύσιμα και χημικά</li> <li>• Δημιουργία νέων διαδρομών προς λειτουργικά υλικά με βάση τον άνθρακα από το CO<sub>2</sub> Σχεδιασμός και έλεγχος αλληλεπιδράσεων μοριακής κλίμακας για ηλεκτροχημικές και φωτοχημικές μετατροπή του CO<sub>2</sub></li> <li>• Αξιοποίηση φαινομένων πολλαπλής κλίμακας για ηλεκτροχημικά και φωτοχημικά υψηλής απόδοσης μετατροπή του CO<sub>2</sub></li> <li>• Επιτάχυνση της ανοργανοποίησης του άνθρακα αξιοποιώντας την πολυπλοκότητα των διεπαφών στερεού-υγρού</li> <li>• Προσαρμογή των ιδιοτήτων των υλικών για να καταστεί δυνατή η αποθήκευση άνθρακα στα προϊόντα</li> <li>• Προσαρμογή μικροβιακών και βιοεμπνευσμένων προσεγγίσεων για τη μετατροπή του CO<sub>2</sub></li> <li>• Υβριδοποίηση ηλεκτροχημικών και βιολογικών διεργασιών για τη μετατροπή του CO<sub>2</sub> σε καύσιμα, χημικά και θρεπτικές ουσίες</li> </ul>
<p><b>Αποθήκευση</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Προώθηση της multiphysics και της multiscale ροής ρευστού για την επίτευξη χωρητικότητας μεγατόνων/έτος</li> <li>• Κατανόηση των ορίων δυναμικής πίεσης για εισπίεση (injection) CO<sub>2</sub> σε κλίμακα μεγατόνων</li> <li>• Βελτιστοποίηση της εισπίεσης CO<sub>2</sub> με έλεγχο του περιβάλλοντος κοντά στο φρεάτιο Ανάπτυξη έξυπνης παρακολούθησης χώρου αποθήκευσης</li> <li>• Πραγματοποίηση έξυπνης παρακολούθησης για την αξιολόγηση των ανωμαλιών και την παροχή βεβαιότητας καλής λειτουργίας</li> <li>• Ανάπτυξη χαρακτηρισμού συστημάτων σφαλμάτων και θραύσεων</li> <li>• Επίτευξη πρόβλεψης σεισμικού κινδύνου επόμενης γενιάς</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Εντοπισμός, αξιολόγηση και αποκατάσταση υφιστάμενων και εγκαταλελειμμένων γεωτρήσεων</li> <li>• Καθιέρωση, επίδειξη και πρόβλεψη ακεραιότητας του χώρου αποθήκευσης.</li> </ul>
<p><b>Διαθεματική έρευνα</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ανάπτυξη υπολογιστικών προσομοιώσεων μεγάλης κλίμακας</li> <li>• Ενσωμάτωση πειράματος, προσομοίωσης και machine learning σε πολλαπλές κλίμακες μήκους για ανακάλυψη υλικών και ανάπτυξη νέων διεργασιών</li> <li>• Σύζευξη βασικής επιστήμης και επιστημών μηχανικών για εντατική δέσμευση άνθρακα, καθαρισμό, μεταφορά, διαδικασίες χρήσης και αποθήκευσης</li> <li>• Ενσωμάτωση κοινωνικών πτυχών και φορέων στη λήψη αποφάσεων</li> <li>• Ιδιαίτερη μέριμνα για δημιουργία μεθολογιών επικοινωνίας πολιτικών που καθοδηγούνται από την επιστήμη και την τεχνολογία προς τους πολίτες και τους κοινωνικούς εταίρους (communicating science).</li> <li>• Ανάπτυξη εργαλείων για την ενσωμάτωση τεχνοοικονομικών, περιβαλλοντικών και κοινωνικών παραμέτρων του κύκλου ζωής για την καθοδήγηση της βελτιστοποίησης του χαρτοφυλακίου τεχνολογίας</li> </ul>

Για να μπορέσει η Ελλάδα να λάβει όχι απλά μέρος αλλά να είναι συνδιαμορφώτρια των εξελίξεων στον σημαντικό χώρο των CCUS απαιτείται να υπάρξει ανάλογη πολιτική βούληση και στήριξη. Υπάρχουν σε όλα τα μεγάλα ερευνητικά κέντρα και πανεπιστήμια της χώρας πολλοί αξιόλογοι ερευνητές που κάνουν έρευνα στο χώρο. Προτείνουμε τις παρακάτω δράσεις που θα έδιναν μεγάλη ώθηση:

