

Παρουσίαση της **Μελέτης του ΙΕΝΕ**  
αναφορικά με τις προοπτικές της  
ανάπτυξης των τεχνολογιών δέσμευσης,  
αποθήκευσης και αξιοποίησης άνθρακα  
(**CCUS**) στην **Ελλάδα** και ευρύτερα στην  
**Νοτιοανατολική Ευρώπη**

---

*Δρ. Νικόλαος Κούκουζας*



# Κλιματική Αλλαγή

## Το πρόβλημα

Μεγάλη κλίμακας εκπομπές CO<sub>2</sub> λόγω:

- βιομηχανικές και άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες
- Συνεχής αύξηση (up to 30% increase by 2040).

## Ο στόχος

Διατήρηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας κάτω των 28°C και αποτροπή της υπερθέρμανσης του πλανήτη.

## Η λύση

Εφαρμογή τεχνολογιών δέσμευσης, αξιοποίησης και αποθήκευσης άνθρακα (Carbon Capture, Utilization and Storage – CCUS) που εμποδίζουν την απελευθέρωση CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα.

Στις 10/10/2023, στο πλαίσιο **Ημερίδας σχετική με το CCUS στην Ελλάδα, παρουσιάστηκε έκθεση** μελέτης του Ινστιτούτου Ενέργειας Νοτιοανατολικής Ευρώπης (IENE), με τη συμμετοχή του **Δρ Κούκουζα**.

# Δέσμευση CO<sub>2</sub>

- ❑ Το CCUS δεσμεύει CO<sub>2</sub> από **μεγάλες σημειακές πηγές** (μονάδες παραγωγής ενέργειας ή βιομηχανικές εγκαταστάσεις).
- ❑ Οι τεχνικές δέσμευσης CO<sub>2</sub> που εφαρμόζονται στην βιομηχανία διακρίνονται σε **δύο μεγάλες κατηγορίες**:

Τεχνολογίες άμεσου διαχωρισμού του CO<sub>2</sub> από τους βιομηχανικούς αέριους ρύπους



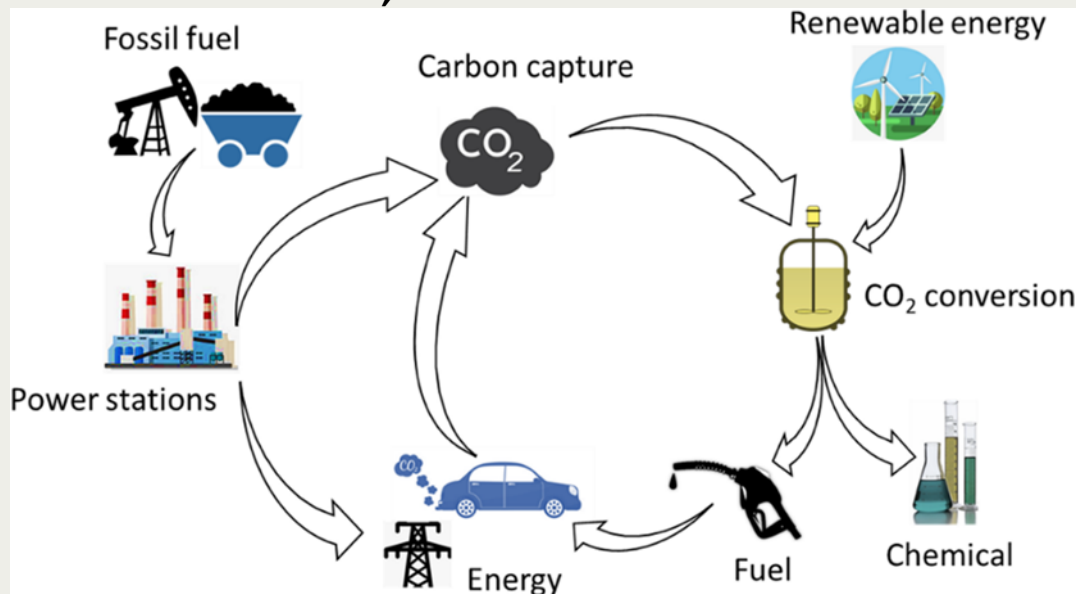
Τεχνολογίες εντατικής καύσης από τις οποίες διαχωρίζεται το CO<sub>2</sub> από τους βιομηχανικούς αέριους ρύπους

