

BECCS

Bioenergy with carbon capture and storage

Βιοενέργεια με Δέσμευση και Αποθήκευση
Άνθρακα

Ics21095 Κανίδου Ελισάβετ Περσεφόνη
Ics21105 Κονταξής Ιωάννης
Ics21083 Τσαβαλιάς Βασίλειος Εφραίμ

Περιεχόμενα

01

Εισαγωγή

02

Σχετικά με το
BECCS

03

Τεχνικά στοιχεία
υλοποίησης

04

Εφαρμογές

05

Κόστος
υλοποίησης

06

Αναμενόμενη
ωφέλεια

07

Προκλήσεις

08

Βέλτιστη
Υλοποίηση

09

Συμπέρασμα

10

Πηγές

Γενικά

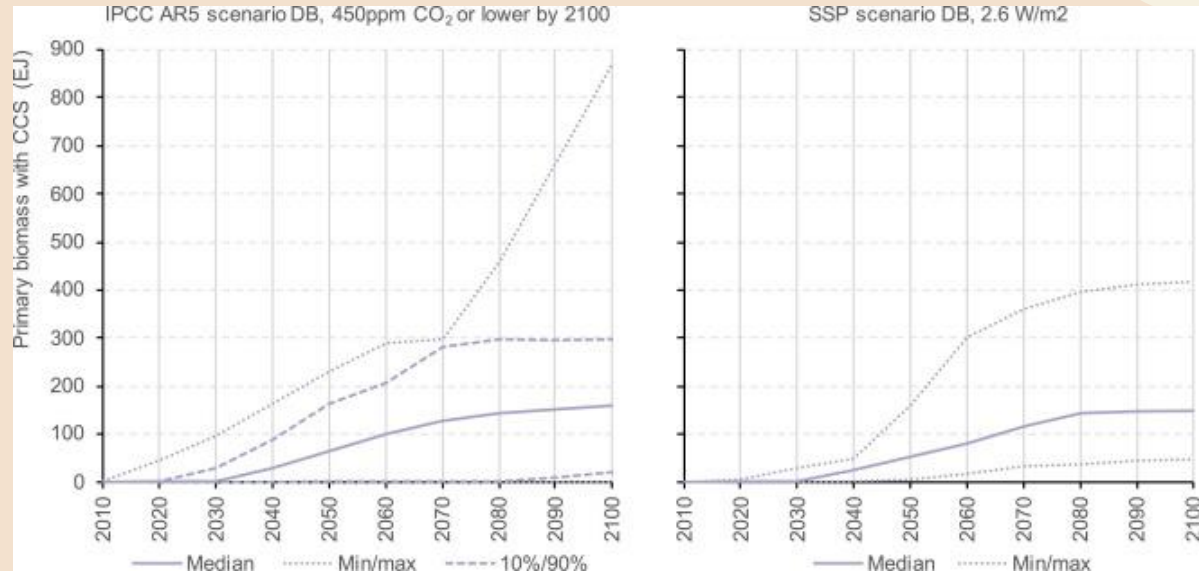
Για να διατηρηθεί η υπερθέρμανση του πλανήτη κάτω από τους 2°C, απαιτεί άμεσες αλλαγές στα ενεργειακά συστήματα, καθώς είναι απαραίτητο να μειωθούν στο μισό οι τρέχουσες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου (GHG) έως τα μέσα του αιώνα και να συνεχιστεί η μείωσή τους.

Η Πέμπτη Έκθεση Αξιολόγησης (AR5) της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC) (η οποία είναι του ΟΗΕ) περιλαμβάνει περίπου 300 σενάρια με υψηλές πιθανότητες επίτευξης του στόχου των 2°C. Παρόλα αυτά, τα περισσότερα σενάρια AR5 είναι περίπου δέκα ετών.

Πρόσφατα, αναπτύχθηκε ένα νέο πλαίσιο σεναρίου που συνδυάζει διάφορες κοινές κοινωνικοοικονομικές πορείες (SSPs), με πορείες συγκέντρωσης (RCPs) για διάφορα κλιματικά αποτελέσματα.



Και στα δύο σενάρια AR5 και SSP, η τεχνολογία βιοενέργειας με δέσμευση και αποθήκευση άνθρακα (BECCS) θεωρείται κρίσιμη για την επίτευξη του στόχου των 2°C (Σχήμα). Αυτή η τεχνολογία έχει τη δυνατότητα να προκαλεί αρνητικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου (GHG) και επομένως, εάν χρησιμοποιηθεί ευρέως, μπορεί να αντισταθμίσει την υπερθέρμανση προς τα μέσα του αιώνα, προσφέροντας πιο επιθετικές συνολικές μειώσεις εκπομπών ή ακόμη και αρνητικές εκπομπές στο δεύτερο μισό του αιώνα.



Εικ. 1 . Χρήση βιοενέργειας με CCS στην παροχή πρωτογενούς ενέργειας σε σενάρια AR5 (αριστερά, <https://tntcat.iiasa.ac.at/AR5DB>) και σε σενάρια SSP (δεξιά, <https://tntcat.iiasa.ac.at/SspDb>)

Τι είναι το BECCS?

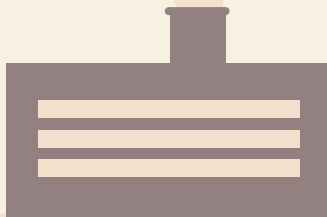
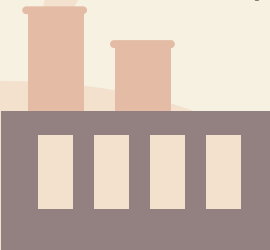
Η βιοενέργεια με δέσμευση και αποθήκευση άνθρακα (BECCS) είναι η διαδικασία δέσμευσης και μόνιμης αποθήκευσης διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) που παράγεται από διαδικασίες όπου η βιομάζα μετατρέπεται σε καύσιμα ή καίγεται απευθείας για την παραγωγή ενέργειας.