- Εθνική συμμετοχή της Ελλάδας στο δίκτυο ERIC-ECCSEL. Τα οφέλη από τη συμμετοχή θα είναι πολλαπλά. Ενδεικτικά: ανάπτυξη τεχνογνωσίας, δημιουργία νησίδων αριστείας, άμεση σύνδεση με εγχώρια βιομηχανική ανάπτυξη, κατάρτιση νέων μηχανικών κι επιστημόνων κι εξειδικευμένου προσωπικού, δημιουργία θέσεων εργασίας, αύξηση της ανταγωνιστικότητας των ελληνικών ιδρυμάτων κ.α. Αξίζει να σημειωθεί το αίτημα αυτό το θεωρούν πολύ σημαντικό και οι ερευνητικοί φορείς αλλά και η βιομηχανία. Εντός του καλοκαιριού του 2021 και σε διάστημα μερικών εβδομάδων συγκεντρώθηκαν επιστολές υποστήριξης από 8 φορείς: 2 ερευνητικά κέντρα (ΕΚΕΤΑ και Δημόκριτος) και 6 βιομηχανικοί φορείς (Motor Oil, ΕΛΠΕ, Τιτάνας, Μυτιληναίος-METKA, Ενεργειακή, DNV), ενώ υπήρχαν και πολλοί άλλοι που υποστηρίζουν το αίτημα αλλά δεν υπήρχαν τα χρονικά περιθώρια να καταθέσουν επιστολή στο ΤΕΣ ΕΠΕΒΚ. Οι επιστολές αυτές είναι στη διάθεση της ΓΓΕΚ και του ΥΠΑΝΕ και κάθε άλλου ενδιαφερόμενου φορέα.
- Διευρυμένη συμμετοχή σε ερευνητικά δίκτυα όπως το Accelerating Carbon Capture and Storage (ACT).

- Δημιουργία διμερών ερευνητικών αποστολών και συνεργασιών με χώρες πρωτοπόρες του χώρου (ΗΠΑ, Νορβηγία, Ολλανδία κλπ).

Τέλος προτείνουμε 3 ακόμα ερευνητικές κατευθύνσεις οι οποίες έχουν άμεση σχέση και συνδυάζονται με το πρόβλημα της διαχείρισης του άνθρακα.

9. Δέσμευση μεθανίου Methane Mitigation (upstream, midstream emissions)