- Περιλαμβάνουν τις τεχνικές δέσμευσης **Post-combustion**:
  - ⇒ Κάνουν χρήση του **ατμοσφαιρικού αέρα**.
  - ⇒ Τα βιομηχανικά καυσαέρια που προκύπτουν (**αέρια σύνθεσης ή syngas**) έχουν **χαμηλή συγκέντρωση CO<sub>2</sub>** και άλλα ατμοσφαιρικά αέρια, όπως άζωτο και υδρατμοί.
  - ⇒ Εφαρμόζεται σε **εργοστάσια παραγωγής ενέργειας**.
- Περιλαμβάνουν τις τεχνολογίες **Pre-combustion & Oxy-fuel combustion**:
  - ⇒ Απαιτούν περιβάλλον έντονα **εμπλουτισμένο σε οξυγόνο**.
  - ⇒ Το **syngas** έχει μεγαλύτερη συγκέντρωση CO<sub>2</sub>.
  - ⇒ Η μέθοδος **pre-combustion** εφαρμόζεται σε **διυλιστήρια**, εργοστάσια παραγωγής **χημικών & χάλυβα**, ενώ η **oxy-fuel combustion** σε εργοστάσια παραγωγής ενέργειας, τσιμέντου, σίδηρου & χάλυβα.

Η παραγωγή του syngas δημιουργεί την ανάγκη για περαιτέρω απομόνωση του CO<sub>2</sub> από το νέο αέριο μείγμα.

# Χρήση CO<sub>2</sub>

- Το CCUS δεσμεύει CO<sub>2</sub> από μεγάλες σημειακές πηγές (μονάδες παραγωγής ενέργειας ή βιομηχανικές εγκαταστάσεις).
- Εάν δεν χρησιμοποιείται επιτόπου, το CO<sub>2</sub> συμπιέζεται, μεταφέρεται και **εισάγεται σε γεωλογικούς σχηματισμούς για αποθήκευση**.
- Η χρήσεις του CO<sub>2</sub> (είτε επιτόπου, είτε από εγκαταστάσεις αποθήκευσης/CCUS) περιλαμβάνουν:
  1. Το **αέριο CO<sub>2</sub>** μπορεί να εισάγεται στην αγορά **ως νέο εμπόρευμα**
  2. Χρησιμοποιείται στην **παραγωγή μεθανίου, μεθανόλης και συνθετικού αερίου (syngas)** ⇨ σημαντικά αέρια για τους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής με φυσικό αέριο και τη βιομηχανία