Πώς παράγεται η βιοενέργεια για το BECCS;



Η βιοενέργεια κυρίως παράγεται μέσω της καύσης βιομάζας ως καύσιμο σε λέβητες ή κλιβάνους, με σκοπό την παραγωγή ατμού υψηλής πίεσης που κινεί τους στρόβιλους για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Εναλλακτικά, η παραγωγή βιοενέργειας μπορεί να χρησιμοποιήσει διάφορα οργανικά υλικά, συμπεριλαμβανομένων καλλιεργιών που φυτεύονται ειδικά για αυτόν τον σκοπό, καθώς και υπολείμματα από γεωργία, δασοκομία και βιομηχανίες ξύλου. Μορφές βιομάζας όπως ταπέλλετ συμπιεσμένου ξύλου επιτρέπουν την παραγωγή βιοενέργειας σε μεγάλη κλίμακα. Επιπλέον, καύσιμα όπως τα σφαιρίδια ξύλου μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υποκατάστατο του άνθρακα σε υφιστάμενους σταθμούς παραγωγής ενέργειας.



Πώς δεσμεύεται ο άνθρακας;

Η διαδικασία BECCS χρησιμοποιεί μια διαδικασία δέσμευσης άνθρακα μετά την καύση, όπου οι διαλύτες απομονώνουν το CO₂ από τα καυσαέρια που προκύπτουν κατά την καύση της βιομάζας.

Το δεσμευμένο CO₂ συμπιέζεται και μετατρέπεται σε υγρή μορφή, επιτρέποντας τη μεταφορά του μέσω αγωγού.

Πώς αποθηκεύεται ο άνθρακας;

Το δεσμευμένο CO₂ μπορεί να εισαχθεί με ασφάλεια και οριστικά σε φυσικούς σχηματισμούς πετρωμάτων, όπως αχρησιμοποίητες δεξαμενές φυσικού αερίου, αποθηκευτικούς χώρους άνθρακα που δεν μπορούν να εξορυχθούν ή αλατούχους υδροφορείς (πετρώματα που συναντώνται σε μεγάλα βάθη και είναι κορεσμένα σε νερό που περιέχει αλάτι). Αυτή η διαδικασία είναι γνωστή ως δέσμευση άνθρακα.



Στάδια Εφαρμογής BECCS

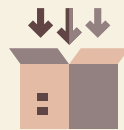
1.

Παραγωγή
βιοενέργειας:



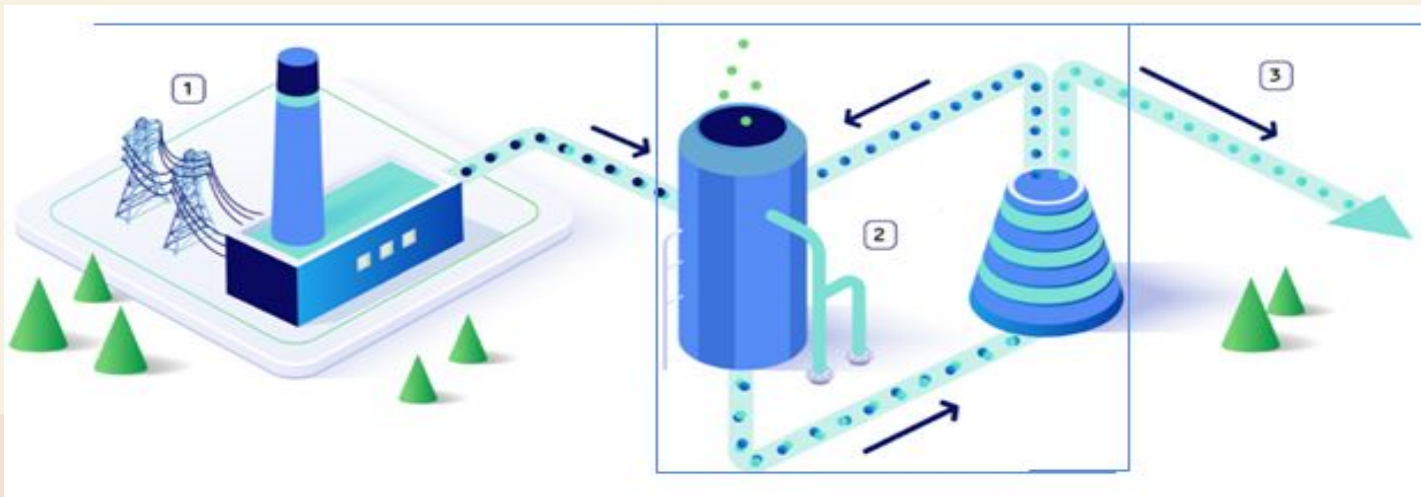
2.

Δέσμευση
άνθρακα:



3.








Μεταφορά και
αποθήκευση:





Παραγωγής Βιοενέργειας



-  **01**  **Πηγές βιομάζας:** Το πρώτο βήμα, περιλαμβάνει τον εντοπισμό και την προμήθεια κατάλληλης βιομάζας.
 -  **02**  **Τεχνολογίες μετατροπής:** Μόλις συλλεχθεί η βιομάζα, πρέπει να μετατραπεί σε χρησιμοποιούμενες μορφές ενέργειας.
 -  **03**  **Αξιοποίηση Ενέργειας:** Το τελευταίο βήμα στην παραγωγή βιοενέργειας είναι η αξιοποίηση της παραγόμενης ενέργειας.
- 

Δέσμευση Άνθρακα

- 01 — **Μέθοδοι λήψης:**

Η διαδικασία καταγραφής CO₂ από την παραγωγή βιοενέργειας μπορεί να επιτευχθεί με διάφορες μεθόδους.
- 02 — **Αποδοτικότητα και καθαρότητα της λήψης:**

Η υψηλότερη καθαρότητα και αποτελεσματικότητα είναι επιθυμητή για αποθήκευση και πιθανή χρήση, αλλά μπορεί να αυξήσει το κόστος.
- 03 — **Τεχνολογική Ενσωμάτωση:**

Η εξέταση των ενεργειακών απαιτήσεων της διαδικασίας δέσμευσης και των επιπτώσεων της στη συνολική απόδοση του συστήματος παραγωγής ενέργειας.
- 04 — **Οικονομικά και περιβαλλοντικά ζητήματα:**

Κεφαλαιουχικές και λειτουργικές δαπάνες, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις του (όπως η ενεργειακή ποινή που σχετίζεται με τη δέσμευση και αποθήκευση CO₂), είναι κρίσιμες πτυχές που καθορίζουν τη σκοπιμότητα αυτής της τεχνολογίας.