10. Κυκλική οικονομία ειδικά σε σχέση με τον άνθρακα και την στήριξη των περιοχών της Δυτικής Μακεδονίας. Αξιοποίηση λιγνίτη άνευ καύσης π.χ. γραφένιο για ελαφρές κατασκευές και της τέφρας του για ανάκτηση σπανίων γαιών και κρίσιμων στοιχείων. Το Department of Energy στις ΗΠΑ αφιερώνει μεγάλα κονδύλια στην αξιοποίηση των κοιτασμάτων π.χ. στη Βόρεια Ντακότα για την ανάκτηση σπανίων γαιών. Το περιεχόμενο των critical minerals του Ελληνικού λιγνίτη είναι Y: avg. ~24 ppm La: avg. ~45 ppm Ce: avg. ~60ppm Sc: avg. ~30 ppm Ga: avg. ~30 ppm Co: avg. ~23 ppm Li: avg. ~40 ppm Sr: avg. > ~350 ppm. Αν συγκρίνουμε αυτές τις συγκεντρώσεις με εκείνες της Β. Ντακότα (USA) ο Ελληνικός λιγνίτης παρουσιάζει σχεδόν διπλάσιο μέσο όρο σε ppm δηλ. στη North Dakota έχουμε: ΣREE up to 642 ppm & avg. 90 ppm ενώ στην περίπτωση της ιπτάμενης τέφρας (Fly ash) των Ελληνικών κοιτασμάτων λιγνίτη έχουμε ΣREE avg. 167 ppm. Ακόμα πιο αξιοποιήσιμη είναι η τέφρα αφού ο όγκος των αποθεμάτων νέων και παλιών είναι μεγάλος. Λαμβάνοντας υπόψη το τεράστιο ετήσιο απόθεμα της τέφρας λιγνίτη για παραγωγή ηλεκτρισμού από ΔΕΗ (~13ΜΤ ετησίως) και την εναπόθεσή της με γύψο τα τελευταία χρόνια, όπως και τη νέα υπό παραγωγή τέφρα μετά το 2023 (~1ΜΤ ετησίως), αλλά και τα πιθανά παραπροϊόντα που μπορούν να προκύψουν από αεριοποίηση η χώνευση λιγνίτη στα πλαίσια της κυκλικής οικονομίας και της συνύπαρξης μιας μονάδας CCUS, μπορούν όλα αυτά να αποτελέσουν την πρώτη ύλη για ανάκτηση Κρίσιμων Πρώτων Υλών μέσω αναζήτησης μιας νέας συνταγής για εμπλουτισμό και ανάκτηση. Με έναν γρήγορο υπολογισμό για την περίπτωση του Λιθίου (Li) που μας ενδιαφέρει λόγω μπαταριών (CRM της ΕΕ), το εν λόγω μέταλλο μπορεί να δώσει ένα ετήσιο έσοδο της τάξεως των ~120 Μ€ (λαμβάνοντας υπόψη ότι: (α) ο Μ.Ο. του περιεχομένου Li στην τέφρα είναι ~40 ppm, (β) το ετήσιο απόθεμα της FA που αποτίθεται (stock) είναι ~13 M tons/y, (γ) την αξία του στην αγορά και (δ) με υποθετική ανάκτησή του στο 80%).
11. Μελέτες οικονομικού κύκλου ζωής (life cycle analysis). Για να φανεί ο πραγματικά ανανεώσιμος χαρακτήρας μιας τεχνολογίας είναι απαραίτητο να γίνονται κάθε φορά “cradle-to-grave or cradle-to-cradle”. Για παράδειγμα αν μια πλωτή ανεμογεννήτρια χρειάζεται τσιμέντο ή αν η εξόρυξη υλικών μπαταριών γίνεται με μεθόδους που εκλύουν αέρια φαινομένου θερμοκηπίου αυτό μπορεί να γίνει

αντιληπτό και να αποτιμηθεί οικονομικά μόνο LCA. Για το λόγο αυτό είναι απαραίτητο να αναπτύξουμε ερευνητική δραστηριότητα και σε αυτήν την επιστημονική περιοχή και να την καταστήσουμε αναπόσπαστο μέρος κάθε σχετικού συστήματος αποφάσεων.

Για καθεμία από αυτές τις ερευνητικές περιοχές μπορούμε να προσφέρουμε εις βάθος ανάλυση και εξειδίκευση, προσαρμόζοντας τα διεθνή δεδομένα από τις χώρες πρωτοπόρους της έρευνας στο τομέα των CCUS.

Ενδεικτικά έργα τα οποία μπορούν να αποτελέσουν εμβληματικές δράσεις CCUS στην Ελλάδα, οι οποίες θα οδηγήσουν σε άμεσες επενδύσεις και θα έχουν ανάγκη από τις ερευνητικές κατευθύνσεις που προαναφέρθηκαν:

- Η περίπτωση της μονάδας V της Πτολεμαΐδας. Εμπειριστατωμένες μελέτες έχουν δείξει ότι μια ολοκληρωμένη λύση δέσμευσης, μεταφοράς κι αποθήκευσης είναι εφικτή. Η δέσμευση μπορεί να υλοποιηθεί με τις τρέχουσες βέλτιστες πρακτικές διαλυτών. Η μεταφορά με αγωγό μπορεί να πραγματοποιηθεί με αγωγό με διάφορα μοντέλα που θα μπορούσαν να περιλαμβάνουν αποθήκευση στην ξηρά ή υποθαλάσσια αφού πρώτα το διοξείδιο φτάσει στη Θεσσαλονίκη. Η περιοχή των Γρεβενών (μεσοελληνική αλάγια) έχει εκτιμηθεί από τις γεωτρήσεις της περιοχής και μοντελοποίηση ότι μπορεί να έχει δυναμικό αποθήκευσης της τάξης των 728Gt CO<sub>2</sub>. Με βάση τις εκπομπές του CO<sub>2</sub> το 2019, μόνο αυτός ο σχηματισμός προσφέρει τη δυνατότητα αποθήκευσης για 11,030 χρόνια για όλες τις ελληνικές εκπομπές.
- Δημιουργία σταθμών μπλε υδρογόνου και μεθανόλης δίπλα σε σημειακές πηγές διοξειδίου, ξεκινώντας από αυτές που είναι κοντύτερα σε χώρους αποθήκευσης στη Μακεδονία και τη Θράκη.
- Μελέτη και κατασκευή συστημάτων μεμβρανών για τη δέσμευση σε πλοία. Η ανάπτυξη αυτής της τεχνολογίας θα δώσει μεγάλη ώθηση στην Ελληνική ναυτιλία της οποίας η επίδραση στην οικονομία είναι σημαντική.
- Έργο WtE με CCUS και Έργο BECCS