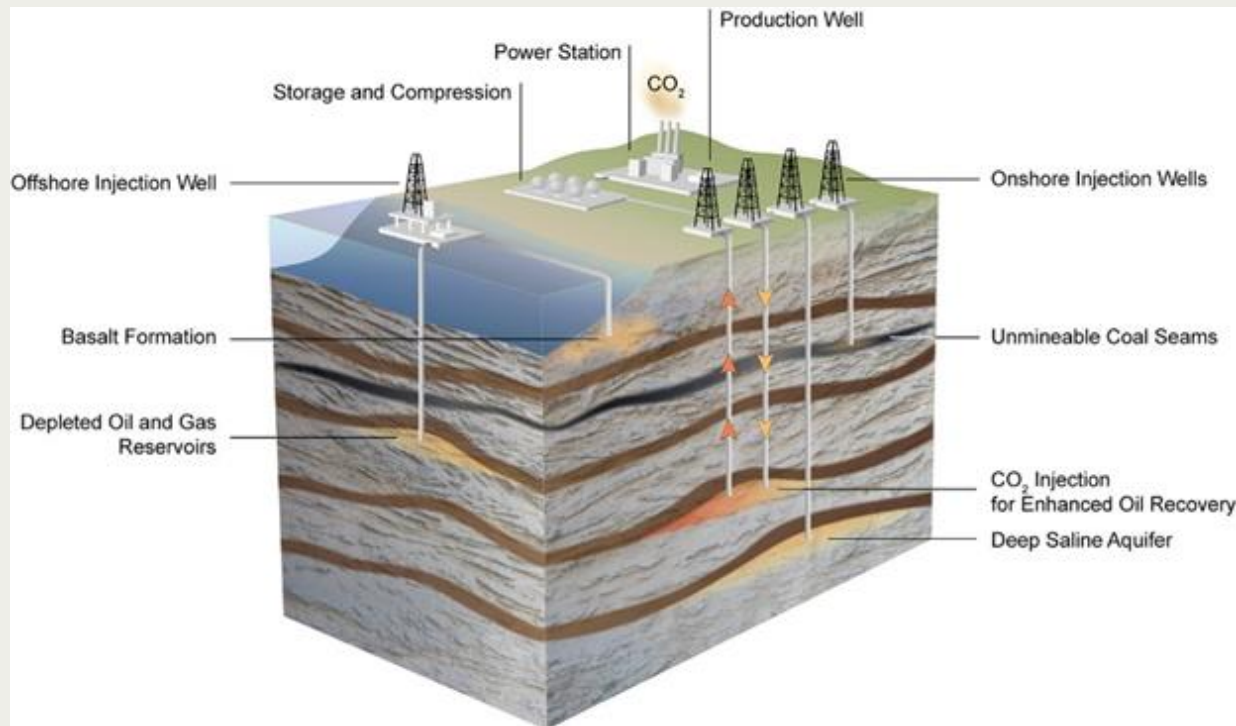


3. Στην παραγωγή **χημικών προϊόντων**, όπως η ουρία, τα ακρυλικά και τα ανθρακικά αλκυλένια, η πολυουρεθάνη και το ακρυλικό οξύ.
4. Ως συστατικό σε **δομικά υλικά** ή ως λύση στην έλλειψη νερού (CO<sub>2</sub> μπορεί να επιτρέψει την απομάκρυνση περιττών αλάτων)
5. Στη **βιομηχανική ψύξη**
6. Στην **παρασκευή τροφίμων και ποτών**
7. Στην **Ενισχυμένη Ανάκτηση Πετρελαίου** (Enhanced Oil Recovery, EOR)

Σχηματική αναπαράσταση των διαφόρων υπηρεσιών που μπορεί να προσφέρει η CCU (Πηγή: Adamu et al., 2020)

# Γεωλογική αποθήκευση CO<sub>2</sub>

- Στο CCUS, εάν το CO<sub>2</sub> δεν χρησιμοποιείται επιτόπου, συμπιέζεται, μεταφέρεται και εισάγεται σε γεωλογικούς σχηματισμούς για αποθήκευση.
- Η δέσμευση και αποθήκευση άνθρακα (CCS) αποτελεί σημαντική και μακροπρόθεσμη στρατηγική για την απαλλαγή της βιομηχανίας από τις εκπομπές CO<sub>2</sub>.
- Υπάρχουν 3 κύριες τεχνολογίες για τη μακροπρόθεσμη αποθήκευση CO<sub>2</sub>: (1) γεωλογική αποθήκευση, (2) αποθήκευση σε ωκεανούς, (3) ορυκτοποίηση (mineralisation).
- Ένας δυνητικός ταμιευτήρας γεωλογικής αποθήκευσης CO<sub>2</sub> πρέπει να παρουσιάζει: (1) κατάλληλη διαπερατότητα, (2) πάχος, (3) βάθος, και (4) ύπαρξη υπερκείμενου αδιαπέρατου πετρώματος (cap-rock).



- Οι υπόγειοι γεωλογικοί σχηματισμοί που είναι κατάλληλοι για αποθήκευση CO<sub>2</sub> είναι:

Βαθείς αλατούχοι δόμοι

Εγκαταλελειμμένα ανθρακωρυχεία / Σπήλαια αλατιού

Εξαντλημένοι ταμιευτήρες υδρογονανθράκων

Κοιτάσματα (κοίτες) γαιανθράκων

Βασαλτικά, υπερμαφικά πετρώματα και ψαμμίτες (ορυκτοποίηση CO<sub>2</sub>)