Μεταφορά και αποθήκευση:

- 01 — **Μεταφορά CO₂:** Μεταφορά του δεσμευμένου CO₂ από τη θέση δέσμευσης στη θέση αποθήκευσης.
- 02 — **Αποθήκευση CO₂:** Αφορά την ασφαλή και μόνιμη αποθήκευση του δεσμευμένου CO₂, συνήθως υπόγεια.
- 03 — **Νομικό και Ρυθμιστικό Πλαίσιο:** Περιλαμβάνει εθνικούς και διεθνείς νόμους που διέπουν την αποθήκευση CO₂, αντιμετωπίζοντας ζητήματα όπως η μακροπρόθεσμη ευθύνη, η προστασία του περιβάλλοντος και η τήρηση των προτύπων ασφαλείας.

Τομείς Εφαρμογών BECCS

1

Παραγωγή
ηλεκτρικής
ενέργειας

2

Επιχειρησιακές
διαδικασίες

3

Υποβοηθούμενη
ανάκτηση
πετρελαίου

4

Γεωργία και
αγροτική
ανάπτυξη

5

Ναυτιλιακή
βιομηχανία

6

Αστικά Ενεργειακά
Συστήματα

7

Έρευνα και
Εκπαίδευση

8

Διαχείριση
υδατικών λυμάτων

9

Παραγωγή
Υδρογόνου

10

Κέντρα
δεδομένων

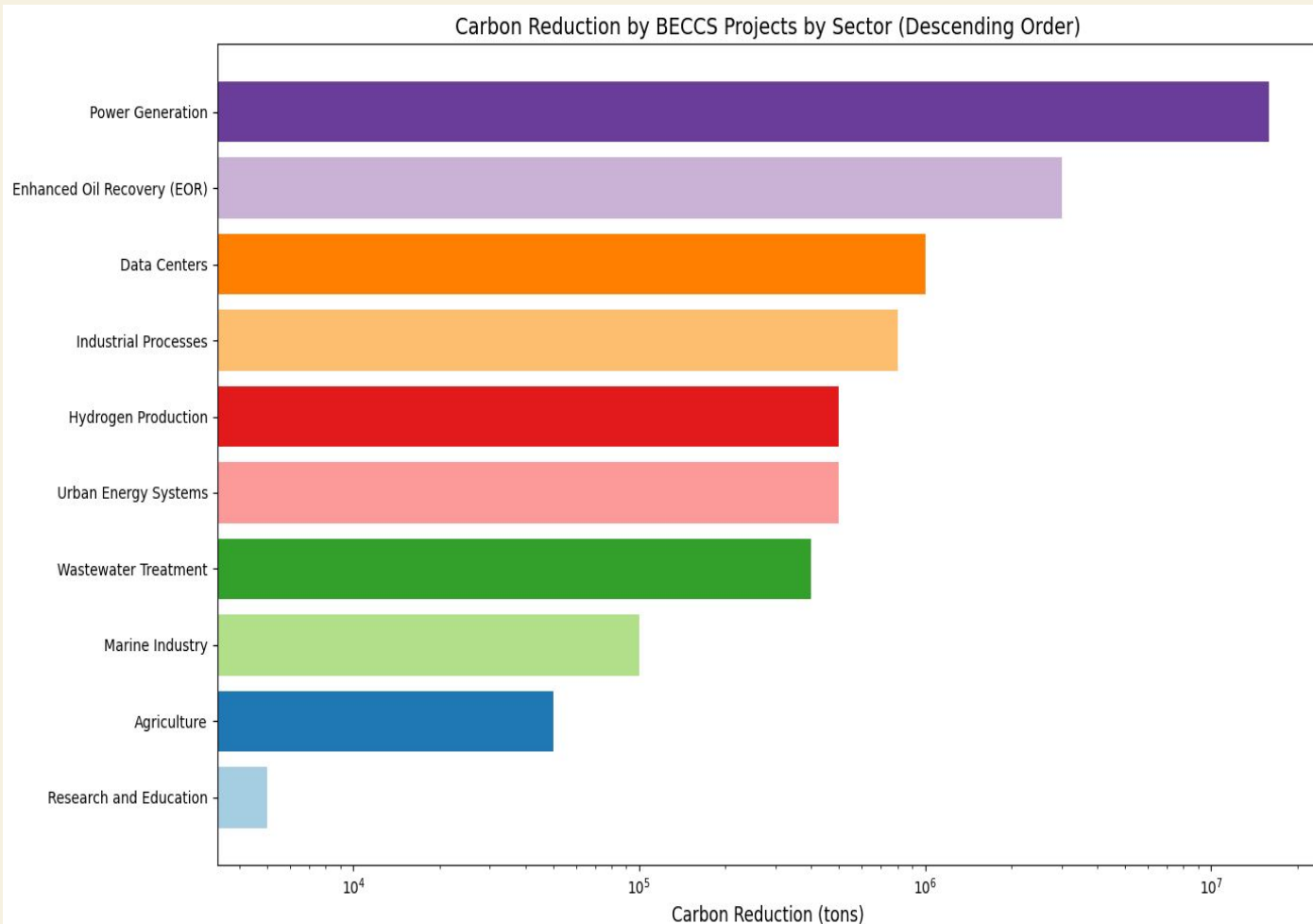
Έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί σε παγκόσμια κλίμακα



Το παραπάνω διάγραμμα δείχνει τη μείωση του άνθρακα που επιτεύχθηκε από διάφορους τομείς που εμπλέκονται σε έργα Βιο-Ενέργειας με δέσμευση και αποθήκευση άνθρακα (BECCS).