## Παράρτημα 1: Οι εκπομπές GHG και CO<sub>2</sub> της Ελλάδας

Το 2019, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ανήλθαν σε 85,63 Mt CO<sub>2</sub>eq παρουσιάζοντας μείωση 17,10% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990.

Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα αντιπροσώπευαν το 76,77% των συνολικών GHG. Οι εκπομπές μεθανίου αντιπροσώπευαν το 11,70% των συνολικών εκπομπών GHG το 2019 ενώ οι εκπομπές υποξειδίου του αζώτου αντιπροσώπευαν το 5,01% των συνολικών εκπομπών GHG το 2019. Τέλος, οι εκπομπές φθοριούχων αερίων (από την παραγωγή και την κατανάλωση) που αντιστοιχούσαν στο 6,53% των συνολικών εκπομπών GHG.

Το 2019 αυξήθηκαν κατά 32,33% από το 1995 (έτος βάσης για τα φθοριούχα αέρια).

Οι εκπομπές από την ενέργεια το 2019 αντιπροσώπευαν το 71,50% των συνολικών εκπομπών GHG. Η πλειονότητα των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (52,2%) το 2019 προήλθε από τις βιομηχανίες ενέργειας, ενώ η συμβολή των μεταφορών, της μεταποιητικής βιομηχανίας και των κατασκευών και άλλων τομέων εκτιμάται σε 29,1%, 7,5% και 9,7% αντίστοιχα. Το υπόλοιπο 1,2% και 0,2% των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από την Ενέργεια προέρχεται από ανεξέλεγκτες εκπομπές από καύσιμα.

Στο πλαίσιο των δραστηριοτήτων καύσης καυσίμων, ο μόνος τομέας με αυξημένες εκπομπές σε σχέση με το 1990 είναι οι μεταφορές, παρουσιάζοντας αύξηση 22,91%.

Οι εκπομπές από βιομηχανικές διεργασίες και χρήση προϊόντων το 2019 αντιπροσώπευαν το 13,65% των συνολικών εκπομπών και αυξήθηκαν κατά 3,64% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990. Οι εκπομπές από το IPPU χαρακτηρίζονται από έντονες διακυμάνσεις κατά την περίοδο 1990 – 2019 φτάνοντας σε ελάχιστη τιμή 10,42 Mt CO<sub>2</sub> eq το 2011 και μέγιστη τιμή 16,41 Mt CO<sub>2</sub> eq το 1999. Η χαμηλή τιμή για το 2011 σχετίζεται άμεσα με τις επιπτώσεις του οικονομική ύφεση ενώ η μέγιστη τιμή αποδίδεται σε αλλαγές στη βιομηχανική παραγωγή και ιδιαίτερα στην παραγωγή HCFC-22. Πρέπει να σημειωθεί ότι αν δεν υπήρχε η υποκατηγορία κατανάλωσης φθοριούχων αερίων, η μείωση των τελευταίων ετών θα ήταν πολύ μεγαλύτερη.

Οι εκπομπές από τη γεωργία που αντιστοιχούσαν στο 9,20% των συνολικών εκπομπών το 2019 μειώθηκαν κατά περίπου 22,19% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990. Η μείωση των εκπομπών οφείλεται κυρίως στη μείωση των εκπομπών N<sub>2</sub>O από τα γεωργικά εδάφη, λόγω της μείωσης της χρήσης συνθετικών αζωτούχων λιπασμάτων και του ζωικού πληθυσμού. Η μείωση της χρήσης συνθετικών αζωτούχων λιπασμάτων αποδίδεται στην αύξηση της βιολογικής γεωργίας, στην υψηλή τιμή των λιπασμάτων και στον αντίκτυπο των πρωτοβουλιών για την προώθηση της ορθής πρακτικής στη χρήση λιπασμάτων. Οι

αλλαγές στις υπόλοιπες καθοριστικές παραμέτρους των εκπομπών GHG από τον κλάδο (π.