# Δυνατότητες γεωλογικής αποθήκευσης CO<sub>2</sub> στην Ελλάδα

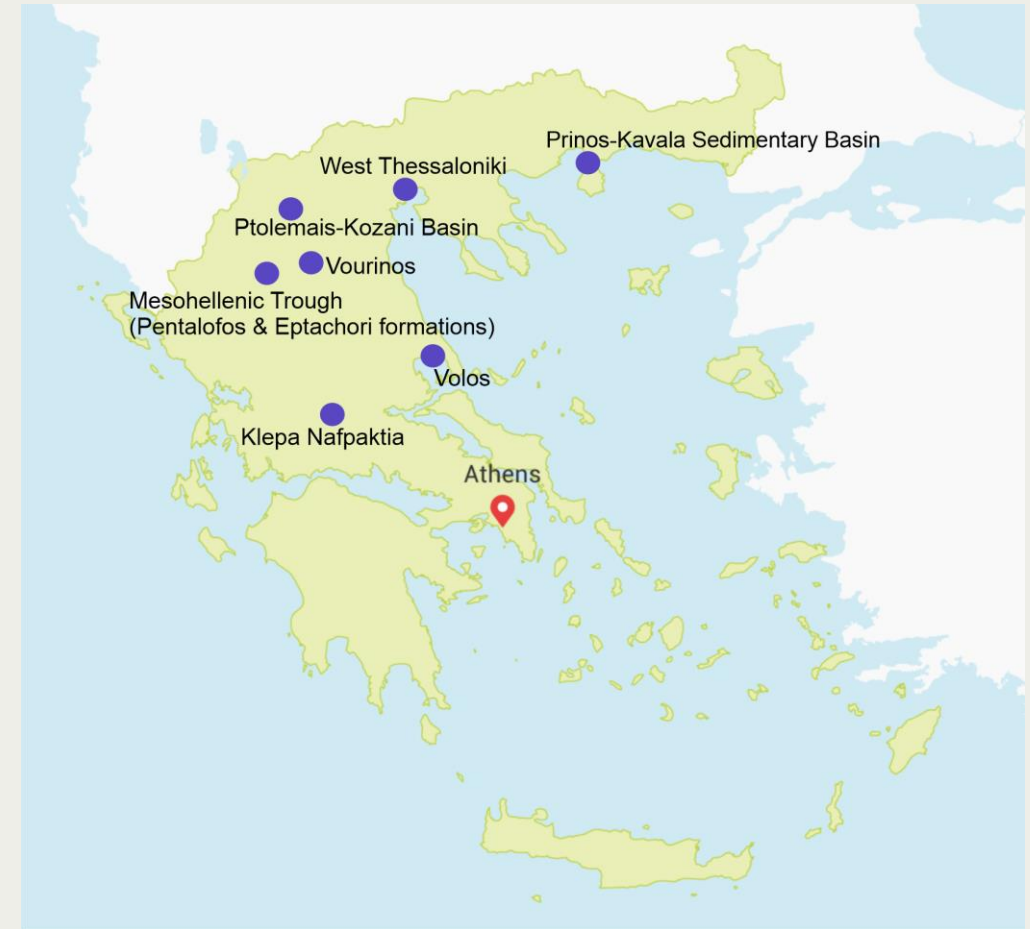
- Πιθανές περιοχές για CCUS ή αποθήκευση CO<sub>2</sub> στην Ελλάδα :

## A. Ορυκτοποίηση:

- 1) Βασάλτες (ηφαιστειακά πετρώματα) Βόλου
- 2) Ψαμμίτες Μεσοελληνικής Αύλακας (Σχηματισμός Πενταλόφου)
- 3) Υπερβασικά πετρώματα Βούρινου (Δ. Ελλάδα)

## B. Έγχυση & Αποθήκευση σε γεωλογικούς ταμιευτήρες:

- 1) Ψαμμίτες Μεσοελληνικής Αύλακας (Σχηματισμός Πενταλόφου) & υφάλμυροι υδροφορείς
- 2) Ψαμμίτες Ναυπακτίας
- 3) Λεκάνη Πτολεμαΐδας-Κοζάνης
- 4) Λεκάνη Δυτικής Θεσσαλονίκης
- 5) Ιζηματογεννής Λεκάνη Πρίνου-Καβάλας



Πιθανοί χώροι γεωλογικής αποθήκευσης CO<sub>2</sub> στην Ελλάδα

# CCUS Έργα

- **Παγκοσμίως**, εκτελούνται **περισσότερα από 50 έργα CCUS** μεγάλης κλίμακας.
- **Σήμερα** λειτουργού **27 εγκαταστάσεις CCS** σε παγκόσμια κλίμακα, ενώ εκτιμάται ότι **έως το 2050** θα προστεθούν ακόμα **2.705 νέες εγκαταστάσεις**.
- **Ευρωπαϊκά έργα** που περιλαμβάνουν τεχνολογίες CCUS για την επίτευξη μιας οικονομίας χαμηλών εκπομπών CO<sub>2</sub> στην Ευρώπη:

Έργο	Επικεφαλής Χώρα	Περιγραφή
<a href="#">Acorn</a>	Ηνωμένο Βασίλειο	Αποθήκευση σε βαθύ αλατούχο υδροφορέα
<a href="#">AC2OCem</a> *	Γερμανία	Δέσμευση CO <sub>2</sub>
<a href="#">Athos</a>	Ολλανδία	Πλήρης αλυσίδα CCUS
<a href="#">CarbFix</a>	Ισλανδία	Αποθήκευση CO <sub>2</sub>
<a href="#">CEEGS</a> *	Ισπανία	Ενσωμάτωση CCS σε σύστημα αποθήκευσης ανανεώσιμης ενέργειας
<a href="#">LEILAC</a> *	Βέλγιο, Γερμανία	Δέσμευση CO <sub>2</sub>
<a href="#">Northern Lights</a>	Νορβηγία	Μεταφορά & Αποθήκευση CO <sub>2</sub>
<a href="#">RISCS</a> *	Ηνωμένο Βασίλειο	Διαχειριστικό πλαίσιο χώρων CCS
<a href="#">Strategy CCUS</a> *	Γαλλία	Σενάρια ανάπτυξη CCUS
<a href="#">SCARLET</a>	Γερμανία	Δέσμευση CO <sub>2</sub>

\* Με συμμετοχή εταιρού από Ελλάδα.