Κάθε ράβδος αντιπροσωπεύει έναν τομέα, με το ύψος της να υποδεικνύει την ποσότητα μείωσης του άνθρακα (σε τόνους) που επιτυγχάνεται από το αντίστοιχο έργο.

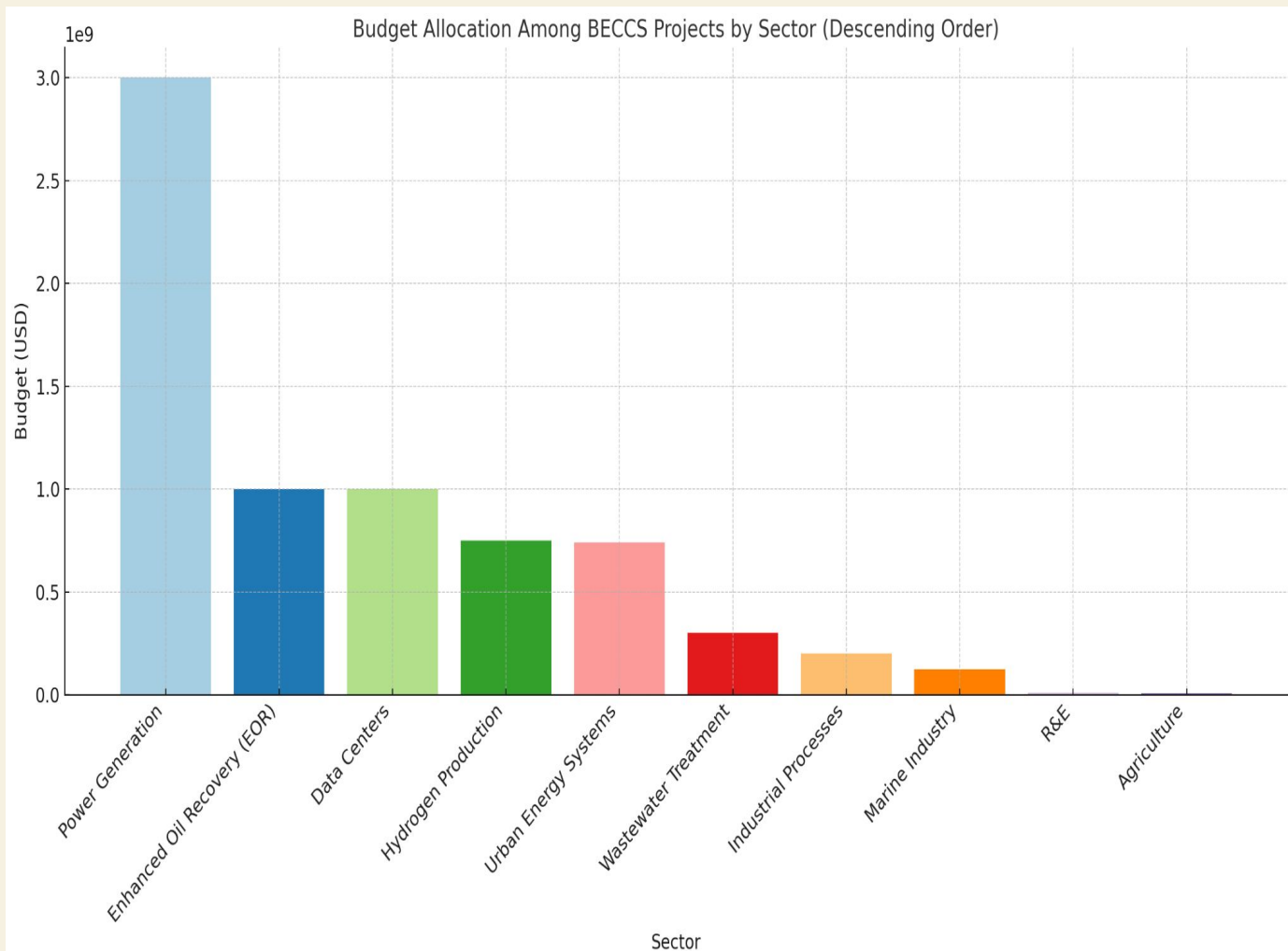
Αξιοποιείται η λογαριθμική κλίμακα με βάση το 10.



Το παρακάτω γράφημα αντιπροσωπεύει την κατανομή του προϋπολογισμού μεταξύ των διαφόρων τομέων που εμπλέκονται σε έργα Βιο-Ενέργειας με δέσμευση και αποθήκευση άνθρακα (BECCS).

Κάθε ράβδος αντιστοιχεί σε έναν συγκεκριμένο τομέα, με το ύψος του να δείχνει τον προϋπολογισμό που διατίθεται για το αντίστοιχο έργο.

Αξιοποιείται η λογαριθμική κλίμακα που χρησιμοποιείται συνήθως στην επιστημονική σημειογραφία για την παρουσίαση αυτών των μεγάλων αριθμών (δισεκατομμύριο).