Εκπομπές από τον Τομέα Απορριμμάτων 5,65% των συνολικών εκπομπών, μειώθηκαν κατά περίπου 0,52% από το 1990. Η βελτίωση του βιοτικού επιπέδου είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση των παραγόμενων αποβλήτων και συνεπώς των εκπομπών από το 1990. Ωστόσο, η αύξηση της ανακύκλωσης μαζί με την εκμετάλλευση το παραγόμενο βιοαέριο περιορίζει την αύξηση των εκπομπών μεθανίου, ενώ παράλληλα έχουν μειωθεί σημαντικά οι εκπομπές από τη διαχείριση των απορριμμάτων, λόγω της συνεχούς αύξησης του πληθυσμού που εξυπηρετείται από εγκαταστάσεις αερόβιας διαχείρισης απορριμμάτων.

Table ES.3b Total GHG emissions (in kt CO<sub>2</sub> eq) by sector for the period 2004-2019

Year	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Energy	103,470.46	107,296.89	106,000.70	108,239.67	105,341.15	100,362.88	93,155.42	92,035.90	88,303.64	77,926.18	74,490.73	71,189.39	66,966.41	70,257.48	67,303.33	61,228.32
IPPU	14,690.42	15,432.05	12,748.21	13,184.95	13,002.12	11,271.23	11,759.57	10,423.91	11,245.63	11,966.80	12,329.99	11,998.07	12,506.82	12,795.12	12,399.23	11,688.04
Agriculture	9,139.04	8,936.41	8,839.92	8,971.78	8,715.16	8,497.16	8,815.94	8,574.71	8,446.56	8,382.83	7,968.54	7,826.86	7,837.72	7,864.47	7,806.02	7,875.00
Waste	4,660.76	4,758.33	4,929.16	4,752.61	4,766.73	4,487.82	4,769.11	4,537.20	4,309.69	4,408.57	4,468.55	4,449.66	4,510.88	4,683.92	4,799.76	4,839.58
<b>Total <sup>1)</sup></b>	<b>131,960.69</b>	<b>136,423.69</b>	<b>132,517.99</b>	<b>135,149.01</b>	<b>131,825.16</b>	<b>124,619.09</b>	<b>118,500.04</b>	<b>115,571.73</b>	<b>112,305.52</b>	<b>102,684.38</b>	<b>99,257.81</b>	<b>95,463.98</b>	<b>91,821.84</b>	<b>95,600.99</b>	<b>92,308.35</b>	<b>85,630.94</b>
LULUCF	-2,461.12	-3,282.91	-3,300.98	-1,463.40	-2,955.37	-3,036.83	-3,043.08	-3,131.25	-3,086.12	-1,582.16	-125.78	-3,719.19	-3,473.26	-3,248.44	-4,091.96	-3,347.12
Index per sector																
Energy	134.33	139.30	137.62	140.52	136.76	130.30	120.94	119.49	114.64	101.17	96.71	92.42	86.94	91.21	87.38	79.49
IPPU	130.27	136.84	113.04	116.92	115.30	99.95	104.28	92.43	99.72	106.12	109.34	106.39	110.90	113.46	109.95	103.64
Agriculture	90.30	88.30	87.34	88.65	86.11	83.96	87.11	84.72	83.46	82.83	78.73	77.33	77.44	77.71	77.13	77.81
Waste	95.81	97.81	101.32	97.69	97.98	92.25	98.03	93.27	88.59	90.62	91.85	91.47	92.72	96.28	98.66	99.48
<b>Total <sup>2)</sup></b>	<b>127.76</b>	<b>132.08</b>	<b>128.30</b>	<b>130.84</b>	<b>127.63</b>	<b>120.65</b>	<b>114.73</b>	<b>111.89</b>	<b>108.73</b>	<b>99.41</b>	<b>96.10</b>	<b>92.42</b>	<b>88.90</b>	<b>92.56</b>	<b>89.37</b>	<b>82.90</b>

<sup>1)</sup> Emissions / removals from Land Use, Land Use Change and Forestry are not included in national totals