# Υδρογόνο (H<sub>2</sub>)

Το Υδρογόνο είναι το πλέον ελαφρύ χημικό στοιχείο και στην καθαρή του μορφή είναι άχρωμο, άοσμο, άγευστο και εύφλεκτο.

## Παραγωγή H<sub>2</sub>

### Γκρι H<sub>2</sub>

Παραγωγή μέσω υδρογονανθράκων. Υψηλές εκπομπές CO<sub>2</sub>.

### Μπλε H<sub>2</sub>

Παραγωγή μέσω υδρογονανθράκων, με παράλληλη δέσμευση και αποθήκευση του εκπεμπόμενου CO<sub>2</sub> (μέσω CCUS).

### Πράσινο H<sub>2</sub>

Παραγωγή μέσω ηλεκτρόλυσης νερού, αξιοποιώντας ανανεώσιμη ενέργεια. Μηδενικές εκπομπές CO<sub>2</sub>.

### Λευκό H<sub>2</sub>

Φυσική εμφάνιση υδρογόνου σε υπόγειους γεωλογικούς σχηματισμούς.

## Αποθήκευση H<sub>2</sub>

### Υπέργεια Αποθήκευση H<sub>2</sub>

⇒ Δεξαμενές αποθήκευσης (μέθοδος Power-to-Gas (P2G))

### Υπόγεια Αποθήκευση H<sub>2</sub>

⇒ Αλατούχοι υδροφορείς  
⇒ Αλατούχοι σχηματισμοί

⇒ Εγκαταλελειμμένα ορυχεία  
⇒ Εξαντλημένα πεδία υδρογονανθράκων

## Αξιοποίηση H<sub>2</sub>

Το H<sub>2</sub> εξάγεται από τον χώρο αποθήκευσης και υφίσταται ενδεδειγμένη **επεξεργασία** ώστε να λάβει **μορφή κατάλληλη για χρήση** από τους καταναλωτές.

Το H<sub>2</sub> μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την **τροφοδοσία οχημάτων**, την **παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή θερμότητας**, χωρίς να προκύπτουν **επιβλαβή παραπροϊόντα**.



# Συνδυασμένη χρήση CO<sub>2</sub> και H<sub>2</sub>

## Παραγωγή Μπλε H<sub>2</sub>

Το μπλε υδρογόνο παράγεται από ορυκτά καύσιμα κατά τη διύλισή τους και συνδυάζεται με δέσμευση του εκπεμπόμενου CO<sub>2</sub>

□ Το δεσμευμένο CO<sub>2</sub> μπορεί είτε να αποθηκευτεί, είτε να χρησιμοποιηθεί σε βιομηχανικές εφαρμογές, εφόσον υποστεί κατάλληλη επεξεργασία.

## Υπόγεια αποθήκευση H<sub>2</sub> χρησιμοποιώντας CO<sub>2</sub> ως αέριο πλήρωσης

Το αέριο πλήρωσης πρέπει να είναι **μόνιμα αποθηκευμένο** σε έναν υπόγειο ταμιευτήρα ώστε να διατηρείται η επιθυμητή πίεση

Το αέριο πλήρωσης καταλαμβάνει **έως το 1/3 του ωφέλιμου όγκου** του ταμιευτήρα

- Χρήση CO<sub>2</sub> ως αέριο πλήρωσης:
- διατήρηση επαρκούς πίεσης στον ταμιευτήρα
- πιο οικονομική λύση
- περιορισμός των εκπομπών CO<sub>2</sub>

## Υδρογόνωση CO<sub>2</sub>

Συνδυασμός του δεσμευμένου CO<sub>2</sub> με υδρογόνο προς παραγωγή μεθανίου

Το μεθάνιο αξιοποιείται ως μεταφορέας ενέργειας, καθώς η υψηλή πυκνότητά του διασφαλίζει ασφαλή αποθήκευση και μεταφορά

# Σας ευχαριστώ!



Δρ. Νικόλαος Κούκουζας



+30 211 1069502



koukouzas@certh.gr



<https://www.cperi.certh.gr/>