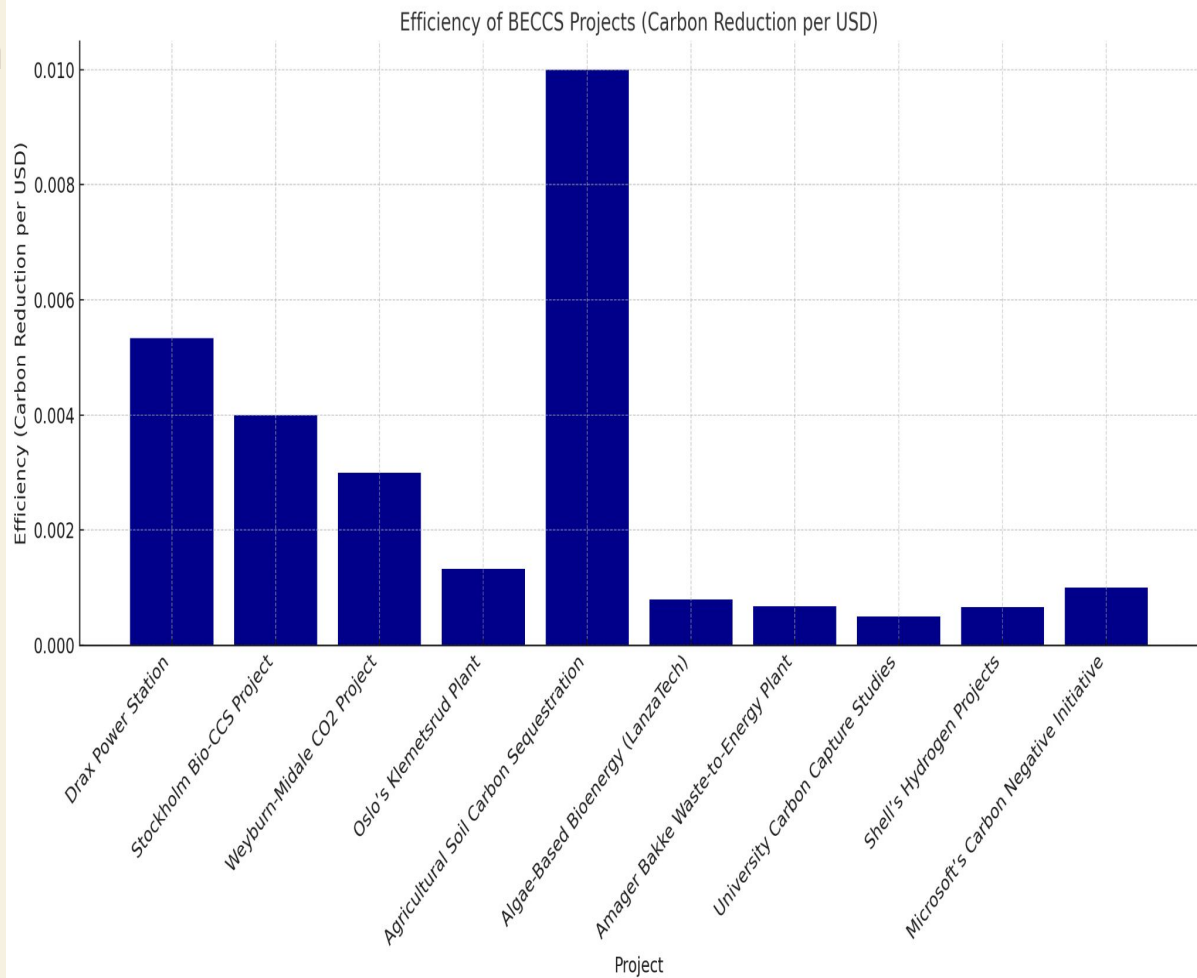


Για να υπολογίσουμε την απόδοση χωρίς τη χρήση προβλέψεων, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε έναν πιο άμεσο και απλό τύπο: την πραγματική μείωση του άνθρακα ανά μονάδα προϋπολογισμού.

Αυτή η αναλογία θα μας δώσει ένα μέτρο του πόσο άνθρακα μειώνεται για κάθε δολάριο που δαπανάται. Είναι ένας απλός αλλά αποτελεσματικός τρόπος αξιολόγησης της σχέσης κόστους/αποτελεσματικότητας κάθε έργου.

Ο τύπος είναι:

Αποδοτικότητα= Μείωση άνθρακα
(τόνοι)/Προϋπολογισμός (USD)



Κόστη Υλοποίησης

- Κόστη “ώριμων” Τεχνολογιών και Σχεδιασμών
- Κόστη Αναδυόμενων Τεχνολογιών και Σχεδιασμών
- Κεφαλαιουχικά Κόστη
 - Το Κόστος Κατασκευής (The Bare Erected Cost, BEC)
 - Το Κόστος Μηχανικής, Προμήθειας και Κατασκευής (The Engineering, Procurement and Construction Cost, EPCC)
 - Το Συνολικό Κόστος Εγκατάστασης (The Total Plant Cost, TPC)
 - Το Συνολικό Κόστος Πληρωμής (The Total As-Spent Cost, TASC)

Αναμενόμενη Ωφέλεια

Το BECCS (Bioenergy with Carbon Capture and Storage) αποτελεί μια καινοτόμα και πολλά υποσχόμενη τεχνολογία στην παγκόσμια αναζήτηση για φιλικές προς το κλίμα ενεργειακές λύσεις. Απώτερος στόχος αυτής της τεχνολογίας είναι να επιτύχει αρνητικές εκπομπές του άνθρακα (negative emissions), ενώ παράλληλα ενσωματώνει ποικίλες τεχνολογίες δέσμευσης άνθρακα, πρακτικές βιώσιμης χρήσης της γης καθώς και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, καθιστώντας το να ξεχωρίζει ως βιώσιμη επιλογή από τον ανταγωνισμό.

Ο ρόλος του BECCS στην απαλλαγή των υπολειμμάτων του άνθρακα

Υπάρχουν πολλές διαθέσιμες τεχνολογίες για την ανάπτυξη του BECCS. Οι πρωτοβουλίες έρευνας και βιομηχανίας έχουν μέχρι στιγμής επικεντρωθεί κυρίως σε δύο οδούς:

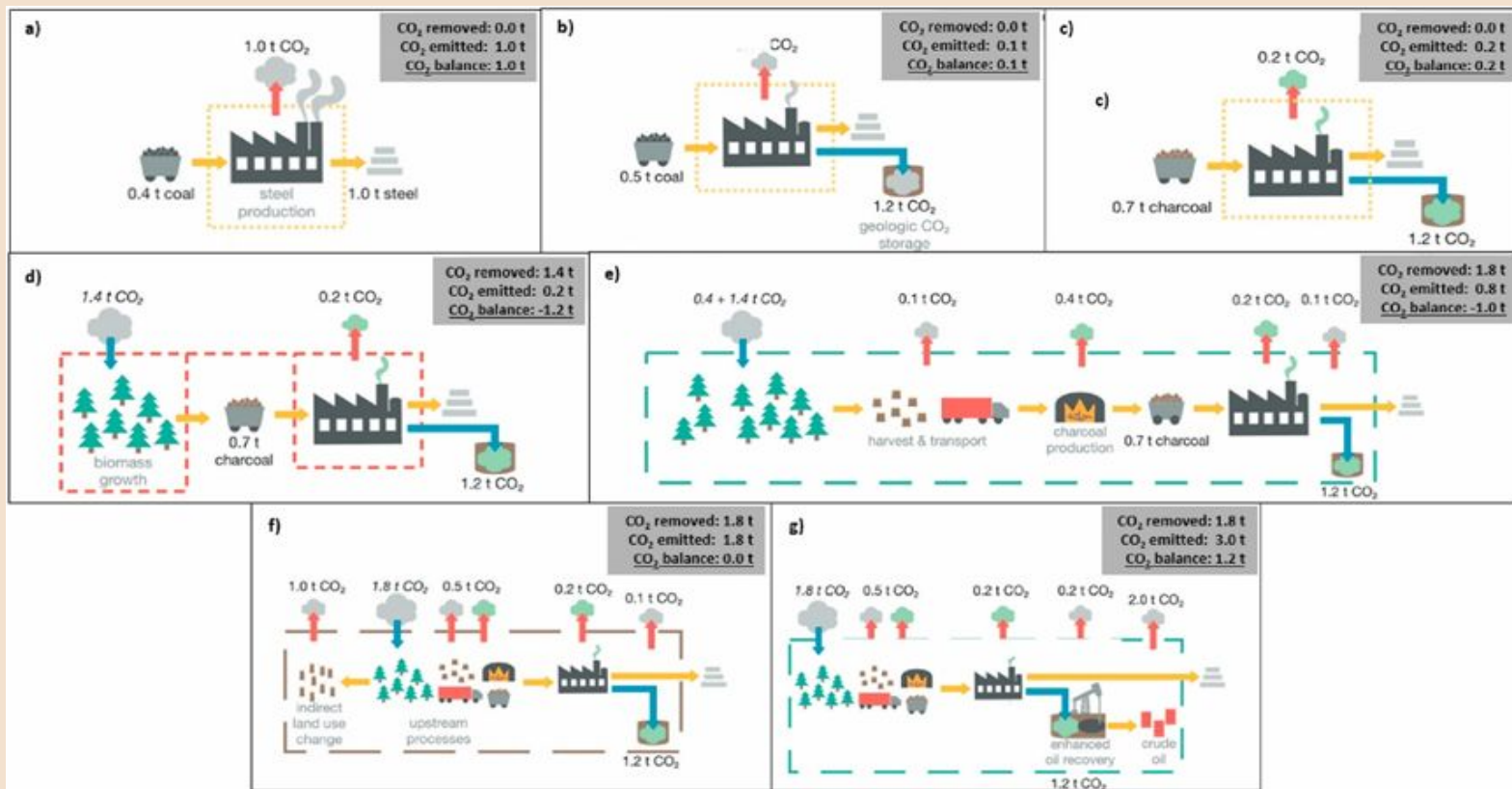
1) BECCS μέσω της παραγωγής υγρών βιοκαυσίμων (βιοντίζελ ή βιοαιθανόλη).

2) BECCS μέσω της μετατροπής της βιομάζας σε θερμότητα και ενέργεια, με πιο δημοφιλή μέθοδο την άμεση κονιοποιημένη καύση βιομάζας.


BECCS και αρνητικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα

Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά συστήματα CCS που βασίζονται σε ορυκτά καύσιμα ή ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, το BECCS έχει τη δυνατότητα να παράγει αρνητικές εκπομπές σε όλο τον κύκλο ζωής του. Σύμφωνα με πρόσφατες αναλύσεις μοντελοποίησης, τεχνολογίες όπως το BECCS με χαμηλότερες συγκεντρώσεις CO₂ στην ατμόσφαιρα είναι πιθανό να είναι απαραίτητες για την επίτευξη πιο επιθετικών στόχων σταθεροποίησης, δεδομένων των τρεχουσών τάσεων στις εκπομπές (Edenhofer et al., 2010).

Ενεργειακή απόδοση του BECCS (με παραδείγματα)



Εικ 6. Παραδείγματα ενεργειακής απόδοσης της τεχνολογίας BECCS από : <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2021.105968>



Δυνατότητα χρήσης αστικών στερεών αποβλήτων ως πόρους βιοενέργειας με δέσμευση και αποθήκευση άνθρακα (BECCS)

Εκτιμάται πως τα αστικά στερεά απόβλητα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως πόροι βιοενέργειας με δέσμευση και αποθήκευση άνθρακα (BECCS) και σύγκριση της σκοπιμότητας δύο συγκεκριμένων επιλογών BECCS: αποτέφρωση αστικών στερεών αποβλήτων με δέσμευση και αποθήκευση άνθρακα (MSW-CCS), και αέριο χωματερής που καίγεται σε αεριοστρόβιλο με δέσμευση και αποθήκευση άνθρακα (LFG-CCS). Τα οργανικά απόβλητα που εξάγονται από αστικά στερεά απόβλητα είναι ένας από τους πόρους που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή βιοενέργειας (MSW). Ένα από τα κύρια υποπροϊόντα της αστικοποίησης είναι τα MSW. Με περίπου 3 δισεκατομμύρια ανθρώπους που ζουν σε πόλεις παγκοσμίως, παράγονται 1,3 δισεκατομμύρια τόνοι στερεών αποβλήτων κάθε χρόνο. Εάν δεν γίνει διαχείριση αυτής της ποσότητας στερεών αποβλήτων, θα μπορούσε να αποτελέσει σημαντική πηγή ατμοσφαιρικής ρύπανσης, εκπομπών μεθανίου, κινδύνους για την υγεία των ανθρώπων και των οικοσυστημάτων και τη μόλυνση των υπόγειων υδάτων.