<sup>2)</sup> Land Use, Land Use Change and Forestry is not included

## Παράρτημα 2: Μερικές σκέψεις για τη διαμόρφωση πολιτικής με βάση την επιστήμη και την τεχνολογία

1. Για την αντιμετώπιση τέτοιου είδους αποστολών, κρίνεται απαραίτητο να ακολουθείται συγκεκριμένη μεθοδολογία που καταγράφεται με διάφορες εκδοχές στη διεθνή πρακτική και τη σχετική βιβλιογραφία. Βασικό ζητούμενο από τη χάραξη πολιτικής με επιστημονικά και τεχνολογικά τεκμήρια είναι η επικοινωνία της προς την κοινή γνώμη και η δημιουργία συναινέσεων με τους κοινωνικούς εταίρους. Για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος, απαιτείται μεθοδολογία όπως αυτή που περιγράφεται παραπάνω που θα εξασφαλίζει διαφάνεια, αντικειμενικότητα και εις βάθος εξέταση κάθε σημαντικής παραμέτρου.

Table 3.4. "Ten commandments" for good policy analysis

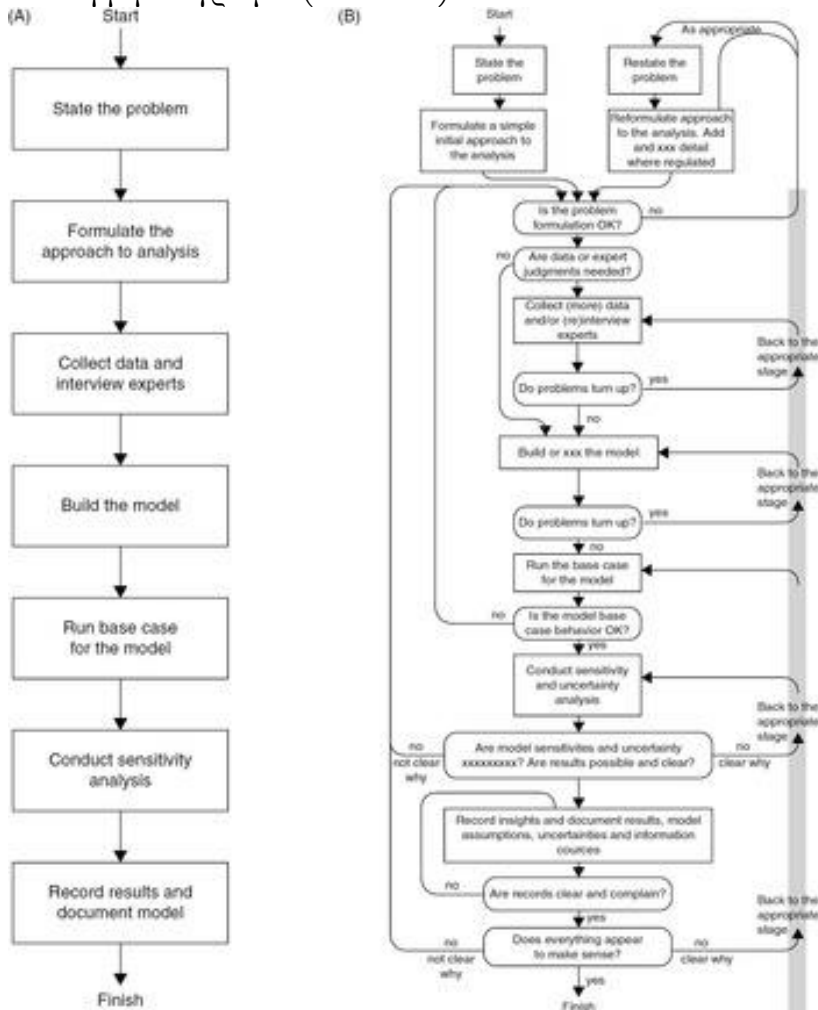
1. Do your homework with literature, experts, and users.
2. Let the problem drive the analysis.
3. Make the analysis as simple as possible, but no simpler.
4. Identify all significant assumptions.
5. Be explicit about decision criteria and policy strategies.
6. Be explicit about uncertainties.
7. Perform systematic sensitivity and uncertainty analysis.
8. Iteratively refine the problem statement and the analysis.
9. Document clearly and completely.
10. Expose the work to peer review.

Εικόνα 1 Uncertainty: A guide to Dealing with Uncertainty in Quantitative Risk and Policy Analysis, G. Morgan and M. Henrion, Cambridge University Press, 1992:

1. Η διαμόρφωση προτάσεων πολιτικής με βάση την επιστήμη και την τεχνολογία απαιτεί πάρα πολλά δεδομένα από πολλές διαφορετικές δημόσιες αρχές, άρα πολύ καλό κεντρικό συντονισμό.
2. Η διαμόρφωση προτάσεων πολιτικής με βάση την επιστήμη και την τεχνολογία απαιτεί **τεχνοοικονομικά στοχαστικά μοντέλα για τον έλεγχο της αβεβαιότητας σεναρίων επιλογών καθώς και την ευαισθησία σε σημαντικές παραμέτρους**. Επίσης χρειάζεται ένας συστηματικός τρόπος σύνδεσης και αλληλοενημέρωσης των μοντέλων αυτών (integrated modeling). Τα σενάρια επιλογών πρέπει να καλύπτουν όλα τα δυνατά σενάρια, ευνοϊκά ή μη ευνοϊκά για να προβλέπονται καταστάσεις όπως η τρέχουσα ενεργειακή κρίση των τιμών του Φ.Α.
3. Η διαμόρφωση προτάσεων πολιτικής με βάση την επιστήμη και την τεχνολογία δεν είναι μια διαδικασία που μπορεί να γίνεται άπαξ ή περιστασιακά. Απαιτεί σχεδιασμό

σε βάθος χρόνου, σταθερότητα και πόρους για την ανάπτυξη των εργαλείων εκείνων που μπορούν να προσφέρουν επιστημονική πληροφόρηση κι εκτιμήσεις.

4. Η διαμόρφωση προτάσεων πολιτικής με βάση την επιστήμη και την τεχνολογία απαιτεί επαναληψιμότητα και πολλαπλά «περάσματα» (iterations) σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία (Εικόνα 2).



5. Εικόνα 2 Α. Παράδειγμα γραμμικής ανάλυσης που υιοθετείται από πολλούς άπειρους αναλυτές, σε αντιδιαστολή με Β. επαναληπτική επεξεργασία της διατύπωσης του προβλήματος και της ανάλυσης που στοιχειοθετεί ορθή πρακτική. *Theory and Practice in Policy analysis, G. Morgan, 2017*



### **Παράρτημα 3. ERIC-ECCSEL**

Το ECCSEL ERIC είναι μια κατανεμημένη, ολοκληρωμένη ερευνητική υποδομή που περιλαμβάνει διασυνδεδεμένες διακρατικές επιστημονικές εγκαταστάσεις και εθνικούς κόμβους. Η Κοινοπραξία Ευρωπαϊκής Ερευνητικής Υποδομής (ERIC) είναι μια πλήρης νομική οντότητα βάσει του δικαίου της ΕΕ, με στόχο τη δημιουργία και λειτουργία, μέσω των μελών της, μιας ερευνητικής υποδομής ευρωπαϊκής σημασίας σε μη οικονομική βάση.

Το ECCSEL προσφέρει ανοιχτή πρόσβαση σε περισσότερες από 80 παγκοσμίου επιπέδου ερευνητικές εγκαταστάσεις CCUS σε όλη την Ευρώπη. Οι ερευνητικές εγκαταστάσεις σε όλη την αλυσίδα αξίας CCUS καλύπτονται μέσω του ECCSEL, για παράδειγμα: μεμβράνες, ολοκληρωμένα συστήματα CCUS, πίεση/έγχυση, μετανάστευση, ασφάλεια/αντιμετώπιση προβλημάτων, μεταφορά και ακεραιότητα αγωγών CO<sub>2</sub>, αποστολή CO<sub>2</sub>, έξυπνες ενσωματώσεις με δέσμευση άνθρακα και επαναχρησιμοποίηση σε πολύτιμα προϊόντα.

Το ECCSEL συντονίζει την ευρωπαϊκή ανάπτυξη των εγκαταστάσεων και των υπηρεσιών τους για την κάλυψη των προσδιορισμένων αναγκών. Η ερευνητική υποδομή απευθύνεται επίσης στη σχετική βιομηχανία και τις ερευνητικές κοινότητες για να καθορίσουν τις ανάγκες τους για ερευνητική υποδομή για να καταστεί δυνατή η πλήρης ανάπτυξη του CCUS στην Ευρώπη.

Παναγάκος Γρηγόριος