Προκλήσεις βεβιασμένης ανάπτυξης του BECCS

Το BECCS παράγει σημαντικές εκπομπές

- Εκπομπές που σχετίζονται με την υλοτομία (μείωση των αποθεμάτων άνθρακα στο έδαφος και στα δέντρα)
- Εκπομπές που προκύπτουν από επιβλαβείς αλλαγές στη χρήση της γης
- Εκπομπές από την αλυσίδα εφοδιασμού, το CCS και την παραγωγή βιομάζας

Το BECCS έχει τεχνικά εμπόδια και είναι αρκετά ακριβό

Το κόστος του BECCS είναι δύσκολο να εκτιμηθεί επειδή εξαρτάται από τις τιμές των πρώτων υλών βιομάζας, των εξαρτημάτων CCS, των υποδομών, των λειτουργιών και της ηλεκτρικής ενέργειας. Το BECCS υποδεικνύει ένα εύρος τιμών από 86 έως 172 ευρώ ανά τόνο διοξειδίου του άνθρακα (tCO_2), με βάση μια σύνθεση διαφόρων εκτιμήσεων κόστους.

Το BECCS θα απαιτούσε ένα τεράστιο ποσό γης και ανεβάζει την τιμή των τροφίμων

Σημαντικές αλλαγές στη χρήση γης θα μπορούσαν επίσης να οδηγήσουν σε σημαντική υποβάθμιση του εδάφους, γεγονός που θα δυσκόλευε την καλλιέργεια τροφίμων και θα είχε αρνητικές επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα και τους υδάτινους πόρους. Δεδομένου ότι τα ηλιακά συστήματα στην πλειονότητα των χωρών μπορούν να παράγουν περισσότερο από 100 φορές την ωφέλιμη ενέργεια ανά εκτάριο από όση αναμένεται να παράγει η βιοενέργεια στο μέλλον, ακόμη και υπό αισιόδοξες παραδοχές, η χρήση βιομάζας για ενέργεια γίνεται όλο και πιο ανησυχητική.

Το BECCS αποτελεί εμπόδιο στην ενεργειακή μετάβαση

Ακόμη πιο ανησυχητική είναι η ιδέα της χρήσης ενισχυμένης ανάκτησης πετρελαίου (EOR), μιας μεθόδου εξαγωγής πετρελαίου από εξαντλημένα κοιτάσματα πετρελαίου χρησιμοποιώντας διοξείδιο του άνθρακα από εγκαταστάσεις BECCS. Η τεχνολογία περιλαμβάνει την άντληση αερίου υπό υψηλή πίεση για να αναγκάσει το πετρέλαιο να ανέβει στην επιφάνεια και επί του παρόντος είναι δυνατή η παραγωγή επιπλέον 5 έως 15 τοις εκατό περισσότερου πετρελαίου σε μια δεδομένη δεξαμενή. Επιπλέον, το BECCS προωθεί τη συνεχή χρήση ορυκτών καυσίμων με διάφορους πρακτικούς τρόπους, ιδιαίτερα όσον αφορά τον άνθρακα και το πετρέλαιο.



Το BECCS θα έβλαπτε την βιοποικιλότητα

Από το 1970 έως το 2012, η βιοποικιλότητα των σπονδυλωτών μειώθηκε κατά 58%. Αυτό οφείλεται κυρίως στην εντατικοποίηση και την αύξηση της χρήσης γης από τον άνθρωπο. Το αυξημένο ενδιαφέρον για τη γη θα θέσει περαιτέρω κινδύνους για τη βιοποικιλότητα. Περιοχές που θεωρείται ότι έχουν μεγάλο δυναμικό για καλλιέργειες ειδικά για βιοενέργεια επικαλύπτονται με μεγάλες προστατευόμενες περιοχές. Η ευρεία εφαρμογή του BECCS θα μειώσει τις αυξήσεις της θερμοκρασίας για τα χερσαία είδη έως και 2,8 βαθμούς Κελσίου.

Το BECCS θα έπαιρνε τεράστια ποσότητα νερού

Όταν οι ειδικοί κλιματικών μοντέλων συζητούν την ανάγκη για "πρόσθετη βιομάζα", πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τις σημαντικές απαιτήσεις σε νερό που θα συνεπάγεται. Μέχρι το τέλος του αιώνα, η ζήτηση βιομάζας αναμένεται να αυξήσει το κόστος του νερού καθώς και της γης, ιδιαίτερα στην περιοχή της Ασίας-Ειρηνικού (κατά 330%) και στη Λατινική Αμερική (κατά 460%).

Η ποσότητα νερού που χρησιμοποιείται σήμερα για την άρδευση της παραγωγής τροφίμων θα πρέπει να διπλασιαστεί και με το παραπάνω για να παραχθεί αρκετή βιομάζα για να επιτευχθεί ο στόχος των δύο βαθμών.

Βέλτιστη υλοποίηση BECCS

1. Επιλογή καυσίμων και διαλύτη.

2. Στο Integrated Environment Controlled Model (IECM), υπολογισμός του ρυθμού ροής καυσίμου και της καθαρής ισχύος εξόδου για διαφορετικές αναλογίες συν-καύσης βιομάζας, με βάση μια μονάδα παραγωγής ενέργειας 500 MW.

3. Μοντελοποίηση της συν-καύσης βιομάζας με άνθρακα στο FactSage με σκοπό να προσδιοριστεί η σύνθεση των καυσαερίων, οι θερμοδυναμικές ιδιότητες, ο ρυθμός ροής και η θερμοκρασία αδιαβατικής φλόγας (AFT).

4. Υπολογισμός ανάκτησης θερμότητας για τον προσδιορισμό της επίδρασης της ανάκτησης θερμότητας καυσαερίων στη συνολική απόδοση της μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και την ένταση του άνθρακα.

Bui, M., Fajardy, M., & Mac Dowell, N. (2017). Bio-Energy with CCS (BECCS) performance evaluation: Efficiency enhancement and emissions reduction. Applied energy, 195, 289-302.

Αποτελέσματα

Η μελέτη που αναφέρεται επισημαίνει ότι η ανάκτηση απορριπτόμενης θερμότητας από το σύστημα του λέβητα μπορεί να συμβάλει σημαντικά στη βελτίωση της απόδοσης της μονάδας ηλεκτροπαραγωγής BECCS, αλλά και να επιτύχει μείωση των εκπομπών CO₂.

Η θερμοκρασία αδιαβατικής φλόγας AFT επηρεάζεται σημαντικά από την περιεκτικότητα σε υγρασία αλλά και την περιεκτικότητα σε τέφρα κατά τη συν-καύση βιομάζας με άνθρακα.

Bui, M., Fajardy, M., & Mac Dowell, N. (2017). Bio-Energy with CCS (BECCS) performance evaluation: Efficiency enhancement and emissions reduction. Applied energy, 195, 289-302.

Συμπέρασμα

Η τεχνολογία BECCS αποτελεί μια καινοτόμα λύση για τη μείωση των εκπομπών άνθρακα σε παγκόσμια κλίμακα. Περιλαμβάνει τη χρήση οργανικών αποβλήτων ή φυτών ως πηγή ενέργειας, η οποία στη συνέχεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια ή θερμότητα.

Έχει εκτεταμένες εφαρμογές σε διάφορους τομείς όπως η παραγωγή ενέργειας, οι μεταφορές και η βιομηχανική παραγωγή. Η δυνατότητά του να μειώσει σημαντικά το αποτύπωμα άνθρακα αυτών και άλλων βιομηχανιών το καθιστά πολύτιμη συμβολή στις προσπάθειες που στοχεύουν στην καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής και την επίτευξη του στόχου μείωσης κατά 2^ο, όπως αυτή τέθηκε από τον ΟΗΕ.

Ωστόσο, πρέπει να ληφθεί η μέγιστη προσοχή κατά την ανάπτυξη της τεχνολογίας και επίγνωση των προκλήσεων που μπορεί να προκύψουν από λανθασμένη ανάπτυξη. Η βεβαιασμένη ανάπτυξη της τεχνολογίας θα μπορούσε να οδηγήσει σε ακούσιες συνέπειες, όπως περιβαλλοντική υποβάθμιση, απώλεια βιοποικιλότητας και πιθανούς κινδύνους για την υγεία. Επομένως, είναι υψίστης σημασίας να διασφαλιστεί ότι εφαρμόζονται κατάλληλες μεθόδους και κανονισμοί για την πρόληψη τέτοιων αποτελεσμάτων.

Βιβλιογραφία

1. Welcome. (2022, July 18). Bioenergy with Carbon Capture and Storage – A New Approach | IFS. Retrieved January 3, 2024, from Integrated Flow Solutions website: <https://ifsolutions.com/bioenergy-with-carbon-capture-and-storage/>
2. Gough, C., & Upham, P. (2011). Biomass energy with carbon capture and storage (BECCS or Bio-CCS). *Greenhouse Gases-Science and Technology*, 1(4), 324–334. <https://doi.org/10.1002/ghg.34>
3. A Policy Strategy for Carbon Capture and Storage. (2012). *IEA Energy Papers*. <https://doi.org/10.1787/5k9gshq1n29t-en>
4. *Six problems with BECCS*. (n.d.). Retrieved from https://www.fern.org/fileadmin/uploads/fern/Documents/2022/Six_problems_with_BECCS_-_2022.pdf
5. Eng, A., Usa), & Lucht, W. (n.d.). 2 *Bioenergy Coordinating Lead Authors: Lead Authors: Contributing Authors: Review Editors*. <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/Chapter-2-Bioenergy-1.pdf>
6. McKendry, P. (2002). Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource Technology*, 83(1), 37–46. [https://doi.org/10.1016/s0960-8524\(01\)00118-3](https://doi.org/10.1016/s0960-8524(01)00118-3)
7. Ayhan Demirbaş. (2008). Biofuels sources, biofuel policy, biofuel economy and global biofuel projections. *Energy Conversion and Management*, 49(8), 2106–2116. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2008.02.020>
8. Rubin, E. S., Hari Mantripragada, A. Leigh Marks, Versteeg, P., & Kitchin, J. R. (2012). The outlook for improved carbon capture technology. *Progress in Energy and Combustion Science*, 38(5), 630–671. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2012.03.003>

1. Ayhan Demirbaş. (2008). Biofuels sources, biofuel policy, biofuel economy and global biofuel projections. *Energy Conversion and Management*, 49(8), 2106–2116. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2008.02.020>
2. Smit, B., Reimer, J. A., Oldenburg, C. M., & Bourg, I. C. (2014). *Introduction to Carbon Capture and Sequestration*. ResearchGate; Imperial College Press. https://www.researchgate.net/publication/260184817_Introduction_to_Carbon_Capture_and_Sequestration
3. Bergstrom, J. C., & Ty, D. (2017). Economics of Carbon Capture and Storage. *InTech EBooks*. <https://doi.org/10.5772/67000>
4. in. (2020). *Global Energy Review: CO2 Emissions in 2020 – Analysis - IEA*. IEA. <https://www.iea.org/articles/global-energy-review-co2-emissions-in-2020>
5. *Global Status of CCS Report: 2019 - Global CCS Institute*. (2023, January 23). Global CCS Institute. <https://www.globalccsinstitute.com/resources/publications-reports-research/global-status-of-ccs-report-2019/>
6. *An Interim Report from the CCSReg Project Carbon Capture and Sequestration: Framing the Issues for Regulation*. (2009). http://www.ccsreg.org/pdf/CCSReg_3_9.pdf
7. *Bioenergy with Carbon Capture and Storage (BECCS) - Drax Global*. (2023, August 31). Drax Global. <https://www.drax.com/bioenergy-with-carbon-capture-and-storage-beccs/>
8. Bui, M., Fajardy, M., & Mac Dowell, N. (2017). Bio-Energy with CCS (BECCS) performance evaluation: Efficiency enhancement and emissions reduction. *Applied energy*, 195, 289-302.
9. Fridahl, M., & Lehtveer, M. (2018). Bioenergy with carbon capture and storage (BECCS): Global potential, investment preferences, and deployment barriers. *Energy Research & Social Science*, 42, 155-165.



ΕΥΧΑΡΙΣΤΟΥΜΕ